



INSTITUTO SUPERIOR  
**UNIVERSITARIO**

**sucre**

**GUÍA GENERAL DE ESTUDIO  
DE ELECTRÓNICA ANALÓGICA**



## **Guía general de estudio de Electrónica Analógica**

Alex Fabricio Oña Ñacata

Andrés Rodrigo Guano Bermeo

Carlos Germánico Rivera Liger

Christian Andrés Ortega Hidalgo

Fabricio Manuel Tipantocta Pillajo

Gladys Rocío Herrera Panchi

2025

**Esta publicación ha sido sometida a revisión por pares académicos específicos por:**

Adrián Fabricio Llumiyinga Soria  
Escuela Politécnica Nacional

### **Corrección de estilo:**

- Víctor Hugo Durán Pardo - Docente - Sucre

### **Diseño y diagramación:**

- Freddy Javier Centeno Martínez - Docente - Sucre

Primera Edición

Editorial RIMANA

Quito – Ecuador

Instituto Superior Universitario Sucre

**ISBN: 978-9942-686-85-5**

Esta publicación está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional.



# MISIÓN

**Ser una Institución Superior Universitaria con estándares de calidad académica e innovación, reconocida a nivel nacional con proyección internacional.**

# VISIÓN

**Formamos profesionales competentes con espíritu emprendedor, capaces de contribuir al desarrollo integral del país.**

Los contenidos de este trabajo están sujetos a una licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual 4.0 (CC BY-NC-SA 4.0). Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material citando la fuente, bajo los siguientes términos: Reconocimiento- debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante. No Comercial-no puede hacer uso del material con propósitos comerciales. Compartir igual-Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original. No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



**Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual  
4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)**

Usted acepta y acuerda estar obligado por los términos y condiciones de esta Licencia, por lo que, si existe el incumplimiento de algunas de estas condiciones, no se autoriza el uso de ningún contenido.

<b>Presentación de la asignatura.....</b>	<b>3</b>
<b>Resultados del aprendizaje.....</b>	<b>3</b>
<b>UNIDAD 1 FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Fundamentos de la electricidad y magnitudes fundamentales .....</b>	<b>4</b>
1.1.1 Voltaje.....	4
1.1.2 Corriente Eléctrica .....	4
1.1.3 Resistencia Eléctrica .....	4
1.1.4 Potencia Eléctrica .....	4
<b>1.2 Circuitos eléctricos básicos de corriente continua y alterna .....</b>	<b>5</b>
1.2.1 Circuito eléctrico .....	5
1.2.2 Símbolos eléctricos .....	6
1.2.3 Tipos de corriente.....	6
1.2.4 Ley de Ohm .....	7
<b>1.3 Resistor.....</b>	<b>8</b>
1.3.1 Código de colores .....	8
1.3.2 Resistencia en serie.....	9
1.3.3 Resistencia en Paralelo .....	9
1.3.4 Circuitos mixtos.....	10
<b>1.4 Instalación de circuitos en zonas residenciales e industriales de circuitos eléctricos básicos .....</b>	<b>10</b>
1.4.1 Símbolos y componentes de instalaciones residenciales e industriales.....	11
1.4.2 Puesta a Tierra .....	11
1.4.3 Aplicación de normativa eléctrica residencial e industrial .....	12
1.4.4 Interpretación y diseño de planos eléctricos industriales.....	12
<b>1.5 Teorema de resolución de circuitos.....</b>	<b>13</b>
1.5.1 Divisor de tensión.....	13
1.5.2 Ley de corrientes de Kirchhoff y su aplicación en nodos .....	14
1.5.3 Ley de Voltajes de Kirchhoff y su aplicación en mallas.....	14
1.5.4 Teorema de Thévenin.....	15
<b>1.6 Transformación de fuentes y linealidad.....</b>	<b>16</b>
1.6.1 Transformación de fuente de voltaje en fuente de corriente.....	16
1.6.2 Transformación de fuente de corriente en fuente de voltaje.....	17
1.6.3 Análisis de linealidad en componentes pasivos.....	17
1.6.4 Aplicaciones en el diseño de circuitos lineales .....	18
Actividades propuestas para la unidad .....	18
<b>UNIDAD 2 INTRODUCCIÓN A SEMICONDUCTORES .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1 Los semiconductores .....</b>	<b>20</b>
2.1.1 Características principales de un semiconductor.....	21
2.1.2 Semiconductores Intrínsecos .....	21
2.1.3 Semiconductores Extrínsecos.....	22
2.1.4 Semiconductor tipo N y tipo P.....	22
<b>2.2 Aplicaciones de los diodos a circuitos de rectificación.....</b>	<b>22</b>
2.2.1 Diodo semiconductor .....	22
2.2.2 Polarización del Diodo .....	23
2.2.3 Circuito equivalente del diodo.....	24
2.2.4 Configuraciones en serie – paralelo.....	25
2.2.5 Rectificadores de Media Onda .....	26
2.2.6 Rectificadores de Onda Completa .....	27
<b>2.3 Fuentes de alimentación.....</b>	<b>28</b>
2.3.1 Fuentes de alimentación reguladas .....	28
2.3.2 Fuentes de Alimentación Variables .....	28
Actividades propuestas para la unidad .....	29
<b>UNIDAD 3: TRANSISTORES.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 Transistor de unión bipolar BJT .....</b>	<b>30</b>
3.1.1 Características físicas y modo de operación .....	30

3.1.2 Configuración Base Común	31
3.1.3 Configuración Emisor Común	32
3.1.4 Configuración Colector Común	33
<b>3.2 Circuitos de polarización del transistor</b>	<b>34</b>
3.2.1 Polarización Fija	34
3.2.2 Polarización de emisor	34
3.2.2 Polarización por división de tensión	35
3.2.3 Polarización de realimentación del colector	35
3.2.4 Configuración emisor seguidor	36
<b>3.3 El transistor FET y transistor MOSFET</b>	<b>36</b>
3.3.1 Estructura y Funcionamiento de los FET y MOSFET	36
3.3.2 Mecanismo de control de la corriente mediante la puerta en un FET y MOSFET	39
3.3.3 Circuitos con FET y MOSFET	39
<b>3.4 Amplificadores con transistores FET y MOSFET</b>	<b>42</b>
3.4.1 FET como amplificador	42
3.4.1 FET como Interruptor	43
Actividades propuestas para la unidad	43
<b>UNIDAD 4: AMPLIFICADORES OPERACIONALES</b>	<b>45</b>
<b>4.1 Introducción a los amplificadores operacionales</b>	<b>45</b>
4.1.1 Definición de los amplificadores operacionales	45
4.1.2 Amplificador operacional de propósito general	45
4.1.3 Tipo de amplificadores operacionales	46
<b>4.2 Amplificador diferencial</b>	<b>48</b>
4.2.1 Definición de amplificador diferencial	48
<b>4.3 Amplificador integrador</b>	<b>48</b>
4.3.1 Definición de amplificador integrador	48
<b>4.4 Aplicaciones de los amplificadores operacionales</b>	<b>50</b>
4.4.1 Amplificador Sumador Inversor	50
4.4.2 Amplificador Sumador No Inversor	51
4.4.3 Amplificador diferenciador	52
Actividades propuestas para la unidad	53
<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>55</b>

### **Presentación de la asignatura**

La asignatura de Electrónica Analógica introduce a los estudiantes de la Carrera de Electrónica en los principios fundamentales de la electricidad, proporcionando las bases necesarias para la comprensión y el análisis de circuitos en corriente continua (CC) y corriente alterna (CA). A través de leyes eléctricas, teoremas y métodos de análisis se desarrollan habilidades para interpretar, diseñar y construir circuitos eléctricos funcionales. Además, se presenta el estudio de los semiconductores y su aplicación en circuitos electrónicos, para lo cual se trabaja con diodos, transistores BJT, FET, MOSFET y amplificadores operacionales, dispositivos esenciales para el procesamiento, amplificación, modulación y filtrado de señales analógicas. Estas herramientas son necesarias en aplicaciones reales en áreas como el audio, las telecomunicaciones, el control de motores y la instrumentación. Esta asignatura es fundamental para los estudiantes de la Carrera de Electrónica, ya que proporciona las bases necesarias para entender y aplicar la electrónica en sistemas de control, automatización e instrumentación. De esta manera, se fortalece la formación técnica para resolver desafíos reales en el ámbito industrial, donde el conocimiento de la electrónica analógica es fundamental para el desempeño profesional.

### **Resultados del aprendizaje**

Identifica las características de los filtros pasivo como: frecuencia de corte, valor de capacitancia y resistencia, diagrama bode.

Implementa y simula un filtro pasivo para discriminar una señal a determinada frecuencia, modificando su amplitud y fase.

Conoce el funcionamiento de transistores BJT y MOSFET.

Implementa y realiza el diseño de circuitos con transistores BJT y MOSFET.

Identifica los valores característicos del amplificador con transistor BJT, al funcionar con señales alternas y continuas.

Aplica diferentes configuraciones del Amplificador Operacional para acoplar señales a otros valores o escalas de trabajo.

Implementa y simula circuitos con amplificadores operacionales valorando su funcionalidad y aplicación.

## UNIDAD 1 FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

### 1.1 Fundamentos de la electricidad y magnitudes fundamentales

#### 1.1.1 Voltaje

El voltaje, también conocido como diferencia de potencial, representa la cantidad de energía necesaria para desplazar cargas eléctricas entre dos puntos de un circuito. Puede entenderse como la "fuerza" que impulsa a los electrones a moverse a lo largo de un conductor. Esta magnitud se mide en voltios (V).

El voltaje puede generarse de distintas formas, entre las más comunes están las fuentes de energía como baterías, generadores o fuentes de alimentación, las cuales crean una separación de cargas eléctricas que produce una diferencia de potencial y permite el flujo de corriente eléctrica; otra forma es a través de la inducción electromagnética, un fenómeno explicado por la Ley de Faraday, que establece que un voltaje se induce en un conductor cuando existe una variación en el campo magnético que lo rodea (Virasak, 2019).

#### 1.1.2 Corriente Eléctrica

La corriente eléctrica es el movimiento de cargas a través de un conductor en un periodo determinado. Su unidad de medida es el amperio (A), y nos indica la cantidad de electrones que atraviesan un punto del circuito cada segundo.

#### 1.1.3 Resistencia Eléctrica

La resistencia eléctrica indica el nivel de dificultad que presenta un material al permitir el paso de la corriente. Esta oposición varía según características como el tipo de material, su longitud y el área de su sección transversal. Se mide en ohmios ( $\Omega$ ). De acuerdo con el valor de resistencia, los materiales se pueden clasificar en aislantes, semiconductores y conductores.

#### 1.1.4 Potencia Eléctrica

La potencia representa cuánta energía se transforma por unidad de tiempo en un dispositivo o circuito. Su unidad es el vatio (W), y se calcula multiplicando el voltaje por la corriente.

$$P = V \cdot I$$

De acuerdo con el tipo de cargas presente en el circuito se presentarán los siguientes tipos de potencia:

**Potencia Activa (P):** es la potencia real que realiza un trabajo útil, como encender bombillas o mover motores. Se mide en vatios (W).

$$P = V.I. \cos(\varphi)$$

**Potencia Reactiva (Q):** no realiza trabajo útil, pero es necesaria para mantener los campos magnéticos en motores y transformadores. Se mide en voltamperios reactivos (VAR).

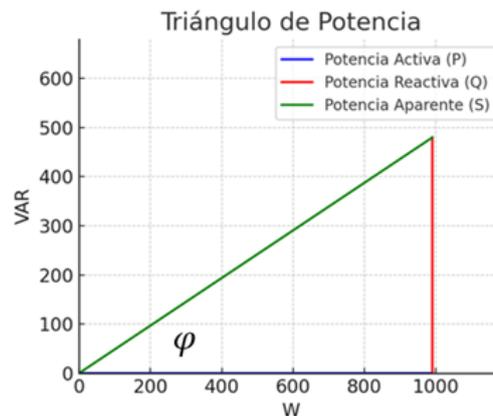
$$Q = V.I. \sin(\varphi)$$

**Potencia Aparente (S):** es la potencia total suministrada al circuito. Se compone de la potencia activa y la reactiva. Se mide en voltamperios (VA).

$$S = V.I = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

El triángulo de potencias representa gráficamente la relación entre P, Q y S. Donde P es la base, Q es la altura, S la hipotenusa y  $\varphi$  es el ángulo de potencia, como se muestra en la Figura 1:

**Figura 1**  
*Triángulo de Potencias*



*Nota: Elaboración propia a partir de Boylestad (2011)*

**Factor de potencia:** representa el coseno del ángulo  $\varphi$  entre la potencia activa y la aparente. Cuanto más cercano a 1, hay mayor aprovechamiento de la energía eléctrica.

$$FP = \frac{P}{S} = \cos(\varphi)$$

## 1.2 Circuitos eléctricos básicos de corriente continua y alterna

### 1.2.1 Circuito eléctrico

Es una conexión entre distintos componentes que permite que la corriente fluya para transmitir energía o manejar señales. En su forma más básica, incluye una fuente de energía, cables

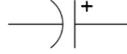
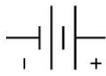
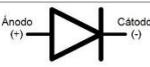
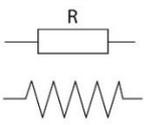
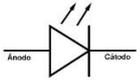
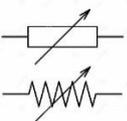
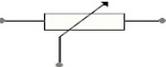
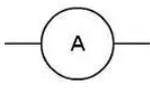
conductores y una carga que utiliza esa energía. Dependiendo del tipo de corriente que lo recorra, puede ser de corriente continua (CC) o de corriente alterna (CA).

### 1.2.2 Símbolos eléctricos

Los símbolos eléctricos son representaciones gráficas convencionales utilizadas en esquemas para representar componentes eléctricos, permitiendo el análisis, diseño y comprensión de circuitos, los símbolos más comunes se pueden observar en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Símbolos de circuitos eléctricos*

ELEMENTO	SÍMBOLO	ELEMENTO	SÍMBOLO
Fuente de CC		Condensador Polarizado	
Fuente de CA		Condensador variable	
Pila		Inductancia	
Batería		Diodo	
Resistencia		Diodo Led	
Resistencia variable		Voltímetro	
Potenciómetro		Amperímetro	
Condensador no polarizado		Vatímetro	

*Nota: Elaboración propia*

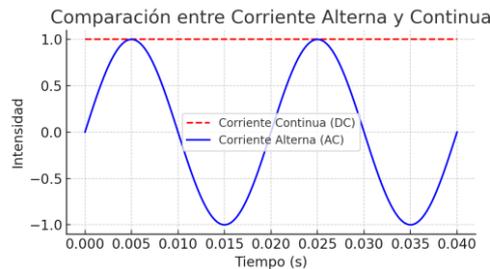
### 1.2.3 Tipos de corriente

Generalmente se diferencian dos tipos de corriente:

- **Corriente Continua (CC):** es el tipo de corriente en la que los electrones se mueven en una única dirección de forma constante, común en fuentes como baterías y celdas solares.
- **Corriente alterna (CA):** en este tipo de corriente el flujo de electrones cambia de dirección de manera periódica, cuya forma de onda es comúnmente senoidal. Este tipo de corriente se distribuye en las redes eléctricas domésticas e industriales.

**Figura 2**

*Comparativa de los tipos de corriente*



*Nota: Elaboración propia*

### 1.2.4 Ley de Ohm

Es una regla básica pero esencial en los circuitos eléctricos, explica que la corriente eléctrica (I) que circula por un conductor depende directamente del voltaje (V) que se aplica en sus extremos y, al mismo tiempo, disminuye si la resistencia (R) del conductor es mayor. Esta relación fue descubierta en 1827 por el físico alemán George Simon Ohm. En los circuitos CC, esta ley se usa para entender cómo se comportan las resistencias, las fuentes de voltaje y otros componentes. Es una herramienta clave para diseñar y analizar sistemas eléctricos y electrónicos simples.

