

Prefacio

El presente documento forma parte del programa de estudios de la materia Introducción a la Electrónica ofrecida a sus estudiantes en el Instituto Universitario de Tecnología para la informática – Iutepi. Sirve de apoyo complementario bajo la modalidad de autoaprendizaje publicado en su campus virtual, a todos los alumnos que cursan la materia.

Contenido del programa de estudios

- Elementos Semiconductores. Descripción. Características y Análisis de sus materiales de Fabricación.
- El Diodo
- El Diodo y sus aplicaciones
- El Transistor

Elementos Semiconductores. Descripción. Características y Análisis de sus materiales de Fabricación.

Los Semiconductores son materiales que poseen propiedades intermedias de conducción. Para comprender mejor esta definición es necesario recordar la clasificación de los elementos según su capacidad de conducción; en la naturaleza encontramos materiales Conductores, Aislantes y Semiconductores.

Por ejemplo, hay materiales que a partir de una cierta temperatura son conductores, pero por debajo de esa temperatura, son aislantes.

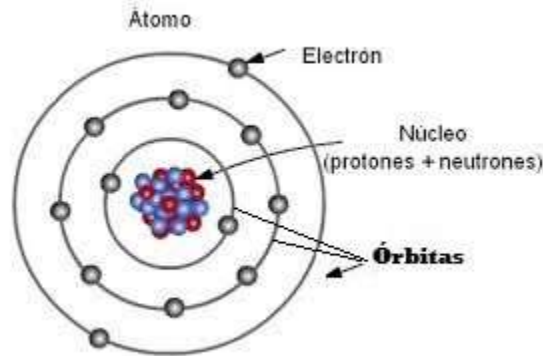
Otros factores que pueden influir en la conductividad de los semiconductores son la presión, presencia de un campo magnético o eléctrico o una radiación incidiendo sobre el semiconductor.

Los semiconductores más empleados para la fabricación de circuitos integrados son Silicio y Germanio, además requieren que les añada átomos adicionales de Boro, Indio, Fosforo y Antimonio.

Estudio del Átomo

Para entender los principios físicos de los semiconductores tenemos que conocer como están formados los átomos de los elementos.

En el núcleo del átomo se encuentran protones, con carga positiva y los neutrones, solo con masa, no tienen carga eléctrica. Fuera del núcleo y girando alrededor de él, en las llamadas órbitas, se encuentran los electrones, con la misma carga que los protones pero negativa.



Cualquier átomo tiene el mismo número de protones en su núcleo que electrones girando en órbitas alrededor del núcleo. La carga positiva de los protones se anula con la negativa de los electrones, por eso el átomo, en su estado normal, tiene carga eléctrica nula (no tiene carga).

Pero no todos los átomos son iguales. Cada elemento de la tabla periódica tiene diferentes átomos, pero todos están formados por las mismas partículas: protones, neutrones y electrones. Solo se diferencian en el número de ellas. El número de protones o electrones determina el número atómico del elemento.

Los electrones son las partículas que realmente importan para estudiar la conducción eléctrica. La corriente eléctrica es un movimiento de electrones. Si somos capaces de mover los electrones de los átomos de un material de un átomo a otro, conseguiremos generar corriente eléctrica por él. Esta material se convertirá en conductor. Hay materiales que no podemos mover los electrones de sus átomos nunca, serán los aislantes.

- Conductor: los electrones de sus átomos podemos moverlos de un átomo a otro fácilmente.
- Aislante: los electrones de sus átomos no se pueden mover o es muy difícil conseguir moverlos.

Dentro de todos los electrones de un átomo, Los electrones que más fácil nos resultaría hacerles abandonar el átomo son los que se encuentran en la última capa u órbita del átomo. Ahora veremos por qué.

Cada órbita o capa en la que giran los electrones está situada en lo que se llama una banda de energía. Los electrones que están girando en una banda, tiene la misma energía que esa banda. Para pasar un electrón de una banda de energía (capa) a otra necesitamos suministrarle energía para que se produzca el salto.

Los electrones más cercanos al núcleo están muy unidos a él y tienen poca energía. Los más externos son las que tienen más energía, pero los que resulta más fácil hacerles abandonar el átomo, porque precisamente son los más alejados y menos unidos al núcleo.

Para que un electrón de las capas más próximas al núcleo sea capaz de abandonar el átomo, tendríamos que ir pasándolo de capa en capa hasta llegar a la última capa. Es decir necesitaríamos ir suministrándole energía para pasar de una capa a otra hasta llegar a la más externa (banda de valencia). Inicialmente, tienen poca energía y pasarían a mucha energía al llegar a la capa más externa. Esto sería muy difícil de hacer, por este motivo, estos electrones no se usan para abandonar el átomo y provocar corriente eléctrica. Solo se usan los electrones de la última capa, llamados electrones de valencia. Estos son los que utilizaremos para hacerles abandonar el átomo, que pasen a otro y provocar corriente eléctrica por el material.

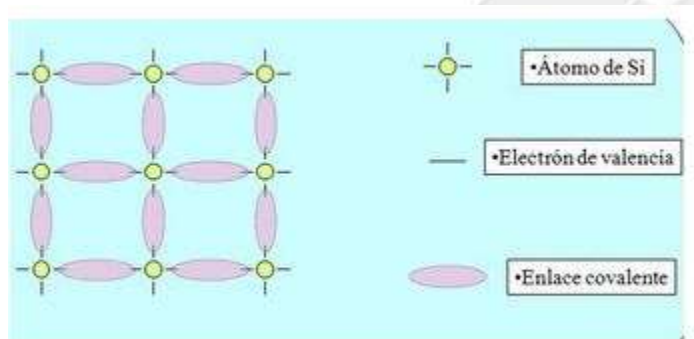
Se puede decir que cuando arrancamos un electrón al átomo, este se desequilibra, pasando a tener carga positiva (un protón más que electrones tenía). Esto es lo que se conoce como ionización, ya que lo convertimos en un ion positivo o catión.

Si por el contrario, el átomo no tiene su última capa llena y, por cualquier circunstancia le llega un electrón nuevo a esta capa, quedará cargado negativamente (un electrón más que protones tenía). Se convierte en un ion negativo o anión.

El carbono, el silicio y el germanio tienen en su última capa 4 electrones, se les llama tetravalente, porque pueden ceder 1, 2, 3 o 4 electrones.

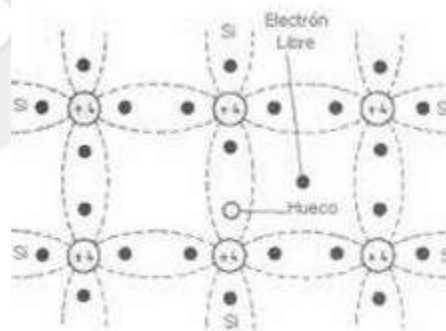
Lógicamente un material está formado por millones de átomos, unidos mediante enlaces. Todos los semiconductores son materiales que tienen sus átomos unidos por enlaces covalentes. Comparten los electrones de su última capa de 2 en 2.

Uno de estos electrones compartidos entre dos átomos por medio del enlace covalente, será el que tengamos que arrancar.



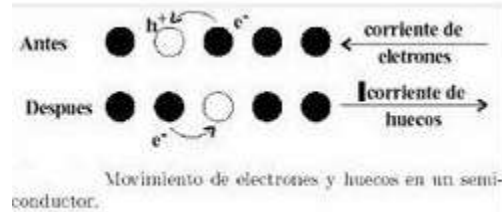
Cuando el electrón abandona el átomo, dejará lo que se llama un hueco.

Concepto Electrón-Hueco



Cuando un electrón se marcha del átomo rompe el enlace covalente de pares de electrones y dejará un hueco vacío (fíjate en la imagen de arriba en el silicio). Este hueco puede ser ocupado, más bien lo ocupará, otro electrón que hubiera abandonado otro átomo cercano a él. Así que se van generando huecos y estos huecos se van rellanando por otros electrones de otros átomos. Así es como pasa la corriente por los semiconductores, pares electrón-hueco.

Se dice que en la conducción de los semiconductores interviene el par electrón-hueco.



Sentido de la Corriente Eléctrica

En un semiconductor los huecos y electrones responden a un campo eléctrico desplazándose en direcciones opuestas. La movilidad de los electrones está relacionada con la temperatura a través de la relación T-m donde es igual a 2.5 para los electrones y 2.7 para los huecos en el silicio. En los semiconductores la corriente eléctrica es el resultado del movimiento de ambas cargas, esto está asociado a dos fenómenos físicos, el primero es la corriente de Desplazamiento (fuga); esta se origina por el movimiento de las cargas cuando se aplica un campo eléctrico. Cuando las cargas son aceleradas por el campo eléctrico se producen que aumentan energía térmica la cual va a fomentar el movimiento de las cargas en forma aleatoria. En segundo lugar tenemos el fenómeno de difusión; por regla las cargas electrones y huecos, se mueven en sentido del gradiente de concentración, van de regiones de mayor concentración a regiones de menor concentración para favorecer el equilibrio de las cargas; este movimiento genera una corriente proporcional al gradiente de concentración. La corriente será:

$$J_n = q \cdot \mu_n \cdot n \cdot E + q \cdot D_n \cdot \left(\frac{dn}{dx} \right) \quad \text{donde } D_n = 34 \text{ cm}^2/\text{s}$$

↓

Corriente de fuga

↓

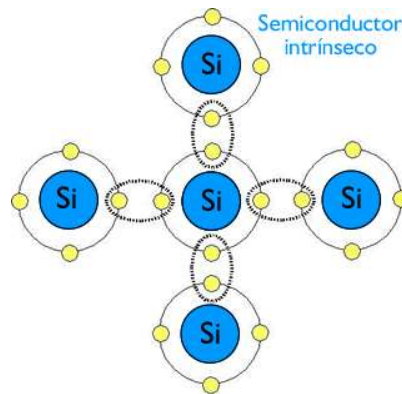
Corriente de Difusión

Materiales Extrínsecos tipo "P" y "N".

Los dos materiales que más se usan para fabricar semiconductores son el Germanio y el Silicio. Ahora bien, purificar un material al cien por cien, requiere procesos muy costosos, lo que hace que los materiales que se usan contengan muchas impurezas. Por la cantidad de impurezas que posean, se pueden clasificar en intrínsecos y extrínsecos.

Semiconductor Intrínseco

Un material semiconductor hecho sólo de un único tipo de átomo, se denomina semiconductor intrínseco. Los más empleados históricamente son el germanio (Ge) y el silicio (Si); siendo éste último el más empleado (por ser mucho más abundante y poder trabajar a temperaturas mayores que el germanio).



