

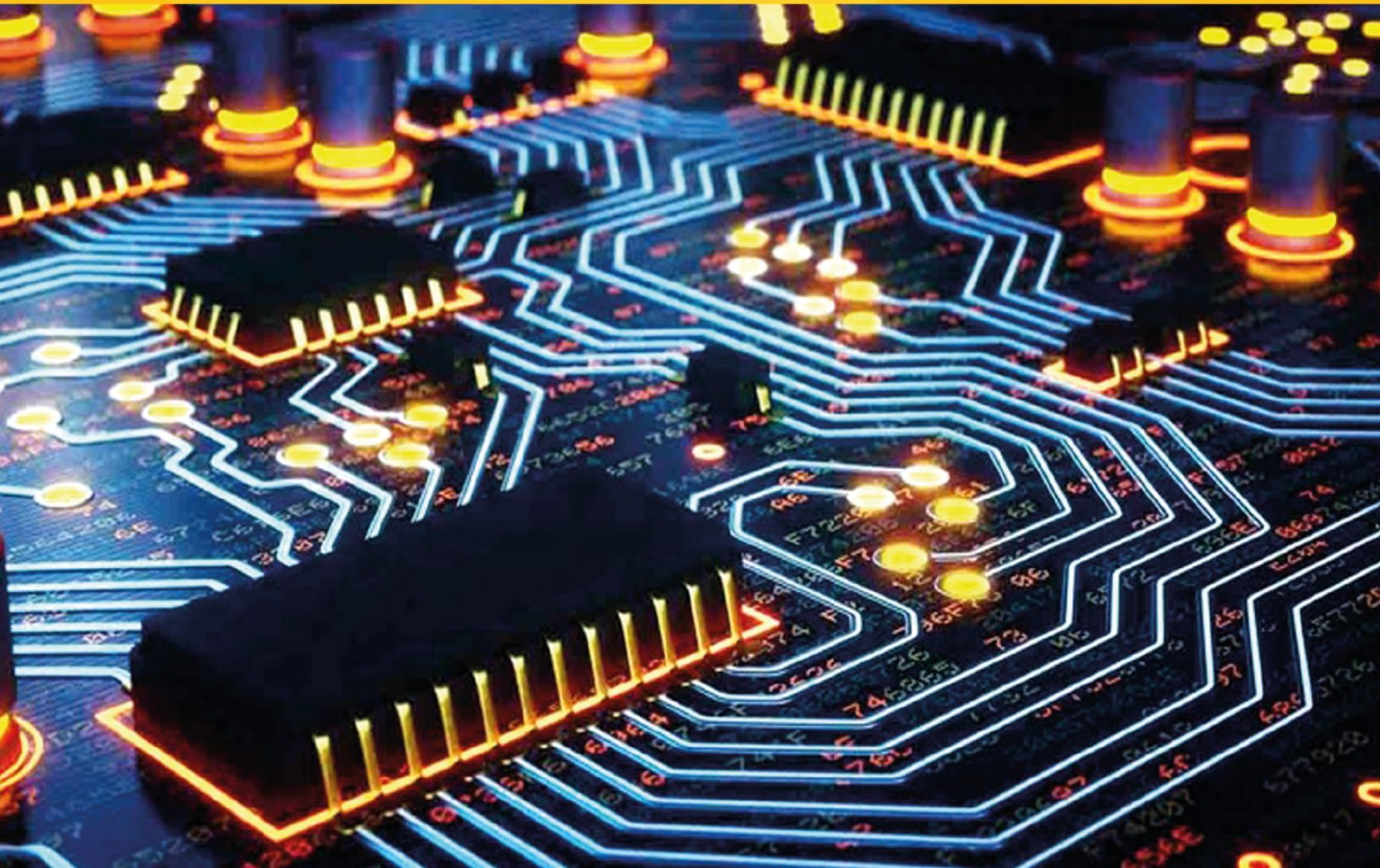


UNIVERSIDAD EVANGÉLICA
DE EL SALVADOR

Manual de cátedra

Fundamentos de Electrónica

Teddy Calderón López



The background of the cover is a complex, glowing blue circuit board pattern. It features various traces, pads, and circular components, all rendered in a lighter shade of blue against a darker blue background, creating a sense of depth and technical precision.

Manual de cátedra
Fundamentos de
Electrónica

Teddy Miguel Calderón López

Universidad Evangélica de El Salvador

AUTORIDADES

Dra. Cristina Juárez de Amaya
Rectora

Dra. Mirna García de González
Vicerrectora Académica

Ing. Marielos Mercado
Vicerrectoría de Innovación y
Educación Virtual

Mayra Elizabeth Guevara
Decana de la Facultad de Ingenierías

Dirección de Publicaciones

Equipo editorial

Norma Estela Hernández
Directora editorial

Lya Ayala Arteaga
Revisora editorial

© Editorial UEES

1ª Edición, Editorial Universidad Evangélica de El Salvador, 2019
ISBN: 978-99961-331-9-0

Prolongación Alameda Juan Pablo II
y Calle El Carmen, San Antonio Abad, San Salvador, El Salvador, C.A.
Apartado postal 1789 PBX: 22754000
editorial@uees.edu.sv



EDITORIAL

Xinia Cabrera
Gabriela Lara Rivas
Diseño gráfico

```
621.381 5
C146n Calderón López, Teddy Miguel, 1998-
Manual de cátedra de fundamentos de electrónica [recurso
electrónico] / Teddy Miguel Calderón López. -- 1ª ed. -- San
Salvador, El Salvo. : Editorial Universidad Evangélica de El Salvador,
2022.
1 recurso electrónico. (128 p. ; il. ; 29 cm.)
Datos electrónicos: (1 archivo, formato pdf, 3.4 mb). --
http://www.dsuees.edu.sv/xmlui/.
ISBN 978-99961-331-9-0 (E-Book, pdf)
1. Electrónica-Manuales. 2. Circuitos electrónicos. 3. Voltaje.
I. Título.
BINR/jnh
```

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de este libro puede ser reproducida por cualquier medio gráfico, electrónico o mecánico, incluyendo fotocopias, grabación o por cualquier sistema de almacenamiento y recuperación de información sin el permiso por escrito de la Editorial de la Universidad Evangélica de El Salvador (UEES) excepto en el caso de citas breves en artículos y reseñas críticas.



Índice

	Pág.
Presentación	7
Introducción	8
CAPÍTULO 1	
Leyes Fundamentales.....	11
Introducción.....	11
Definiciones.....	11
¿Qué es la electrónica?	11
Diferencias entre dispositivos electrónicos y eléctricos.....	11
¿Qué es una carga?	12
Ley de Cargas	12
Caracterización de la electricidad.....	13
Voltaje	13
Tipos de voltaje	13
Corriente.....	15
Resistencia	16
Clasificación de los materiales	16
Conductores	17
Semiconductores	17
Aislantes	18
Caracterización y determinación de la resistencia eléctrica.....	18
Cálculo del valor de una resistencia de carbono.....	20
Diagramas de circuitos para resistencias eléctricas.....	20
Resistencias en Serie.....	20
Resistencias en Paralelo	22
Circuito mixto.....	23
Divisor de voltaje.....	23
Divisor de corriente.....	24
Leyes de Ohm	27
Diagramas de circuitos	28
Rama	28
Nodo.....	28
Lazo	29
Análisis de circuitos	29
Ley de corriente de Kirchhoff	31
Ley de voltaje de Kirchhoff	32
Guías prácticas	34
Glosario	39

CAPÍTULO 2

Semiconductores.....	40
Introducción.....	40
Características principales de un semiconductor.....	41
Semiconductores intrínsecos.....	43
Semiconductor extrínseco.....	43
Semiconductor tipo P.....	44
Semiconductor tipo N.....	44
El diodo.....	45
Tensión umbral, de codo o de partida (V_{γ}).....	47
Corriente máxima (I_{max}).....	47
Corriente inversa de saturación (I_s).....	47
Tensión de ruptura (V_r).....	47
Efecto avalancha.....	48
Aplicaciones de los diodos.....	48
Rectificador de media onda.....	49
Rectificador de onda completa.....	50
Uso de capacitores.....	50
Diodo Zener.....	51
Guías prácticas.....	53
Glosario.....	61
Guías prácticas.....	62

CAPÍTULO 3

Transistores.....	66
Introducción.....	66
Generalidades de transistores.....	66
Transistores de efecto de campo.....	68
Ventajas del Transistor Mosfet.....	68
Estructura de un Mosfet.....	68
¿Cómo funciona un Transistor Mosfet?.....	71
NMOS.....	62
PMOS.....	62
Transistores BJT.....	72
Funcionamiento del Transistor BJT.....	73
Funcionamiento en corte.....	74
Funcionamiento en activa.....	74
Funcionamiento en saturación.....	74
Diferencias entre el transistor PNP y el NPN.....	75
RESUMEN DE CORRIENTES Y TENSIONES.....	75
Fórmulas del Transistor.....	76

Análisis y ejemplos BJT	77
Guía prácticas	81
Glosario	84

CAPÍTULO 4

Amplificador operacional.....	85
Introducción.....	85
MODELO EQUIVALENTE.....	87
AMPLIFICADOR IDEAL.....	89
Amplificador Inversor.....	89
Análisis amplificador inversor	90
Amplificador no inversor	92
Guía prácticas	103
Glosario	105
Bibliografía	106

Presentación

ESTIMADO LECTOR:

Vivimos en un mundo cada vez más digitalizado y demandante de conocimiento técnico por eso debes convertirte en protagonista de los avances de la evolución tecnológica a nivel mundial. En este sentido, la Universidad Evangélica de El Salvador (UEES) consciente de esta demanda, y participante del proceso, pone a tu disposición una formación encaminada a la transformación digital a través de carreras que abordan el apasionante conocimiento de las ciencias informáticas.

Por lo tanto, para desarrollar estas competencias nuestros catedráticos especialistas elaboraron el presente manual como una guía metodológica y práctica, sobre los contenidos que la asignatura Fundamentos en Electrónica incluye en sus unidades de aprendizaje.

El manual que tienes en tus manos será de mucho provecho para asegurar tu interés y asimilación de los temas relevantes de la asignatura; por lo cual, te solicitamos de manera especial respetar las guías de trabajo, brindar seguimiento detallado a los pasos aquí plasmados y tomar en cuenta las directrices del catedrático para que logres asegurar el desarrollo de las competencias que requiere la trayectoria académica de tu carrera.

Este trabajo representa el esfuerzo de plasmar en un documento la ruta formativa de la asignatura que permitirá medir el avance del estudiante así como su control personal de progreso y desempeño en cada unidad de aprendizaje práctico.

Ingeniera Mayra Guevara
Decana Facultad de Ingenierías

Introducción

En la actualidad el ser humano está rodeado de dispositivos electrónicos que aumentan la comodidad, productividad y disponibilidad en sus labores cotidianas; desde aquellos de uso doméstico que incrementan su bienestar general, hasta los que funcionan como herramientas esenciales en el lugar de trabajo.

Debido a estas situaciones de cambios e incorporación de aparatos eléctricos a los distintos ámbitos es necesario formar profesionales capacitados con las herramientas teóricas y prácticas para analizar, comprender y generar conclusiones respecto a la operación de diversos dispositivos. Es así como surge la necesidad de elaborar el presente manual de cátedra de fundamentos de electrónica. A través de este los estudiantes podrán desarrollar, en un primer acercamiento, una buena base teórica respecto a leyes y teoremas de análisis de circuitos analógicos; posteriormente, realizar prácticas y resolución de ejercicios que terminen de cimentar los conocimientos. Además, por medio de casos de aplicación, generar en el estudiante pensamiento crítico con el que definirá la operación de los diferentes elementos dentro de un circuito.

Como primer punto el manual expone las características eléctricas básicas asociadas a cada uno de los elementos que conforman un circuito; para luego analizar con ejemplos las leyes de circuitos, así como los métodos de solución a las estructuras comunes de elementos. Proporcionando al estudiante las herramientas indispensables para analizar circuitos de mucha mayor complejidad.

Luego se procede a analizar los elementos basados en semiconductores más importantes para la electrónica moderna partiendo por el diodo de unión y los transistores, explicando su funcionamiento y características específicas de operación. Finalmente se lleva a cabo un estudio de los amplificadores operacionales conformados por diferentes arreglos de transistores y constituyen un elemento de suma complejidad en todo dispositivo moderno.

Ingeniero Teddy Calderón López



Propósitos y objetivos del manual

Este manual tiene como propósito facilitar el aprendizaje de la electrónica básica realizando ejercicios prácticos aplicados, usando herramientas y recursos teóricos impartidos durante las clases.

OBJETIVOS

Objetivo General

Generar competencias fundamentales en los estudiantes que les permitan diseñar prototipos integrando hardware y software en la asignatura fundamentos de electrónica.

Objetivos Específicos

- ❑ Estructurar contenidos programáticos integrando desde los fundamentos de la electrónica hasta su aplicación por medio de guías de desarrollo.
- ❑ Diseñar los capítulos con información pertinente a los tópicos a desarrollar.
- ❑ Integrar información sobre temas que permitan respaldar los contenidos programáticos de cada capítulo.
- ❑ Diseñar guías prácticas para reforzar los conocimientos a los estudiantes.

INDICACIONES DE USO DEL MANUAL

- ❖ Primero se muestra un índice de los contenidos programáticos de cada tema a desarrollar.
- ❖ Luego se detalla por medio de la introducción un panorama de lo que contiene el manual para que el lector identifique a nivel general cada uno de los elementos que encontrará para su apoyo en las cátedras.
- ❖ Se procede con una lectura por capítulo de cada contenido.
- ❖ Se anexan guías de aplicación práctica.
- ❖ Dentro de este manual se encuentran palabras técnicas para la mejor comprensión del usuario.
- ❖ Se incorporan referencias bibliográficas que enriquecen los contenidos.

CAPÍTULO 1

Leyes Fundamentales

INTRODUCCIÓN

Para realizar una aproximación al campo de la electrónica es necesario que conozcamos las leyes de la naturaleza que rigen el funcionamiento de los dispositivos y sistemas asociados con este concepto.

Así mismo debemos aprender muchos conceptos nuevos que corresponden a las características y cálculos necesarios para el diseño de los diferentes dispositivos electrónicos.

Iniciamos con la base teórica correspondientes a las leyes de la física que permiten el desarrollo de la electrónica como tal, estas son el electromagnetismo y cómo interactúan las cargas en los diferentes materiales.

DEFINICIONES

¿QUÉ ES LA ELECTRÓNICA?

Es una sección de la ingeniería y representa una aplicación de la física asociada al electromagnetismo dedicada particularmente al diseño y aplicación de dispositivos y sistemas de bajo consumo de potencia así como un funcionamiento a tensiones relativamente bajas, por lo general circuitos electrónicos, cuyo funcionamiento dependen del flujo de electrones para la generación, transmisión, recepción, almacenamiento de información.

DIFERENCIAS ENTRE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS Y ELÉCTRICOS

Primordialmente podemos observar una diferencia muy importante en la operación de los diferentes dispositivos, esta es que los dispositivos eléctricos son de un funcionamiento sumamente simple y, por lo general, necesitan de la operación directa del ser humano, por lo tanto, podemos reconocer dos estados únicos de funcionamiento: encendido y apagado, sin realizar ningún procesamiento de información intermedio.

Por el contrario, los dispositivos electrónicos pueden realizar algún tipo de procesamiento de la información que obtienen como entrada, por lo que su operación es más compleja. Debido a este procesamiento podemos obtener diferentes respuestas a la salida de los dispositivos.

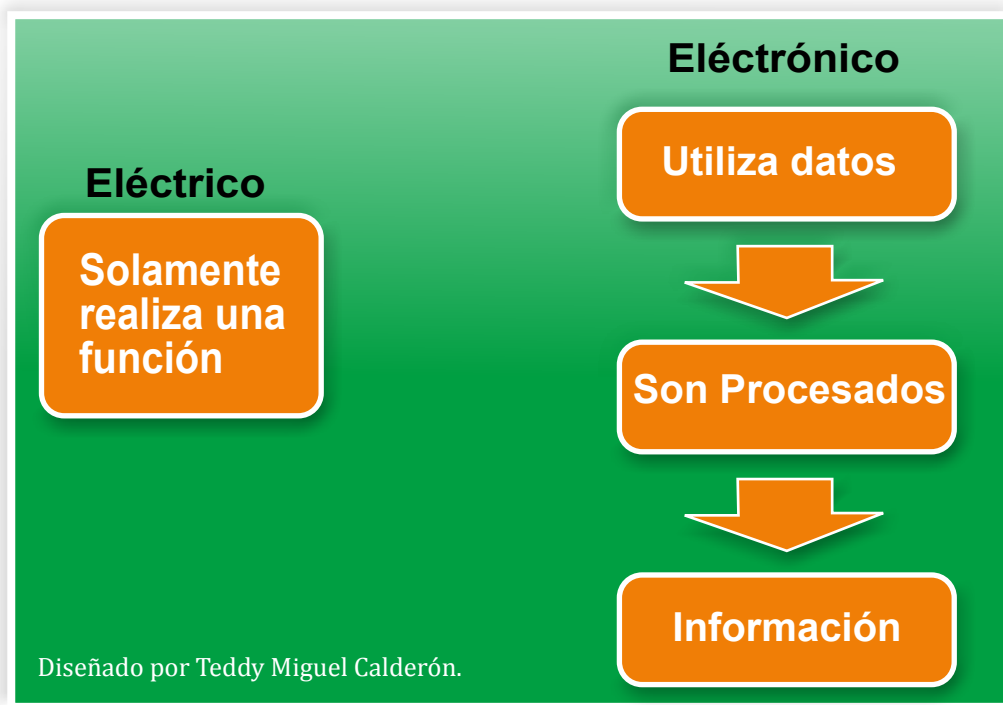


Figura 1.1. Diferencias dispositivos electrónicos y eléctricos

¿QUÉ ES UNA CARGA?

El elemento básico de la materia son los átomos. Los mismos tienen un núcleo de protones (que poseen carga positiva) y neutrones (carga neutra). En la periferia de este núcleo atómico, se encuentran los electrones (carga negativa) describiendo órbitas con diferentes niveles de energía.

Los electrones de las órbitas más alejadas (electrones libres) pueden abandonar el átomo y agregarse a otro cercano. El átomo que tiene un electrón menos queda cargado positivamente, mientras el átomo que ganó un electrón tiene carga negativa. Este flujo de electrones a través de la materia es uno de los fenómenos de mayor importancia para los mecanismos de la conducción de energía eléctrica.

LEY DE CARGAS

La ley de las cargas es un postulado de crucial importancia que nos dice: «Cargas iguales se repelen y cargas diferentes se atraen».

La fuerza que tienen las cargas en atraerse o repelerse hace que se dé la corriente eléctrica y, por ende, la electricidad.

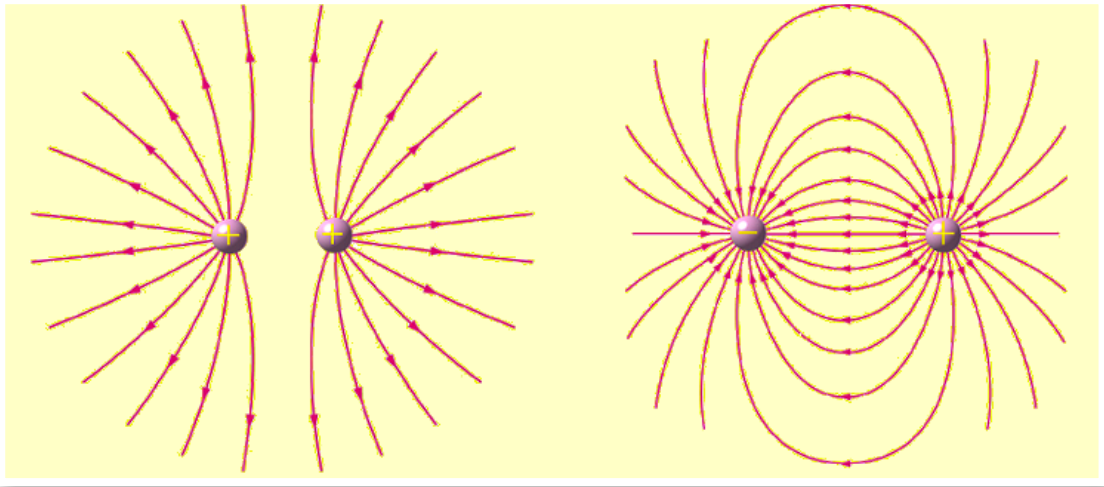


Figura 1.2 Representación de la ley de cargas.

CARACTERIZACIÓN DE LA ELECTRICIDAD

Asociadas a la electricidad podemos observar tres conceptos de grandísima importancia estos son:

- Diferencia de potencial o voltaje
- Corriente eléctrica
- Resistencia eléctrica

Estos tres conceptos forman la base principal de la electricidad y son características de sumo interés en el análisis de un sistema o circuito.

VOLTAJE

También llamado tensión, diferencia de potencial (ddp), fuerza electromotriz (fem)

Es la presión o fuerza con que las cargas eléctricas son «empujadas» a través de un conductor.

El voltaje, tensión o diferencia de potencial es la presión que ejerce una fuente de suministro de energía eléctrica o fuerza electromotriz (FEM) sobre las cargas eléctricas o electrones en un circuito eléctrico cerrado, para que se establezca el flujo de una corriente eléctrica.

TIPOS DE VOLTAJE

Por el comportamiento de la señal de tensión podemos identificar dos tipos de voltaje:

Voltaje directo (DC)

Voltaje alterno (AC)

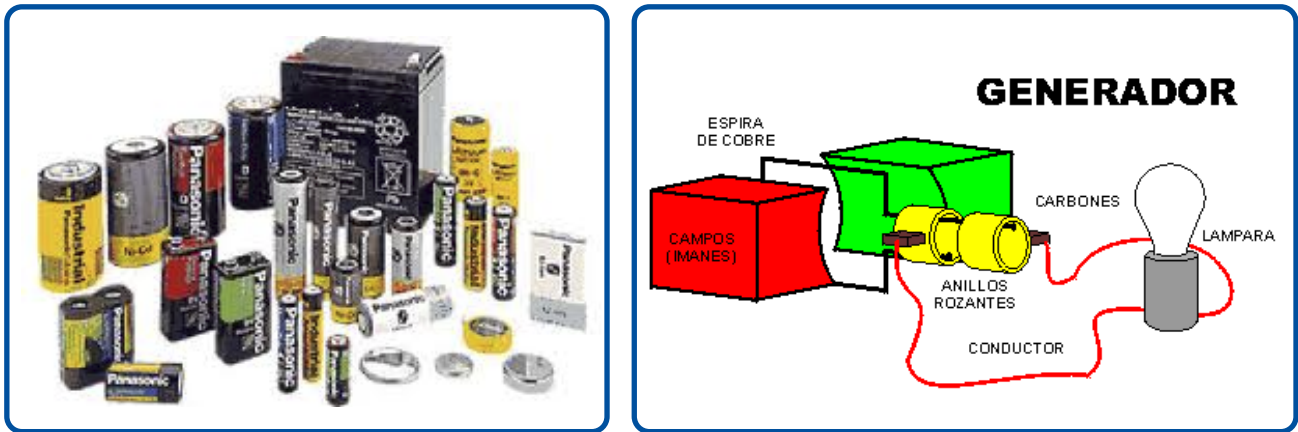


Figura. 1.3. Fuentes de voltaje DC y AC.

Tal y como su nombre lo indica el voltaje DC es una señal de tensión invariante en el tiempo. Lo que significa que en cualquier instante de tiempo dado siempre vamos a obtener el mismo valor constante.

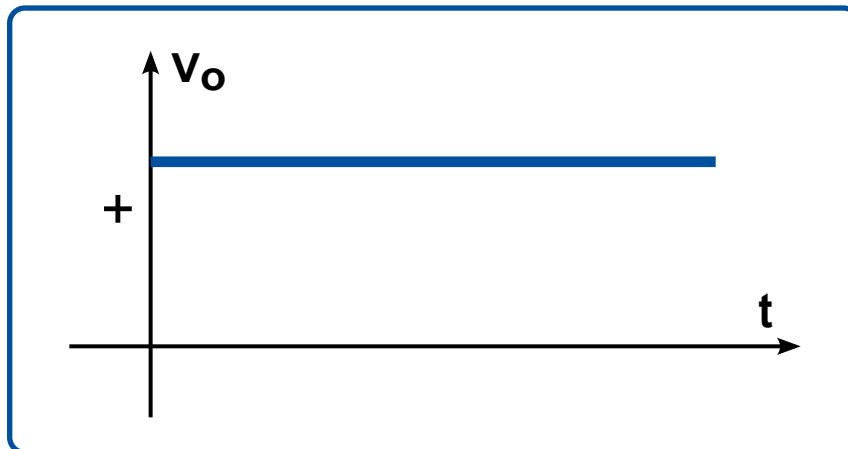


Figura 1.4. Señal de voltaje DC.

Mientras que para el caso del voltaje AC podemos observar una señal periódica que se mantiene en constante cambio y que se comporta como una onda senoidal.

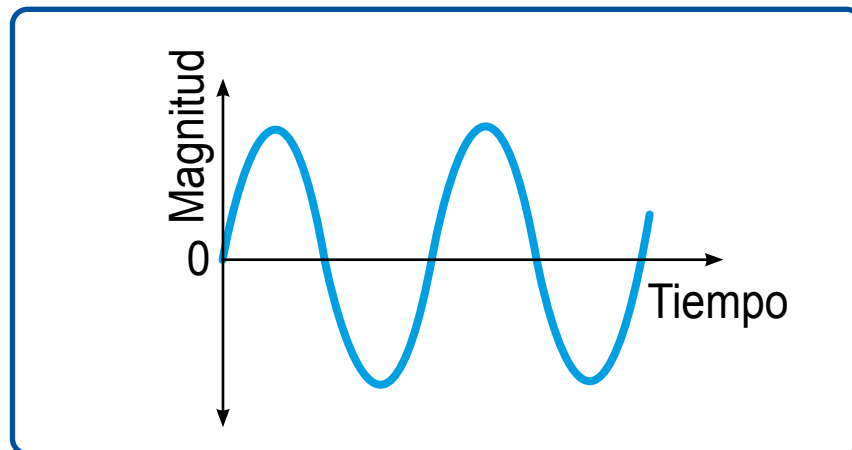


Figura 1.5. Señal de voltaje AC.

CORRIENTE

Básicamente podemos definirla como el movimiento de electrones por un conductor y tal como sucede con la diferencia de potencial podemos clasificarla como DC y AC.

Para la corriente directa (DC) los electrones siempre viajan en un solo sentido, del terminal negativo al terminal positivo. Mientras que para el caso de la AC el sentido del flujo de electrones está en constante cambio.

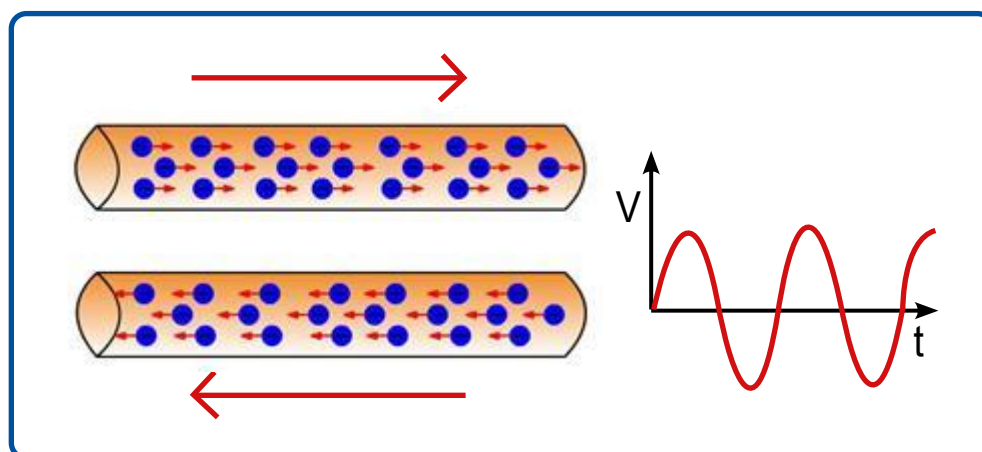


Figura. 1.6. Cambio de sentido en la corriente AC.

RESISTENCIA

Es una característica inherente a la materia, por lo que todo cuerpo presentará un determinado nivel de resistencia eléctrica; es decir, debido a como están organizados los átomos que lo componen así será la oposición del cuerpo a permitir un libre flujo de electrones.

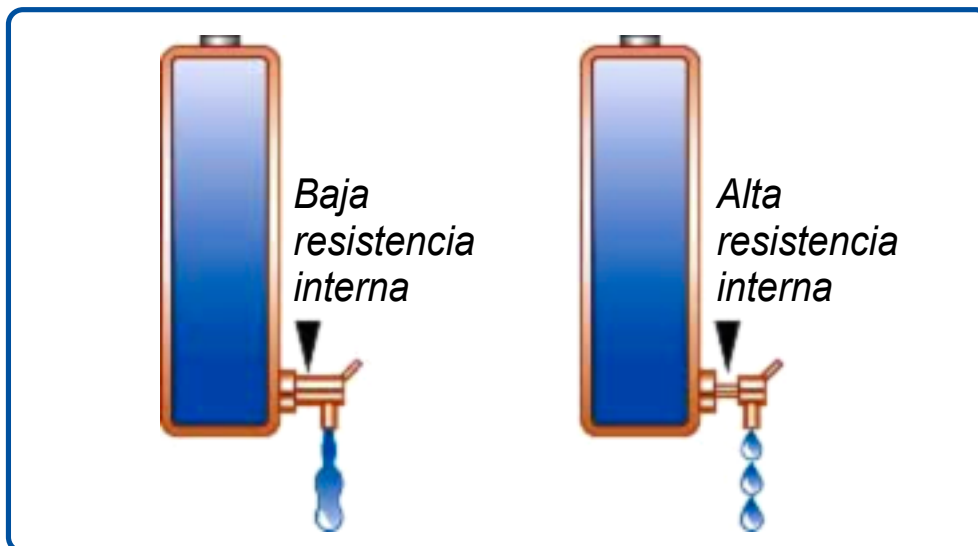


Figura. 1.7. Analogía de las válvulas de agua con la resistencia eléctrica.

Como se muestra en la figura 1.7 existe una clara similitud entre las válvulas de agua que usamos día a día y el comportamiento de la resistencia eléctrica, entre mayor sea la magnitud de la resistencia eléctrica menor será el flujo de corriente que podrá circular por un determinado material.

CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

Gracias a que toda la materia posee un valor de resistencia asociado podemos utilizar esta interacción para poder clasificar los distintos materiales usados en la ingeniería por medio del nivel de resistencia eléctrica propios.

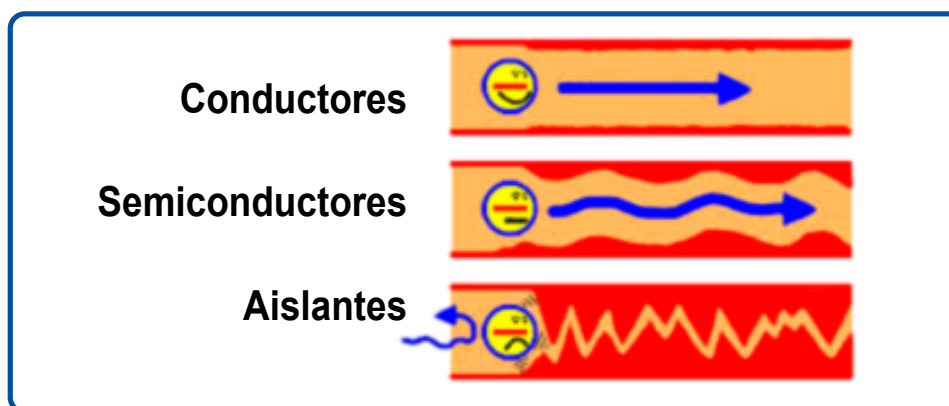


Figura. 1.8 Clasificación de los materiales.

CONDUCTORES

Son los que permiten el libre paso de la corriente eléctrica; es decir, poseen una resistencia eléctrica sumamente baja entre ellos tenemos el hierro, cobre, plata, oro.



Figura. 1.9. Materiales conductores.

SEMICONDUCTORES

Elementos físicamente alterados para responder a los cambios eléctricos de forma controlada. Estas alteraciones por lo general consisten en dopar a una porción de semiconductor puro. Esto es un procedimiento por el que se ingresan átomos a la red cristalina del semiconductor. Ejemplo germanio y silicio. Constituye la clasificación de mayor importancia, pues el desarrollo de diversas tecnologías de dopado, han permitido la generación de los dispositivos electrónicos modernos como los transistores, amplificadores operacionales y toda clase de sensores.