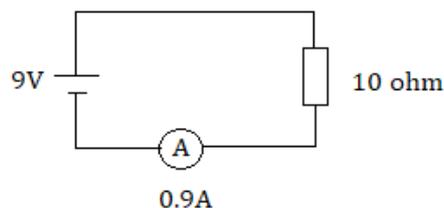
$$V = I \cdot R$$

Ejemplo: calcular la corriente que se genera en un circuito que posee una resistencia de  $10 \Omega$  y una fuente de voltaje de 9 V.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{9 \text{ V}}{10 \Omega} = 0,9 \text{ A}$$

**Figura 3**

*Circuito resultante de ejercicio de ley de Ohm*



*Nota: Elaboración propia*

### 1.3 Resistor

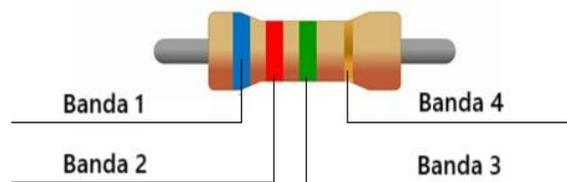
Es un dispositivo utilizado en los circuitos eléctricos cuya función es restringir el paso de la corriente eléctrica, es decir, sirve para regular la intensidad de corriente que circula, y transforma parte de la energía eléctrica en calor.

#### 1.3.1 Código de colores

En los resistores se pueden ubicar diferentes franjas de color, las cuales dependiendo de su ubicación tendrán un significado diferente, en la Figura 4, se puede identificar cada franja de color y en la Tabla 2 se presenta el significado del color dependiendo de la posición en donde se ubica.

**Figura 4**

*Identificación de las bandas de una resistencia*



*Nota: Elaboración propia*

**Tabla 2**

*Significado de cada banda de color en las resistencias*

COLOR	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3 (MULTIPLICADOR)	BANDA 4 (TOLERANCIA)
Negro	0	0	X1	± 1%
Marrón	1	1	X10	± 2%
Rojo	2	2	X100	
Naranja	3	3	X1000	
Amarillo	4	4	X10000	
Verde	5	5	X100000	± 0,5%
Azul	6	6	X1000000	± 0,25%
Violeta	7	7	X100000000	± 0,1%
Gris	8	8	X1000000000	± 0,05%
Blanco	9	9	X10000000000	

Dorado 	X0,1	± 5%
Plateado 	X0,01	± 10%
Ninguno		± 20%

Nota: elaboración propia

### 1.3.2 Resistencia en serie

Las resistencias en serie están conectadas una a continuación de otra, de modo que la corriente eléctrica pasa por cada una de ellas es la misma, pero el voltaje total se divide entre ellas. En la práctica interesa obtener la resistencia equivalente de dicha configuración, para lo cual se utiliza la siguiente expresión:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

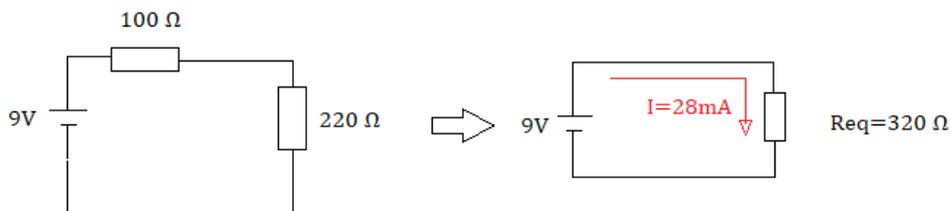
Ejemplo: se tiene un circuito serie con dos resistencias, una de 100  $\Omega$  y otra de 220  $\Omega$  y una fuente de 9 V. Calcular la corriente total del circuito.

$$R_{eq} = 100 \Omega + 220 \Omega = 320 \Omega$$

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{9 V}{320 \Omega} = 0,028 A = 28 mA$$

**Figura 5**

Ejercicio de resistencias en serie



Nota: Elaboración propia

### 1.3.3 Resistencia en Paralelo

Las resistencias en paralelo están conectadas de modo que sus terminales están en común, por lo que reciben el mismo voltaje. En este tipo de conexión, la corriente total se divide entre las diferentes ramas, y la resistencia equivalente disminuye respecto a cada una de las individuales.

La resistencia equivalente ( $R_{eq}$ ) de varias resistencias en paralelo se calcula mediante la expresión:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Ejemplo: una fuente de 12 V alimenta tres resistencias en paralelo de 100  $\Omega$ , 220  $\Omega$  y 130  $\Omega$ .

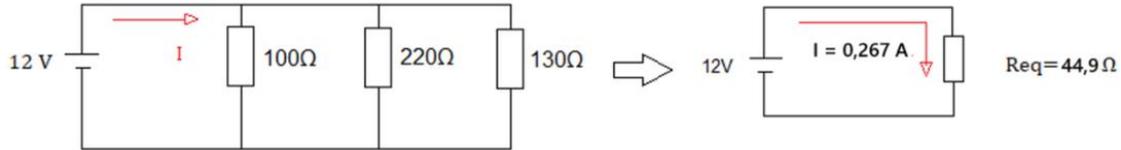
Determinar la corriente total suministrada por la fuente.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{100} + \frac{1}{220} + \frac{1}{130} = 0,0222377 \quad \rightarrow \quad R_{eq} = \frac{1}{0,0222377} = 44,96 \Omega$$

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{12 V}{44,96 \Omega} = 0,267 A$$

**Figura 6**

*Ejercicio de resistencias en paralelo*



*Nota: Elaboración propia*

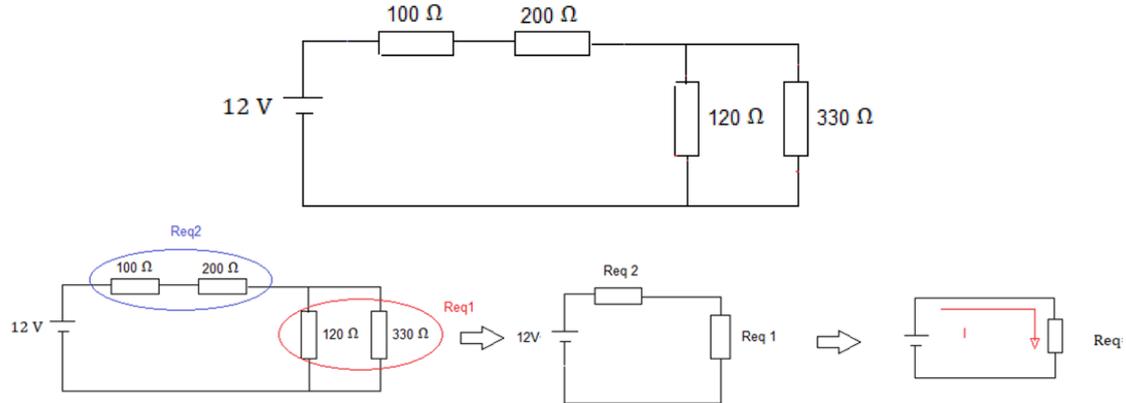
### 1.3.4 Circuitos mixtos

Un circuito mixto es aquel que combina conexiones de resistencias en serie y en paralelo en una misma red eléctrica. Este tipo de configuración permite mayor flexibilidad en el diseño de sistemas eléctricos, ya que aprovecha las propiedades de ambas conexiones básicas.

Ejemplo: se cuenta con un circuito mixto como se muestra en la Figura 7, calcular la corriente total que circula por el circuito.

**Figura 7**

*Circuito mixto*



*Nota: Elaboración propia*

$$R_{eq2} = 100 + 200 = 300 \Omega$$

$$\frac{1}{R_{eq1}} = \frac{1}{120} + \frac{1}{330} = 0,011$$

$$R_{eq1} = 88 \Omega$$

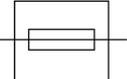
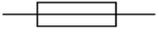
$$R_{eq} = 388 \Omega \quad \rightarrow \quad I = \frac{12 V}{388 \Omega} = 30,92 mA$$

### 1.4 Instalación de circuitos en zonas residenciales e industriales de circuitos eléctricos básicos

### 1.4.1 Símbolos y componentes de instalaciones residenciales e industriales

Los símbolos eléctricos y los componentes utilizados en instalaciones residenciales, comerciales e industriales son representaciones gráficas estandarizadas que permiten el diseño, montaje, mantenimiento y diagnóstico eficiente de sistemas eléctricos. Estas representaciones son fundamentales para interpretar planos eléctricos y para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento de las instalaciones.

**Tabla 3**  
*Simbología de instalaciones Eléctricas*

ELEMENTO	SÍMBOLO	ELEMENTO	SÍMBOLO
Interruptor		Toma de corriente bipolar con puesta a tierra	
Interruptor Bipolar		Punto de luz	
Interruptor doble		Lámpara fluorescente	
Conmutador		Caja general de protección	
Conmutador de cruzamiento		Fusible	

*Nota: Adaptado de Instalaciones eléctricas interiores residenciales (p. 21), por Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2018, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-SB-IE-Final.pdf>).*

### 1.4.2 Puesta a Tierra

La puesta a tierra es un sistema de seguridad eléctrica que se utiliza para proteger a las personas y a los equipos ante posibles fallas. Consiste en conectar ciertos elementos del sistema eléctrico directamente con el suelo a través de un cable, lo que permite que cualquier corriente no deseada se desvíe de manera segura hacia la tierra. Este sistema está formado por varios componentes: un electrodo enterrado (como una varilla de cobre, una malla o una placa metálica), un conductor que enlaza ese electrodo con el resto del sistema eléctrico, una barra o borne que sirve como punto

de conexión común, y las conexiones equipotenciales, que se encargan de mantener el mismo nivel de voltaje entre las partes metálicas, evitando diferencias peligrosas de potencial.

#### ***1.4.3 Aplicación de normativa eléctrica residencial e industrial***

En Ecuador, seguir las normas eléctricas es clave para garantizar que las instalaciones sean seguras, funcionen correctamente y sean eficientes. Por eso, la Norma Ecuatoriana de las Construcciones Instalaciones eléctricas – NEC – SB – IE, incluye un apartado específico que regula todo lo relacionado con las instalaciones eléctricas en viviendas, comercios e industrias. Esta normativa ayuda a proteger a las personas y sus bienes, asegurando que los cables tengan el tamaño adecuado, que las instalaciones cuenten con sistemas de puesta a tierra y que se usen dispositivos de protección apropiados. También establece que se deben utilizar materiales certificados y que las instalaciones deben revisarse periódicamente para mantener su buen estado. Cumplir con estas reglas no solo previene accidentes eléctricos, sino que también es obligatorio para respetar la legislación vigente en el país. Ver información en <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-SB-IE-Final.pdf>

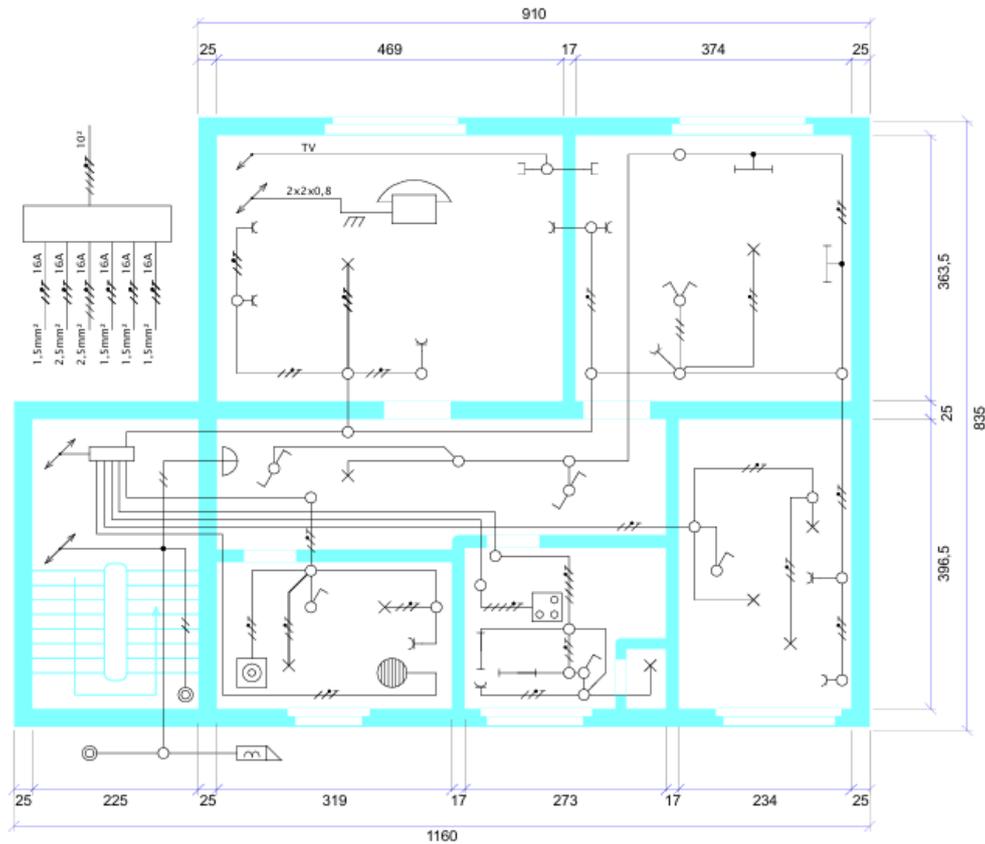
#### ***1.4.4 Interpretación y diseño de planos eléctricos industriales***

La interpretación y diseño de planos eléctricos es una competencia fundamental para técnicos y profesionales en electricidad. Consiste en comprender, elaborar y representar gráficamente las conexiones eléctricas de un proyecto residencial o industrial, respetando normativas técnicas y garantizando la funcionalidad, seguridad y facilidad de mantenimiento del sistema eléctrico.

Fases del diseño de un plano eléctrico

- Levantamiento del requerimiento del proyecto (espacios, equipos, cargas).
- Selección de tipo de instalación (empotrada, superficial, industrial).
- Dimensionamiento de circuitos y cálculo de protecciones.
- Elaboración de esquemas eléctricos y planos unifilares.
- Revisión normativa y validación técnica.

**Figura 8**  
*Ejemplo de plano eléctrico de vivienda*



Nota: Tomado de (Conдумex Cables,2009).

## 1.5 Teorema de resolución de circuitos

### 1.5.1 Divisor de tensión

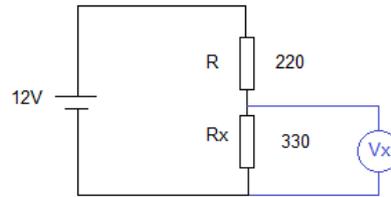
Es un tipo de circuito eléctrico que se utiliza para obtener una parte del voltaje total aplicado, haciendo uso de resistencias conectadas en serie. Este principio es comúnmente usado en aplicaciones como sensores, sistemas de instrumentación, electrónica analógica y como fuente de referencia de voltaje para otros componentes. Al conectar dos o más resistencias en serie, el voltaje se divide entre ellas en proporción al valor de resistencia. La diferencia de potencial en una resistencia específica ( $R_x$ ) puede determinarse usando la siguiente expresión.

$$V_x = V_t \cdot \left( \frac{R_x}{R_x + R} \right)$$

Ejemplo: calcular el voltaje en  $R_x$  del divisor de tensión de la Figura 9.

$$V_x = 12 V \cdot \left( \frac{330 \Omega}{220 \Omega + 330 \Omega} \right) = 6,54 V$$

**Figura 9**  
Ejercicio divisor de tensión



Nota: Elaboración propia

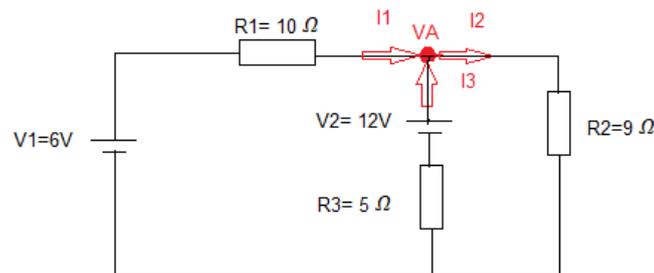
### 1.5.2 Ley de corrientes de Kirchhoff y su aplicación en nodos

La Ley de Corrientes de Kirchhoff, conocida como LCK, dice que en un punto donde se juntan varios cables o componentes de un circuito (lo que se denomina nodo), la cantidad de corriente que entra tiene que ser igual a la que sale. Esto sucede porque la carga eléctrica no se queda acumulada en ese punto, sino que siempre fluye, así que todo lo que entra debe salir.

$$\sum I_{\text{entrada}} = \sum I_{\text{salida}}$$

Ejemplo: aplicar la LCK al circuito de la Figura 10 y calcular las corrientes de cada rama.