Cada átomo de un semiconductor tiene 4 electrones en su órbita externa (electrones de valencia), que comparte con los átomos adyacentes formando 4 enlaces covalentes. De esta manera cada átomo posee 8 electrones en su capa más externa., formando una red cristalina, en la que la unión entre los electrones y sus átomos es muy fuerte. Por consiguiente, en dicha red, los electrones no se desplazan fácilmente, y el material en circunstancias *normales* se comporta como un aislante.

Sin embargo, al aumentar la temperatura, los electrones ganan energía, por lo que algunos pueden separarse del enlace e intervenir en la conducción eléctrica. De esta manera, la resistividad de un semiconductor disminuye con la temperatura (su conductividad aumenta). A temperatura ambiente, algunos electrones de valencia absorben suficiente energía calorífica para librarse del enlace covalente y moverse a través de la red cristalina, convirtiéndose en electrones libres. Si a estos electrones, se les somete al potencial eléctrico, como por ejemplo de una pila, se dirigen al polo positivo. Cuando un electrón libre abandona el átomo de un cristal de silicio, deja en la red cristalina un *hueco*, cuyo efecto es similar al que provocaría una carga positiva. Los electrones y los huecos reciben el nombre de portadores.

ANÁLISIS MATEMÁTICO

Concentraciones en material intrínseco:

$$n = p = n_i$$

Concentración intrínseca:

$$n_i^2 = BT^3 e^{-E_G/kT}$$

B: Parámetro dependiente del material. Para el silicio $5,4 \times 10^{31}$

T: Temperatura en $^{\circ}\text{K}$

E_G : Banda de energía. Para el silicio 1,12 eV. Es la mínima energía requerida para romper un enlace covalente y generar un par electrón-hueco

k: Constante de Boltzmann: $8,62 \times 10^{-5} \text{ eV/}^\circ\text{K}$ A temperatura ambiente $n_i = 1,5 \times 10^{10} \text{ portadores/cm}^3$. Un cristal de silicio tiene $5 \times 10^{22} \text{ átomos/cm}^3$. Están ionizados menos de uno de cada 10^{12} átomos.

CORRIENTE DE DIFUSIÓN

Corriente de difusión de los huecos, dp/dx negativo, J_p positivo en dirección x:

$$J_p = -qD_p \frac{dp}{dx}$$

Corriente de difusión de los electrones, dn/dx negativo, J_n negativo en dirección x:

$$J_n = qD_n \frac{dn}{dx}$$

J: Densidad de corriente en A/cm²

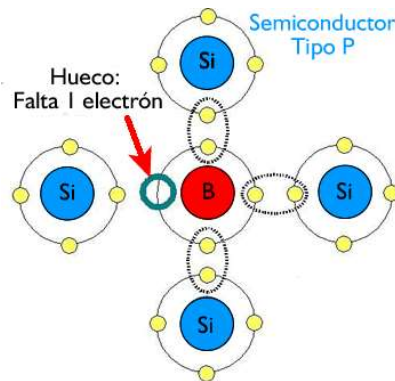
D_p : Constante de difusión de los huecos.

D_n : Constante de difusión de los electrones.

q: Carga del electrón $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

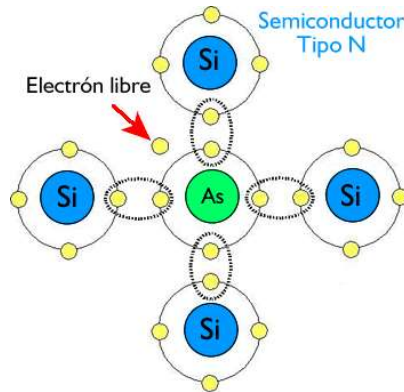
Semiconductor Extrínseco

Para mejorar las propiedades de los semiconductores, se les somete a un proceso de impurificación (llamado dopaje), consistente en introducir átomos de otros elementos con el fin de aumentar su conductividad. El semiconductor obtenido se denominará semiconductor extrínseco. Según la impureza (llamada dopante) distinguimos:



- **Semiconductor tipo P:** se emplean elementos trivalentes (3 electrones de valencia) como el Boro (B), indio (In) o Galio (Ga) como dopantes. Puesto que no aportan los 4 electrones necesarios para establecer los 4

enlaces covalentes, en la red cristalina éstos átomos presentarán un defecto de electrones (para formar los 4 enlaces covalentes). De esa manera se originan huecos que aceptan el paso de electrones que no pertenecen a la red cristalina. Así, al material tipo P también se le denomina donador de huecos (o aceptador de electrones).



Impurezas donantes: Boro.

Densidad de impurezas donantes: N_A

Átomos ionizados tienen carga negativa

Portadores mayoritarios: Huecos. Portadores minoritarios: Electrones

Densidad de portadores mayoritarios en equilibrio: p_{p0}

$$p_{p0} \approx N_A$$

Densidad de portadores minoritarios en equilibrio: n_{p0}

En equilibrio térmico se cumple:

$$n_{p0} = \frac{n_i^2}{N_A}$$

Por lo tanto, en un material tipo N en equilibrio térmico, la concentración de portadores mayoritarios (electrones) permanece prácticamente constante, mientras que la concentración de portadores minoritarios (huecos) depende de la temperatura

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

Impurezas donantes: Fósforo.

Densidad de impurezas donantes: N_D Impurezas donantes: Boro.

Densidad de impurezas donantes: N_A

Átomos ionizados tienen carga negativa

Portadores mayoritarios: Huecos. Portadores minoritarios: Electrones

Densidad de portadores mayoritarios en equilibrio: p_{p0} Átomos ionizados tienen carga positiva

Portadores mayoritarios: Electrones. Portadores minoritarios: Huecos

Densidad de portadores mayoritarios en equilibrio: n_{n0}

Densidad de portadores minoritarios en equilibrio: p_{p0}

$$n_{n0} \simeq N_D$$

En equilibrio térmico se cumple:

$$p_{p0} \simeq \frac{n_i^2}{N_D}$$

Ejemplos:

Datos generales: $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m, $\epsilon_r(\text{Si}) = 11.7$, $\epsilon_r(\text{SiO}_2) = 3.9$, $n_i = 10^{10}$ cm⁻³

1) Una oblea de Silicio esta dopada con una concentración de $N_D = 10^{15}$ cm⁻³

a) ¿Cuál es la concentración de electrones n_0 (cm⁻³) a temperatura ambiente?

b) ¿Cuál es la concentración de huecos p_0 (cm⁻³) a temperatura ambiente?

2) Una oblea de Silicio esta dopada con una concentración de $N_A = 10^{14}$ cm⁻³

a) ¿Cuál es la concentración de electrones n_0 (cm⁻³) a temperatura ambiente?

b) ¿Cuál es la concentración de huecos p_0 (cm⁻³) a temperatura ambiente?

Autoevaluación

1. Se tiene una oblea de Silicio dopada con una concentración de aceptores de $N_A = 10^{14}$ cm⁻³. Se agregan donadores con una concentración de $N_D = 7.5 \times 10^{15}$ cm⁻³ en una región de la oblea. ¿Cuál es la concentración de electrones n_0 (cm⁻³) en esta región?

2. En una muestra de Silicio que tiene una concentración de donadores de $N_D = 10^{16}$ cm⁻³, se aplica un campo eléctrico en la dirección +x de magnitud 103 V/cm. a) ¿Cuál es la velocidad de arrastre de los electrones (magnitud y signo)?

3. 6) En una muestra de Silicio que tiene una concentración de donadores de $N_A = 10^{18}$ cm⁻³, se aplica un campo eléctrico en la dirección +x de magnitud 2×10^3 V/cm.

- a) ¿Cuál es la velocidad de arrastre de los electrones (magnitud y signo)?
- b) ¿Cuál es la densidad de corriente de arrastre de los electrones (magnitud y signo)?
- c) ¿Qué tiempo es necesario para que un electrón se desplace por arrastre, en promedio, una distancia de $1\mu\text{m}$?
- d) ¿Cuántas colisiones ocurren mientras se está desplazando? Puede suponer que el tiempo medio entre colisiones es $\tau_c = 0.05\text{ps}$.
4. Se tienen dos regiones en una oblea de silicio. Una está dopada con una concentración $N_{D1} = 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ y la otra $N_{A2} = 2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Calcule la concentración de electrones y huecos en cada una de las regiones.

El Diodo

Un diodo es un componente electrónico de dos terminales que permite la circulación de la corriente eléctrica a través de él en un solo sentido, bloqueando el paso si la corriente circula en sentido contrario, no solo sirve para la circulación de corriente eléctrica sino que este la controla y resiste. Esto hace que el diodo tenga dos posibles posiciones: una a favor de la corriente (*polarización directa*) y otra en contra de la corriente (*polarización inversa*).

Este término generalmente se usa para referirse al diodo semiconductor, el más común en la actualidad; consta de una pieza de cristal semiconductor conectada a dos terminales eléctricos. El diodo de vacío (que actualmente ya no se usa, excepto para tecnologías de alta potencia) es un tubo de vacío con dos electrodos: una lámina como ánodo, y un cátodo.

De forma simplificada, la curva característica de un diodo (I-V) consta de dos regiones: por debajo de cierta diferencia de potencial, se comporta como un circuito abierto (no conduce), y por encima de ella como un circuito cerrado con una resistencia eléctrica muy pequeña. Debido a este comportamiento, se les suele denominar rectificadores, ya que son dispositivos capaces de suprimir la parte negativa de cualquier señal, como paso inicial para convertir una corriente alterna en corriente continua.³ Su principio de funcionamiento está basado en los experimentos de Lee De Forest.

Los primeros diodos eran válvulas o tubos de vacío, también llamados válvulas termoiónicas constituidos por dos electrodos rodeados de vacío en un tubo de cristal, con un aspecto similar al de las lámparas incandescentes. El invento fue desarrollado en 1904 por John Ambrose Fleming, empleado de la empresa Marconi, basándose en observaciones realizadas por Thomas Alva Edison.

Construcción Básica

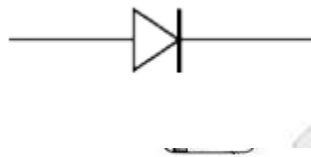
Un diodo semiconductor moderno está hecho de cristal semiconductor como el silicio con impurezas en él para crear una región que contenga portadores de carga negativa (electrones), llamada semiconductor de tipo n, y una región en el otro lado que contenga portadores de carga positiva (huecos), llamada semiconductor tipo p. Las terminales del diodo se unen a cada región. El límite dentro del cristal de estas dos regiones, llamado una unión PN, es donde la importancia del diodo toma su lugar. El cristal conduce una corriente de electrones del lado n (llamado cátodo), pero no en la dirección opuesta; es decir, cuando una corriente convencional fluye del ánodo al cátodo (opuesto al flujo de los electrones).