Figura 1.10. Elementos electrónicos básicos.

AISLANTES

Son los materiales que NO permiten el paso de la corriente eléctrica; es decir, poseen una resistencia eléctrica asociada muy alta. Entre estos materiales podemos encontrar el plástico, cuarzo, madera, mica, vidrio, cerámica, porcelana, hules.



Figura. 1.11. Materiales aislantes eléctricos.

CARACTERIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA

Los elementos circuitales que coloquialmente conocemos como resistencia eléctrica varían de forma y tamaño en función de la potencia que son capaces de disipar; es decir, de la cantidad de energía que son capaces de soportar sin sufrir algún desperfecto.

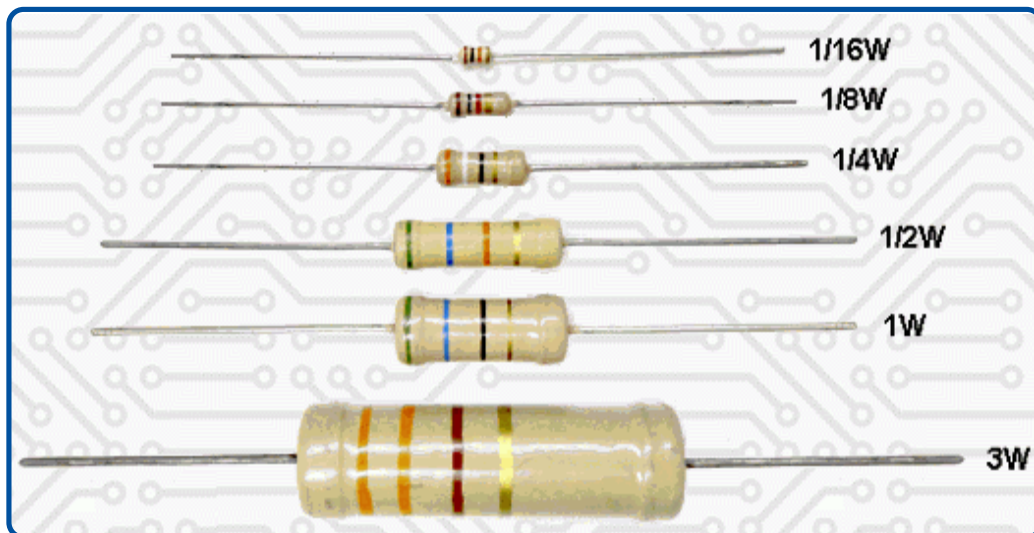


Figura. 1.12. Diferentes tamaños de resistencias de acuerdo a la potencia.

El valor de una resistencia viene dado en ohmios, nombre que define a las unidades con las que cuantificamos la resistencia eléctrica y se utiliza el símbolo de la letra griega omega (Ω). En las resistencias de alambre el valor viene impreso como se puede observar en la figura 1.13.

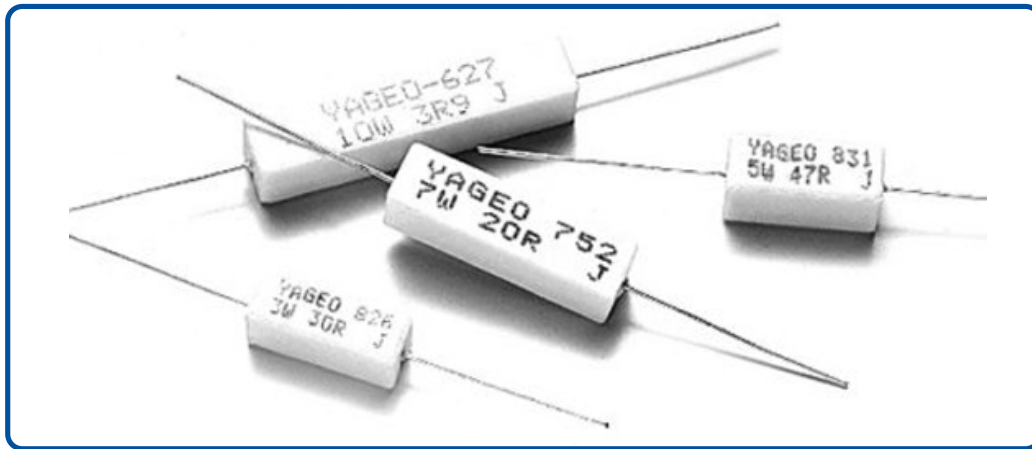


Figura. 1.13. Resistencias de alambre para grandes valores de potencia.

Para aplicaciones de bajo consumo de potencia utilizamos resistencias de carbono, las cuales traen colores que nos indicarán el valor de la resistencia de acuerdo a la tabla 1.1 en donde podemos encontrar el código de colores estandarizado.

Color	1ª Banda	2ª Banda	3ª Banda	Tolerancia
Negro	0	0	--	
Café	1	1	0	±1%
Rojo	2	2	00	±2%
Naranja	3	3	000	
Amarillo	4	4	0,000	
Verde	5	5	00,000	
Azul	6	6	000,000	
Violeta	7	7	0,000,000	
Gris	8	8	00,000,000	
Blanco	9	9	000,000,000	
Oro	-	-	Entre 10	±5%
Plata	-	-	Entre 100	±10%
Sin color	-	-		±20%

Tabla. 1.1. Código de colores para una resistencia de carbono.

CÁLCULO DEL VALOR DE UNA RESISTENCIA DE CARBONO

El primer paso es ubicar la 4ª franja o banda de color que es la tolerancia (generalmente es color oro/dorado o color plata/plateado) como se puede observar en la Figura. 1.14. A veces la tolerancia viene más alejada de otros colores o viene más grueso y para las resistencias con 20% de tolerancia es inexistente.

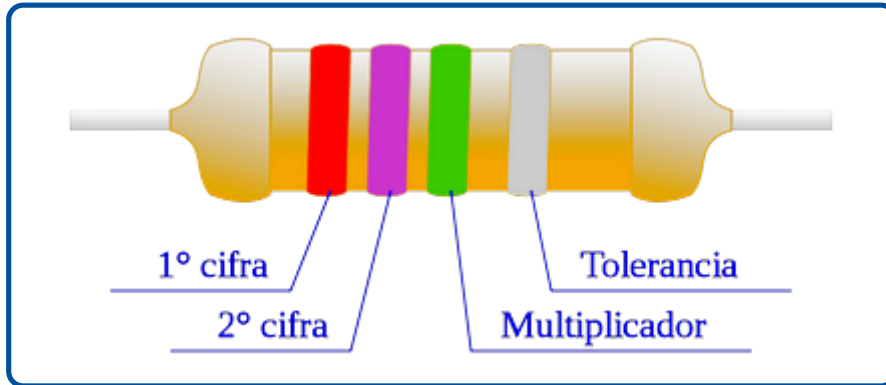


Figura. 1.14 Ubicación de las franjas en una resistencia de carbono.

Para el caso de la figura 1.14 tenemos una tolerancia de 10%, ahora procedemos a escribir los valores de la 1ª y 2ª banda de acuerdo con la tabla anterior. Tenemos en la primera banda el color rojo que significa un valor de 2 y en la segunda banda tenemos un color morado que significa 7 luego ubicamos el multiplicador múltiplo de 10 que se encuentra representado en la tercer banda, esta banda es de color verde y, por tanto, tenemos un multiplicador equivalente a 100,000.

Finalmente, al realizar la multiplicación obtenemos la cifra de 2,700,000 ohmios que corresponden a la notación de ingeniería de 2.7 Mega ohmios.

DIAGRAMAS DE CIRCUITOS PARA RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

En esta sección observaremos el comportamiento de las resistencias cuando se agrupan dentro de un sistema de conexiones al que llamamos circuito.

Resistencias en Serie

Llamamos arreglo serie a las conexiones de resistencias que se encuentran agrupadas en secuencia una tras otra por lo que forman un único camino para la corriente eléctrica y comparten solo una de sus terminales con otra resistencia contigua.

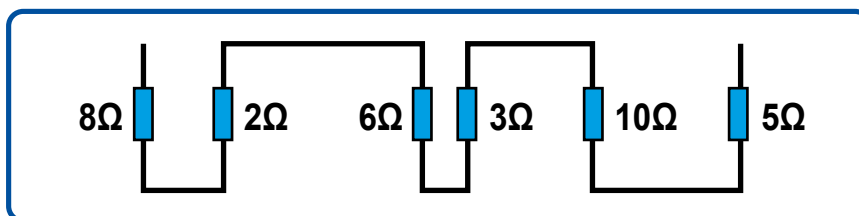


Figura 1.15 Arreglo de resistencias en serie.

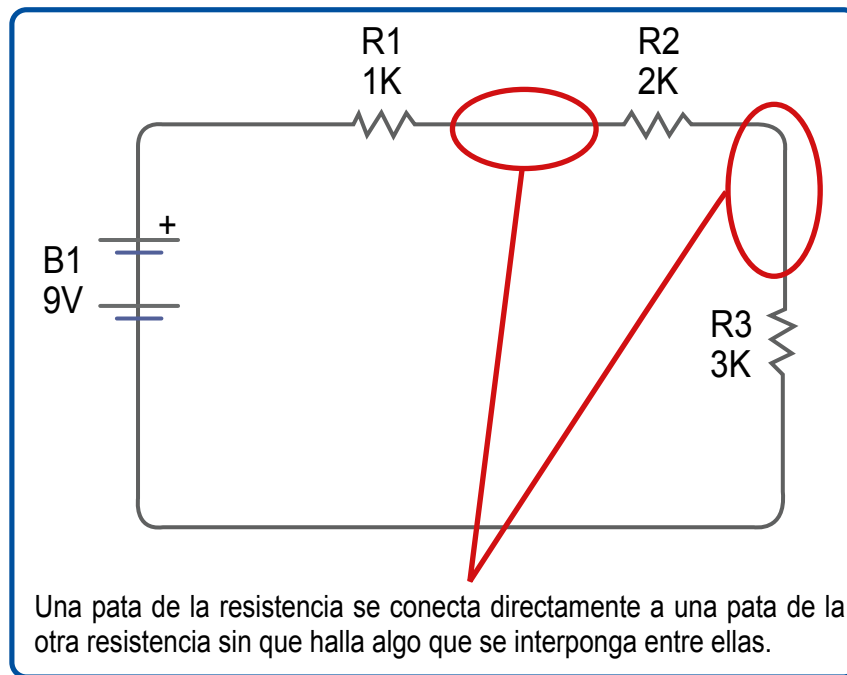


Figura 1.16. Ejemplo de circuito serie.

Cuando identificamos un grupo de resistencias que están dispuestas de tal modo que observamos se encuentran efectivamente en serie, podemos generar una resistencia equivalente que no es más que una resistencia que puede sustituir un grupo de resistencias ya que desempeña un funcionamiento idéntico al del grupo.



Figura. 1.16. Equivalente serie

Específicamente para el caso de un arreglo serie, obtenemos la equivalente sumando aritméticamente los valores individuales de cada resistencia. (SEDRA, 1902).

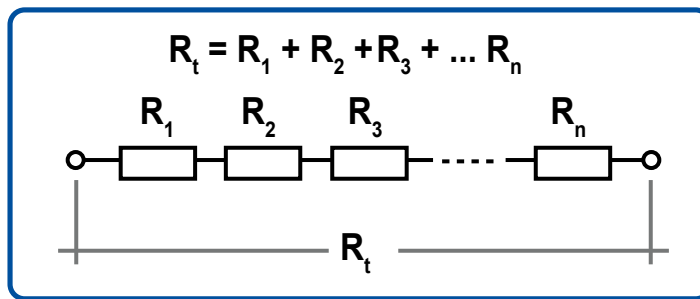


Figura 1.17. Resistencia equivalente serie.

RESISTENCIAS EN PARALELO

Las resistencias en paralelo como su nombre lo indica se encuentran conectadas entre los mismos 2 puntos de un circuito; es decir, ambas de sus terminales se encuentran conectadas en los mismo puntos y, por tanto, la corriente se reparte entre los elementos del arreglo.

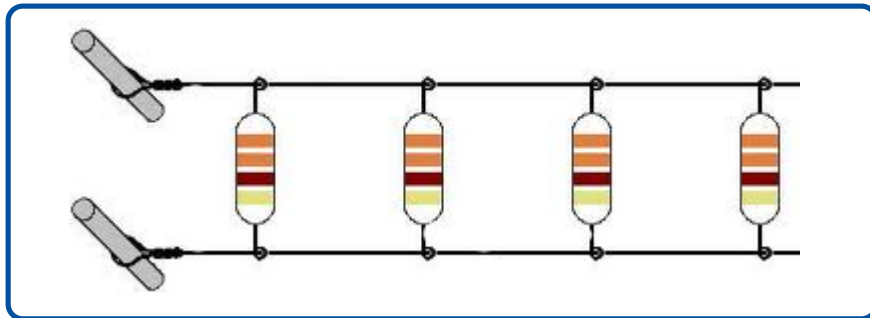


Figura 1.18 Resistencias en paralelo.

La resistencia equivalente en paralelo requiere de un mayor esfuerzo para su determinación existiendo una posible variante dependiendo de la cantidad de elementos en paralelo. Cuando tenemos solo 2 elementos en paralelo es posible usar la ecuación de la figura 1.19, mientras que para 3 o más elementos es necesario usar la fórmula de la figura 1.20.

$$R_{AB} = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}$$

Figura 1.19 ecuación para un par de resistencias en paralelo.

$$RT = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}}$$

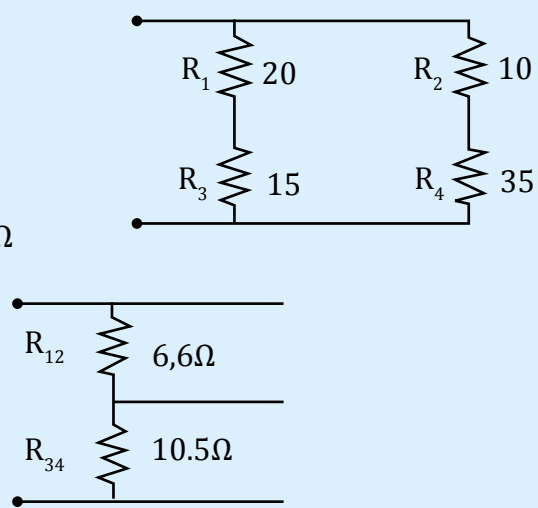
Figura. 1.20 Ecuación para 3 o más resistencias en paralelo.

CIRCUITO MIXTO

Le llamamos circuito mixto a la combinación de elementos que se encuentran en paralelo y en serie por lo que se vuelve necesario aplicar de forma independiente los equivalentes para algunos grupos y luego aplicar el equivalente para los valores resultantes.

Observamos el ejemplo de la figura 1.21 en el que se desarrolla los equivalentes de un grupo de 4 resistencias en las que primero se aplica el concepto de equivalente paralelo y al resultado que se obtiene se aplica el equivalente serie.

Solución

$$R_{12} = \frac{(20\Omega)(10\Omega)}{20\Omega + 10\Omega} = \frac{200\Omega^2}{30\Omega} = 6,6\Omega$$
$$R_{34} = \frac{(15\Omega)(35\Omega)}{15\Omega + 35\Omega} = \frac{525\Omega^2}{50\Omega} = 10,5\Omega$$
$$R_{eq} = R_{12} + R_{34}$$
$$R_{eq} = 6,6\Omega + 10,5\Omega$$
$$R_{eq} = 17,1\Omega$$


The diagram shows a circuit with four resistors: R1 (20Ω), R2 (10Ω), R3 (15Ω), and R4 (35Ω). R1 and R2 are in parallel, and R3 and R4 are in parallel. These two parallel branches are connected in series. Below it, the equivalent circuit shows a 6,6Ω resistor in series with a 10,5Ω resistor.

Figura. 1.21. Ejemplo de circuito mixto.

DIVISOR DE VOLTAJE

A menudo se usa el divisor de voltaje para suministrar un voltaje diferente del disponible en la batería o en la fuente de alimentación.

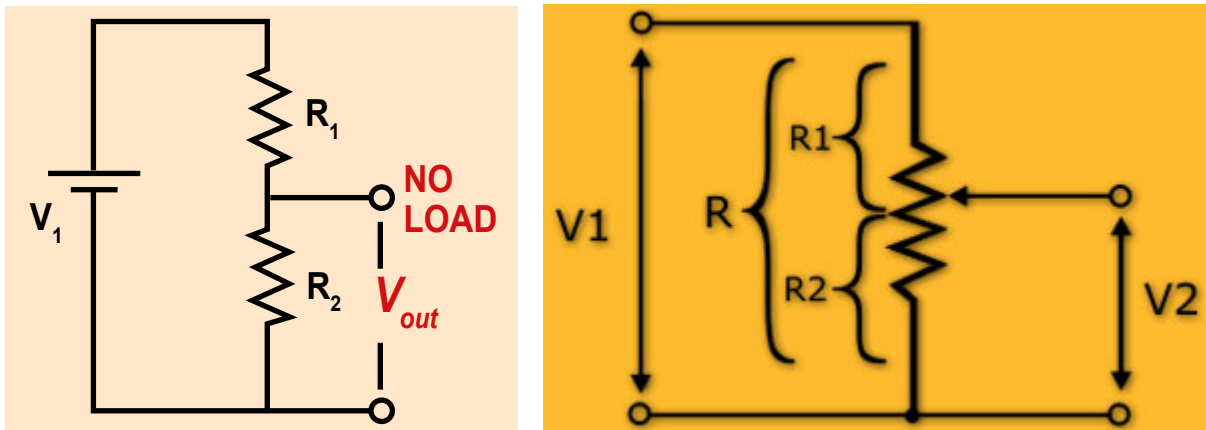


Figura 1.22. Ejemplo de divisor de Voltaje.

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{(R_1 + R_2)}$$

Figura 1.23. Obtención del valor del divisor de voltaje.

DIVISOR DE CORRIENTE

Cuando desconocemos el voltaje que se aplica a las resistencias en paralelo, podemos hacer uso del divisor de corriente para calcular la corriente de cada resistencia.

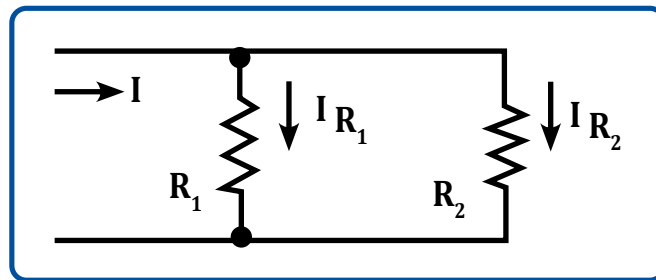


Figura 1.24. Divisor de corriente.

$$I_{R1} = \frac{I \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Figura. 1.25. Obtención de valores para la resistencia 1.

$$I_{R2} = \frac{I \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

Figura. 1.26. Obtención de valores para la resistencia 2.

Práctica Resistencias

Determine el valor de resistencia para cada uno de los siguientes ejercicios:

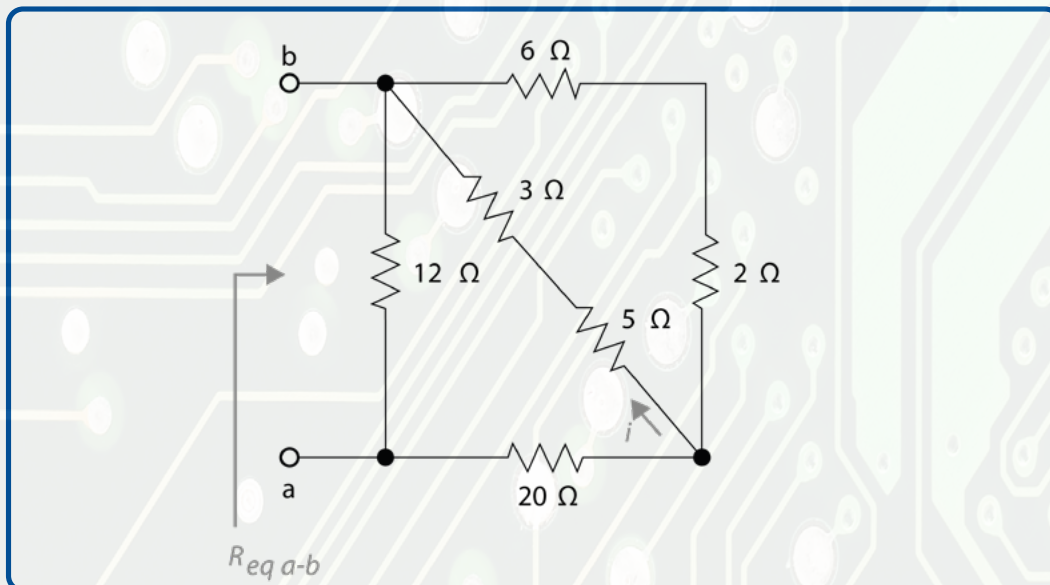
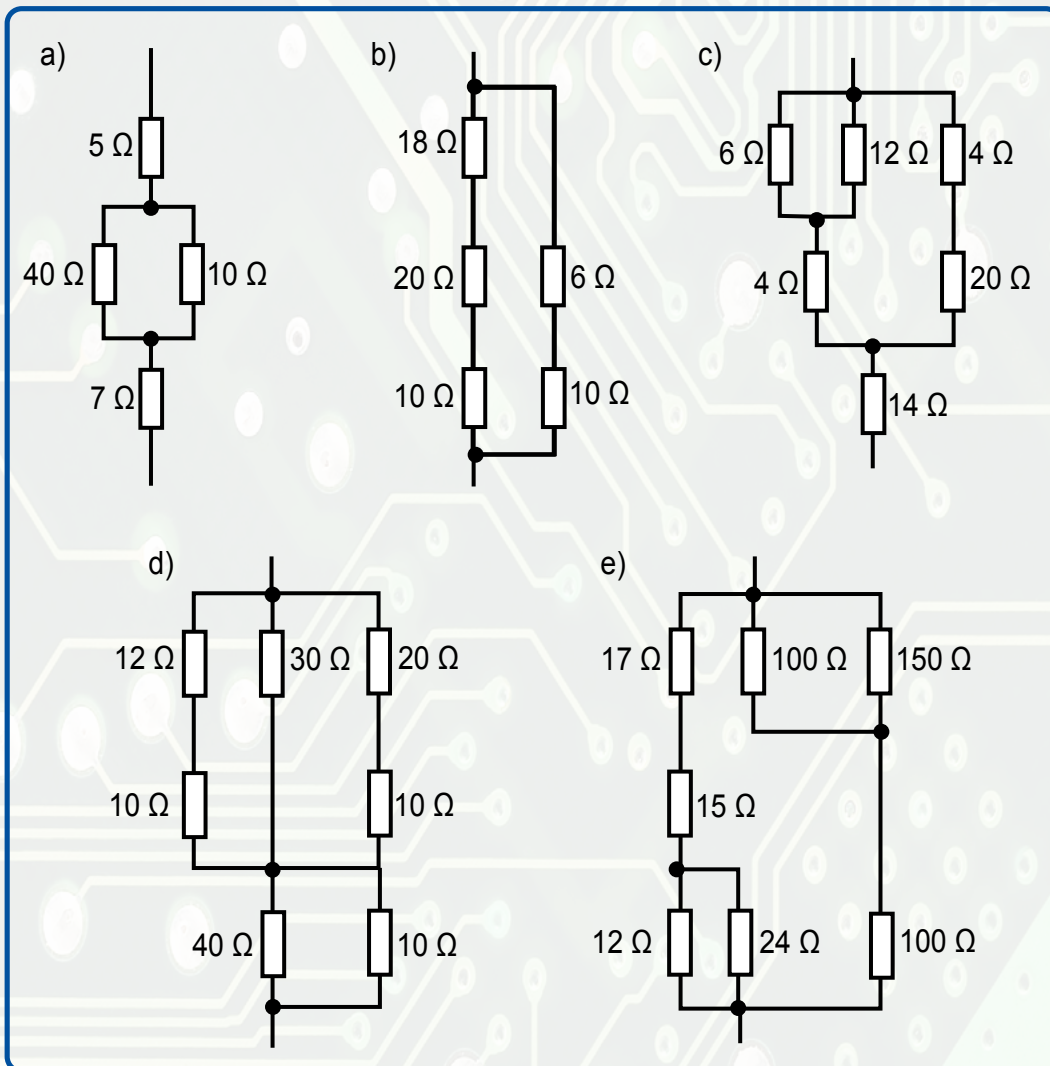
- 1) **Una Resistencia con los colores Rojo, Rojo, Rojo**
 - a) $2.2\text{K}\Omega$
 - b) $2.0\text{K}\Omega$
 - c) $1.2\text{K}\Omega$
 - d) 220Ω

- 2) **Una Resistencia con los colores Rojo, Negro, Amarillo**
 - a) $200\text{K}\Omega$
 - b) $20\text{K}\Omega$
 - c) $12\text{K}\Omega$
 - d) $2.2\text{K}\Omega$

- 3) **Una Resistencia con los colores Naranja, Naranja, Rojo**
 - a) $3.3\text{K}\Omega$
 - b) $330\text{K}\Omega$
 - c) $3.2\text{K}\Omega$
 - d) $33.2\text{K}\Omega$

- 4) **Una Resistencia con los colores amarillo, Violeta, Café**
 - a) $3.3\text{K}\Omega$
 - b) $470\text{K}\Omega$
 - c) $3.2\text{K}\Omega$
 - d) 470Ω

Calcular la resistencia equivalente para los siguientes circuitos:



LEYES DE OHM

Los materiales, en general, poseen el comportamiento característico de oponer resistencia al flujo de la carga eléctrica. Esta propiedad física, o capacidad para resistir a la corriente, se conoce como resistencia y se representa con el símbolo R .

Por tanto, la resistencia de cualquier material con un área de sección transversal uniforme " A " depende de esta y su longitud ℓ .

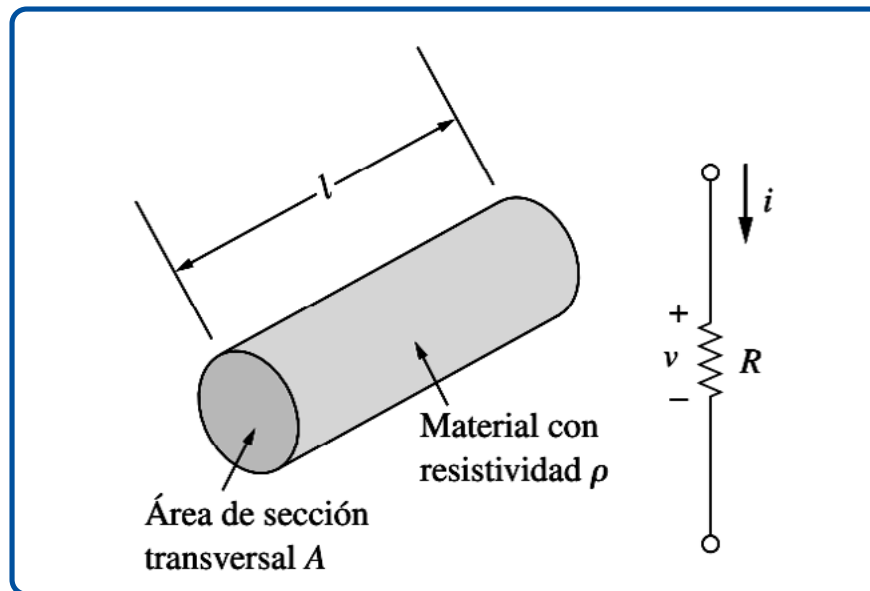


Figura 1.27. Dimensiones para determinar la resistencia.

De la figura 1.27 podemos concluir la relación existente entre las cantidades de materia y la resistencia intrínseca de un material donde: ρ se llama resistividad del material, en ohm-metros

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

Figura 1.28. Determinación de la resistencia por medio de dimensiones.

$$v \propto i \quad v = iR$$

Figura 1.29. Relación entre la tensión y la corriente de una resistencia.

De la relación anterior observada en la figura 1.29 determinamos que R es la constante de proporcionalidad que existe entre la tensión y la corriente.

Esta constante cuantifica la resistencia eléctrica asociada al cuerpo o material y se mide con las unidades conocidas como ohmio y se representa con la letra griega Ω

Para hacer una adecuada aplicación de la ley de ohm se debe tener siempre en cuenta la dirección de la corriente que pasa por una resistencia, así como la polaridad que se asocia a las terminales de la resistencia debido a la circulación de dicha corriente. Por tanto, como se observa en la figura 1.30 la dirección de la corriente i se debe a que va de un potencial mayor hacia uno menor y por ello entra en la terminal marcada como $+$ y sale por la terminal marcada como $-$.

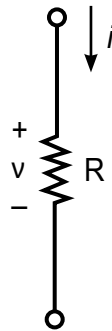


Figura 1.30. Convención pasiva de los signos.

DIAGRAMAS DE CIRCUITOS

Un circuito es una red de elementos conectados entre sí de tal forma que general trayectorias cerradas que permiten el flujo de corriente y, por tanto, de energía sobre dichas trayectorias.

Un diagrama de circuitos o esquemático del circuito es una representación gráfica de los elementos que componen un circuito y es esto por lo que debemos memorizar la representación de cada elemento y poder identificarlos.

Los elementos que conforman un diagrama son los siguientes:

- Rama
- Nodo
- Lazo

RAMA

Una rama representa cualquier elemento que constituye un circuito, entre los que podemos encontrar: una fuente de tensión, una fuente de corriente, una resistencia, un capacitor, básicamente es cualquier elemento que posee únicamente 2 terminales.

NODO

Un nodo representa un punto de interconexión entre una o varias ramas y, por lo tanto, permite el flujo de corriente entre las ramas del circuito.

LAZO

Un lazo está representado por cualquier trayectoria cerrada en un circuito. Es decir, es un camino para la corriente que inicia en un nodo determinado pasando por cualquier cantidad de nodos y ramas y regresando al nodo de partida sin tocar más de una vez cada nodo.

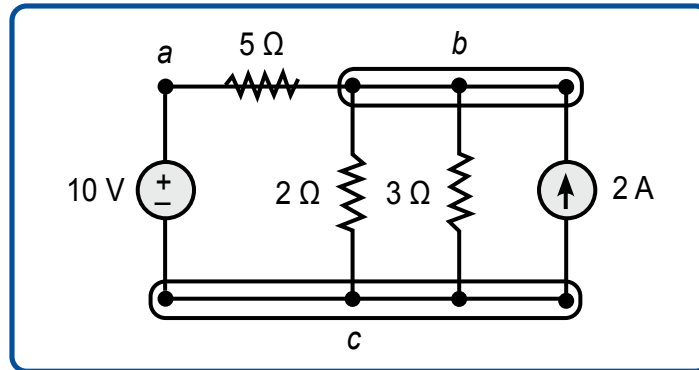


Figura 1.31. Diagrama de circuito general.

ANÁLISIS DE CIRCUITOS

Por medio de la ley de ohm podemos realizar análisis de circuitos más complejos y obtener características fundamentales en ellos y así determinar tensión, corriente, potencia, resistencia equivalente, etcétera.



Determinar la resistencia equivalente total del circuito y la corriente total para el circuito mixto de la Figura 1.32.

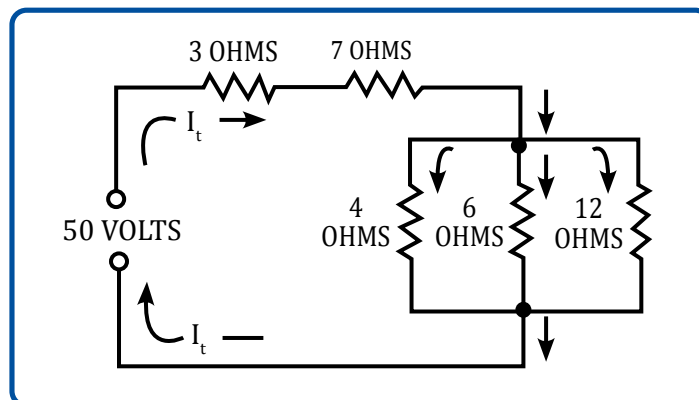


Figura 1.32. Circuito mixto.

Se dice que el circuito de la Figura 1.32 es un circuito mixto dado que hay una combinación entre resistencias en paralelo y serie. De igual forma determinamos un sentido de circulación de la corriente de tal modo que cumpla con una única trayectoria iniciando en la fuente de alimentación de 50 voltios y regresando a ella, después de circular por todos los elementos del circuito.

Como primer paso debemos identificar los elementos más fáciles de simplificar para ir poco a poco reduciendo el circuito hasta llevarlo a su mínima expresión que está constituida por una única resistencia equivalente que se comporta del mismo modo del grupo.