**Figura 10**  
Ejercicio LCK



Nota: Elaboración propia

$$I_1 + I_2 = I_3$$

$$\frac{V_1 - V_A}{R_1} + \frac{V_2 - V_A}{R_3} = \frac{V_A}{R_2} \quad \rightarrow \quad \frac{6 - V_A}{10} + \frac{12 - V_A}{5} = \frac{V_A}{9}$$

$$\frac{6}{10} - \frac{V_A}{10} + \frac{12}{5} - \frac{V_A}{5} = \frac{V_A}{9} \quad \rightarrow \quad \frac{6}{10} + \frac{12}{5} = \frac{V_A}{9} + \frac{V_A}{10} + \frac{V_A}{5} \quad \rightarrow \quad 3 = 0,411 \cdot V_A$$

$$V_A = 7,3 \text{ V} \quad I_1 = -0,13 \text{ A} \quad I_3 = 0,94 \text{ A} \quad I_2 = 0,81 \text{ A}$$

El signo negativo en  $I_1$  indica que el sentido de la corriente es contrario.

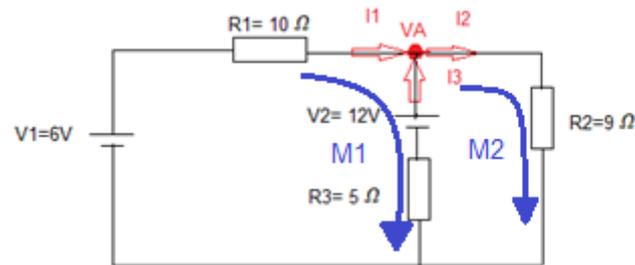
### 1.5.3 Ley de Voltajes de Kirchhoff y su aplicación en mallas

La Ley de Voltajes de Kirchhoff, conocida como LVK, dice que la suma de los incrementos o decrementos de potencial en un camino cerrado es cero. Esta ley se aplica en el análisis de mallas (o lazos) de un circuito para determinar las corrientes de rama, ayudando a resolver circuitos complejos de forma ordenada.

$$\sum V = 0$$

Ejemplo: calcular las corrientes que circulan por cada malla del circuito de la Figura 11.

**Figura 11**  
Ejercicio LVK



Nota: Elaboración propia

$$M1 \quad 0 = -6 + 10 \cdot I_1 + 12 - 5 \cdot (I_2 - I_1) \rightarrow -6 = 15 \cdot I_1 - 5 \cdot I_2 \rightarrow I_1 = \frac{5 \cdot I_2 - 6}{15}$$

$$M2 \quad 0 = -12 + 9 \cdot I_2 + 5 \cdot (I_2 - I_1) \rightarrow 12 = -5 \cdot I_1 + 14 \cdot I_2$$

Se reemplaza  $I_1$  en la ecuación de la malla M2 y se obtiene  $I_2$ :

$$12 = -5 \cdot \left( \frac{5 \cdot I_2 - 6}{15} \right) + 14 \cdot I_2 \rightarrow 12 = -1,66 \cdot I_2 + 2 + 14 \cdot I_2 \rightarrow I_2 = 0,81 \text{ A}$$

Se reemplaza  $I_2$  en la ecuación obtenida de la malla  $I_1$

$$I_1 = \frac{5 \cdot I_2 - 6}{15} = \frac{5 \cdot (0,81) - 6}{15} = -0,13 \text{ A}$$

El signo negativo indica que la dirección de la corriente es contraria a la considerada en el cálculo,

Finalmente obtenemos  $I_3$ :

$$I_3 = I_2 - I_1 = 0,81 \text{ A} - (-0,13 \text{ A}) = 0,94 \text{ A}$$

#### 1.5.4 Teorema de Thévenin

El Teorema de Thévenin establece que cualquier red lineal compuesta por resistencias, fuentes independientes y dependientes puede ser sustituida por un circuito equivalente formado por una sola fuente de voltaje ( $V_{TH}$ ) en serie con una resistencia ( $R_{TH}$ ), conectada a la carga. Este teorema facilita el análisis de circuitos complejos simplificándolos en modelos equivalentes

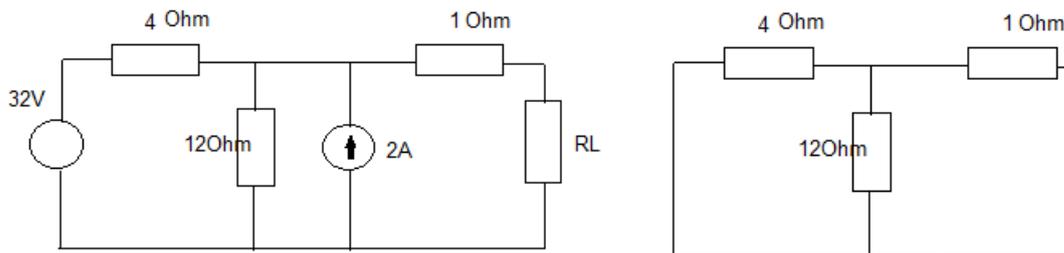
#### Pasos para aplicar el Teorema de Thévenin

- Identificar la carga y retirarla temporalmente del circuito (terminales abiertos).
- Calcular el voltaje de Thévenin  $V_{TH}$ , voltaje en los terminales abiertos.

- Calcular la resistencia de Thévenin  $R_{TH}$ , apagar todas las fuentes independientes (fuentes de voltaje se cortocircuitan y fuentes de corriente se abren), y calcular la resistencia vista desde los terminales.
- Dibujar el circuito equivalente con  $V_{TH}$  en serie con  $R_{TH}$  y volver a conectar la carga.

Ejemplo: hallar la resistencia del circuito equivalente de Thévenin en los extremos de RL del circuito de la Figura 12.

**Figura 12**  
*Ejercicio Thévenin*



*Nota: Elaboración propia*

Se halla  $R_{Th}$  apagando la fuente de tensión de 32 V (cortocircuito) y la fuente de corriente de 2 A (circuito abierto).

Solución:

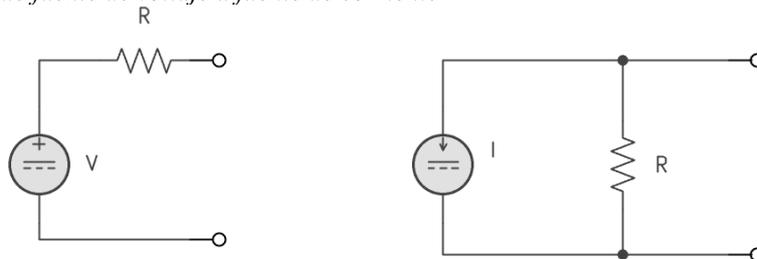
$$R_{th} = 4 \parallel 12 + 1 = \frac{(4) \cdot (12)}{16} + 1 = 4 \Omega$$

## 1.6 Transformación de fuentes y linealidad

### 1.6.1 Transformación de fuente de voltaje en fuente de corriente

La transformación de fuente permite convertir una fuente de voltaje ideal en serie con una resistencia en una fuente de corriente equivalente en paralelo con la misma resistencia, y viceversa (Figura 13).

**Figura 13**  
*Transformación de fuente de voltaje a fuente de corriente*



*Nota: Elaboración propia*

Esta equivalencia es válida en términos de comportamiento externo, es decir, ambas configuraciones generan la misma corriente y voltaje sobre una carga conectada. El valor de la fuente de corriente se obtiene aplicando la ley de Ohm.

$$I = \frac{V}{R}$$

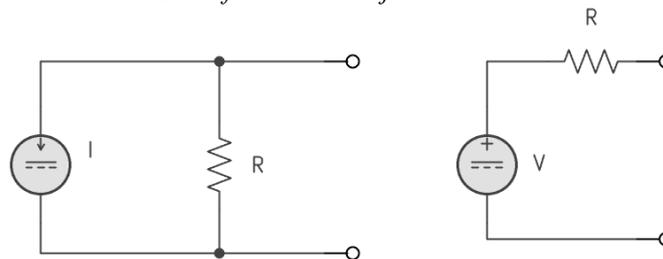
### 1.6.2 Transformación de fuente de corriente en fuente de voltaje

Consiste en reemplazar una fuente de corriente ideal en paralelo con una resistencia por una fuente de voltaje equivalente en serie con la misma resistencia (Figura 14). Esta transformación mantiene las mismas condiciones eléctricas externas para cualquier carga conectada a sus terminales. El valor de la fuente de voltaje se obtiene aplicando la ley de Ohm.

$$V = I \cdot R$$

**Figura 14**

*Transformación de fuente de corriente a fuente de voltaje*



*Nota: Elaboración propia*

### 1.6.3 Análisis de linealidad en componentes pasivos

Un componente eléctrico se considera lineal cuando la relación entre la corriente que circula por él y el voltaje aplicado es proporcional, es decir, si al duplicar el voltaje, la corriente también se duplica. Esto significa que cumple con la ley de Ohm y su comportamiento puede describirse con una ecuación sencilla. Además, los dispositivos lineales permiten aplicar reglas como la superposición, lo que hace más fácil entender y analizar su funcionamiento dentro de circuitos más complejos.

#### Componentes pasivos y su clasificación

Los componentes pasivos no generan energía, solo la almacenan, disipan o la transforman en calor. Se clasifican en:

- Lineales: su respuesta tensión-corriente es constante y proporcional.

- No lineales: su relación voltaje-corriente varía según las condiciones del circuito (Pérez & Ávila, 2021).

Ejemplo 1: verificación de linealidad en una resistencia

Una resistencia de  $1\text{ k}\Omega$  tiene aplicados los siguientes voltajes:  $2\text{ V}$ ,  $4\text{ V}$ ,  $6\text{ V}$ .

$$I_1 = \frac{2\text{ V}}{1\text{ k}\Omega} = 2\text{ mA} \quad I_2 = \frac{4\text{ V}}{1\text{ k}\Omega} = 4\text{ mA} \quad I_3 = \frac{6\text{ V}}{1\text{ k}\Omega} = 6\text{ mA}$$

#### ***1.6.4 Aplicaciones en el diseño de circuitos lineales***

El diseño de circuitos lineales se basa en la idea de que todos sus componentes, especialmente los pasivos como resistencias, capacitores e inductores responden de manera proporcional al voltaje y a la corriente que los atraviesa. Gracias a esta característica, es posible aplicar métodos analíticos como la Ley de Ohm, las Leyes de Kirchhoff y los teoremas de Thévenin y Norton, lo que facilita resolver y optimizar el circuito, así como anticipar su comportamiento bajo diferentes condiciones de trabajo.

Características de un circuito lineal

- Los parámetros eléctricos (resistencia, inductancia, capacitancia) son constantes.
- La respuesta del circuito es directamente proporcional a la excitación.
- Se puede aplicar el principio de superposición.
- Las señales de entrada y salida mantienen su forma (no hay distorsión armónica).
- Permiten análisis determinístico mediante ecuaciones diferenciales lineales (Pérez & Ávila, 2021).

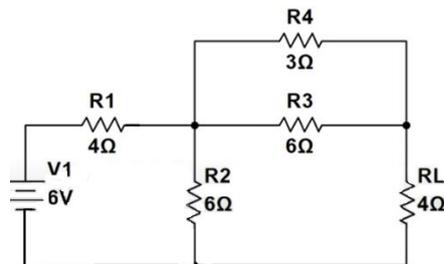
#### ***Actividades propuestas para la unidad***

1. En un circuito eléctrico alimentado por una batería de  $12\text{ V}$  se conectan dos resistencias en paralelo:  $R_1 = 4\ \Omega$  y  $R_2 = 6\ \Omega$ .
  - Calcular la resistencia equivalente del circuito.
  - Determinar la corriente total suministrada por la fuente.
2. Un circuito de corriente continua tiene tres resistencias conectadas de la siguiente manera:  $R_1 = 2\ \Omega$  y  $R_2 = 3\ \Omega$  en serie, y esta combinación está en paralelo con  $R_3 = 4\ \Omega$ . La fuente suministra  $10\text{ V}$ .

- Dibujar el circuito.
  - Calcular la resistencia total del circuito.
  - Determinar la corriente que pasa por cada rama.
3. Analizar el siguiente escenario: en una vivienda se quiere instalar un circuito con tres puntos de iluminación y dos tomacorrientes.
- Diseñar el diagrama unifilar del circuito con su respectivo interruptor termomagnético.
  - Seleccionar los calibres de conductor y protección adecuados según normativa para una instalación monofásica de 120 V.
4. Calcular el equivalente de Thévenin del siguiente circuito:

**Figura 15**

*Ejercicio de aplicación Thévenin*

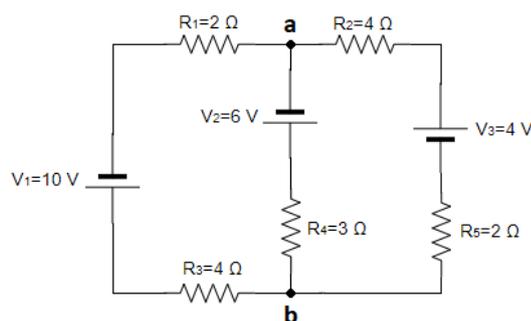


*Nota: Elaboración propia*

5. En el siguiente circuito, calcula las intensidades de cada una de sus ramas.

**Figura 16**

*Ejercicio de aplicación Leyes de Kirchhoff*



*Nota: Elaboración propia*

6. En un circuito eléctrico con una fuente de 15 se conectan dos resistencias en paralelo:

$$R_1=5 \Omega, R_2=10 \Omega$$

- Calcular la resistencia equivalente del circuito.
- Determinar la corriente total que entrega la fuente.
- Calcular la corriente que circula por cada resistencia.

7. Se tienen tres resistencias:  $R_1=8\ \Omega$ ,  $R_2=12\ \Omega$  y  $R_3=6\ \Omega$ .

Las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  están conectadas en paralelo, y esta combinación se conecta en serie con

$R_3$ . Una batería de 24 V alimenta el circuito.

- Dibujar el circuito.
- Calcular la resistencia total.
- Calcular la corriente total del circuito y el voltaje en cada resistencia.

## UNIDAD 2 INTRODUCCIÓN A SEMICONDUCTORES

### 2.1 Los semiconductores

Los semiconductores son materiales que poseen propiedades eléctricas intermedias entre los conductores y los aislantes. Esta característica única los convierte en la base fundamental de la electrónica moderna, ya que permiten controlar el flujo de corriente eléctrica de manera precisa.