Al unir ambos cristales, se manifiesta una difusión de electrones del cristal n al p (Je). Al establecerse una corriente de difusión, aparecen cargas fijas en una zona a ambos lados de la unión, zona que recibe el nombre de región de agotamiento.

A medida que progresa el proceso de difusión, la región de agotamiento va incrementando su anchura profundizando en los cristales a ambos lados de la unión. Sin embargo, la acumulación de iones positivos en la zona n y de iones negativos en la zona p, crea un campo eléctrico (E) que actuará sobre los electrones libres de la zona n con una determinada fuerza de desplazamiento, que se opondrá a la corriente de electrones y terminará deteniéndolos.

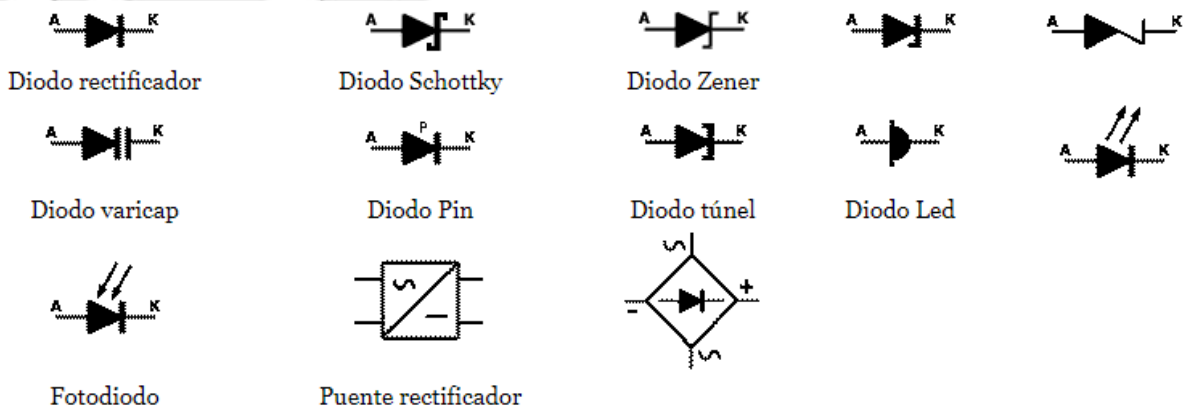
Este campo eléctrico es equivalente a decir que aparece una diferencia de tensión entre las zonas p y n. Esta diferencia de potencial (VD) es de 0,7 V en el caso del silicio y 0,3 V para los cristales de germanio.

Circuito Equivalente



POLARIZACIÓN	CIRCUITO	CARACTERÍSTICAS
DIRECTA el ánodo se conecta al positivo de la batería y el cátodo al negativo.		El diodo conduce con una caída de tensión de 0,6 a 0,7V. El valor de la resistencia interna sería muy bajo. Se comporta como un interruptor cerrado
INVERSA el ánodo se conecta al negativo y el cátodo al positivo de la batería		El diodo no conduce y toda la tensión de la pila cae sobre el. Puede existir una corriente de fuga del orden de μA . El valor de la resistencia interna sería muy alto. Se comporta como un interruptor abierto.

Simbología



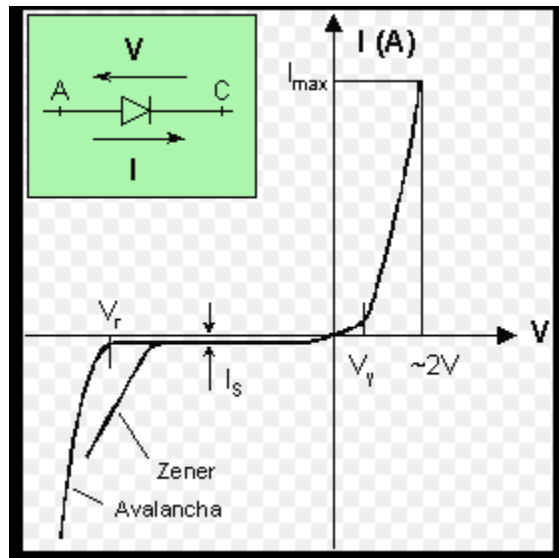
Curva Característica, $I=f(V)$

- **Tensión umbral, de codo o de partida (V_V).**
La tensión umbral (también llamada barrera de potencial) de polarización directa coincide en valor con la tensión de la zona de carga espacial del diodo no polarizado. Al polarizar directamente el diodo, la barrera de potencial inicial se va reduciendo, incrementando la corriente ligeramente, alrededor del 1 % de la nominal. Sin embargo, cuando la tensión externa supera la tensión umbral, la barrera de potencial desaparece, de forma que para pequeños incrementos de tensión se producen grandes variaciones de la intensidad de corriente.
- **Corriente máxima (I_{max}).**
Es la intensidad de corriente máxima que puede conducir el diodo sin fundirse por el efecto Joule. Dado que es función de la cantidad de calor que puede disipar el diodo, depende sobre todo del diseño del mismo.
- **Corriente inversa de saturación (I_s).**
Es la pequeña corriente que se establece al polarizar inversamente el diodo por la formación de pares electrón-hueco debido a la temperatura, admitiéndose que se duplica por cada incremento de 10 °C en la temperatura.
- **Corriente superficial de fugas.**
Es la pequeña corriente que circula por la superficie del diodo (ver polarización inversa), esta corriente es función de la tensión aplicada al diodo, con lo que al aumentar la tensión, aumenta la corriente superficial de fugas.
- **Tensión de ruptura (V_r).**
Es la tensión inversa máxima que el diodo puede soportar antes de darse el efecto avalancha.

Teóricamente, al polarizar inversamente el diodo, este conducirá la corriente inversa de saturación; en la realidad, a partir de un determinado valor de la tensión, en el diodo *normal* de *unión abrupta* la ruptura se debe al efecto avalancha; no obstante hay otro tipo de diodos, como los Zener, en los que la ruptura puede deberse a dos efectos:

- **Efecto avalancha** (diodos poco dopados). En polarización inversa se generan pares electrón-hueco que provocan la corriente inversa de saturación; si la tensión inversa es elevada los electrones se aceleran incrementando su energía cinética de forma que al chocar con electrones de valencia pueden provocar su salto a la banda de conducción. Estos electrones liberados, a su vez, se aceleran por efecto de la tensión, chocando con más electrones de valencia y liberándolos a su vez. El resultado es una *avalancha* de electrones que provoca una corriente grande. Este fenómeno se produce para valores de la tensión superiores a 6 V.
- **Efecto Zener** (diodos muy dopados). Cuanto más dopado está el material, menor es la anchura de la zona de carga. Puesto que el campo eléctrico E puede expresarse como cociente de la tensión V entre la distancia d ; cuando el diodo esté muy dopado, y por tanto d sea pequeño, el campo eléctrico será grande, del orden de $3 \cdot 10^5$ V/cm. En estas condiciones, el propio campo puede ser capaz de arrancar electrones de valencia incrementándose la corriente. Este efecto se produce para tensiones de 4 V o menores.

Para tensiones inversas entre 4 y 6 V la ruptura de estos diodos especiales, como los Zener, se puede producir por ambos efectos.



Resistencia Estática

En un diodo semiconductor se definen tres magnitudes resistivas:

* **Resistencia estática:** mide la oposición que presenta el diodo al paso de la corriente continua (CC).

A partir de la ley de Ohm, la resistencia estática de un diodo se expresa en la forma siguiente:

$$R_{estática} = V/I$$

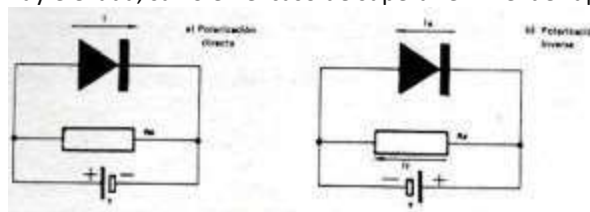
Dentro del concepto de resistencia estática cabe aún una diferenciación atendiendo a los dos posibles estados de polarización del diodo.

– **Resistencia directa: R_f** ,

La resistencia en polarización directa es de magnitud reducida y puede evaluarse directamente sobre la curva característica del diodo.

– **Resistencia inversa: R_r**

La resistencia es de magnitud muy elevada, salvo en el caso de superar el nivel de ruptura.



Polarización directa y polarización inversa

Un diodo será de mayor calidad a medida que sus resistencias estáticas directa e inversa se aproximen a las de un diodo ideal:

Diodo ideal

$$R_f = 0$$

$$R_r = \infty$$

Resistencia Dinámica

Se define como la oposición que presenta el diodo al paso de una señal alterna o variable en el tiempo. De nuevo, se distingue entre resistencia dinámica directa e inversa.

–Resistencia directa: r_f

La resistencia dinámica directa es muy reducida puesto que a un incremento mínimo de tensión, corresponde un incremento elevado de intensidad.

–Resistencia inversa: r_r

Será muy elevada debido a la constancia y reducida magnitud de la intensidad inversa de saturación $-I_s$. La resistencia dinámica de un diodo ideal adopta las siguientes magnitudes:

Diodo ideal

$r_f = 0$

$r_r =$

* La resistencia de fugas R_s está originada por la corriente superficial que circula por el semiconductor. Para minimizarla en lo posible se limpia la superficie del diodo, se pule y se introduce en un encapsulado.

Para representar físicamente su efecto se coloca una resistencia de magnitud R_s en paralelo con el diodo.

– Resistencia de fugas en polarización inversa.

Es despreciable y habitualmente no se tiene en cuenta.

– Resistencia de fugas en polarización inversa.

En algunas ocasiones toma un valor importante, ya que la intensidad de fugas (I_f) puede superar en magnitud a la corriente inversa de saturación (I_s).

Recta de Carga. Punto "Q" de Trabajo

La recta de carga es una herramienta que se emplea para hallar el valor de la corriente y la tensión del diodo. Las rectas de carga son especialmente útiles para los transistores, por lo que más adelante se dará una explicación más detallada acerca de ellas.

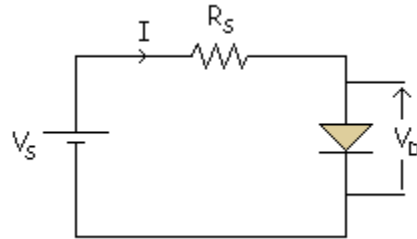
Estas son las distintas formas de analizar los circuitos con diodos:

EXACTA POR TANTEO: Ecuación del diodo exponencial y ecuación de la malla.

