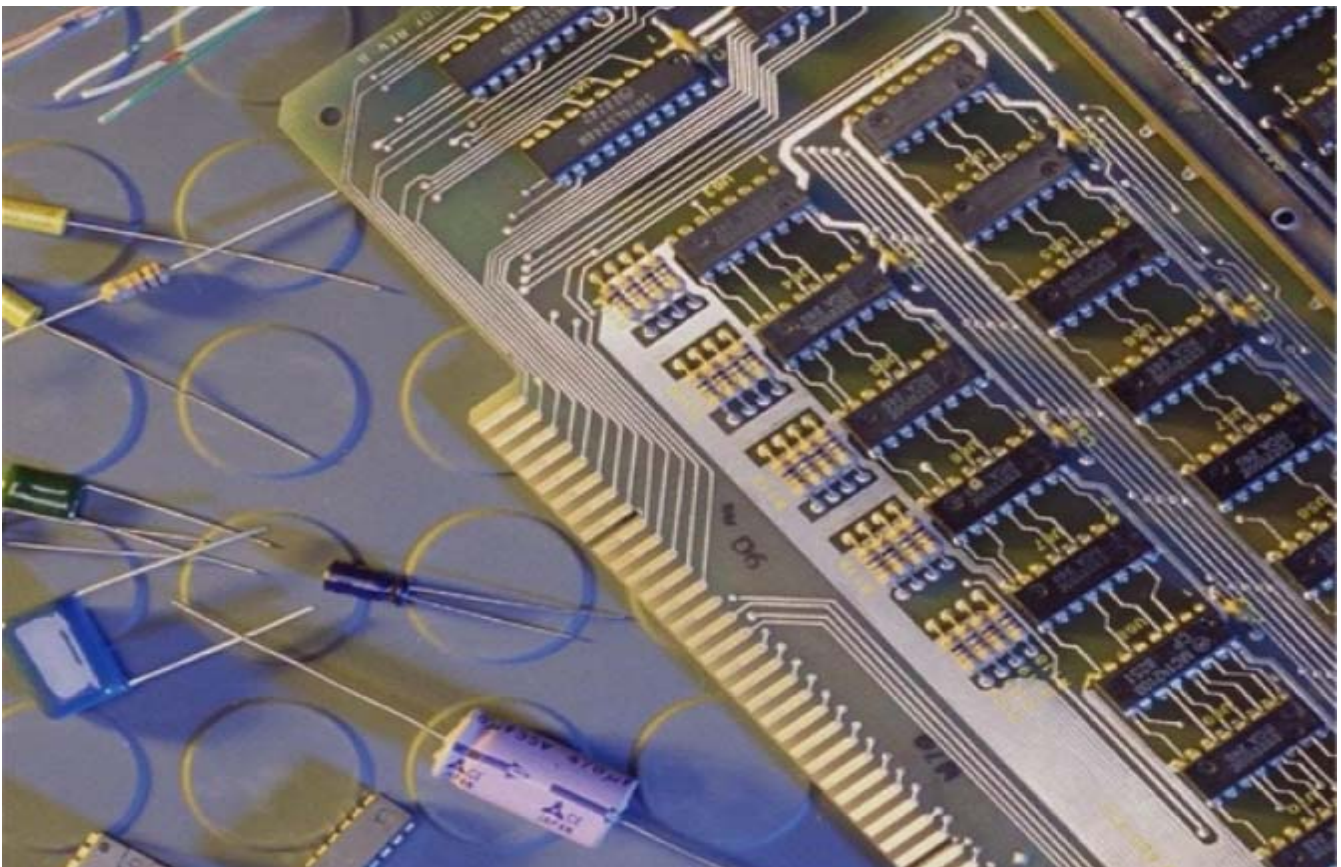


Manual de Contenido
del Participante

Electrónica básica I



TX-TIP-0002

ESPAÑOL

Propósito y Objetivos de este Manual

Este manual tiene como propósito transmitir los conocimientos básicos sobre la electrónica y que estos puedan ser trasladados a la práctica.

Los objetivos de este manual se orientan al cumplimiento de los siguientes puntos:



Incorporar el concepto de circuitos eléctricos y los teoremas de funcionamiento.



Comprender los conceptos de fuente de alimentación



Reconocer los distintos semiconductores, sus ecuaciones y curvas de funcionamiento



Identificar las diversas semiconductores, sus formas de chequeo de ecuaciones y curvas de los semiconductores.

Es importante comprender las consecuencias que el desconocimiento de los conceptos y principios explicados en este manual puede ocasionar en la seguridad y calidad del producto final.

Cómo Utilizar este Manual

Este manual le muestra los distintos acoplamientos y embriagues que existen y cuáles son los lineamientos para su Mantenimiento.

En el manual usted puede encontrar explicación de conceptos, reflexiones, actividades, que son de gran utilidad para aprender, trabajar con sus compañeros y adquirir una nueva mirada o cambios en su lugar de trabajo, fallas.



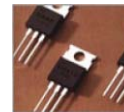
CAPÍTULO 1
Conceptos básicos

5



CAPÍTULO 2
Diodos

24



CAPÍTULO 3
Tiristores

39



CAPÍTULO 4
TRIAC y DIAC

57



CAPÍTULO 5
Rectificadores

66



CAPÍTULO 6
Filtrado

84

El manual contiene pequeñas figuras que se repiten en todos los capítulos y que son una forma de organización de la información para hacer más fácil y dinámica la lectura. Estas figuras se denominan íconos.

A continuación hay una descripción de la utilización de cada ícono, es decir en qué oportunidad aparecen:



GLOSARIO

Explica términos y siglas.



RECUERDE

Refuerza un concepto ya mencionado en el texto del manual.



ANEXO

Profundiza conceptos.



MANTENIMIENTO

Resalta procedimientos necesarios de mantenimiento.



PREGUNTAS

Presenta preguntas disparadoras.



ATENCIÓN

Destaca conceptos importantes.



EJEMPLO

Ilustra con situaciones reales los temas tratados.



ACTIVIDAD

Señala el comienzo de un ejercicio que le permitirá reforzar lo aprendido.



EXAMEN FINAL

Señala el comienzo de la evaluación final.



FIN DE CAPÍTULO

Señala la finalización del capítulo.



FIN DE MANUAL

Señala la finalización del manual.

Conceptos básicos

TEMAS DEL CAPÍTULO 1

1.1 Introducción	7
1.2 Fuentes de tensión y de corriente	9
1.3 Teorema de Thévenin	13
1.4 Teorema de Norton	15
1.5 Semiconductores	18

En este capítulo conoceremos los conceptos fundamentales de la electrónica.



ACTIVIDAD 1. Conceptos de electricidad

La siguiente actividad tiene como propósito el repaso de los conceptos más importantes sobre electricidad.



Completar en las siguientes definiciones el número que corresponda al concepto.

1. Tensión

() Giran en órbitas alrededor del núcleo debido al equilibrio de dos fuerzas: su fuerza propia que lo mantiene siempre en movimiento y la fuerza de atracción que ejerce el núcleo sobre él (las cargas opuestas se atraen).

2. Resistencia

() Es el flujo continuo de electrones a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial. Las cargas eléctricas circulan siempre en la misma dirección (es decir, los terminales de mayor y de menor potencial son siempre los mismos). Mantiene siempre la misma polaridad.

3. Válvula de esfera

() Establece que, en un circuito eléctrico, el valor de la corriente es directamente proporcional al voltaje aplicado e inversamente proporcional a la resistencia del circuito. Nos dice que a más voltaje, más corriente; a menos voltaje, menos corriente y a más resistencia, menos corriente; a menos resistencia, más corriente.

4. Circuito eléctrico

() Es la fuerza que obliga a los electrones a moverse. Hace que los electrones se muevan ordenadamente en una cierta dirección a través de las líneas conductoras (circuito).

5. Ley de Ohm

() Se produce cuando la caída de potencial entre todos los elementos es la misma. Esto ocurre cuando sus terminales están unidas entre sí.

6. Conexión paralelo

() Son aquellos que se encuentran en la órbita más lejana al núcleo. Pueden salirse de las órbitas, aplicándoles alguna fuerza externa

7. Conexión serie

() Es aquella en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente. Utilizada genéricamente, se refiere a la forma en la cual la electricidad llega a los hogares y a las empresas. Las señales de audio y radio transmitidas por los cables eléctricos, son también ejemplos de ella.

8. Voltímetro

() Es el flujo ordenado de electrones, al que se le aplica un voltaje para producir que pasen de un átomo al otro.

9. Corriente continua

() Oposición que ofrece todo material al flujo de corriente, puede ser grande o pequeña. Depende también de la longitud, del área de sección transversal, de la temperatura y del material del que está hecho el cable conductor.

10. Corriente alterna

() Serie de elementos o componentes eléctricos o electrónicos, tales como resistencias, inductancias, condensadores, fuentes, y/o dispositivos electrónicos semiconductores, conectados eléctricamente entre sí.


11. Electrones

() Es la que se produce cuando están todos los elementos en la misma rama y, por tanto, atravesados por la misma corriente. Si los elementos son resistencias, pueden sustituirse, independiente de su ubicación y número, por una sola resistencia suma de todas las componentes.

12. Electrones libres

() Es un instrumento que sirve para medir la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito eléctrico cerrado pero a la vez abierto en los polos.

Colocar en cada dato el número del concepto al que se refiere.

Su símbolo puede ser: 

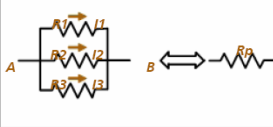
Su símbolo es la I y su unidad de medida es el Amper (A).

Su unidad de medición es el ohm (Ω)

En ella la tensión puede elevarse o disminuirse con facilidad y con pérdidas despreciables de potencia mediante el transformador.

Permite conocer el voltaje en un elemento del circuito conociendo su resistencia y la corriente que fluye a través de él relacionándolas de la siguiente manera: $R=V/I$

Su movimiento de un átomo a otro origina la corriente eléctrica.



Tienen carga negativa

Se expresa en volts (V)

Su propósito es generar, transportar o modificar señales electrónicas o eléctricas.

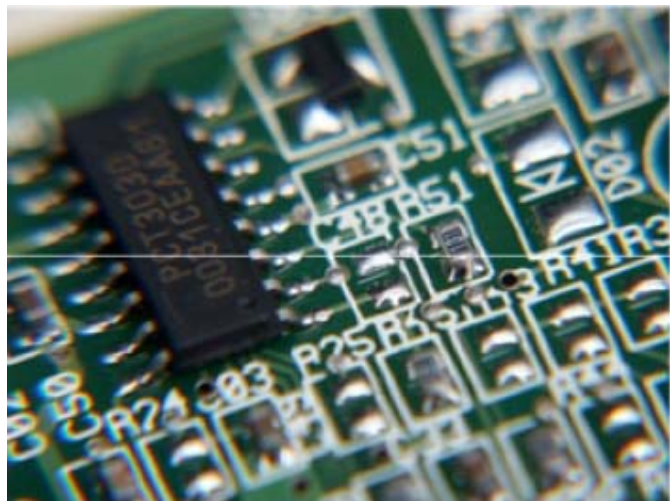
En este caso la resistencia total del circuito es igual a la suma de todas las resistencias

Su símbolo puede ser: 

1.1 Introducción

La Electrónica es el campo de la ingeniería y de la física aplicada al diseño y aplicación de dispositivos, por lo general circuitos electrónicos, cuyo funcionamiento depende del flujo de electrones para la generación, transmisión, recepción y almacenamiento de información.

La introducción de los tubos de vacío a comienzos del siglo XX propició el rápido crecimiento de la electrónica moderna. Con estos dispositivos se hizo posible la manipulación de señales, algo que no podía realizarse en los antiguos circuitos telegráficos y telefónicos, ni con los primeros transmisores que utilizaban chispas de alta tensión para generar ondas de radio. Por ejemplo, con los tubos de vacío pudieron amplificarse las señales de radio y de sonido débiles, y además podían superponerse señales de sonido a las ondas de radio.



El desarrollo de una amplia variedad de tubos, diseñados para funciones especializadas, permitió el rápido avance de la tecnología de comunicación radial antes de la II Guerra Mundial, y el desarrollo de las primeras computadoras, durante la guerra y poco después de ella.

Hoy en día, el transistor, inventado en 1948, ha reemplazado casi completamente al tubo de vacío en la mayoría de sus aplicaciones. Al incorporar un conjunto de materiales semiconductores y contactos eléctricos, el transistor permite las mismas funciones que el tubo de vacío, pero con un costo, peso y potencia más bajos, y una mayor fiabilidad. Los progresos subsiguientes en la tecnología de semiconductores, atribuible en parte a la intensidad de las investigaciones asociadas con la iniciativa de exploración del espacio, llevó al desarrollo, en la década de 1970, del circuito integrado.

PREGUNTAS



¿Sabías que estos dispositivos pueden contener centenares de miles de transistores en un pequeño trozo de material, permitiendo la construcción de circuitos electrónicos complejos, como los de los microordenadores o microcomputadoras, equipos de sonido y vídeo, y satélites de comunicaciones?

ACTIVIDAD 2. Dibujando símbolos

La siguiente actividad tiene como propósito el repaso de los símbolos utilizados en los planos de circuitos eléctricos.



Dibujar la simbolización correspondiente a cada concepto en base a la norma IEC.

Tiristor	
Resistencia	
Capacitor	
Inductor	
Transistor	
Diodo	
Tierra	
Transformador	
Fusible	
Contacto normal abierto	
Contacto normal cerrado	

1.2 Fuentes de tensión y de corriente

Los circuitos electrónicos deben poseer para su funcionamiento adecuado, al menos una fuente de energía eléctrica, que debe ser una fuente de tensión o de corriente.

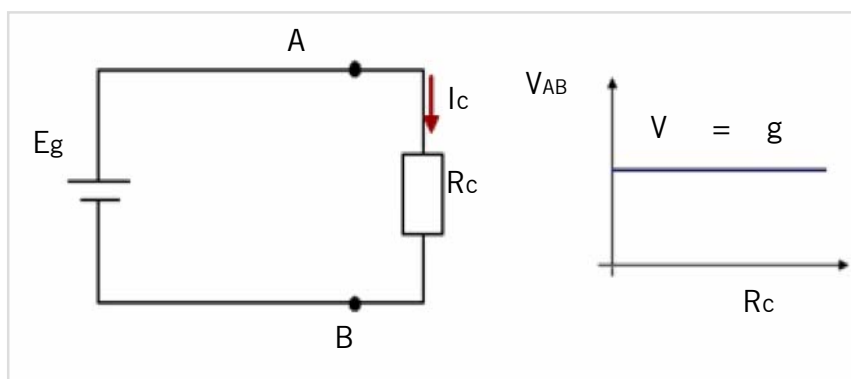
Fuente de tensión

Veamos como funcionan las fuentes de tensión.

Fuente de tensión ideal

Es una fuente que produce una tensión de salida constante, y posee una resistencia interna cero.

Toda la tensión va a la carga (R_c). No existe en la realidad.

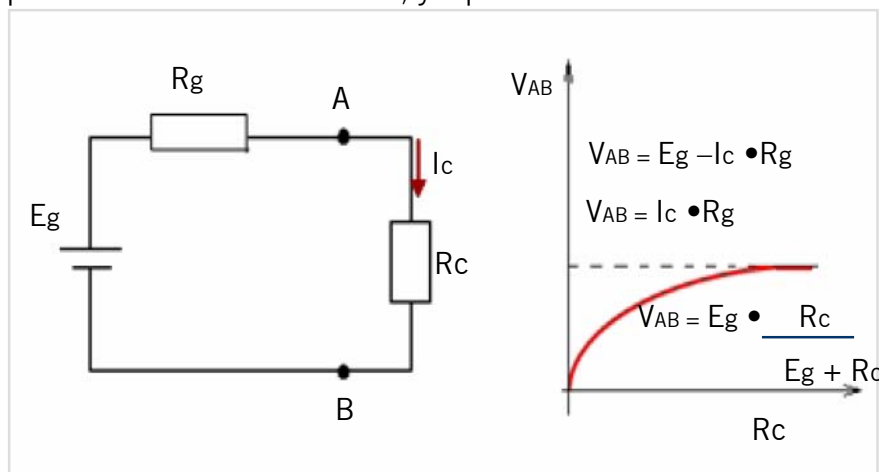


RECUERDE

E_g = fuente generadora
 R_c / R_L = resistencia de carga
 I_c = corriente de carga
 V = tensión

Fuente de tensión real

Son las fuentes de tensión que tenemos en la realidad. Ninguna fuente real de tensión puede producir una corriente infinita, ya que en toda fuente real tiene cierta resistencia



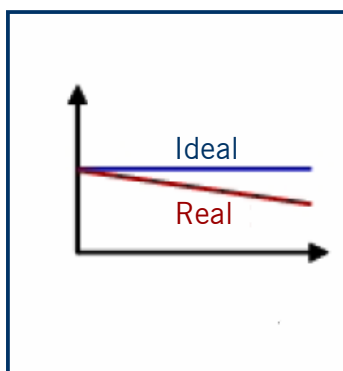
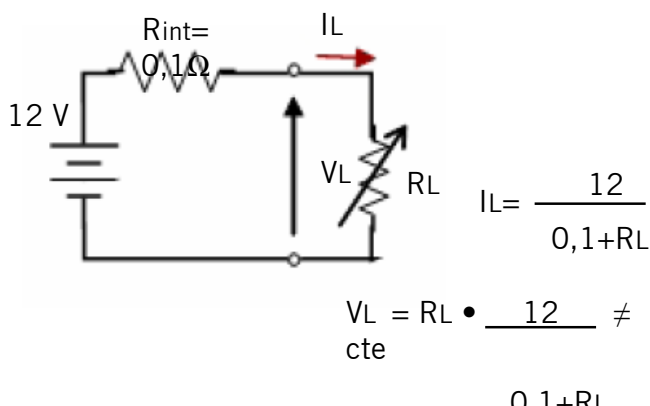
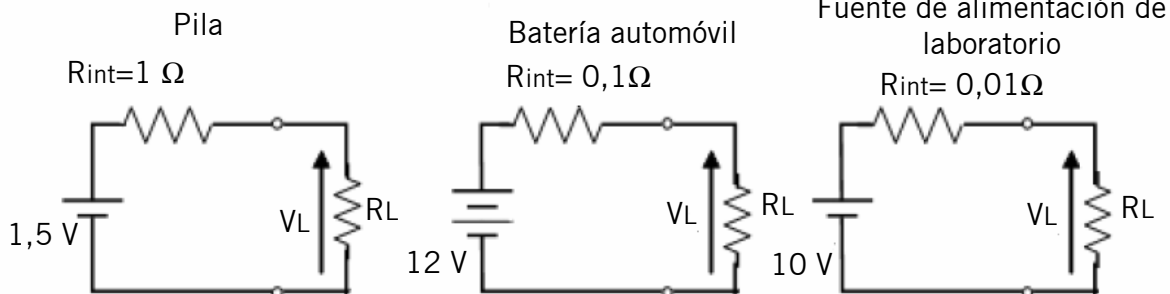
RECUERDE

R_g = resistencia del generador



EJEMPLO

Los siguientes son algunos tipos de fuentes de tensión:



Ahora la tensión en la carga no es horizontal, ya que no es ideal como en el caso anterior.

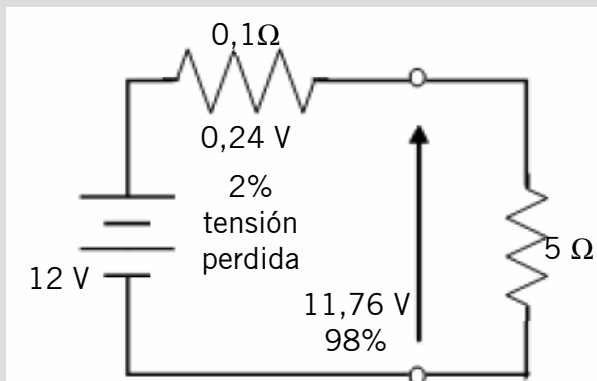
ACTIVIDAD 3. Ejercicio sobre fuentes de tensión.

La siguiente actividad tiene como propósito la reafirmación de lo aprendido sobre fuentes de tensión.



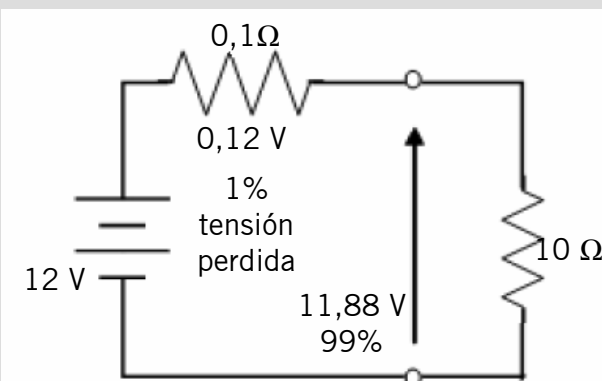
Calcular cuáles serán los valores del voltaje de carga en los siguientes casos. Recordar la siguiente formula: $I = V / R$

Si la resistencia de carga vale 5 Ω



$I_L = \underline{\hspace{2cm}}$ $V_L = \underline{\hspace{2cm}}$

Si la resistencia de carga vale 10 kΩ



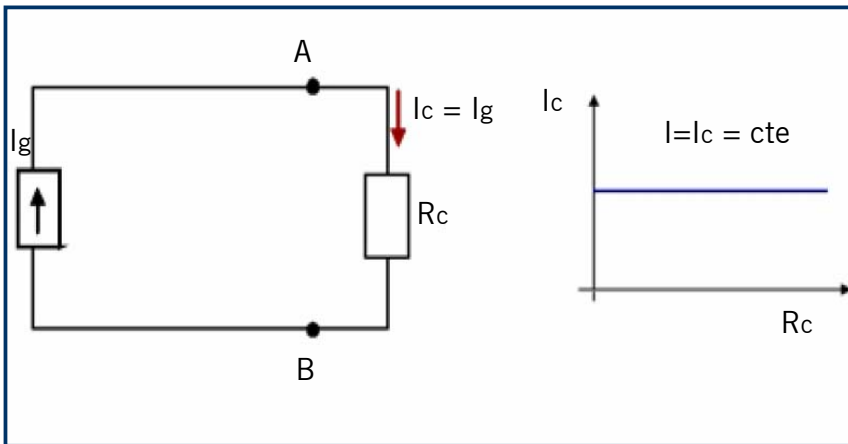
$I_L = \underline{\hspace{2cm}}$ $V_L = \underline{\hspace{2cm}}$

Fuente de corriente

En el caso anterior de la fuente de tensión había una resistencia interna muy pequeña. Pero una fuente de corriente es diferente, tiene una resistencia interna muy grande. Así, una fuente de corriente produce una corriente de salida que no depende del valor de la resistencia de carga.

Fuente de corriente ideal

Al igual que en el caso anterior, se trata de una fuente de corriente que no posee resistencia interna. Como ya sabemos, todo material tiene resistencia interna.

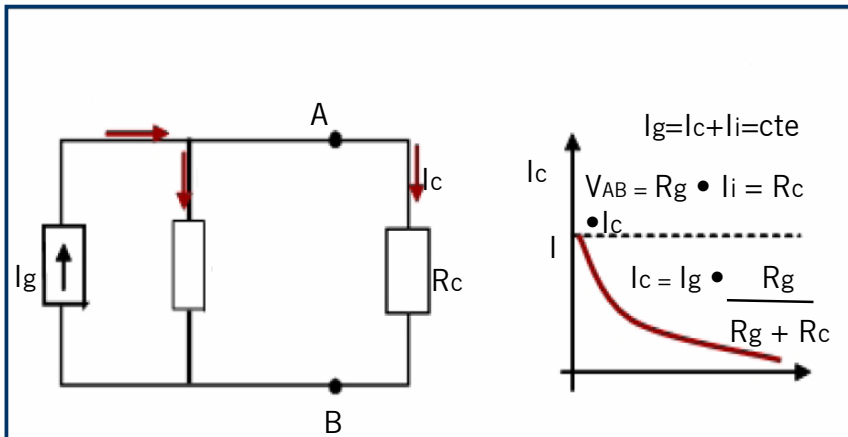


RECUERDE

I_g = corriente del generador

Fuente de corriente real

Estas son las que existen en la realidad, en las que cierta corriente queda en la resistencia del generador .

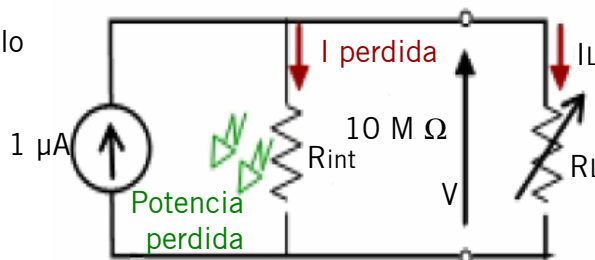


RECUERDE

I_i = corriente interna

EJEMPLO

Veamos un ejemplo de fuente de corriente.



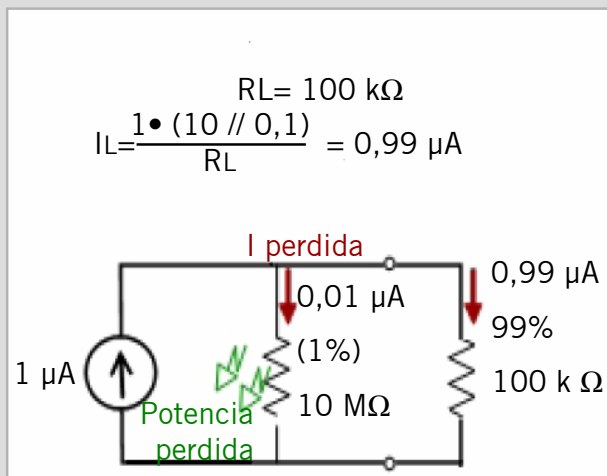
$$V_L = 1 \cdot (10 \parallel R_L)$$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{1 \cdot (10 \parallel R_L)}{R_L} \neq cte$$

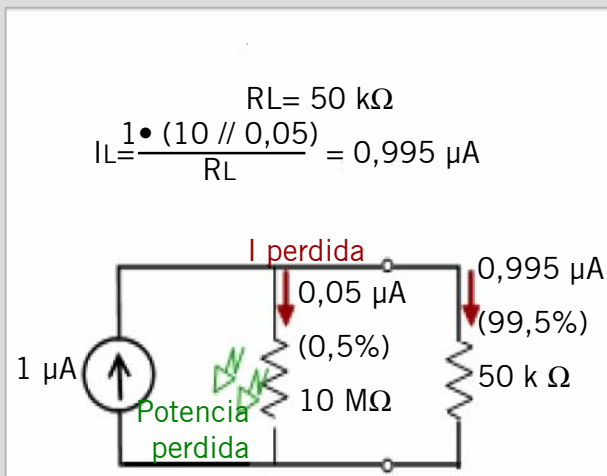
En carga $I_L < 1 \mu A$

Ahora veamos qué ocurre en los siguientes casos en los que otorgamos valores a la resistencia de carga:

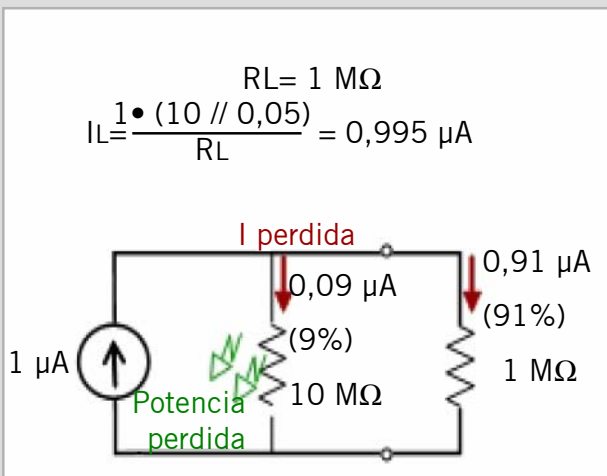
Si la resistencia de carga vale 100 kΩ



Si la resistencia de carga vale 50 kΩ



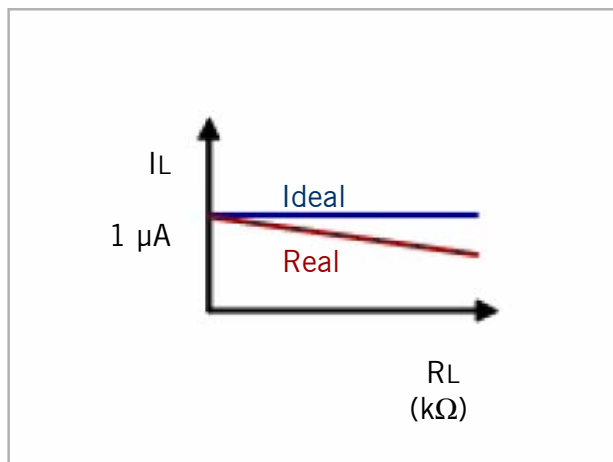
Si la resistencia de carga vale 1 MΩ



ATENCIÓN

Luego del análisis de estos ejemplos, podemos concluir que una fuente de corriente funciona mejor cuando su resistencia interna es muy alta, mientras que, una fuente de tensión funciona mejor cuando su resistencia interna es muy baja.