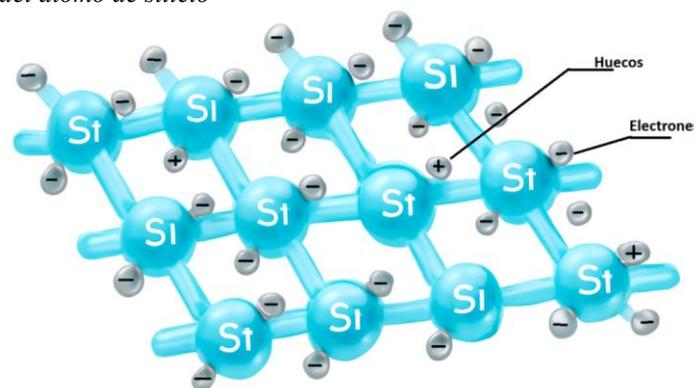
### 2.1.1 Características principales de un semiconductor

A diferencia de los conductores (como el cobre), que permiten el paso libre de electrones, y los aislantes que impiden dicho paso, los semiconductores tienen una conductividad eléctrica que puede ser modificada mediante diversas técnicas. Esta capacidad se debe a su estructura atómica y a la existencia de una banda prohibida entre la banda de valencia y la banda de conducción.

Los semiconductores más comúnmente usados son el silicio y el germanio. Su importancia radica en que, al doparlos con pequeñas cantidades de impurezas, se pueden crear materiales tipo N (con exceso de electrones) o tipo P (con déficit de electrones, es decir, con “huecos”). Esta manipulación permite fabricar dispositivos esenciales como diodos, transistores y circuitos integrados, que son la base de computadoras, teléfonos móviles, paneles solares y muchos otros dispositivos tecnológicos.

En la Figura 17 se muestra la estructura atómica de un átomo de silicio, los electrones están representados por pequeños círculos azules. Estos círculos simbolizan los electrones de valencia que participan en los enlaces covalentes entre los átomos.

**Figura 17**  
*Estructura atómica del átomo de silicio*



*Nota: Elaboración propia*

Los huecos son los espacios o lugares donde falta un electrón en la red cristalina. En la Figura 17, los huecos se representan como los puntos o espacios entre los círculos azules donde debería haber un electrón, es decir, las posiciones vacías entre los enlaces donde un electrón podría moverse para conducir electricidad.

### 2.1.2 Semiconductores Intrínsecos

Los semiconductores intrínsecos son materiales semiconductores puros, sin dopaje, compuestos principalmente por átomos de silicio (Si) o germanio (Ge), los cuales son los más utilizados en la industria electrónica. Su estructura atómica está formada por un solo tipo de átomo, lo que limita su conductividad eléctrica a temperatura ambiente. Sin embargo, al aplicar energía, algunos electrones pueden ser excitados a la banda de conducción, permitiendo la conducción de electricidad.

### ***2.1.3 Semiconductores Extrínsecos***

Son semiconductores modificados mediante el proceso de dopaje, que consiste en agregar impurezas para mejorar la conductividad eléctrica. Esto se hace incorporando átomos de elementos con diferentes números de electrones en su capa externa, lo que cambia las propiedades eléctricas del material.

### ***2.1.4 Semiconductor tipo N y tipo P***

Los semiconductores extrínsecos se clasifican en dos tipos:

- Semiconductor Tipo N: dopado con elementos de valencia 5 (como fósforo, arsénico, o antimonio), creando un exceso de electrones libres que actúan como portadores de carga negativa.
- Semiconductor Tipo P: dopado con elementos de valencia 3 (como boro, galio, o aluminio), creando huecos o faltas de electrones, que funcionan como portadores de carga positiva.

## **2.2 Aplicaciones de los diodos a circuitos de rectificación**

### ***2.2.1 Diodo semiconductor***

Es un dispositivo electrónico formado por la unión de dos materiales semiconductores con diferentes propiedades eléctricas: uno tipo P (con exceso de huecos o cargas positivas) y otro tipo N (con exceso de electrones o cargas negativas). Por eso se le llama también un dispositivo de unión PN, cuyo símbolo se presenta en la Figura 18:

**Figura 18**  
*Símbolo del diodo semiconductor*



*Nota: Elaboración propia*

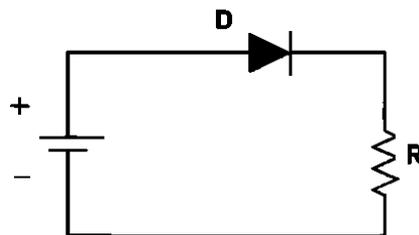
En la unión PN, los electrones del material tipo N tienden a combinarse con huecos del material tipo P, generando una zona de agotamiento donde no hay portadores libres. Esta zona actúa como una barrera que impide el paso de corriente eléctrica bajo condiciones normales.

### 2.2.2 Polarización del Diodo

**Polarización directa:** se conecta el terminal positivo de la fuente al material tipo P y el negativo al material tipo N. Esto reduce la barrera de potencial, permitiendo que los electrones y huecos se muevan a través de la unión y, por ende, que la corriente fluya (el diodo conduce).

**Figura 19**

*Polarización directa del diodo*

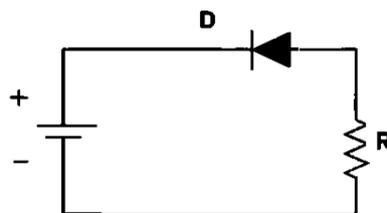


*Nota: Elaboración propia*

**Polarización inversa:** se conecta el terminal positivo al material tipo N y el negativo al material tipo P. Esto aumenta la barrera de potencial, impidiendo el flujo de portadores de carga, y por tanto la corriente es prácticamente nula (el diodo no conduce).

**Figura 20**

*Polarización inversa del diodo*



*Nota: Elaboración propia*

La corriente que pasa a través del diodo en polarización directa se describe aproximadamente con la ecuación del diodo ideal (ecuación de Shockley):

$$I = I_S \cdot (e^{\frac{qV}{nkT}} - 1)$$

Donde:

- $I$  es la corriente a través del diodo,
- $I_S$  es la corriente de saturación inversa (muy pequeña),
- $q$  es la carga del electrón ( $1,6 \times 10^{-19}$  C),

- V es el voltaje aplicado al diodo,
- n es el factor de idealidad (entre 1 y 2),
- k es la constante de Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K),
- T es la temperatura absoluta en Kelvin.

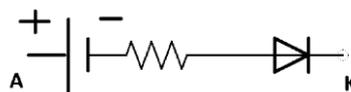
Esta fórmula muestra que la corriente crece exponencialmente cuando se tiene polarización directa y es prácticamente cero cuando se tiene polarización inversa.

### 2.2.3 Circuito equivalente del diodo

**Modelo ideal:** el circuito ideal de un diodo semiconductor se caracteriza por su comportamiento perfecto, sin ninguna pérdida de energía. En polarización directa, el diodo conduce una vez que el voltaje supera el umbral de aproximadamente 0,7 V para el silicio y 0,3 V para el germanio, se comporta como un interruptor cerrado, por lo que tiene una resistencia cero. En polarización inversa, el diodo no permite el paso de corriente, actuando como un interruptor abierto, es decir, con una resistencia infinita. Esto hace que se pueda simplificar el análisis de circuitos.

**Modelo real:** el circuito real del diodo semiconductor presenta características más complejas, aunque el diodo real también permite la conducción de corriente cuando está en polarización directa, existe una caída de voltaje característica (0,7 V para silicio). En polarización inversa, aunque la corriente de fuga es mínima, no es nula. Además, el diodo real tiene una resistencia interna pequeña en conducción y presenta una pequeña corriente de fuga en corte, especialmente a altas temperaturas. También posee un voltaje de ruptura en tensión inversa.

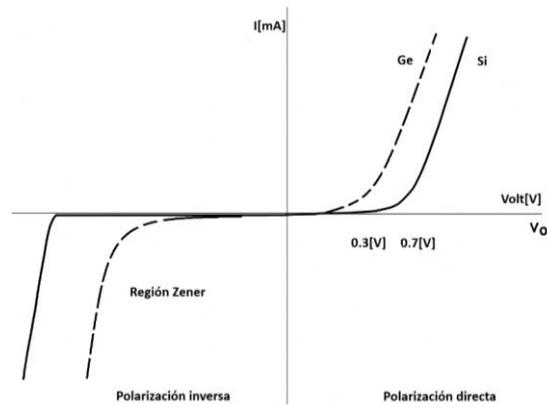
**Figura 21**  
*Modelo real del diodo*



*Nota: Elaboración propia*

En la Figura 22 se muestra la curva característica del diodo semiconductor.

**Figura 22**  
*Curva característica del diodo*



Nota: Elaboración propia

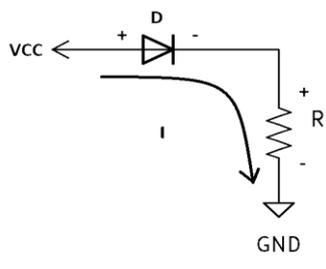
Los diodos son componentes electrónicos esenciales que permiten el flujo de corriente en una sola dirección. Su principal aplicación es la rectificación de corriente alterna a corriente continua, utilizada en fuentes de alimentación.

### 2.2.4 Configuraciones en serie – paralelo

**Circuitos en Serie:** en un circuito en serie el diodo forma una única trayectoria con la carga eléctrica. Puede servir como protección para polarización inversa, así como rectificar el voltaje CA en CC.

**Figura 23**

Aplicaciones del diodo: Circuito serie



$$V_{CC} - V_D - V_R = 0$$

$$V_R = IR; I_D = I_R = I$$

$$I = \frac{V_{CC} - V_D}{R}$$

Nota: Elaboración propia

Ejemplo: considerando que  $V_{CC} = 8 \text{ V}$  y  $R = 1 \text{ k}\Omega$ , determine  $V_D$ ,  $V_R$ , e  $I_D$ .

$$V_D = 0,7 \text{ V}$$

$$I = 7,3 \text{ mA}$$

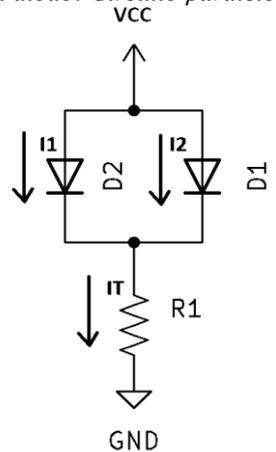
$$I = \frac{8 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega}$$

$$I = I_D$$

$$V_R = 7,3 \text{ mA} \cdot 1 \text{ k}\Omega = 7,3 \text{ V}$$

**Circuitos en Paralelo:** en un circuito en paralelo, los diodos se conectan de forma que la corriente puede tomar múltiples caminos. Esta configuración se utiliza cuando se requiere dividir la corriente entre varios componentes, proporcionando una mayor flexibilidad y capacidad de manejo de carga.

**Figura 24**  
Aplicaciones del diodo: Circuito paralelo



Donde:

$$V_{D1} = V_{D2}$$

$$I_1 = I_2$$

$$I_T = I_1 + I_2$$

Nota: Elaboración propia

Ejemplo: considerando  $V_{cc} = 10\text{ V}$ , y  $R1 = 2.7\text{ k}\Omega$ , determinar  $I_T$ ,  $I_1$ , e  $I_2$ .

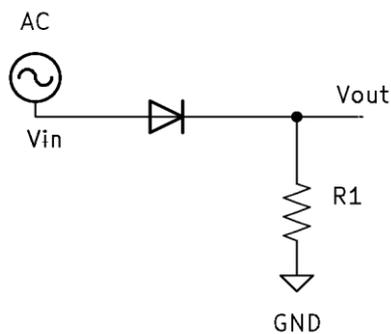
$$I_T = \frac{V_{R1}}{R1} = \frac{10\text{ V} - 0,7\text{ V}}{2,7\text{ k}\Omega} = 3,4\text{ mA}$$

$$I_1 = I_2 = \frac{I_T}{2} = \frac{3,4\text{ mA}}{2} = 1,7\text{ mA}$$

### 2.2.5 Rectificadores de Media Onda

Es un circuito electrónico que emplea un diodo para convertir la CA en CC. Como la corriente alterna tiene dos semiciclos, durante la mitad positiva del ciclo, el diodo conduce (polarización directa) y la corriente fluye; en la mitad negativa, el diodo bloquea el flujo, produciendo una señal pulsante de corriente continua (Figura 25 y Figura 26).

**Figura 25**  
Rectificador de media onda



$$V_{DC} = 0,318 \cdot V_P$$

Siendo:

$$V_{DC} = \text{Voltaje promedio DC}$$

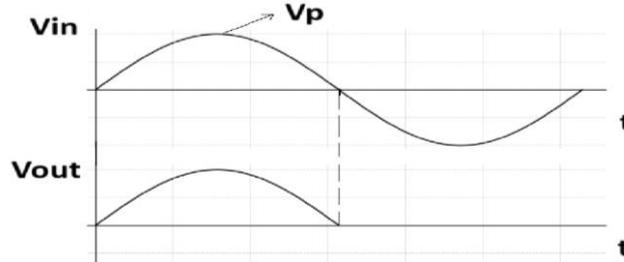
$$V_P = \text{Voltaje pico}$$

Nota: Elaboración propia

En la Figura 26 se presenta el voltaje a la entrada y a la salida del circuito:

**Figura 26**

*Voltajes entrada – salida de un rectificado de media onda*



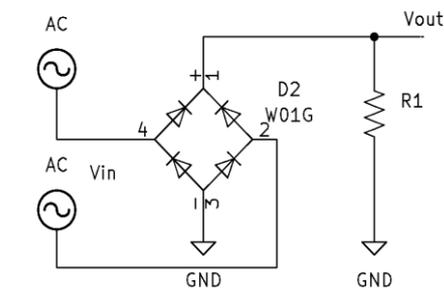
*Nota: Elaboración propia*

### 2.2.6 Rectificadores de Onda Completa

El rectificador de onda completa al igual que el de media onda, convierte CA y en CC, pero mejora la eficiencia al utilizar tanto los dos semiciclos de la señal CC. Esto se logra mediante la configuración de diodos en puente o mediante un transformador con derivación central y dos diodos. En esta configuración, los diodos conducen los semiciclos alternadamente, permitiendo un flujo continuo de corriente pulsante con menos interrupciones, resultando en una señal CC más suave y eficiente.

**Figura 27**

*Rectificador de onda completa*



Siendo:

$$V_{DC} = 0,636 \cdot V_p$$

$$V_{DC} = \text{Voltaje promedio DC}$$

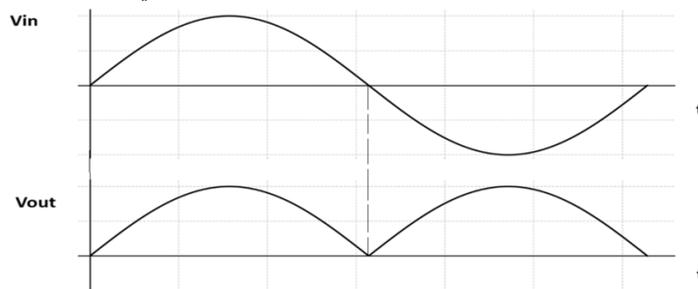
$$V_p = \text{Voltaje pico}$$

*Nota: Elaboración propia*

En la Figura 28 se presenta el voltaje a la entrada y salida del circuito:

**Figura 28**

*Voltajes entrada – salida de un rectificado de media onda*



*Nota: Elaboración propia*

## 2.3 Fuentes de alimentación

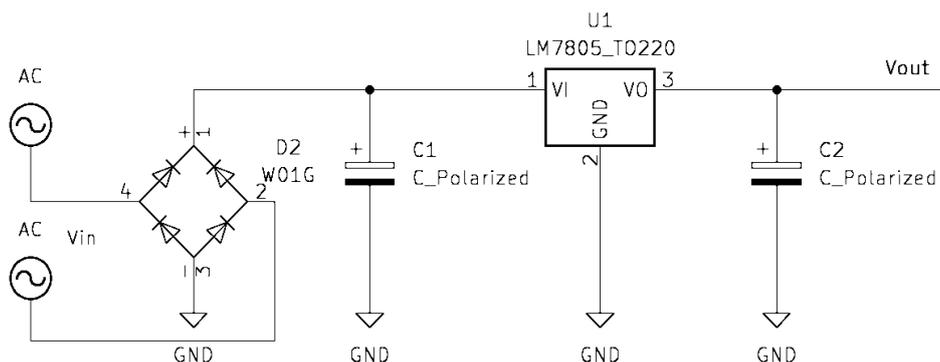
En los sistemas electrónicos, la fuente de alimentación es un sistema esencial, ya que suministra la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de cargas eléctricas. Las fuentes pueden ser reguladas o variables, y ambas emplean diodos y rectificadores para convertir y controlar la energía eléctrica.