Para este caso, en particular, identificamos que las resistencias de 4, 6 y 12 ohmios que se encuentran en paralelo son las primeras resistencias que debemos de simplificar, dado que se encuentran en paralelo solo debemos aplicar la ecuación de la figura 1.20 como se observa a continuación:

$$\text{Resistencia equivalente} = \frac{1}{\frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{12}} = 2\Omega$$

Ahora conocemos el valor de la resistencia que equivale al grupo, esta es una de 2ohmios y como paso final observamos que esta nueva resistencia queda conectada entre las terminales que antes se encontraban el grupo de resistencias, por lo que fácilmente podemos determinar que se encuentra en serie con las demás resistencias del circuito.

Dado que el circuito es puramente en serie solo debemos realizar una suma simple de los valores de todas las resistencias como se observa a continuación:

$$\text{Resistencia total} = 3\Omega + 7\Omega + 2\Omega = 12\Omega$$

Ahora que se conoce el valor de la resistencia total es posible determinar la corriente total que circula por el circuito, dado que esta será la misma corriente que pasa por la resistencia equivalente, solo es necesario calcularla por medio de la ley de ohm:

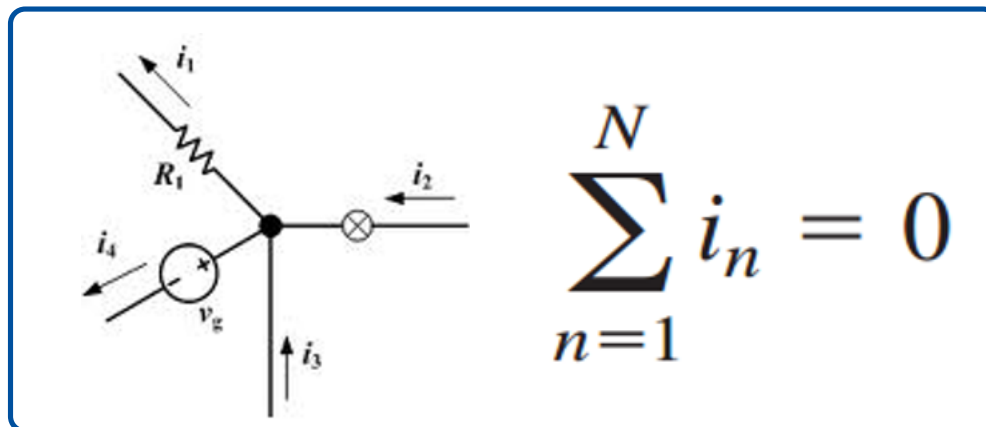
$$\text{Corriente Total } (I_1) = \frac{50\text{ V}}{12\Omega} = 4.166\text{ A}$$

LEY DE CORRIENTE DE KIRCHHOFF

La ley de Ohm no es suficiente en sí misma para analizar circuitos. Sin embargo, cuando se le une con las dos leyes de Kirchoff, hay un conjunto suficiente y eficaz de herramientas para analizar gran variedad de circuitos eléctricos.

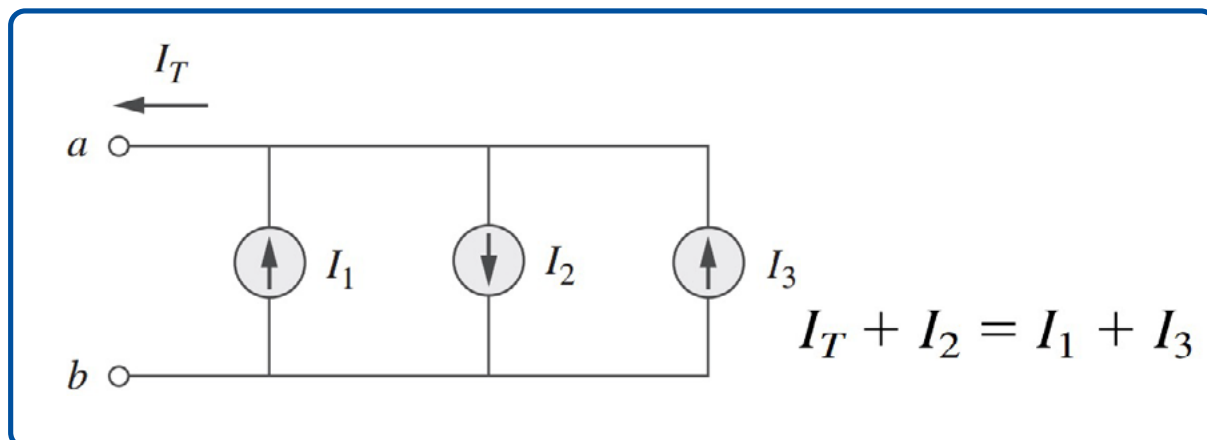
La primera ley de Kirchoff se basa en la ley de la conservación de la carga, de acuerdo con esta la suma algebraica de las cargas dentro de un sistema no puede cambiar.

La ley de corriente de Kirchoff (LCK) establece que la suma algebraica de las corrientes que entran a un nodo (o frontera cerrada) es de cero.



Por efecto de esta ley, las corrientes que entran a un nodo pueden considerarse positivas, mientras que las corrientes que salen del nodo llegan a considerarse negativas, o viceversa.

La suma de las corrientes que entran a un nodo es igual a la suma de las corrientes que salen de él.



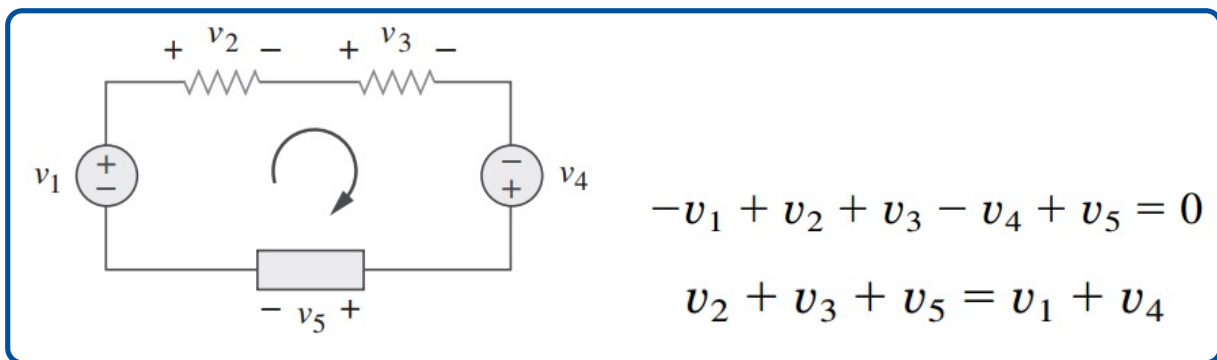
LEY DE VOLTAJE DE KIRCHHOFF

La segunda ley de Kirchhoff se basa en el principio de la conservación de la energía:

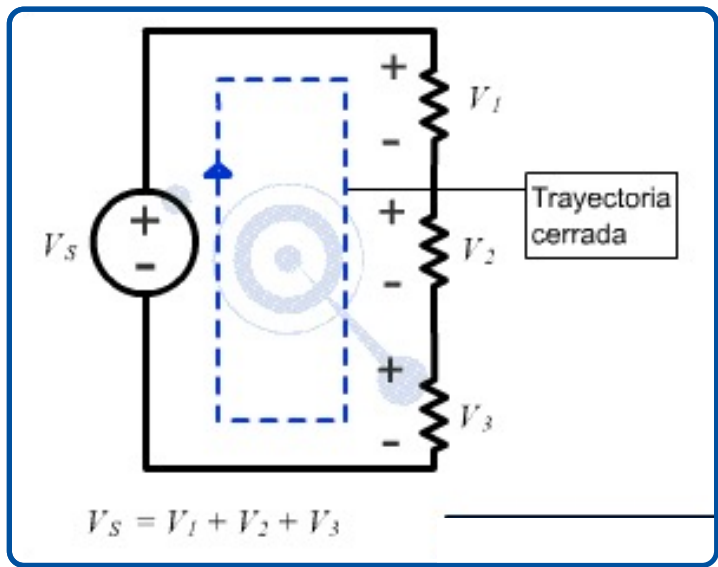
La ley de tensión de Kirchhoff (LTK o LVK) establece que la suma algebraica de todas las tensiones alrededor de una trayectoria cerrada (o lazo) es cero.

$$\sum_{m=1}^M v_m = 0$$

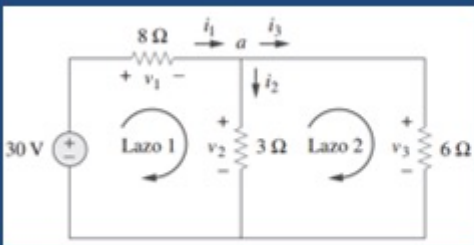
El signo en cada tensión es la polaridad de la primera terminal encontrada al recorrer el lazo. Se puede comenzar con cualquier rama y recorrer el lazo en el sentido de las manecillas del reloj o en el sentido contrario.



Suma de caídas de tensión = Suma de aumentos de tensión



En el siguiente ejemplo vemos la aplicación de ambas leyes en la resolución de un circuito particular:



Por ley de Ohm:

$$v_1 = 8i_1, \quad v_2 = 3i_2, \quad v_3 = 6i_3$$

En el nodo a, la LCK da como resultado:

$$i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

Al aplicar la LTK al lazo 1 como en la figura:

$$-30 + v_1 + v_2 = 0$$

$$-30 + 8i_1 + 3i_2 = 0$$

$$i_1 = \frac{30 - 3i_2}{8}$$

Al aplicar la LTK al lazo 2

$$-v_2 + v_3 = 0 \Rightarrow v_3 = v_2$$

$$6i_3 = 3i_2 \Rightarrow i_3 = \frac{i_2}{2}$$

$$\frac{30 - 3i_2}{8} - i_2 - \frac{i_2}{2} = 0$$

$$i_2 = 2 \text{ A}$$

$$i_1 = 3 \text{ A}, \quad i_3 = 1 \text{ A}, \quad v_1 = 24 \text{ V}, \quad v_2 = 6 \text{ V}, \quad v_3 = 6 \text{ V}$$

Práctica Ley de OHM

Para la siguiente práctica es necesario determinar los valores de tensión, corriente y resistencias especificados en cada uno de los circuitos mostrados a continuación:

1. Para el siguiente circuito determinar la resistencia equivalente total para el conjunto de resistencias mostradas en la figura 1.33.

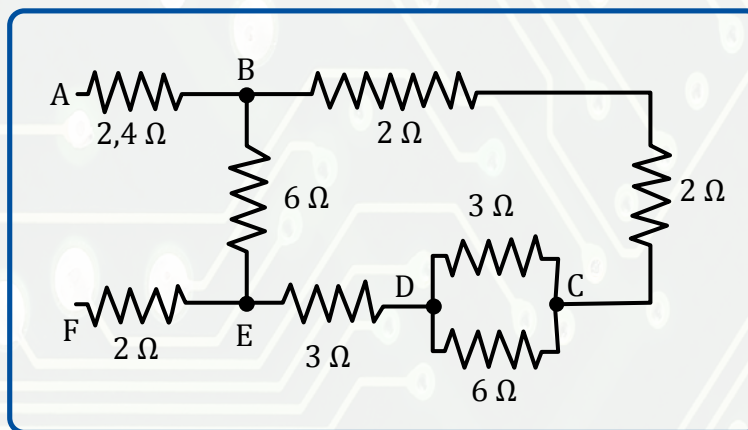


Figura 1.33. Ejercicio 1.

2. En el siguiente ejercicio determinar la corriente total demandada por el circuito por medio de la resistencia total equivalente si $R_L = 2\text{ kohmios}$, luego determinar la tensión y la corriente en los terminales A-B correspondientes a la resistencia de carga R_L (usando divisores de tensión y de corriente).

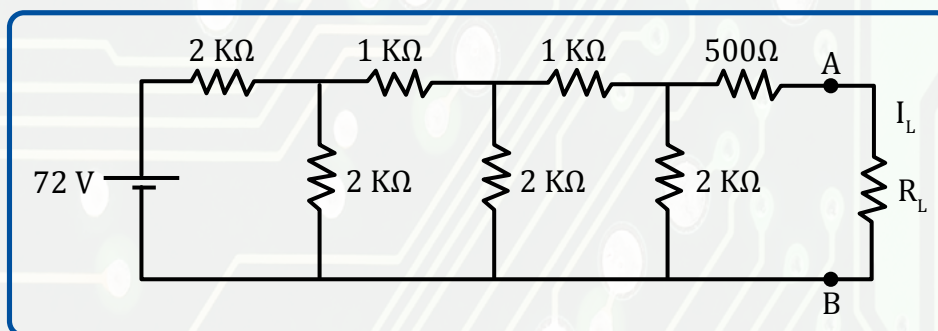


Figura 1.34. Ejercicio 2.

3. En el siguiente ejercicio determinar los valores de las corrientes i e i_2 , así como la tensión v de la resistencia mostrada en la imagen.

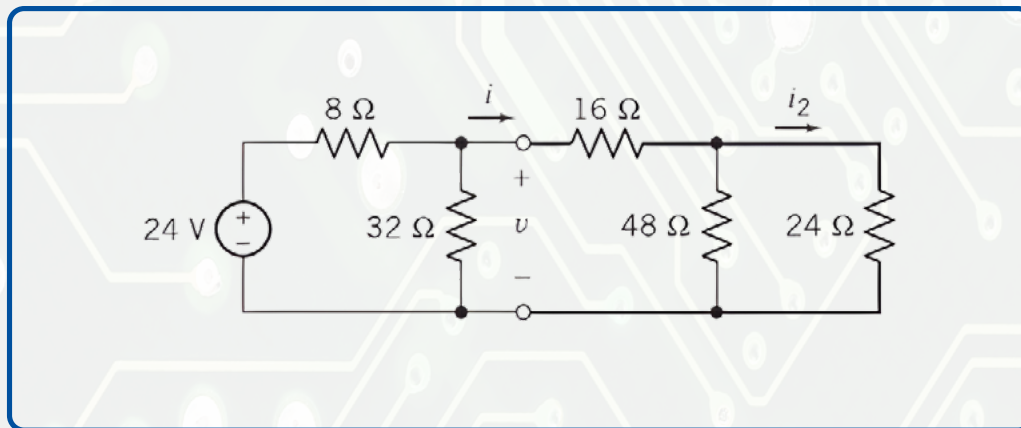


Figura 1.35. Ejercicio 3.

4. Determinar los valores de v_1 y v_2 en el circuito que aparece en la siguiente figura:

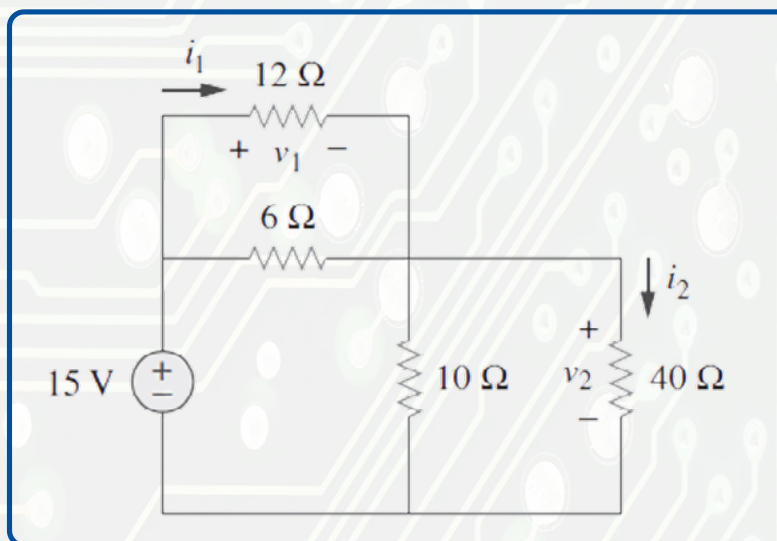


Figura 1.36. Ejercicio 4.

5. Tres bombillas eléctricas están conectadas a una batería de **9V**, como se indica en la figura. Calcule: a) la corriente total suministrada por la batería, b) la corriente que circula por cada bombilla, c) la resistencia de cada bombilla.

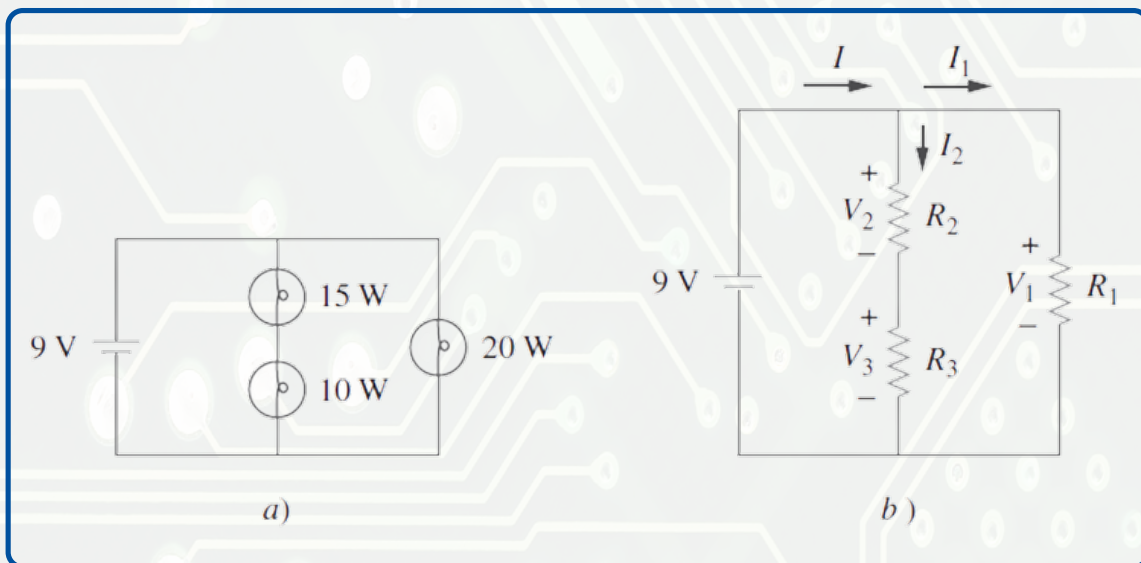


Figura 1.37. Ejercicio 5.

Práctica Soldadura

Se deberá soldar un cubo con alambre THHN calibre (14-16), con un tamaño de al menos 10cm por lado tratando de generar una figura lo más recta y uniforme posible como el ejemplo a continuación mostrado.

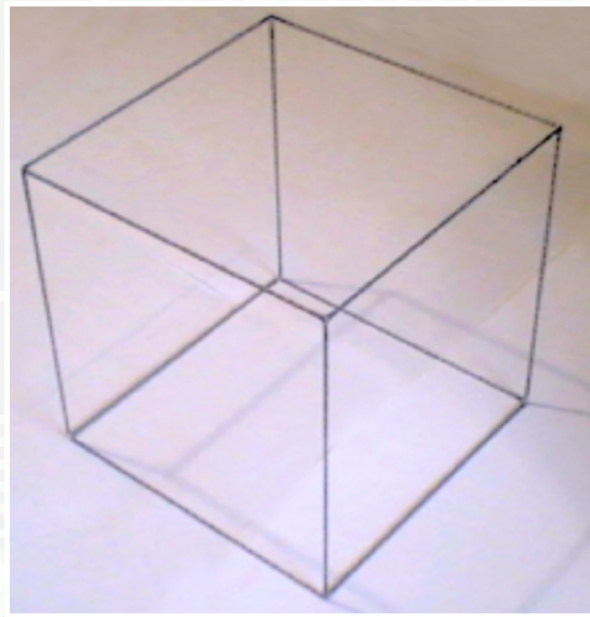


Figura 1.35. Figura soldada finalizada.

► Materiales

Nombre	Cantidad
Soldador cautín	1
Estaño 60/40	A su criterio
Pasta para soldar (opcional)	1
Alambre THHN # 14 ó 16	10cm/lado
Algodón o un trapo (opcional)	1
Tenazas o pinzas eléctricas (opcional)	1
Peladora de cable o cuchilla de electricista	1

Cada uno de los alambres que constituyen las aristas de cada cara del cubo debe ser previamente estañado por lo que se cortaran segmentos de alambre de 10 cm, posteriormente, se debe retirar el forro de plástico como se puede observar en la figura.

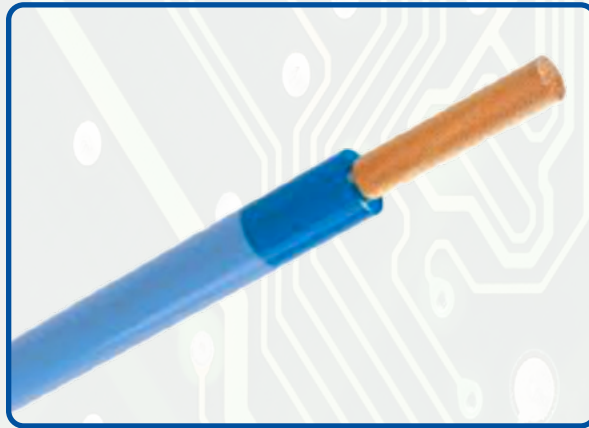


Figura 1.36. Alambre con el interior expuesto.

Una vez se tienen todos los alambres sin forro, procederemos a estañar cada uno de los alambres por medio de nuestro caudín y añadiendo una pequeña cantidad de estaño.



Figura 1.37. Cautines para realizar soldaduras.

Ahora que ya se encuentran estañados los alambres se debe proceder a soldar los vértices del cubo uno por uno con el fin de generar primero una cara plana de 2 dimensiones y a partir de esta cara se procede a soldar en sus vértices la siguiente dimensión hasta lograr generar una figura tridimensional que asemeja a un cubo.

Glosario

- ▶ **Electrónica:** es una rama de la ingeniería aplicada al electromagnetismo dedicado particularmente al diseño y aplicación de dispositivos cuyo funcionamiento dependen del flujo de electrones para la generación, transmisión, recepción, almacenamiento de información, entre otros.
- ▶ **Dispositivo electrónico:** permite realizar algunos tipos de procesamientos de la información que obtienen como entrada, por lo que su operación es más compleja. Debido a este procesamiento podemos obtener diferentes respuestas a la salida de los dispositivos.
- ▶ **Dispositivo eléctrico:** su funcionamiento es básico, es decir, que necesita ser operado directamente por el ser humano como, por ejemplo: el encendido y apagado de las luces. Y solamente realiza una función.
- ▶ **Diferencia de potencial o voltaje:** también conocida como fuerza electromotriz es la presión o fuerza es empujada a través de un circuito cerrado.
- ▶ **Corriente:** podemos definirla como el flujo de electrones que viajan a través de un circuito cerrado tomando en cuenta sus diferencias de potencial se clasifica en CA / CD
- ▶ **Resistencia:** se caracteriza por ser la oposición del paso de flujo de electrones a través de un circuito cerrado.
- ▶ **Conductor:** es el material que posee una resistencia de acuerdo a su material tales como: cobre, oro, hierro, plata; permitiendo el paso del flujo de electrones.
- ▶ **Aislante:** es aquel material que no permite el paso del flujo de electrones. Tales como: porcelana, madera, plástico.
- ▶ **Rama:** una rama representa cualquier elemento que constituye un circuito, entre los que podemos encontrar: una fuente de tensión, una fuente de corriente, una resistencia, un capacitor, básicamente es cualquier elemento que poseen únicamente 2 terminales.
- ▶ **Nodo:** Un nodo representa un punto de interconexión entre una o varias ramas y, luego, permite el flujo de corriente entre las ramas del circuito.
- ▶ **Lazo:** está representado por cualquier trayectoria cerrada en un circuito. Es decir, es un camino para la corriente que inicia en un nodo determinado pasando por cualquier cantidad de nodos y ramas y regresando al nodo de partida sin tocar más de una vez cada nodo.
- ▶ **Circuito mixto:** Le llamamos circuito mixto a la combinación de elementos que se encuentran en paralelo y en serie por lo que se vuelve necesario aplicar de forma independiente los equivalentes para algunos grupos y luego aplicar el equivalente para los valores resultantes.

CAPÍTULO 2

Semiconductores

INTRODUCCIÓN

Existen materiales que por su naturaleza no son aislantes ni conductores, puesto que dependiendo de las condiciones pueden mostrar algunas características de los conductores, es por ello que a estos materiales les denominamos semiconductores. Por ejemplo, hay materiales que a partir de una cierta temperatura aumentan su conductividad, pero por debajo de esa temperatura, se comportan de forma muy similar a un aislante. Otros factores que pueden influir en la conductividad de los semiconductores son la presión, presencia de un campo magnético o eléctrico o una radiación incidiendo sobre el semiconductor.

Entre los semiconductores más ampliamente utilizados podemos mencionar el silicio y el germanio que constituyen algunas de las principales materias prima para la electrónica moderna. Debido a su gran abundancia en la corteza terrestre, bajo costo de procesamiento y amplio espectro de aplicabilidad.

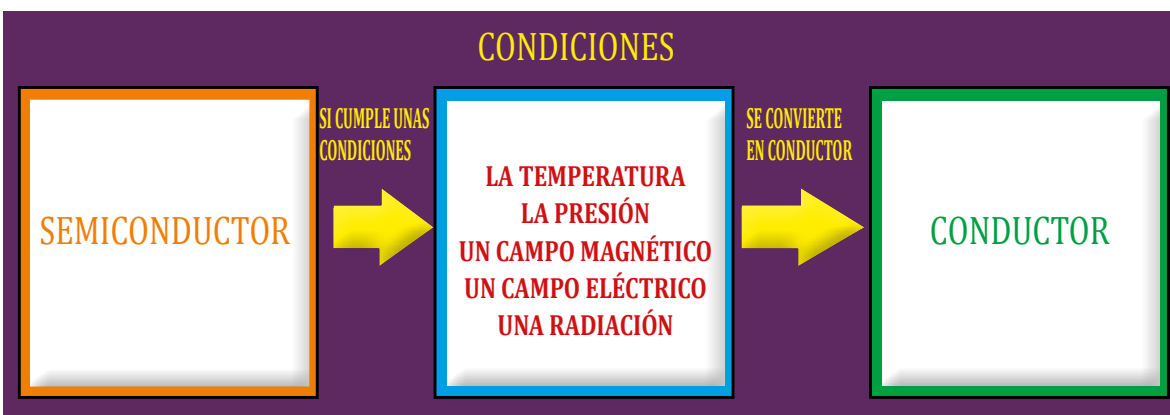


Figura 2.1. Comportamiento de los semiconductores.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE UN SEMICONDUCTOR

Existen 3 tipos de bandas de energía que caracterizan a la composición de los materiales:

- **Banda de Valencia:** Intervalo energético donde están los electrones de la última órbita del átomo.
- **Banda Prohibida:** Energía que ha de adquirir un electrón de la banda de valencia para poder moverse libremente por el material y pasar a la banda de conducción.
- **Banda de conducción:** Intervalo energético donde están aquellos electrones que pueden moverse libremente. Están libres de la atracción del átomo.

De estas bandas podemos observar en la figura 2.2 el comportamiento para cada clasificación de los materiales, para un aislante existe una banda prohibida grande por lo que se necesita una gran cantidad de energía para lograr la movilización de un electrón, está es la razón por la que un aislante presenta una conducción eléctrica muy pobre; al contrario en un conductor apenas se observa una banda prohibida o es prácticamente inexistente y debido a ello es que se necesita de muy poca energía para generar movilización de electrones a través del material.

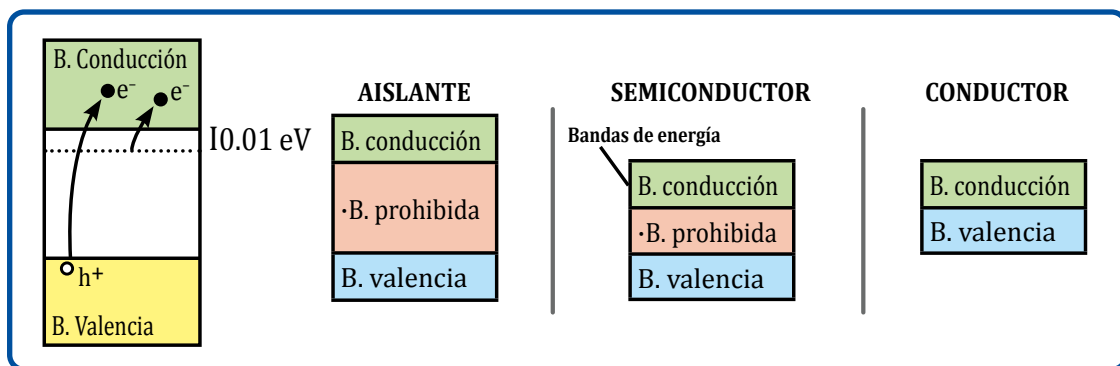


Figura 2.2. Bandas presentes en los materiales.

La mayoría de los semiconductores son materiales que tienen sus átomos unidos por enlaces covalentes. Es decir que dos átomos comparten un electrón de forma estable y, entonces, este enlace covalente será el que tengamos que arrancar. Como se observa en la figura 2.3. cuando el electrón abandona el átomo dejará lo que se llama un hueco.

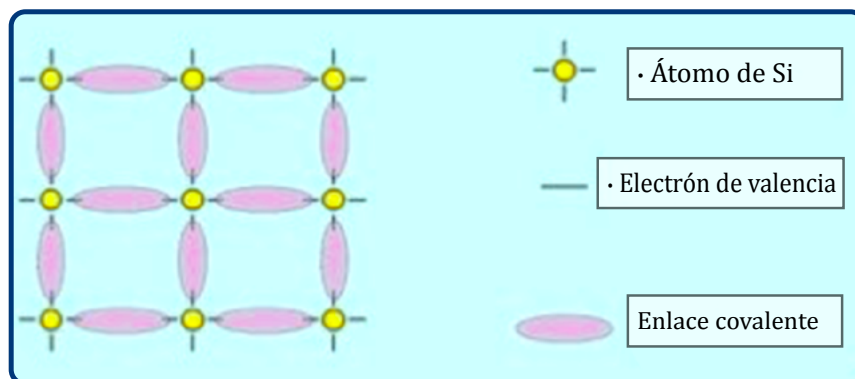


Figura 2.3. Enlaces en un semiconductor.

Cuando un electrón se separa del átomo rompe el enlace covalente de pares de electrones y dejará un hueco vacío. Este hueco ahora puede ser ocupado por otro electrón que a su vez abandono previamente a otro átomo cercano a él. De esta forma se generan huecos y estos huecos se van rellenando por otros electrones de otros átomos. Este fenómeno representa la forma en que se da la conducción eléctrica a través de los pares electrón-hueco.

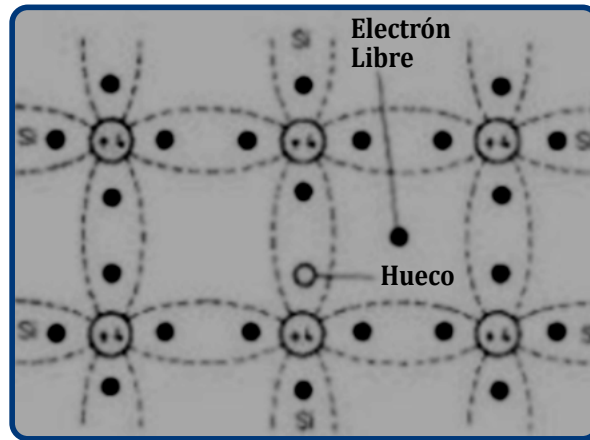


Figura 2.4. Pares electrón-hueco.

En la figura 2.5 Se muestra la interacción entre los semiconductores para la conducción eléctrica debida al par electrón-hueco. En ella podemos observar cómo al desplazarse un electrón en una determinada dirección, como reacción se genera el desplazamiento de un hueco en la dirección contraria. Los dos materiales semiconductores de más frecuente uso son el Germanio y el Silicio, que son muy abundantes, pero que necesitan de un proceso de extracción así como de purificación. Ahora bien, purificar un material al cien por cien, es muy costosos, lo que hace que los materiales que se usan contengan muchas impurezas (átomos desestabilizadores). Por la cantidad de impurezas que posean, se pueden clasificar en intrínsecos y extrínsecos.