MODELOS EQUIVALENTES APROXIMADOS: 1ª aproximación, 2ª aproximación y 3ª aproximación.

DE FORMA GRÁFICA: Recta de carga.

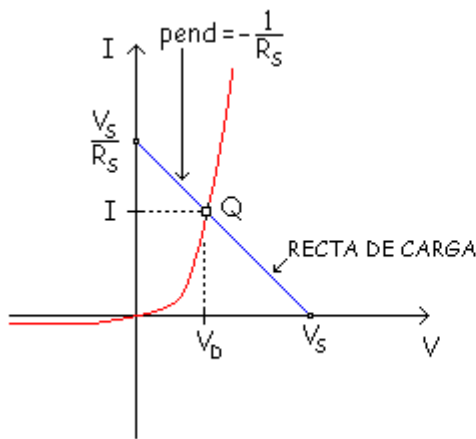
Hasta ahora hemos visto las 2 primeras, la tercera forma de analizarlos es de forma gráfica, esto es calculando su recta de carga.



$$-V_S + I \cdot R_S + V_D = 0 \rightarrow I = -\frac{1}{R_S} \cdot V_D + \frac{V_S}{R_S}$$

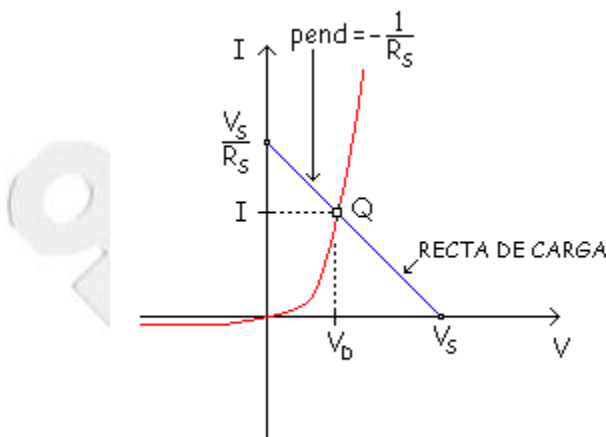
$$y = m \cdot x + b$$

Si de la ecuación de la malla, despejamos la intensidad tenemos la ecuación de una recta, que en forma de gráfica sería:



Los puntos de corte:

- $V_D = 0 \rightarrow I = \frac{V_S}{R_S}$ Punto de corte con el eje y
- $I = 0 \rightarrow V_D = -V_S$ Punto de corte con el eje x



Los puntos de corte:

- $V_D = 0 \rightarrow I = \frac{V_S}{R_S}$ Punto de corte con el eje y
- $I = 0 \rightarrow V_D = -V_S$ Punto de corte con el eje x

A esa recta se le llama "recta de carga" y tiene una pendiente negativa.

El punto de corte de la recta de carga con la exponencial es la solución, el punto Q, también llamado "punto de trabajo" o "punto de funcionamiento". Este punto Q se controla variando V_S y R_S .

Al punto de corte con el eje X se le llama "Corte" y al punto de corte con el eje Y se le llama "Saturación".

El Diodo y sus Aplicaciones

Configuraciones de Diodo en Serie y Paralelo

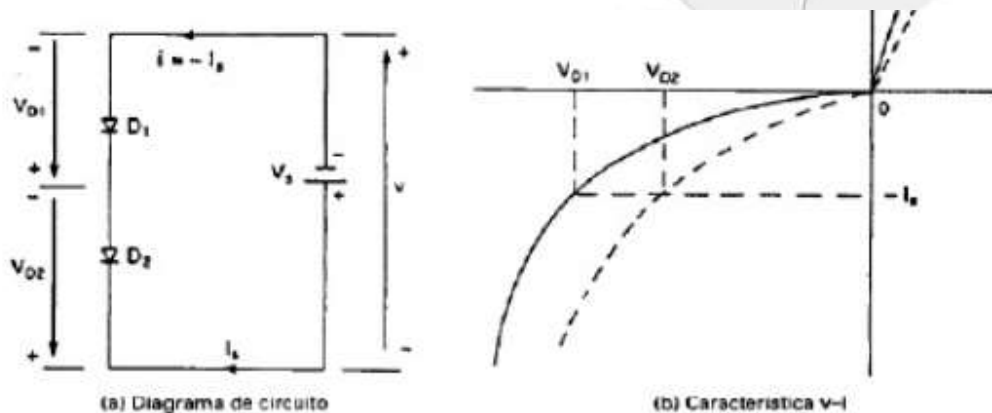
Antes de analizar veremos la definición de corriente inversa de saturación de diodos.

CORRIENTE INVERSA DE SATURACION EN DIODOS.

En polarización inversa es más difícil la conducción, porque el electrón libre tiene que subir una barrera de potencial muy grande de “n” a “p” al ser mayor el valor de W . Entonces no hay conducción de electrones libres o huecos, no hay corriente. En esta situación tenemos que tener en cuenta la generación térmica de pares electrón-hueco. Los pocos electrones generados térmicamente pierden energía y bajan de “p” a “n”, es la corriente inversa de saturación (I_s), que es muy pequeña.

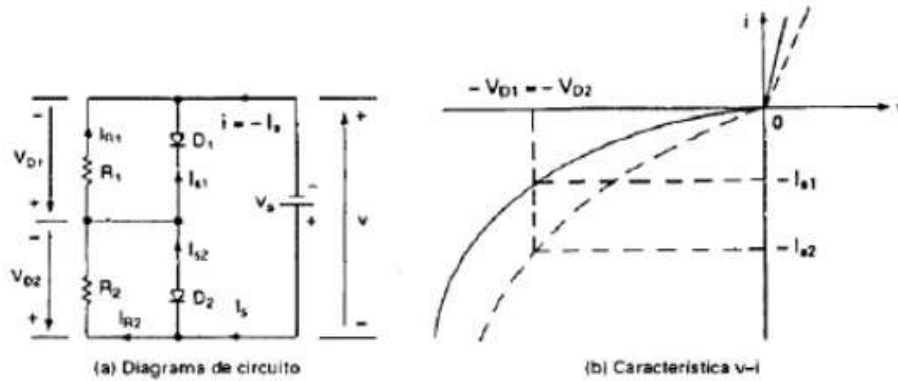
DIODOS CONECTADOS EN SERIE.

En muchas aplicaciones de alto voltaje, un diodo comercialmente disponible no puede dar la especificación de voltaje requerida, por lo que los diodos se conectan en serie para aumentar las capacidades de bloqueo inverso. Consideremos dos diodos conectados en serie, tal y como se muestra a continuación. Las características $v-i$ para el mismo tipo de diodo difieren debido a tolerancias en su proceso de producción.



Se muestran dos características $v-i$ para tales diodos. En condición de polarización directa, ambos diodos conducen la misma cantidad de corriente y la caída de voltaje en cada diodo debería ser la misma. Sin embargo, en la condición de bloqueo inverso, cada diodo tiene que llevar la misma corriente de fuga y como resultado los voltajes de bloque varían en forma significativa.

Una solución sencilla, es que se comparta el voltaje con una resistencia través de cada diodo. Debido a esta distribución de voltajes iguales. La corriente de fuga en cada diodo sería diferente.



En vista de que la corriente de fuga total debe ser compartida por un diodo y su resistencia se tiene la siguiente ecuación:

$$I_s = I_{s1} + I_{R1} = I_{s2} + I_{R2}$$

La ecuación anterior proporciona la relación entre \$R_1\$ Y \$R_2\$ para una distribución de voltaje igual, en la forma:

$$I_{s1} + \frac{V_{D1}}{R_1} = I_{s2} + \frac{V_{D1}}{R_2}$$

Si las resistencias son iguales y los dos voltajes del diodo serían ligeramente distintos, dependiendo de las similitudes entre las características v-i.

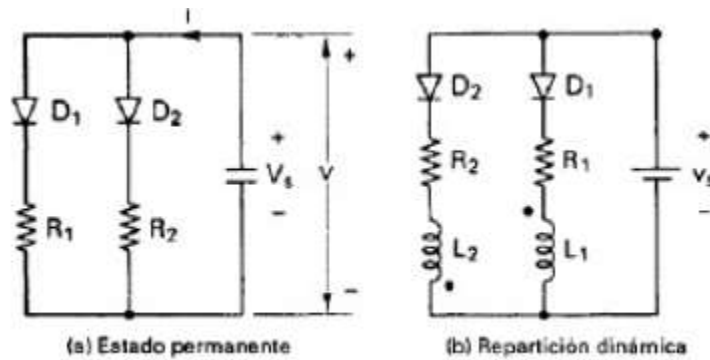
Los valores \$V_{D1}\$ y \$V_{D2}\$ se pueden determinar de la siguiente manera:

$$I_{s1} + \frac{V_{D1}}{R} = I_{s2} + \frac{V_{D2}}{R}$$

$$V_{D1} + V_{D2} = V_s$$

DIODOS CONECTADOS EN PARELELO

En aplicaciones de alta potencia, los diodos se conectan en paralelo para aumentar la capacidad de conducción de corriente, a fin de llenar las especificaciones de corriente deseadas. La distribución de corriente de los diodos estará de acuerdo con sus respectivas caídas de voltaje directas. Se puede obtener una distribución de corriente uniforme proporcionando inductancias iguales o conectando resistencias de distribución de corriente.



Dado que los diodos están conectados en paralelo, los voltajes de bloqueo inverso de cada diodo serían los mismos.

Las resistencias ayudarán a la repartición de corriente en condiciones de régimen permanente. La repartición de la corriente bajo condiciones dinámicas se puede llevar a cabo mediante la conexión de inductores acoplados. Si se eleva la corriente a través de D1, la corriente en D2 aumenta y se induce un voltaje correspondiente de polaridad opuesta a través de L2. El resultado es una trayectoria de baja impedancia a través de D2 y la corriente se transfiere a D1. Los inductores generarían picos de voltaje y podrían resultar costosos y voluminosos, especialmente en corrientes altas.

Circuitos Rectificadores de Media Onda

Casi todos los aparatos electrónicos que se utilizan: televisores, radios, ordenadores, etc., se conectan a la red eléctrica mediante un cable a corriente o tensión en alterna (corriente de la viviendas). Sin embargo los componentes electrónicos internos de estos aparatos funcionan con tensiones o corriente en continua. Por lo tanto, es lógico pensar que todos estos aparatos electrónicos tienen un elemento que transformará la corriente alterna en continua antes de alimentar a sus componentes internos.

El circuito que transforma la C.A. (corriente alterna) en C.C. (corriente continua también llamada DC) es llamado Rectificador de Media Onda.