### 2.3.1 Fuentes de alimentación reguladas

Una fuente regulada está diseñada para proporcionar un voltaje de salida constante y estable, independientemente de las variaciones en la carga o en el voltaje de entrada. Esto es crucial para evitar daños en los componentes electrónicos y asegurar un rendimiento confiable. Las fuentes reguladas utilizan diodos para la rectificación de corriente alterna a continua, y componentes adicionales como reguladores lineales o conmutados para mantener la estabilidad del voltaje.

**Figura 29**

*Fuente reguladora de voltaje a 5voltios*



*Nota: Elaboración propia*

Fundamentalmente tiene las siguientes etapas:

- **Rectificación:** mediante diodos rectificadores la fuente convierte la corriente alterna en una señal continua pulsante.
- **Filtrado:** suavizan esta señal para eliminar fluctuaciones.
- **Regulación:** son circuitos reguladores que estabilizan el voltaje a un nivel deseado, compensando cambios en la carga o en la tensión de entrada.

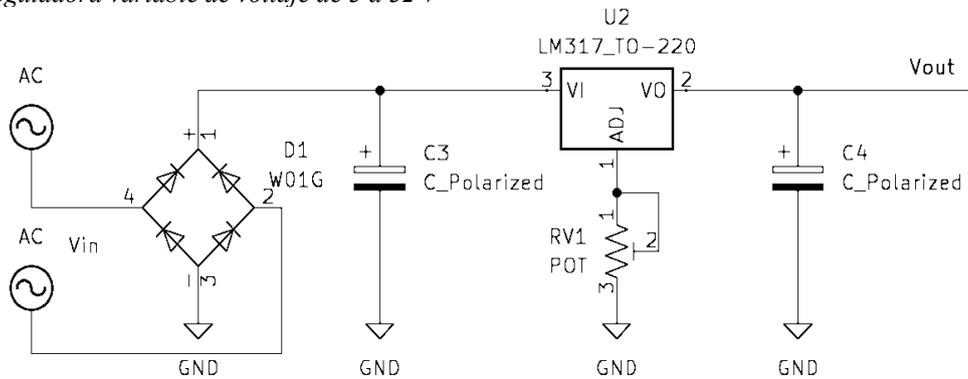
### 2.3.2 Fuentes de Alimentación Variables

Las fuentes variables trabajan igual que una fuente regulada, pero, además, permiten ajustar el voltaje de salida dentro de un rango específico, son útiles en los laboratorios para realizar pruebas y aplicaciones donde se requiere un control preciso del voltaje para diferentes dispositivos o condiciones.

Estas fuentes incluyen un control ajustable que puede variar la tensión de salida manteniendo una regulación adecuada para evitar picos o caídas bruscas.

**Figura 30**

*Fuente reguladora variable de voltaje de 3 a 32 V*



*Nota: Elaboración propia*

**Actividades propuestas para la unidad**

1. Se tienen 2 diodos de silicio (Si) en serie con una resistencia de 1 k $\Omega$ , conectados a una fuente de 10 V. Determinar la corriente total y voltaje en la resistencia.
2. Rectificador de media onda y onda completa

Para los siguientes circuitos armar en el protoboard los siguientes circuitos y medir el voltaje de salida con un osciloscopio.

- Rectificador de media onda
- Rectificador de onda completa (con transformador de derivación central o puente de diodos).

Calcular el voltaje promedio en la carga para ambos circuitos. Dibuja las formas de onda de entrada y salida.

## UNIDAD 3: TRANSISTORES

### 3.1 Transistor de unión bipolar BJT

El descubrimiento del transistor a principios del siglo XX marcó el comienzo de la era de la electrónica, ya que todos que tenemos en la actualidad funciona a base de transistores.

#### 3.1.1 Características físicas y modo de operación

El transistor BJT (Bipolar Junction Transistor) hace referencia al hecho de que en la conducción de la corriente intervienen los dos tipos de portadores (electrones y huecos). El termino junction (unión) se refiere a la estructura del dispositivo, ya que tiene dos uniones PN en el transistor y mediante la polarización de estas uniones se controla el funcionamiento del dispositivo.

El transistor es un dispositivo de tres zonas o capas, se puede tener una zona de material tipo N en medio de dos zonas de material tipo P, en este caso se denomina transistor PNP, o bien tener una zona tipo P con dos zonas tipo N a cada lado, en cuyo caso se tiene un transistor NPN.

**Figura 31**

*Estructura del transistor BJT*



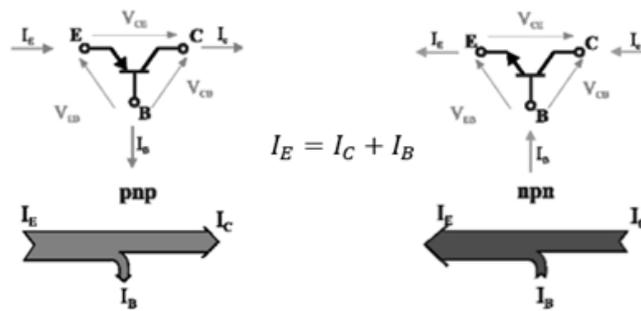
*Nota: Elaboración propia*

La zona central se denomina base (B), y los extremos emisor (E) y colector (C). La zona de emisor es la más dopada de las 3, es la zona encargada de “emitir” o inyectar portadores mayoritarios hacia la base. Huecos en el caso de un transistor PNP o electrones en el caso del transistor NPN.

La base tiene un nivel de dopado inferior al de la zona de emisor, por ende, tiene un espesor muy inferior al de las capas exteriores, su función es la de dejar pasar la mayor parte posible de portadores inyectados por el emisor hacia el colector.

La zona de colector, como su propio nombre indica es la encargada de recoger o “colectar” los portadores que inyectados por el emisor han sido capaces de atravesar la base. Es la zona con un nivel de dopado inferior de las tres. En la Figura 32 aparecen los símbolos que se utilizan para la representación del transistor de unión bipolar.

**Figura 32**  
Sentidos de tensiones y corrientes en el BJT



Nota: Elaboración propia

### Zonas de operación

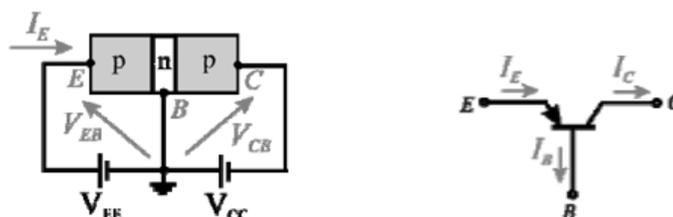
En el caso del diodo semiconductor de la unión PN tiene dos posibilidades de polarización, por lo que se definen dos zonas de trabajo: en directa y en inversa. En el caso del transistor, éste tiene dos uniones, una unión entre las zonas de emisor y base (unión base-emisor BE) y otra unión entre las zonas de base y colector (unión base colector BC), cada una de las cuales puede ser polarizada en las dos formas mencionadas anteriormente, lo cual permite obtener 3 zonas de trabajo:

- **Zona de saturación:** las dos junturas polarizadas directamente.
- **Zona activa normal:** juntura BE polarizada directamente y la juntura BC inversamente.
- **Zona de corte:** ambas junturas polarizadas inversamente.

### 3.1.2 Configuración Base Común

Es una configuración en la que la base es común para el circuito de entrada y salida. Esta configuración se caracteriza por tener una impedancia de entrada baja y una impedancia de salida alta. Las polaridades de tensiones y corrientes se muestran en la Figura 33.

**Figura 33**  
Configuración Base Común



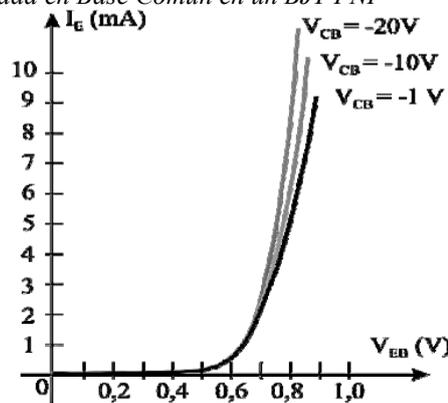
Nota: Elaboración propia

En las curvas características de entrada en base común se representa

$$I_E = f(V_{EB}, V_{CB})$$

Estas curvas aparecen representadas en la Figura 34, la corriente  $I_E$  varía proporcionalmente al  $V_{EB}$ , sin embargo, la relación entre estas dos variables se ven influenciada por la tensión que se tiene a la salida ( $V_{CB}$ ), por lo tanto, se tiene una familia de curvas en función de la tensión  $V_{CB}$ .

**Figura 34**  
Curvas Características de Entrada en Base Común en un BJT PNP

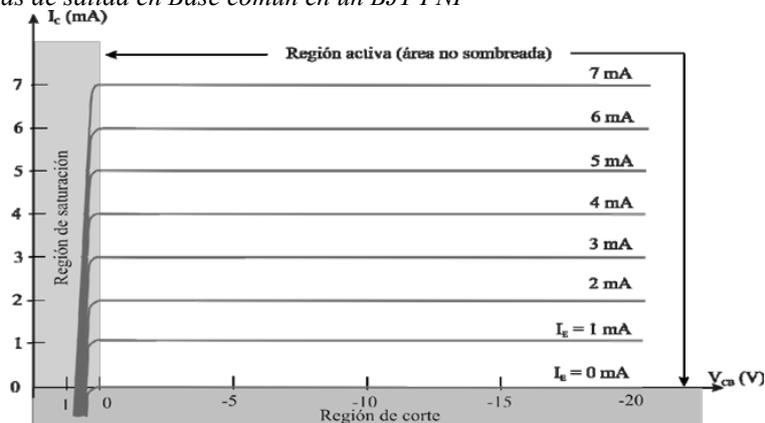


*Nota: Elaboración propia*

En las curvas características de salida en base común se representa:

$$I_C = f(V_{CB}, I_E)$$

**Figura 35**  
Curvas características de salida en Base común en un BJT PNP



*Nota: Elaboración propia*

### 3.1.3 Configuración Emisor Común

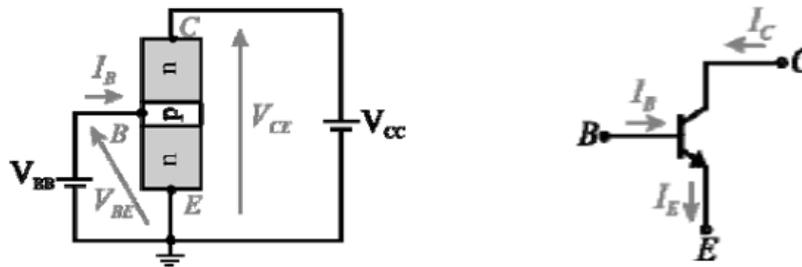
Es una configuración en la que el emisor es común para el circuito de entrada y salida. Esta configuración se caracteriza por tener una impedancia de entrada alta y una impedancia de salida baja.

En la Figura 36 aparecen representados las polaridades de tensiones y corrientes.

En las curvas características de entrada en base común se representa

$$I_B = f(V_{BE}, V_{CE})$$

**Figura 36**  
Configuración Emisor Común



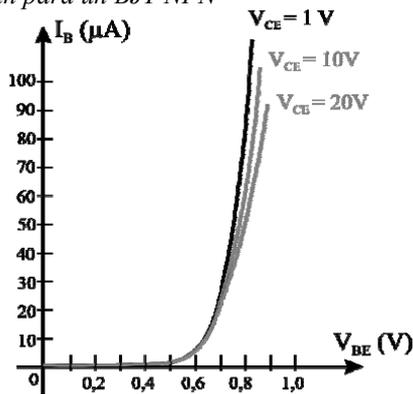
Nota: Elaboración propia

En la Figura 37 se ve la relación directamente proporcional de  $I_B$  con  $V_{BE}$ , sin embargo, cambios del  $V_{CE}$  genera pequeñas variaciones, por lo que se tiene una familia de curvas en función de  $V_{CE}$ .

En las curvas características de salida en emisor común se representa:

$$I_C = f(V_{CE}, I_B)$$

**Figura 37**  
Curvas Características de Entrada en Emisor Común para un BJT NPN



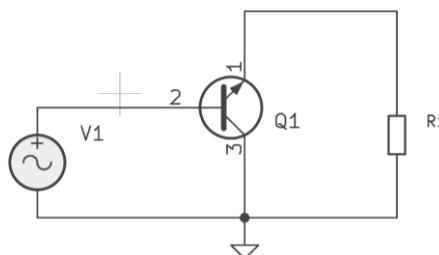
Nota: Elaboración propia

### 3.1.4 Configuración Colector Común

Es una configuración en la que el colector es común para el circuito de entrada y salida. Esta configuración se caracteriza por tener una impedancia de entrada alta y una impedancia de salida baja.

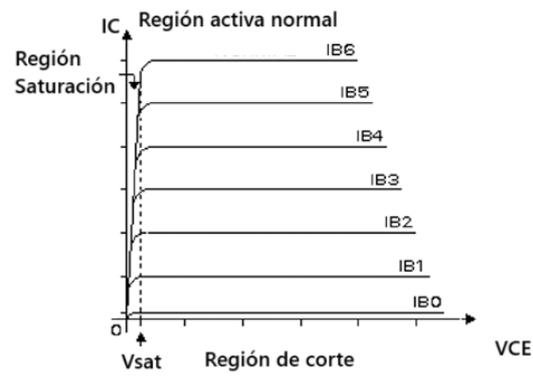
En la Figura 39 aparecen representados las polaridades de tensiones y corrientes.

**Figura 39**  
Configuración Colector Común



Nota: Elaboración propia

**Figura 38**  
Curvas características de salida en Emisor común en un BJT NPN



Nota: Elaboración propia

Las características de salida son las mismas que las del Emisor común.

### 3.2 Circuitos de polarización del transistor

La polarización del transistor consiste en aplicar las tensiones adecuadas a las uniones de BE y BC que permitan situar al transistor en la región de trabajo adecuada a la aplicación de interés. Por ejemplo, si se requiere usar al transistor como amplificador, la zona de trabajo debe ser la activa normal (zona dónde se tiene un comportamiento más o menos lineal).

#### 3.2.1 Polarización Fija

La polarización fija es la más sencilla, sin embargo, es la más inestable ante las variaciones de beta.

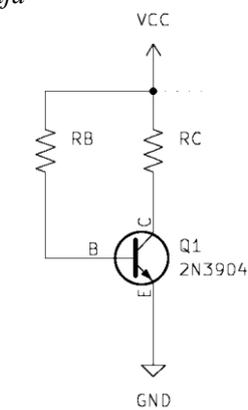
Siendo beta:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

La polarización fija solo se usa en la configuración emisor común, ya que en la configuración base común cortocircuita la entrada, y en la configuración colector común cortocircuita la salida.

**Figura 40**

*Polarización fija*



$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

$$I_E = I_C + I_B$$

$$V_{BE} = 0,7 [v]$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_{CQ} = \beta \cdot I_{BQ}$$

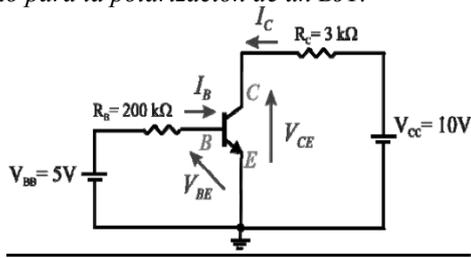
$$V_{CEQ} = V_{CC} - R_C \cdot I_{CQ}$$

*Nota: Elaboración propia*

#### 3.2.2 Polarización de emisor

Consiste en polarizar la juntura BE directamente y la BC inversamente.