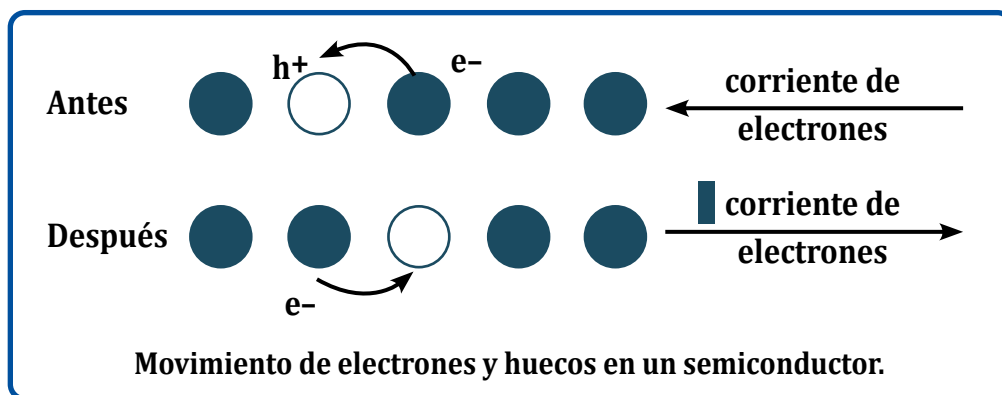


Figura 2.5. Conducción por electrón-hueco.

SEMICONDUCTORES INTRÍNSECOS

Se le llama semiconductor intrínseco a aquellos materiales que están compuestos por un único tipo de átomo, para el caso de un semiconductor compuesto netamente por átomos de silicio, observamos que cada unidad elemental está rodeada por 4 electrones de valencia los cuales comparte con sus átomos adyacentes formados, una cantidad igual de enlaces covalentes, formándose así una red cristalina, en la que la unión entre cada uno de los electrones y sus átomos es muy fuerte. Por tanto, en esta red los electrones necesitan una gran cantidad de energía para moverse; es decir, que no se pueden desplazar fácilmente a través de la red y, por tanto, el material se comporta de manera muy similar a un aislante.

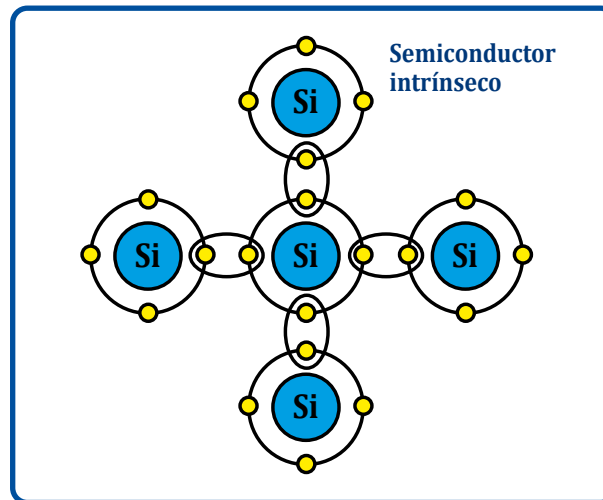


Figura 2.6. Enlaces covalentes del silicio.

Para alterar este comportamiento cercano a un aislante es necesario alterar las condiciones que lo rodean, en este caso particular al aumentar la temperatura se brinda energía a los electrones, ganando la suficiente energía para que algunos puedan separarse de sus enlaces covalentes mejorando en gran manera la conductividad eléctrica del material. Por lo que podemos concluir que al aumentar la temperatura obtenemos una reducción significativa en la resistividad eléctrica del material.

SEMICONDUCTOR EXTRÍNSECO

Con el fin de mejorar las propiedades que observamos en los semiconductores intrínsecos, muy a menudo, se les somete a un proceso por el que se le añade deliberadamente algunas impurezas (llamado dopaje), consistente en introducir átomos de otros elementos con el fin de aumentar su conductividad. Al material obtenido de esta manera se le denomina semiconductor extrínseco.

Los átomos de impurezas suelen tener 3 o 5 electrones de valencia, lo que permite subdividir a estos semiconductores extrínsecos en dos tipos diferentes: Tipo N y Tipo P.

SEMICONDUCTOR TIPO P

Se utilizan elementos trivalentes (3 electrones de valencia) como el Boro (B), Indio (In) o Galio (Ga) como elementos dopantes. Debido a que no aportan los 4 electrones necesarios para establecer los 4 enlaces covalentes inherentes al silicio, observaremos en la red cristalina un defecto de electrones (hará falta un enlace covalente alrededor de cada átomo trivalente). De esa manera se originan huecos que aceptan el paso de electrones que no pertenecen a la red cristalina. Así, al material tipo P también se le denomina donador de huecos (o aceptador de electrones)

SEMICONDUCTOR TIPO N

Se utilizan como impurezas elementos pentavalentes (con 5 electrones de valencia) como el Fósforo (P), el Arsénico (As) o el Antimonio (Sb). En esta ocasión el dopante aporta electrones en exceso, los cuales al no encontrarse enlazados, se moverán fácilmente por la red cristalina aumentando su conductividad. De ese modo, el material tipo N se denomina también donador de electrones.

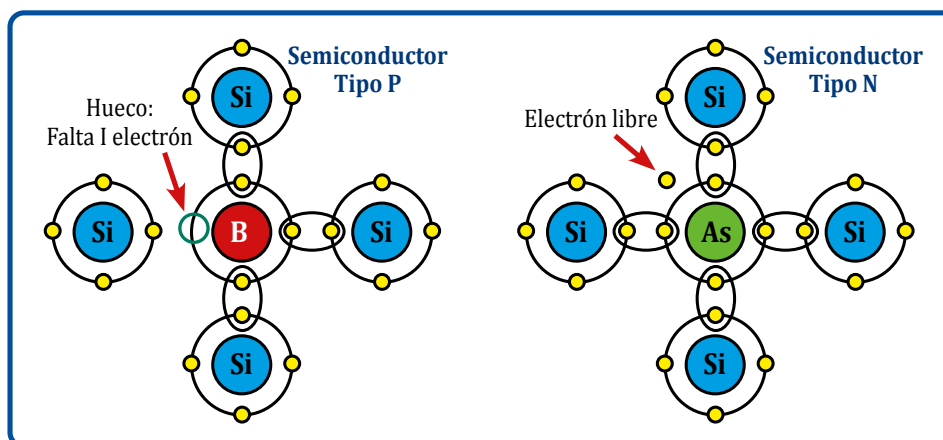


Figura 2.7. Impurezas dentro del arreglo.

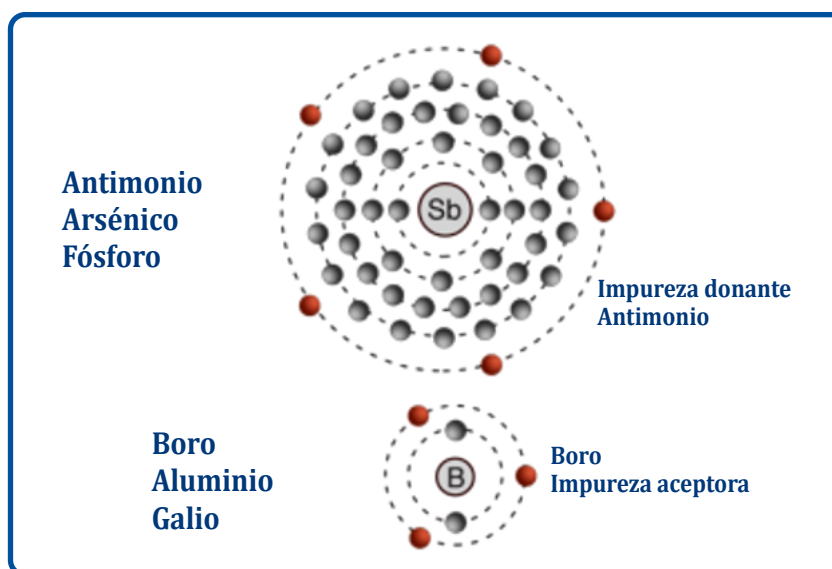


Figura 2.8. Diferentes tipos de impurezas.

EL DIODO

Un diodo es un componente electrónico de dos terminales que permite la circulación de la corriente eléctrica a través de él en un solo sentido. Este término, generalmente, se usa para referirse al diodo semiconductor, el más común en la actualidad; consta de una pieza de cristal semiconductor conectada a dos terminales eléctricos. Los diodos tienen una polaridad determinada por un ánodo (terminal positivo) y un cátodo (terminal negativo). La mayoría de los diodos permiten que la corriente fluya solo cuando se aplica tensión en una dirección a la que denominamos polarización directa, mientras que se comportará como un interruptor abierto cuando se coloque en polarización inversa, tal y como podemos observar en la figura 2.9.

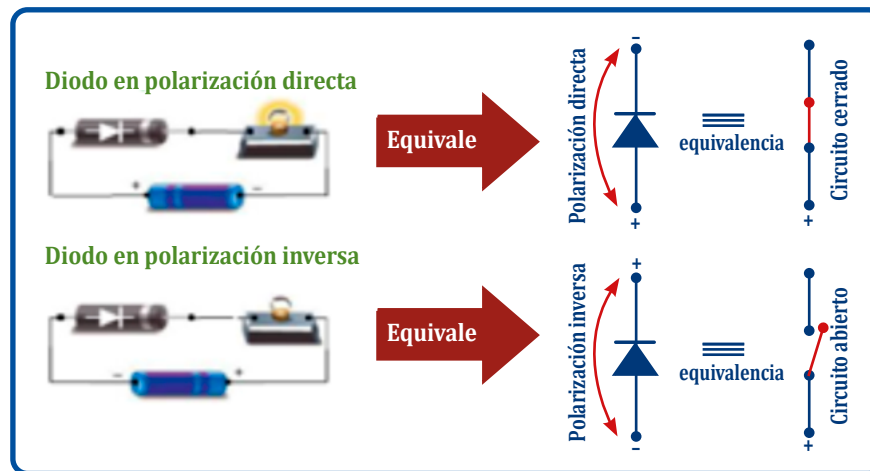
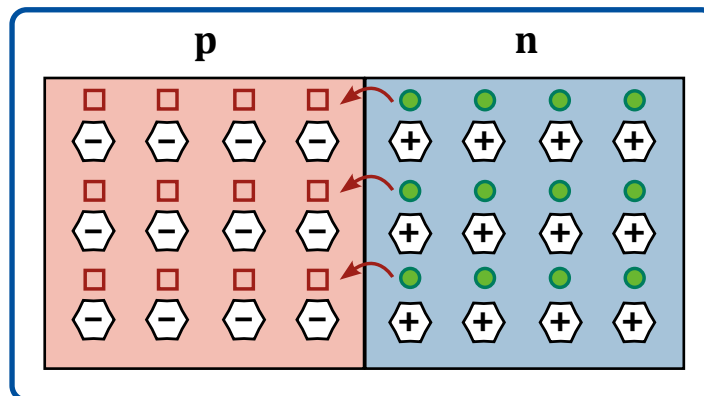


Figura 2.9 Equivalencia de conexiones y diagrama de circuitos.

Un diodo está compuesto por 2 materiales o capas: Una de material tipo N y otra de material tipo P. Los materiales que se utilizan comúnmente son silicio (Si) y germanio (Ge). A estos materiales se les agrega impurezas (dopado) para fabricar las capas P y N



2.10. Capas presentes en un diodo.

Los semiconductores tipo p y tipo n separados no tienen mucha utilidad, pero si un cristal se dopa de tal forma que una mitad sea tipo n y la otra mitad de tipo p, esa unión pn tiene unas propiedades muy útiles y entre otras cosas forman la base de otros dispositivos. Esta unión básica de una sección de material tipo n y otra tipo p es la forma básica de lo que llamamos diodo de unión, al entrar en contacto estas capas de diferentes tipos de materiales ocurre un fenómeno muy importante para la electrónica, si consideramos primero el material tipo n que cuenta con muchos electrones libres podemos concluir por la regla de cargas, que estos experimentan repulsión mutua dispersándose en todas las direcciones posibles. Algunos electrones se acercan a la unión y la atraviesan debido a que del otro lado el material tipo P que, primordialmente, está constituido por huecos (ausencia de electrones) los atrae.

Al entrar los electrones en la capa tipo p llenan los huecos y se convierten en electrones de valencia y al aumentar esta interacción se crea una nueva zona a la que llamamos zona de depleción, en esta zona se crea un campo eléctrico que impide que más electrones crucen hacia el material tipo p llegando así a un equilibrio (figura 2.11). Este campo eléctrico es equivalente a una diferencia de potencial a la que llamamos barrera de potencial, la cual ha sido cuantificada y se observa un mismo valor para cada tipo base de semiconductor siendo estos:

- 0.3 V para diodos de Germanio
- 0.7 V para diodos de Silicio

Los valores anteriores representan el valor mínimo de diferencia de potencial al que debe someterse el conjunto de placas para poder brindar a los electrones la energía suficiente para atravesar la zona de depleción, por tanto, podemos esperar que al superar estos valores observaremos un flujo de corriente a través de las placas pues habrá alcanzado y superado las condiciones mínimas para volverse un muy buen conductor.

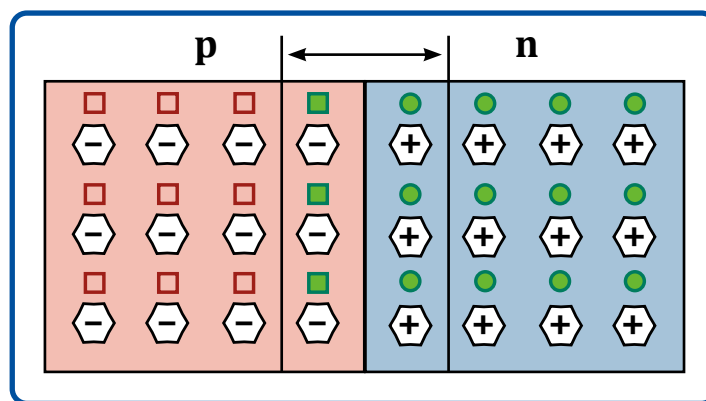


Figura 2.11. Barrera de conducción.

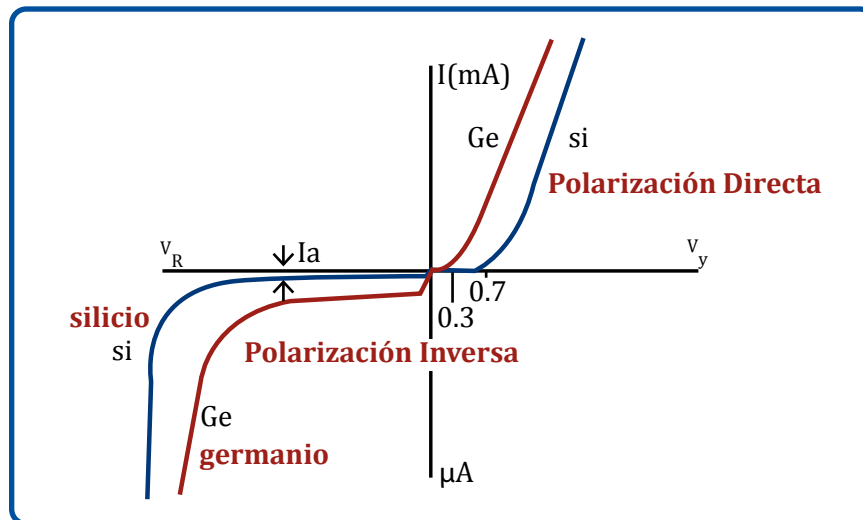


Figura 2.12. Grafica de operación de un diodo.

En la figura 2.12 observamos la curva característica de operación de un diodo de las que obtenemos lo siguiente:

TENSIÓN UMBRAL, DE CODO O DE PARTIDA (V_T)

Como vimos anteriormente la tensión umbral (también llamada barrera de potencial) de polarización directa es la diferencia de potencial mínima a la que debe de someterse el silicio o el germanio para poder generar un flujo de corriente. Al polarizar directamente el diodo, la barrera de potencial inicial se va reduciendo, incrementando la corriente ligeramente. Sin embargo, cuando la tensión externa supera la tensión umbral, la barrera de potencial desaparece de forma que para pequeños incrementos de tensión se producen grandes variaciones de la intensidad de corriente.

CORRIENTE MÁXIMA (I_{MAX})

Es la intensidad de corriente máxima que puede conducir el diodo sin fundirse por el efecto Joule. Dado que es función de la cantidad de calor que puede disipar el diodo, depende sobre todo del diseño del mismo.

CORRIENTE INVERSA DE SATURACIÓN (I_S)

Idealmente un diodo no debería de conducir corriente cuando es polarizado en forma inversa, pero en la realidad si se establece una pequeña corriente por la formación de pares electrón-hueco debido a la temperatura, existe un valor máximo en I_s , pues a medida se incrementa la tensión inversa llega un momento en el que se da inicio a un fenómeno que obliga al diodo a conducir más y más corriente hasta dañarse.

TENSIÓN DE RUPTURA (V_R)

Es la tensión inversa máxima que el diodo puede soportar antes de darse el fenómeno conocido como efecto avalancha.

Tal y como se mencionó, anteriormente, en un caso ideal al polarizar inversamente el diodo, este no debería de conducir corriente alguna y comportarse como un interruptor abierto. En la realidad, a partir de un determinado valor de la tensión, en el diodo normal se desata un evento que provoca un gran incremento en la corriente de inversa, pero que dañara irremediamente la estructura del diodo de unión y dejara de operar, esto se debe al efecto avalancha; no obstante, hay otro tipo de diodos, como los Zener, que están específicamente diseñados para operar en la región de polarización inversa.

EFEECTO AVALANCHA

En polarización inversa se generan pares electrón-hueco que provocan la corriente inversa de saturación, si la tensión inversa se eleva los electrones se aceleran incrementando su energía cinética de forma que al chocar con electrones de valencia pueden provocar su salto a la banda de conducción. Estos electrones liberados, a su vez, se aceleran por efecto de la tensión, chocando con más electrones de valencia y liberándolos también. El resultado es una avalancha de electrones que provoca una corriente grande. Este fenómeno provoca una anomalía que acabará por dañar al dispositivo y es por ello de crucial importancia conocer el valor máximo de tensión en inversa al que puede ser sometido un diodo.

APLICACIONES DE LOS DIODOS

En la actualidad los diodos poseen diversas aplicaciones, muchas de ella en el área de electrónica de alta potencia y otras relacionadas con el funcionamiento de la mayoría de los dispositivos que encontramos en nuestros hogares. De estos últimos los que mayor importancia cobran son los que sirven para rectificar la señal de corriente alterna presente en los tomacorrientes de nuestras casas.

Los rectificadores eléctricos son los circuitos encargados de convertir la corriente alterna en corriente continua. Los más habituales son los construidos con diodos o con tiristores, aunque existen otros que son para casos especiales.

Los rectificadores de media onda funcionan eliminando la sección negativa de la señal senoidal puesto que los diodos solo permitirán conducción cuando están en polarización directa. Los rectificadores de media onda no son muy eficientes porque solo aprovechan la mitad de la corriente alterna por lo que se desperdicia mucha de la energía. Por lo tanto, los rectificadores de media onda son mucho menos complicados, siendo así que con tan solo un diodo basta para su funcionamiento.

Los rectificadores de onda completa son más complejos que los rectificadores de media onda, pero también son mucho más eficientes. Estos rectificadores generalmente utilizan cuatro diodos para funcionar. Su principio de operación hace pasar corriente alterna a través del sistema de cuatro diodos, permitiendo conducción a la vez en solo 2 de ellos y generando una conversión de la sección negativa permitiendo así el aprovechamiento de la energía total disponible.

Los rectificadores se utilizan prácticamente en toda la electrónica de nuestros hogares, pues casi todos los aparatos electrónicos necesitan corriente directa para funcionar, pero la forma estándar en que la energía se transmite a los hogares es la corriente alterna. Por ello, los rectificadores son necesarios para convertir la corriente alterna en directa en el interior de los dispositivos para que funcionen correctamente.

RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA

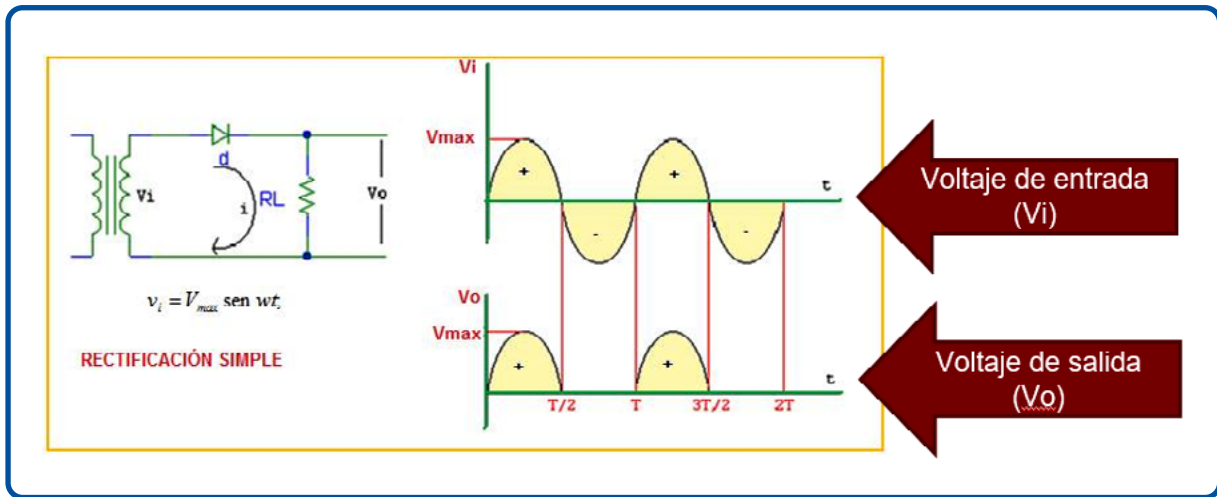


Figura 2.13. Rectificador de media onda.

El rectificador de media onda es un circuito empleado para eliminar la parte negativa o positiva de una señal de corriente alterna de lleno conducen cuando se polarizan inversamente. Por lo que su voltaje de salida es netamente positivo.

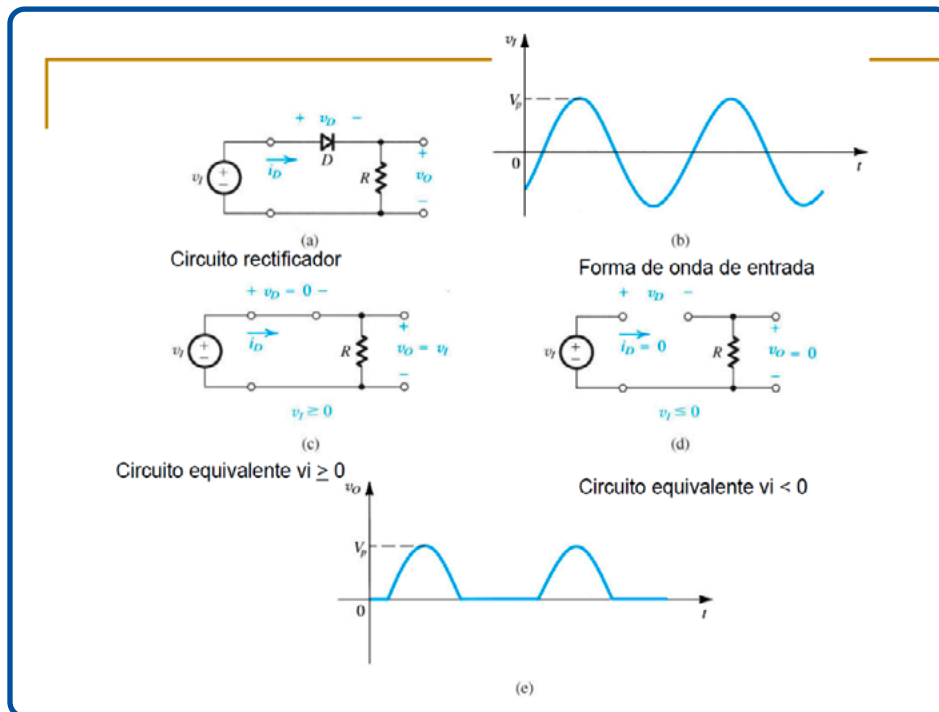


Figura 2.14. Circuito amplificador de media onda.

RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA

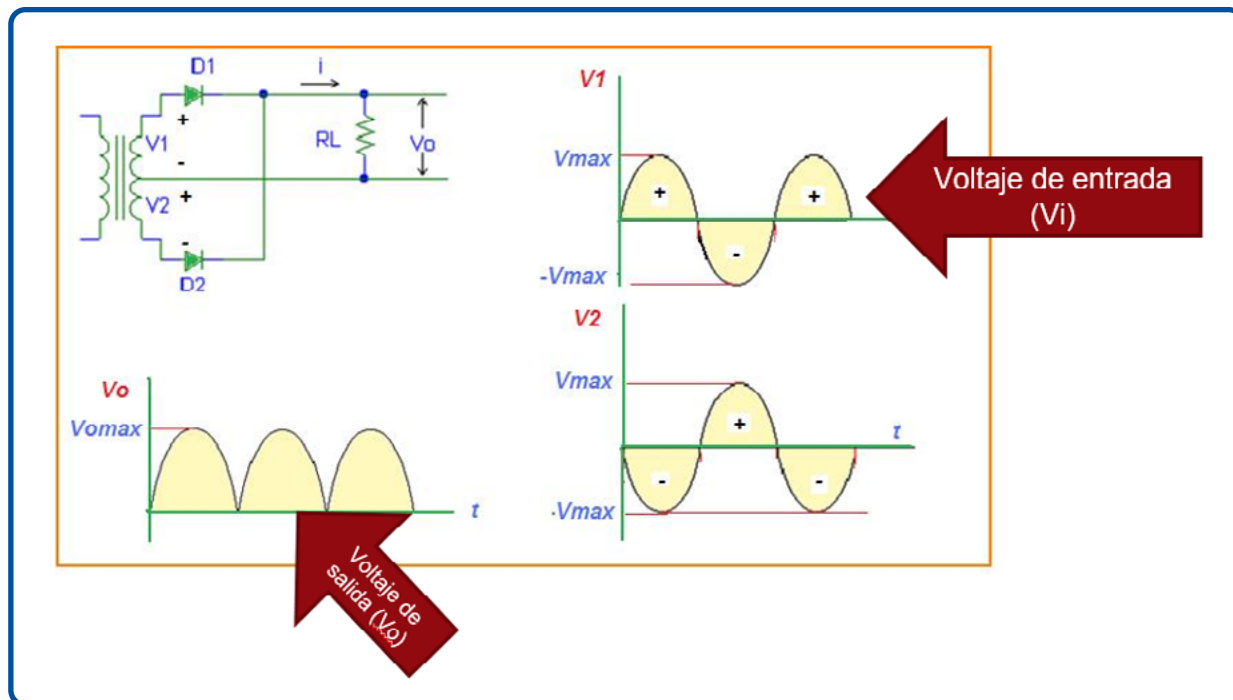


Figura 2.15. Rectificador de onda completa.

Un rectificador de onda completa es un circuito que como su nombre lo indica nos sirve para convertir una señal de corriente alterna de entrada (V_i) en corriente de salida (V_o) pulsante. A diferencia del rectificador de media onda, en este caso, la parte negativa de la señal se convierte en positiva. Existen dos alternativas, bien empleando dos diodos o empleando cuatro (puente de Graetz).

El rectificador de onda completa es un circuito empleado para aprovechar ambos semiciclos de la corriente alterna (positivo y negativo) y obtener corriente directa como resultado ideal, aunque el resultado aparenta ser el mismo que en el rectificador de media onda, en este caso los niveles de intensidad son superiores y la caída de tensión es menor cuando se le aplica una carga al sistema.

La señal de salida de un rectificador de onda completa es una señal pulsante y todavía se encuentra lejos del comportamiento deseado, es decir, una señal invariable en el tiempo o constante. Por lo que es necesario emplear más dispositivos con el fin de obtener a la salida un comportamiento lo más similar posible a un valor constante.

USO DE CAPACITORES

Los capacitores o condensadores son dispositivos que entre otras cosas cumplen con la función de oponerse al cambio repentino de niveles de tensión, puesto que se comporta como un elemento de memoria o de almacenamiento de carga.

Estos dispositivos poseen una característica muy particular y es que se cargan y descargan a través de una función exponencial relacionada con el valor de capacitancia asociado al mismo. La capacitancia se mide en Faradios y permite expresar el grado de energía q puede almacenar dicho dispositivo.

Con un valor adecuado de capacitancia podremos obtener un comportamiento muy similar al observado en la figura 2.16, ya que los capacitores se oponen a los cambios bruscos de tensión y se descargan por medio de un comportamiento exponencial podremos observar un comportamiento en la señal de salida similar al v_o de la gráfica representado en color celeste, originalmente deberíamos de observar los lóbulos tradicionales de un rectificador de onda completa, pero gracias a la intervención del capacitor mantendremos ahora un comportamiento más acorde a una señal semi continua.

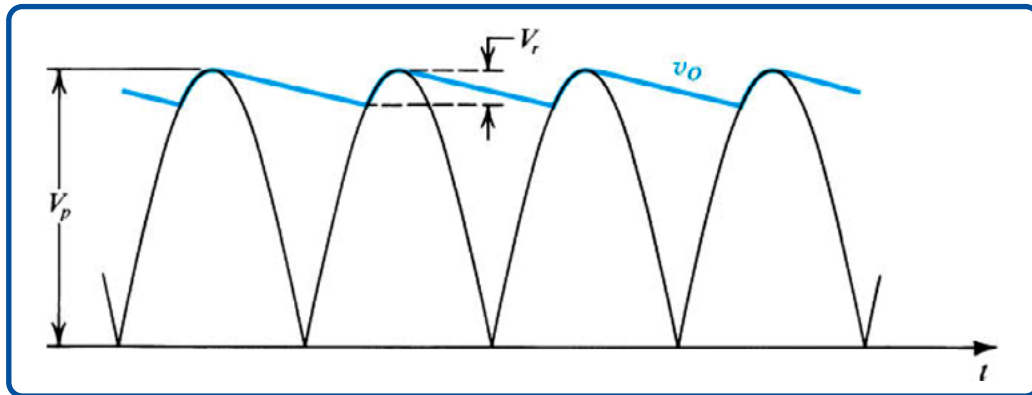


Figura 2.16. Forma de onda de salida incluyendo capacitores.

DIODO ZENER

El diodo Zener es un diodo de silicio fuertemente dopado que se ha construido para que funcione en las zonas de rupturas, recibe ese nombre por su inventor Clarence Melvin Zener. El diodo Zener es la parte esencial de los reguladores de tensión.

Son mal llamados a veces diodos de avalancha, pues presentan comportamientos similares a estos, pero los mecanismos involucrados son diferentes. Además, si el voltaje de la fuente es inferior a la del diodo este no puede hacer su regulación característica.

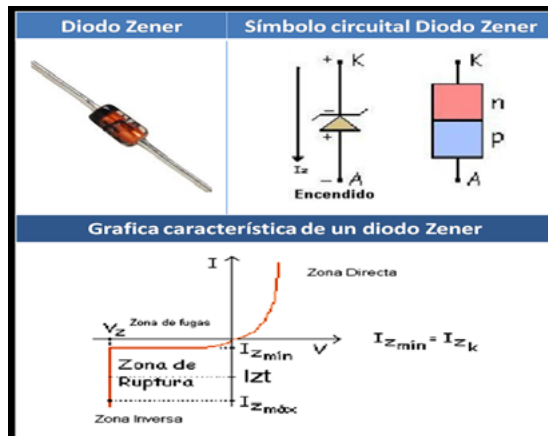


Figura 2.17. Características del diodo Zener.

Si a un diodo Zener se le aplica una tensión eléctrica positiva del ánodo respecto a negativa en el cátodo (polarización directa) toma las características de un diodo rectificador básico (la mayoría de casos), pero si se le suministra tensión eléctrica positiva de cátodo a negativa en el ánodo (polarización inversa), el diodo mantendrá una tensión constante. No actúa como rectificador sino como un estabilizador de tensión

En conclusión: el diodo Zener debe ser polarizado inversamente para que adopte su característica de regulador de tensión. En la siguiente figura se observa un circuito típico de su uso como regulador de tensión:

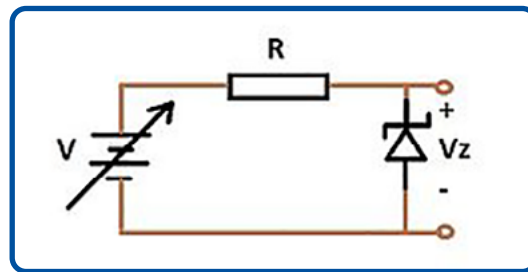


Figura 2.15. Regulador de tensión utilizando diodo Zener.

Variando la tensión V a valores mayores que la tensión de ruptura del Zener, V_z se mantiene constante.

Su símbolo es como el de un diodo normal pero tiene dos quiebres a los lados. Se deberá tener presente que, el diodo Zener al igual que cualquier dispositivo electrónico, tiene limitaciones y una de ellas es la disipación de potencia. Si no se toman en consideración sus parámetros, el componente se quema.