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

Polarización del diodo

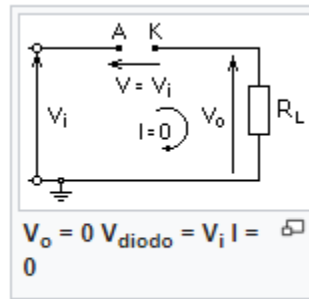
- **Polarización directa ($V_i > 0$)**

En este caso, el diodo permite el paso de la corriente sin restricción. Los voltajes de salida y de entrada son iguales, la intensidad de la corriente puede calcularse mediante la ley de Ohm.

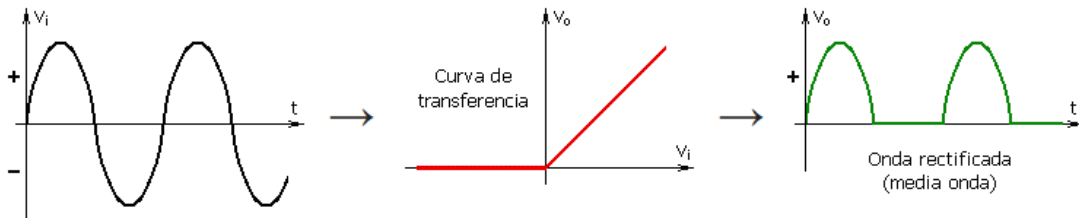
- **Polarización inversa ($V_i < 0$)**

Circuito rectificador con diodo polarizado en inversa.

En este caso, el diodo no conduce, quedando el circuito abierto. No existe corriente por el circuito, y en la resistencia de carga R_L no hay caída de tensión, esto supone que toda la tensión de entrada estará en los extremos del diodo:



Tensión rectificada



Rectificador de media onda con filtro RC (Diodo ideal)

Un circuito RC sirve como filtro para hacer que el voltaje alterno se vuelva directo casi como el de una batería, esto es gracias a las pequeñas oscilaciones que tiene la salida del voltaje, las cuales son prácticamente nulas.

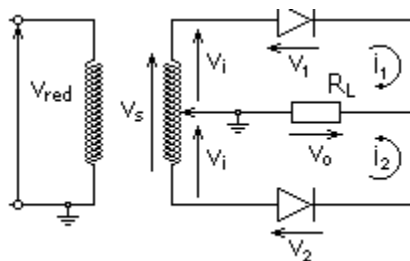
La primera parte del circuito consta de una fuente de voltaje alterna, seguido de un diodo que en esta ocasión será ideal (simplemente para facilitar la comprensión del funcionamiento) y finalmente el filtro RC.

Circuitos Rectificadores de Onda Completa

Un rectificador de onda completa es un circuito empleado para convertir una señal de corriente alterna de entrada (V_i) en corriente de salida (V_o) pulsante. A diferencia del rectificador de media onda, en este caso, la parte negativa de la señal se convierte en positiva o bien la parte positiva de la señal se convertirá en negativa, según se necesite una señal positiva o negativa de corriente continua.

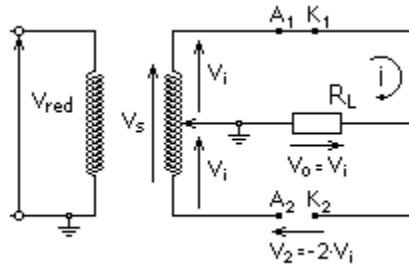
Existen dos alternativas, bien empleando dos diodos o empleando cuatro (puente de Graetz).

Rectificador con dos diodos



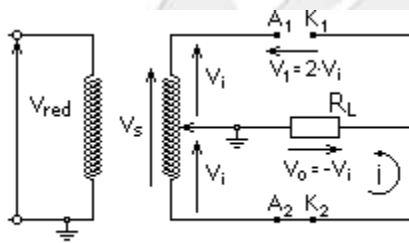
En el circuito de la figura, ambos diodos no pueden encontrarse simultáneamente en directa o en inversa, ya que las diferencias de potencial a las que están sometidos son de signo contrario; por tanto uno se encontrará polarizado inversamente y el otro directamente. La tensión de entrada (V_i) es, en este caso, la media de la tensión del secundario del transformador.

- Tensión de entrada positiva



El diodo 1 se encuentra en polarización directa (conduce), mientras que el 2 se encuentra en polarización inversa (no conduce). La tensión de salida es igual a la de entrada. Nota: los diodos en posición directa conducen altas corrientes, en posición inversa alta tensiones.

- Tensión de entrada negativa

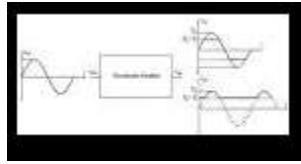


El diodo 2 se encuentra en polarización directa (conduce), mientras que el diodo 1 se encuentra en polarización inversa (no conduce). La tensión de salida es igual a la de entrada pero de signo contrario. El diodo 1 ha de soportar en inversa la tensión máxima del secundario.

Circuitos Recortadores

Tipos de circuitos que se encargan de recortar una porción de una señal alternante. También puede ser la de limitar el valor máximo que puede tomar una señal de referencia o bien una señal de control, en cuyo caso estos circuitos son también reconocidos como circuitos limitadores.

Estos tipos de circuitos utilizan dispositivos de una o más uniones PN como elementos de conmutación. Se diseñan con el objetivo de recortar o eliminar una parte de la señal que se le introduce en sus terminales de entrada y permita que pase el resto de la forma de onda sin distorsión o con la menor distorsión posible. Para realizar esta función de recortar, los recortadores hacen uso de la variación brusca que experimenta la impedancia entre los terminales de los diodos y transistores al pasar de un estado a otro, de ahí que sean los elementos básicos en dichos circuitos. Un ejemplo de formas de ondas obtenidas con un recortador de tipo serie se muestra en la figura:



Circuitos Sujetadores

Si el condensador se encuentra descargado, al aplicar tensión, él se comportará como un corto (oponiéndose al cambio de voltaje). Para que exista conducción, se requiere que la señal inicie su recorrido con un voltaje negativo, esto hará que el condensador se cargue a un voltaje V_{max} .

Una red cambiadora de nivel es la que cambia una señal a un nivel de DC diferente. La red debe de tener un capacitor, un diodo y un elemento resistivo, pero también puede usar una fuente de DC independiente para introducir un cambio de nivel de DC adicional. La longitud de R y de C debe elegirse de tal forma que la constante de tiempo $T = RC$ es lo suficientemente grande para asegurar que el voltaje a través del capacitor no se descarga de manera significativa, durante el intervalo en que el diodo no está conduciendo.

Tipos de Diodo: de Señal, de Conmutación y de alta frecuencia.

DIODOS DE SEÑAL: es utilizado con el fin de detectar señales débiles, por lo que son de baja potencia. El encapsulado de los diodos de señal corresponde a un pequeño cilindro de materia plástica o vidrio, y las dos terminales de conexión se ubican a los extremos del mismo. La tensión a partir de la cual el diodo conduce electricidad (tensión umbral) es de 0,3 voltios.

DIODOS DE ALTA FRECUENCIA: son denominados de alta frecuencia debido a que son colocados en las secciones de un circuito, donde la frecuencia debe ser mayor a 1 mega Hertz. Tienen una capacidad baja de difusión entre las regiones semiconductoras que conforman la unión ánodo y cátodo (P-N), cuando las mismas se encuentran polarizadas en sentido directo.

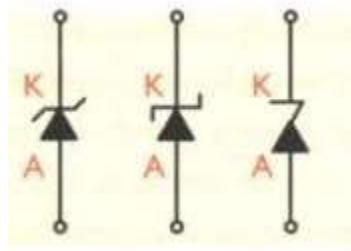
DIODOS DE CONMUTACIÓN: son aquellos que tienen un tiempo de respuesta muy breve, con respecto al cambio del sentido de la corriente eléctrica. Es decir, que el tiempo de recuperación inverso (TRR) es inferior a 400 nanosegundos en diodos de media potencia, y 5 nanosegundos en aquellos de potencia baja.

Fuente: <https://www.tiposde.org/cotidianos/93-tipos-de-diodos/#ixzz5ikyYBu1C>

El Diodo Zener

Los diodos zener, zener diodo o simplemente zener, son diodos que están diseñados para mantener un voltaje constante en su terminales, llamado Voltaje o Tensión Zener (V_z) cuando se polarizan inversamente, es decir cuando está el cátodo con una tensión positiva y el ánodo negativa. Un zener en conexión con polarización inversa siempre tiene la misma tensión en sus extremos (tensión zener).

Simbología



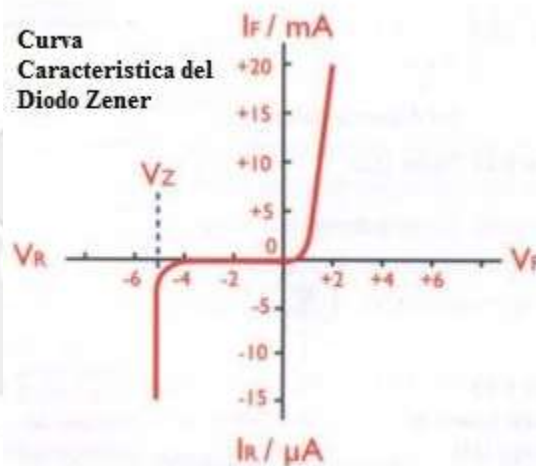
Funcionamiento

Cuando lo polarizamos inversamente y llegamos a V_z el diodo conduce y mantiene la tensión V_z constante aunque nosotros sigamos aumentando la tensión en el circuito. La corriente que pasa por el diodo zener en estas condiciones se llama corriente inversa (I_z).

Se llama zona de ruptura por encima de V_z . Antes de llegar a V_z el diodo zener NO Conduce.

Como ves es un regulador de voltaje o tensión. Cuando está polarizado directamente el zener se comporta como un diodo normal.

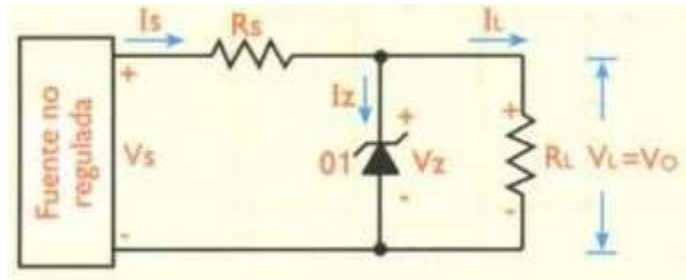
Pero mientras la tensión inversa sea inferior a la tensión zener, el diodo no conduce, solo conseguiremos tener la tensión constante V_z , cuando esté conectado a una tensión igual a V_z o mayor. Aquí se observa una la curva característica de un zener:



Para el zener de la curva vemos que se activaría para una V_z de 5V (zona de ruptura), lógicamente polarizado inversamente, por eso es negativa. En la curva de la derecha vemos que sería conectado directamente, y conduce siempre, como un diodo normal. Este diodo se llamaría diodo zener de 5V, pero podría ser un diodo zener de 12V, etc. Sus dos características más importantes son su Tensión Zener y la máxima Potencia que pueden disipar = P_z (potencia zener).