**Figura 41**  
Circuito para la polarización de un BJT.

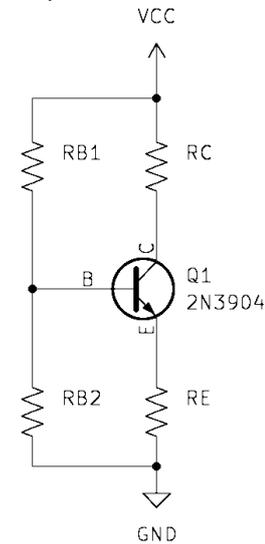


Nota: Elaboración propia

### 3.2.2 Polarización por división de tensión

La polarización por divisor de voltaje es la polarización más estable respecto al punto de trabajo Q. Se puede usar en todas las configuraciones del transistor BJT.

**Figura 42**  
Polarización por divisor de tensión



Nota: Elaboración propia

### 3.2.3 Polarización de realimentación del colector

Es un circuito sencillo y rápido, y presenta mejor estabilidad que la polarización fija y que la polarización en emisor, pero menor que la polarización por divisor de voltaje. Esta polarización solo se puede usar en la configuración emisor común, ya que en la configuración base común cortocircuita la entrada, y en la configuración colector común cortocircuita la salida.

Malla de entrada:

$$V_{BB} = R_B \cdot I_B + V_{BE}$$

Malla de salida

$$V_{CC} = R_C \cdot I_C + V_{CE}$$

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

$$I_E = I_C + I_B$$

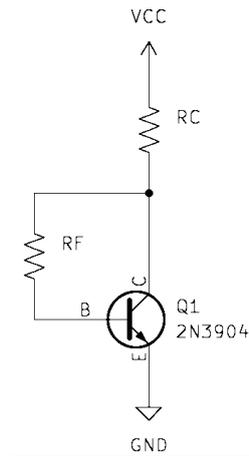
$$V_{BE} = 0,7 [v]$$

$$I_{BQ} = \frac{R_{B2} \cdot V_{CC} - (R_{B1} + R_{B2}) \cdot V_{BE}}{R_{B1} \cdot R_{B2} + R_E \cdot (\beta + 1) \cdot (R_{B1} + R_{B2})}$$

$$I_{CQ} = \beta \cdot I_{BQ}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - \left[ R_C + R_E \cdot \frac{(\beta + 1)}{\beta} \right] \cdot I_{CQ}$$

**Figura 43**  
*Polarización de realimentación de colector*



*Nota: Elaboración propia*

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

$$I_E = I_C + I_B$$

$$V_{BE} = 0,7 [V]$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_F + R_C \cdot (\beta + 1)}$$

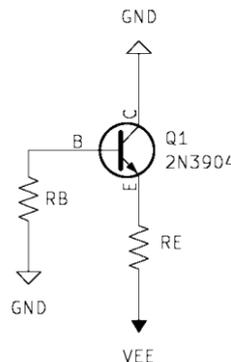
$$I_{CQ} = \beta \cdot I_{BQ}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - R_C \cdot (\beta + 1) \cdot I_{BQ}$$

### 3.2.4 Configuración emisor seguidor

Se deja el análisis al estudiante.

**Figura 44**  
*Configuración emisor seguidor*



*Nota: Elaboración propia*

## 3.3 El transistor FET y transistor MOSFET

Las siglas FET vienen de Field Effect Transistor y su traducción al español es Transistor de Efecto de Campo, el cual se controla a través de un voltaje aplicado a uno de sus terminales a diferencia del transistor BJT que lo realiza a través de corriente.

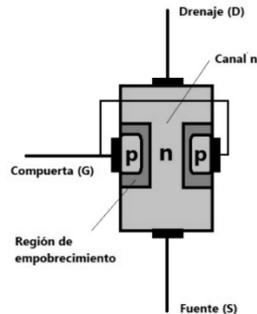
### 3.3.1 Estructura y Funcionamiento de los FET y MOSFET

En varias aplicaciones electrónicas se emplean los FET, especialmente la Electrónica Digital, debido a su buena respuesta en frecuencia, ya que permite alcanzar mayores velocidades de procesamiento para

diversas prestaciones de los dispositivos, existen transistores de efecto de campo de canal N como se indica en el Figura 45 y de canal P. (Pleite, Vergaz, & Ruiz, 2009)

**Figura 45**

*Estructura Interna de un Transistor de Efecto de Campo Canal N*

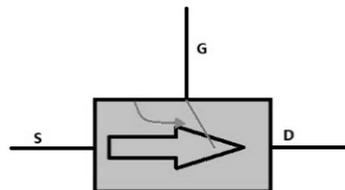


*Nota: Elaboración propia*

Un transistor de Efecto de campo es un dispositivo que consta de tres terminales, el primer terminal denominado puerta o gate (G), drenador o drain (D) y surtidor o fuente (S). El principio de funcionamiento puede describirse en la Figura 46 en donde existen unos portadores mayoritarios que son emitidos desde la fuente S en dirección al drenador D, siendo el terminal de puerta el que regule este flujo de corriente.

**Figura 46**

*Representación esquemática idealizada de un transistor FET.*



*Nota: Elaboración propia*

Se usa solo un tipo de portadores, bien electrones o bien huecos, cuyo paso por el canal estará regulado por la tensión que se aplique en la puerta, la cual genera un campo eléctrico en el canal para hacerlo más o menos grande. Si son electrones es un FET de canal N, y si son huecos es un FET de canal P.

El MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor) es un tipo específico de FET, y el más usado en la actualidad, especialmente en electrónica digital y de potencia. Tiene una capa de óxido que aísla eléctricamente la compuerta del canal, es más eficiente y rápido que un FET antiguo.

Algunas de las características que se pueden mencionar sobre el FET son:

- Alta impedancia de entrada.

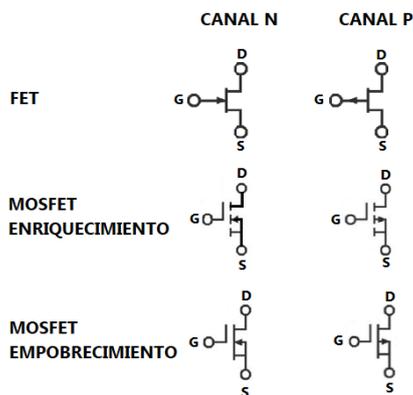
- Las ganancias de voltaje de CA típicas para amplificadores de BJT son mucho mayores que para los FET.
- Los FET son más estables a la temperatura que los BJT.
- Son más pequeños que los BJT, lo que los hace particularmente útiles en chips de circuitos integrados (CI).
- La flecha en el símbolo de los JFET o de los MOSFET de canal n siempre apunta hacia el centro del símbolo, en tanto que la de un dispositivo de canal p siempre lo hace hacia fuera del centro del símbolo como se indica en la Figura 47.

### Zonas de operación

Las zonas de operación en que trabajan los Transistores de Efecto de campo son 3 (Robledo, 2020), similares a los transistores BJT, se las representa en la Figura 48 y son:

Figura 47

Simbología de los transistores FET y MOSFET.

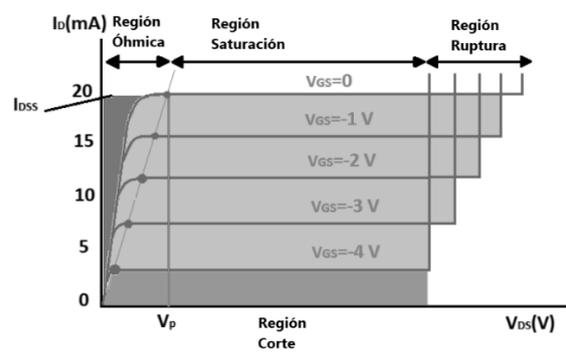


Nota: Elaboración propia

- **Zona de Corte:** es donde el transistor está apagado, lo que significa que no existe corriente entre Drenaje y la Fuente.
- **Zona Óhmica:** el transistor comienza a presentar cierta resistencia a la corriente de drenador ( $I_D$ ), que empieza a fluir del drenador a la fuente. La corriente que fluye a través del JFET es linealmente proporcional al voltaje aplicado.
- **Zona de Saturación:** cuando el voltaje de drenaje-fuente alcanza un valor tal que la corriente que fluye a través del dispositivo es constante con el voltaje de drenaje-fuente y varía solo con el voltaje de compuerta-fuente, se dice que el dispositivo está en la región de saturación.

Figura 48

Regiones de Operación de un Transistor de Efecto de Campo



Nota: Elaboración propia

- **Zona de Ruptura:** cuando el voltaje de drenaje a fuente,  $V_{DS}$ , excede el valor de umbral máximo, eso hace que la región de agotamiento se rompa, el JFET pierde su capacidad de resistir corriente y la corriente de drenaje aumenta indefinidamente.

### 3.3.2 Mecanismo de control de la corriente mediante la puerta en un FET y MOSFET

La ecuación de Shockley se emplea los FET y a los MOSFET de tipo empobrecimiento para relacionar sus cantidades de entrada y salida:

$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2$$

Para los MOSFET tipo enriquecimiento la siguiente ecuación varía un poco y se utilizan parámetros para cálculo de  $k$  que vienen dados en el datasheet del transistor.

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_T)^2$$

$$k = \frac{I_{D(on)}}{(V_{GS(on)} - V_T)^2}$$

### 3.3.3 Circuitos con FET y MOSFET

#### Configuración de polarización fija

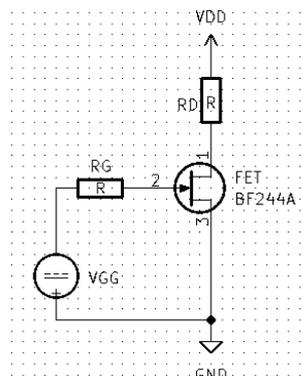
Para transistores de tipo FET se tienen las siguientes ecuaciones y la conexión acorde a la Figura 49.

$$V_{GS} = -V_{GG}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot R_D$$

**Figura 49**

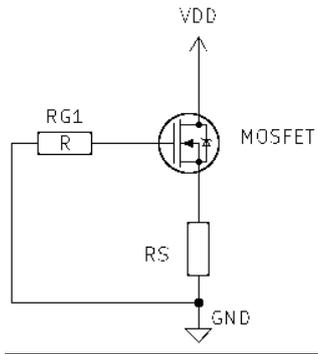
*Polarización fija de un FET*



*Nota: Elaboración propia*

Para transistores de tipo MOSFET tipo empobrecimiento se tienen las siguientes ecuaciones y la conexión acorde a la Figura 50.

**Figura 50**  
*Polarización fija de un MOSFET empobrecimiento*



$$V_{GS} = V_{GG}$$

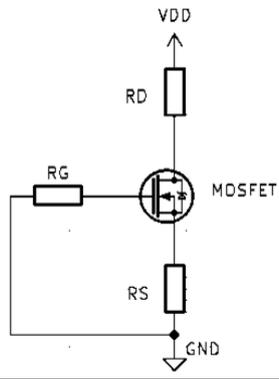
$$V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot R_S$$

*Nota: Elaboración propia*

### Configuración de auto polarización

Para transistores de tipo FET se tienen las siguientes ecuaciones y la conexión acorde a la Figura 51.

**Figura 51**  
*Auto polarización de un FET*



$$V_{GS} = -I_D \cdot R_S$$

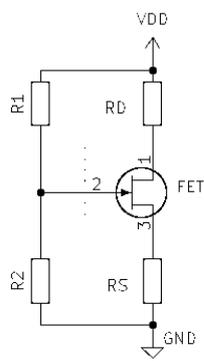
$$V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot (R_D + R_S)$$

*Nota: Elaboración propia*

### Configuración por medio de divisor de Voltaje

Para transistores de tipo FET se tienen las siguientes ecuaciones y la conexión acorde a la Figura 52.

**Figura 52**  
*Polarización por medio de un divisor de voltaje de un FET*



$$V_{GS} = \frac{R_2 \cdot V_{DD}}{R_1 + R_2}$$

$$V_{GS} = V_G - I_D \cdot R_S$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot (R_D + R_S)$$

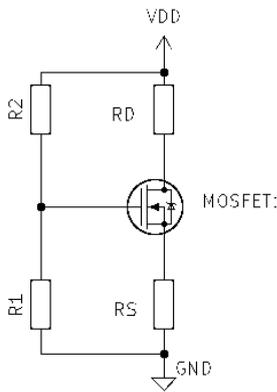
*Nota: Elaboración propia*

Para transistores de tipo MOSFET tipo empobrecimiento se tienen las siguientes ecuaciones y la conexión acorde a la Figura 53.

**Figura 53**

*Polarización por medio de un divisor de voltaje de un*

*MOSFET empobrecimiento*



$$V_{GS} = \frac{R_2 \cdot V_{DD}}{R_1 + R_2}$$

$$V_{GS} = V_G - I_D \cdot R_S$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot (R_D + R_S)$$

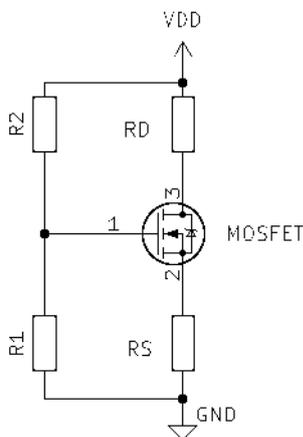
*Nota: Elaboración propia*

Para transistores de tipo MOSFET tipo enriquecimiento se tienen las siguientes ecuaciones y la conexión acorde a la Figura 54.

**Figura 54**

*Polarización por medio de un divisor de voltaje de un*

*MOSFET enriquecimiento*



$$V_{GS} = V_G - I_D \cdot R_S$$

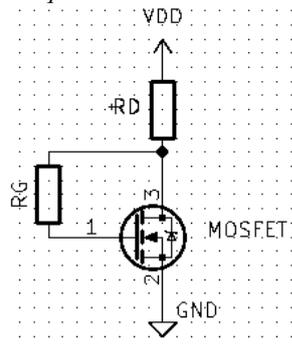
$$V_{GS} = \frac{R_2 \cdot V_{DD}}{R_1 + R_2}$$

*Nota: Elaboración propia*

### **Configuración por realimentación**

Para transistores de tipo MOSFET tipo enriquecimiento se tienen las siguientes ecuaciones y la conexión acorde a la Figura 55.

**Figura 55**  
Polarización por realimentación del MOSFET tipo enriquecimiento.



Nota: Elaboración propia

$$V_{GS} = V_{DS}$$

$$V_{GS} = V_{DD} - I_D \cdot R_D$$

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_T)^2$$

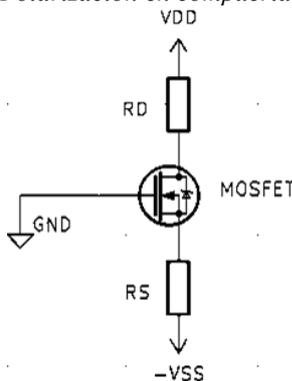
$$k = \frac{I_{D(on)}}{(V_{GS(on)} - V_T)^2}$$

### Configuración en compuerta común

Para transistores de tipo FET se tienen las siguientes ecuaciones y la conexión acorde a la Figura 56.