En este caso, la intensidad de carga tiene la siguiente forma:



En base a todo lo visto sobre fuentes de corriente, podemos destacar las siguientes conclusiones:



La fuente de corriente ideal es la que tiene una $R_{int} = \infty$ y produce en la salida una $I_L = cte.$



La fuente de corriente real es la que tiene una determinada R_{int} . En ésta hay pérdida de corriente. El resto de la corriente es la que va a la carga y la que se aprovecha.



La fuente de corriente constante es la que tiene una $R_{int} \geq 100 R_L$. La corriente que se pierde por la resistencia es como mucho el 1%, aproximada a la ideal, que es el 0%.



Si tenemos que comparar dos fuentes de corriente, la mejor será la que tenga una R_{int} más grande, es decir, la más parecida a la ideal (∞).

1.3

Teorema de Thévenin

Algunas veces es necesario realizar un análisis parcial de un circuito que está formado por una gran cantidad de fuentes y resistencias. Probablemente sólo se requiere encontrar la corriente, el voltaje y la potencia que el resto del circuito entrega a cierta resistencia de interés. El Teorema de Thévenin dice que es posible sustituir todo el circuito, excepto la resistencia de interés, por un circuito equivalente compuesto por una fuente de voltaje en serie con una resistencia. La respuesta medida en dicha resistencia de carga no resultará afectada.

Procedimiento para obtener los valores de la fuente y la resistencia de Thévenin

1

Se desconecta la red de interés del resto del circuito.

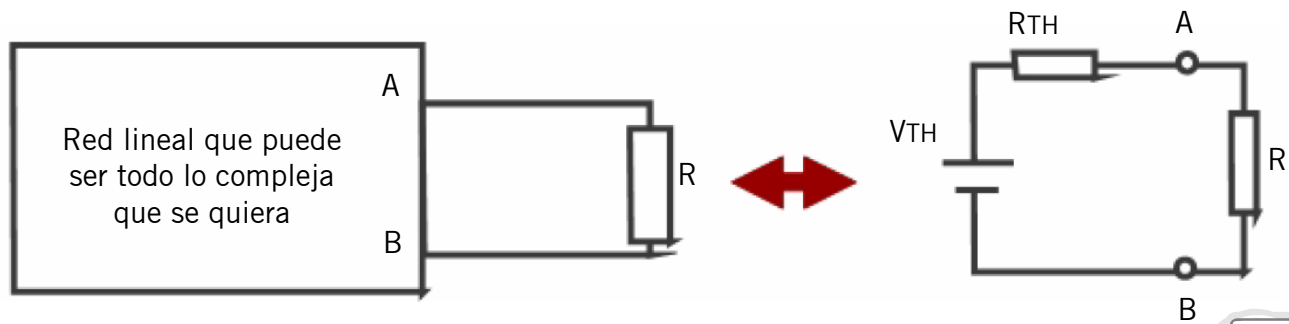
2

Para encontrar el valor del voltaje (tensión) de Thévenin se calcula el valor del voltaje de circuito, V_{AB} , en las terminales de interés.

3

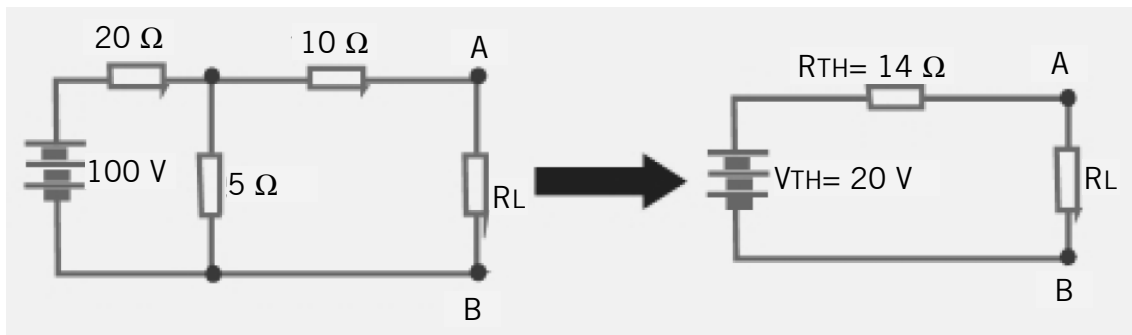
Para encontrar el valor de la resistencia de Thévenin se sustituyen todas las fuentes de voltaje por cortocircuitos y las fuentes de corriente por circuitos abiertos. Se calcula la resistencia equivalente entre las terminales de interés.

Veamos como se realiza:



EJEMPLO

Veamos, a través del siguiente ejemplo, cómo calcular el valor del voltaje de Thévenin y el de la resistencia de Thévenin.



Para hacerlo, en primer lugar, calculamos la tensión de Thévenin entre los terminales A y B de la carga; para ello, la desconectamos del circuito. Una vez hecho esto, podemos observar que la resistencia de $10\ \Omega$ está en circuito abierto y no circula corriente a través de ella, con lo que no produce ninguna caída de tensión. En estos momentos, el circuito que necesitamos estudiar para calcular la tensión de Thévenin está formado únicamente por la fuente de tensión de $100\ \text{V}$ en serie con dos resistencias de $20\ \Omega$ y $5\ \Omega$. Como la carga R_L está en paralelo con la resistencia de $5\ \Omega$ (recordar que no circula intensidad a través de la resistencia de $10\ \Omega$), la diferencia de potencial entre los terminales A y B es igual que la tensión que cae en la resistencia de $5\ \Omega$, con lo que la tensión de Thévenin resulta:

$$V_{TH} = \frac{5}{10+5} \cdot 100 = 20\ \text{V}$$

Para calcular la resistencia de Thévenin, desconectamos la carga del circuito y anulamos la fuente de tensión sustituyéndola por un cortocircuito. Si colocásemos una fuente de tensión (de cualquier valor) entre los terminales A y B, veríamos que las tres resistencias soportarían una intensidad. Por lo tanto, hallamos la equivalente a las tres: las resistencias de $20\ \Omega$ y $5\ \Omega$ están conectadas en paralelo y éstas están conectadas en serie con la resistencia de $10\ \Omega$, entonces:

$$V_{TH} = \frac{20 \cdot 5}{20+5} + 10 = 14\ \Omega$$

1.4 Theorema de Norton

El Teorema de Norton, al igual que el Teorema de Thévenin, es un método empleado para evaluar el efecto de una red sobre una resistencia de carga. Esta técnica es aplicable a redes eléctricas que poseen fuentes de corriente no variable. El teorema establece que:

ATENCIÓN



“Cualquier red lineal bilateral de corriente continua de dos terminales se puede reemplazar con un circuito equivalente que consiste en una fuente de corriente y un resistor en paralelo”

El análisis del teorema de Thévenin con respecto al circuito equivalente se puede aplicar también al circuito equivalente de Norton.

A continuación veremos cómo obtener los valores de I_N (corriente de Norton) y de R_N (Resistencia de Norton).

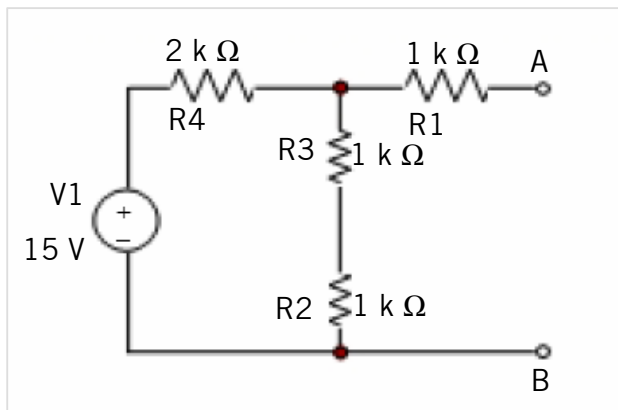
Procedimiento para obtener los valores de la corriente y la resistencia de Norton

- 1 Retirar la porción de la red en que se encuentra el circuito equivalente de Norton.
- 2 Marcar las terminales de la red restante de dos terminales.
- 3 Calcular R_N ajustando primero todas las fuentes a cero (las fuentes de tensión se reemplazan con circuitos en corto y las de corriente con circuitos abiertos) y luego determinando la resistencia resultante entre las dos terminales marcadas. (Si se incluye en la red original la resistencia interna de las fuentes de tensión y/o corriente, ésta deberá permanecer cuando las fuentes se ajusten a cero.)
- 4 Calcular I_N reemplazando primero las fuentes de tensión y de corriente, y encontrando la corriente a circuito en corto entre las terminales marcadas.
- 5 Trazar el circuito equivalente de Norton con la porción previamente retirada del circuito y reemplazada entre las terminales del circuito equivalente.



EJEMPLO

Veamos, a través de un ejemplo, cómo calcular la resistencia de Norton y la corriente de Norton:



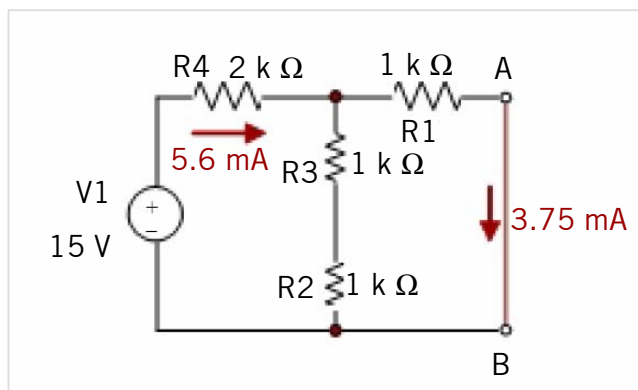
Paso 0: Circuito original

$$I_{total} = \frac{15 \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega \parallel (1 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega)} = 5,625 \text{ mA}$$

Usando la regla del divisor, la intensidad tiene que ser:

$$I_N = \frac{1 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega}{(1 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega)} \cdot I_{total} = \frac{2}{3} \cdot 5,625 \text{ mA} = 3,75 \text{ mA}$$

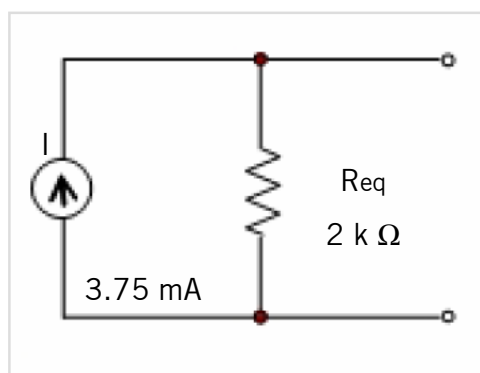
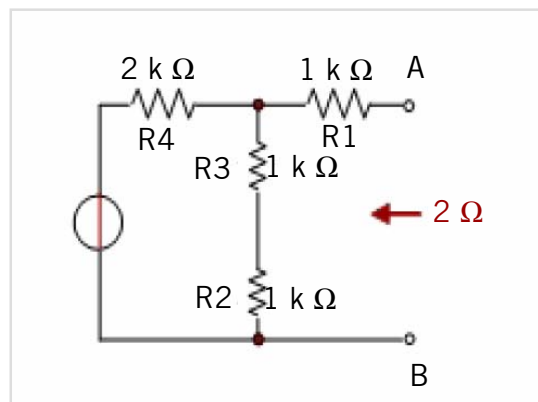
Paso 1: Calculando la intensidad de salida equivalente al circuito actual y la resistencia Norton equivalente sería:



$$R_N = 1 \text{ k}\Omega + 2 \text{ k}\Omega \parallel (1 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega) = 2 \text{ k}\Omega$$

Por lo tanto, el circuito equivalente consiste en una fuente de intensidad de 3.75mA en paralelo con una resistencia de 2 kΩ.

Paso 2: Calculando la resistencia equivalente al circuito actual



Paso 3: El circuito equivalente

ACTIVIDAD 4. Teorema de Norton - Teorema de Thévenin

La siguiente actividad tiene como propósito el repaso de los teoremas de Thévenin y de Norton.



En grupos, sintetizar los pasos para aplicar ambos teoremas.

Teorema de Thévenin		Teorema de Norton	
1		1	
2		2	
3		3	
4		4	
5		5	

1.5 Semiconductores

Antes de comenzar a describir el funcionamiento de los dispositivos electrónicos, se necesita conocer una serie de conceptos básicos sobre conductores eléctricos.

Aislante	Es un elemento que prácticamente no conduce la corriente eléctrica. No existe un aislante ideal, es decir que no conduzca absolutamente nada de corriente.	Valencia 8 electrones
Conductor ideal	Es un elemento que no ofrece resistencia alguna al paso de la corriente. En realidad no existe, ya que todo elemento ofrece resistencia.	Valencia 1 electrón
Semiconductor	Es un material (sólido o líquido) capaz de conducir la electricidad mejor que un aislante, pero no mejor que un conductor.	Valencia 4 electrones

GLOSARIO

Electrones de valencia:

Son los electrones que se encuentran en el último nivel de energía del átomo, en la última órbita; siendo los responsables de la interacción entre átomos de distintas especies o entre los átomos de una misma

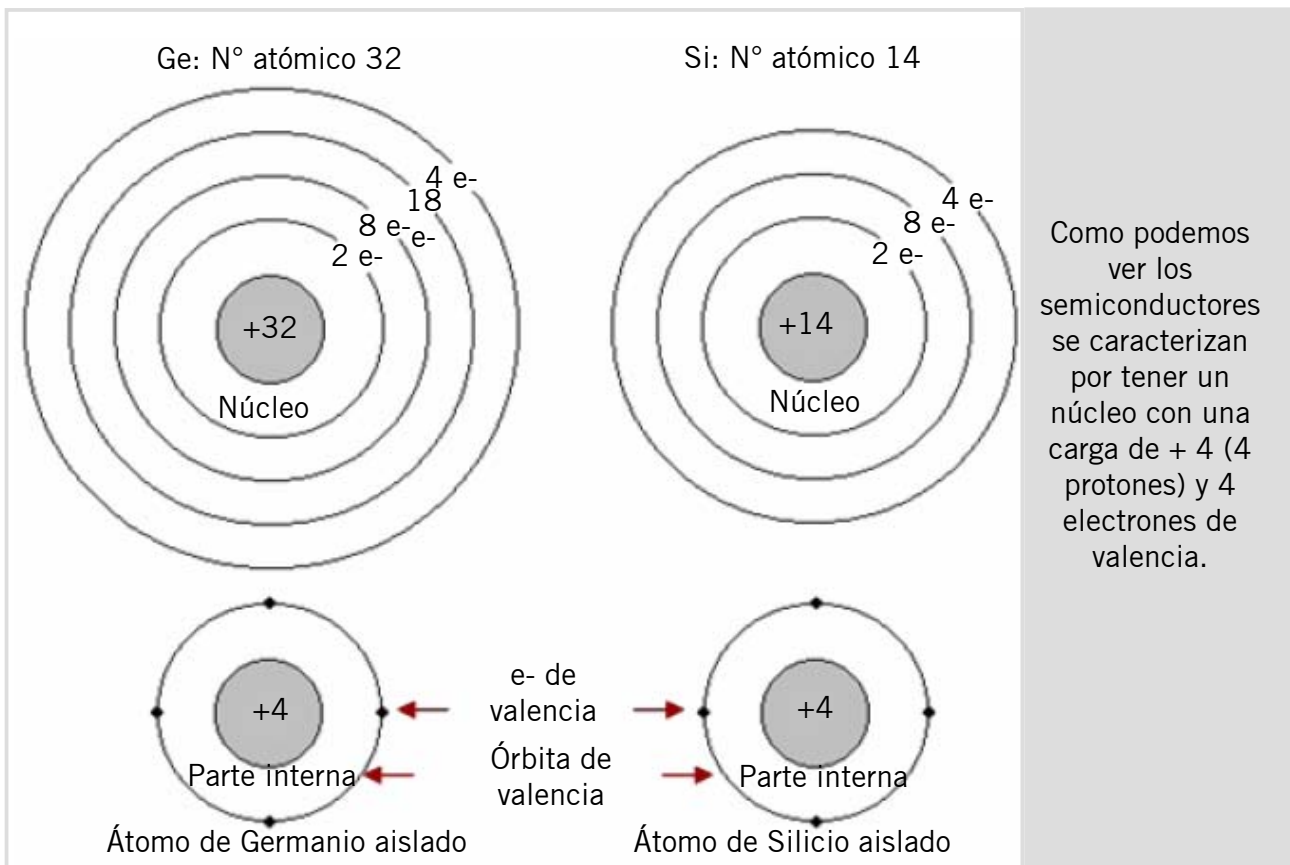
GLOSARIO

Conductividad eléctrica:

Es la capacidad de conducir la corriente eléctrica cuando se aplica una diferencia de potencial.

La conductividad eléctrica es una de las propiedades físicas más importantes. Ciertos metales, como el cobre, la plata y el aluminio, son excelentes conductores. Por otro lado, ciertos aislantes, como el diamante o el vidrio, son muy malos conductores. A temperaturas muy bajas, los semiconductores puros se comportan como aislantes. Sometidos a altas temperaturas, mezclados con impurezas o en presencia de luz, la conductividad de los semiconductores puede aumentar de forma extraordinaria y llegar a alcanzar niveles cercanos a los de los conductores.

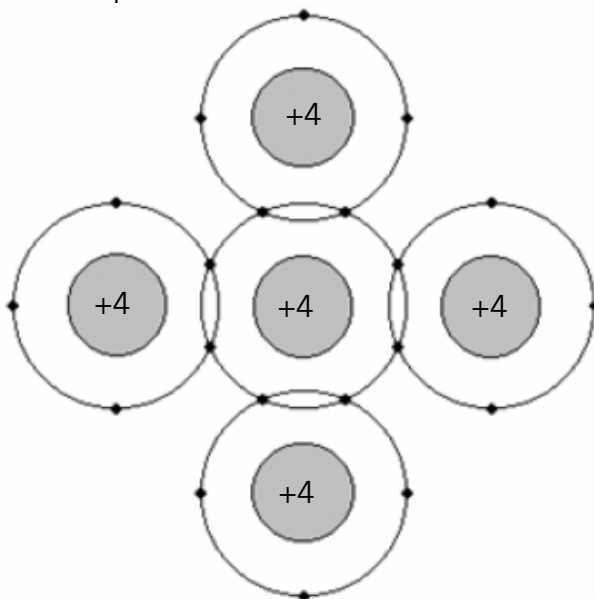
A continuación veremos dos semiconductores, el Silicio (Si) y el Germanio (Ge):



Cristales de Silicio

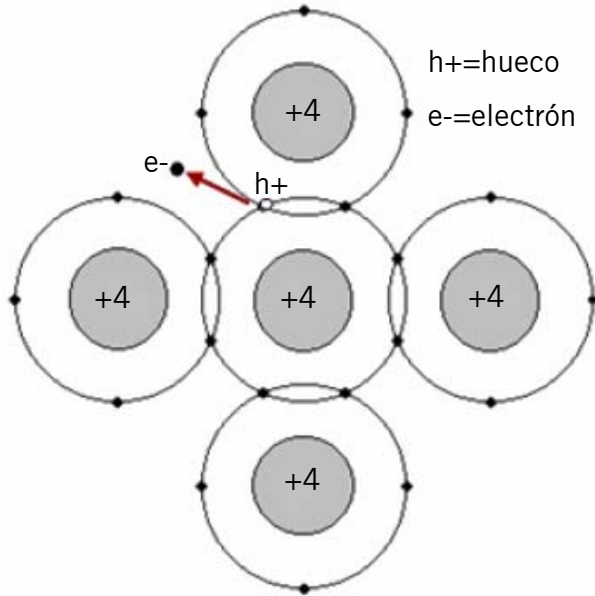
Al combinarse los átomos de Silicio para formar un sólido, lo hacen formando una estructura ordenada llamada cristal. Esto se debe a los "Enlaces Covalentes", que son las uniones entre átomos que se hacen compartiendo electrones adyacentes de tal forma que se crea un equilibrio de fuerzas que mantiene unidos los átomos de Silicio.

Veamos la representación de un cristal de silicio:



Cada átomo de silicio comparte sus 4 electrones de valencia con los átomos vecinos, de tal manera que tiene 8 electrones en la órbita de valencia, como se ve en la figura.

La fuerza del enlace covalente es tan grande porque son 8 los electrones que quedan (aunque sean compartidos) con cada átomo. Gracias a esta característica los enlaces covalentes son de una gran solidez.



Los 8 electrones de valencia se llaman electrones ligados por estar fuertemente unidos en los átomos.

El aumento de la temperatura hace que los átomos en un cristal de silicio vibren dentro de él.

A mayor temperatura, mayor será la vibración. Con ello, un electrón se puede liberar de su órbita, lo que deja un hueco, que a su vez atraerá otro electrón.

Semiconductores extrínsecos

Si a un semiconductor intrínseco, como el anterior, se le añade un pequeño porcentaje de impurezas, es decir, elementos trivalentes o pentavalentes, el semiconductor se denomina extrínseco, y se dice que está dopado. Evidentemente, las impurezas deberán formar parte de la estructura cristalina sustituyendo al correspondiente átomo de silicio. Los materiales semiconductores están compuestos por dos tipos de impurezas:

- Cristal o elemento P (positivo)
- Cristal o elemento N (negativo)

Cristal o elemento P (positivo)

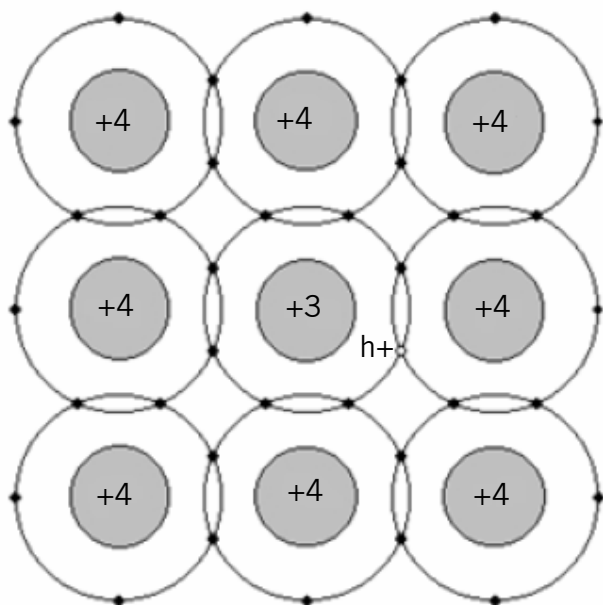
Es un material semiconductor combinado con impurezas positivas. Su composición se forma con los elementos semiconductores Germanio o Silicio y con elementos de impurezas como lo son el Aluminio, Galio o Indio.

GLOSARIO

Impurezas:

Suelen ser elementos pertenecientes a los grupos tercero y quinto de la tabla periódica y se mezclan con el germanio o el silicio en estado de fusión para que algunos átomos de estos sean sustituidos por átomos de impureza durante el proceso de cristalización.

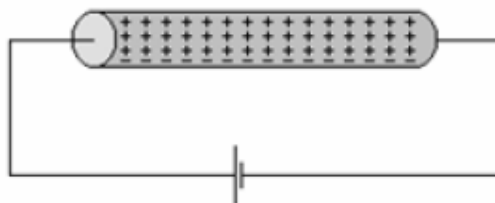
Entre las impurezas de valencia 3, tenemos el Aluminio, Boro y Galio. Veamos un cristal de Silicio dopado con átomos de valencia 3.



Los átomos de valencia 3 tienen un electrón de menos, por consiguiente, al faltar un electrón, tenemos un hueco. Este átomo trivalente tiene 7 electrones en la órbita de valencia. Al átomo de valencia 3 se lo llama "átomo trivalente" o "aceptor". A este tipo de impurezas se les llama "Impurezas aceptoras".

Como el número de huecos supera el número de electrones libres, los huecos son los portadores mayoritarios y los electrones libres son los minoritarios.

Al aplicarse una tensión, los electrones libres se mueven hacia la izquierda y los huecos lo hacen hacia la derecha. En la figura, los huecos que llegan al extremo derecho del cristal se recombinan con los electrones libres del circuito externo.



En el circuito hay también un flujo de portadores minoritarios. Los electrones libres dentro del semiconductor circulan de derecha a izquierda. Como hay muy pocos portadores minoritarios, su efecto es casi despreciable en este circuito.

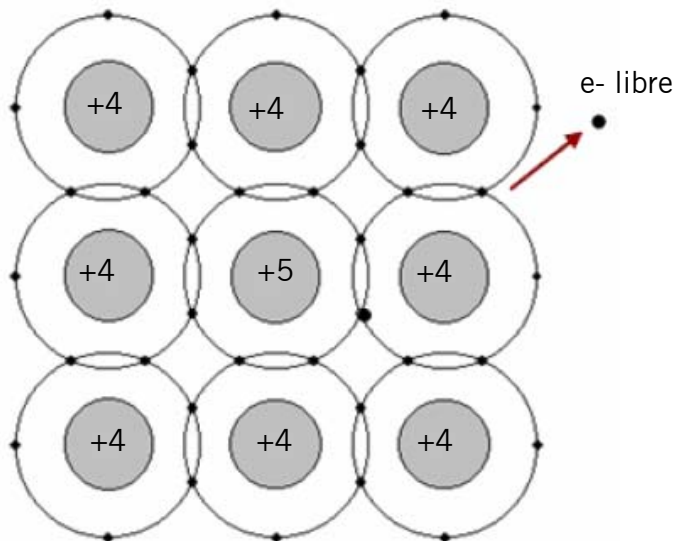
Cristal o elemento N (negativo)

Es un material semiconductor combinado con impurezas negativas. Su composición se forma con los elementos semiconductores Germanio o Silicio y con elementos de impurezas como lo son el Arsénico, Antimonio o Fósforo.

Existen impurezas de valencia 5 como el Arsénico, el Antimonio y el Fósforo.

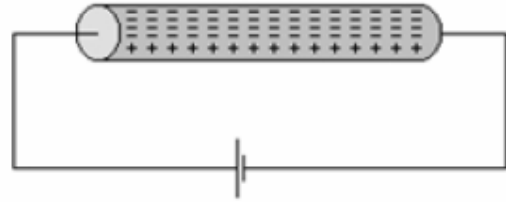
Los átomos de valencia 5 tienen un electrón de más. Por consiguiente, con una temperatura no muy elevada (temperatura ambiente por ejemplo), el quinto electrón se hace electrón libre. Esto es, como solo se pueden tener 8 electrones en la órbita de valencia, el átomo pentavalente suelta un electrón que será libre.

Así, siguen dándose las reacciones anteriores. Si introducimos 1000 átomos de impurezas tendremos 1000 electrones más los que se hagan libres por generación térmica (muy pocos). A estas impurezas se les llama "Impurezas Donadoras".



Como los electrones superan a los huecos en un semiconductor tipo n, reciben el nombre de "portadores mayoritarios", mientras que a los huecos se les denomina "portadores minoritarios".

Al aplicar una tensión al semiconductor de la figura, los electrones libres dentro del semiconductor se mueven hacia la izquierda y los huecos lo hacen hacia la derecha. Cuando un hueco llega al extremo derecho del cristal, uno de los electrones del circuito externo entra al semiconductor y se recombina con el hueco.



Los electrones libres de la figura circulan hacia el extremo izquierdo del cristal, donde entran al conductor y fluyen hacia el positivo de la batería.

ACTIVIDAD 5. Combinación de átomos.

La siguiente actividad tiene como propósito la profundización de los contenidos desarrollados acerca de Semiconductores.



En base a lo visto sobre semiconductores, completar las siguientes consignas.

1. Graficar la fusión entre el Silicio y el Galio.

1.1 ¿Qué tipo de elemento se obtiene en este caso?

2. Graficar la fusión entre el Germanio y el Antimonio.

2.1 ¿Qué tipo de elemento se obtiene en este caso?

2.2 ¿Qué dificultad surge aquí?

2.3 ¿Cómo podríamos resolverla?

ACTIVIDAD 6. Articulación de conceptos

La siguiente actividad tiene como propósito la integración de los temas abordados durante la primera unidad.



En base a los conceptos dados, elaborar grupalmente, párrafos que los integren.

Conceptos a utilizar: Fuente de tensión - Fuente de corriente - Resistencia interna - Resistencia de carga.

Conceptos a utilizar: Teorema de Thévenin - V_{th} - R_{th} - Sustitución - Teorema de Norton - I_N - R_N .

Conceptos a utilizar: Semiconductores - Silicio - Germanio - Semiconductores extrínsecos - Cristal o elemento positivo (P) - Cristal o elemento negativo (N).

¡Felicitaciones

Usted ha finalizado el capítulo 1.
A continuación se desarrollará el capítulo Diodos.