La relación entre V_z y P_z nos determinará la máxima corriente inversa, llamada I_z máx. Si se sobrepasa esta corriente inversa máxima el diodo zener puede quemarse, ya que no será capaz de disipar tanta potencia.

La conexión básica de un Diodo Zener es de la siguiente manera:



Aplicaciones

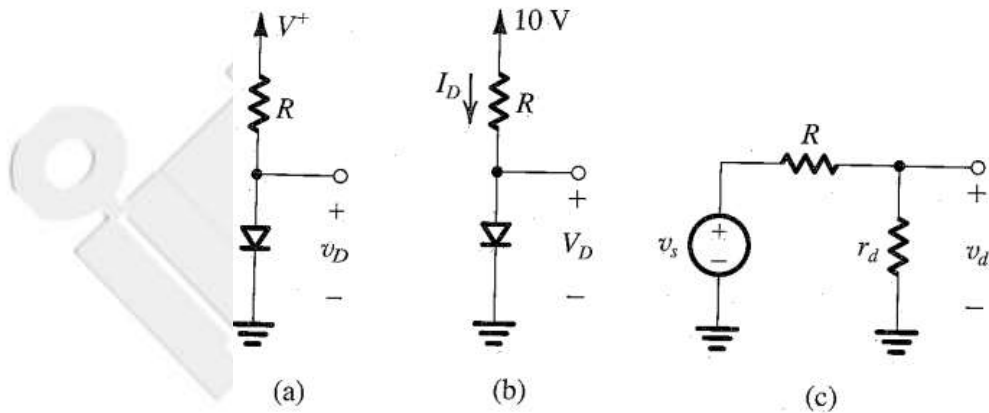
Estos diodos se utilizan como reguladores de tensión o voltaje para determinadas tensiones y resistencias de carga. Con un zener podemos conseguir que a un componente (por ejemplo un altavoz) siempre le llegue la misma tensión de forma bastante exacta.

Otro uso del zener es como elemento de protección de un circuito para que nunca le sobrepase una determinada tensión a la carga del circuito. Normalmente para esto, en lugar de un Zener se utiliza el Varistor, pero podríamos usar un zener.

Los zener deben diseñarse para que sean capaces de soportar la potencia de la carga, de otra forma podrían llegar a bloquearse o incluso quemarse.

Ejemplo:

En el circuito (a), $R = 10k\Omega$ y la fuente V^+ incluye un voltaje DC de 10 V sobre el que hay una señal de 60 Hz y 1V (rizado). Calcule el voltaje en el diodo y la amplitud de la señal sinusoidal entre sus terminales si $V_D = 0,7 V$ para 1 mA y $n=2$.



En (b) está el circuito DC.

Con el modelo de la fuente DC de 0,7 V:

$$I_D = \frac{V_{DD} - V_D}{R} = \frac{10V - 0,7V}{10k\Omega} = 0,93mA$$

Dado que la corriente ha dado muy próxima a 1 mA, se acepta que el voltaje en el diodo es 0,7V. $I_D = \frac{V_{DD} - V_D}{R} = \frac{10V - 0,7V}{10k\Omega} = 0,93mA$ La resistencia dinámica es:

$$r_d = \frac{nV_T}{I_D} = \frac{2 \times 25mV}{0,93mA} = 53,8\Omega$$

Con este valor se calcula v_d a partir del circuito para pequeña señal:

$$v_d = \Delta V \frac{r_d}{r_d + R} = 1V \frac{53,8\Omega}{53,8\Omega + 10.000\Omega} = 5,35mV$$

Se comprueba si el modelo es válido:

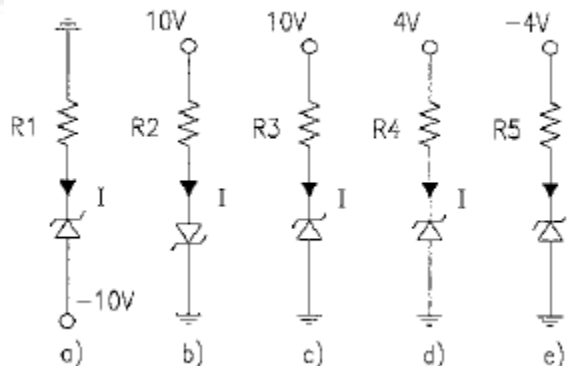
$$\frac{v_d}{nV_T} = \frac{5,35mV}{2 \times 25mV} = 0,107$$

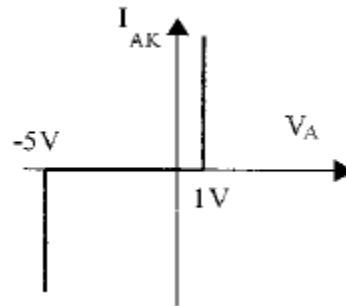
Se puede aceptar como menor que 1.

Respuesta: El voltaje en el diodo es 0,7V y la variación de voltaje entre sus terminales es 5,35 mV cuando la fuente tiene una señal de rizado de 1V a 60Hz.

Ejemplo 2:

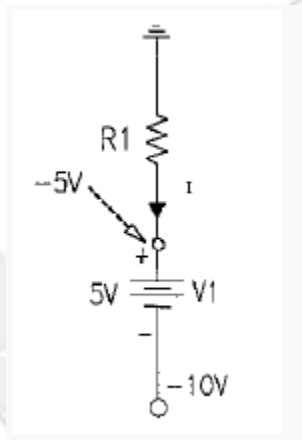
Para cada uno de los circuitos mostrados en la figura 1, calcular: a) La corriente I; b) La potencia disipada en la resistencia; c) La potencia disipada en el diodo zener. La característica V-I del diodo zener es la de la figura 2. Datos para el problema resuelto de electrónica: $R_1=R_2=R_3=R_4=R_5=100\Omega$





Solución:

a) Estando el ánodo del diodo conectado a una tensión de -10V no hay posibilidad de que el diodo conduzca en directo. Se supone que el diodo conduce en su región zener, y, de acuerdo con la figura 2, se sustituye por una fuente V1 de 5V. El circuito equivalente total es el siguiente:



La corriente I viene dada por:

$$I = \frac{V_{R1}}{R_1} = \frac{0 - (-5)}{0,1k} = \frac{5}{0,1k} = 50mA$$

La corriente tiene el sentido señalado en la figura 3, es decir, va de cátodo a ánodo, lo que confirma que la hipótesis planteada es correcta.

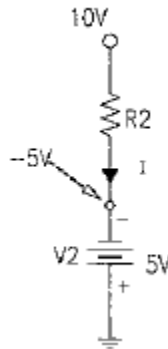
La potencia disipada en la resistencia es:

$$P_R = I^2 \cdot R_1 = (50 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 0,1k = 250mW$$

La potencia disipada en el zener es:

$$P_z = V_z \cdot I = 5 \cdot (50 \cdot 10^{-3}) = 250mW$$

b) Aunque se ve fácilmente que el diodo puede conducir en directo, para ilustrar el razonamiento se parte de una hipótesis falsa, se supone que el diodo conduce en su región zener. El circuito equivalente resultante se muestra en la figura siguiente:

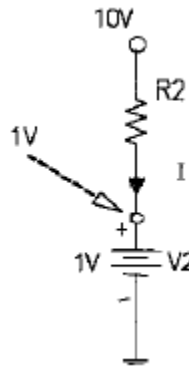


La corriente I es:

$$I = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{10 - (-5)}{0,1k} = 150mA$$

El sentido real de esta corriente es, otra vez, el mostrado en la figura 4. Es decir, es una corriente que circula de ánodo a cátodo, mientras que la suposición inicial de funcionamiento en la región zener, implicaba que la corriente debería circular de cátodo a ánodo.

Así pues, si se supone que el diodo conduce en directo, el circuito equivalente es el de la figura siguiente:



La corriente I se puede calcular ahora como:

$$I = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{10-1}{0,1k} = 90mA$$

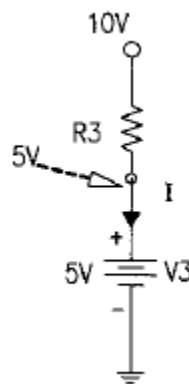
La potencia disipada en la resistencia es:

$$P_R = I^2 \cdot R_2 = (90 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 100 = 810mW$$

y en el zener:

$$P_Z = V_{AK} \cdot I = 1 \cdot (90 \cdot 10^{-3}) = 90mW$$

c) El diodo no puede estar en directo, el ánodo está a 0V y la tensión en el cátodo tendría que ser negativa. Por tanto se supondrá que el diodo está en la región zener. El circuito equivalente es el siguiente



Como en el caso a), la corriente tiene el sentido indicado en la figura (de cátodo a ánodo), lo cual confirma que la hipótesis inicial es cierta:

$$I = \frac{V_{R3}}{R_3} = \frac{10-5}{R_3} = \frac{5}{0,1k} = 50mA$$

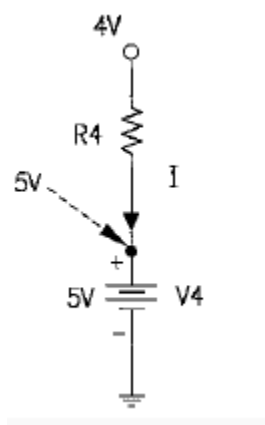
La potencia disipada en el diodo y en la resistencia resulta igual que en caso a).

d) Como en el caso c), el diodo no puede conducir en directo. La tensión en el circuito debería ser de, por lo menos, 5V para que el diodo funcionara en su región zener. Se plantea, de nuevo, una hipótesis incorrecta, para ilustrar el proceso de resolución.

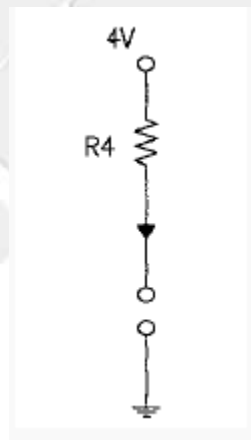
Se supondrá que el diodo actúa en su región zener. El circuito equivalente, en este caso, es el de la figura 7, y la corriente I resultaría:

$$I = \frac{V_{R4}}{R_4} = \frac{4-5}{R_4} = -10mA$$

Es decir, en sentido inverso al de conducción como zener. Por tanto, la hipótesis inicial es incorrecta.