Un diodo de estado sólido convencional permite una corriente significativa si está polarizado en inversa por encima de su voltaje de ruptura inversa.

Cuando se excede el voltaje de ruptura de polarización inversa, un diodo convencional está sujeto a alta corriente debido a la ruptura de avalancha. A menos que esta corriente esté limitada por la circuitería, el diodo puede dañarse permanentemente debido al sobrecalentamiento.

Un diodo Zener exhibe casi las mismas propiedades, excepto que el dispositivo está especialmente diseñado para tener un voltaje de ruptura reducido, el denominado voltaje Zener. En contraste con el dispositivo convencional, un diodo Zener con polarización inversa exhibe una falla controlada y permite que la corriente mantenga el voltaje a través del diodo Zener cerca del voltaje de ruptura de Zener.

Por ejemplo, un diodo con una tensión de ruptura Zener de 3.2 V presenta una caída de voltaje de casi 3.2 V en un amplio rango de corrientes inversas. El diodo Zener es por lo tanto ideal para aplicaciones tales como la generación de un voltaje de referencia (por ejemplo, para una etapa de amplificación), o como un estabilizador de voltaje para aplicaciones de baja corriente.

Los diodos Zener y de avalancha, independientemente del voltaje de ruptura, se comercializan generalmente bajo el término general de «Diodo Zener».

Por debajo de 5.6 V, donde domina el efecto Zener, la curva voltaje-corriente cercana a la ruptura es mucho más redondeada, lo que requiere un mayor cuidado al enfocar sus condiciones de polarización. La curva voltaje-corriente para Zeners por encima de 5,6 V (que está dominada por Avalancha), es mucho más nítida en el momento de la avería.

Práctica medición de parámetros eléctricos

En Fundamentos de Electrónica es necesario conocer equipos de medición con el objetivo de verificar los niveles de tensión disponibles en los circuitos, consumos de corriente de los circuitos y las cargas para seleccionar las protecciones térmicas asociadas. Otro aspecto importante es la medición de resistencia eléctrica. Por lo tanto, se vuelve importante poder cuantificar los parámetros eléctricos en un circuito electrónico.

MULTÍMETRO

El término multímetro se refiere a que puede medir diferentes parámetros eléctricos. El instrumento que más comúnmente se utiliza es el tester o multímetro ya sea digital o analógico. Por lo general, los parámetros que se miden en la mayoría de las aplicaciones son: el voltaje o la resistencia eléctrica.



MEDICIÓN DE RESISTENCIA ELÉCTRICA

Una de las pruebas que más se utiliza en las instalaciones es la «Prueba de continuidad», la cual no es más que una medición de la resistencia eléctrica que hay entre los dos puntos que se desea probar la continuidad eléctrica.

Continuidad eléctrica entre dos puntos, significa que entre los dos puntos que se están probando puede fluir la corriente eléctrica. En las instalaciones eléctricas, esta prueba generalmente se utiliza para verificar:

- a) El funcionamiento de interruptores
- b) El estado de un conductor eléctrico

Y, en este caso, el resultado esperado es un VALOR MUY BAJO DE RESISTENCIA o “ 0Ω ”

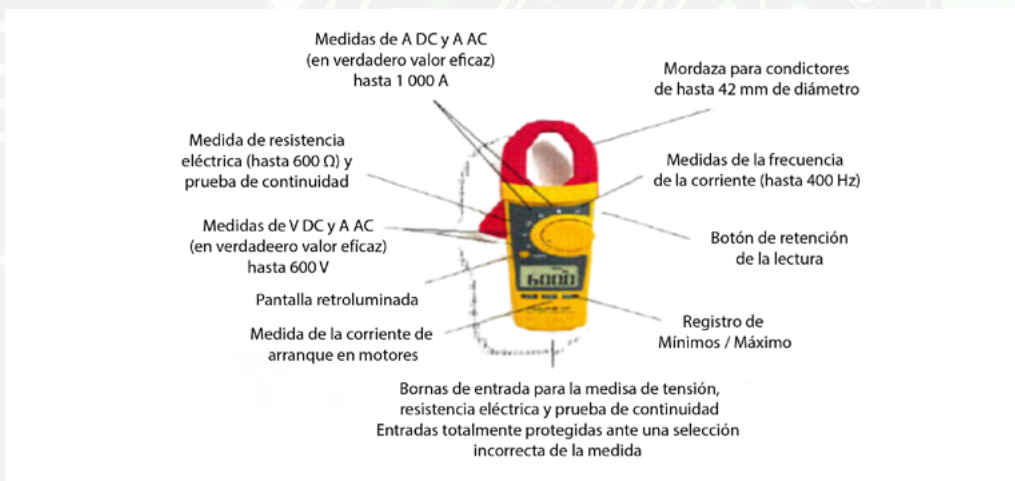
Pero, también, se verifica en muchos casos que NO HAYA CONTINUIDAD ENTRE DOS PUNTOS, como cuando se prueba la instalación de un circuito antes de ser energizado (esta prueba se realizará durante las prácticas). Por lo tanto, el resultado esperado es un VALOR DE RESISTENCIA MUY ELEVADO debido a que se espera que haya un circuito abierto entre los puntos de prueba (línea viva y neutro).

MEDICIÓN DE VOLTAJE ALTERNO

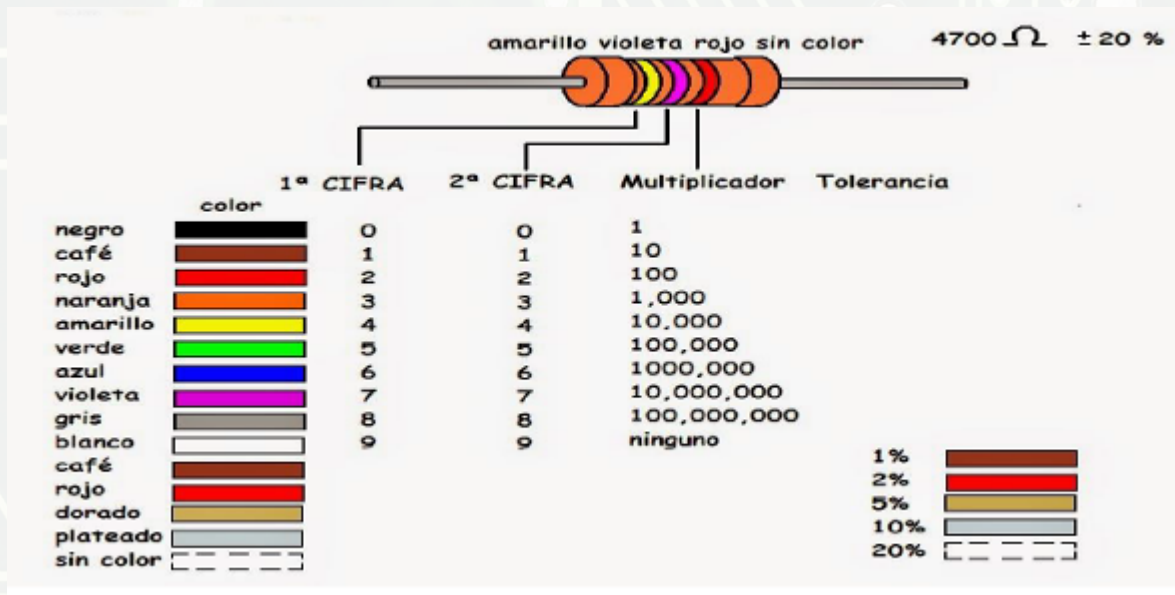
Para realizar mediciones de voltaje recuerde que la clase de corriente que se tiene en toda instalación eléctrica es CORRIENTE ALTERNA y, de acuerdo con esto, deberá seleccionar una escala de voltaje de corriente alterna.

Otro factor que deberá tenerse en cuenta al momento de seleccionar la escala es el hecho de que, en la instalación eléctrica de una residencia, solo puede haber dos valores de voltaje 120 V o 240 V y, por eso, la escala seleccionada deberá tener un valor máximo superior a 240 V. Por ejemplo, 300 V.

En algunas ocasiones, en las instalaciones eléctricas, hay que efectuar mediciones de corriente. La toma de estas mediciones es sumamente riesgosa cuando se efectúan con multímetros (además, la mayoría de este tipo de equipos no traen escalas para mediciones de corriente alterna). Por tal razón, cuando se necesita efectuar mediciones de corriente, se utiliza un amperímetro de inducción (amperímetro de tenaza) como el que se muestra en la siguiente figura ya que no requiere para su conexión, interrumpir el circuito.



MEDICIÓN DE RESISTENCIAS



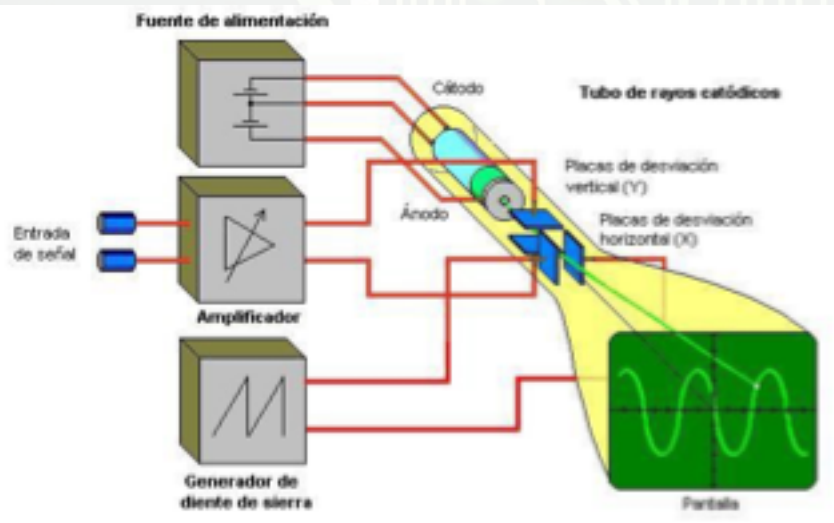
EL OSCILOSCOPIO

Un osciloscopio es un aparato que sirve para visualizar diferentes señales eléctricas. La señal queda reflejada en un sistema de coordenadas donde el eje X va a representar fracciones de tiempo y el eje Y tensiones, estos valores los podremos ajustar mediante una serie de controles.

Con un osciloscopio podemos:

- Saber la tensión y el periodo de una señal.
- Saber si la señal es alterna, continua o tiene ambas.
- Localizar averías dentro de un circuito eléctrico o electrónico.
- Observar como varía la tensión y la frecuencia con el tiempo.

A continuación, puedes observar una imagen del funcionamiento básico de un osciloscopio.



CONTROLES DEL OSCILOSCOPIO

En el mercado y en los laboratorios y talleres te puedes encontrar diferentes tipos de osciloscopios. Pueden tener características diferentes dependiendo de su antigüedad o del fabricante, aquí vamos a detallar algunas que son comunes a todos los osciloscopios.

Power: botón de encendido-apagado, su funcionamiento es similar al de cualquier electrodoméstico.

Inten: controlamos la luminosidad de la pantalla.

Focus: ajustamos la nitidez del punto sobre la pantalla.

Trace: selecciona la señal a trazar sobre la pantalla. a veces se la denomina Channe, puede mostrar la señal A, la B o la A+B.

Trigger: hace que la onda parezca estacionaria o quieta.

Trigger selector: selecciona el origen de la señal de disparo.

Time/Div: seleccionamos la velocidad con que se dibuja el trazo en la pantalla, varía desde milisegundos a segundos.

Position: podemos elegir el punto X e Y.

Selector: elegimos si queremos medir tensión alterna o continua.

CH1 y CH2: son las entradas donde conectaremos las sondas.

Mode: seleccionamos el canal 1 o 2.

Rellena los espacios en blanco

Con el botón _____ controlamos el encendido y apagado del osciloscopio.

Con el botón inten controlamos la _____ de la pantalla

Con el botón _____ conseguimos que la señal parezca quieta.

Con el botón _____ establecemos las coordenadas X e Y de una señal.

En CH1 y CH2 conectaremos las _____.

Con el botón _____ seleccionamos el canal 1 o 2.

Veamos, ahora cómo podemos medir el desfase entre dos ondas, para ello necesitaremos que cada una de las sondas esté conectada a su canal, una a CH1 y la otra a CH2.

En nuestra pantalla visualizaremos dos ondas con un desfase, ahora vamos a ver como lo podemos calcular:

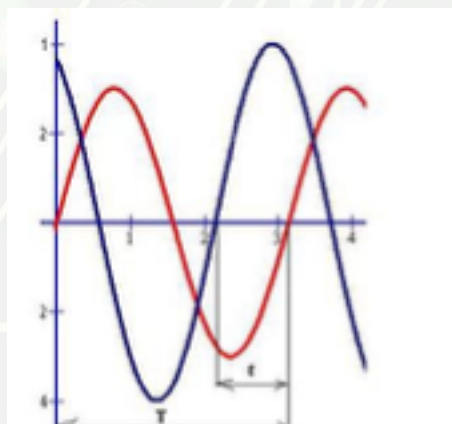
$$\varphi = 2\pi f t$$

Donde:

t= distancia horizontal entre los puntos de cruce de las ondas tomada sobre el eje x

T= longitud, en divisiones, que corresponde a un periodo.

Con la ayuda de la siguiente imagen lo entenderás mejor.



Otra de las aplicaciones de un osciloscopio es medir la frecuencia de una onda. En la pantalla, por lo general, van a aparecer más de un ciclo. El cálculo lo vamos a realizar de la siguiente manera:

$$T = L \cdot Z$$

Donde:

Z= coeficiente de tiempo.

L= longitud de onda, serán las divisiones que aparecen en la pantalla.

Como ya sabemos la frecuencia es la inversa del periodo, así pues, tenemos que:

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{L \cdot Z}$$

Prácticas Diodos LED y tradicionales

Parte I teoría: Responda de forma adecuada a cada una de las siguientes interrogantes.

1. ¿Cuál es el potencial de la barrera en un diodo de silicio?

2. ¿Cuál es el potencial de la barrera en un diodo de germanio?

3. ¿Cuál es el nombre de las terminales de un diodo semiconductor?

4. ¿Cuál es la polaridad que corresponde a las terminales de la pregunta 3?

5. ¿Cuántos sentidos de conducción tiene un diodo y que nombre reciben?

Parte 2 circuitos: Calcular el valor de la resistencia para que el diodo funcione correctamente.

Figura 1.



Figura 2.

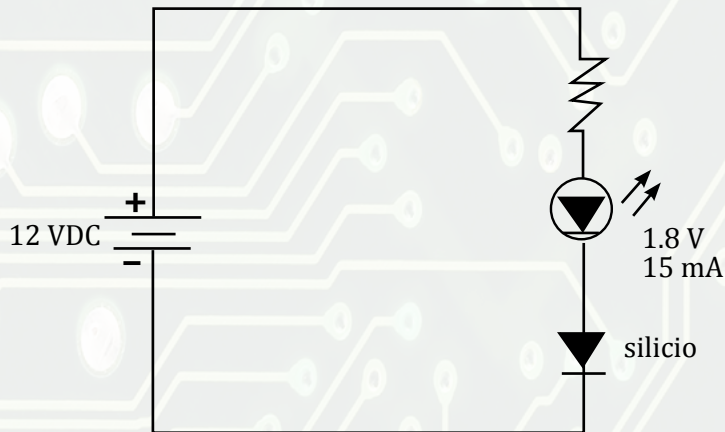
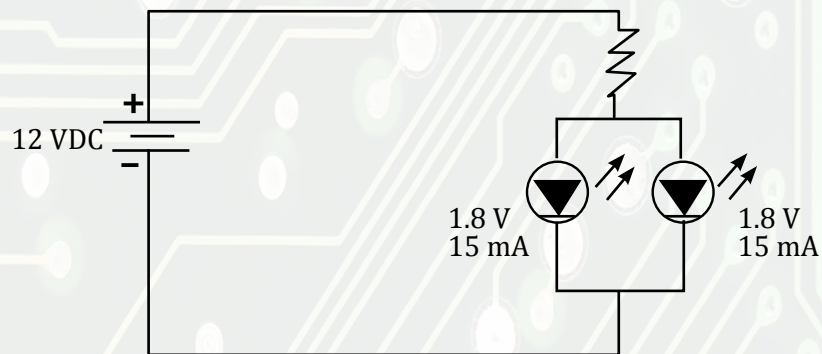


Figura 3.



Glosario

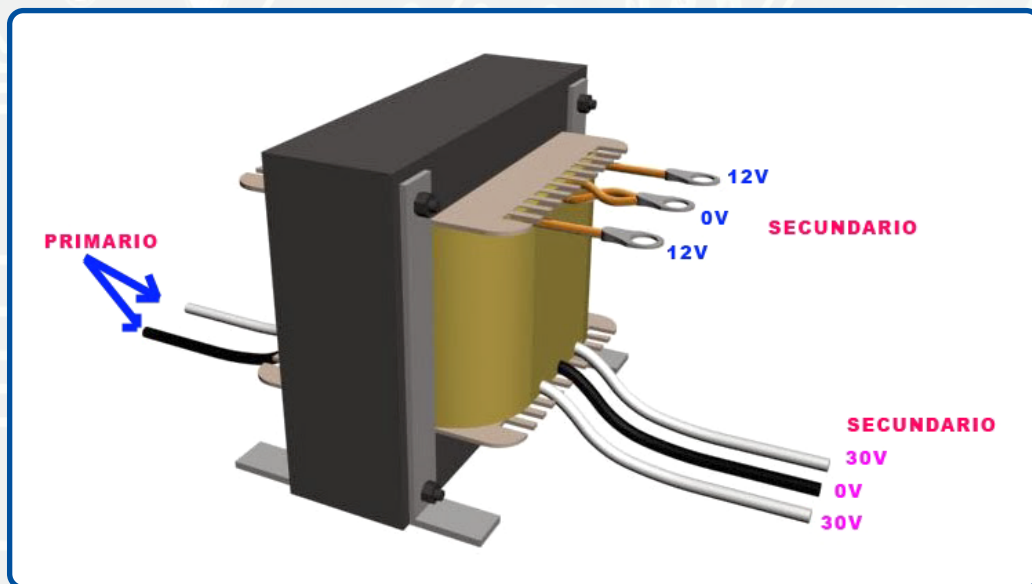
- ▶ **Semiconductores:** No son aislante ni conductores. Podemos definir los semiconductores como aquellos materiales que se comportan como conductores, solo en determinadas condiciones. Por eso se dice que están en un punto intermedio entre los conductores y los aislantes
- ▶ **Banda de Valencia:** Intervalo energético donde están los electrones de la última órbita del átomo.
- ▶ **Banda Prohibida:** Energía que ha de adquirir un electrón de la banda de valencia para poder moverse libremente por el material y pasar a la banda de conducción.
- ▶ **Banda de conducción:** Intervalo energético donde están aquellos electrones que pueden moverse libremente. Están libres de la atracción del átomo.
- ▶ **Diodo:** es un componente electrónico de dos terminales que permite la circulación de la corriente eléctrica a través de él en un solo sentido. consta de una pieza de cristal semiconductor conectada a dos terminales eléctricos.
- ▶ **Corriente máxima:** Es la intensidad de corriente máxima que puede conducir el diodo sin fundirse por el efecto Joule. Dado que es función de la cantidad de calor que puede disipar el diodo, depende sobre todo del diseño del mismo-
- ▶ **Corriente inversa de saturación (I_s):** Es la pequeña corriente que se establece al polarizar inversamente el diodo por la formación de pares electrón-hueco debido a la temperatura, admitiéndose que se duplica por cada incremento de 10°C en la temperatura.
- ▶ **Tensión de ruptura (V_r):** Es la tensión inversa máxima que el diodo puede soportar antes de darse el efecto avalancha
- ▶ **Corriente superficial de fugas:** Es la pequeña corriente que circula por la superficie del diodo (ver polarización inversa), esta corriente es función de la tensión aplicada al diodo, con lo que al aumentar la tensión, aumenta la corriente superficial de fugas.
- ▶ **Rectificador eléctrico:** es el que se encarga de convertir la señal de corriente alterna en corriente directa.

Práctica Rectificadores

Materiales	Cantidad
Transformador Reductor	1
Multimetro /Tester	1
Osciloscopio	1
Diodo 1N4001 (o de la familia)	4
Resistencias	
0.5k	1
1k	1
2.2k	1
Condensador 15uf	1
Condensador 500uf	1

Procedimiento:

1. A cada grupo le ha sido asignado un transformador el cual deberá ser alimentado con 110V en su devanado primario con el objeto de medir con un multímetro la tensión de salida que obtenemos del lado del secundario,

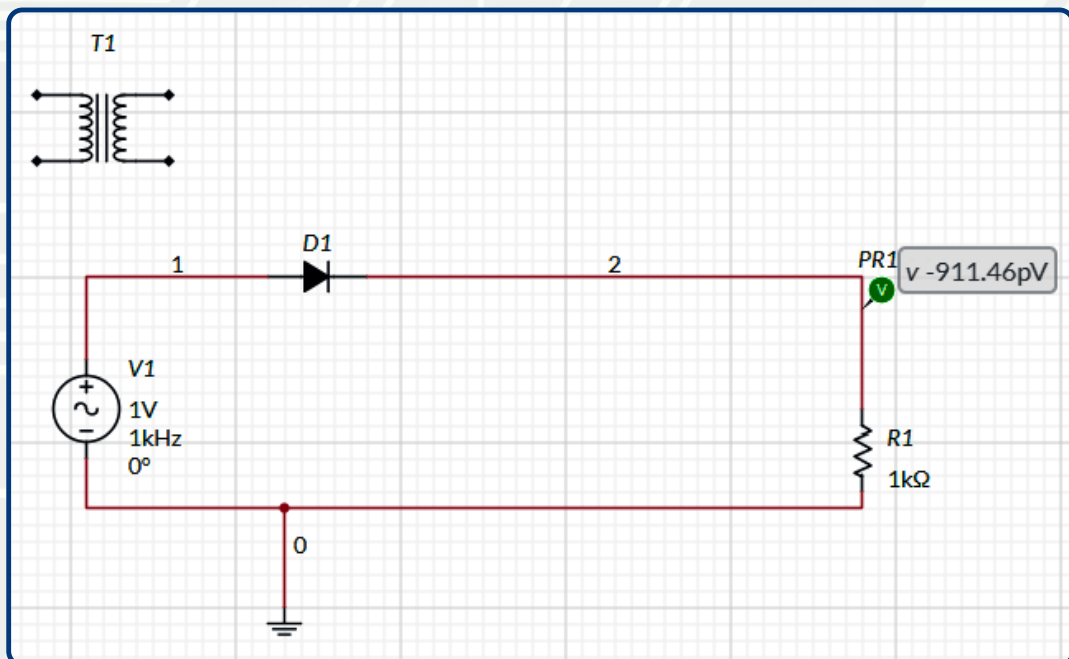


Posteriormente, calcular la relación de transformación correspondiente al transformador en cuestión.

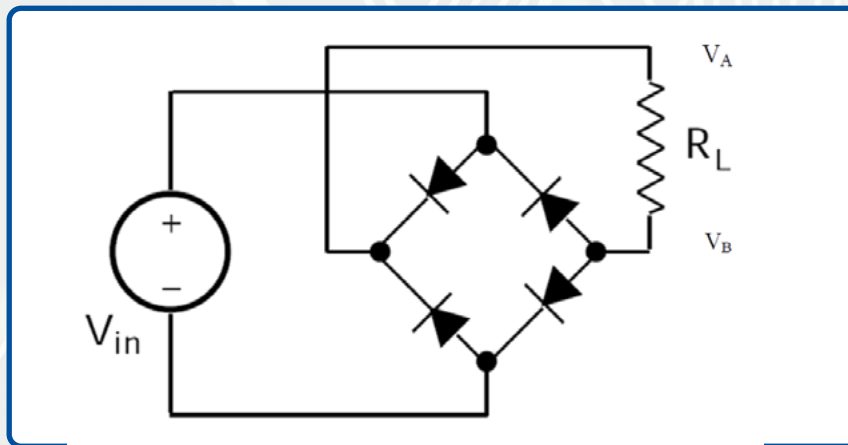
- Realizar las mediciones necesarias del lado del secundario y obtener una conclusión acerca del comportamiento del Tap central y la importancia de esta línea.
- Montar el circuito rectificador de media onda visto en clase:
¿Cuál es el voltaje repetitivo de ruptura inversa para el 1n4001 (VRRM)?



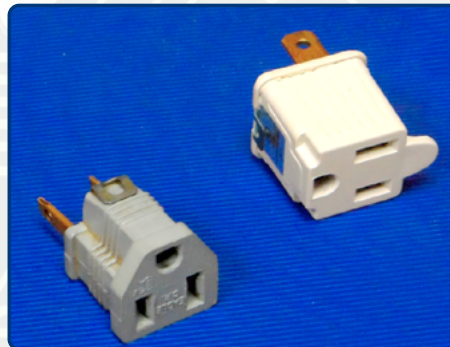
- Tomar una captura del comportamiento de la señal observada en la resistencia de Carga por medio de un osciloscopio, luego compararla con la función obtenida de la simulación de dicho circuito en el simulador online de multisim disponible en la dirección:
<https://www.multisim.com/create/>



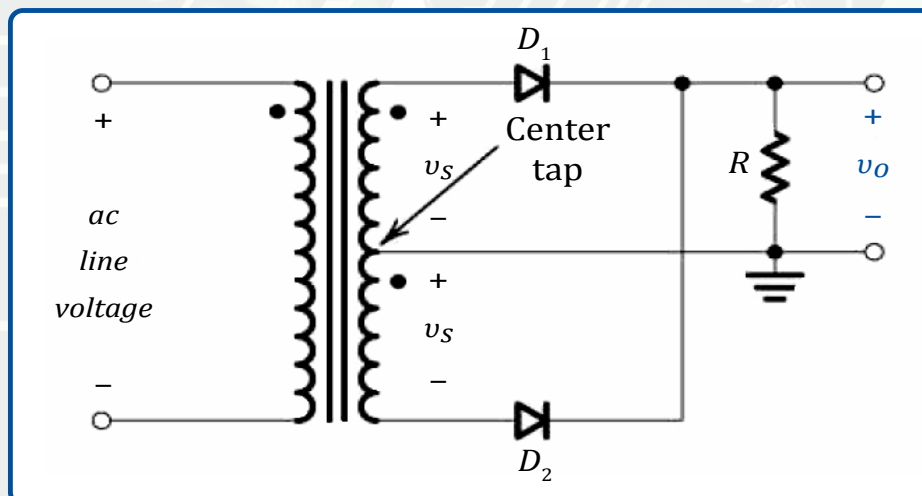
5. Ahora simular el circuito rectificador de onda completa con puente de 4 diodos en multisim, nuevamente graficar y mostrar el resultado obtenido.



6. De lo observado en la simulación y en clase explicar por qué si fuéramos a implementar el circuito de puente de 4 diodos en la vida real, sería necesario conectar un adaptador como el observado en la imagen al toma corriente del osciloscopio y cuál es el riesgo asociado a ello.




7. Montar de forma física el circuito rectificador de onda completa mostrado a continuación:



Mida v_s y v_o con el osciloscopio usando un valor $R = 2.2 \text{ kohm}$, y conserve un registro de estas mediciones para su reporte (forma de onda). Observe los valores pico de v_o y de v_s y explique las diferencias en relación a los valores esperados de acuerdo a lo observado con el osciloscopio.

Conecte un condensador $C = 15 \text{ uF}$ en paralelo con la carga, mida el rizado y compare con el valor calculado.


$$V_r = \frac{(V_P - V_{D0})}{R} \times \frac{T}{2C} = \frac{(V_P - V_{D0})}{2RfC}$$

8. Pruebe $C = 500 \text{ uF}$ y mida el rizado. ¿Qué valor de C se necesita para obtener un rizado menor a 0.15 V con una carga $R = 1000 \text{ ohm}$? Verifique construyendo el circuito.
9. Finalmente conectar antes de la carga un regulador de la familia 78xx (preferiblemente 7805/7809) y observe el comportamiento final de la tensión v_o en la resistencia de carga.

CAPÍTULO 3

Transistores

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se profundizará en unos de los dispositivos que revolucionaron la tecnología electrónica de tal forma que en nuestros días son la pieza fundamental de los dispositivos electrónicos que nos rodean, nos referimos a los transistores. Estos dispositivos sin lugar a duda marcaron el inicio de la verdadera era electrónica puesto que representan el punto de partida para radios, televisores, celulares, reproductores de audio y video, computadoras, equipo industrial. Etc.

Es tan relevante el avance tecnológico que representa la invención del transistor para el hombre, que en el año 1956 el premio nobel de física fue compartido por 3 grandes científicos: William Bradford Shockley, John Bardeen y Walter Houser Brattain, a quienes fue otorgado tan preciado galardón en honor a la invención de lo que es considerado el más grande desarrollo tecnológico del siglo XX, nada más que el transistor.

El impacto de los transistores ha sido enorme, pues transformaron el mundo de la electrónica y el diseño de computadoras al permitir disminuir casi infinitamente su tamaño y con esto, librarse de los voluminosos y frágiles triodos de vacío.

Es así pues, como se dio inicio a la carrera por disminuir las tallas de nuestros dispositivos electrónicos. Hasta hoy día, en el que empieza a ser común teléfono celular con la potencia de una computadora.

GENERALIDADES DE TRANSISTORES

Existen dos tipos principales de transistores. Los transistores de unión PN o unión bipolar y los Transistores MOSFET o MOS (transistores de efecto de campo).

Daremos inicio estudiando el transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor o MOSFET, es un dispositivo de cuatro terminales llamados fuente (S, Source), drenaje (D, Drain), Compuerta (G, Gate) y sustrato (B, Bulk). Sin embargo, el sustrato generalmente está conectado internamente al terminal de fuente y por este motivo se pueden encontrar dispositivos MOSFET de tres terminales. Como los que se observan en la figura 3.1

Un transistor Mosfet conduce corriente eléctrica entre dos terminales cuando aplicamos tensión en la otra terminal (una tercera terminal). En otras palabras, es un interruptor que se activa por tensión (una fuente de tensión controlada mediante una segunda tensión).



Figura 3.1. Encapsulamiento tradicional de un transistor FET.

En la figura 3.2 Se ven las 3 terminales que componen a un Mosfet así como el comportamiento cuando conectamos G a un nivel de tensión tal que se produce una circulación de corriente entre D y S. de esta figura podemos concluir que el nivel de tensión aplicado en G sirve como una válvula que regula cuanta corriente podrá circular entre las terminales D y S.

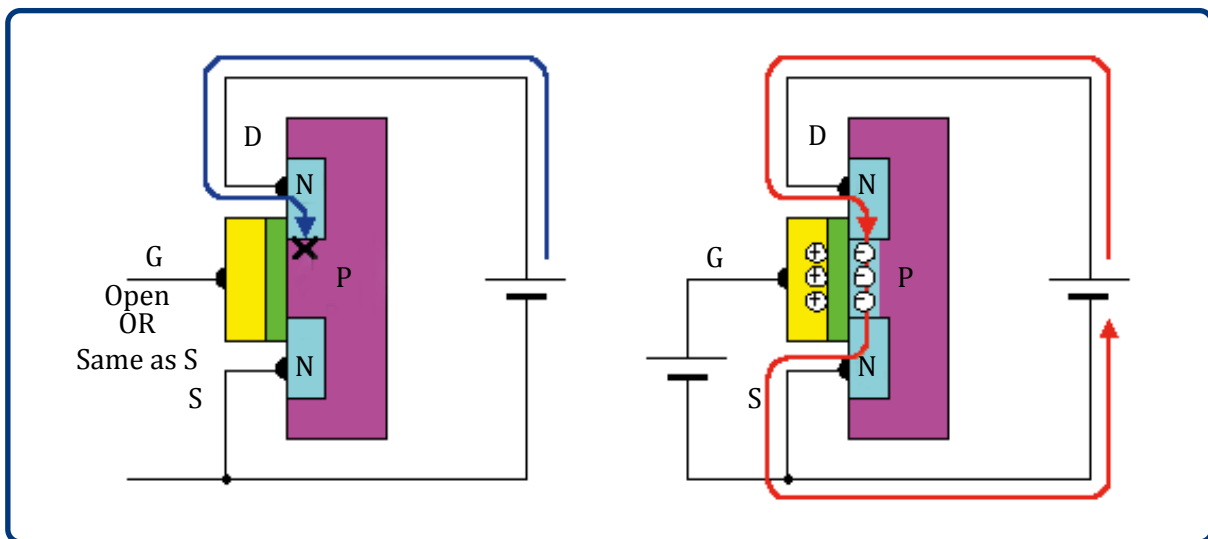


Figura 3.2. Operación de un Mosfet.