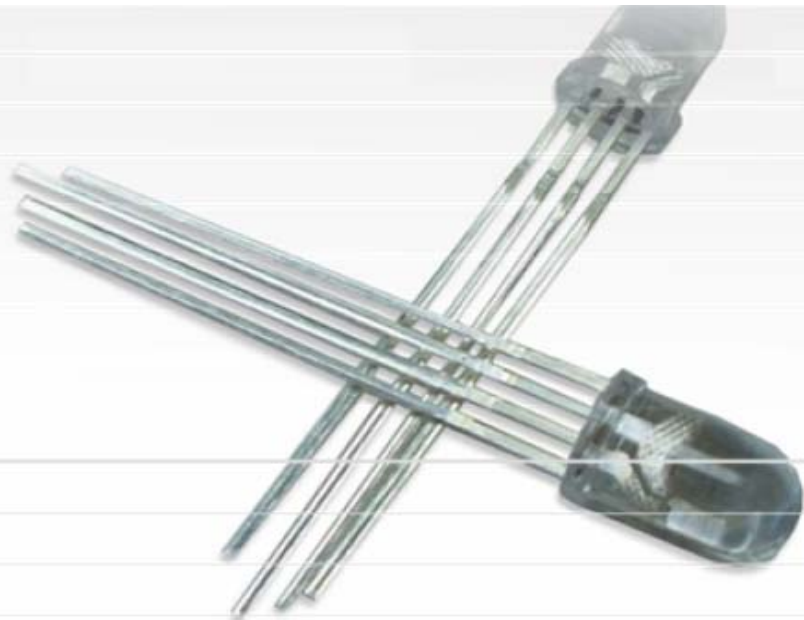


Diodos

TEMAS DEL CAPÍTULO 2

2.1 Características y operaciones del diodo	25
2.2 Comportamiento del diodo	29
2.3 Polarización directa	32
2.4 Polarización inversa	33
2.5 Ecuación del diodo	34
2.6 Efectos de la temperatura sobre las características del diodo	35
2.7 Características técnicas	37
2.8 Diodos especiales	38

En este capítulo conoceremos y analizaremos los diferentes tipos de diodos y su funcionamiento.



2.1 Características y operaciones del diodo

Durante este capítulo desarrollaremos las características y operaciones de un tipo de semiconductor, los diodos.

Para comenzar, realizaremos la siguiente actividad para recordar los conocimientos que ya tenemos sobre los diodos.

ACTIVIDAD 7. Introducción a los diodos

La siguiente actividad tiene como propósito conocer las ideas previas acerca de diodos, para poder integrarlas a los nuevos contenidos.



En base a lo que ya conoce sobre diodos, responder las siguientes preguntas:

¿Qué es un diodo?

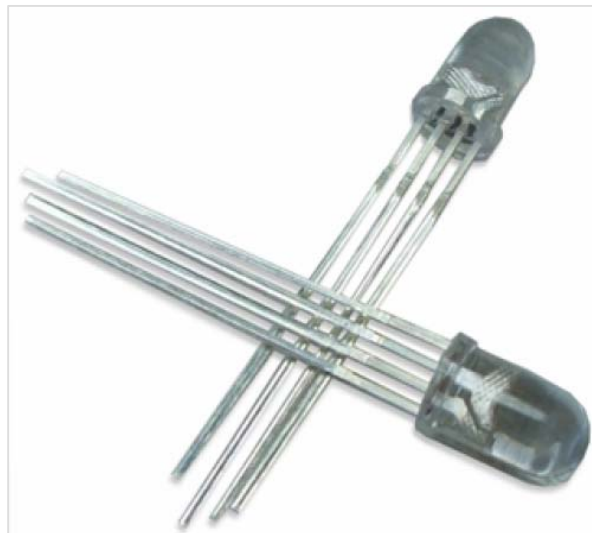
¿Para qué cree que sirve?

¿En dónde podemos encontrar diodos?

El diodo es el dispositivo semiconductor que conduce energía en una sola dirección actuando como un interruptor.

Si se polariza directamente, conduce la energía eléctrica y, si se polariza inversamente, actuará como un aislante.

La polarización directa en la electrónica se debe al suministro de energía eléctrica positiva por el lado en el que hay material P (+) y, la polarización indirecta, es cuando la energía con carga negativa pasa por el cristal P (+), originando que el elemento electrónico se comporte como un aislante.



GLOSARIO

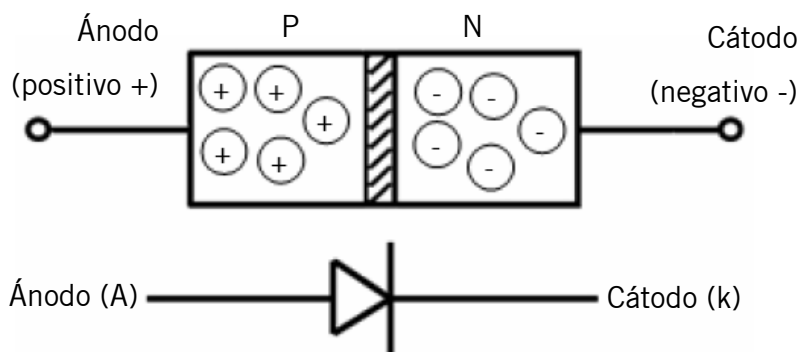
Ánodo:

Polo positivo de un generador de electricidad por el que entra corriente.

GLOSARIO

Cátodo:

Polo positivo de un generador de electricidad o de una batería eléctrica..



Composición interna y símbolo electrónico del diodo

El material base en la construcción del diodo es el Cristal de Silicio. Este es el semiconductor más utilizado, pero el Germanio y otros materiales semiconductores operan bajo los mismos principios generales.

Cuando el silicio está en forma líquida (fundido), se mezclan ciertas impurezas intencionalmente. Este proceso de contaminación es llamado dopaje (doping). Si se mezcla, por ejemplo, el elemento fósforo con el silicio, se obtendrá un material tipo-N que conduce electricidad por medio de electrones libres.



Si se utiliza, en cambio, el elemento boro, se obtiene material tipo-P y este, a diferencia del material tipo-N, conduce electricidad solo por medio de hueco.

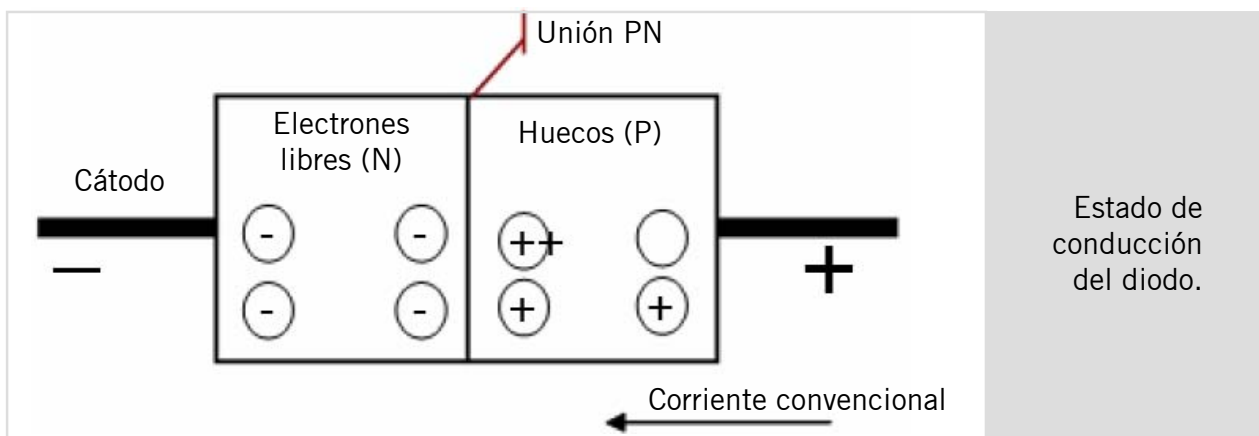
RECUERDE

Un hueco es la situación que aparece cuando un átomo, en vez de agregar un electrón libre al momento de ser dopado, genera la deficiencia de un electrón en la estructura.

Este semiconductor, junto con el Germanio, dopados con impurezas, se comportan como conductores bajo ciertas condiciones, pero bajo otras se comportan como aislantes.

La siguiente figura muestra cómo está construido un diodo. En ella se observa que está compuesto por un cuerpo de cristal de silicio dopado, el cual fue procesado para ser de material tipo-P en un lado y material tipo-N en el otro. En los extremos se conectan los alambres que son las terminales de conexión del diodo. En esta figura se han colocado cuatro electrones libres en el material tipo-N y cuatro huecos en el material tipo-P.

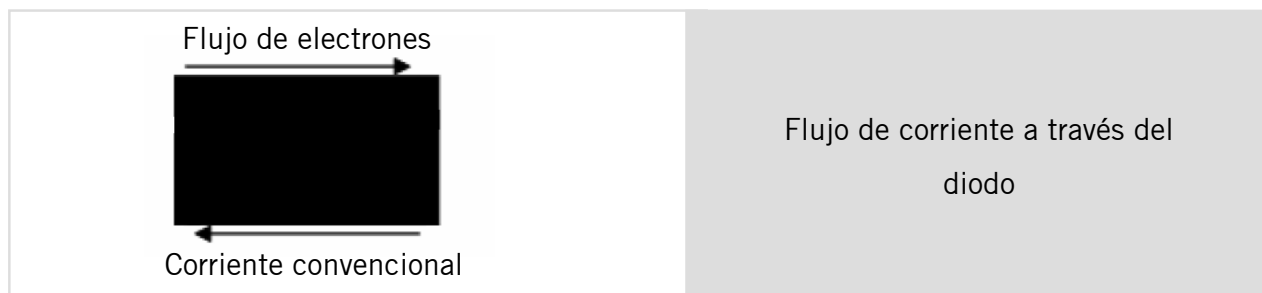
La línea divisoria entre los dos tipos de materiales se conoce como unión PN.



Operación del diodo

El diodo es, básicamente, un dispositivo interruptor o de switcheo que permite o evita totalmente el flujo de corriente eléctrica.

La siguiente figura muestra el símbolo esquemático del diodo, donde se observa que la corriente (en su sentido convencional, es decir de positivo a negativo) fluye libremente en la dirección de la flecha del mismo y los electrones, por lo tanto, fluyen en sentido opuesto, es decir, de cátodo a ánodo (negativo a positivo).



En las descripciones físicas de dispositivos, generalmente, se utiliza el flujo de electrones, en tanto que en las descripciones de circuitos, generalmente, se utiliza el sentido convencional de la corriente eléctrica.

En términos de la corriente convencional, se puede resumir el comportamiento del diodo en los siguientes puntos:



El flujo de corriente convencional es posible sólo en la dirección de la flecha del símbolo del diodo.



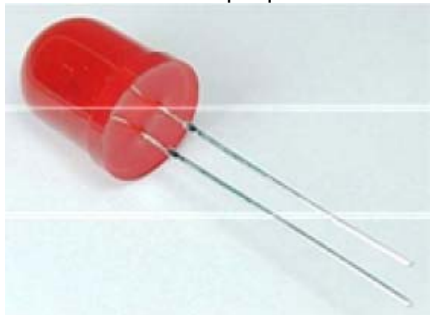
El diodo bloquea el flujo de corriente en sentido opuesto al sentido de la flecha de su símbolo. La corriente en sentido opuesto (reversa) es tan pequeña que puede ser considerada despreciable.



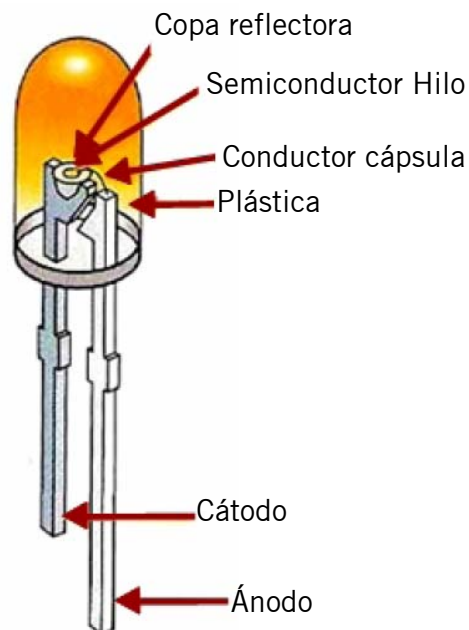
Cuando la corriente convencional fluye en el sentido de la flecha del diodo (hacia delante), el voltaje en el cátodo es el mismo (en sentido estricto es ligeramente menos positivo) que el voltaje en el ánodo.

Características externas

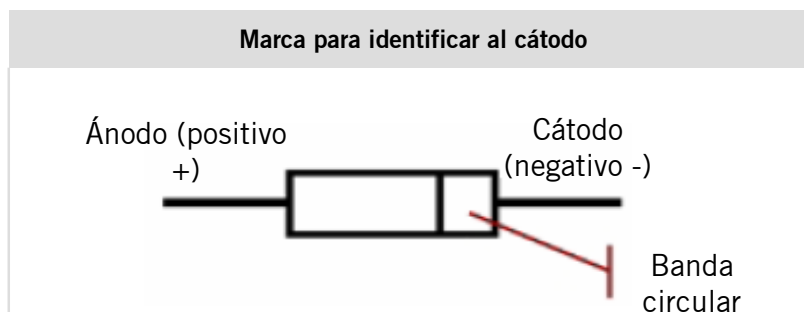
Un diodo es un dispositivo con dos terminales o alambres y la única característica externa significativa del diodo es su pequeño tamaño.



A los diodos grandes, generalmente, se los conoce con el término de rectificador. Tienen un tamaño grande debido a que, al operar con altos niveles de potencia, requieren mayor capacidad de disipación de calor.



En baja potencia, los diodos tienen una forma cilíndrica y para facilitar la identificación de sus terminales se marca una banda alrededor del cuerpo del diodo, cercana a la terminal del cátodo, como se muestra a continuación:



2.2 Comportamiento del diodo

El comportamiento del diodo está definido por la relación entre el voltaje (V) en sus terminales y la corriente (I) a través de él.

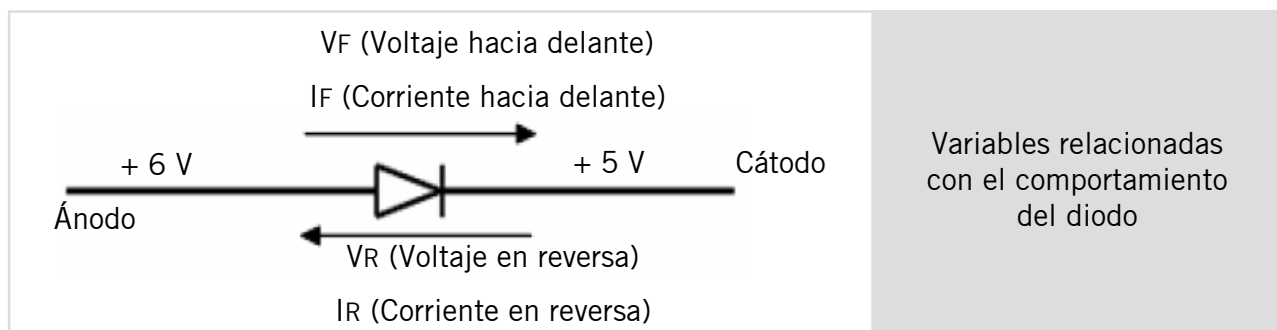
Voltaje hacia delante
 V_F (Polarización
directa)

Es la cantidad de voltaje del ánodo que excede al del cátodo.

Corriente hacia
delante I_F

Es la magnitud de la corriente a un cierto voltaje hacia delante o en polarización directa.

En la figura que se ve a continuación podemos observar que el voltaje hacia adelante es de 1 V, pues el voltaje en el ánodo (+6) excede al voltaje del cátodo (+5) en 1 V.



El diodo no es un dispositivo perfecto. Así, no hay un bloqueo total de corriente en reversa. Cuando se aplica un voltaje en reversa (V_R), se establece un pequeño flujo de corriente en reversa (I_R).

Voltaje en reversa V_R
(Reverse Voltage)

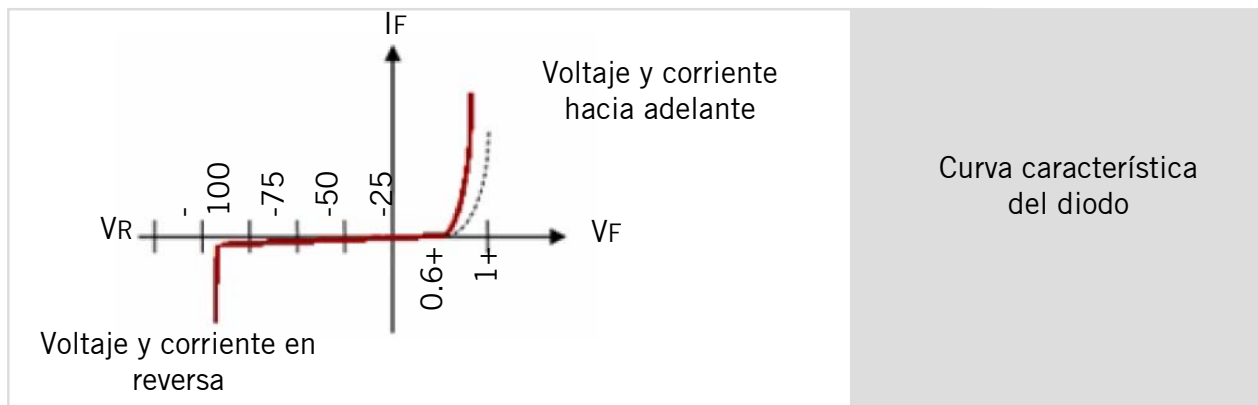
Es la magnitud de voltaje del cátodo que excede al del ánodo y corriente en reversa.

Corriente en reversa
 I_R (Reverse Current)

Es la magnitud de la corriente a un cierto voltaje en reversa.

Gráfica de comportamiento

La gráfica mostrada en la siguiente figura presenta el comportamiento de la relación voltaje corriente en un diodo.



- El eje vertical está etiquetado hacia arriba como I_F (corriente hacia adelante, en polarización directa o forward current), en tanto que hacia abajo se etiqueta como I_R (corriente en reversa, en polarización inversa o reverse current).
- En el eje horizontal se tiene, hacia la derecha el voltaje V_F (voltaje hacia adelante o forward voltage), en tanto que hacia la izquierda se etiqueta como V_R (voltaje en reversa, en polarización inversa o reverse voltage).

Los ejes de la gráfica dividen el área en cuatro cuadrantes:

- El cuadrante superior derecho o primer cuadrante muestra el comportamiento del diodo hacia adelante. Se puede apreciar que a cero voltaje hay cero corriente y, que al incrementar el voltaje hacia adelante, se incrementa la corriente, primero gradualmente y después rápidamente.

En este cuadrante se puede observar un quiebre o curva conocida como rodilla en la proximidad de un cierto voltaje (0.6 V para diodos de Silicio); y es en ese voltaje donde la corriente empieza a incrementarse rápidamente y la curva se torna más vertical. Este punto, también conocido como voltaje de rodilla (knee voltage ó V_K) puede ser considerado un punto de transición donde el diodo realmente empieza a conducir (en diodos de Germanio este punto es cercano a 0.3 V). De este punto en adelante, un pequeño incremento de voltaje causa un gran incremento de corriente.

La curva que asciende termina abruptamente en el límite donde el diodo se quema debido a la disipación de calor.

- El cuadrante de la sección inferior izquierda o tercer cuadrante muestra la curva de comportamiento del diodo en condiciones de voltaje en reversa o en polarización inversa. Ahí se presenta el comportamiento de la corriente en reversa cuando se incrementa el voltaje en reversa.

El diodo no es perfecto y no es capaz de bloquear toda la corriente en reversa: existe una pequeña corriente denominada corriente de fuga, la cual se incrementa cuando se incrementa el voltaje en reversa.

En la condición de voltaje en reversa, si se sigue aumentando el voltaje se alcanza un punto donde la capacidad de bloqueo del diodo se deteriora. En este punto, conocido como *voltaje de ruptura en polarización inversa* o *VBR* (reverse breakdown voltage), el diodo no puede mantener la pequeña corriente en reversa, la corriente se incrementa rápidamente y el diodo se quema. Esto ocurre rápidamente debido a que a este voltaje relativamente alto, aún con poca corriente, genera una alta disipación de potencia que destruye al diodo por excesivo calor.

ACTIVIDAD 8. ¿Verdadero o falso?

La siguiente actividad tiene como propósito reafirmar los conceptos vistos sobre diodos hasta el momento.



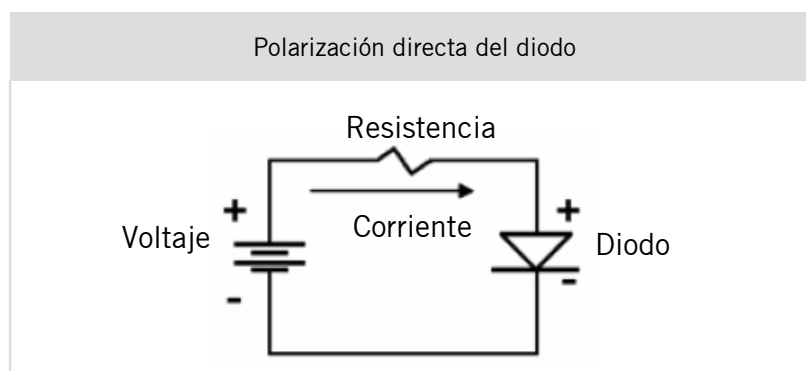
Indicar con una cruz si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

	V	F
El voltaje en reversa es la magnitud de voltaje del cátodo que excede al del ánodo y corriente en reversa.		
El material tipo P conduce electricidad solo por medio de electrones libres.		
La rodilla en la proximidad de voltaje es el quiebre en que la corriente comienza a incrementarse rápidamente.		
En el voltaje de ruptura en polarización inversa la capacidad de bloqueo del diodo permanece conservada.		
El material tipo N conduce la electricidad por medio de huecos.		
La corriente en reversa es la magnitud de la corriente a un cierto voltaje en reversa.		

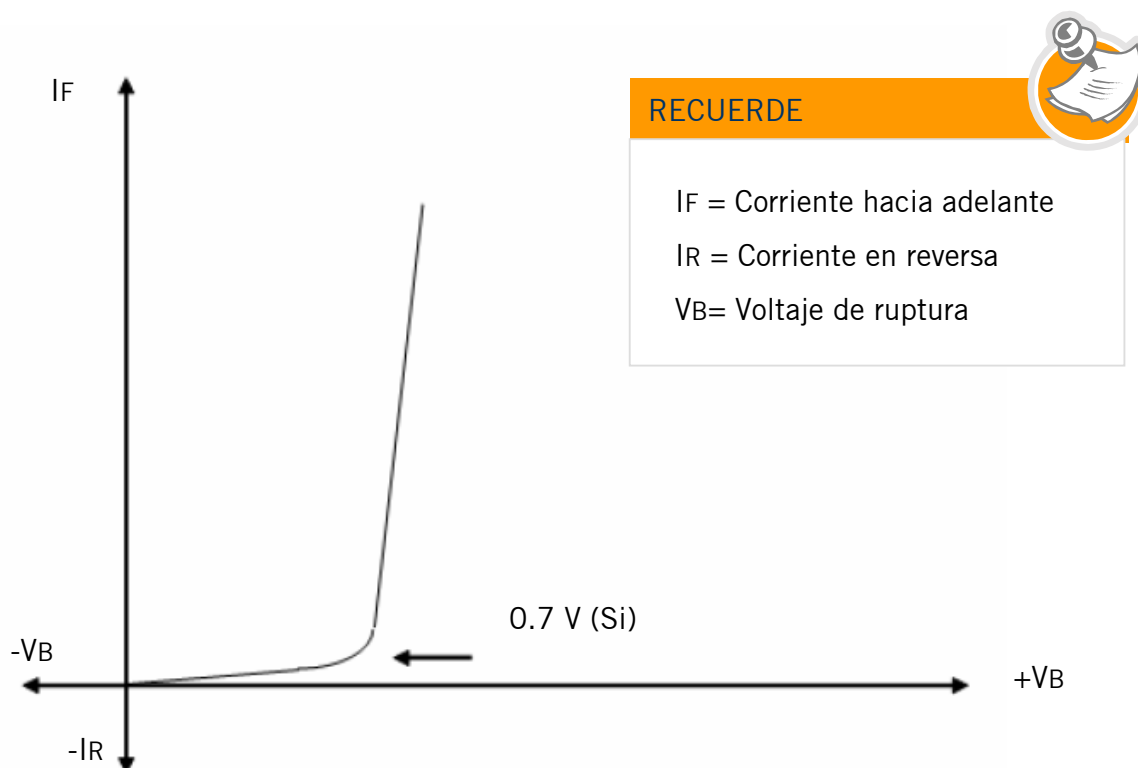
2.3 Polarización directa

Un diodo está polarizado directamente cuando el lado P (ánodo) es más positivo que el lado N (cátodo) y se comporta como una llave cerrada. La siguiente figura muestra la forma en la que el diodo está directamente polarizado (en estado de conducción).

El voltaje requerido para poder romper la barrera de potencial en un diodo y que con esto pueda conducir, es de 0.7 V en un diodo de Silicio y de 0.2 V para un diodo de Germanio.

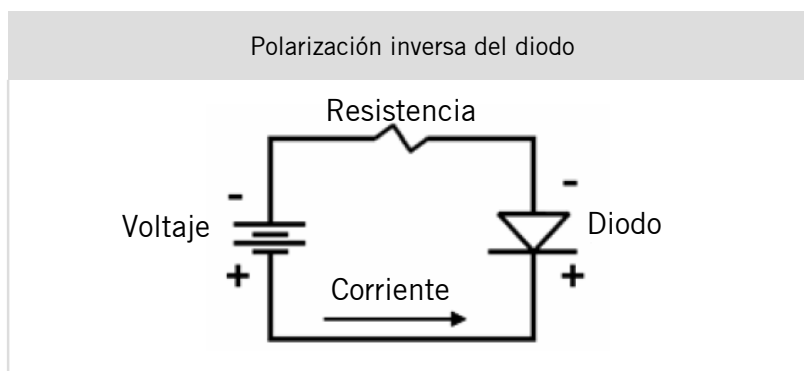


Veamos la curva de la polarización directa del diodo:



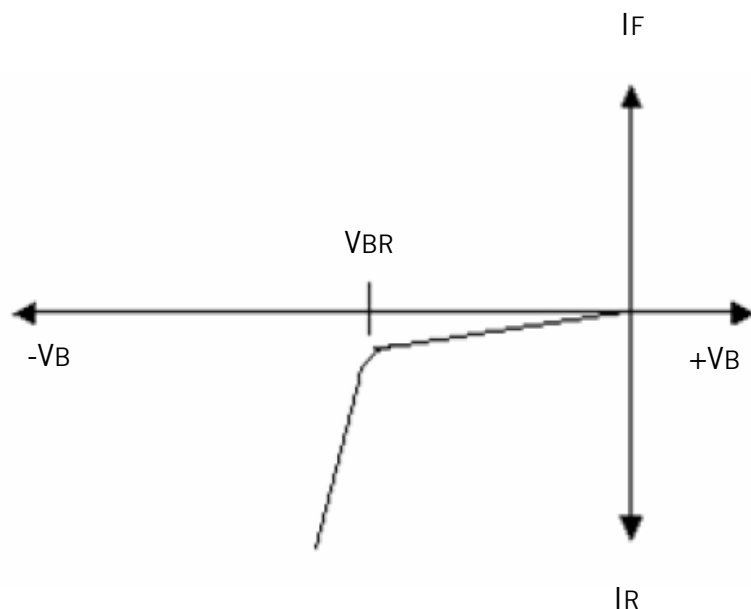
2.4 Polarización inversa

Un diodo está polarizado inversamente si el lado P (ánodo) es más negativo que el lado N (cátodo) y se comporta como una llave abierta. En la siguiente figura se muestra la forma en la que el diodo está inversamente polarizado (en estado de no conducción). Entonces, el diodo no conduce (la corriente es igual a cero) y su voltaje sería el mismo que el de la fuente de voltaje.



La resistencia limita la corriente que pasa por el diodo. Si esta no existiera, el diodo podría destruirse, ya que cuando está en estado de conducción, su resistencia es muy pequeña y se rompería su aislamiento.

Veamos ahora la curva de la polarización inversa del diodo:



RECUERDE

V_{BR} = Voltaje de ruptura en polarización inversa

2.5 Ecuación del diodo

Hemos establecido que la conducción del diodo en inversa es débil y, en directa, alta. Sin embargo, en ambos casos, la relación entre corriente y tensión es exponencial

Veamos cuál es la ecuación que rige el funcionamiento del diodo.

$$I = I_s \cdot (e^{-q \cdot V / K \cdot T} - 1)$$

RECUERDE

I: Corriente a través del diodo (amperes)
 I_s: Corriente de saturación del diodo (amperes) q:
 Carga del electrón (q = 1.602 x 10⁻¹⁹ coulomb) V:
 Tensión a través del diodo (volts)
 K: Cte. De Boltzmann (K=0.38 x 10⁻²³ Joule °K)
 T: Temperatura absoluta de la juntura (°K)

Esta expresión puede escribirse más simplificada como:

Donde VT = (K · T) / q, para temperatura ambiente (30 °C) o sea T = 300 °K, vale (VT = 0.025 volts).

$$I = I_s \cdot (e^{V / VT} - 1)$$

La curva resultante sería continua y en particular, para una tensión V = 0 a través de la juntura la corriente vale:

$$I_{V=0} \rightarrow I_s = (e^0 - 1) = I_s (1-1) = 0$$

GLOSARIO

Juntura:

Parte o lugar en que se juntan y unen dos o más cosas

Para una polarización inversa infinita (suponiendo que el diodo no se destruya antes) la corriente valdrá:

$$I_{V=-\infty} I_s = (e^{-\infty} - 1) = I_s (0-1) = -I_s$$

Es decir que la corriente de saturación "I_s" sería la corriente inversa que circularía a través del diodo con una polarización inversa infinita.