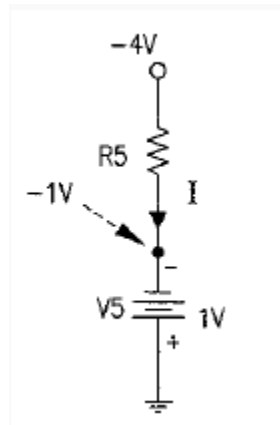


La siguiente figura muestra la solución correcta para el circuito. El diodo está en corte y la corriente es nula.



También es nula la potencia disipada en la resistencia y en el diodo.

e) Finalmente, la figura siguiente muestra el circuito equivalente en el supuesto de que el diodo conduzca en directo.



La corriente I es:

$$I = \frac{V_{R5}}{R_5} = \frac{(-4) - (-1)}{R_5} = -30 \text{ mA}$$

El signo menos indica que el sentido real de la corriente es contrario al mostrado en la figura. La corriente tiene sentido ánodo a cátodo, es decir, el diodo conduce en directo. La suposición inicial es, por lo tanto, correcta.

La potencia disipada en la resistencia es:

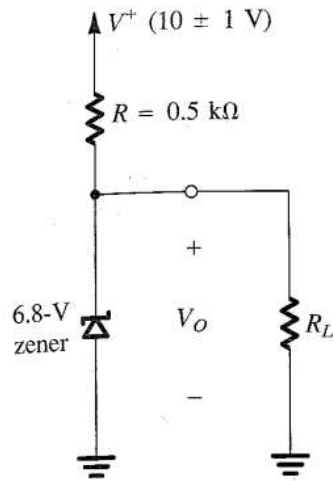
$$P_R = I^2 \cdot R_5 = (30 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 100 = 90 \text{ mW}$$

Y en el zener:

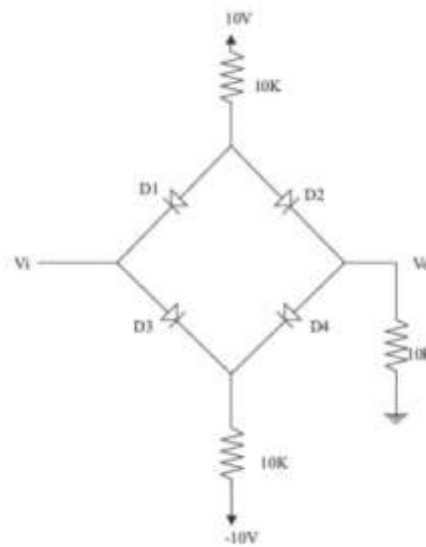
$$P_Z = V_{AK} \cdot I = 1 \cdot (30 \cdot 10^{-3}) = 30 \text{ mW}$$

Autoevaluación

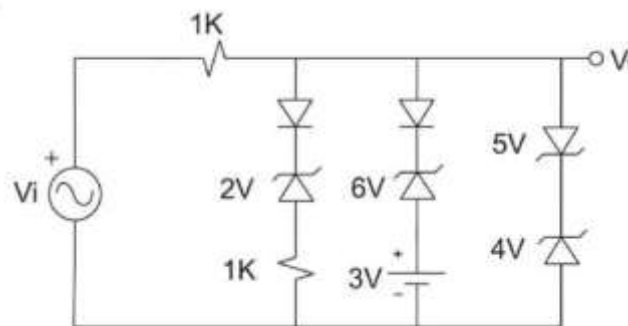
- En el circuito, las especificaciones del zener son: $V_Z = 6,8\text{V}$ a $I_Z = 5 \text{ mA}$; $r_Z = 20\Omega$; $I_{ZK} = 0,2 \text{ mA}$ a) Calcule V_0 sin carga y con $V_+ = 10 \text{ V}$ b) Determine el cambio en V_0 cuando $V_+ = \pm 1\text{V}$ c) Determine el cambio en V_0 cuando $R_L = 2 \text{ k}\Omega$ d) Qué pasa con $R_L = 0,5 \text{ k}\Omega$?



2. Hallar la función de transferencia. Considerar modelo con 0,7V Por la resistencia superior: la Por la resistencia inferior: Ib Por la resistencia de salida: Io



3. Determinar la característica de transferencia V_o vs. V_i Considerar modelo con 0,7V.



El Transistor

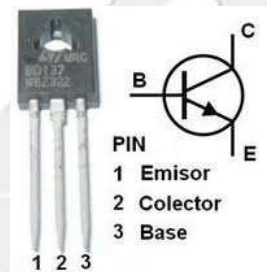
Un transistor es un dispositivo que regula el flujo de corriente o de tensión actuando como un interruptor o amplificador para señales electrónicas.

El transistor, inventado en 1951, es el componente electrónico estrella, pues inició una auténtica revolución en la electrónica que ha superado cualquier previsión inicial. También se llama Transistor Bipolar o Transistor Electrónico.

Es un componente electrónico formado por materiales semiconductores, de uso muy habitual, pues lo encontramos presente en cualquiera de los aparatos de uso cotidiano como las radios, alarmas, automóviles, ordenadores, etc.

Vienen a sustituir a las antiguas válvulas termoiónicas de hace unas décadas. Gracias a ellos fue posible la construcción de receptores de radio portátiles llamados comúnmente "transistores", televisores que se encendían en un par de segundos, televisores en color, etc. Antes de aparecer los transistores, los aparatos a válvulas tenían que trabajar con tensiones bastante altas, tardaban más de 30 segundos en empezar a funcionar, y en ningún caso podían funcionar a pilas debido al gran consumo que tenían.

Los transistores son los elementos que han facilitado el diseño de circuitos electrónicos de reducido tamaño. En la siguiente imagen podemos ver varios transistores diferentes.



Funcionamiento del Transistor

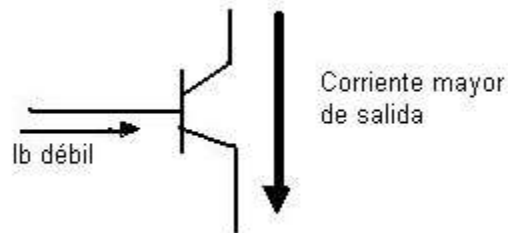
Un transistor puede tener 3 estados posibles en su trabajo dentro de un circuito:

- En activa: deja pasar más o menos corriente (corriente variable).
- En corte: no deja pasar la corriente (corriente cero).
- En saturación: deja pasar toda la corriente (corriente máxima).

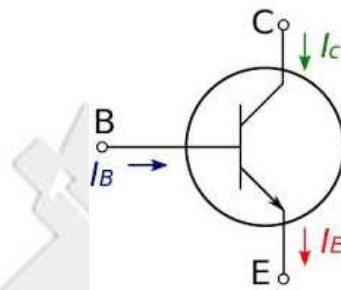
En un transistor cuando no le llega nada de corriente a la base, no hay paso de corriente entre el emisor y el colector (en corte), funciona como un interruptor abierto entre el emisor y el colector, y cuando tiene la corriente de la base máxima (en saturación) su funcionamiento es como un interruptor cerrado dejando pasar la corriente, entre el emisor y el colector. Además pasa la máxima corriente permitida por el transistor entre E y C.

El tercer caso es que a la base del transistor le llegue una corriente más pequeña de la corriente de base máxima para que se abra el transistor, entonces entre Emisor y Colector pasará una corriente intermedia que no llegará a la máxima.

El funcionamiento del transistor se puede considerar como un interruptor que se acciona eléctricamente, por medio de corriente en B, en lugar de manualmente como son los normales. Pero también se puede considerar un amplificador de corriente porque con una pequeña corriente en la base conseguimos una corriente mayor entre el emisor y colector. Acuérdate del símbolo y mira la siguiente figura:



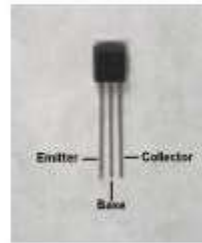
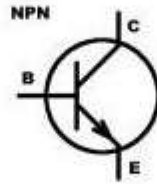
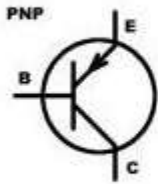
Las corrientes en un transistor son 3, corriente de base I_b , corriente de emisor I_e y corriente del colector I_c . En la imagen vemos las corrientes de un transistor tipo NPN.



Transistores tipo PNP Y NPN. Polarización

Los transistores están formados por la unión de tres cristales semiconductores, dos del tipo P uno del tipo N (transistores PNP), o bien dos del tipo N y uno del P (transistores NPN). Puedes saber más sobre estas uniones aquí: Unión PN. Según esto podemos tener 2 tipos de transistores diferentes: PNP o NPN.

Tipos de Transistores



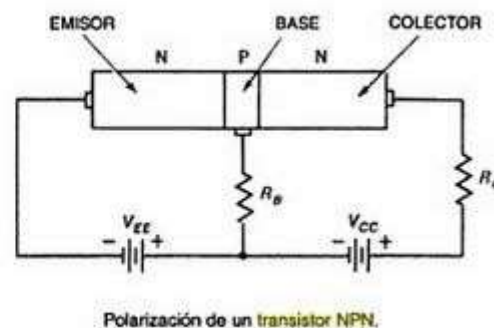
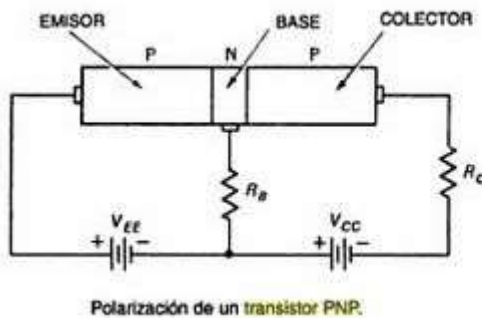
Polarización de un Transistor

Polarizar es aplicar las tensiones adecuadas (con su polaridad + o -) a los componentes para que funcionen correctamente.

Un polo P estará polarizado directamente si se conecta al positivo de la pila, el polo N estará polarizado directamente si se conecta al polo negativo. El revés estaría polarizados inversamente.

Hay una gama muy amplia de transistores, por lo que antes de conectar deberemos identificar sus 3 patillas y saber si es PNP o NPN. En los transistores NPN se debe conectar al polo positivo el colector y la base, y en los PNP el colector y la base al polo negativo.

La unión BASE-EMISOR siempre polarizado directamente, y la unión COLECTOR-BASE siempre polarizado inversamente en los dos casos.