La mayor parte de los circuitos integrados digitales están basados en la tecnología MOS, debido a que se pueden construir de tamaños más pequeños que los bipolares y su velocidad de conmutación (apertura y cierre) es muy rápida, unos nanosegundos.

TRANSISTORES DE EFECTO DE CAMPO

La palabra MOS significa «Metal Oxido Semiconductor», y hace referencia a un tipo de estructura muy usada en electrónica, donde se usa un óxido como dieléctrico o aislante entre las capas de material N y P que constituyen al dispositivo.

«Field Effect Transistor» significa Transistor de efecto de campo, es decir, transistores que conducen por un campo eléctrico, parecido a un condensador. En estos dispositivos se establece un canal de conducción que es proporcional al campo eléctrico que se establece al aplicar una tensión en la terminal denominada Compuerta (G).

Un MOSFET es un transistor de efecto de campo por medio de un semiconductor óxido que se usa como dieléctrico. De otra forma, es un transistor (conduce o no conduce la corriente) en el que se utiliza un campo eléctrico para controlar su conducción y que su dieléctrico es un metal de óxido.

VENTAJAS DEL TRANSISTOR MOSFET

La principal ventaja del transistor MOSFET es que consume muy poca energía para llevar a cabo su propósito y la disipación de la energía en términos de pérdida es muy pequeña, lo que hace que sea un componente importante en los modernos ordenadores y dispositivos electrónicos como los teléfonos celulares, relojes digitales, pequeños juguetes y calculadoras. Es por ello que para aplicaciones donde se necesita una respuesta rápida o un cambio de conducción inmediato así como bajos niveles de consumo y amplio espectro de tensiones de operación son los casos en los que más ventajas se observa y selecciona al Mosfet.

ESTRUCTURA DE UN MOSFET

Los mosfet se fabrican sobre un semiconductor (tipo N o P) que se llama sustrato el cual hace la labor de contenedor para todas las demás estructuras. Sobre este semiconductor se funden la fuente y el drenaje (entrada y salida) que es un semiconductor contrario al semiconductor usado para el sustrato. Tal y como se observa en el ejemplo de la figura 3.4.

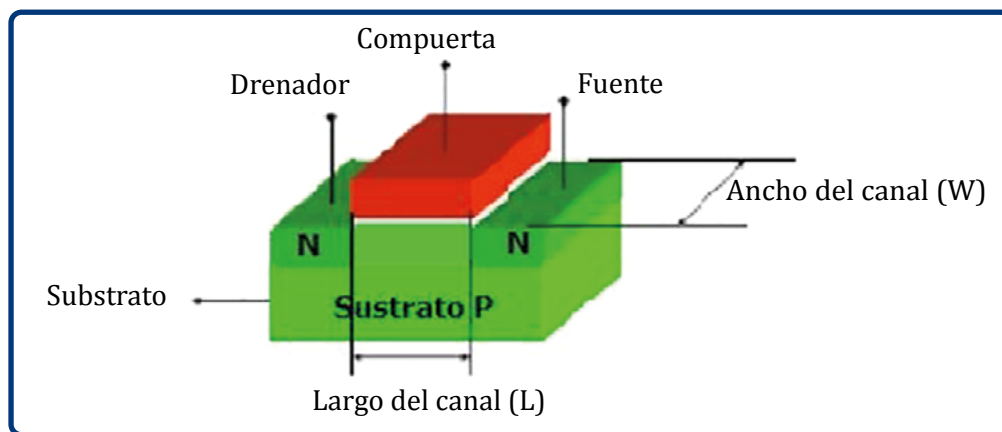


Figura 3.4. Se puede ver el sustrato de tipo P y el drenador y la fuente de tipo N.

Recubriendo el conjunto se coloca una capa de óxido metálico aislante que hace de dieléctrico o aislante entre la fuente y el drenaje. Por encima de este óxido se coloca una placa de metal conductor. El óxido con el metal forma el tercer borne de conexión llamada compuerta o gate.

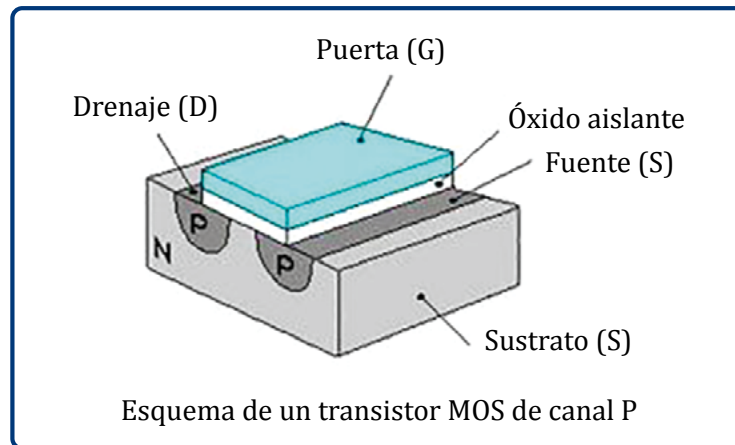


Figura 3.4. Conjunto de elementos de un Mosfet.

A un lado está la patilla llamada sumidero o fuente (S). Al otro lado la patilla llamada Drenaje (D), drenador o salida. Entre estos dos terminales pasa la corriente cuando se activa G por medio de tensión. La corriente cuando se activa el transistor entra por S y sale por D, siempre que G tenga una tensión mínima, llamada tensión Umbral o threshold = V_{th} , sino estaría en Ckto abierto o en corte.

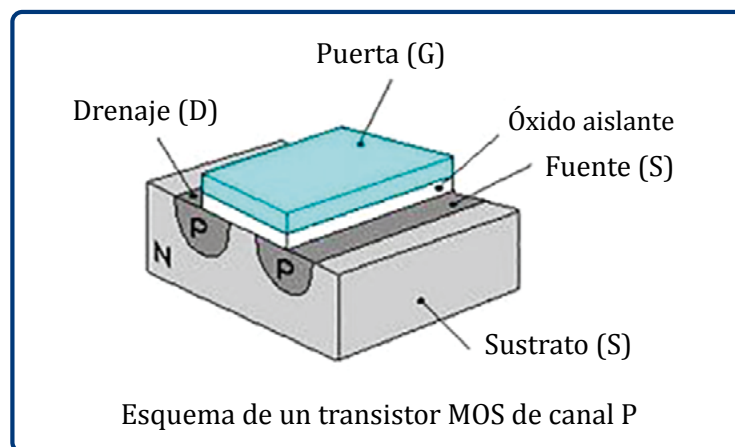


Figura 3.5. Organización interna de un Mosfet con sustrato tipo N.

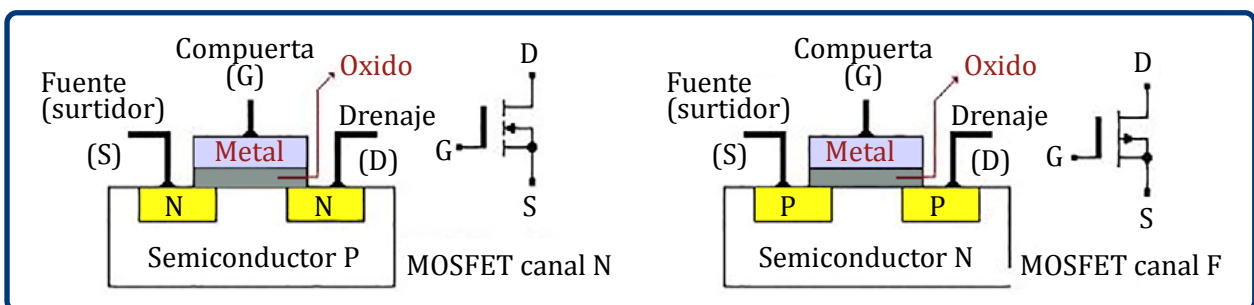


Figura 3.6. Tipos de Mosfet.

El canal que queda entre S y D es del material del sustrato y se llama canal. Es la zona que hace de aislante impidiendo el paso de corriente cuando aplicamos tensión entre S y D.

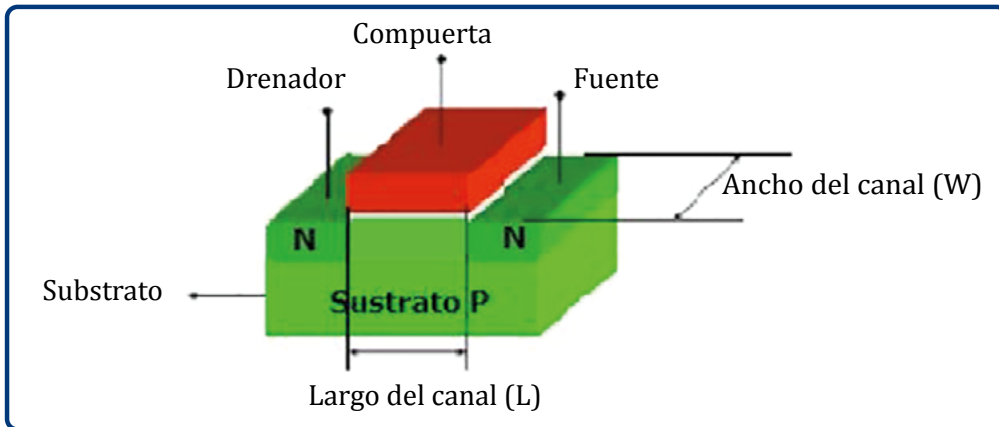


Figura 3.7. Esquema de la posición del canal.

Hay que fijarse que el sustrato, la fuente y el drenaje forman dos uniones NP o PN. Uno se llama Mosfet de canal N y el otro Mosfet de canal P.

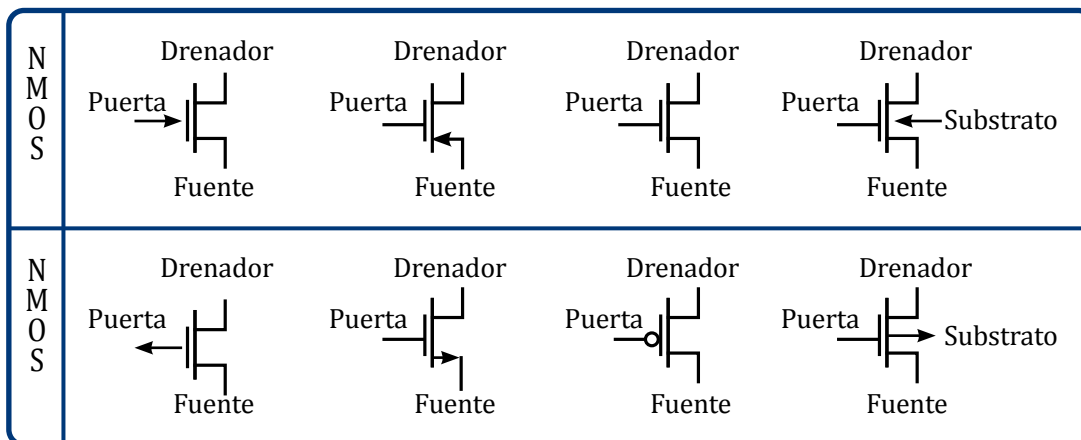


Figura 3.8. Representación de circuitos para Mosfet.

En la figura 3.9 observamos la estructura física del encapsulado que protege al transistor Mosfet.

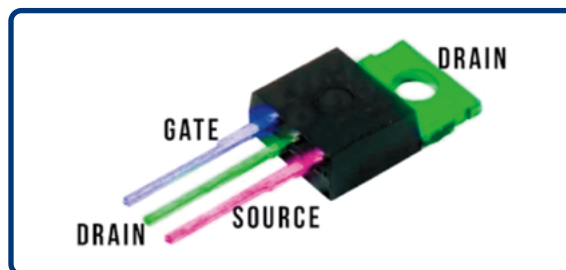


Figura 3.9. Mosfet de la vida real

¿CÓMO FUNCIONA UN TRANSISTOR MOSFET?

El transistor de efecto de campo se comporta como un interruptor controlado por tensión, donde el voltaje aplicado a la Compuerta permite hacer que fluya o no corriente entre drenaje y la fuente.

El movimiento de carga se produce exclusivamente por la existencia de campos eléctricos en el interior del dispositivo.

NMOS

Denominamos Nmos a los Mosfet que han sido fabricados de tal forma que su canal está constituido por material de tipo N. y al cómo podemos observar en la figura 3.10 posee muchos distintivos para reflejar en el diagrama de circuitos el principio de operación al que pertenece. También podemos observar de su operación característica tales como que idealmente no debería de existir un flujo de corriente hacia G

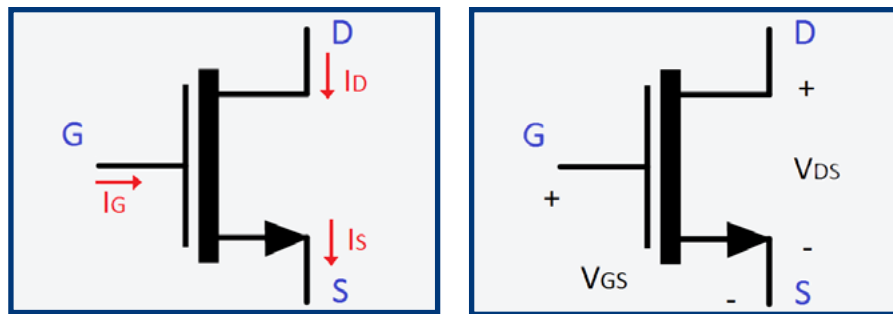


Figura 3-10. Valores de corriente para un Nmos $I_G = 0$ A $I_D = I_S$.

PMOS

Es la contraparte de los que llamamos Nmos, es decir, que el sustrato sobre el que se encuentra sustentado el dispositivo es de tipo P.

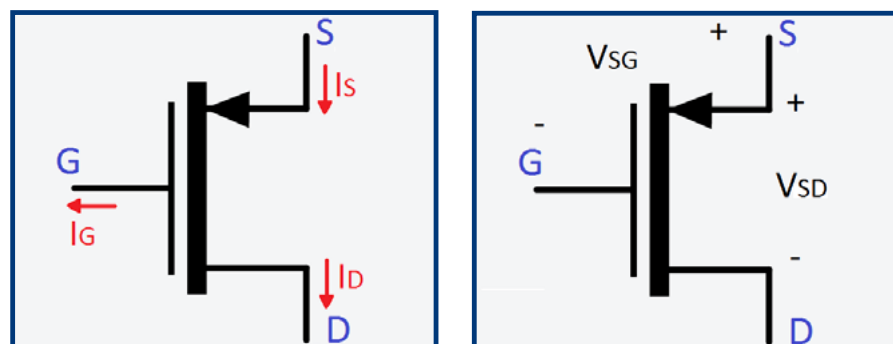


Figura 3. 11. Valores de corriente y tensión para un Pmos $I_G = 0$ A $I_D = I_S$

TRANSISTORES BJT

Definición

Un transistor es un dispositivo que regula el flujo de corriente o de tensión actuando como un interruptor o amplificador para señales electrónicas.

Hay dos tipos básicos de transistores: los transistores de unión bipolar (BJT) y los transistores de efecto de campo (FET).

El transistor es un componente electrónico formado por materiales semiconductores, de uso muy habitual, pues se encuentra presente en cualquiera de los aparatos de uso cotidiano como las radios, alarmas, automóviles, ordenadores, etc.

Los transistores son unos elementos que han facilitado, en gran medida, el diseño de circuitos electrónicos de reducido tamaño, gran versatilidad y facilidad de control.



Figura 3.12. Encapsulado de transistores BJT.

En la figura 3.16 se ve a la izquierda un transistor BJT (bipolar junction transistor: transistor de unión bipolar) real y a la derecha su simbología tienen 3 terminales y se llaman emisor, base y colector. Es muy importante saber identificar bien las 3 terminales a la hora de conectarlo. En el caso de la figura, la 1 sería el emisor, la 2 el colector y la 3 la base.

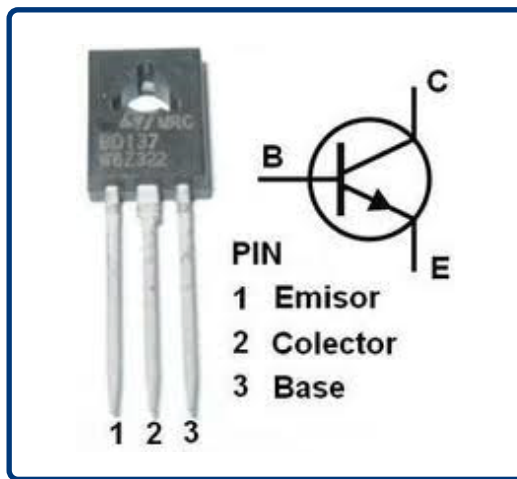


Figura 3.13. Esquema de circuitos para Un BJT.

Un transistor es un componente que tiene, básicamente, dos funciones:

1. Deja pasar o corta señales eléctricas a partir de una PEQUEÑA señal de mando como Interruptor; abre o cierra para cortar o dejar pasar la corriente por el circuito.
2. Funciona como un elemento Amplificador de señales. Le llega una señal pequeña que se convierte en una grande. Pero el Transistor también puede cumplir funciones de amplificador; oscilador; conmutador o rectificador

FUNCIONAMIENTO DEL TRANSISTOR BJT

Un transistor puede tener 3 estados posibles en su trabajo dentro de un circuito:

- En activa: deja pasar más o menos corriente.
- En corte: no deja pasar la corriente.
- En saturación: deja pasar toda la corriente.

Para comprender estos 3 estados se hará un símil hidráulico que es más fácil de entender.

Si el transistor es una llave de agua como la de la figura, y el agua por corriente eléctrica, se pueden apreciar los 3 estados del BJT.

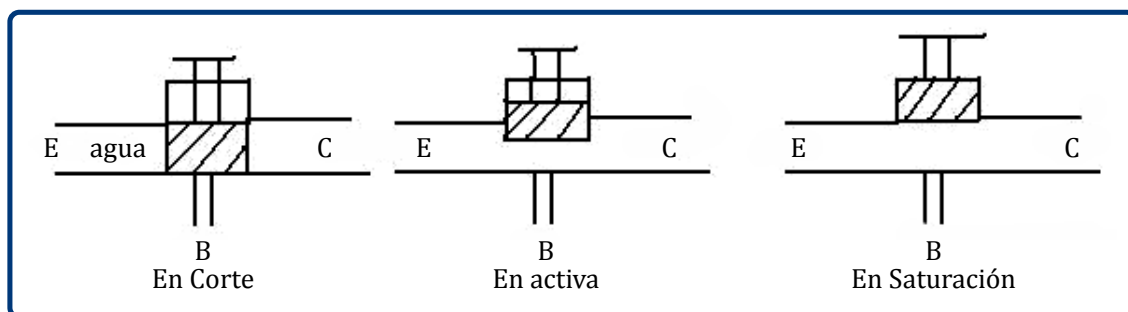


Figura 3.14. Tres estados de los transistores.

FUNCIONAMIENTO EN CORTE:

Si no hay presión de agua en B (no pasa agua por su tubería), la válvula está cerrada, no se abre la válvula y no se produce un paso de fluido desde E (emisor) hacia C (colector). La válvula está en reposo y no hace nada.

FUNCIONAMIENTO EN ACTIVA:

Si se introduce algo de presión de agua por la base B, se abrirá la válvula en función de la presión que llegue, comenzando a pasar agua desde E hacia C.

FUNCIONAMIENTO EN SATURACIÓN:

Si llega suficiente presión por B se abrirá totalmente la válvula y toda el agua podrá pasar desde el emisor E hasta el colector C (la máxima cantidad posible). Por mucho que metamos más presión de agua por B la cantidad de agua que pasa de E hacia C es siempre la misma, la máxima posible que permita la tubería. Si metiéramos demasiada presión por B podríamos incluso estropear la válvula.

Las corrientes en un transistor BJT son 3, corriente de base I_B , corriente de emisor I_E y corriente del colector I_C . En la imagen vemos las corrientes de un transistor tipo NPN.

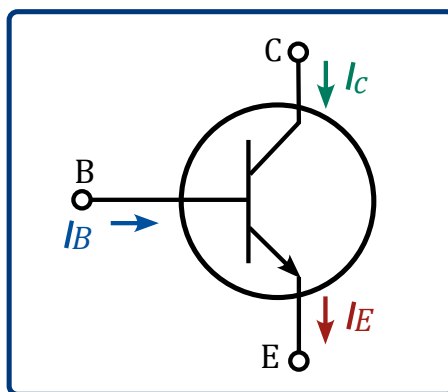


Figura 3.15. Esquema básico transistor BJT.

Los transistores BJT están formados por la unión de tres cristales semiconductores, dos del tipo P y uno del tipo N (transistores PNP), o bien dos del tipo N y uno del P (transistores NPN).

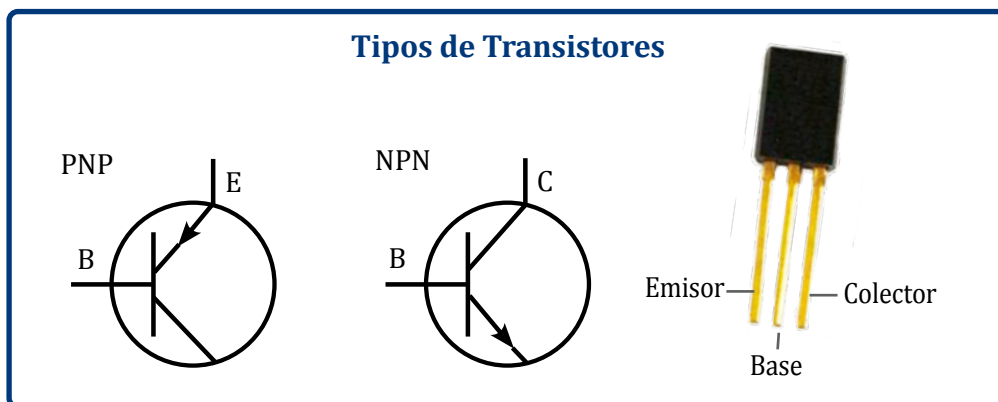


Figura 3.16. Tipos de transistores BJT.

DIFERENCIAS ENTRE EL TRANSISTOR PNP Y EL NPN

Como observación en los 2 tipos, la principal diferencia es que en el PNP la corriente de salida (entre el emisor y colector) entra por el emisor y sale por el colector. En simbología al fijarse sobre la flecha en el símbolo hacia dentro, Una regla para acordarse es que el PNP «pincha».

En el NPN la corriente entra por el colector y sale por el emisor, lo cual es al revés que el PNP. En simbología la flecha «no pincha a la base».

Según la regla NPN = no pincha.

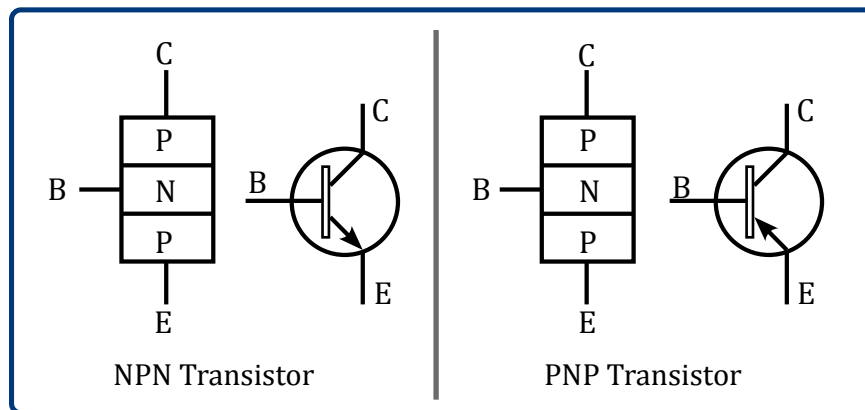


Figura 3.17. Transistores de tipo BJT NPN y PNP.

RESUMEN DE CORRIENTES Y TENSIONES

La dirección de las corrientes y las tensiones de un transistor, sea NPN o PNP. Se muestran en la siguiente imagen. En este caso se han colocado el emisor abajo y el colector arriba, dicho cambio no afecta al transistor, sigue siendo lo mismo.

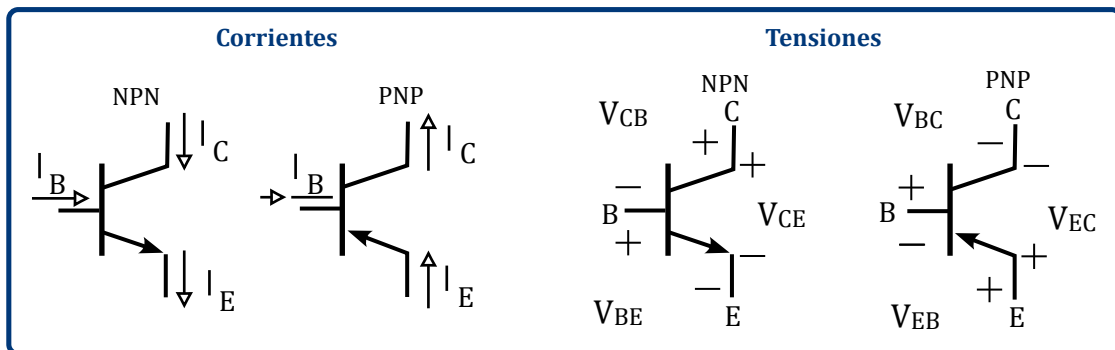


Figura 3.18. Direcciones de la corriente en BJT.

FÓRMULAS DEL TRANSISTOR

Como observación en un PNP la corriente que entra es la del emisor, y salen la del colector + la corriente de la base, pero al ser la de base tan pequeña comparada con las otras dos, se puede aproximar diciendo que **$I_E = I_C$** . En realidad **las intensidades en un transistor** serían:

$I_E = I_C + I_B$; para los 2 tipos de transistores. Fijarse en la flecha del símbolo.

Si nos dan 2 intensidades y queremos calcular la tercera solo tendremos que despejar.

¿Cómo serían las intensidades en corte? **Todas deben ser iguales a cero.**

Otro dato importante en un transistor es **la ganancia**, que nos da la relación que hay entre la corriente de salida I_C y la necesaria para activarlo I_B (corriente de entrada). Se representa por el símbolo beta β .

$$\beta = I_C / I_B$$

La ganancia es realmente lo que se amplifica la corriente en el transistor. Por ejemplo una ganancia de 100 significa que la corriente que metamos por la base se amplifica, en el colector, 100 veces, es decir será 100 veces mayor la de colector que la de la base. Como la de colector es muy parecida a la del emisor, podemos aproximar diciendo que la corriente del emisor también es 100 veces mayor que la de la base.

En un transistor que tenga una ganancia de 10, si la corriente de entrada es de 1 amperio por la base, por el colector obtendremos 10 amperios. Y así, el transistor también es un amplificador. Pero se debe tener cuidado ya que si el transistor que se tiene solo permite como máximo 5 amperios de salida, ¿qué pasaría si metemos 1 amperio en la base? **¡Se quemaría!** porque no soportaría esa corriente de 10A en el colector.

También es muy importante que **la corriente del colector dependa del receptor que se tenga conectado** a la salida, entre el colector y el emisor. La corriente del colector será la que demande (succiona) ese receptor, nunca mayor. Si en el caso anterior el receptor fuera una lámpara que solo consumiera 3 amperios no pasaría nada, ya que entre el emisor y el colector solo circularían los 3 amperios que demanda la lámpara. Nunca más de 3 Amperios.

Otro dato importante es la **potencia máxima** que puede disipar el transistor. Según la fórmula de la potencia: $P = V \times I$, en el transistor sería:

$P = V_{c-e} \times I_c$ tensión colector-emisor por intensidad del colector.

Si se tiene que saber la potencia total que tiene el receptor o los receptores que pongamos en el circuito de salida para elegir un transistor que sea capaz de disipar esa misma potencia o superior, de lo contrario se quemaría.



En el caso que un circuito tenga $P = 3A \times 6V = 18w$, con lo cual el transistor para el circuito deberá ser de esa misma potencia, mejor un poco mayor (sobredimensionar).

ANÁLISIS Y EJEMPLOS BJT

Análisis por Kirchhoff NPN

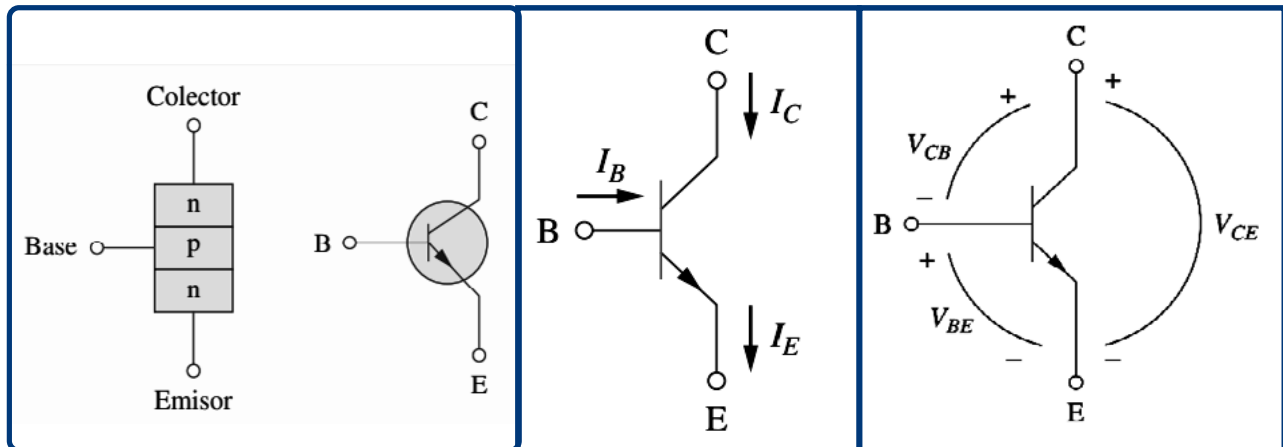


Figura 21. Flujo de Corriente en transistor

En base a la Figura 21, las resultantes son las siguientes ecuaciones:

$$a) \quad I_E = I_B + I_C$$

$$b) \quad V_{CE} + V_{EB} + V_{BC} = 0$$

Cuando los transistores operan en el modo activo, habitualmente $V_{BE} \approx 0.7 \text{ V}$,

$I_C = \alpha I_E$ Donde α se llama ganancia de corriente de base común. Y denota la fracción de electrones inyectada por el emisor que recoge el colector

$I_C = \beta I_B$ donde β se conoce como ganancia de corriente de emisor común.

La α y la β son propiedades características de un transistor dado y toman valores constantes para ese transistor. Usualmente, adopta valores en la gama de 0.98 a 0.999, mientras que adopta valores en la gama de 50 a 1000.

$$I_E = (1 + \beta)I_B \quad \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

Las ecuaciones anteriores indican que, en el modo activo, el BJT puede modelarse como una fuente de corriente dependiente controlada por corriente.

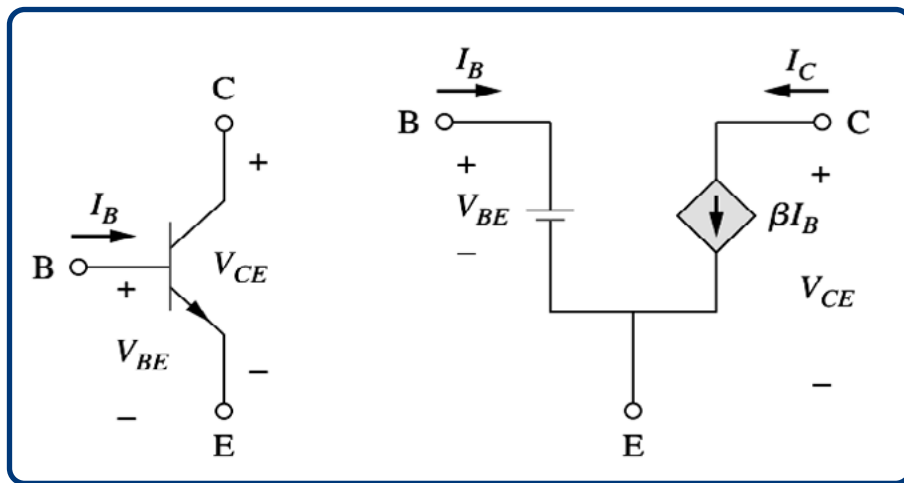


Figura 22. Equivalente de un transistor BJT.

EJEMPLO 1:

Encuentre I_B , I_C y V_o en el circuito transistorizado de la figura. Suponga que el transistor opera en el modo activo y que $\beta = 50$.