2.6

Efectos de la temperatura sobre la característica del diodo

En la ecuación que rige el funcionamiento del diodo encontramos dos puntos sobre los cuales influye la Temperatura.

$$I = I_s \cdot (e^{-q \cdot V / K \cdot T} - 1)$$

1

En la corriente de saturación inversa I_s .
Para un diodo ideal de silicio, la corriente I_s aumenta un 28% por cada grado centígrado que aumenta de la temperatura.

2

La tensión térmica ($V_T = K T / q$) que aumenta linealmente con la temperatura.

Veamos el efecto de la temperatura de dos formas distintas:

1

Manteniendo una tensión V constante a través del diodo, la corriente a través del diodo aumenta al aumentar la temperatura.

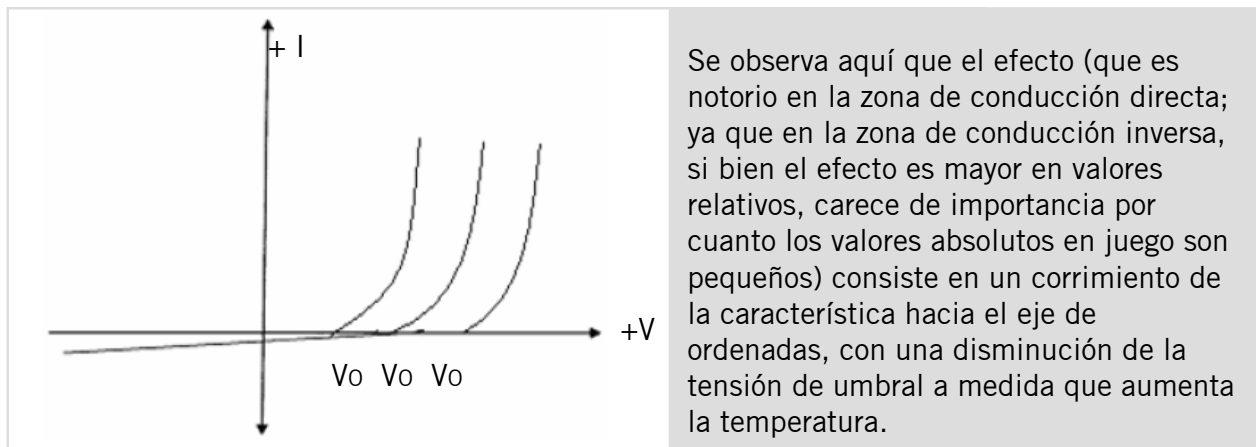
2

Manteniendo una corriente constante a través del diodo, la tensión a través del diodo disminuye al aumentar la temperatura. Esto es, al aumentar la temperatura aumenta la corriente. Es evidente que para retornar la corriente al valor original, la tensión de la juntura deberá disminuir.

Por otra parte el aumento de V_T con la temperatura, hace disminuir el valor de la exponencial en las ecuaciones que rigen el funcionamiento del diodo. Sin embargo esta disminución es menor que el aumento que provoca el de I_s . Para el silicio, éste aumento es del 8% por cada grado centígrado de temperatura.

Para el caso del silicio, a temperatura ambiente de unos 300°K (27°C), la tensión a través del diodo disminuye unos 2.2 mV / °C al aumentar la temperatura, manteniendo la corriente constante.

El efecto de la temperatura lo podemos ver sobre la curva I-V del diodo según la figura que se presenta a continuación.



La temperatura de juntura máxima admisible es de 80° C para el Germanio y 150° C para el Silicio. Pasada la temperatura límite mencionada, el estado de agitación térmica de la estructura cristalina es tan alto que la juntura, es decir, el diodo en sí, se destruye en forma irreversible.

Siendo la temperatura de juntura límite mayor para el Silicio que para el Germanio, los dispositivos de silicio serán menores y requerirán disipadores térmicos menores que los de Germanio para una potencia disipada determinada.

ATENCIÓN

Todos los dispositivos utilizados hoy en día para rectificación industrial, son hechos de Silicio.

En base a lo visto, podemos ver que el diodo tiene variados usos, puede ser aplicado como:



Rectificador: convierte la corriente alterna en corriente directa.



Detector: es una aplicación en baja-señal y baja- potencia. En micrófonos modula la señal debido a que modifica la amplitud de las ondas de alta frecuencia generadas por el oscilador.



Limitador (clamping): previene que el voltaje en un punto exceda al voltaje presente en un segundo punto. Como ejemplo de esto es una válvula de seguridad que protege al transistor del daño que le causaría un transitorio de alto voltaje.

PREGUNTAS

¿Sabías que estas aplicaciones del diodo cubren más del 95% de los usos del diodo en circuitos industriales y todas ellas hacen uso de su propiedad de permitir solo el flujo de corriente eléctrica en un solo sentido?

2.7 Características técnicas

Dentro de las características técnicas del diodo encontramos:

- Valores nominales de tensión
- Valores nominales de corriente
- Comprobación y detección de averías

ACTIVIDAD 9. Decodificando

La siguiente actividad tiene como propósito conocer las siglas de los valores nominales de tensión y de corriente.



En base a lo visto hasta el momento, completar la tabla según crea que corresponde.

Valores nominales de tensión	
V _F	
	Tensión inversa en los extremos del diodo en polarización inversa.
V _{RSM}	
V _{RRM}	
	Tensión inversa de cresta de funcionamiento
Valores nominales de la corriente	
I _F	
I _R	
	Valor medio de la forma de onda de la corriente durante un período.
I _{FRMS}	
I _{FSM}	
AV	
	Root Mean Square (raíz de la media cuadrática).

Comprobación y detección de averías

El óhmetro es la herramienta adecuada para saber el estado de un diodo. Se mide la resistencia en continua del diodo en cualquier dirección y después se invierten los terminales efectuándose la misma medición.

La corriente con polarización directa dependerá de la escala en la que se emplee el ohmétrico, lo que significa que se obtendrán distintas lecturas en intervalos diferentes. Sin embargo, lo que hay que buscar principalmente es una diferencia de resistencia inversa a directa muy alta. Para los diodos de Silicio comúnmente empleados en la electrónica la razón debe ser mayor que 1.000:1.



En el uso del óhmetro para probar diodos lo único que se desea saber es si el diodo tiene una resistencia pequeña con polarización inversa. Los problemas que pueden surgir son:



Resistencia muy pequeña en ambas direcciones:
diodo en cortocircuito.



Resistencia muy grande en ambas direcciones:
diodo en circuito abierto.



Resistencia pequeña en inversa: diodo con fugas.

2.8 Diodos especiales

Gracias a la tecnología de semiconductores, se diseñaron los tiristores. Estos están compuestos por 4 porciones o capas de material semiconductor (PNPN) y son utilizados para controlar grandes cantidades de corriente mediante circuitos electrónicos de bajo consumo de potencia.

El SCR (Rectificador Controlado de Silicio) y el TRIAC (Tiristor Triodo Bidireccional) son los dos tipos más comunes de tiristores, los cuales se describirán mas adelante en el manual.

Otros dispositivos semiconductores son el UJT (Transistor Monounión) y DIAC (Diodo Interruptor de Corriente Alterna) utilizados para provocar el disparo de los dispositivos de control.

Diodos de referencia de voltaje

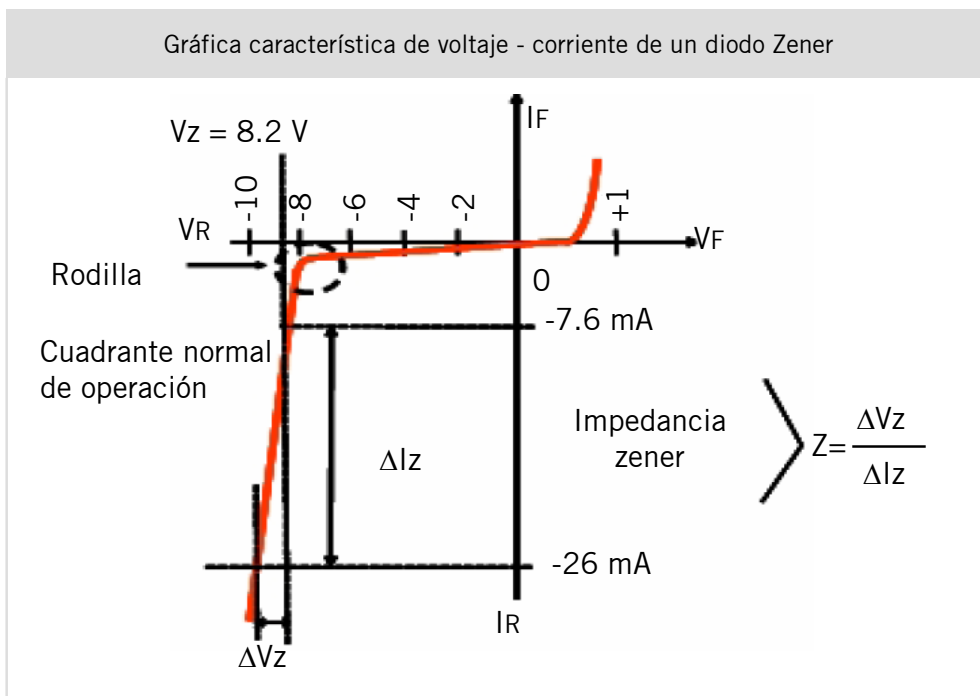
Estos diodos, llamados comúnmente diodos Zener, basan su funcionamiento en operar en la zona de ruptura (breakdown) y reciben el nombre de diodos de disrupción. Son dispositivos que, polarizados inversamente, mantienen un determinado voltaje y, por lo tanto, trabajan como reguladores de voltaje y, cuando están polarizados directamente, trabajan como rectificadores.

Símbolo	Forma física

IMPORTANTE

Los diodos Zener están disponibles en un amplio rango de potencias y voltajes de ruptura que van desde 1.4 V hasta varios cientos de volts

En la imagen del símbolo del diodo Zener se presenta el sentido de la corriente convencional y del flujo de electrones cuando está operando en la zona de ruptura.



En el cuadrante superior derecho (primer cuadrante o de operación en polarización directa), el diodo Zener se comporta como un diodo normal y tiene características idénticas a las de un diodo rectificador de Silicio.

En el cuadrante inferior izquierdo (tercer cuadrante, de reversa o de polarización inversa), el diodo Zener presenta una muy alta resistencia hasta alcanzar la rodilla del punto de ruptura o voltaje Zener. En el punto de ruptura, la característica del diodo cambia abruptamente, presentando un voltaje prácticamente constante en un amplio rango de corriente en reversa.

Así, la característica en reversa o polarización inversa del diodo Zener sugiere su aplicación como generador de referencia de voltaje o como regulador en casos donde se requiere un voltaje constante.

Las características más importantes de un diodo Zener son aquellas relacionadas con su operación en reversa o polarización inversa.

Entre los parámetros más importantes de la operación en reversa del diodo Zener se tienen.:

Voltaje Zener (V_Z)	Indica el voltaje de ruptura del diodo o el voltaje normal de operación del diodo Zener.
Corriente Zener (I_Z)	Presenta la corriente en reversa o corriente de fuga a la cual se especifica el voltaje Zener
Impedancia Zener (Z_Z)	Muestra cómo varía el voltaje en terminales del diodo ante el incremento de la corriente en reversa.

GLOSARIO

Impedancia:

Es la resistencia de un circuito al flujo de la corriente alterna, que es equivalente a la resistencia ofrecida a la corriente directa o continua.



En algunas ocasiones, también se presenta el coeficiente de temperatura del voltaje Zener (S_Z), el cual indica cómo varía el voltaje Zener cuando cambia la temperatura del diodo. S_Z se expresa en $mV/^\circ C$ y puede ser positivo o negativo. Generalmente, los diodos cuyo voltaje Zener es menor a 6 V presentan coeficientes de temperatura negativos. Los diodos con voltaje Zener mayor a 6 V muestran un coeficiente de temperatura positivo.

En términos de la corriente convencional, el comportamiento del diodo Zener se puede resumir en los siguientes puntos:



En polarización directa, es decir, con el ánodo más positivo que el cátodo, se comporta como cualquier diodo. Conduce presentando una caída prácticamente constante y de aproximadamente 0.7 V.



En polarización inversa, con el ánodo más negativo que el cátodo, pero con un voltaje aplicado menor a su voltaje de diseño o voltaje Zener, bloquea el flujo de corriente presentando solo una pequeña corriente de fuga en reversa.



En polarización inversa, con el ánodo más negativo que el cátodo, pero con un voltaje aplicado mayor a su voltaje de diseño o voltaje Zener, incrementa tanto como sea necesario su corriente en reversa de tal forma que su voltaje en terminales se mantenga constante en su voltaje Zener.

Diodos emisores de luz



Las transiciones entre estados de los electrones dentro de una unión polarizada dan lugar a fenómenos de emisión de radiación. En ciertos tipos de diodos se producen emisiones dentro del espectro visible (rojo, verde, amarillo, etc.). Su aplicación fundamental es la señalización y la más conocida quizás sea la de 7 segmentos utilizados en las calculadoras de bolsillo. Estos diodos reciben el nombre de LED (Light Emitting Diode).

Símbolo	Forma física

Fotodiodos



En una unión polarizada inversamente. Al incidir energía luminosa sobre ella se generan portadores libres que son acelerados por la juntura creando una corriente que es proporcional al flujo luminoso incidente sobre el fotodiodo. O sea, "conduce cuando es iluminado", propiedad que, utilizada apropiadamente, da un campo de aplicación extenso.

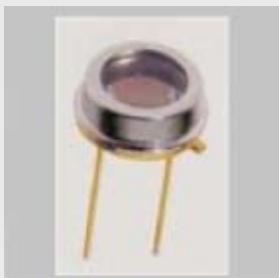
Símbolo	Forma física
The circuit symbol for a photodiode, consisting of a circle with a triangle pointing to the right and a vertical line on the right side, with two arrows pointing towards the circle from the bottom right.	A physical photodiode component with a red rectangular body and two black leads extending downwards.

ACTIVIDAD 10. Diodos especiales

La siguiente actividad tiene como propósito reafirmar las características de los diodos especiales.



En base a lo visto acerca de diodos especiales, identificar y caracterizar los siguientes diodos:



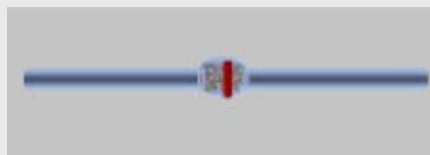
Tipo de diodo: _____

Características: _____

Tipo de diodo: _____

Características: _____





Tipo de diodo: _____

Características: _____

¡Felicitaciones!

Usted ha finalizado el capítulo 2.

A continuación se desarrollará el capítulo Tiristores.

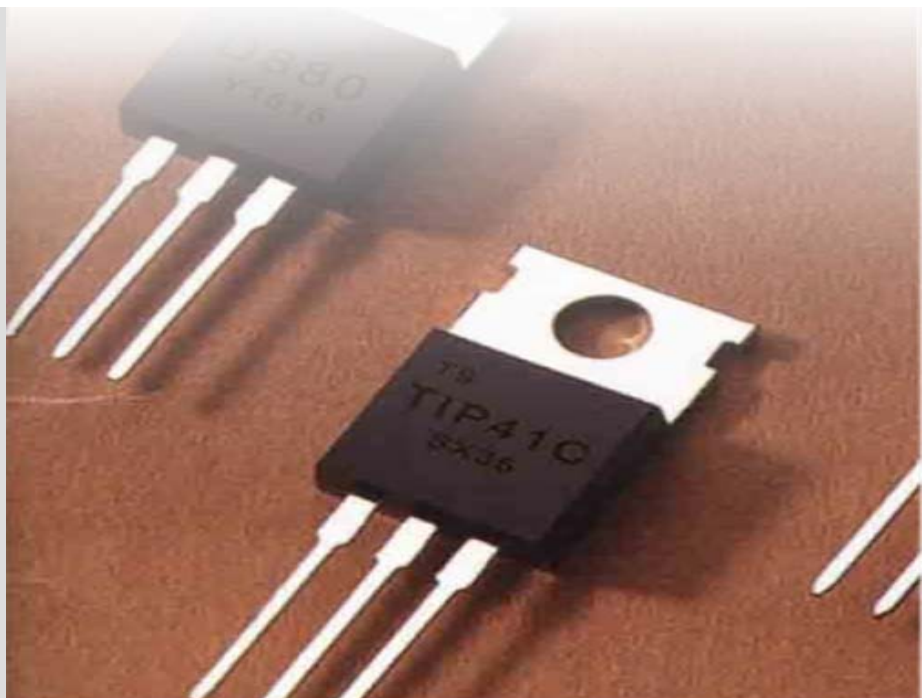


Tiristores

TEMAS DEL CAPÍTULO 3

3.1 Definición y características generales	45
3.2 Verificación con el Óhmetro	53
3.3 Aplicaciones del SCR	55

En este capítulo conoceremos las características y funcionamiento de los tiristores y sus diferentes aplicaciones.

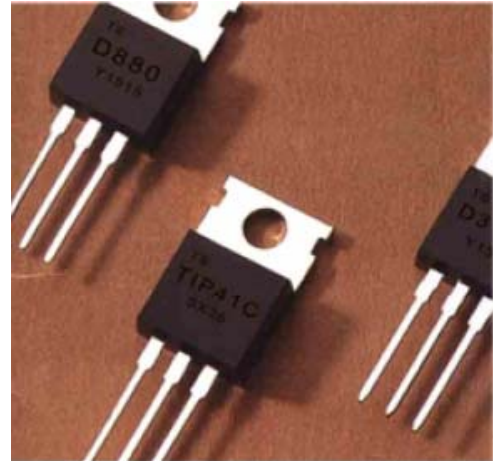


3.1 Definición y características generales

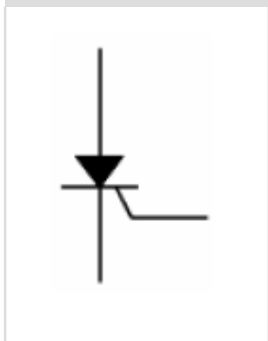
El tiristor es un componente electrónico semiconductor que utiliza realimentación interna para producir una conmutación y que se emplea, generalmente, para el control de potencia eléctrica.

El término tiristor deriva del griego y significa “puerta”.

Un tiristor es uno de los tipos más importantes de los dispositivos semiconductores de potencia. Por ello se utilizan en forma extensa en los circuitos electrónicos de potencia. Se operan como conmutadores biestables, pasando de un estado no conductor a un estado conductor.



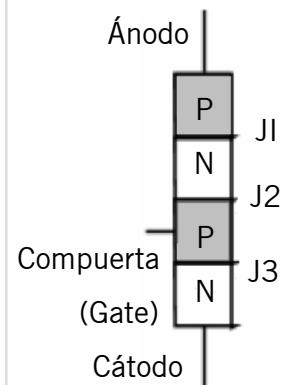
Símbolo del Tiristor



Para muchas aplicaciones se puede suponer que los tiristores son interruptores o conmutadores ideales, aunque los tiristores prácticos exhiben ciertas características y limitaciones.

Un tiristor es un dispositivo semiconductor de cuatro J1 capas de estructura (PNPN) con tres uniones PN. Tiene tres terminales: ánodo cátodo y compuerta. En la figura que muestra el símbolo del tiristor podemos ver que cuenta con una sección recta de tres uniones PN.

Polarización directa del diodo



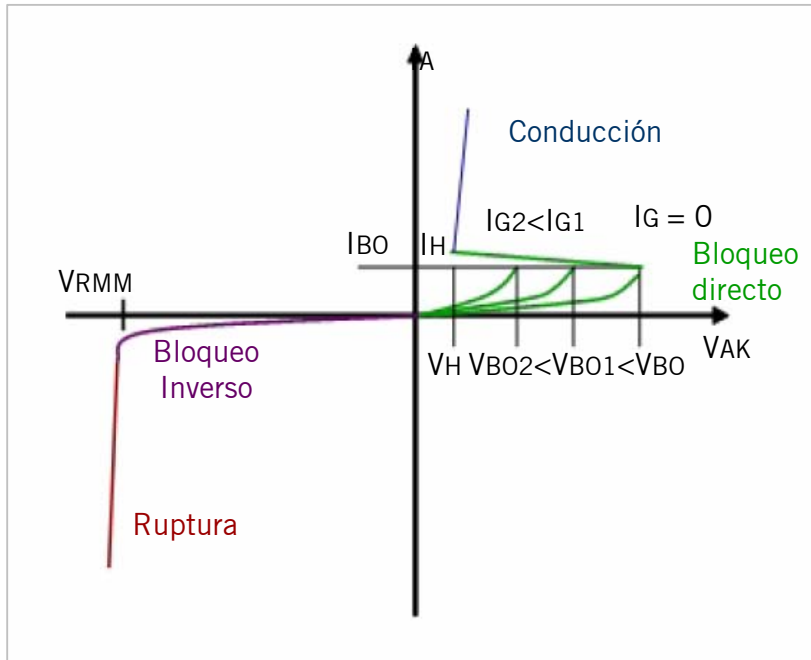
Observemos la imagen que muestra la composición del Tiristor. Cuando el voltaje del ánodo se hace positivo con respecto al cátodo, las uniones J1 y J3 tienen polarización directa o positiva. La unión J2 tiene polarización inversa, y solo fluirá una pequeña corriente de fuga del ánodo al cátodo. Se dice, entonces, que el tiristor está en condición de bloqueo directo o en estado desactivado llamándose a la corriente “fuga corriente de estado inactivo I_D ”. Si el voltaje ánodo a cátodo VAK se incrementa a un valor lo suficientemente grande la unión J2 polarizada inversamente entrará en ruptura.

Esto se conoce como ruptura por avalancha y el voltaje correspondiente se llama voltaje de ruptura directa V_{BO} . Dado que las uniones J1 y J3 ya tienen polarización directa, habrá un movimiento libre de portadores a través de las tres uniones que provocará una gran corriente directa del ánodo. Se dice, entonces que el dispositivo está en estado de conducción o activado.

ATENCIÓN

Los tiristores se fabrican por difusión.

Veamos en un eje de coordenadas cómo se produce la conducción o ruptura en base al tipo de bloqueo que se realice.

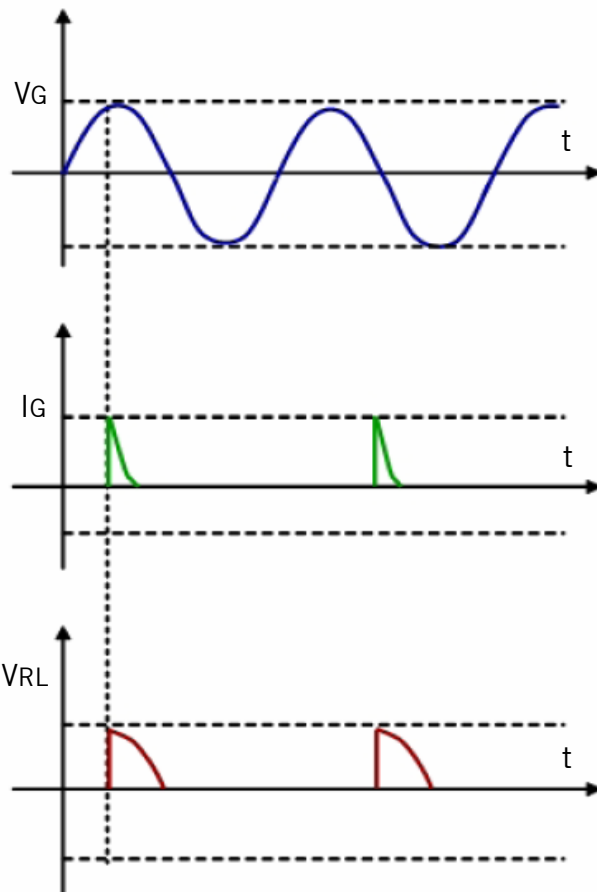
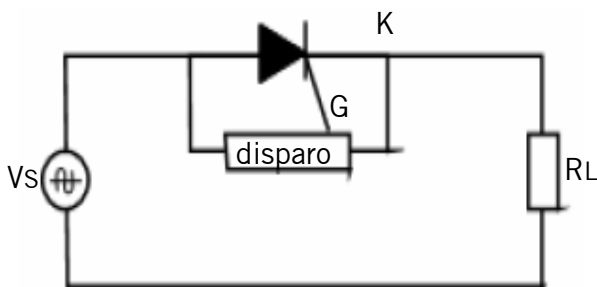


RECUERDE



- IG = Corriente de puerta (gate)
- VAK = Voltaje de ánodo - cátodo
- VBO = Voltaje de ruptura directa
- IBO = Corriente de ruptura directa
- IA = Corriente del ánodo
- VRWM = Tensión inversa de cresta de funcionamiento
- Vs = Tensión de entrada

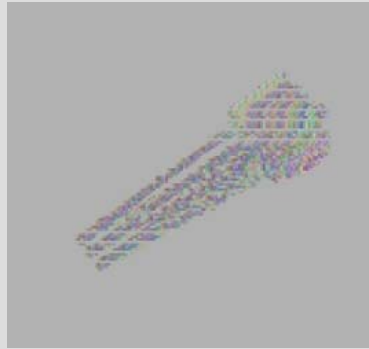
Analizaremos, a continuación, el caso de un rectificador de media onda, realizado con un tiristor con un ángulo de disparo = 90° (en rigor bajo estas condiciones dejaría de ser de media onda).



Tipos de tiristores

Veamos diferentes tipos de tiristores.

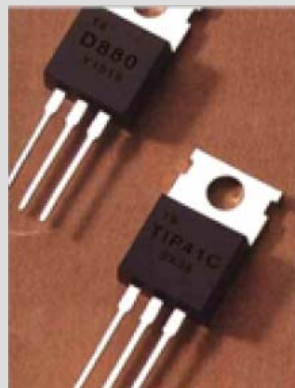
Hasta 1
ampere



Hasta 200
amperes



Hasta 30
amperes



Hasta 700
amperes



Activación del tiristor

Un tiristor se activa incrementando la corriente del ánodo. Esto se puede llevar a cabo mediante las siguientes formas:

Térmica

Si la temperatura de un tiristor es alta, habrá un aumento en el número de pares electrón-hueco, lo que aumentará las corrientes de fuga. Este aumento en las corrientes hará que α_1 y α_2 aumenten. Debido a la acción regenerativa ($\alpha_1 + \alpha_2$), el tiristor puede tender a la unidad y así activarse. Este tipo de activación puede causar una fuga térmica que, por lo general, se evita.

Luz

Si se permite que la luz llegue a las uniones de un tiristor, aumentarán los pares electrón-hueco pudiéndose activar el tiristor. La activación de tiristores por luz se logra permitiendo que esta llegue a los discos de silicio.

Alto voltaje

Si el voltaje directo ánodo a cátodo es mayor que el voltaje de ruptura directo V_{BO} , fluirá una corriente de fuga suficiente para iniciar una activación regenerativa. Este tipo de activación puede resultar destructiva, por lo que se debe evitar. Si la velocidad de elevación del voltaje ánodo-cátodo es alta, la corriente de carga de las uniones capacitivas puede ser suficiente para activar el tiristor. Un valor alto de corriente de carga puede dañar el tiristor, por lo que el dispositivo debe protegerse contra dv/dt alto. Los fabricantes especifican el dv/dt máximo permisible de los tiristores.

GLOSARIO

dv/dt :

Derivación de la tensión con respecto al tiempo

Corriente de compuerta

Si un tiristor está polarizado en directa, la inyección de una corriente de compuerta al aplicar un voltaje positivo de compuerta entre esta y las terminales del cátodo activará al tiristor. Conforme aumenta la corriente de compuerta, se reduce el voltaje de bloqueo directo, pudiendo llegar a activarse.

ACTIVIDAD 11. Activación del tiristor

La siguiente actividad tiene como propósito profundizar los conocimientos acerca de las diferentes maneras de activar un tiristor

En base a la afirmación presentada, completar a que tipo de activación de tiristores refiere:

Frases	Tipo de activación
Los fabricantes especifican cuál es el máximo permisible para los tiristores.	
Este tipo de activación puede resultar destructiva, por lo que debe evitarse.	
Este tipo de activación puede generar una fuga térmica que por lo general se evita.	
Mientras este tipo de activación aumenta, se reduce el voltaje del bloqueo directo, por lo que puede llegar a activarse el tiristor.	
Este tipo de activación se logra permitiendo que la luz llegue a los discos de Silicio.	