**Figura 56**

Polarización en compuerta común de un FET



Nota: Elaboración propia

$$V_{GS} = V_{SS} - I_D \cdot R_S$$

$$V_{DS} = V_{DD} + V_{SS} - I_D \cdot (R_D + R_S)$$

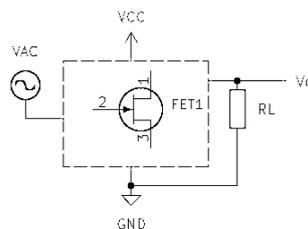
## 3.4 Amplificadores con transistores FET y MOSFET

### 3.4.1 FET como amplificador

El Voltaje VCC será la fuente que aporta la energía para amplificar, la señal que a ser amplificada es

Vg como se indica en la Figura 57.

**Figura 57**  
Amplificador con FET



Nota: Elaboración propia

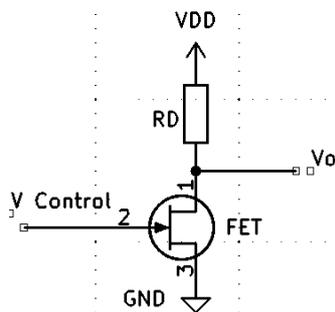
El voltaje de alimentación de VCC situará el transistor en un punto de trabajo, el que amplifique en su salida la señal que entra por VAC

### 3.4.1 FET como Interruptor

Al aplicar voltaje en la puerta suficiente que permita conmutar entre las zonas de corte y óhmica como se indica en la Figura 58, se puede ir pasando por estas dos zonas, saltando entre tensiones VDS altas y muy bajas. Éste es el principio básico de la electrónica digital, donde se pueden discriminar bien dos tipos de tensión, equivalentes a los valores 1 y 0 de un bit de información.

**Figura 58**

*Interruptor en base a un FET*



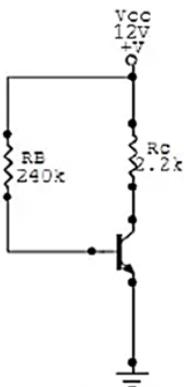
*Nota: Elaboración propia*

### Actividades propuestas para la unidad

- Determinar los literales a)-f) para la configuración de polarización fija con un HFE de 50:

**Figura 59**

*Ejercicio polarización fija*

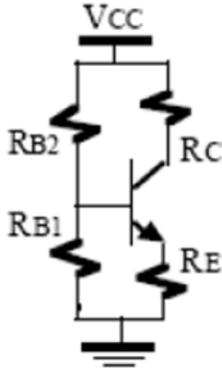


*Nota: Elaboración propia*

- Corriente de Base
- Corriente de Colector
- Voltaje VCE
- Voltaje de Base
- Voltaje de Colector
- Voltaje VBC

- Determinar los literales a)-f) para la configuración de auto polarización, considere un HFE de 150,  $R_{B1}=R_{B2}=10\text{ k}\Omega$ ,  $R_C=1\text{ k}\Omega$  y  $R_E=470\ \Omega$ :

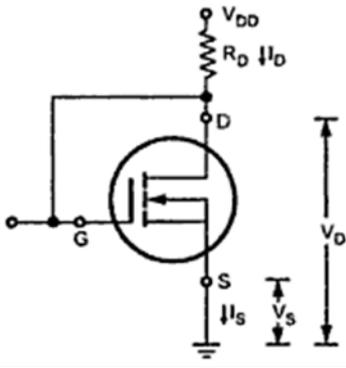
**Figura 60**  
Ejercicio polarización divisor de voltaje



Nota: Elaboración propia

3. Determinar los literales a)-d) para el siguiente circuito, considere  $R_D=2\text{ k}\Omega$ ,  $I_{D(ON)}=6\text{ mA}$ ,  
 $V_{GS(ON)}=8\text{ V}$ ,  $V_{GS(TH)}=3\text{ V}$ :

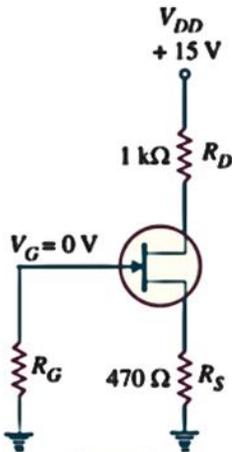
**Figura 61**  
Ejercicio MOSFET



Nota: Elaboración propia

4. Determinar los literales a)-b) para el siguiente circuito, considere  $I_D=5\text{ mA}$ :

**Figura 62**  
Ejercicio polarización MOSFET



Nota: Elaboración propia

- a) Corriente de Base
- b) Corriente de Colector
- c) Voltaje VCE
- d) Voltaje de Base
- e) Voltaje de Colector
- f) Voltaje VBC

- a) La Constante K
- b)  $I_D$
- c) Voltaje VDS
- d) Voltaje VGS

- a) Voltaje VDS
- b) Voltaje VGS

## UNIDAD 4: AMPLIFICADORES OPERACIONALES

### 4.1 Introducción a los amplificadores operacionales

#### 4.1.1 Definición de los amplificadores operacionales

Los amplificadores operacionales, conocidos como Op-Amps (por su nombre en inglés *Operational Amplifiers*), son dispositivos electrónicos fundamentales en el diseño de circuitos analógicos. Son usados ampliamente en aplicaciones que van desde el procesamiento de señales de audio y sistemas de instrumentación médica, hasta filtros, osciladores y sistemas de control.

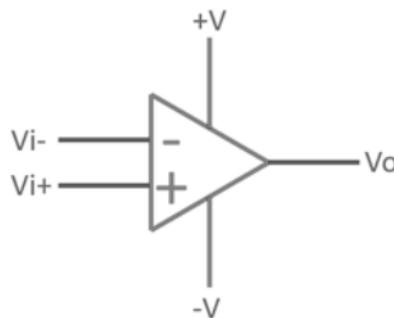
El término "operacional" hace referencia a la capacidad que tienen estos dispositivos electrónicos para realizar operaciones matemáticas básicas como suma, resta, integración y derivación de señales electrónicas. Estas funciones se logran mediante configuraciones de circuitos que se enfocan en criterios de realimentación de señales.

#### 4.1.2 Amplificador operacional de propósito general

Un Op-Amp típico es un dispositivo de entrada diferencial, lo que significa que cuenta con dos entradas (una inversora y una no inversora) y una única salida. Su principal característica es una ganancia de voltaje muy alta, lo que permite amplificar pequeñas diferencias de potencial entre las entradas como se aprecia en la Figura 63.

**Figura 63**

*Simbología de un amplificador operacional*



*Nota: Tomado de Botero, H. O., Calle, P. J., Orozco, G. D., & Ruiz, O. S. (2022). Introducción a la Electrónica Componentes y Aplicaciones. Córdoba (España): Fondo Editorial RED Descartes.*

Descripción de la simbología:

- Entrada Inversora  $V_{i-}$
- Entrada No Inversora  $V_{i+}$
- Salida  $V_o$

- Polarización Positiva +V
- Polarización negativa -V

#### 4.1.3 Tipo de amplificadores operacionales

Las configuraciones básicas de los amplificadores operacionales son la base para construir circuitos más complejos.

Las dos configuraciones más comunes son:

- Amplificador inversor
- Amplificador no inversor

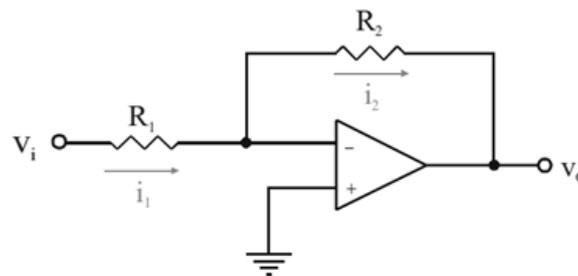
Estas configuraciones definen cómo se conecta la señal de entrada al Op-Amp y determinan la ganancia del circuito.

#### Amplificador Inversor

En esta configuración, la señal de entrada se aplica a la entrada inversora (-) del Op-Amp, mientras que la entrada no inversora (+) se conecta a tierra (0V). El circuito utiliza una resistencia de entrada  $R_1$  y una resistencia de retroalimentación  $R_2$  conectada entre la salida y la entrada inversora. Esta configuración se puede apreciar en la Figura 64.

**Figura 64**

*Configuración de un amplificador inversor.*



*Nota: Tomado de Universidad del País Vasco, Proyecto OpenCourseWare (OCW) de la UPV/EHU. Link: [https://ocw.ehu.eus/file.php/110/electro\\_gen/teoria/tema-6-teoria.pdf](https://ocw.ehu.eus/file.php/110/electro_gen/teoria/tema-6-teoria.pdf)*

Del circuito presentado, es necesario calcular la ganancia en lazo cerrado considerando la siguiente ecuación:

$$G = \frac{V_o}{V_i}$$

Considerando las expresiones que relacionan tanto la entrada y la salida del sistema, se puede concluir:

$$i_1 = \frac{V_{R1}}{R_1} = \frac{V_i - V^-}{R_1} = \frac{V_i}{R_1}$$

$$V_o = V_{R2} + V^- = -i_2 \cdot R_2 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_i$$

$$G = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

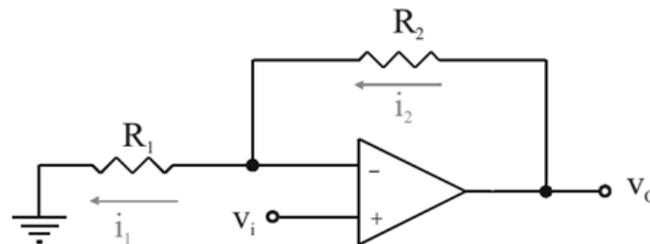
Lo que significa que esta ganancia puede ser mayor o menor que 1 solo escogiendo de manera adecuada las resistencias del circuito inversor y la salida tendrá una dirección invertida a la de la entrada, obteniendo el criterio de ser inversor.

### Amplificador No Inversor

En esta configuración, la señal de entrada se conecta directamente a la entrada no inversora del amplificador operacional (+) Op-Amp, mientras que la resistencia de realimentación  $R_2$  se conecta entre la salida y la entrada inversora del amplificador (-) Op-Amp y desde este punto se conecta una resistencia  $R_1$  al terminal GND. Esta configuración se aprecia a continuación:

**Figura 65**

*Configuración de un amplificador no inversor*



*Nota: Tomado de Universidad del País Vasco, Proyecto OpenCourseWare (OCW) de la UPV/EHU. Link: [https://ocw.ehu.eus/file.php/110/electro\\_gen/teoria/tema-6-teoria.pdf](https://ocw.ehu.eus/file.php/110/electro_gen/teoria/tema-6-teoria.pdf)*

De la misma forma que en el anterior diagrama, en este tipo de configuración se busca analizar la ganancia del circuito con el fin de entender la relación que existe entre la entrada y salida del sistema.

Por lo tanto, la ganancia en lazo cerrado se puede determinar cómo:

$$G = \frac{V_o}{V_i}$$

Considerando de la misma manera las expresiones que relacionan tanto la entrada y la salida del sistema, se puede concluir:

$$i_1 = \frac{V_{R1}}{R_1} = \frac{V_i - 0}{R_1} = \frac{V_i}{R_1} = i$$

De la misma gráfica se aprecia que, la tensión de salida puede mostrarse como:

$$\begin{aligned} V_o &= i_2 \cdot V_{R2} + V^- = i_2 \cdot R_2 + V_i = i_2 \cdot R_2 + i_1 \cdot R_1 \\ &= i \cdot (R_1 + R_2) = \frac{V_i}{R_1} \cdot (R_1 + R_2) \\ G &= \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \end{aligned}$$

Significa que la ganancia siempre tendrá valores positivos e incluso mayores o al menos igual a 1.

## 4.2 Amplificador diferencial

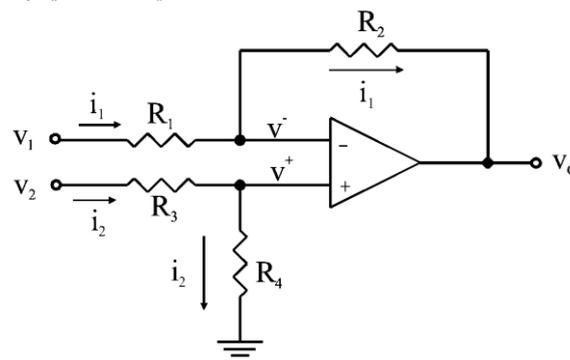
### 4.2.1 Definición de amplificador diferencial

Es uno de los circuitos de electrónica más aplicados en la electrónica analógica, se basa en el principio de restar los voltajes de sus entradas para obtener una salida que cumple con esta operación aritmética.

El diagrama del circuito electrónico es el que se muestra en la Figura 66.

**Figura 66**

Diagrama electrónico de un amplificador diferencial.



Nota: Tomado de Universidad del País Vasco, Proyecto OpenCourseWare (OCW) de la UPV/EHU. Link: [https://ocw.ehu.eus/file.php/110/electro\\_gen/teoria/tema-6-teoria.pdf](https://ocw.ehu.eus/file.php/110/electro_gen/teoria/tema-6-teoria.pdf)

Considerando el principio de funcionamiento mencionado de este diagrama, se presenta la ecuación que da cumplimiento a la diferencia de las entradas.

$$V_o = (V_2 - V_1) \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

Esta ecuación se cumplirá siempre y cuando se plantee que;  $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$ . Con esto, se puede obtener no solo la diferencia de las dos señales (al cumplir  $R_2=R_4$  y  $R_1=R_3$ ), sino que; se puede apreciar cómo es posible obtener una diferencia de las señales de entrada incluso amplificada.

## 4.3 Amplificador integrador

### 4.3.1 Definición de amplificador integrador

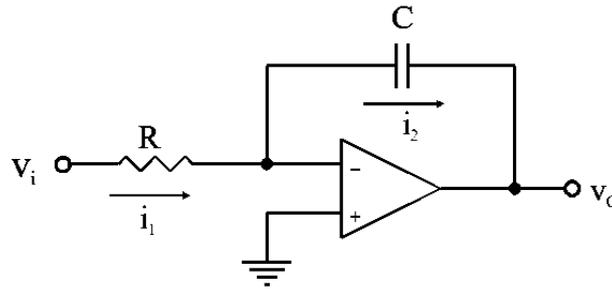
El circuito integrador permite generar señales de control dentro del campo de la electrónica analógica, por ello, se presenta un circuito con Op-Amp que cumpla esta condición.

$$V_o(t) = -\frac{1}{RC} \int V_i(t) dt$$

En la Figura 67 se muestra el diagrama electrónico que se debe aplicar para este objetivo:

**Figura 67**

*Configuración de un amplificador integrador*

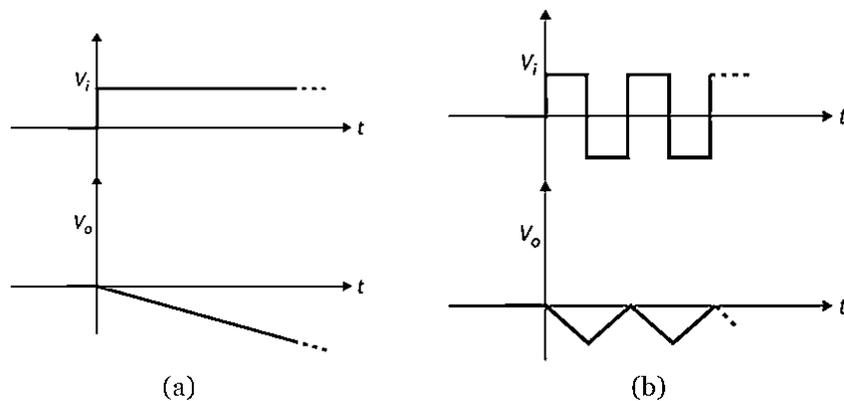


*Nota: Tomado de Universidad del País Vasco, Proyecto OpenCourseWare (OCW) de la UPV/EHU. Link: [https://ocw.ehu.eus/file.php/110/electro\\_gen/teoria/tema-6-teoria.pdf](https://ocw.ehu.eus/file.php/110/electro_gen/teoria/tema-6-teoria.pdf)*

Como ejemplo de señal de salida a partir de una señal de entrada se puede apreciar en la Figura 68.