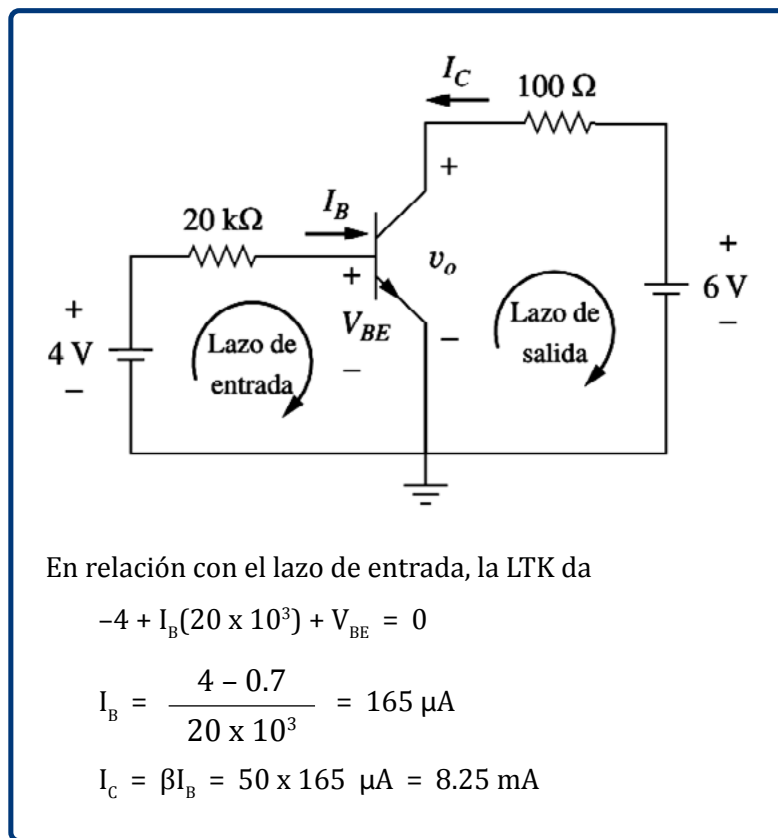


Figura 23. Mallas de un Transistor.

Para el lazo de salida, la LTK produce:

Nótese que: $v_o = V_{CE}$ en este caso.

$$-v_o - 100I_c + 6 = 0$$

$$v_o = 6 - 100I_c = 6 - 0.825 = 5.175 \text{ V}$$

EJEMPLO 2:

En el circuito BJT de la figura, $\beta = 150$ y $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$. Halle V_o .

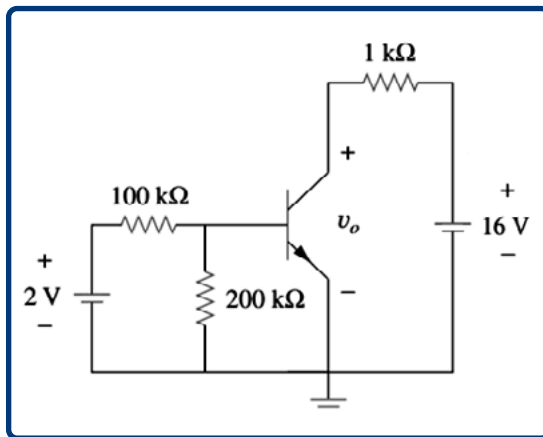


FIGURA 1 DE EJEMPLO #2

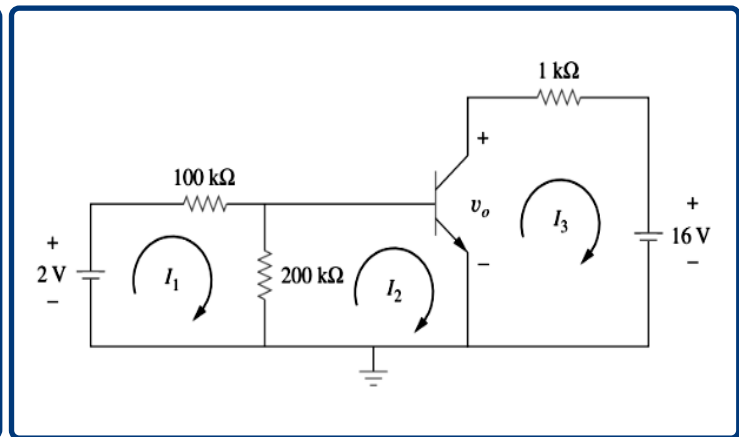


FIGURA 2 DE EJEMPLO #2

$$-2 + 100kI_1 + 200k(I_1 - I_2) = 0 \quad \text{o} \quad 3I_1 - 2I_2 = 2 \times 10^{-5}$$

$$200k(I_2 - I_1) + V_{BE} = 0 \quad \text{o} \quad -2I_1 + 2I_2 = -0.7 \times 10^{-5}$$

Dado que hay dos ecuaciones y dos incógnitas, se puede determinar I_1 e I_2

$$-v_o + 1kI_3 + 16 = 0 \quad \text{o} \quad v_o = -1.425 + 16 = \mathbf{14.575V}$$

Puesto que $I_3 = 150 \cdot I_2 = 1.425 \text{ mA}$, ahora se puede determinar V_o usando el lazo 3.

$$-v_o + 1kI_3 + 16 = 0 \quad \text{o} \quad v_o = -1.425 + 16 = \mathbf{14.575V}$$

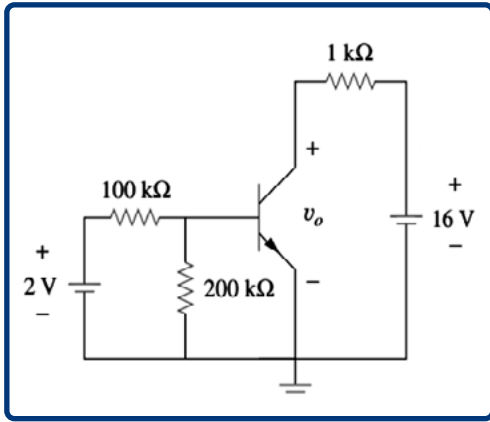


FIGURA 3 DE EJEMPLO

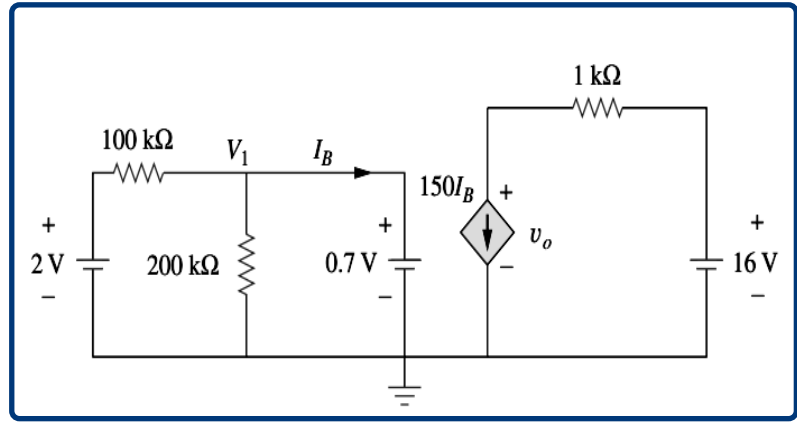


FIGURA 4 DE EJEMPLO

En el nodo número 1: $V_1 = 0.7 \text{ V}$

$$(0.7 - 2) / 100\text{K} + 0.7 / 200\text{K} + I_B = 0 \quad \text{o} \quad I_B = 9.5 \mu\text{A}$$

En el nodo número 2:

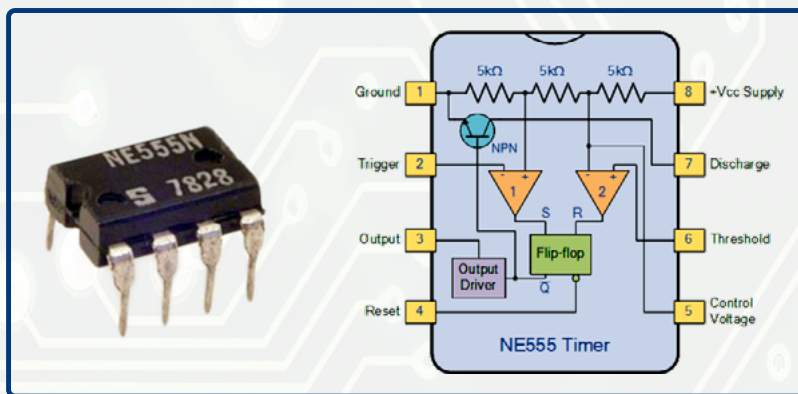
$$150I_B + (v_o - 16) / 1\text{K} = 0 \quad \text{o}$$

$$v_o = 16 - 150 \times 10^3 \times 9.5 \times 10^{-6} = \mathbf{14.575\text{V}}$$

Práctica generador de frecuencia

El 555 Timer IC se puede conectar en su modo monoestable, produciendo así un temporizador de precisión de una duración de tiempo fija o en su modo biestable para producir una acción de cambio de tipo flip-flop.

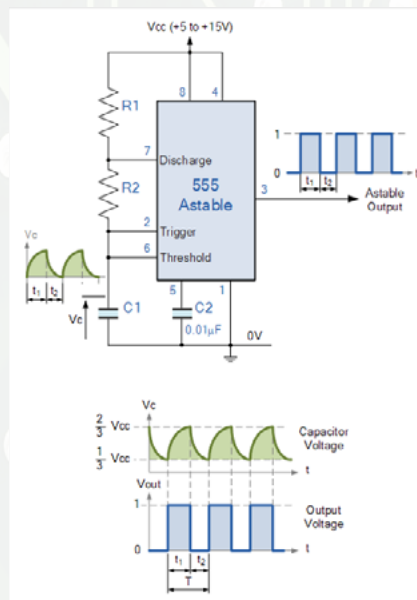
Pero, también, podemos conectar el IC del temporizador 555 en un modo Astable para producir un circuito oscilador 555 muy estable, para generar formas de onda de funcionamiento libre altamente precisas cuya frecuencia de salida se puede ajustar mediante un circuito de tanque RC, conectado externamente que consta de solo dos resistencias y un condensador.



Circuito # 1

El primer circuito a realizar es una configuración astable del multivibrador 555 que solamente permite obtener un ciclo de trabajo superior al 50 %. En este modo, el 555 no tiene estado estable, la salida 3 va cambiando continuamente entre el nivel bajo y el alto continuamente, independientemente del estado de la entrada

El tiempo que estará la salida en alto y bajo dependerá de los componentes del circuito, particularmente, del tiempo de carga del capacitor asociado a la constante de tiempo. Así como la magnitud de las resistencias a través de las que se carga y descarga el capacitor previamente señalado.



El primer circuito a realizar es una configuración astable del multivibrador 555 que solamente permite obtener un ciclo de trabajo superior al 50 %. En este modo, el 555 no tiene estado estable, la salida 3 va cambiando continuamente entre el nivel bajo y el alto continuamente, independientemente del estado de la entrada

El tiempo que estará la salida en alto y bajo dependerá de los componentes del circuito, particularmente, del tiempo de carga del capacitor asociado a la constante de tiempo. Así como la magnitud de las resistencias a través de las que se carga y descarga el capacitor previamente señalado.

Los tiempos de los estados alto y bajo de la onda de salida se muestran en las siguientes:

$$T1 = 0.693 \times (R1+R2) \times C \text{ (en segundos)}$$

$$T2 = 0.693 \times R2 \times C \text{ (en segundos)}$$

La frecuencia de oscilación de la onda de salida está dada por la fórmula:

$$f = 1 / [0.693 \times C \times (R1 + 2 \times R2)] \text{ (en hertz)}$$

El período es:

$$T = 1/f = 0.693 \times C \times (R1 + 2 \times R2) \text{ (en segundos)}$$

Se puede ver con claridad que el tiempo T1, en que la salida está en nivel alto, es el tiempo de carga del condensador C y que el tiempo T2, en que la salida está en nivel bajo, es el tiempo de descarga del mismo.

Hay que recordar que el período es el tiempo que dura la señal, desde un punto cualquiera en la forma de onda de la salida hasta que este se vuelve a repetir.

Ejemplo de oscilador basado en 555

Se construye un oscilador Astable 555 utilizando los siguientes componentes, $R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 2k\Omega$ y condensador $C = 10\mu F$. Calcule la frecuencia de salida del oscilador 555 y el ciclo de trabajo de la forma de onda de salida.

t_1 - el tiempo de carga de condensador "ON" se calcula como:

$$\begin{aligned}t_1 &= 0.693(R_1 + R_2) \cdot C \\ &= 0.693(1000 + 2000) \times 10 \times 10^{-6} \\ &= 0.021s = 21ms\end{aligned}$$

t_2 - el tiempo de descarga de condensador "APAGADO" se calcula como:

$$\begin{aligned}t_2 &= 0.693 R_2 \cdot C \\ &= 0.693 \times 2000 \times 10 \times 10^{-6} \\ &= 0.014s = 14ms\end{aligned}$$

El tiempo periódico total (T), por lo tanto, se calcula como:

$$T = t_1 + t_2 = 21ms + 14ms = 35ms$$

La frecuencia de salida, f , se da como:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{35ms} = 28.6Hz$$

Dando un valor de ciclo de trabajo de:

$$\text{Duty Cycle} = \frac{R_1 + R_2}{(R_1 + 2R_2)} = \frac{1000 + 2000}{(1000 + 2 \times 2000)} = 0.6 \text{ or } 60\%$$

Glosario

- ▶ **Transistor:** es un componente electrónico formado por materiales semiconductores, de uso muy habitual, pues se encuentra presente en cualquiera de los aparatos de uso cotidiano como las radios, alarmas, automóviles, ordenadores, etc.
- ▶ **Transistor Mosfet:** conduce corriente eléctrica entre dos terminales cuando aplicamos tensión en la otra terminal (una tercera terminal). En otras palabras, es un interruptor que se activa por tensión.
- ▶ **Transistor BJT:** es un dispositivo que regula el flujo de corriente o de tensión actuando como un interruptor o amplificador para señales electrónicas.
- ▶ **Transistor PNP:** la corriente de salida (entre el emisor y colector) entra por el emisor y sale por el colector. En simbología al fijarse sobre la flecha en el símbolo hacia dentro, Una regla para acordarse es que el PNP «pincha».
- ▶ **TRANSISTOR NPN:** la corriente entra por el colector y sale por el emisor; lo cual es al revés que el PNP. En simbología la flecha «no pincha a la base». Según la regla NPN = no pincha.

CAPÍTULO 4

Amplificador operacional

INTRODUCCIÓN

El Amplificador Operacional es un componente electrónico muy ampliamente utilizado en diversas aplicaciones de la electrónica analógica y digital. Nos permite realizar una amplia gama de operaciones tales como: suma, resta, integración y diferenciación de diferentes tipos de señales eléctricas. Dicho dispositivo, constituido por arreglos de transistores, ha sido diseñado para una operación muy simple y elemental por medio de dos entradas y una salida. La operación básica constituye en el cálculo de la diferencia de las dos entradas multiplicada por un factor Ganancia.

Un amplificador operacional (Amp. Op.), es un circuito amplificador de alta ganancia en lazo abierto, que en general se alimenta con fuentes bipolares, es decir, una positiva y una negativa, lo cual permite que obtengamos a la salida tensiones bipolares como consecuencia. Se caracteriza especialmente, porque se puede controlar por medio de la retroalimentación en lazo cerrado su respuesta en: frecuencia, cambio de fase y alta ganancia.

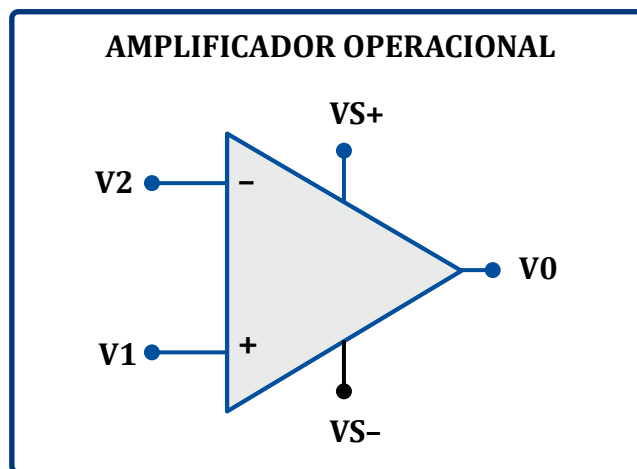


Figura 4.1. Representación de circuito del amplificador operacional.

IDENTIFICACIÓN

Los amplificadores operacionales muy generalmente son fabricados dentro de un empaque en línea doble (*dual in-line package, DIP por sus siglas en inglés*) de ocho terminales cuando se empaquetan en elementos individuales, de estas terminales solo 5 están físicamente conectadas al circuito en su interior, son:

1. La entrada inversora, terminal v2.
2. La entrada no inversora, terminal v1.
3. La salida, terminal Vo.
4. El suministro de potencia positivo, *terminal Vs+*.
5. El suministro de potencia negativo, *terminal Vs-*.

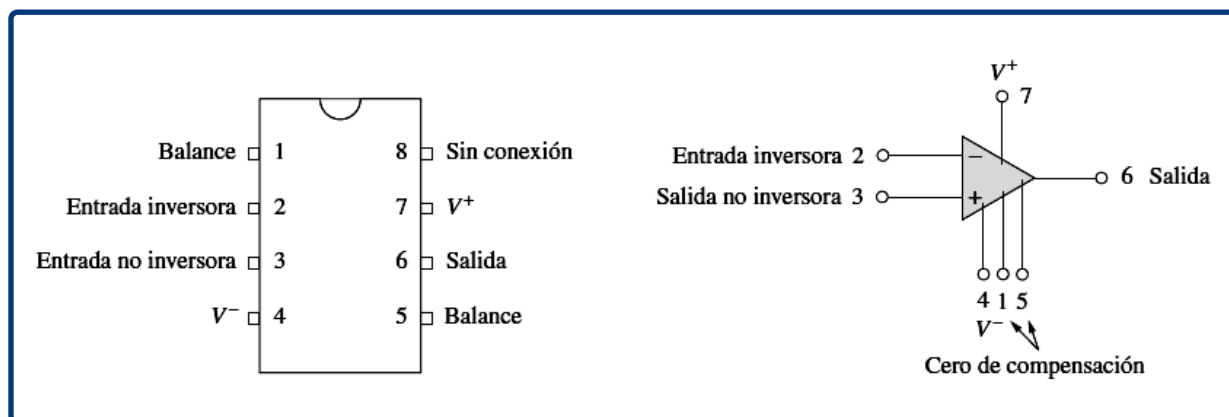


Figura 4.2. Componentes internos de un amp op.

Se le atribuye la invención del amplificador a George Philbrick, quien trabajaba en los Huntington Engeneering Labs, lo introdujo al mercado en el año 1948. El propósito original de los primeros Amp Op fue realizar operaciones aritméticas básicas suma, resta y multiplicación en las computadoras analógicas de la época. Pero, principalmente, su principal función es amplificar el voltaje con una entrada de tipo diferencial para tener una salida amplificada y con referencia a tierra.

El primer amplificador operacional comercializado en forma de circuito integrado fue generado alrededor de los años 1960, fue el Fairchild μ A702 (1964), diseñado por Bob Widlar. Le siguió el Fairchild μ A709 (1965), también de Widlar, y que constituyó un gran éxito comercial. Más tarde sería sustituido por el popular Fairchild μ A741 (1968), de David Fullagar, y fabricado por numerosas empresas, basado en tecnología bipolar, que sigue siendo la opción favorita aun en nuestros días para la enseñanza básica de Amp. Op. Así como de la mayoría de las aplicaciones *básicas que no necesitan de mucha potencia. Por su parte la empresa que representa la mayor competencia entre los fabricantes, la National Semicoductor hizo lo mismo y presentó, durante la misma época, su versión comercial del Amp Op básico llamado 101/301.*

Con el paso de los años y la mejora en la tecnología de fabricación, los amplificadores operacionales mejoraron notablemente. En su configuración interna se reemplazaron los transistores bipolares (BJT) del conjunto de transistores de entrada por transistores de unión de efecto de campo (JFET) con lo que se logró incrementar en gran medida la impedancia de entrada del amplificador. Estos circuitos integrados son muy versátiles, de bajo precio, tamaño pequeño, con excelentes características eléctricas y de respuesta en frecuencia. Gracias a estas nuevas tecnologías el primer amplificador en implementarlas fue el LF356.

MODELO EQUIVALENTE

El modelo de circuito equivalente de un amplificador operacional se presenta en la figura 4.3. La sección de salida consta de una fuente controlada por tensión en serie con la resistencia de salida R_o .

La resistencia de entrada R_i es la resistencia equivalente de Thevenin vista en las terminales de entrada.

La resistencia de salida R_o es la resistencia equivalente de Thevenin vista en la salida.

La tensión de entrada diferencial V_d está dada por: $v_d = v_2 - v_1$ Donde: V_1 es la tensión entre la terminal inversora y tierra y V_2 la tensión entre la terminal no inversora y tierra.

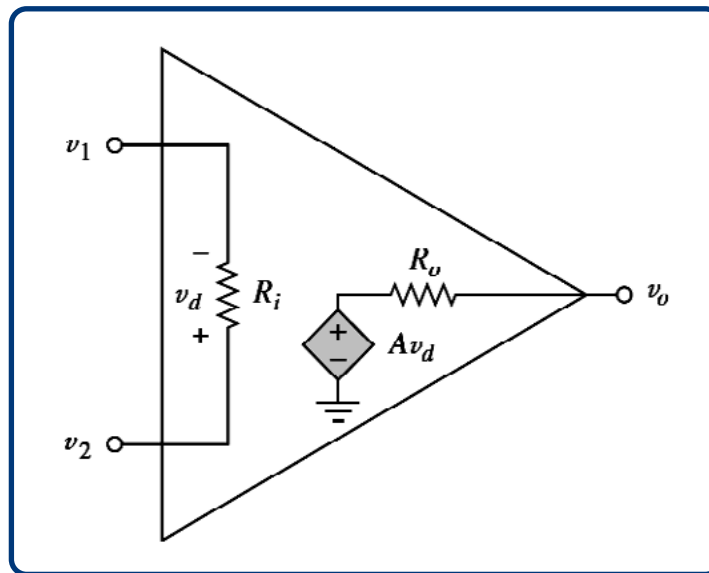


Figura 4.3. Circuito equivalente del amplificador operacional.

El amplificador operacional percibe la diferencia entre esas dos entradas, la multiplica por la ganancia A y *provoca* que la tensión resultante aparezca en la salida. Así, la salida V_o está dada por:

$$v_o = Av_d = A(v_2 - v_1)$$

Donde: A se llama ganancia en tensión de lazo abierto, porque es la ganancia del amplificador operacional sin retroalimentación externa de la salida a la entrada.

Parámetro	Rango típico	Valores ideales
Ganancia de lazo abierto, A	10^5 a 10^8	
Resistencia de entrada, R_i	10^5 a $10^{13} \Omega$	Ω
Resistencia de salida, R_o	10 a 100Ω	0Ω
Tensión de suministro, V_{CC}	5 a 24 V	

Figura 4.4. Valores estándar para Amp Op.

Una limitación práctica del amplificador operacional es que la magnitud de su tensión de salida no puede exceder de $|V_{CC}|$. En otras palabras, la tensión de salida depende; y está limitada, por la tensión de alimentación.

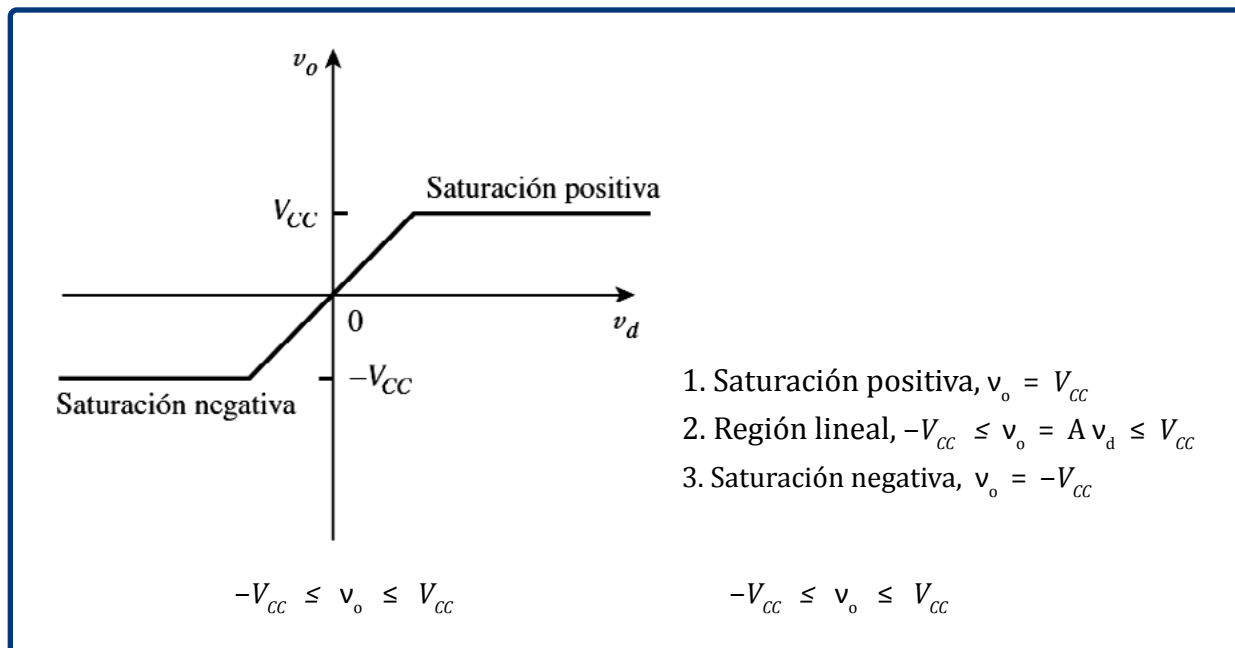


Figura 4.5. Operación de la tensión de salida.

AMPLIFICADOR IDEAL

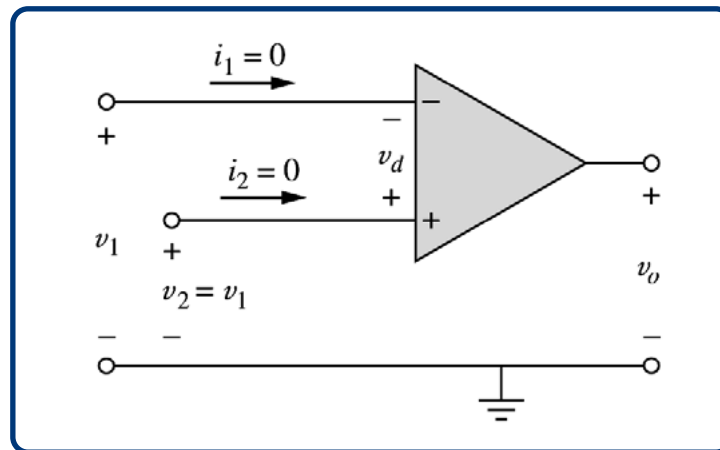


Figura 4.6. Amplificador ideal

Las corrientes por las dos terminales de entrada son de cero:

$$i_1 = 0, \quad i_2 = 0$$

Esto se debe a la resistencia de entrada infinita. Una resistencia infinita entre las terminales de entrada implica que ahí existe un circuito abierto y que no puede entrar corriente en el amplificador operacional. En cambio, la corriente de salida no necesariamente es de cero.

La tensión entre las terminales de entrada es igual a cero; es decir:

$$v_d = v_2 - v_1 = 0$$

$$v_1 = v_2$$

Estas normas ayudaran al análisis de circuitos con Amplificadores Operacionales.

AMPLIFICADOR INVERSOR

En este circuito, la entrada no inversora se conecta a tierra, *Vi se conecta a la entrada inversora a través de R1 y el resistor de retroalimentación Rf se conecta entre la entrada inversora y la salida.*

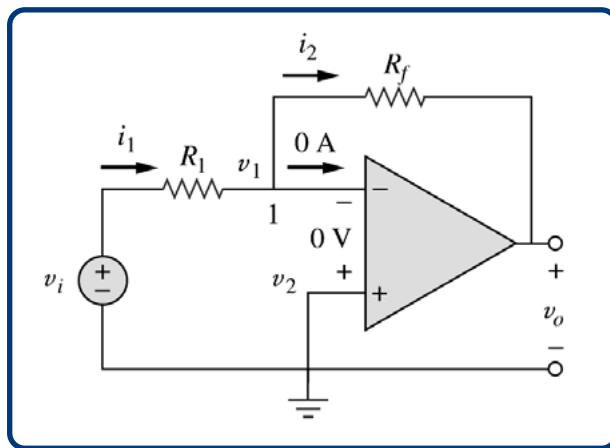


Figura 4.7 Amplificador inversor.

ANÁLISIS AMPLIFICADOR INVERSOR

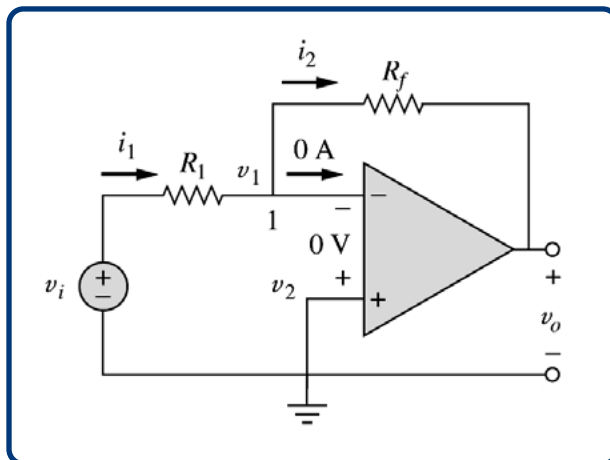


Figura 4.8. Análisis amplificador inversor.

El objetivo es obtener la relación entre la tensión de entrada v_i y la tensión de salida v_o . Al aplicar la LCK en el nodo 1:

$$i_1 = i_2 \quad \frac{v_i - v_1}{R_1} = \frac{v_1 - v_o}{R_f}$$

Pero $v_1 = v_2 = 0$, para un amplificador operacional ideal, ya que la terminal no inversora se conecta a tierra. Por lo tanto:

$$\frac{v_i}{R_1} = \frac{v_o}{R_f} \longrightarrow v_o = - \frac{R_f}{R_1} v_i$$

La ganancia en tensión es $A_v = V_o/V_i = -R_f/R_1$ o ganancia de retroalimentación.

DEFINICIÓN:

Un amplificador inversor invierte la polaridad de la señal de entrada mientras la amplifica.



EJEMPLO 1: AMPLIFICADOR INVERSOR

Si $V_i = 0.5 \text{ V}$, calcule:

a) La tensión de salida v_o y b) la corriente en el resistor de 10 k .

De la ecuación de la ganancia de lazo cerrado:

$$\frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_f}{R_1} = -\frac{25}{10} = -2.5$$
$$v_o = -2.5v_i = -2.5(0.5) = -1.25 \text{ V}$$

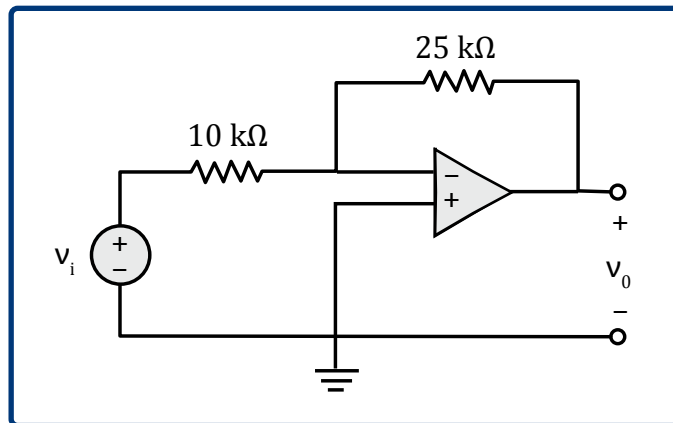


Figura 10. Amplificador inversor.

La corriente a través del resistor de 10 k es:

$$i = \frac{v_a - v_o}{R_1} = \frac{0.5 - 0}{10 \times 10^3} = 50 \mu\text{A}$$

Ejemplo 2 amplificador inversor.

Determine V_o en el circuito del amplificador operacional que se muestra en la Figura siguiente.