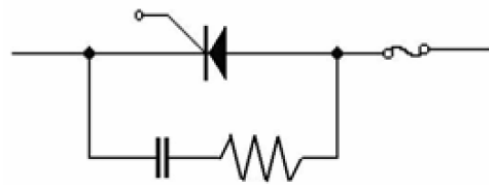
Protección del tiristor contra sobre corriente

El tiristor debe protegerse con fusibles ultrarrápidos, especiales para semiconductores. Este tipo de fusibles tiene asociado un parámetro i^2t (corriente al cuadrado por tiempo) que da una idea de la energía que lo funde. Por lo tanto, es muy común que los fusibles se determinen con un i^2t menor al del tiristor.

Control de disparos indeseables

Suele ocurrir que, sin control de la compuerta (debido al rápido crecimiento del voltaje del ánodo y la capacitancia que se forma en las juntas) se establezca una corriente de ánodo que supere a la corriente de enganche y el tiristor se dispare cuando no se desea. Para evitar esto, normalmente se utilizan ramas RC (para aplicaciones de baja corriente) conectadas al tiristor, tal como puede verse en la imagen. Para aplicaciones de corrientes más altas, se utilizan circuitos electrónicos más complejos.

Forma de evitar disparos indeseables en el tiristor



Tiristores inversos

Los tiristores normales de perno roscado son construidos de tal manera que el cátodo está conectado al perno. Por comodidad y/o facilidad de conexión, también se construyen de manera que sea el ánodo el que está conectado al perno. Estos tiristores se denominan tiristores inversos, los cuales se designan con el número de tipo correspondiente más la letra R. Por ejemplo:

Tiristor normal	Tiristor inverso
BS 50	BS 50 R
BY 46	BY 46 R

Especificaciones básicas del SCR

Entre todas las especificaciones que aparecen en las hojas de datos del SCR, las más relevantes son las cinco que están relacionadas con los semiconductores en general y dos que sólo se aplican a tiristores.

Veamos un resumen de estas especificaciones

RECUERDE

SCR:
Rectificador controlado de Silicio.

	Especificaciones universales	Especificaciones del SCR	Ejemplos de magnitud
1	Disipación de potencia (PD)	Corriente hacia adelante	Máximo 2 amperes
2	Conductividad	V_F = Caída de voltaje hacia adelante	Máximo 1.2 Volts
3	Corriente de fuga	I_R = Corriente de bloque en reversa I_F = Corriente de bloqueo hacia adelante	Máximo 1 Microampere
4	Voltaje de ruptura	Voltaje de ruptura en reversa Voltaje de ruptura hacia adelante	Máximo 2 amperes
5	Velocidad de operación	t_{ON} = Tiempo de encendido t_{OFF} = Tiempo de apagado en conmutación	Típico 1 Microsegundo Típico 2 Microsegundos
6		I_{GT} = Corriente de Disparo de Compuerta	Máximo 100 Microamperes
7		V_{GT} = Voltaje de Disparo de Compuerta	Máximo 0.7Volts

Veamos cada una de estas especificaciones en detalle. Equivale a la máxima corriente en:

Disipación de potencia (PD)

Polarización directa de un diodo. Generalmente se le llama corriente de ánodo en polarización directa en el caso de un SCR.

Conductividad

La conductividad de un SCR es la expresión que presenta la facilidad con que el dispositivo conduce a la electricidad cuando se enciende (como en el caso de los transistores). La conductividad de un SCR se expresa como el voltaje en polarización directa V_F a una cierta corriente.

En una hoja de datos puede presentarse como un voltaje estático en la polarización directa. Esto es, la magnitud del voltaje en polarización directa que se requiere para lograr un nivel específico de corriente en esta polarización directa cuando se enciende el dispositivo.

Corriente de fuga

La corriente de fuga es el flujo de corriente que se presenta a través del circuito cuando se supone que éste la está bloqueando. Para un diodo, solo se tiene fuga en reversa I_R , pero como el SCR es un dispositivo de control que bloquea la corriente en ambas direcciones cuando no se encuentra encendido, entonces se tienen 2 especificaciones de corriente de fuga:

- Bloqueo de corriente de ánodo en reversa. El término ánodo sólo indica el lugar donde se mide la corriente. La corriente en reversa, se supone que debe estar bloqueada todo el tiempo. La abreviación más frecuente es I_R .
- Bloqueo de corriente de ánodo en polarización directa, abreviada I_F .

Voltaje de ruptura

Es el voltaje en el cual la capacidad de bloqueo falla, dejando pasar una cantidad de corriente alta. En las hojas de datos de los SCR frecuentemente se utilizan los términos voltaje de ruptura en polarización directa y voltaje de ruptura en reversa

Velocidad de operación

La velocidad de operación de un SCR se especifica en términos de tiempo de encendido y tiempo de apagado.

Además de estas cinco especificaciones universales, el SCR tiene otros dos parámetros importantes:



Corriente de disparo a compuerta IGT: Especifica la cantidad de corriente que se requiere para encender el SCR.



Voltaje de disparo a compuerta VGT: Especifica el voltaje necesario para disparar el SCR.

ACTIVIDAD 12. Especificaciones básicas del SCR.

La siguiente actividad tiene como propósito reafirmar los conceptos vistos sobre especificaciones del SCR.



Unir con flechas según corresponda:

Especificaciones universales	Especificación del SCR	Ejemplos de magnitud
Velocidad de operación	tON= Tiempo de encendido TOFF = Tiempo de apagado en conmutación	Máximo 2 amperes
Corriente de fuga	IR= Corriente de bloqueo en reversa IF= Corriente de bloqueo hacia delante	Máximo 1.2 Volts
Voltaje de ruptura	Corriente hacia delante	Máximo 2 amperes
Conductividad	Voltaje de ruptura en reversa Voltaje de ruptura hacia delante	Máximo 1 Microampere
Disipación de potencia (PD)	VF= Caía de voltaje hacia adelante.	Típico 1 Microsegundo Típico 2 Microsegundos

Unir ahora los conceptos con sus respectivas definiciones:

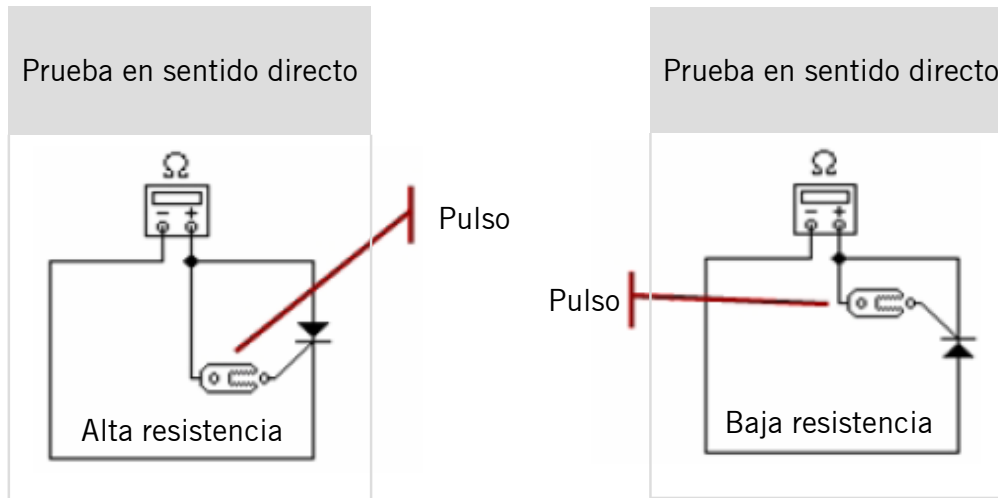
Especificaciones universales	Definiciones
Velocidad de operación	Equivale a la máxima corriente en polarización directa de un diodo. Generalmente se le llama corriente de ánodo en polarización directa en el caso de un SCR.
Corriente de fuga	Es la expresión que presenta la facilidad con que el dispositivo conduce a la electricidad cuando se enciende (como en el caso de los transistores).
Voltaje de ruptura	Es el flujo de corriente que se presenta a través del circuito cuando se supone que este la está bloqueando.
Conductividad	Es el voltaje en el cual la capacidad de bloqueo falla, dejando pasar una cantidad de corriente alta.
Disipación de potencia (PD)	Se especifica en términos de tiempo de encendido y tiempo de apagado

3.2 Verificaciones con el Óhmetro

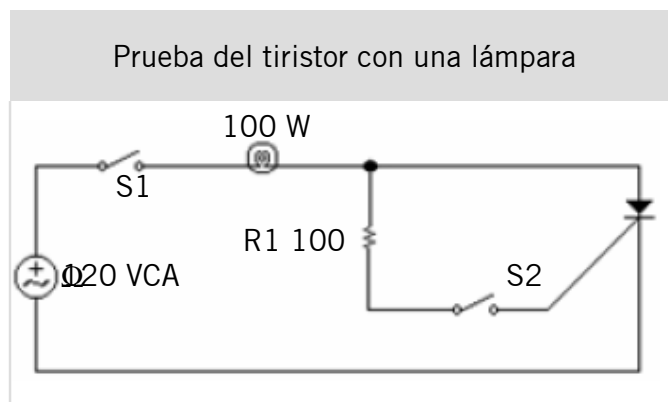
La prueba de tiristores con el Óhmetro es tan sencilla como la del diodo. Basta con polarizarlo en sentido directo no debiendo conducir hasta que no se le aplique un voltaje positivo en la compuerta, con la misma punta del Óhmetro con que se está polarizando al tiristor.

Si conduce en directa o en inversa sin necesidad de disparo, el tiristor está en corto. Si no lo hace en ambos sentidos, está abierto. En ambos casos, el tiristor no es utilizable.

Veamos la prueba en sentido directo y en sentido inverso con un tiristor en buen estado:



En el caso de no contar con un Óhmetro para realizar la verificación del tiristor, puede realizarse con una lámpara de la siguiente manera:



ATENCIÓN

La lámpara sirve como indicador visual y para limitar la corriente del tiristor. Además, enciende a mediana intensidad ya que el tiristor solo está conduciendo en medio ciclo

La interpretación es la siguiente:

Al conectar S1 la lámpara no debe encender porque si lo hace, el tiristor está en corto.

Al conectar S2 momentáneamente, la lámpara debe encender y permanecer así. Si no lo hace, el tiristor está abierto.

3.3 Aplicaciones del SCR

Dentro de las aplicaciones del SCR veremos dos:



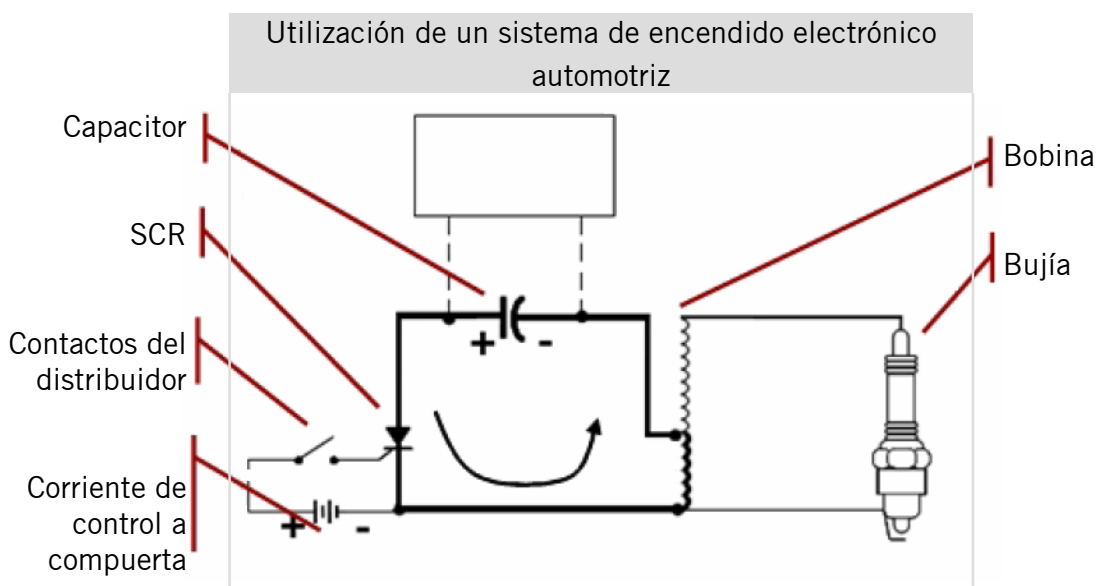
Valores nominales de tensión



Valores nominales de corriente

Sistema de encendido electrónico

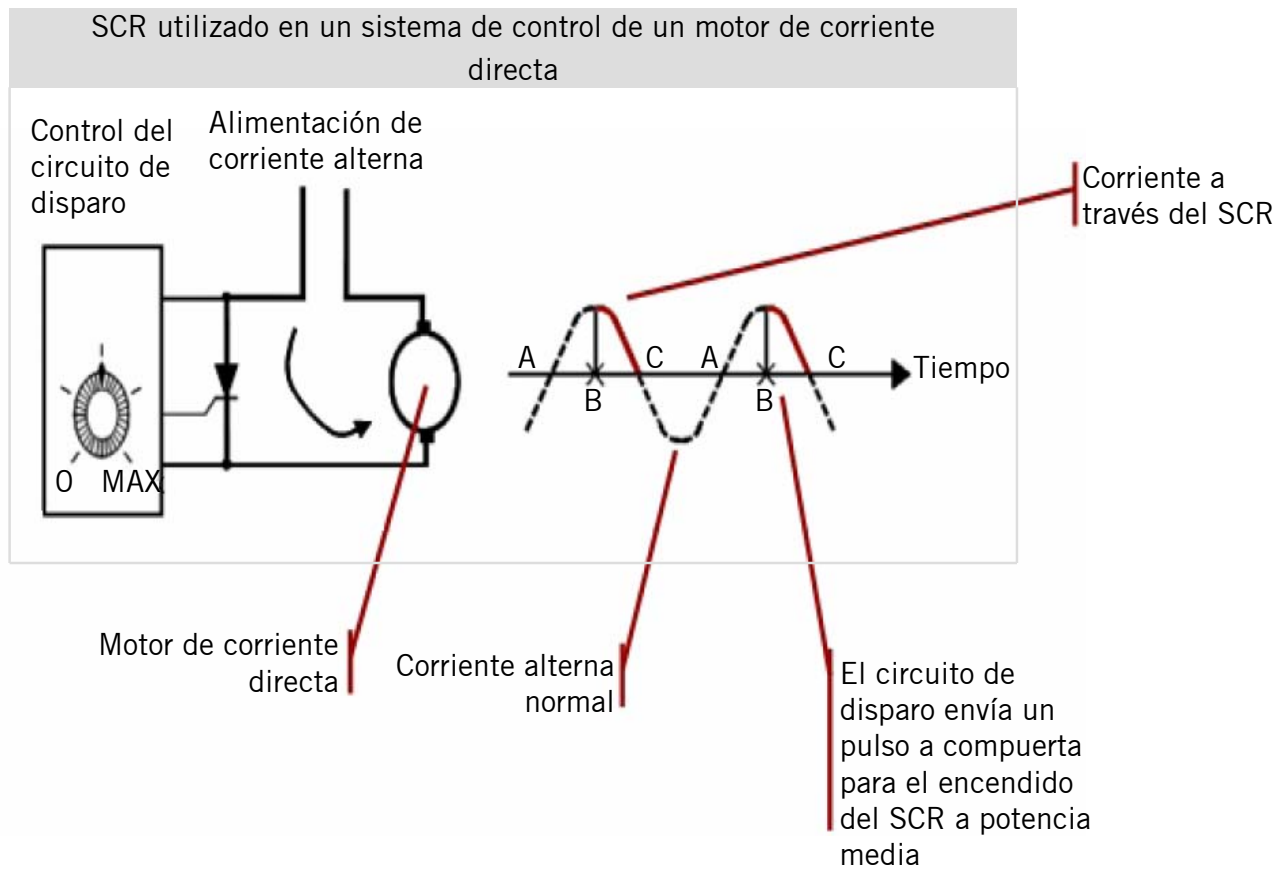
En esta imagen podemos ver una aplicación típica del SCR en un sistema de encendido electrónico automotriz, también conocido como de estado sólido.



Control de velocidad de un motor

El control de un motor es otro ejemplo de aplicación del SCR. En la siguiente figura podemos ver la aplicación típica de un SCR al rectificar y regular la potencia suministrada a un motor de corriente directa a partir de una fuente de corriente alterna.

En este sistema, el circuito activador de disparo enciende el SCR una vez en cada ciclo completo de corriente alterna a un tiempo determinado por la posición de la perilla de control.



¡Felicitaciones!

Usted ha finalizado el capítulo 3.

A continuación se desarrollará el capítulo TRIAC y DIAC.

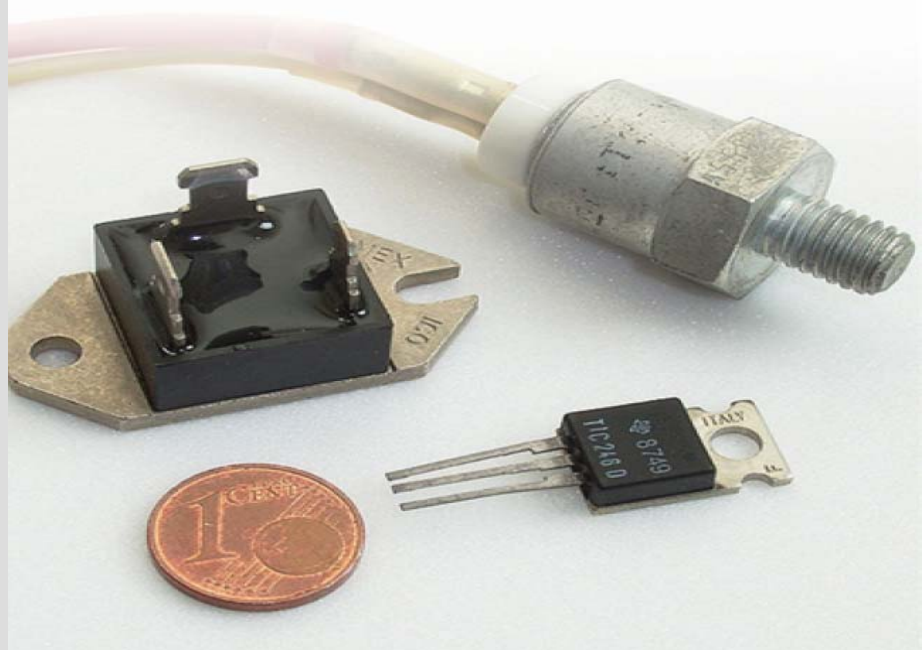


TRIAC y DIAC

TEMAS DEL CAPÍTULO 4

4.1 Características generales y aplicaciones del TRIAC	59
4.2 Características generales y aplicaciones del DIAC	64

En este capítulo conoceremos las características y aplicaciones del TRIAC y el DIAC.



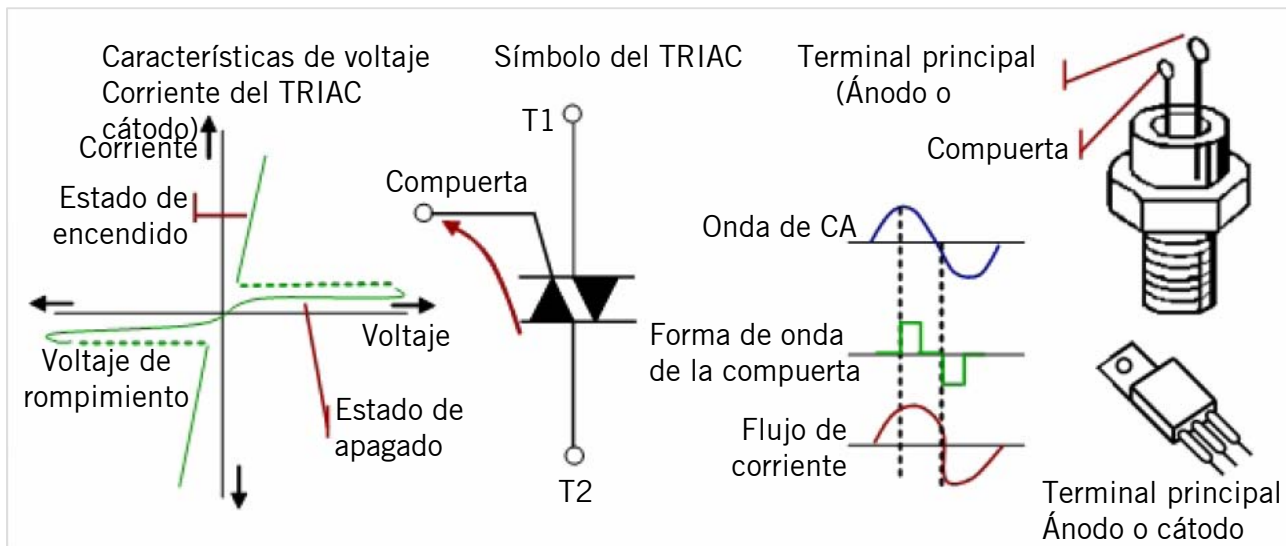
4.1 Características generales y aplicaciones del TRIAC

El TRIAC es un dispositivo que tiene estados biestables en ambos sentidos y reemplaza al tiristor en ampliaciones en corriente alterna en donde es necesario controlar ambos hem ciclos. Siempre es posible reemplazar al TRIAC por dos tiristores en antiparalelo (paralelo y en sentido contrario). En la siguiente figura podemos observar el símbolo del TRIAC y su similitud con dos tiristores en donde las compuertas están unidas.



RECUERDE

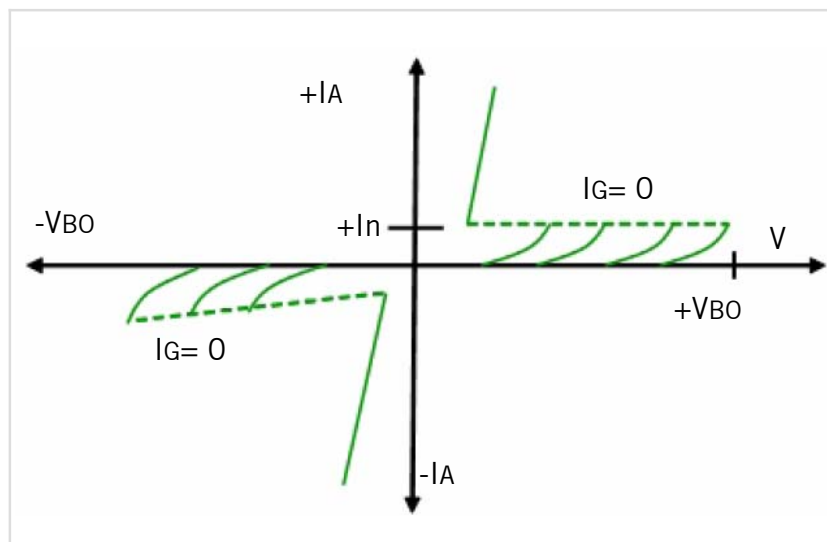
TRIAC = Tiristor Triodo Bidireccional



El TRIAC es semiconductor de tres terminales que se usa para controlar el flujo de corriente promedio a una carga. Tiene la particularidad de que conduce en ambos sentidos y puede ser bloqueado por inversión de la tensión o al disminuir la corriente por debajo del valor de mantenimiento.

El TRIAC puede ser disparado independientemente de la polarización de puerta, es decir, mediante una corriente de puerta positiva o negativa.

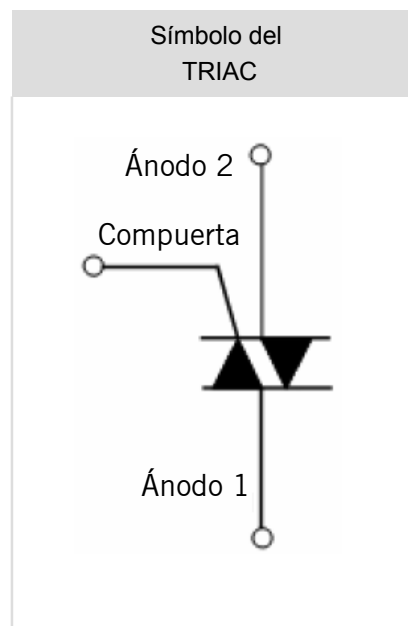
Cabe destacar que al recibir el pulso solo, el tiristor polarizado en directa conducirá mientras que el otro permanecerá bloqueado.



En la curva característica podemos ver que en ambos sentidos el comportamiento es similar al sentido directo de un tiristor.

Estructura interna del TRIAC

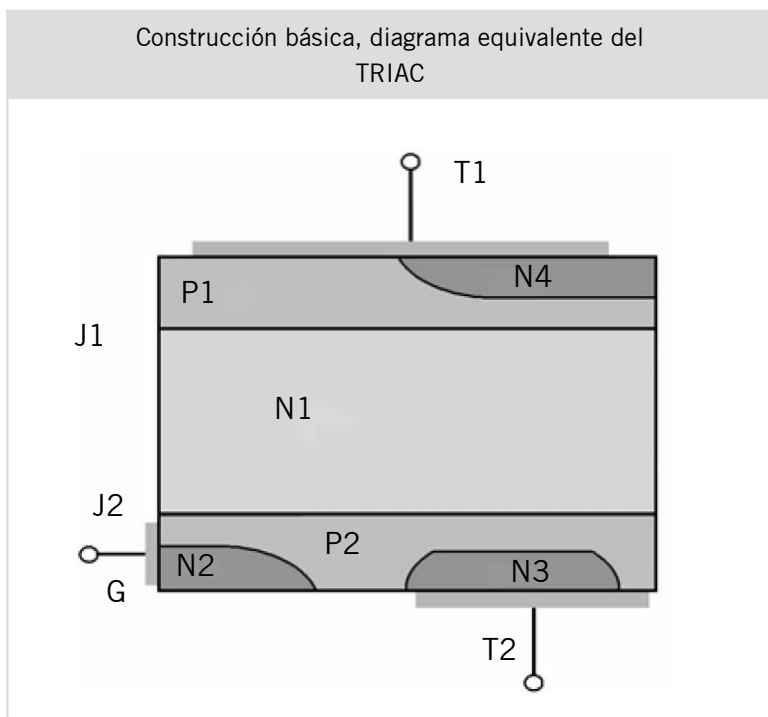
Cuando el TRIAC conduce, hay una trayectoria de flujo de corriente de muy baja resistencia de una terminal a la otra, dependiendo de la dirección de flujo de la polaridad del voltaje externo aplicado. Cuando el voltaje es más positivo en MT2, la corriente fluye de MT2 a MT1 en caso contrario fluye de MT1 a MT2. En ambos casos el TRIAC se comporta como un interruptor cerrado. Cuando el TRIAC deja de conducir no puede fluir corriente entre las terminales por tanto actúa como un interruptor abierto.



Es importante tener en cuenta que si se aplica una variación de tensión importante al TRIAC (dv/dt), aún sin conducción previa, este puede entrar en conducción directa.

ATENCIÓN

Tenga en cuenta que la nomenclatura Ánodo 2 (A2) y Ánodo 1 (A1) pueden ser reemplazados por Terminal Principal 2 (MT2) y Terminal Principal 1 (MT1) respectivamente.



La estructura contiene seis capas como se indica en la imagen, aunque funciona siempre como un tiristor de cuatro capas.

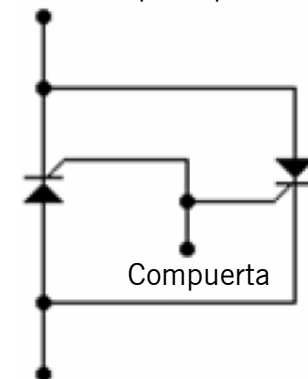
En sentido MT2-MT1 conduce a través de P1N1P2N2 y en sentido MT1-MT2 a través de P2N1P1N4.

La capa N3 facilita el disparo con intensidad de puerta negativa. La complicación de su estructura lo hace más delicado que un tiristor en cuanto a di/dt y dv/dt y capacidad para soportar sobre intensidades.

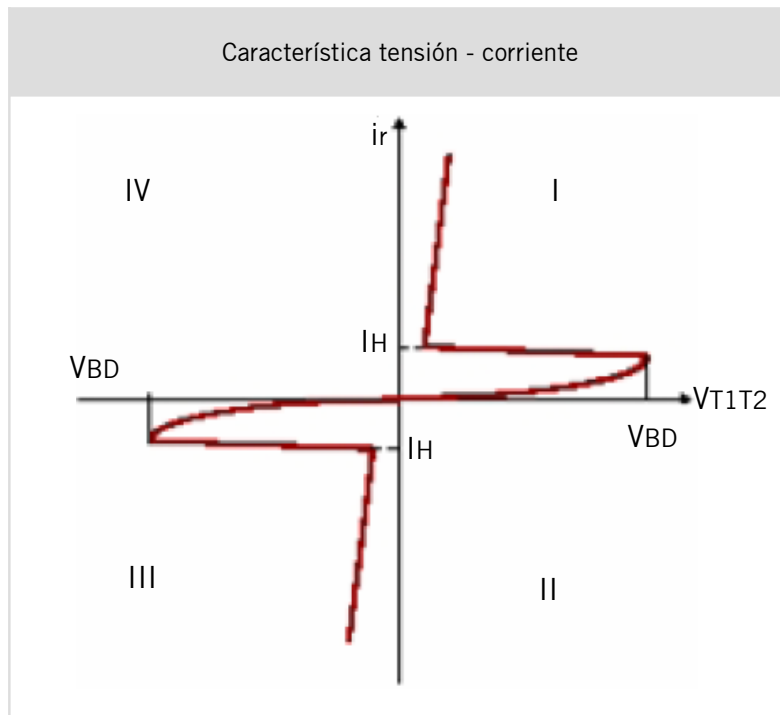
Los TRIAC se fabrican para intensidades de algunos amperios hasta unos 200 A eficaces y desde 400 a 1000 V de tensión de pico repetitivo.