**Figura 68**

*Ejemplo de salida de una señal integrada ante una de entrada utilizada en la electrónica. (a) Ingreso de una señal constante y salida de una señal integradora. (b) Generación de una señal triangular desde una señal cuadrada.*



*Nota: Tomado de Universidad del País Vasco, Proyecto OpenCourseWare (OCW) de la UPV/EHU. Link: [https://ocw.ehu.eus/file.php/110/electro\\_gen/teoria/tema-6-teoria.pdf](https://ocw.ehu.eus/file.php/110/electro_gen/teoria/tema-6-teoria.pdf)*

Un uso real es en los medidores de energía eléctrica, en estos equipos, la potencia instantánea medida se integra en el tiempo para calcular la energía consumida (en kWh). El integrador basado en un amplificador operacional realiza esta operación matemática de forma continua y precisa.

Otro ejemplo es en los sistemas de control de velocidad de motores, el integrador puede convertir la señal de aceleración (derivada de la velocidad) en una señal proporcional a la velocidad misma, que luego se utiliza para ajustar el control del motor.

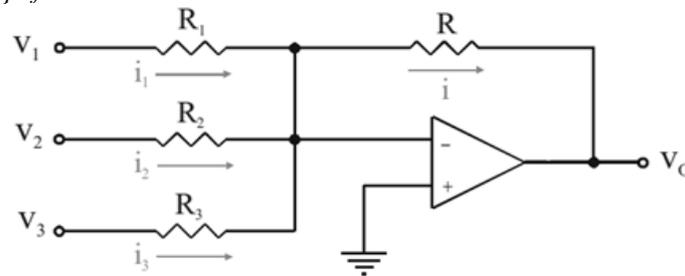
#### 4.4 Aplicaciones de los amplificadores operacionales

##### 4.4.1 Amplificador Sumador Inversor

Esta configuración del amplificador operación permite realizar la primera operación algebraica con las señales que se introducen en el sistema. Es necesario tener presente que la salida de este sumador es invertida, lo que significa que es un amplificador sumador inversor.

**Figura 69**

Configuración de un amplificador sumador inversor



Nota: Tomado de Universidad del País Vasco, Proyecto OpenCourseWare (OCW) de la UPV/EHU. Link: [https://ocw.ehu.es/file.php/110/electro\\_gen/teoria/tema-6-teoria.pdf](https://ocw.ehu.es/file.php/110/electro_gen/teoria/tema-6-teoria.pdf)

Considerando el criterio de un cortocircuito virtual ( $V^- = V^+ = 0$ ), las corrientes en las ramas de los valores que se desean sumar son independientes entre ellas, no se produce ninguna reorganización de corrientes. Es decir, la corriente total  $i$  que atraviesa a  $R$  es igual a la suma de cada corriente de la rama de entrada:

$$i_j = \frac{V_{ij}}{R_{1j}} \quad i = \sum_{j=1}^N i_j$$

Por ende, la tensión de salida del circuito queda:

$$V_o = -i_T \cdot R_2 = -\frac{V_{i1}}{R_{11}} \cdot R_2 = -\frac{V_{i2}}{R_{12}} \cdot R_2 \dots - \frac{V_{iN}}{R_{1N}} \cdot R_2$$

Así se puede apreciar como la ecuación final del sistema es de la forma:

$$V_o = -\left(\frac{R_1}{R} \cdot V_1 + \frac{R_2}{R} \cdot V_2 + \frac{R_3}{R} \cdot V_3 + \dots + \frac{R_N}{R} \cdot V_N\right)$$

Si se considera una relación lineal entre la salida con respecto a las entradas, es decir en el caso particular

donde  $R = R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R_N$ .

$$V_o = -(V_1 + V_2 + V_3)$$

La aplicación de este sistema se puede evidenciar en las consolas de audio que se usan en conciertos, estudios de grabación o sistemas de sonido domésticos. En estos equipos, varias señales de audio (por ejemplo, micrófono, guitarra y teclado) deben combinarse en una sola salida. Por lo tanto, el amplificador sumador inversor suma todas estas señales, ajusta su amplitud y entrega una señal única que luego se envía a los altavoces. La inversión de fase producido por el circuito no suele ser un problema en audio, ya que es corregido en etapas posteriores o incluso no afectar la percepción si todas las señales se procesan igual.

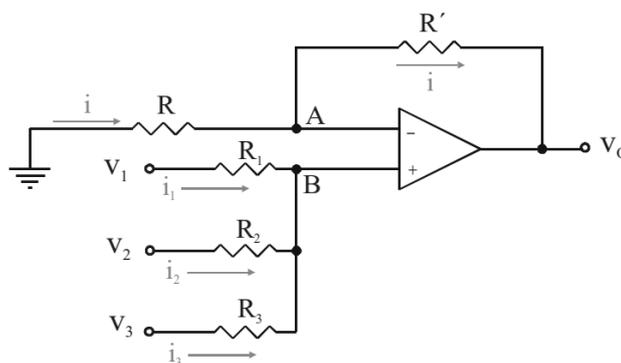
#### 4.4.2 Amplificador Sumador No Inversor

En este tipo de configuración, se analiza operativamente casi el mismo criterio anterior considerando que en esta ocasión el resultado en el voltaje de salida no tiene inversión que la señala de sus entradas. La configuración de esta se puede mostrar en la Figura 70 donde se puede apreciar el arreglo de resistencias y las señales de entrada que se desean sumar.

Es importante considerar el mismo criterio de realimentación negativa donde se consigue que la sumatoria de las corrientes que ingresan en el diagrama sumador llegan al nodo de  $V^+$  y se aplica la primera ley de Kirchhoff donde su valor total debe ser igual a 0.

**Figura 70**

Configuración de un amplificador sumador no inversor



Nota: Tomado de Universidad del País Vasco, Proyecto OpenCourseWare (OCW) de la UPV/EHU. Link: [https://ocw.ehu.eus/file.php/110/electro\\_gen/teoria/tema-6-teoria.pdf](https://ocw.ehu.eus/file.php/110/electro_gen/teoria/tema-6-teoria.pdf)

Considerando como punto de inicio de estudio al  $V^+ = V_A$  se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$\frac{V_A}{R} = \frac{V_A - V_0}{R'} \rightarrow V_A = \frac{R}{R + R'} \cdot V_0$$

Considerando la primera ley de Kirchhoff en el nodo  $V^+$  se considera:

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

$$i_1 = \frac{V_1 - V_B}{R_1} ; i_2 = \frac{V_2 - V_B}{R_2} ; i_3 = \frac{V_3 - V_B}{R_3}$$

$$\frac{V_1 - V_B}{R_1} + \frac{V_2 - V_B}{R_2} + \frac{V_3 - V_B}{R_3} = 0$$

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \cdot V_B$$

Considerando que  $V_A = V_B$ :

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \cdot \frac{R}{R + R'} \cdot V_0$$

Si se escogen las resistencias de modo que:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R'' \quad R' = 2 \cdot R$$

Se obtiene:

$$\left( \frac{V_1}{R''} + \frac{V_2}{R''} + \frac{V_3}{R''} \right) = \left( \frac{1}{R''} + \frac{1}{R''} + \frac{1}{R''} \right) \cdot \frac{R}{R + R'} \cdot V_0 \rightarrow \frac{1}{R''} \cdot (V_1 + V_2 + V_3) = \frac{3R}{R'' \cdot 3 \cdot R} \cdot V_0$$

Simplificando las ecuaciones se aprecia que:

$$V_0 = V_1 + V_2 + V_3$$

Con esta conclusión y considerando las condiciones de las resistencias, se ha obtenido el amplificador sumador no inversor.

#### 4.4.3 Amplificador diferenciador

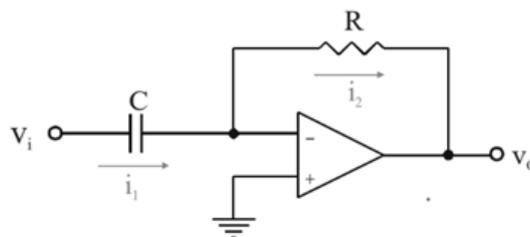
Con este circuito lo que se busca es obtener una salida que sea proporcional a la derivada en el tiempo de la tensión de la entrada con la siguiente expresión:

$$V_o(t) = K \cdot \frac{dV_i(t)}{dt}$$

En la Figura 71 se muestra la configuración que se debe implementar para este objetivo:

**Figura 71**

*Configuración de un amplificador diferenciador*



*Nota: Tomado de Universidad del País Vasco, Proyecto OpenCourseWare (OCW) de la UPV/EHU. Link: [https://ocw.ehu.es/file.php/110/electro\\_gen/teoria/tema-6-teoria.pdf](https://ocw.ehu.es/file.php/110/electro_gen/teoria/tema-6-teoria.pdf)*

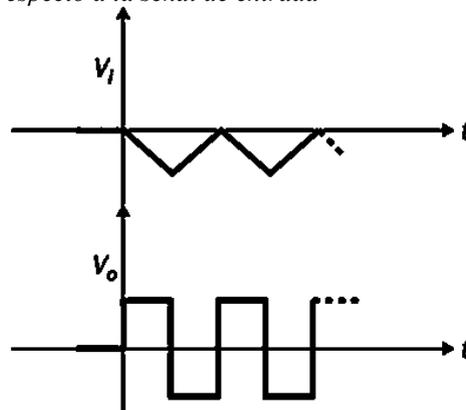
Con este circuito, se obtiene la siguiente ecuación de salida.

$$V_o = -RC \cdot \frac{dV_i}{dt}$$

En la Figura 72 se aprecia un ejemplo de la señal de salida con respecto a la señal de entrada.

**Figura 72**

*Señal de salida diferenciada con respecto a la señal de entrada*



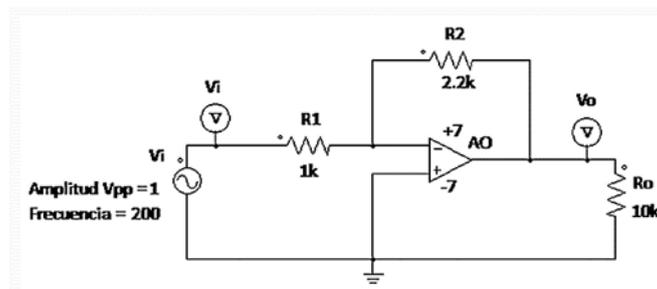
*Nota: Tomado de Universidad del País Vasco, Proyecto OpenCourseWare (OCW) de la UPV/EHU. Link: [https://ocw.ehu.eus/file.php/110/electro\\_gen/teoria/tema-6-teoria.pdf](https://ocw.ehu.eus/file.php/110/electro_gen/teoria/tema-6-teoria.pdf)*

### Actividades propuestas para la unidad

1. En base al diagrama de la gráfica:

**Figura 73**

*Ejercicio*

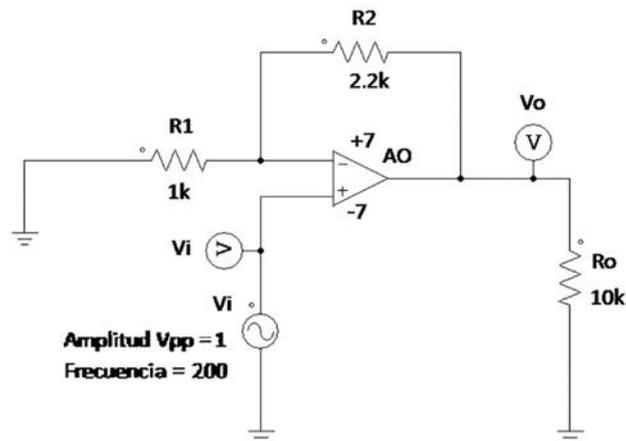


*Nota: Elaboración propia*

- a) Utilizando un generador de onda y un osciloscopio visualice la señal de entrada solicitada y la señal de salida con la configuración de resistencias expuestas en el diagrama.
- b) Que sucedería si se reemplaza la R2 por una resistencia de 1 kΩ, colocar este cambio en el circuito y graficar la señal de salida que se aprecia en la resistencia de carga
- c) Sustituir R1=1 kΩ y R2= 33 kΩ, explique la señal de salida que se puede apreciar en el osciloscopio.

2. En base al diagrama de la gráfica:

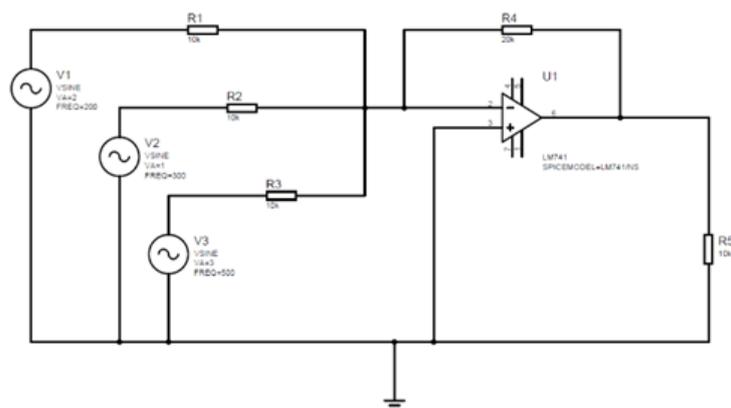
**Figura 74**  
Ejercicio



*Nota: Elaboración propia*

- Utilizando un generador de onda y un osciloscopio visualice la señal de entrada solicitada y la señal de salida con la configuración de resistencias expuestas en el diagrama.
  - Que sucedería si se reemplaza la R1 por una resistencia de 2.2 k $\Omega$ , colocar este cambio en el circuito y graficar la señal de salida que se aprecia en la resistencia de carga
  - Sustituir R1=1 k $\Omega$  y R2= 33 k $\Omega$ , explique la señal de salida que se puede apreciar en el osciloscopio.
3. En base al diagrama de la gráfica:

**Figura 75**  
Ejercicio



*Nota: Elaboración propia*

- Utilizando un generador de onda y un osciloscopio visualice las señales de entrada solicitadas y la señal de salida con la configuración de resistencias expuestas en el diagrama.
- Utilizando un papel milimetrado, describa el comportamiento de las gráficas de entrada y salida considerando puntos específicos de las gráficas para determinar el comportamiento adecuado de la salida.

## Referencias Bibliográficas

- Salazar Gómez, A. J. (2008). Fundamentos de circuitos. Bogotá D.C., Colombia: Ediciones Uniandes.
- Pérez, N. A., & Ávila, J. (2021). Transformaciones equivalentes en circuitos. Portal Académico del CCH UNAM.
- Virasak, L. (2019). \*Manufacturing Processes\* (1st ed.). Open Oregon Educational Resources.
- Pérez, N. A., & Ávila, J. (2021). Diagramas eléctricos y simbología. Portal Académico del CCH UNAM.
- Condumex Cables. (2009). Manual técnico de instalaciones eléctricas en baja tensión (5.ª ed.). México, D.F.: Condumex.
- Boylestad, R. L. (2011). Introducción al análisis de circuitos (12.ª ed.). Pearson Educación de México
- Alexander, C. K., & Sadiku, M. N. O. (2022). Fundamentos de circuitos eléctricos (7.ª ed.). McGraw-Hill/Interamericana Editores.
- Boylestad, R. L., & Nashelsky, L. (2009). *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. México: Pearson Educación.
- Pleite, J., Vergaz, R., & Ruiz, J. (2009). *Electrónica Básica para Ingenieros*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Robledo, E. (22 de Septiembre de 2020). *AUTODESK*. Obtenido de ¿Qué es un transistor de efecto de campo (FET)?: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/what-is-field-effect-transistor-fet/>

# sucre



ISBN: 978-9942-686-85-5



9 789942 686855