Al aplicar la LCK al nodo a :

$$\frac{v_a - v_o}{40 \text{ k}\Omega} = \frac{6 - v_a}{20 \text{ k}\Omega}$$

$$v_a - v_o = 12 - 2v_a \quad v_o = 3v_a - 12$$

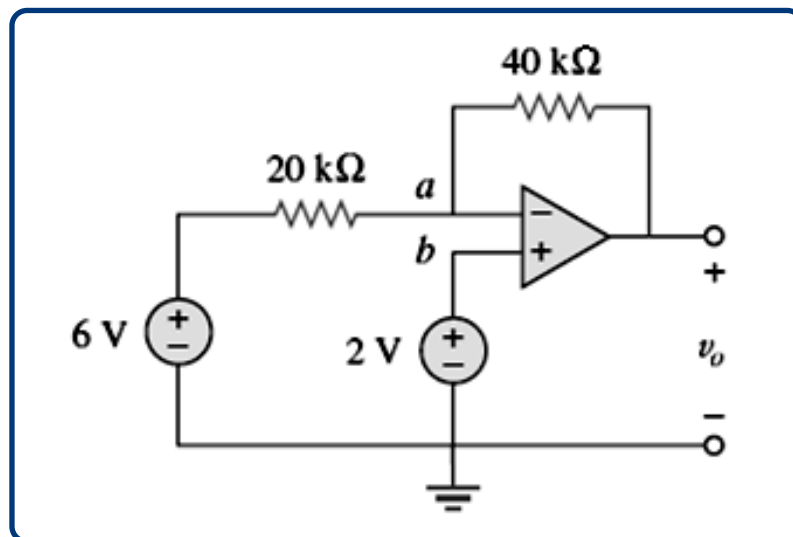


Figura 11. Amplificador Inversor.

Pero $V_a = V_b = 2V$ para un amplificador operacional ideal, a causa de la caída de tensión a cero entre sus terminales de entrada.

$$v_o = 6 - 12 = -6V$$

Adviértase que si $V_b = 0V = V_a$, entonces $V_o = -12V$; entonces ¿Se puede concluir que?

AMPLIFICADOR NO INVERSOR

En este caso, la tensión de entrada V_i se aplica directamente a la terminal de entrada no inversora, y el resistor $R1$ se conecta entre la tierra y la terminal inversora. Interesan la tensión de salida y la ganancia en tensión A_v .

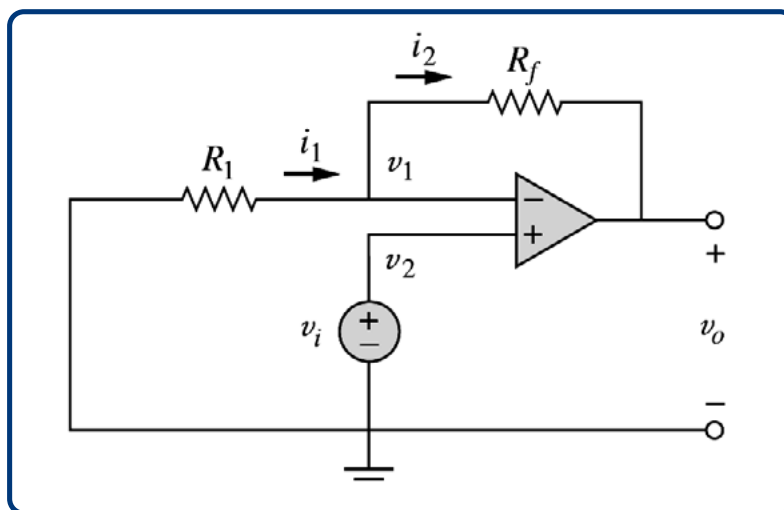


Figura 12. Amplificador Inversor.

La aplicación de la LCK en la terminal inversora da por resultado:

$$i_1 = i_2 \quad \frac{0 - v_1}{R_1} = \frac{v_1 - v_o}{R_f}$$

Pero $V_1 = V_2 = V_i$; entonces:

$$\frac{v_i}{R_1} = \frac{v_1 - v_o}{R_f} \longrightarrow v_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) v_i$$

La ganancia en tensión es: $Av = v_o/v_i = 1 + (R_f/R_1)$, la cual no tiene signo negativo.

Así, la salida tiene la misma polaridad que la entrada.

DEFINICIÓN:

Un amplificador no inversor es un circuito de amplificador operacional diseñado para suministrar una ganancia en tensión positiva.



EJEMPLO DE AMPLIFICADORES

En el circuito del amplificador operacional de la figura: calcule la tensión de salida V_o . Aplicando la superposición, se tiene:

$$V_o = V_{o1} + V_{o2}$$

Donde V_{o1} se debe a la fuente de tensión de 6 V y V_{o2} a la entrada de 4 V. Para obtener V_{o1} se pone en cero la fuente de 4 V. En esta condición, el circuito se convierte en inversor:

$$v_{o1} = -\frac{10}{4} (6) = -15V$$

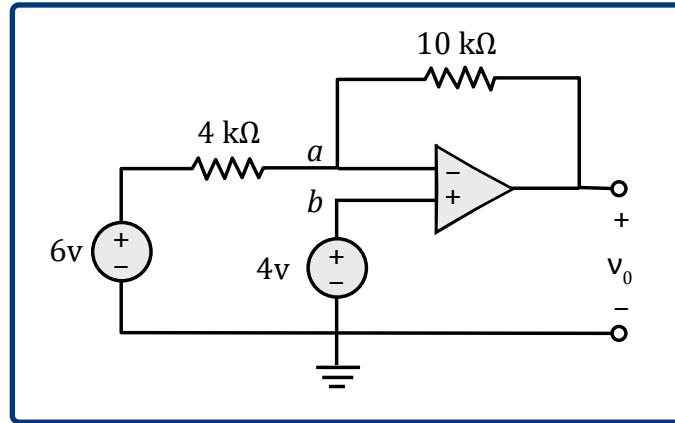


Figura 13. Amplificador Inversor.

Al aplicar la LCK al nodo A:

$$\frac{6 - v_o}{4} = \frac{v_a - v_o}{10}$$

Para obtener V_{o2} se pone en cero la fuente de 6 V. El circuito se convierte en amplificador no inversor

Pero $V_a = V_b = 4V$, así que:

$$\frac{6 - 4}{4} = \frac{4 - v_o}{10} \quad 5 = 4 - v_o \quad v_{o2} = \left(1 + \frac{10}{4}\right) 4 = 14V$$

$$v_o = v_{o1} + v_{o2} = -15 + 14 = -1V$$

Despejando v_o ; $v_o = -1V$

AMPLIFICADOR SUMADOR

Un amplificador sumador es un circuito del amplificador operacional que combina varias entradas y produce una salida que es la suma ponderada de las entradas.

El amplificador sumador, el cual se muestra en la figura es una variante del amplificador inversor. Se beneficia del hecho de que la configuración del inversor puede manejar muchas entradas al mismo tiempo. La corriente que entra a cada terminal del amplificador operacional es de cero.



ANÁLISIS

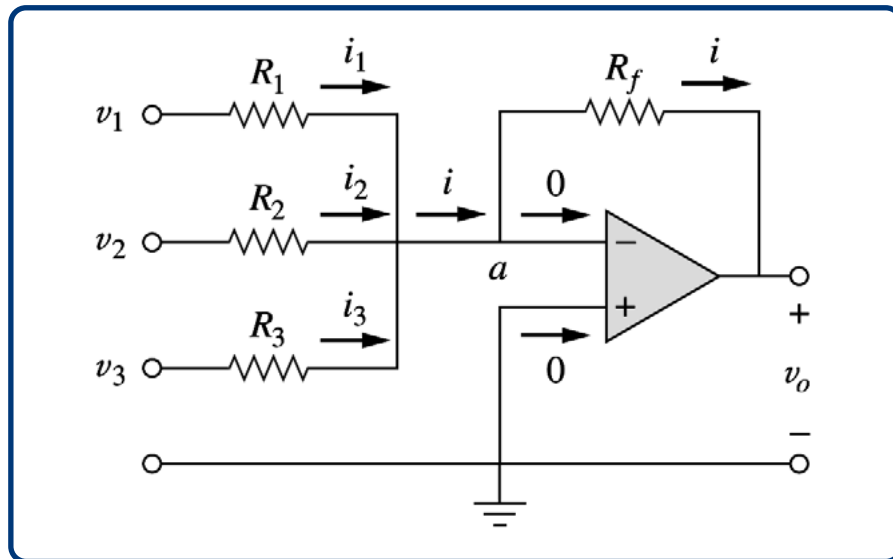


Figura 14. Amplificador Sumador.

La aplicación de la LCK al nodo a da por resultado:

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

$$i_1 = \frac{v_1 - v_a}{R_1}, \quad i_2 = \frac{v_2 - v_a}{R_2}$$

$$i_3 = \frac{v_3 - v_a}{R_3}, \quad i = \frac{v_a - v_o}{R_f}$$

Sustituyendo y despejando para Vo:

$$v_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}v_1 + \frac{R_f}{R_2}v_2 + \frac{R_f}{R_3}v_3\right)$$

Lo que indica que la tensión de salida es una suma ponderada de las entradas. Por esta razón, el circuito de la figura se llama sumador. Sobra decir que el sumador puede tener más de tres entradas.



EJEMPLO DE UN AMPLIFICADOR SUMADOR

Calcule V_o y I_o en el circuito del amplificador operacional de la figura.

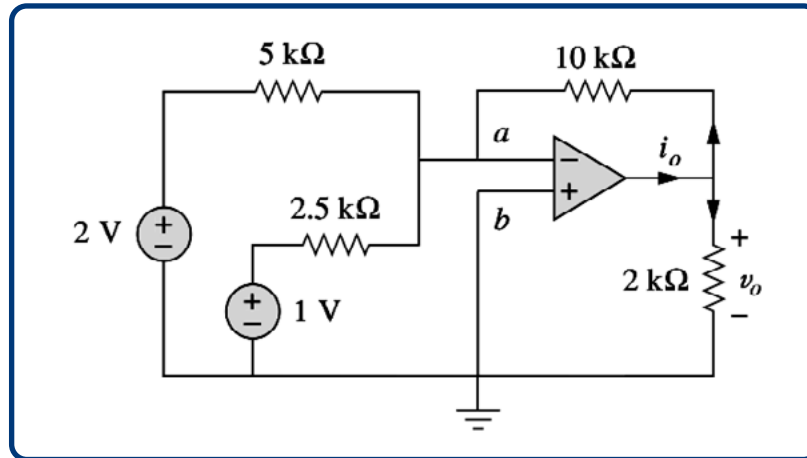


Figura 15. Amplificador Sumador.

SOLUCIÓN: Este es un sumador con dos entradas.

$$v_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}v_1 + \frac{R_f}{R_2}v_2 + \frac{R_f}{R_3}v_3\right)$$

$$v_o = -\left[\frac{10}{5}(2) + \frac{10}{2.5}(1)\right] = -(4 + 4) = -8 \text{ V}$$

La corriente i_o es la suma de las corrientes a través de los resistores de 10k y 2 k. Ambos resistores tienen una tensión $V_o = -8 \text{ V}$ entre sus extremos, puesto que $v_a = v_b = 0$. Así,

$$i_o = \frac{v_o - 0}{10} + \frac{v_o - 0}{2} \text{ mA} = -0.8 - 4 = -4.8 \text{ mA}$$

AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

Un amplificador de diferencia es un dispositivo que amplifica la diferencia entre dos entradas pero rechaza toda señal común a las dos entradas.

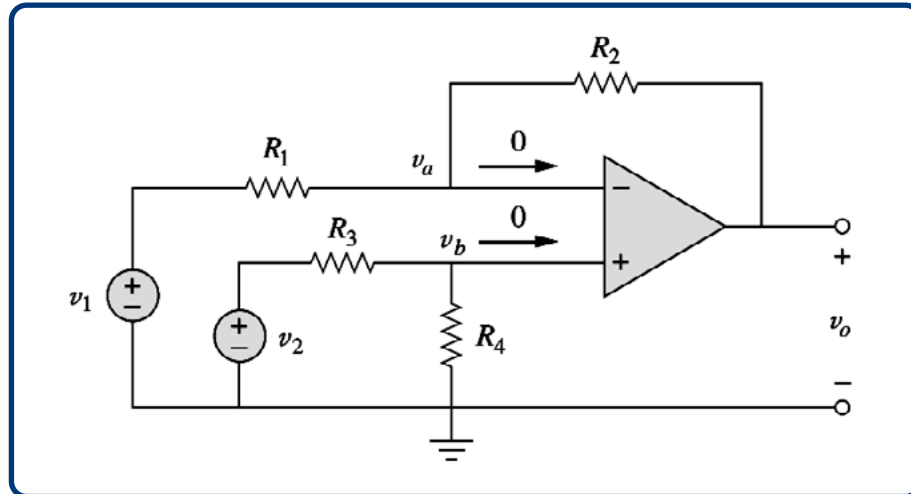


Figura 15. Amplificador diferenciador.



ANÁLISIS

Al aplicar la LCK al nodo a

$$\frac{v_1 - v_a}{R_1} = \frac{v_a - v_o}{R_2}$$

$$v_o = \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) v_a - \frac{R_2}{R_1} v_1$$

Al aplicar la LCK al nodo b

$$\frac{v_2 - v_b}{R_3} = \frac{v_b - 0}{R_4}$$

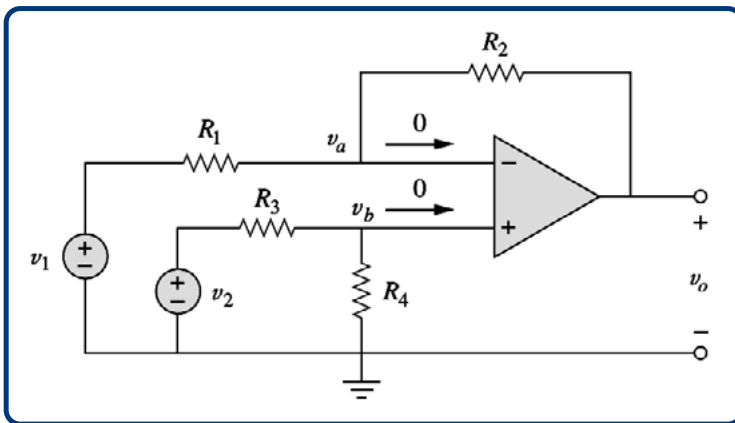
$$v_b = \frac{R_4}{R_3 + R_4} v_2$$

Pero $v_a = v_b$. La sustitución de las ecuaciones produce:

$$v_o = \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) \frac{R_4}{R_3 + R_4} v_2 - \frac{R_2}{R_1} v_1$$

$$v_o = \frac{R_2(1 + R_1/R_2)}{R_1(1 + R_3/R_4)} v_2 - \frac{R_2}{R_1} v_1$$

Como un amplificador de diferencia debe rechazar una señal común a las dos entradas, debe tener la propiedad de que $v_o = 0$ cuando $V_1 = V_2$. Esta propiedad existe cuando:



$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

$$v_o = \frac{R_2(1 + R_1/R_2)}{R_1(1 + R_3/R_4)} v_2 - \frac{R_2}{R_1} v_1$$

Figura 17. Amplificador Diferenciador.

Cuando el circuito del amplificador operacional es un amplificador de diferencia, la ecuación se convierte en:

$$v_o = \frac{R_2}{R_1} (v_2 - v_1)$$

Si $R_2 = R_1$ y $R_3 = R_4$, el amplificador de diferencia se convierte en restador,

Con la salida: $v_o = v_2 - v_1$



EJEMPLO AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

Diseñe un circuito del amplificador operacional con entradas V_1 y V_2 de manera que $v_o = -5V_1 + 3V_2$.

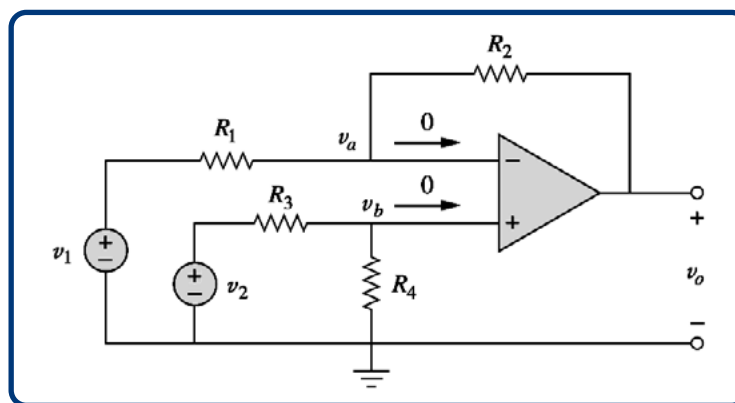


Figura 18. Amplificador diferenciador.

SOLUCIÓN: El circuito requiere que: $v_o = -5v_1 + 3v_2$

De la ecuación

$$v_o = \frac{R_2(1 + R_1/R_2)}{R_1(1 + R_3/R_4)}v_2 - \frac{R_2}{R_1}v_1$$

Se advierte que:

$$\frac{R_2}{R_1} = 5 \quad R_2 = 5R_1$$

$$5 \frac{(1 + R_1/R_2)}{(1 + R_3/R_4)} = 3 \quad \Rightarrow \quad \frac{\frac{6}{5}}{1 + R_3/R_4} = \frac{3}{5}$$

$$2 = 1 + \frac{R_3}{R_4} \quad \Rightarrow \quad R_3 = R_4$$

Si se elige $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ y $R_3 = 20 \text{ k}\Omega$, entonces, $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$ y $R_4 = 20 \text{ k}\Omega$

CIRCUITOS DE AMPLIFICADORES OPERACIONALES EN CASCADA

OBJETIVO: Como es sabido, los circuitos de amplificadores operacionales son módulos o componentes para el diseño de circuitos complejos. En aplicaciones prácticas suele ser necesario conectar circuitos de amplificadores operacionales en cascada (es decir, uno tras otro) para conseguir una ganancia total grande.

DEFINICIÓN: Una conexión en cascada es un arreglo de dos o más circuitos de amplificadores operacionales dispuestos uno tras otro, de manera que la salida de uno es la entrada del siguiente.

FUNCIONAMIENTO:

Cuando se conectan en cascada circuitos de amplificadores operacionales, a cada circuito de la cadena se le llama una etapa; la señal de entrada original se incrementa con la ganancia de la etapa individual. Dado que la salida de una etapa es la entrada de la siguiente, la ganancia total de la conexión en cascada es el producto de las ganancias de los circuitos de amplificadores operacionales individuales.

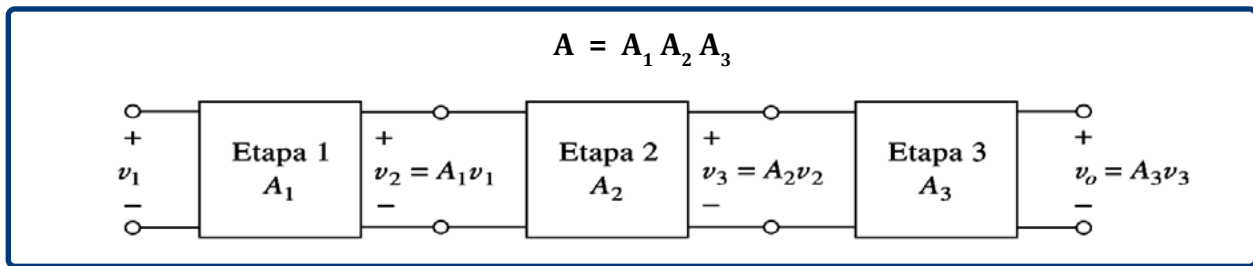
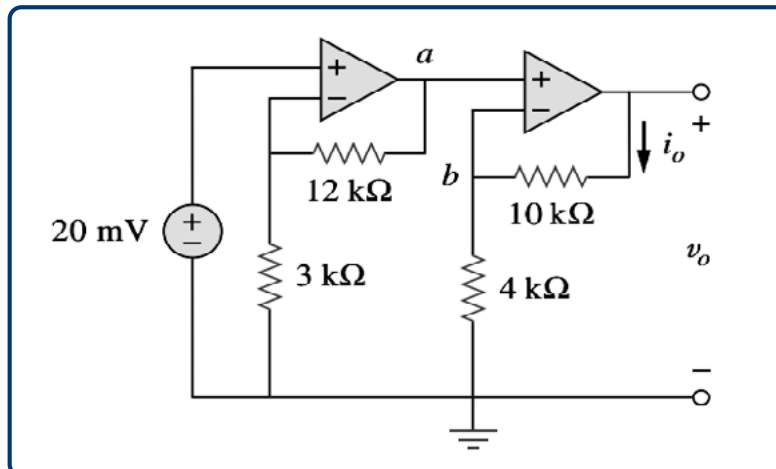


Figura 19. Amplificador de varias etapas.

EJEMPLO 1:

Halle V_o y I_o en el circuito de la figura:



SOLUCIÓN: Este circuito consta de dos amplificadores no inversores en cascada. En la salida del primer amplificador operacional:

$$v_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)v_i$$

$$v_a = \left(1 + \frac{12}{3}\right)(20) = 100 \text{ mV}$$

En la salida del segundo amplificador operacional:

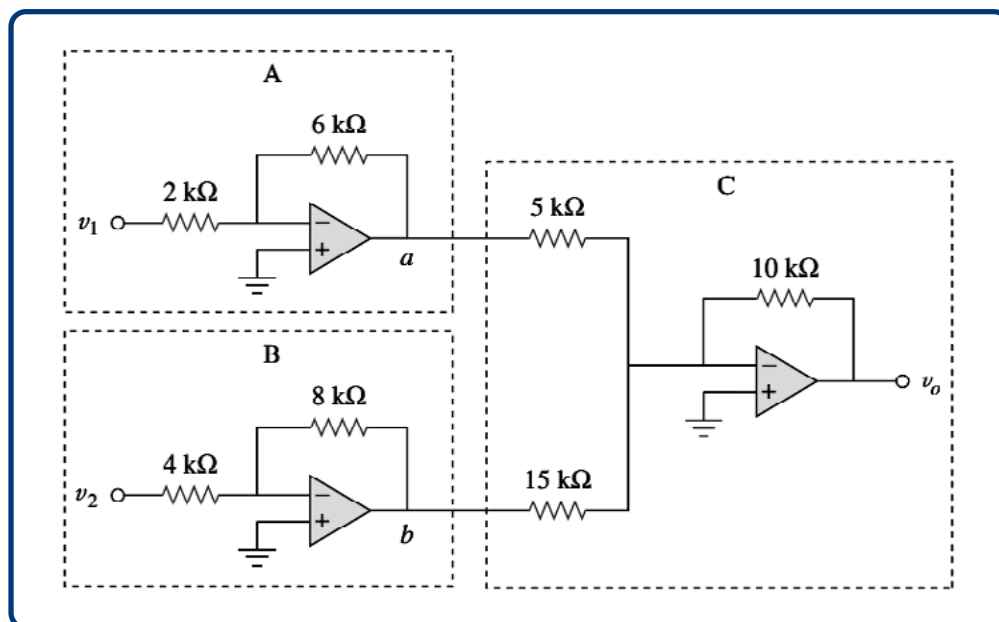
$$v_o = \left(1 + \frac{10}{4}\right)v_a = (1 + 2.5)100 = 350 \text{ mV}$$

La corriente requerida i_o es la corriente a través del resistor de $10 \text{ k}\Omega$.

$$i_o = \frac{v_o - v_b}{10} \text{ mA} \quad \text{Pero } v_b = v_a = 100 \text{ mV.} \quad i_o = \frac{(350 - 100) \times 10^{-3}}{10 \times 10^3} = 25 \mu\text{A}$$

EJEMPLO 2:

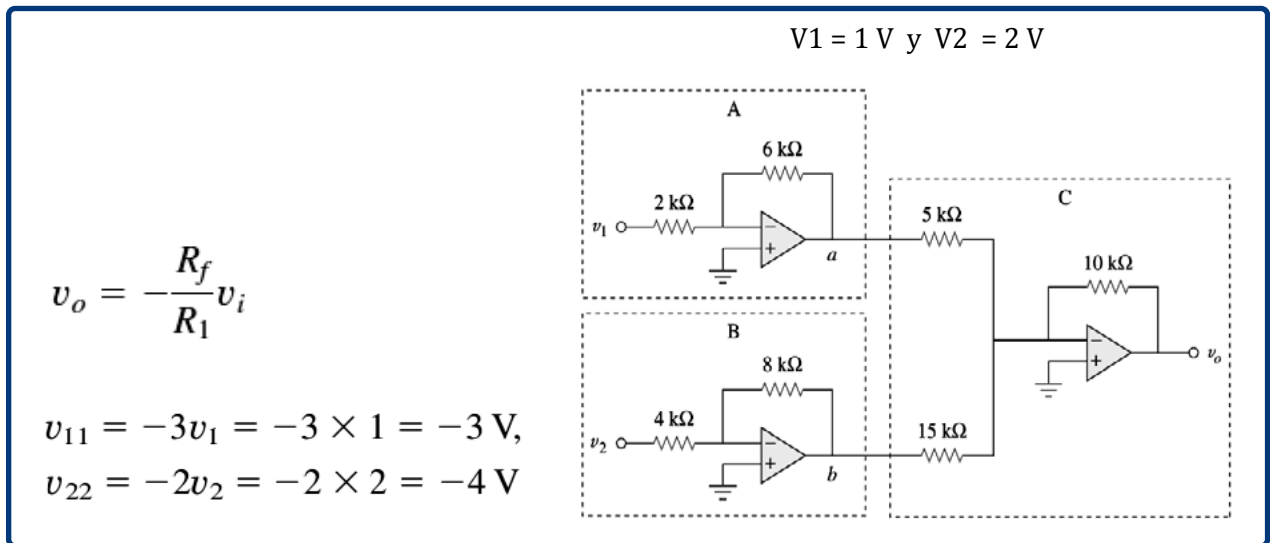
Si $V_1 = 1 \text{ V}$ y $V_2 = 2 \text{ V}$, halle v_o en el circuito del amplificador operacional de la figura.



SOLUCIÓN:

Este circuito del amplificador operacional se compone en realidad de tres circuitos. El primero actúa como amplificador de la ganancia -3 ($-6 \text{ k}\Omega / 2 \text{ k}\Omega$) para v_1 , y el segundo como amplificador de la ganancia -2 ($-8 \text{ k}\Omega / 4 \text{ k}\Omega$) para v_2 . El último sirve como sumador de dos ganancias diferentes para la salida de los otros dos circuitos. 1

Desígnese V_{11} a la salida del primer circuito del amplificador operacional y V_{22} a la salida del segundo. Así se obtiene:



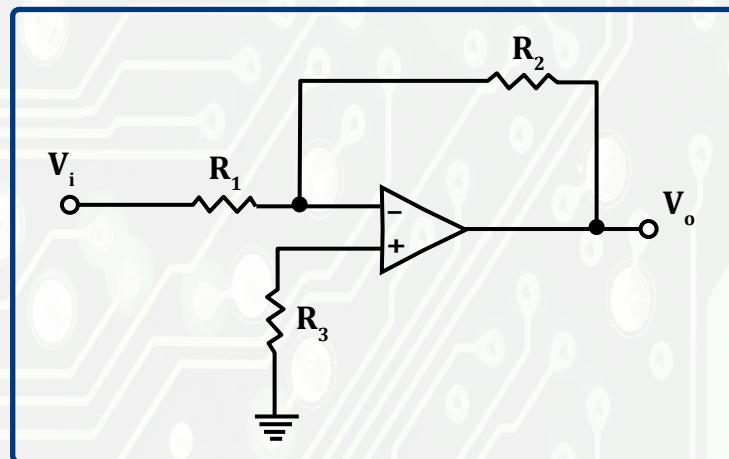
En la tercera etapa tenemos:

$$v_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} v_1 + \frac{R_f}{R_2} v_2 + \frac{R_f}{R_3} v_3\right)$$

$$\begin{aligned} v_o &= -(10 \text{ k}\Omega / 5 \text{ k}\Omega)v_{11} + [-(10 \text{ k}\Omega / 5 \text{ k}\Omega)v_{22}] \\ &= -2(-3) - (2/3)(-4) \\ &= 6 + 2.667 = \mathbf{8.667 \text{ V}} \end{aligned}$$

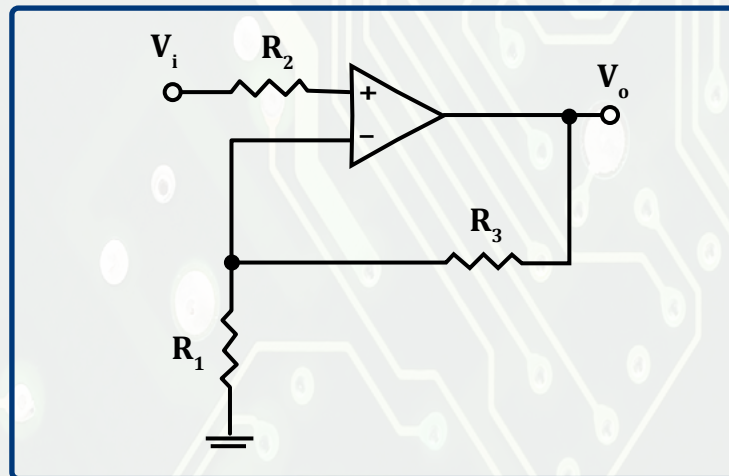
Práctica Amplificadores operaciones

1. Simular un amplificador de la configuración mostrada a continuación cumpliendo con las siguientes características:
 - a. Realizar el ajuste necesario en las resistencias para obtener una función de transferencia con magnitud de 10.
 - b. Si se alimenta el amplificador operacional con una fuente de alimentación bipolar de +15 y -15V cuál es el valor pico máximo de V_i para evitar la saturación del amplificador operacional.
 - c. Presentar las gráficas generadas en la entrada y salida del amplificador si utilizamos una fuente triangular con el 50% del valor máximo obtenido en el punto C como valor máximo.
 - d. ¿Qué tipo de amplificador es?



2. Simular un amplificador de la configuración mostrada a continuación y determinar:
 - a. Realizar el ajuste necesario en las resistencias para obtener una función de transferencia con magnitud de 2.
 - b. Si se alimenta el amplificador operacional con una fuente de alimentación bipolar de +15 y -15V cuál es el valor pico máximo de V_i para evitar la saturación del amplificador operacional.

- c. Presentar las gráficas generadas en la entrada y salida del amplificador si utilizamos una fuente senoidal con el 50% del valor máximo obtenido en el punto C como valor máximo.
- d. ¿Qué tipo de amplificador es?



3. Simular un amplificador de la configuración mostrada a continuación y determinar:
 - a. Realizar el ajuste necesario en las resistencias para obtener una ganancia unitaria
 - b. Conectar en V_{i1} el circuito del ejercicio 1 y en v_{i2} el circuito del ejercicio 2. Y observar las gráficas resultantes.
 - c. Finalmente sustituir los circuitos conectados en V_{i1} y V_{i2} por fuentes de tensión senoidales / triangulares / dc y observar el resultado de salida
 - d. ¿Qué tipo de amplificador es?

Glosario

- ▶ **Amplificador operacional:** es un elemento de circuitos activo diseñado para realizar operaciones matemáticas de suma, resta, multiplicación, división, diferenciación e integración.
- ▶ **Amplificador no inversor:** es un circuito de amplificador operacional diseñado para suministrar una ganancia en tensión positiva.
- ▶ **Amplificador sumador:** es un circuito del amplificador operacional que combina varias entradas y produce una salida que es la suma ponderada de las entradas.
- ▶ **Amplificador de diferencia:** es un dispositivo que amplifica la diferencia entre dos entradas pero rechaza toda señal común a las dos entradas.
- ▶ **Amplificadores Operacionales en Cascada:** conexión en cascada es un arreglo de dos o más circuitos de amplificadores operacionales dispuestos uno tras otro, de manera que la salida de uno es la entrada del siguiente.

NOTAS

BIBLIOGRAFÍA

- Antonio, H. (2015). Principios de electricidad y electrónica III. En H. Antonio, *Principios de electricidad y electrónica III*. Mexico, D.F.: AlfaOmega.
- Dorf, R., & Svoboda, j. (2015). *circuitos eléctricos*. Mexico: alfaomega.
- Garcia Lorenzo, M. (2011). Electrónica. En M. Garcia Lorenzo, *Electrónica*. Madrid: Ra-Ma.
- García, J. L. (2017). *circuitos eléctricos. prácticas de laboratorio*. Mexico: Alfaomega.
- Julián, P. (2013). *dispositivos semiconductores: principios y modelos* . buenos aires, Argentina: Alfaomega.
- Pardo Collantes, D. (2013). Problemas resueltos de electronica. En D. Pardo Collantes, *Problemas resueltos de electronica*. Mexico, D.F.: AlfaOmega .
- Real, J. V. (2016). *circuitos electronicos analogicos. Del diseño al experimento*. Mexico : Alfaomega.
- SEDRA. (1902). *MICROELECTRONICA*. CHICAGO: vasco.



UNIVERSIDAD EVANGÉLICA
DE EL SALVADOR



AFILIADA A



Unión de Universidades de
América Latina y el Caribe

www.uees.edu.sv