Como puede verse en la imagen, el TRIAC actúa como dos rectificadores controlados de silicio (SCR) en paralelo.

Terminal principal 2



Terminal principal 1



Esta figura describe la característica tensión-corriente del TRIAC. Muestra la corriente a través del TRIAC como una función de la tensión entre los ánodos MT2 y MT1.

El punto VBD (tensión de ruptura) es el punto por el cual el dispositivo pasa de una resistencia alta a una resistencia baja y la corriente, a través del TRIAC, crece con un pequeño cambio en la tensión entre los ánodos.

El TRIAC permanece en estado ON (encendido) hasta que la corriente disminuye por debajo de la corriente de mantenimiento I_H . Esto se realiza por medio de la disminución de la tensión de la fuente.

Una vez que el TRIAC entra en conducción, la compuerta no controla más la conducción. Por esta razón, se acostumbra dar un pulso de corriente corto y, de esta manera, se impide la disipación de energía sobrante en la compuerta.

El mismo proceso ocurre con respecto al tercer cuadrante, cuando la tensión en el ánodo MT2 es negativa con respecto al ánodo MT1 y obtenemos la característica invertida. Por esto es un componente simétrico en cuanto a conducción y en estado de bloqueo se refiere, pues la característica en el cuadrante I de la curva es igual a la del III.

Apagado del TRIAC

PREGUNTAS

¿Qué cree que deberíamos hacer para que un TRIAC deje de conducir?



Al igual que en un tiristor, el TRIAC deja de conducir cuando se invierte la polaridad ánodo cátodo o bien cuando la corriente cae debajo del valor de mantenimiento.

Aplicaciones más comunes del TRIAC

Su versatilidad lo hace ideal para el control de corrientes alternas. Algunos de sus usos son los siguientes:



Se utiliza como interruptor estático ofreciendo muchas ventajas sobre los interruptores mecánicos convencionales y los relés



Funciona como switch electrónico y también como una pila.



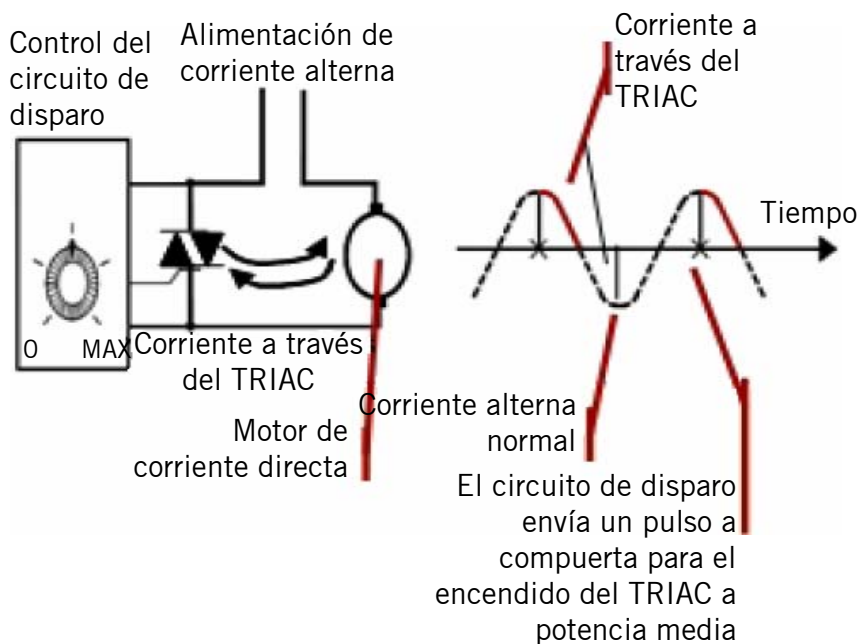
Los de baja potencia pueden utilizarse en muchas aplicaciones como atenuadores de luz, controles de velocidad para motores eléctricos, y en los sistemas de control computarizado de muchos elementos caseros.

Es importante tener en cuenta que cuando se utiliza con cargas inductivas como motores eléctricos, se deben tomar las precauciones necesarias para asegurarse que el TRIAC se apaga correctamente al final de cada semiciclo de la onda de corriente alterna.



EJEMPLO

El circuito que se observa en la siguiente figura es el mismo que se utilizó páginas atrás para mostrar la operación del SCR, pero ahora se utiliza un TRIAC para el control de un motor de corriente alterna. La curva punteada en forma de onda muestra la corriente alterna de alimentación llegando al TRIAC. Esta también es la corriente entrando al motor cuando el circuito de disparo se ajusta a máxima velocidad, pues en ese caso el TRIAC es disparado al principio de cada onda, tanto en el semiciclo positivo como en el negativo.



El circuito que se observa en la siguiente figura es el mismo que se utilizó páginas atrás para mostrar la operación del SCR, pero ahora se utiliza un TRIAC para el control de un motor de corriente alterna. La curva punteada en forma de onda muestra la corriente alterna de alimentación llegando al TRIAC. Esta también es la corriente entrando al motor cuando el circuito de disparo se ajusta a máxima velocidad, pues en ese caso el TRIAC es disparado al principio de cada onda, tanto en el semiciclo positivo como en el negativo.

4.2 Características generales y aplicaciones del DIAC

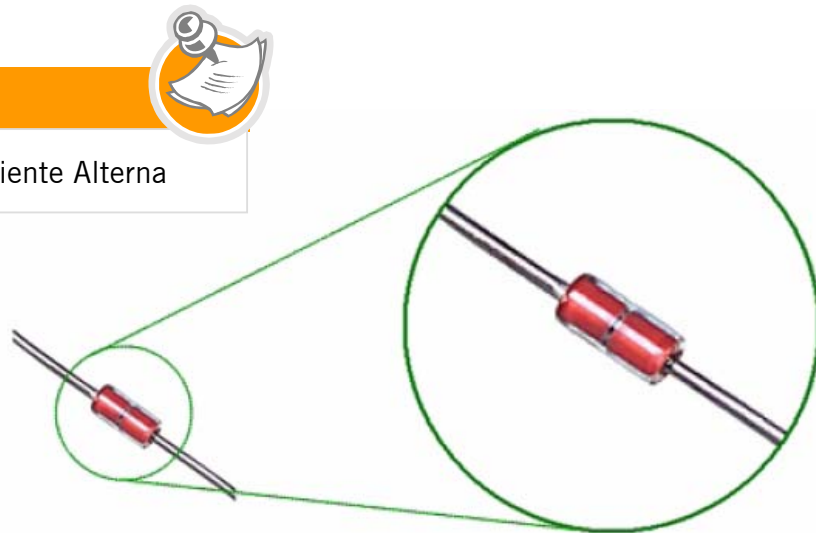
El DIAC es un dispositivo bidireccional. Se usa generalmente para generar pulsos de disparos para el encendido de tiristores que funcionan con corriente alterna.



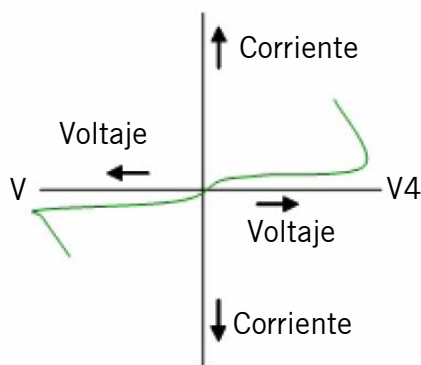
A continuación, podremos observar el símbolo y la curva característica.

RECUERDE

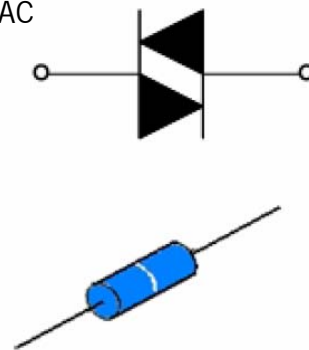
DIAC = Diodo de Corriente Alterna



Características de voltaje - corriente del DIAC



Símbolo del DIAC



Aplicaciones más comunes del DIAC

El DIAC se emplea normalmente en circuitos que realizan un control de fase de la corriente del TRIAC, de forma que solo se aplica tensión a la carga durante una fracción de ciclo de la alterna. Algunos de sus usos son:



Se utiliza para el control de iluminación con intensidad variable.



Se usa en calefacción eléctrica con regulación de temperatura.



Funciona, también, en algunos controles de velocidad de motores.

La forma más simple de utilizar estos controles de velocidad de motores es empleando un circuito, en que la resistencia variable R carga el condensador C hasta que se alcanza la tensión de disparo del DIAC, produciéndose a través de él la descarga de C , cuya corriente alcanza la puerta del TRIAC y lo pone en conducción.

Este mecanismo se produce una vez en el semiciclo positivo y otra en el negativo. El momento del disparo podrá ser ajustado con el valor de R variando, como consecuencia, el tiempo de conducción del TRIAC y, por tanto, el valor de la tensión media aplicada a la carga, obteniéndose un simple pero eficaz control de potencia.

ACTIVIDAD 13. Armado de circuito

La siguiente actividad tiene como propósito profundizar los contenidos vistos sobre TRIAC y DIAC.

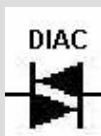


Colocar los números de las referencias que correspondan a cada espacio libre para armar el circuito de disparo de TRIAC mediante un DIAC en un control de velocidad de motor, teniendo en cuenta lo visto.

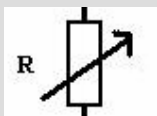
1



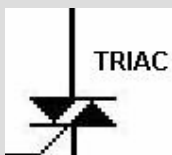
2



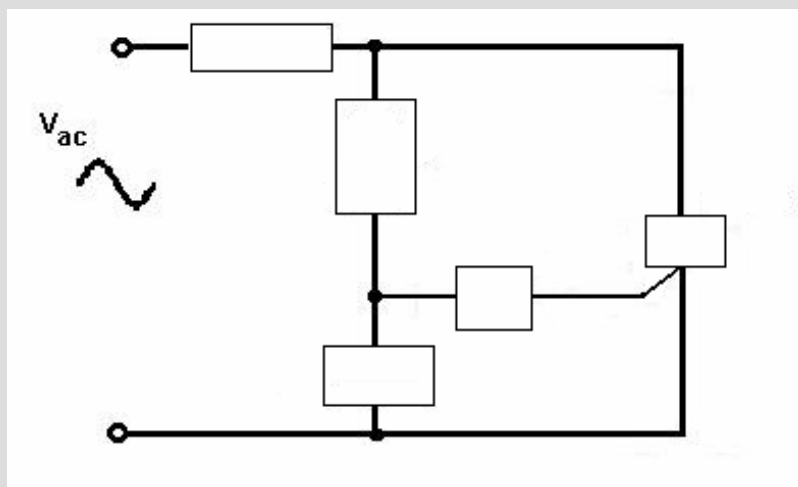
3



4



5



ACTIVIDAD 14. Grilla de Tiristores, TRIAC y DIAC

La siguiente actividad tiene como propósito profundizar los contenidos vistos sobre Tiristores, TRIAC y DIAC.



Completar los siguientes puntos en base a lo visto durante el capítulo tres y cuatro.

1. Mencione alguna posible aplicación del SCR.

2. ¿Qué significan las siglas DIAC?

3. Grafique el símbolo del tiristor.

4. ¿Qué es un TRIAC?

5. Dé un ejemplo de designación de tiristor inverso.

6. Mencione un posible uso del DIAC.

7. ¿Qué significan las siglas SCR?

8. ¿Mediante qué formas puede activarse un tiristor?

9. ¿Cuántas capas contiene el TRIAC en su estructura interna?

10. ¿Qué sucede si al verificar un tiristor con el Óhmetro conduce en inversa sin que se lo dispare?

¡Felicitaciones!

Usted ha finalizado el capítulo 4.

A continuación se desarrollará el capítulo Rectificadores.

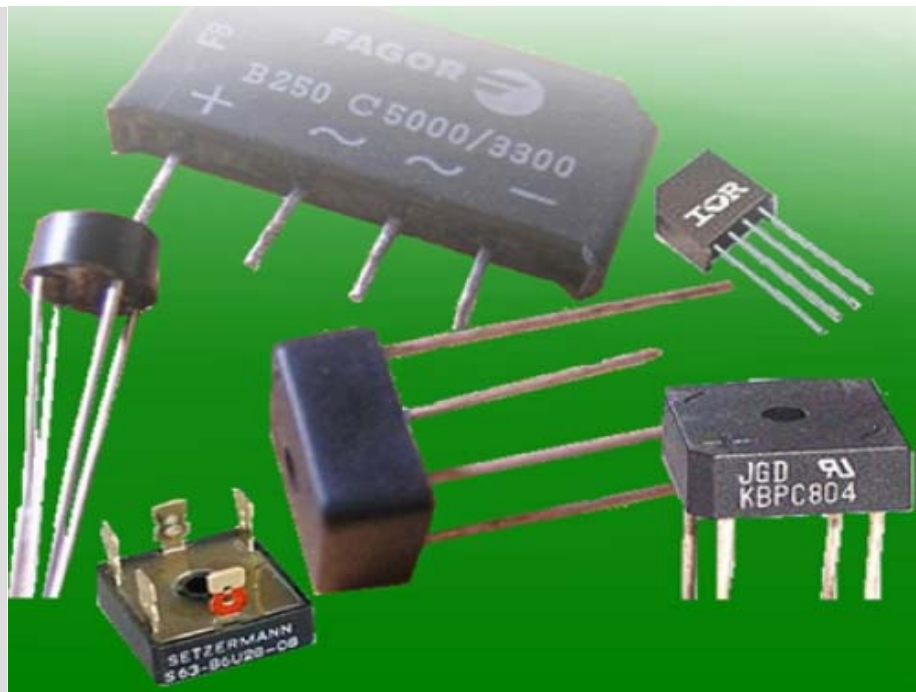


Rectificadores

TEMAS DEL CAPÍTULO 5

5.1 Definición y características generales	68
5.2 Rectificadores monofásicos	69
5.3 Rectificadores trifásicos	77

En este capítulo conoceremos y analizaremos los diferentes tipos de rectificadores, sus características y funcionamiento.



5.1 Definición y características generales

En capítulos anteriores hemos mencionado algunas características y usos de los rectificadores. En esta sección, profundizaremos y ampliaremos las nociones acerca de este dispositivo.

ACTIVIDAD 15. Introducción a los rectificadores

La siguiente actividad tiene como objetivo indagar los conocimientos previos sobre rectificadores.

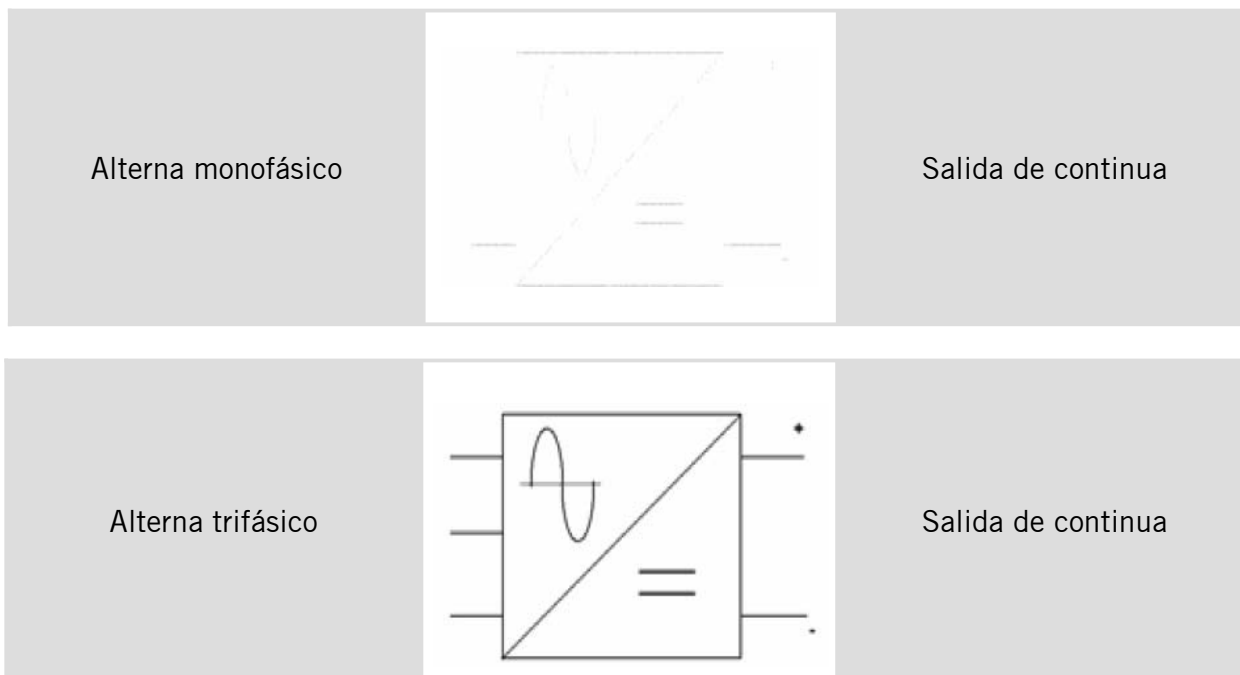


Responder las siguientes preguntas en base a los conocimientos que posee sobre rectificadores y lo visto durante el desarrollo del curso.

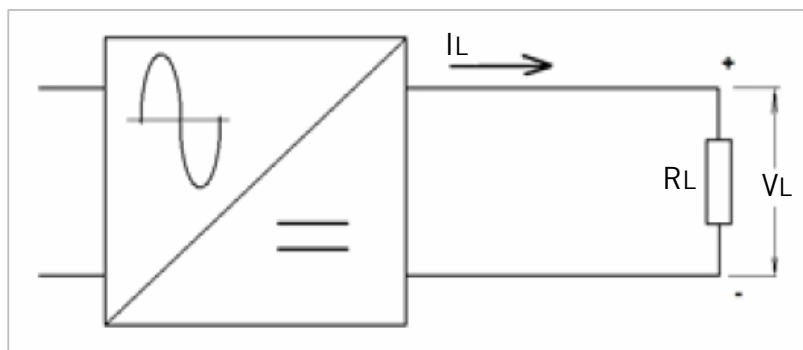
1. ¿Qué es un rectificador?
2. ¿Cómo está compuesto un rectificador?
3. ¿Para qué sirven los rectificadores?
4. ¿En qué casos podrían ser aplicados los rectificadores?
5. ¿Qué tipos de rectificadores conoce?

Definimos como rectificador al dispositivo que permite convertir una señal alterna en una señal continua, superpuesta con una alterna que denominaremos zumbido (ripple en inglés), que luego trataremos de reducirlo a través de un filtro.

La calidad de la señal de salida será mejor en función del tipo de alimentación (monofásica), y del tipo de rectificador utilizado (media onda u onda completa). En general podemos esquematizarlo de la siguiente manera:



Podemos ver, a continuación, un dispositivo rectificador con carga resistiva (como se observa en la figura anterior).



RECUERDE

R_L = Resistencia de carga

V_L = Tensión sobre la carga

I_L = Corriente de carga

Un rectificador está compuesto por diodos (conectados en diversas formas) que permiten convertir una señal alterna en una señal continua.

La aplicación más común de los circuitos rectificadores está en fuentes de poder de corriente directa, pues es, por mucho, el método más confiable para obtener energía de corriente directa.

5.2 Rectificadores monofásicos

Dentro de los rectificadores monofásicos podemos encontrar a los de media onda y los de onda completa. Entre los de onda completa existen los rectificadores con transformador con derivación central (o punto medio) y los de tipo puente.

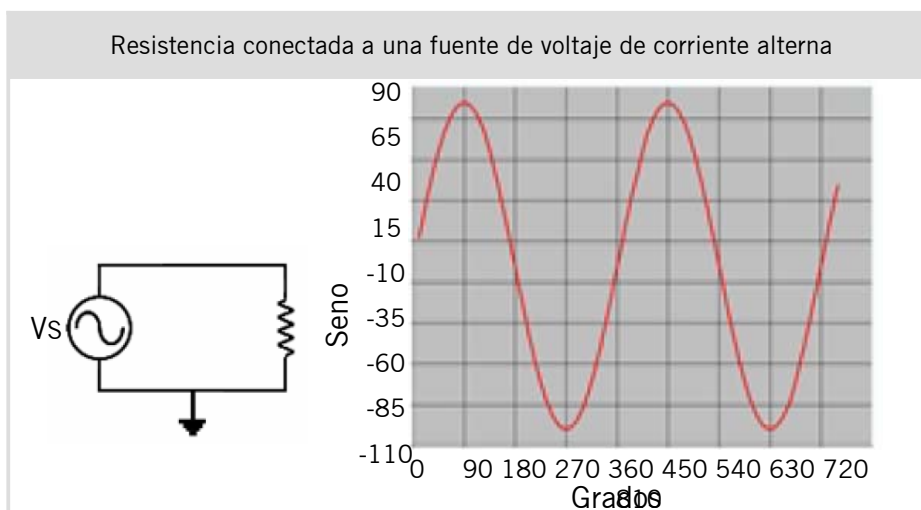


Veamos ahora cada uno de estos tipos de rectificadores monofásicos en detalle.

Rectificador de media onda

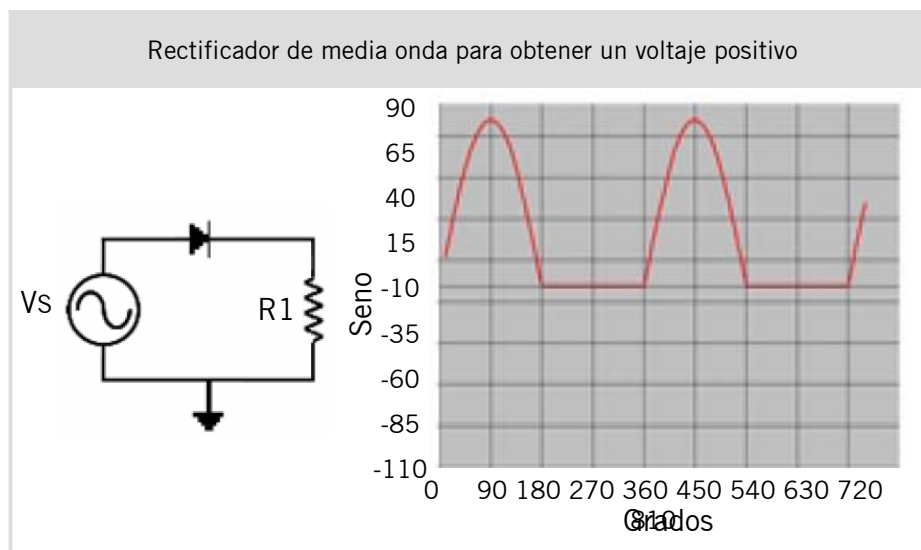
Cuando se aplica una fuente de voltaje de corriente alterna a un diodo y una resistencia en serie, se obtiene el circuito de rectificación más simple: el rectificador de media onda.

En el caso de una fuente de voltaje de corriente alterna conectado a una resistencia, el voltaje en las terminales de la resistencia será igual al de la fuente, presentándose flujo de corriente en ambos sentidos. Esto puede observarse en la siguiente imagen.



ATENCIÓN

Es importante tener en cuenta que en la resistencia aparecen tanto voltajes positivos como negativos.



Agregando ahora un diodo entre la fuente de corriente alterna y la resistencia tal y como se muestra en la figura anterior, según el voltaje que se aplique se obtiene lo siguiente:

Voltaje positivo

El diodo entra en su estado de conducción, permitiendo el paso del voltaje hacia la resistencia.

Voltaje negativo

El diodo entra en su estado de bloqueo y por lo tanto no conduce, impidiendo el flujo de corriente hacia la resistencia.

Hemos obtenido, entonces, una rectificación, aunque el voltaje en R1 no es continuo sino pulsante. Las semiondas senoidales que aparecen se llaman pulsos de tensión.

Como conclusión, el diodo hace que el flujo de corriente a la carga siempre tenga el mismo sentido, produciendo un voltaje positivo en terminales de la resistencia.

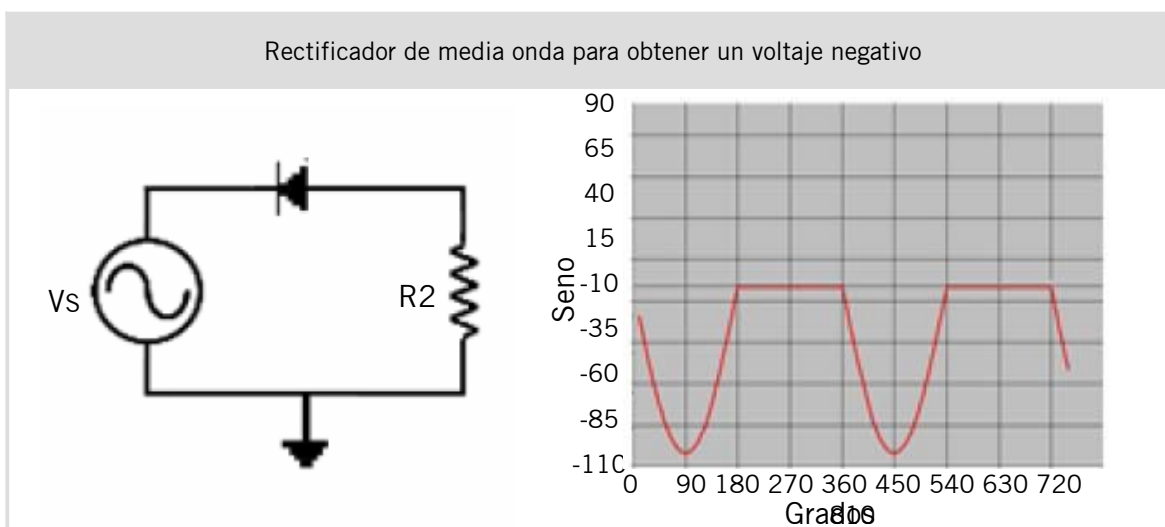
GLOSARIO

Ondas senoidales:

Es una señal análoga. Es la gráfica de la función matemática "Seno".

ATENCIÓN

El diodo hace que el flujo de corriente a la carga siempre tenga el mismo sentido, produciendo un voltaje positivo en terminales de la resistencia.



En la figura podemos ver el mismo tipo de configuración del circuito anterior, pero con el diodo conectado en forma invertida. En este caso, la polarización del voltaje produce en el diodo un estado de polarización o de bloqueo:

Voltaje positivo

El diodo se encuentra en su estado de bloqueo y por lo tanto no conduce, impidiendo el flujo de corriente hacia la resistencia.

Voltaje negativo

El diodo entra en su estado de conducción, permitiendo el paso del voltaje hacia la resistencia.

PREGUNTAS



¿Sabías que el rectificador de media onda es el circuito más simple de rectificación? Y sin embargo, es muy poco utilizado como fuente de voltaje de corriente directa debido a su alto rango de variación del voltaje a su salida, lo cual genera la necesidad de un filtrado muy robusto.

Por otra parte, el rectificador de media onda es un circuito deficiente como fuente de voltaje constante. Esto se debe a que la corriente sólo fluye hacia la carga en ciertos instantes, en los cuales el diodo está en estado de conducción.

El rectificador de media onda, con filtrado y alisado adecuado, se utiliza frecuentemente como fuente de voltaje de corriente directa en circuitos de comunicaciones, cargadores de baterías y algunos instrumentos electrónicos en donde los requerimientos de corriente son muy pequeños.

Factor de rizado (Ripple)

En este tipo de rectificador el factor de rizado es muy elevado, del 120% y su frecuencia es la misma que la de la red.

Se ve que la tensión inversa de trabajo repetitiva sobre el diodo es igual a la de pico del secundario del transformador.

La corriente media por el diodo es evidentemente igual a la corriente media por la carga. En la siguiente figura podemos ver el efecto de la caída en el diodo, que hasta ahora no hemos considerado.

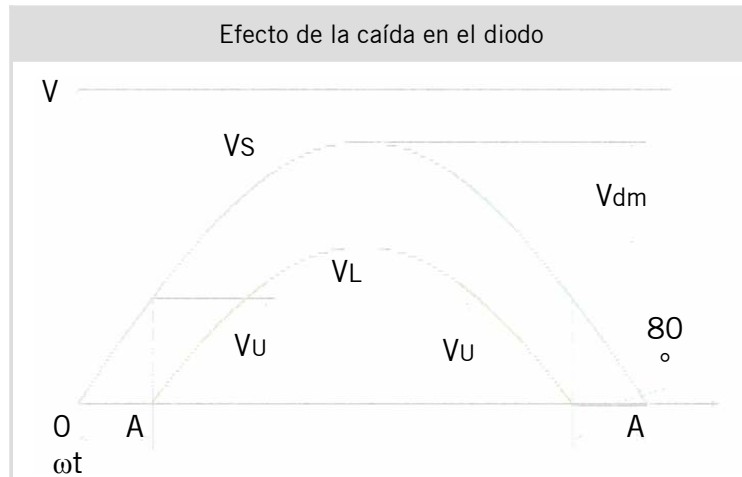
GLOSARIO



Factor de rizado (Ripple):

Es la relación entre el valor eficaz de la componente alterna presente a la salida y el valor medio de la tensión de salida.

Normalmente se expresa en porcentaje.



RECUERDE



V_L = Tensión sobre la carga

I_L = Corriente de carga

V_o = Valor medio de voltaje

I_o = Valor medio de la corriente

Se produce una disminución del valor medio de tensión de salida, ya que el diodo no conduce entre 0° y 180° , sino en un ángulo menor, pues al inicio del hemiciclo hasta que la tensión de umbral del diodo (V_U), éste no conduce (ángulo A en la figura anterior) y cuando al fin del hemiciclo la tensión V_S se hace menor que la tensión de umbral del diodo (V_U), este deja de conducir.

Además, a medida que la tensión V_S crece, lo hace V_L y, por lo tanto, la corriente de carga I_L , de modo que al ser la caída en el diodo función de la corriente a través de él, su caída aumenta al aumentar I_L , siendo el valor V_{dm} marcado en la figura anterior mayor que V_U .

ATENCIÓN



Éste efecto reiterado despreciable, en la mayoría de los casos, es muy importante al trabajar con muy bajas tensiones de entrada (10-12 volts) eficaces o menos y altas corrientes.

Finalmente podemos concluir que:



El valor medio de la tensión de salida V_o , referida al valor pico de la del secundario del transformador, V_{SP} es:

$$V_o = V_{SP} / \pi = 0,32 V_{SP}$$

$$V_o = 4,45 V_{ef}$$



La corriente media por el diodo (I_D) es evidentemente la misma que por la carga, I_o :

$$I = I_o$$



La tensión de pico inversa de trabajo del diodo, V_{rwm} :

$$V = V_{SP}$$

Rectificador de onda completa

En aplicaciones donde se requieran cantidades mayores de corriente se puede utilizar el rectificador de onda completa el cual suministra a su salida una tensión algo menos discontinua que el de media onda.

Existen 2 versiones de este tipo de rectificador:



Rectificador monofásico de onda completa con transformador con derivación central (o punto medio).



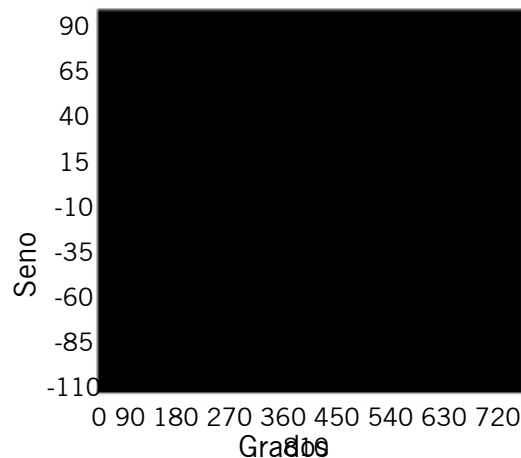
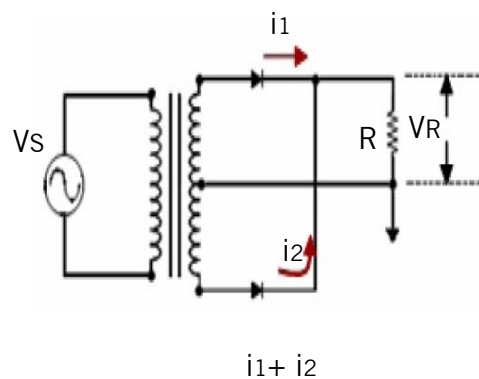
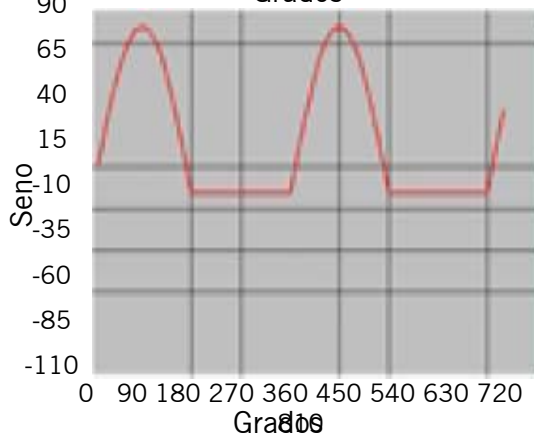
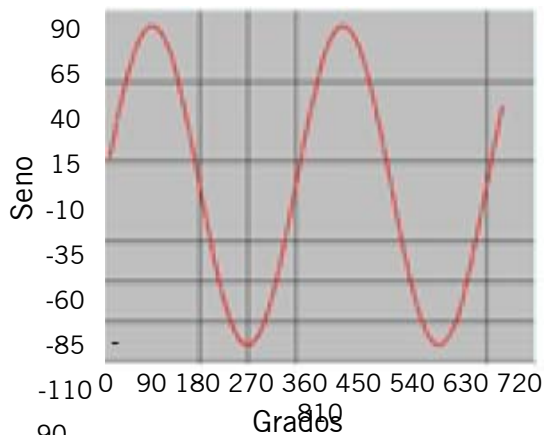
Rectificador monofásico de onda completa en configuración puente.

A continuación veremos cada uno de ellos.

Rectificador monofásico de onda completa con transformador con derivación central (o punto medio)

En este tipo de rectificador, se precisa un transformador con toma central, que suministra a su salida dos tensiones iguales, y dos diodos rectificadores que forman las dos ramas del circuito rectificador, como puede verse en la imagen de este tipo de dispositivo.

Rectificador de onda completa utilizando un transformador con derivación central



Funcionamiento

1	Cuando un extremo del transformador es positivo, el diodo conectado a ese extremo presentará un estado de conducción produciendo un flujo de corriente a la resistencia (I1). En ese mismo instante, el otro extremo del transformador tendrá un voltaje negativo y su diodo presentará el estado de bloqueo comportándose como un interruptor abierto.
2	En el siguiente medio ciclo o semiciclo, la situación se invierte, el diodo que se encontraba conduciendo, ahora se encuentra a un voltaje negativo mostrando estado de bloqueo, en tanto que el diodo que estaba inversamente polarizado ahora tiene un voltaje positivo y conduce (I2).
3	Como ambos diodos alimentan el mismo extremo de la resistencia, el voltaje resultante que aparece en sus terminales siempre es positivo. Esto representa un gran adelanto respecto al de media onda, aún cuando para ser utilizado como fuente de voltaje de corriente directa, sigue requiriendo de un buen filtrado.
4	Calcular IN reemplazando primero las fuentes de tensión y de corriente, y encontrando la corriente a circuito en corto entre las terminales marcadas.
5	A diferencia del rectificador de media onda, ahora aparece voltaje en ambos semiciclos. Debido a esto, se reduce significativamente el tamaño del filtro (condensador), pues ahora no hay espacios sin voltaje en la forma de onda de salida.

ATENCIÓN



Es importante en esta configuración hacer notar que los devanados del secundario del transformador sólo conducen corriente durante medio ciclo. Al conducir cada sección del devanado del transformador únicamente la mitad del tiempo, se dice que se tiene una pobre utilización del transformador.

GLOSARIO



Devanado:

Es el conjunto de espiras destinado a producir el flujo magnético, al ser recorrido por la corriente eléctrica.

Entonces podemos concluir que:



El valor medio de la tensión de salida V_0 , referida al valor pico de la del secundario del transformador, V_{SP} es:

$$V_0 = 2 \cdot V_{SP} / \pi = 0,64 V_{SP}$$

$$V_0 = 0,9 V_{ef}$$



La corriente media por el diodo (I_D) es evidentemente la misma que por la carga, I_0 :

$$I_D = \frac{I_0}{2}$$

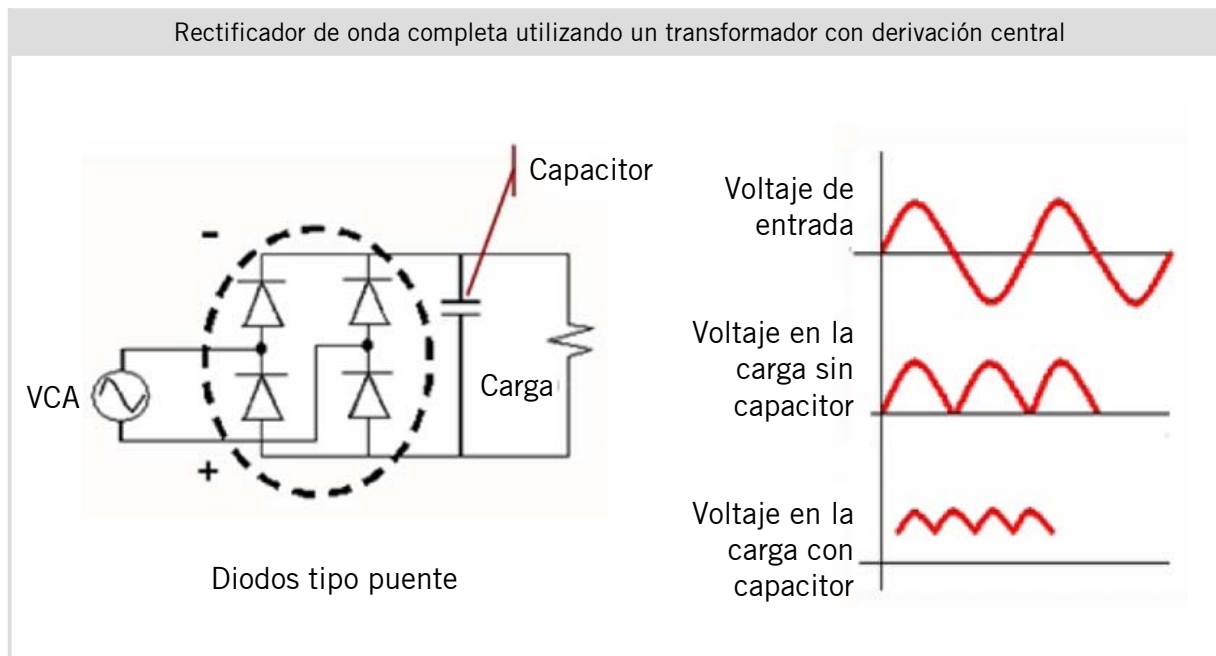


La tensión de pico inversa de trabajo del diodo, V_{rwm} :

$$V_{rwm} = 2V_{SP}$$

Rectificador monofásico de onda completa tipo puente

Este rectificador produce en su salida la misma forma de onda que el rectificador de onda completa con transformador de derivación central, solo que emplea dos diodos adicionales o sea cuatro en total, con la ventaja que el transformador es más pequeño, ya que requiere un solo secundario. En la siguiente figura podemos ver el circuito del rectificador de onda completa tipo puente.



En este tipo de circuitos, se aprovechan los dos semiciclos de la corriente alterna ya que, en el tiempo en que está transcurriendo el semiciclo negativo de la corriente alterna, el arreglo tipo puente genera en la carga otro semiciclo positivo; y si a esto, le agregamos un capacitor que hace que la señal no decaiga o, lo que es lo mismo, que se filtre, estaremos muy próximos a conseguir una señal de corriente directa.



RECUERDE

Capacitor:

Es un dispositivo que almacena energía eléctrica. Actúa como un componente pasivo.

El rizado es el mismo que en el de punto medio, 47%, la tensión media sobre la carga es también la misma y la corriente media por diodo es también la mitad de la carga. La tensión de pico inversa de trabajo de los diodos es la de pico del secundario del transformador (V_{SP}).

Acá también se manifiesta el efecto de la no idealidad de los diodos, con mayor importancia ya que la circulación de corriente es a través de dos diodos en serie en cada hem ciciclo.

Resumimos valores al igual que en los casos anteriores:



El valor medio de la tensión de salida V_0 , referida al valor pico de la del secundario del transformador, V_{SP} es:

$$V_0 = 2 \cdot V_{SP} / \pi = 0,64 V_{SP}$$

$$V_0 = 0,9 V_{ef}$$



La corriente media por el diodo (I_D) es evidentemente la misma que por la carga, I_0 :

$$I_D = \frac{I_0}{2}$$



La tensión de pico inversa de trabajo del diodo, V_{rwm} :

$$V_{rwm} = 2V_{SP}$$

5.3 Rectificadores trifásicos

Los rectificadores monofásicos se utilizan en aplicaciones hasta un nivel de potencia de 15 kW. Para salidas de potencia mayores, en aplicaciones con altos requerimientos de corriente, se utilizan los rectificadores polifásicos. Entre ellos, los más utilizados en el medio industrial, con altas capacidades de potencia, son los rectificadores trifásicos.



Cuando se requiere más potencia eléctrica, como por ejemplo, para energizar motores de más de 1 HP (horse power, es decir, caballos de fuerza) o para producir más de 1 kW (kilowatt) de corriente directa rectificada, se utiliza como suministro la energía eléctrica de corriente alterna trifásica.

Los rectificadores trifásicos tienen tres o seis diodos y ofrecen una forma de onda en corriente directa más lisa que en el caso de los monofásicos.

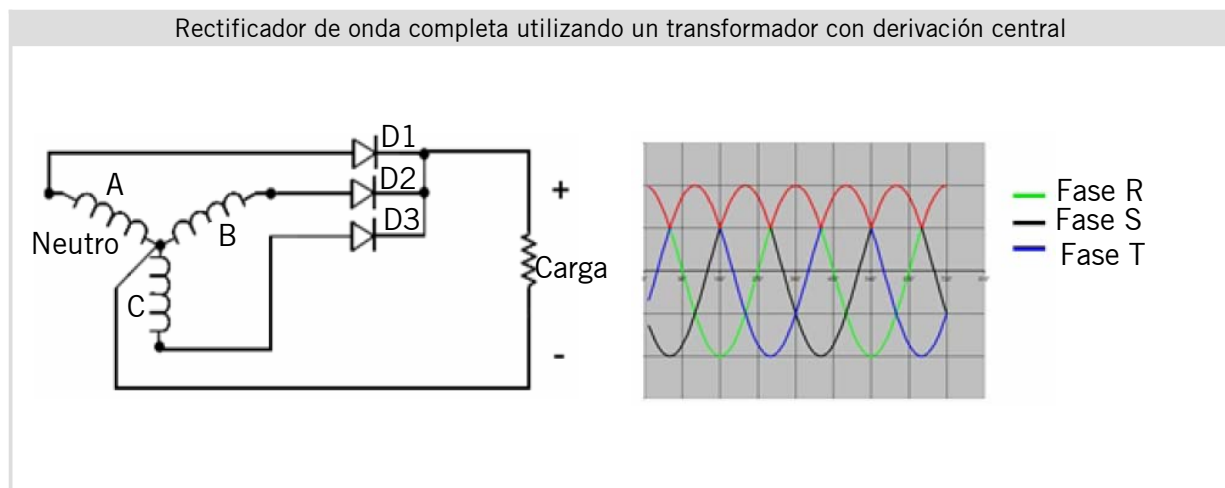
La mayoría de los rectificadores trifásicos son utilizados en aplicaciones con altos requerimientos de corriente.

La fuente de poder trifásica se presenta como tres voltajes monofásicos que se encuentran 120° fuera de fase en el tiempo.

Existen los rectificadores trifásicos de media onda y los de onda completa tipo puente. Veamos cada uno de ellos en detalle.

Rectificador trifásico de media onda

El rectificador trifásico de media onda requiere de un suministro trifásico con neutro, así como se muestra a continuación.



Funcionamiento

1	<p>Los devanados A, B y C suministran el voltaje trifásico formado por ondas senoidales desfasadas 120°. Cada extremo de los devanados del secundario estrella del transformador se encuentra conectado al ánodo de un diodo rectificador.</p> <p>En esta configuración, la fase que tiene el voltaje más positivo hace que su diodo entre en estado de conducción, aplicando durante un cierto tiempo el voltaje positivo presente en esa fase. En la figura anterior se muestra el voltaje de cada una de las fases con respecto al neutro. Se considera que el voltaje trifásico presenta una secuencia de fases ABC.</p>
2	<p>Así, primeramente, se presenta el voltaje más positivo en la fase A, entrando en conducción el diodo 1. Como el voltaje es de corriente alterna, con el paso del tiempo el voltaje de la fase A disminuye en tanto que aumenta el de la fase B.</p>
3	<p>Cuando el voltaje de la fase B alcanza al de la fase A, el diodo 2 entra en conducción produciendo un estado de bloqueo en el diodo 1 que primeramente estaba conduciendo.</p>
4	<p>Lo mismo ocurre cuando el voltaje de la fase B disminuye y el de la fase C lo alcanza. El diodo entra en conducción aplicando el voltaje más positivo de las 3 fases a la carga.</p>
5	<p>En esta forma el flujo de energía eléctrica inicia en el devanado del transformador con voltaje más positivo, a través de la carga y retornando al neutro de la estrella del transformador.</p>
6	<p>En este caso, también se percibe que el voltaje en la carga nunca cae a cero volts (como en el caso de los rectificadores monofásicos). Esto hace que el suministro a la carga sea más uniforme y los requerimientos de filtrado sean menores que para el caso Del monofásico de onda completa.</p>

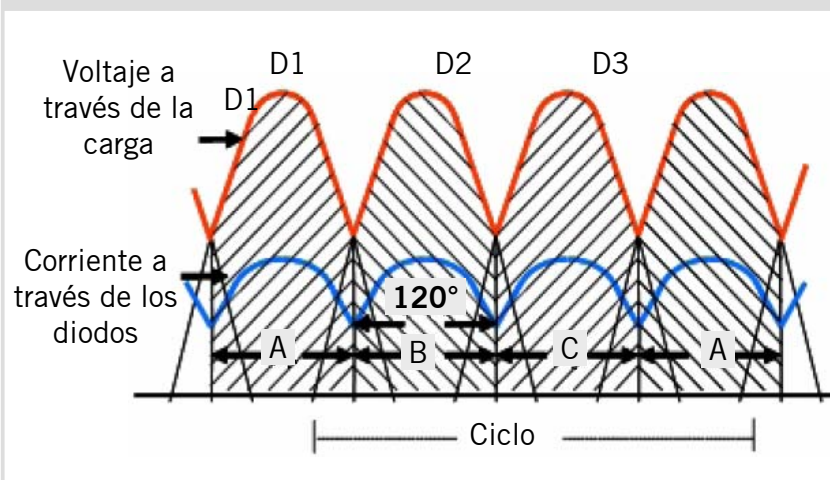
GLOSARIO



Estrella:

Es el tipo de conexión en la que los bobinados se conectan formando una Y.

Rectificador de onda completa utilizando un transformador con derivación central

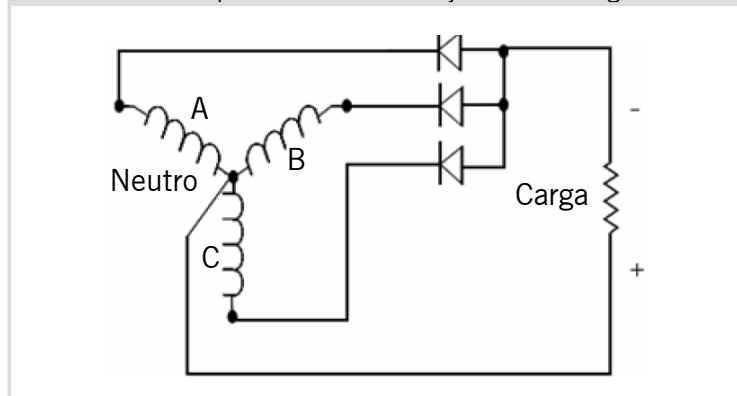


En esta figura vemos la forma un rectificador de media onda trifásico del voltaje de salida y los períodos de conducción de voltaje a cada una de las fases y sus través de la carga respectivos diodos. Cada fase y diodo opera a 120° , esto es, corriente a una tercera parte del ciclo. En través de los la conexión de los diodos unidos por sus cátodos, el voltaje de salida será el voltaje de la fase más positiva, resultando un voltaje de salida positivo.

En caso de conectar los diodos al revés, es decir, con sus ánodos unidos y a la carga, el voltaje de salida sería el voltaje de la fase más negativa, resultando un voltaje de salida negativo.

Esto puede observarse en la imagen.

Rectificador de media onda trifásico con diodos conectados para obtener un voltaje de salida negativo



ATENCIÓN

Es importante tener en cuenta que en el rectificador trifásico de media onda los devanados del transformador se encuentran operando solo una tercera parte del tiempo, lo que hace que su factor de utilización sea bajo en relación al rectificador trifásico más utilizado que es el de tipo puente.

Rectificador trifásico de onda completa tipo puente

El rectificador trifásico de onda completa tipo puente cuenta con seis diodos. Generalmente se encuentra operando conectado al secundario (delta o estrella) de un transformador trifásico. No se requiere que el secundario sea estrella, como en el caso del rectificador trifásico de media onda.

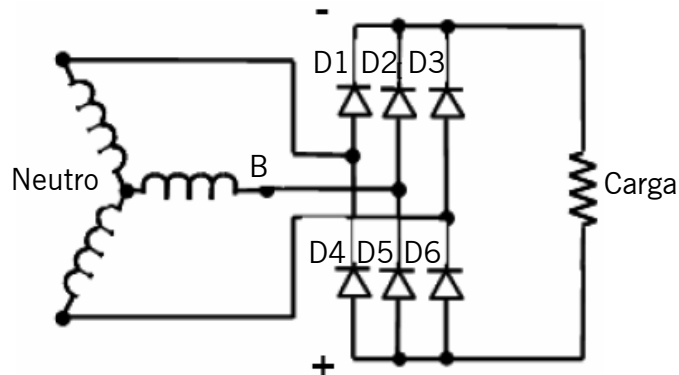
GLOSARIO

Delta:

Es el tipo de conexión en la que los bobinados del transformador se conectan en forma de triángulo.

Si el suministro de voltaje de corriente alterna trifásica al rectificador es de 440 V, la salida rectificada resultante es de 600 V de corriente directa (VCD). En realidad, un rectificador de onda completa trifásico está compuesto por dos rectificadores trifásicos de media onda, como muestra la siguiente imagen, donde el rectificador está conectado al secundario de un transformador.

Rectificador de onda completa trifásico



Los diodos 1, 2 y 3 forman el primer rectificador de media onda y tienen como función aplicar el voltaje más positivo entre las fases a la terminal superior de la carga.

Los diodos 4, 5 y 6 forman el segundo rectificador de media onda y tienen como función aplicar el voltaje más negativo de entre las fases a la terminal inferior de la carga.

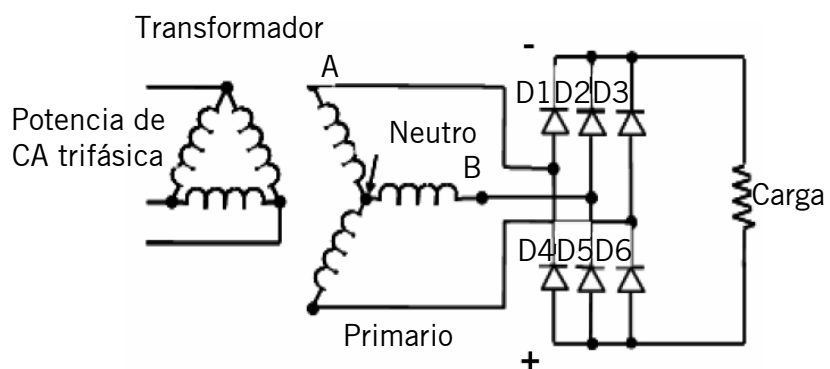
El rectificador trifásico de onda completa generalmente se representa de la siguiente forma:

GLOSARIO

VCA = Tensión de corriente alterna

VCD = Tensión de corriente directa

Configuración estándar de un rectificador trifásico tipo puente



En este caso se considera un transformador delta estrella, donde el secundario estrella suministra el voltaje trifásico de corriente alterna al rectificador puente. Ahora no se requiere la conexión al neutro, pues el flujo de corriente se establece siempre entre las fases.

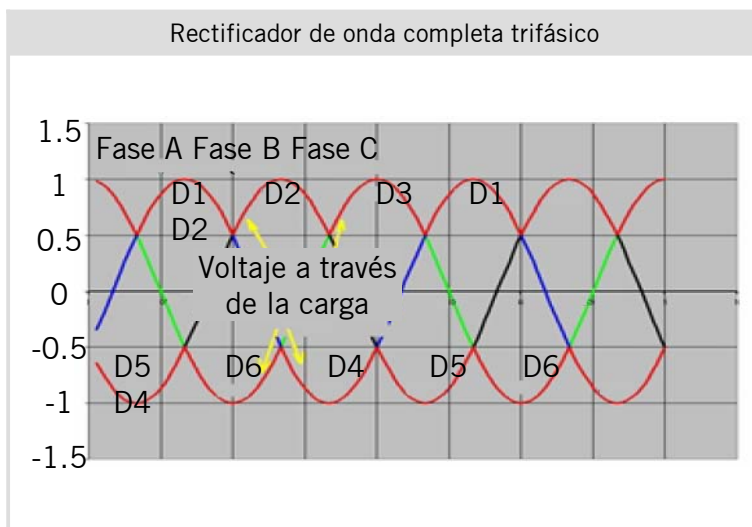
En el secundario del transformador que alimenta al rectificador puente trifásico la corriente fluye alternadamente en ambas direcciones dentro de cada devanado.

Así, el factor de utilización del transformador es mejor que en el caso del rectificador de media onda trifásico.

Funcionamiento

1

Como ya hemos mencionado, los diodos 1, 2 y 3 aplican el voltaje más positivo de las fases a la terminal superior de la carga. Los diodos 4, 5 y 6, por otra parte, aplican el voltaje más negativo a la terminal inferior de la carga.



De esta forma, constantemente se está aplicado a la carga y secuencia de conducción está aplicando el máximo voltaje de los diodos en el rectificador trifásico tipo puente de línea a línea del transformador, como puede verse en la imagen.

Podemos ver también, cómo constantemente se aplica el voltaje de la fase más positiva a una de las terminales de la carga y el voltaje de la fase más negativa a la otra terminal.

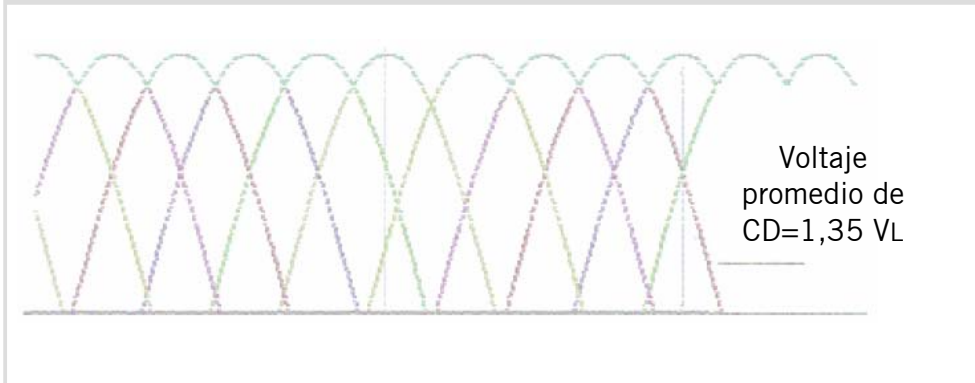
Esto hace que se tenga una alta relación entre el voltaje de línea aplicado al rectificador y el voltaje de corriente directa aplicado a la carga.

2

El voltaje de corriente directa aplicado a la carga será igual a 1.35 veces el voltaje de corriente alterna de línea que alimenta al rectificador. Así, para 440 VCA se obtendrían aproximadamente 600 V de corriente directa y para 220 VCA se tendría aproximadamente 300 VCD.

El voltaje de salida de un rectificador trifásico tipo puente es bastante uniforme, haciéndolo una excelente opción para obtener corriente directa en aplicaciones de media y alta potencia.

Rectificador de onda completa trifásico



La curva de voltaje de salida de este rectificador trifásico tiene seis picos o de rizados en cada ciclo completo de la fuente de CA.

ATENCIÓN

El conocimiento de los circuitos rectificadores es fundamental para entender otros tipos de circuitos industriales de amplia aplicación tales como los convertidores y los inversores para el control de motores de corriente directa y corriente alterna.

ACTIVIDAD 16. Identificación de rectificadores

La siguiente actividad tiene como propósito profundizar y reafirmar los conocimientos de los rectificadores vistos.



Colocar la referencia correspondiente a cada una de las frases, valores o gráficos en el lugar de la tabla al que pertenece

Rectificadores					
	Monofásicos			Trifásicos	
	Media onda	Onda completa		Media onda	Onda completa tipo puente
		De derivación central	De tipo puente		
Frases					
Gráficas					
Valores					

Valores

a

$$V = sP$$

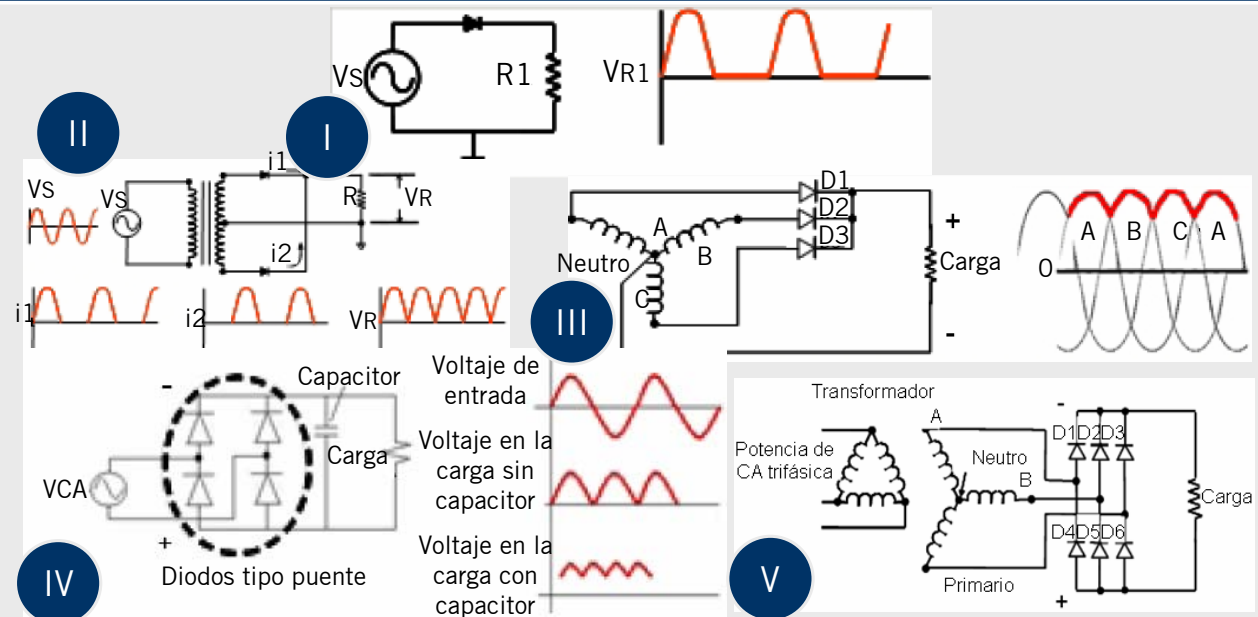
b

$$I_D = \frac{I_o}{2}$$

c

$$I = 0$$

Gráficos



Frases

1

Emplea cuatro diodos. El transformador es simple.

2

La conexión puede ser de tipo estrella o delta.

3

Requiere un suministro trifásico con neutro

4

Con él se obtiene el circuito más simple, aplicando una fuente de voltaje de corriente alterna a un diodo y una resistencia en serie.

5

El transformador requiere de una conexión de tipo estrella.

6

Cuenta con seis diodos.

7

Requiere de un transformador con toma central que suministra a su salida dos tensiones iguales, 7 y dos diodos rectificadores que forman las ramas del circuito

¡Felicitaciones!

Usted ha finalizado el capítulo 5.

A continuación se desarrollará el capítulo Filtrado.

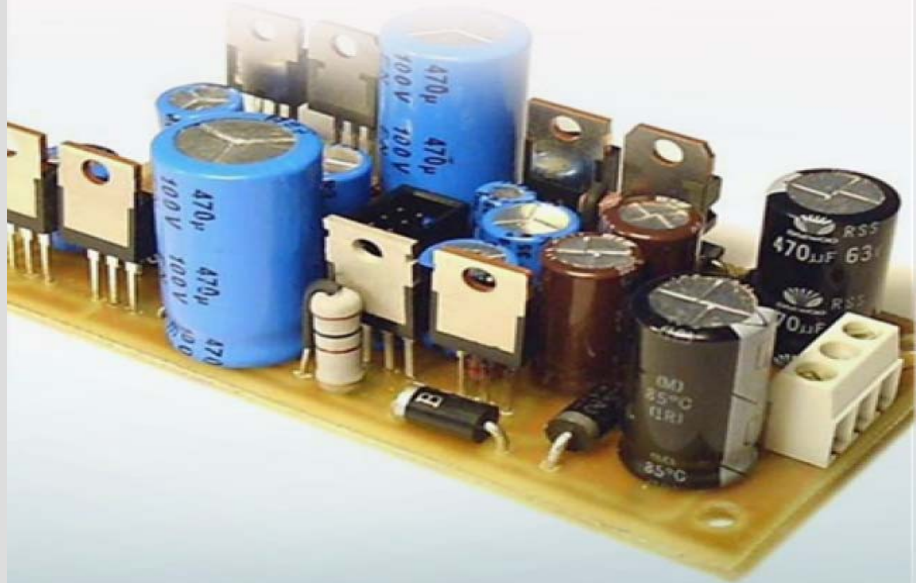


Filtrado

TEMAS DEL CAPÍTULO 6

6.1 Introducción	86
6.2 Filtro de entrada inductiva	86
6.3 Filtro de entrada capacitiva	88

En este capítulo conoceremos los diferentes tipos de filtros y sus usos.



6.1 Introducción

Como ya hemos mencionado, la tensión sobre una carga resistiva y, por lo tanto, la corriente, alimentada desde un rectificador, tiene un rizado superpuesto a una continua que es el valor medio. Normalmente un rectificador se emplea para alimentar equipo eléctrico o electrónico, no a una resistencia, pero en general la carga puede ser representada como una resistencia equivalente. Para eliminar el rizado se emplean dos tipos de filtros, el de entrada inductiva y el de entrada capacitiva.

6.2 Filtro de entrada inductiva



Veremos ahora un tipo de filtro, el de entrada inductiva. Como ya hemos mencionado, este se utiliza para eliminar el rizado.

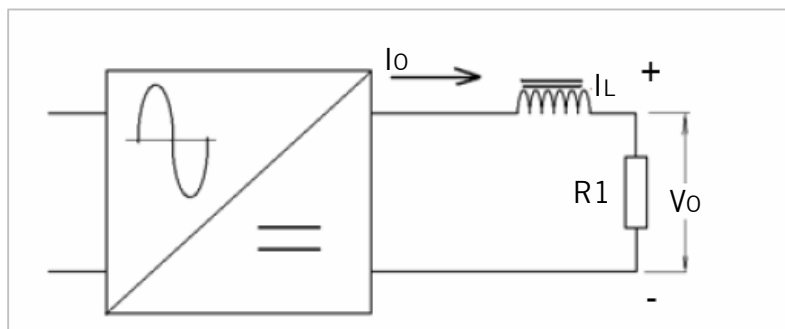
Para comprender como funciona, veamos la siguiente figura.



RECUERDE

V_o = Valor medio de tensión sobre la carga.

I_o = Valor medio de corriente sobre la carga.



El esquema es el de la figura que se muestra, donde R_L representa la carga, sobre la que deseamos tener una tensión V_o libre de rizado, para lo cual, entre la salida del rectificador y la carga, se conecta una inductancia L en serie.

Cabe aclarar que, por aspectos teóricos vinculados a la regulación de carga de la fuente, los rectificadores que se emplean con filtro de entrada inductiva deben ser necesariamente monofásicos de onda completa o polifásicos.

La bondad de una fuente de entrada inductiva se basa en que este tipo de filtro no perjudica la regulación original del rectificador sin filtro y ello no es posible de lograr con un rectificador monofásico de media onda.

Recordemos algunos términos que nos ayudarán a comprender este tipo de filtrado.

RECUERDE



Inductancia (L):

Se denomina así a la relación entre el flujo producido por la corriente I exclusivamente, y la intensidad de corriente eléctrica.

GLOSARIO



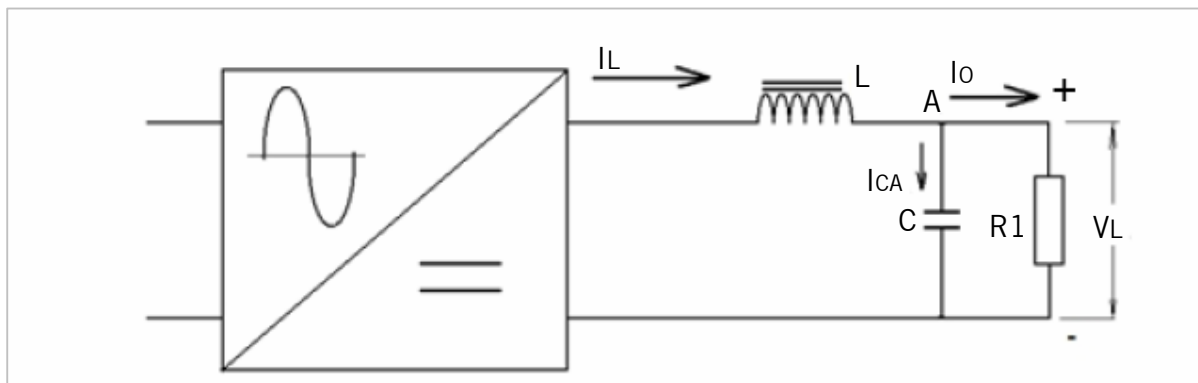
Regulación de carga de una fuente:

Es la capacidad de la fuente de mantener la tensión a pesar de la variación de corriente de carga.

De acuerdo a lo visto, la corriente no tiene una componente alterna supuesta al valor medio I_o . La componente alterna es limitada por la inductancia, a mayor valor de L , menor componente alterna y más pura la componente continua.

Si la inductancia tuviese un valor infinito, se opondrá totalmente a la circulación de la componente alterna y sólo podría circular la componente continua por la carga R_L , produciendo una tensión continua pura V_o . Esto equivale a decir que la tensión de rizado es la componente alterna de la tensión V_L . Evidentemente una inductancia infinita no puede construirse, pero aún así, valores muy grandes de inductancia que dejen pasar sólo una pequeña componente alterna, resultan muy voluminosas y pesadas (mucho hierro y cobre), además de costosas.

Por lo tanto se procede generalmente a reducir la inductancia hasta un valor mínimo llamado "inductancia crítica", que es el mínimo compatible con el correcto funcionamiento de la fuente (es decir que mantenga la regulación). Al reducir el valor de inductancia, la cuál luego se deriva a través de un capacitor C , es conectado en paralelo con la carga R_L , como podemos ver en la siguiente figura.



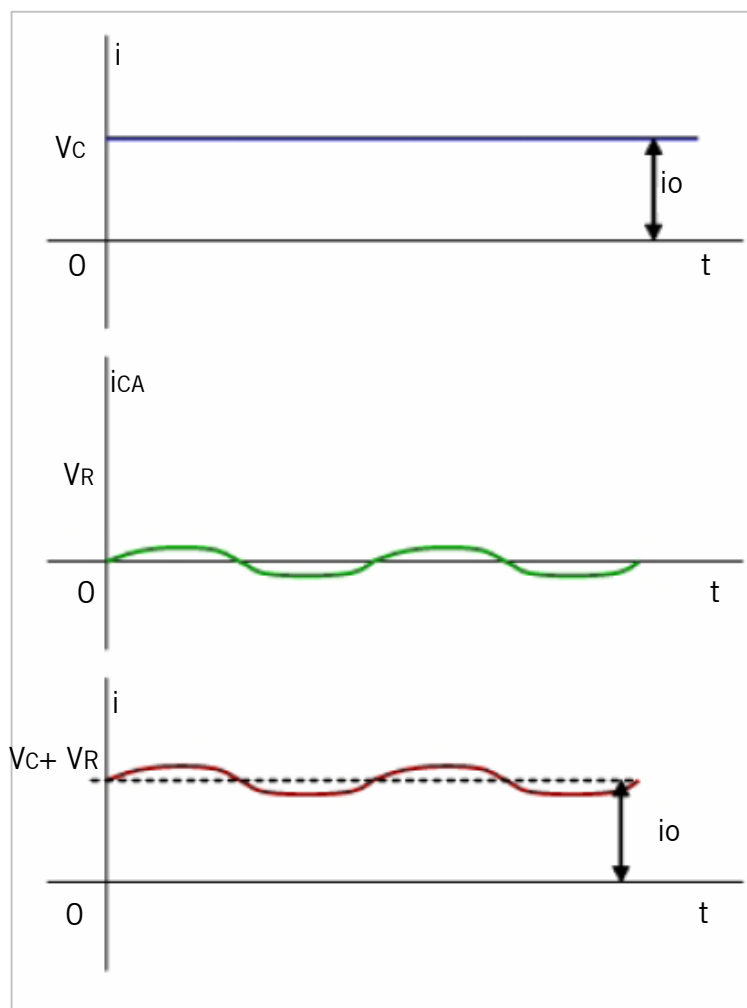
Si al punto A de la figura, le aplicamos la primera ley de Kirchoff admitiendo un valor de C grande, la componente i_{CA} se irá por el capacitor y la i_o , que es continua pura, no podrá atravesar el capacitor y circulará por RL. El valor de inductancia crítica depende de RL y de la configuración rectificadora (monofásica onda completa, trifásica media onda o trifásica onda completa), al aumentar RL (o sea al disminuir i_o), aumenta el valor de inductancia crítica.

RECUERDE

Inductancia (L):

Se denomina así a la relación entre el flujo producido por la corriente I exclusivamente, y la intensidad de corriente eléctrica.

La corriente total i_L es la suma de la componente alterna i_{CA} más la continua i_o , las que se ven en la figura que se presenta a continuación.



Cuando la corriente i_o se llega a anular porque RL se desconecta o bien i_o se hace muy pequeña porque RL aumenta demasiado, se suele agregar en paralelo con la carga una resistencia permanente llamada "resistor de drenaje", de modo de mantener una corriente continua mínima y que el efecto de la inductancia crítica no se anule.

Cabe aclarar que los valores de corriente media por diodo y tensión de pico inversa son los mismos que con carga resistiva.

6.3 Filtro de entrada capacitiva

Este tipo de filtro es el más empleado en electrónica por ser más económico que el anterior y por el hecho de que puede lograrse mucha mejor regulación por medios electrónicos, al menos en potencias del orden de hasta unos 500 watts aproximadamente. Inclusive se lo encuentra, en filtros de rectificadores trifásicos empleados en variadores de velocidades de motores jaula de ardilla por variación de frecuencia en potencias de 400 K watts.



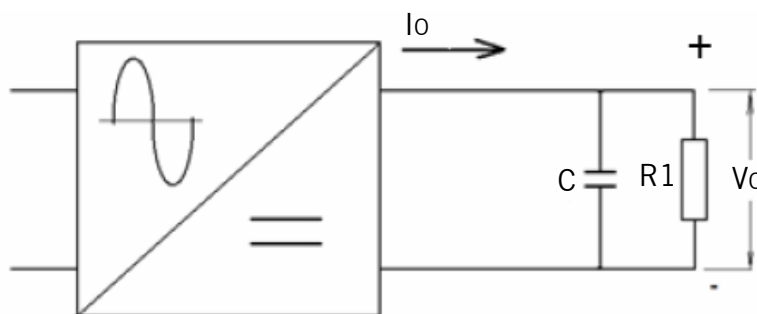
RECUERDE

Capacitancia (C):

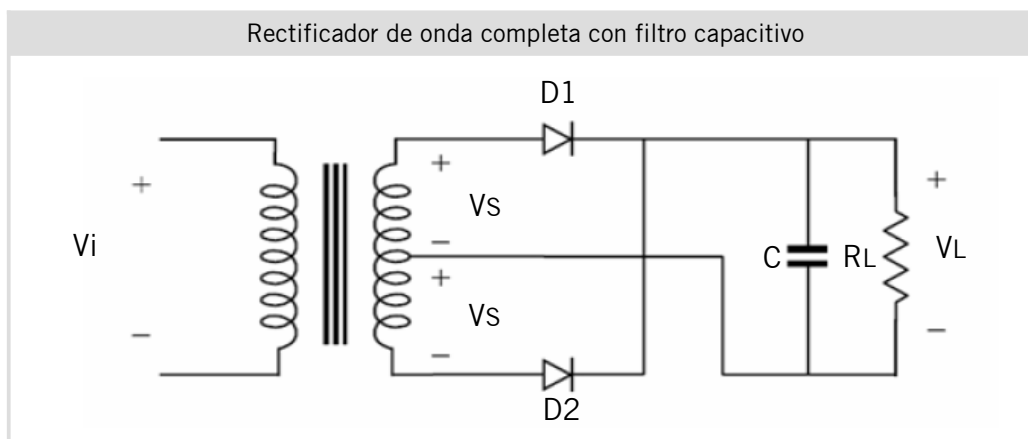
Es la oposición que se ofrece a cualquier cambio en el voltaje.

En el esquema básico vemos que el rectificador puede ser monofásico de media onda o de onda completa. Veamos el efecto de diversos parámetros, aplicándolo a un rectificador de onda completa del tipo derivación central, tal como lo muestra la figura.

Esquema básico del filtro de entrada capacitiva

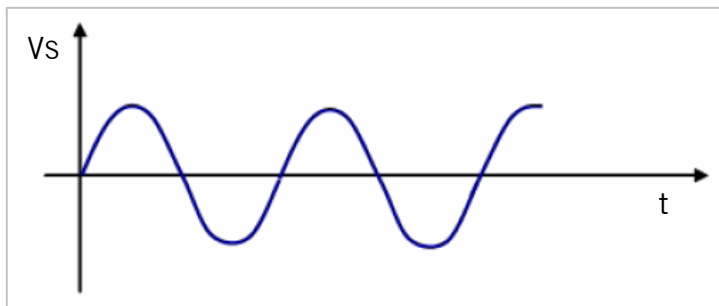


Rectificador de onda completa con filtro capacitivo

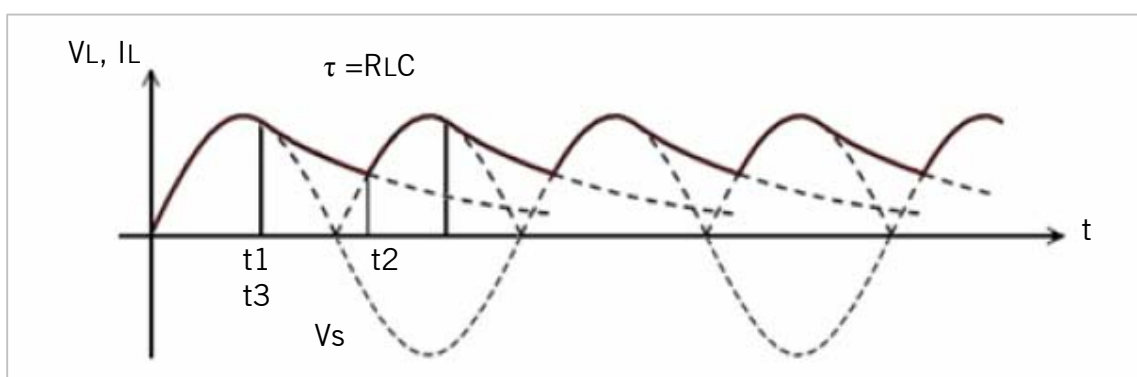


En las siguientes imágenes vemos el efecto de aumentar la capacidad C en paralelo con la carga, o sea aumentar la constante de tiempo de descarga:

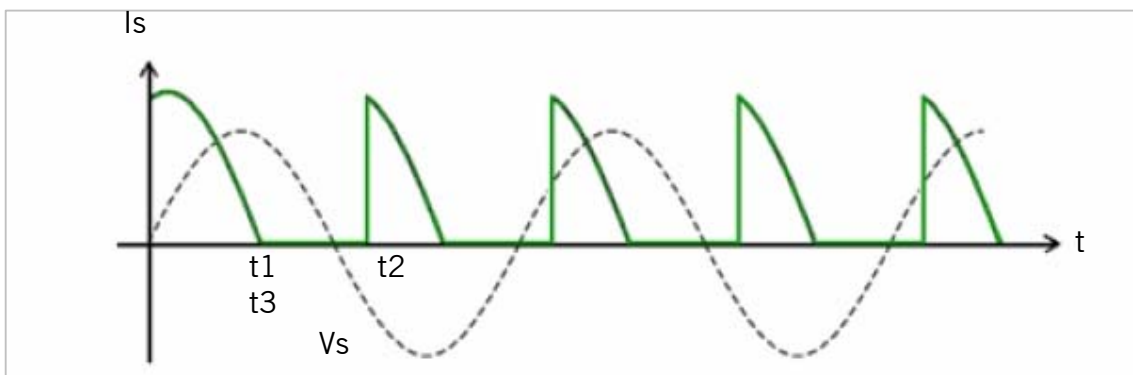
$$\tau D = C \cdot RL$$



La curva de trazos corresponde a una RD mayor que la de la curva llena. En primer lugar se observa que el valor medio de la tensión de salida aumenta y consecuentemente disminuye el zumbido (o sea la componente alterna superpuesta).



En segundo lugar podemos ver que el aumento de τD provoca una disminución del ángulo de conducción de los diodos, lo que significa una mayor corriente de pico respectiva.



ATENCIÓN

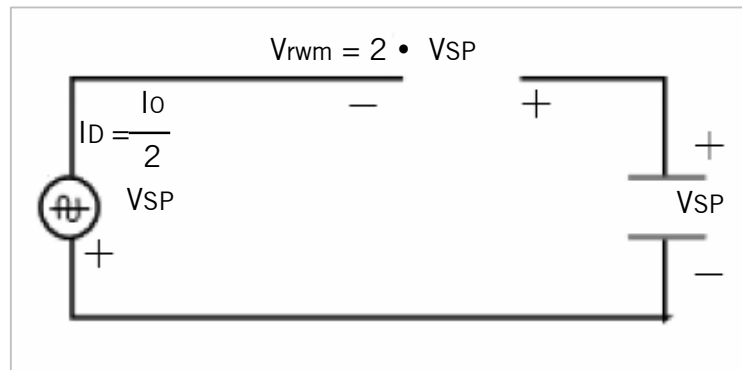
Es importante tener en cuenta que para la tensión de zumbido conviene usar valores grandes de capacidad de filtro y transformadores "grandes", que tienen poca resistencia interna. Sin embargo esto trae aparejado grandes corrientes de pico repetitiva por los diodos (hasta 30 veces la corriente media de carga), lo que o bien no puede ser soportado por los diodos u obliga a sobredimensionarlo. Es por ello que a veces se suele agregar una resistencia adicional en serie con cada diodo a fin de protegerlos (o sea, se aumenta R_s).

ATENCIÓN

Los capacitores de filtro son electrolíticos de valores típicamente entre $1\mu\text{F}$ y hasta $30000\mu\text{F}$ o más en caso de grandes corrientes de carga (4 o 5 amperes). Las corrientes medias por diodo siguen siendo, para el de media onda igual a la de carga; para la onda completa igual a la mitad de la de carga.

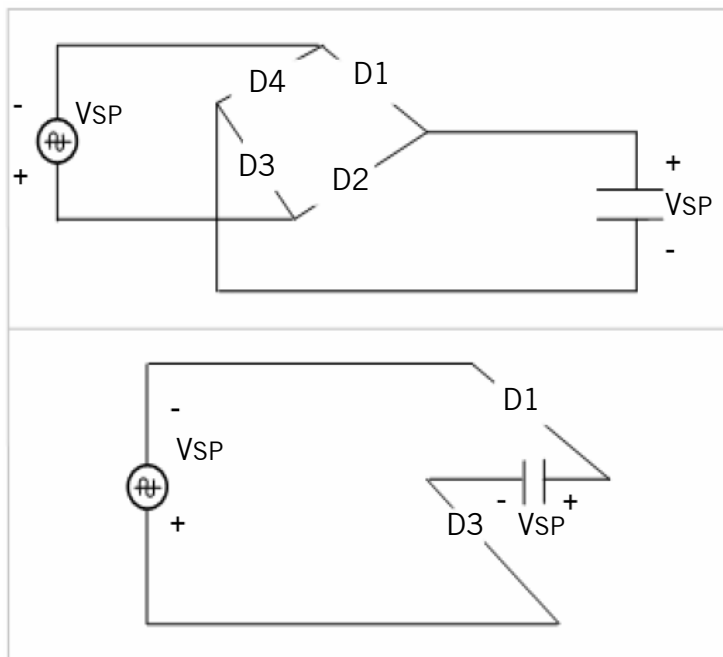
Veamos ahora qué ocurre con una tensión inversa de trabajo.

En este caso la situación cambia. La siguiente figura muestra cómo queda el circuito en uno de media onda, cuando el diodo no conduce y la tensión de fuente está en el hemiciclo negativo. Puede verse que el capacitor ha quedado cargado, con un valor cercano a V_{SP} que en el caso extremo es igual a V_{SP} . Por lo tanto, la tensión de tipo inversa de trabajo es:



$$V_{rw} = 2 \cdot V_{SP}$$

En la figura anterior podemos ver que es aplicable también a cada diodo de un rectificador monofásico de onda completa con derivación central, de modo que la tensión de pico inversa de trabajo es para cada diodo también igual a $2 V_{SP}$.



Para el puente, la primera figura muestra como queda el circuito de un monofásico puente cuando se encuentra en el hemiciclo negativo, cerca del pico, sin conducir aún $D2$ y $D4$, con el capacitor cargado con V_s , por ejemplo; los diodos $D1$ y $D3$ cerca de su máxima tensión inversa. La segunda figura, muestra el mismo circuito deformado para ver mejor la situación. Se ve que quedan $D1$ y $D3$ abiertos y en serie con una tensión igual al doble de la tensión de pico.

Esto es, la tensión inversa total, $2 \cdot V_{SP}$, se reparte entre los diodos D1 y D3. Si estos son iguales, se reparte entonces una tensión igual a V_{SP} . Ello no siempre es posible, de modo que siempre uno soporta una tensión mayor que el otro, por lo que conviene poner diodos con tensión de trabajo igual a $2 V_{SP}$ como mínimo o asegurarse el uso de diodos de la misma partida.

ATENCIÓN

Es por ello que es conveniente no cambiar nunca un solo diodo en un puente, sino cambiarlo junto con el ubicado en la diagonal opuesta.

Otra medida de seguridad es colocar resistencias de valor elevado (solo en caso de muy altas tensiones) en paralelo con los diodos.

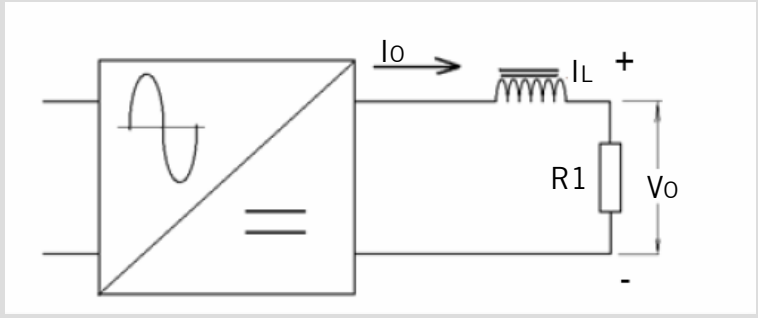
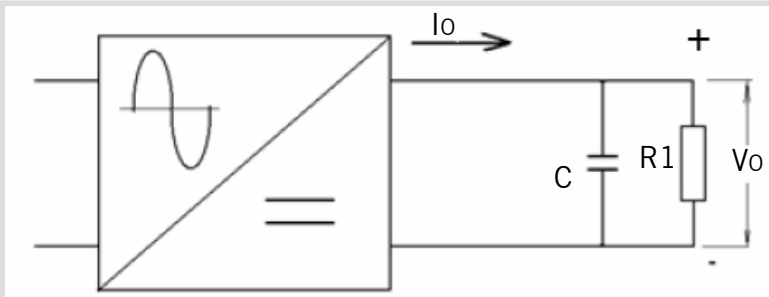
ACTIVIDAD 17. Tipos de filtros.

La siguiente actividad tiene como propósito profundizar y reafirmar los conocimientos sobre los distintos tipos de filtros.



Colocar una cruz en el casillero correcto según a qué tipo de filtro corresponda.

	De entrada inductiva	De entrada capacitiva
Se utiliza en rectificadores trifásicos		
Trabaja ofreciendo resistencia a la tensión		
No perjudica a la regulación original del rectificador sin filtro		
Puede utilizarse en rectificadores monofásicos de media onda		
Se le suele agregar una resistencia permanente en paralelo a la carga		
Se utiliza solo en rectificadores monofásicos de onda completa o polifásicos		
Es el filtro más empleado		

	De entrada inductiva	De entrada capacitiva
Trabaja ofreciendo resistencia a la corriente		
A veces se le suele agregar una resistencia adicional en serie con cada diodo a fin de protegerlos		
		
		

En este punto termina el contenido sobre Filtrado.

¡Felicitaciones!

Ha finalizado el curso de Electrónica Básica I.