Diferencias entre el transistor PNP y el NPN

Los 2 tipos, la principal diferencia es que en el PNP la corriente de salida (entre el emisor y colector) entra por el emisor y sale por el colector. La flecha en el símbolo "pincha a la base". Una regla para acordarse es que el PNP pincha (la p del principio).

En el NPN la corriente entra por el colector y sale por el emisor, al revés. Si te fijas en la flecha la flecha "no pincha a la base". Según la regla NPN = no pincha (la N del NPN). Con esta regla te acordarás muy fácilmente si el símbolo es de un PNP o NPN. Recuerda pincha PNP, no pincha NPN.

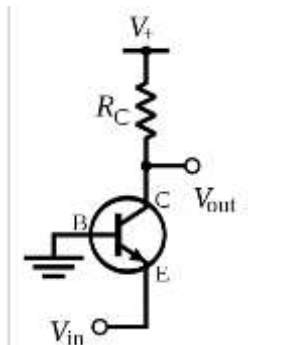
Otra cosa muy importante a tener en cuenta, es la dirección de las corrientes y las tensiones de un transistor, sea NPN o PNP

Configuraciones: Base Común, Emisor Común, Colector Común.

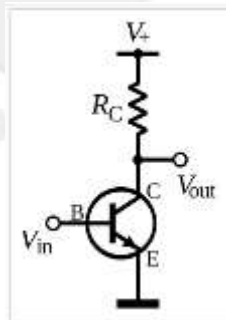
Amplificador Base Común

El amplificador de base común tiene ese nombre porque la base del transistor es común tanto a la entrada como a la salida. Este amplificador es una de las tres configuraciones básicas del amplificador que utiliza el transistor bipolar.

El amplificador de base común es usado normalmente como un buffer de corriente o amplificador de voltaje. En esta configuración la entrada se aplica al terminal emisor del transistor bipolar o BJT y la salida se obtiene del terminal colector.



Amplificador Emisor Común



La señal se aplica a la base del transistor y se extrae por el colector. El emisor se conecta al punto de tierra (masa) que será común, tanto de la señal de entrada como para la de salida. En esta configuración, existe ganancia tanto de tensión como de corriente. Para lograr la estabilización de la etapa ante las variaciones de la señal, se dispone de una resistencia de emisor, (R_E) y para frecuencias bajas, la impedancia de salida se aproxima a R_C . La ganancia de tensión se expresa:

$$G_V = -\frac{R_C}{R_E}$$

El signo negativo, indica que la señal de salida está invertida con respecto a la señal de entrada.

Si el emisor está conectado directamente a masa, la ganancia queda expresada de la siguiente forma:

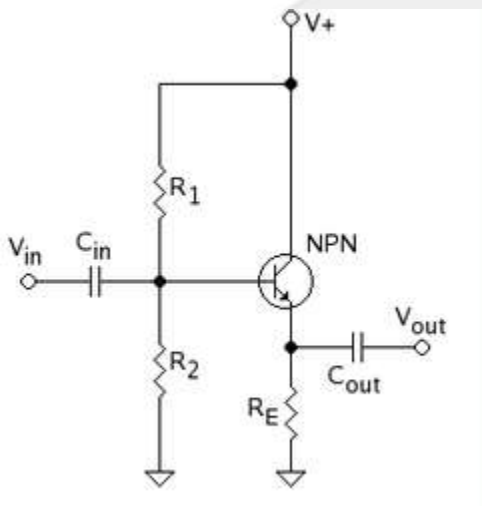
$$G_V = -\frac{R_C}{R_e}$$

Como la base está conectada al emisor por un diodo polarizado en directo, entre ellos se puede suponer que existe una tensión constante, denominada V_{BE} y que el valor de la ganancia (β) es constante. Del gráfico adjunto, se deduce que la tensión de emisor es:

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

Amplificador Colector Común

La señal se aplica a la base del transistor y se extrae por el emisor. El colector se conecta a las masas tanto de la señal de entrada como a la de salida. En esta configuración se tiene ganancia de corriente, pero no de tensión que es ligeramente inferior a la unidad. La impedancia de entrada es alta, aproximadamente $\beta+1$ veces la impedancia de carga. Además, la impedancia de salida es baja, aproximadamente β veces menor que la de la fuente de señal.



Ejemplo:

En el circuito de la figura 1, calcule la corriente de colector I_c y la tensión colector-emisor V_{CE} .

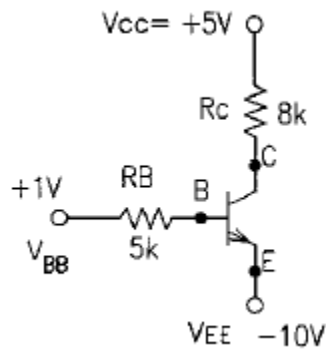
Indique claramente en el problema resuelto el estado del transistor BJT y verifique las hipótesis realizadas.

Datos:

$$V_{BEon} = 0,7 \text{ V}$$

$$V_{CEsat} = 0,2 \text{ V}$$

$\beta = 10$



Solución:

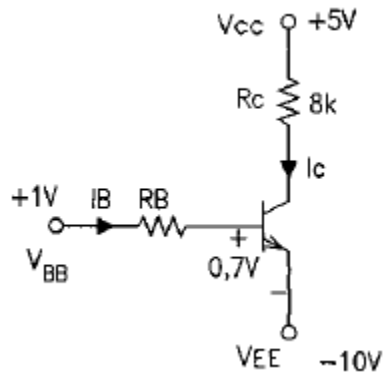
Suponiendo que el transistor BJT está en activa (figura 2), se tiene:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_B}{R_B} = \frac{V_{BB} - (V_E + V_{BEON})}{R_B} = \frac{1 - (-10 + 0.7)}{5k} = 2,06mA$$

Si se ha supuesto activa $I_c = \beta * I_b = 20,6 \text{ mA}$), la tensión Vce será:

$$V_{CE} = V_C - V_E = (V_{CC} - I_C R_C) - (V_{EE}) = (5 - 20,6 \cdot 10^{-3} \cdot 8k) - (-10) = -1,48V$$

Se observa que la hipótesis inicial de conducción en activa no es cierta. El transistor funciona en saturación.



La corriente de colector se puede calcular por:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_C} = \frac{V_{CC} - (V_E + V_{CEsat})}{R_C} =$$

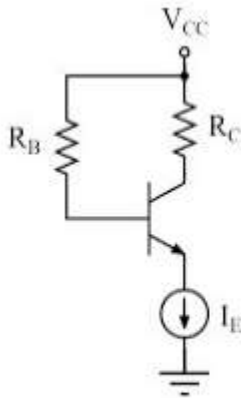
$$= \frac{5 - (-10 + 0,2)}{5k} = 1,85mA$$

Se comprueba que, con la corriente de base anterior, el transistor BJT está saturado ya que $\beta \cdot I_b > I_c$, en este caso:

$$20,6mA > 1,85mA$$

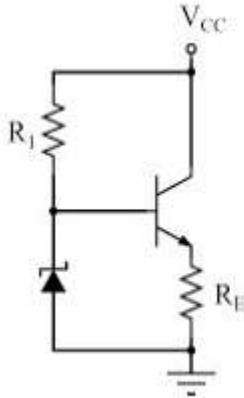
Autoevaluación

1. Determinar el punto de trabajo ($I_C; V_{CE}$) del transistor polarizado con fuente de corriente.



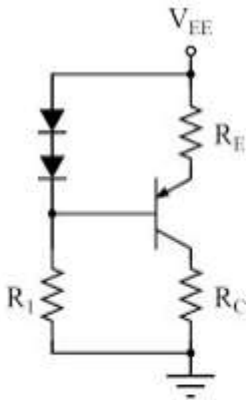
Datos: $V_{CC} = 12V$, $I_E = 3mA$, $R_C = 1,5K\Omega$, $R_B = 330K\Omega$, $\beta = 100$, $V_{BE} = 0,7V$.

2. ¿Cuál debe ser el valor de las resistencias para que la corriente de colector sea $I_C = 5mA$ y la potencia disipada por el diodo Zener sea menor que $1mW$? ¿Se encuentra el transistor en activa directa?



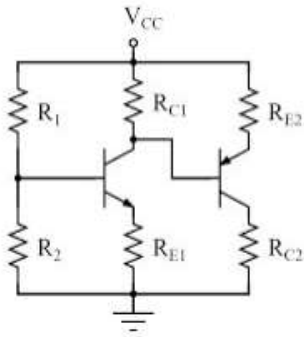
Datos: $V_{CC} = 12V$, $\beta = 200$, $V_{BE} = 0,7V$, $V_{CE}^{sat} = 0,2V$, $V_Z = 5V$.

3. Calcular el punto de trabajo del transistor en el circuito siguiente.



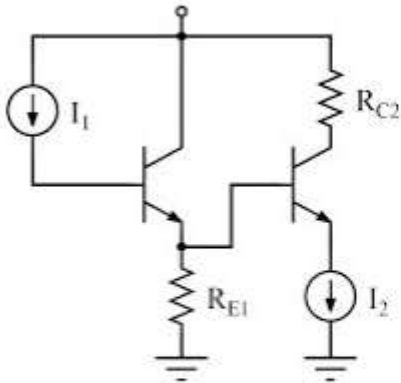
Datos: $V_{EE} = 12V$, $R_E = 150\Omega$, $R_C = 1K\Omega$, $R_1 = 10K\Omega$, $\beta = 150$, $V_{EB} = 0,7V$, $V_\gamma = 0,7V$.

4. Calcular el punto de trabajo de los transistores utilizando la aproximación $b \rightarrow \infty$.



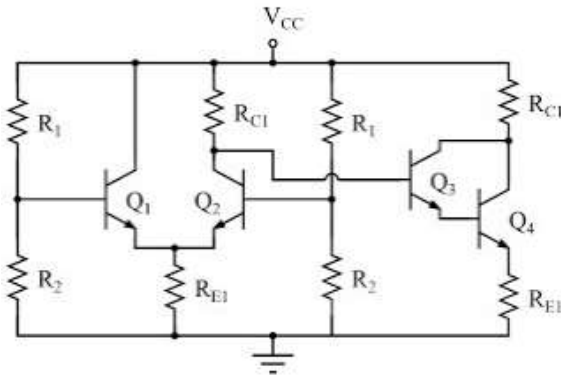
Datos: $V_{CC} = 10V$, $R_1 = 80K\Omega$, $R_2 = 20K\Omega$, $R_{C1} = 2K\Omega$, $R_{E1} = 1K\Omega$, $R_{E2} = 1K\Omega$, $R_{C2} = 2K\Omega$, $V_{BE} = V_{EB} = 0,7V$.

5. Calcular el punto de trabajo de los transistores polarizados con fuentes de corriente.



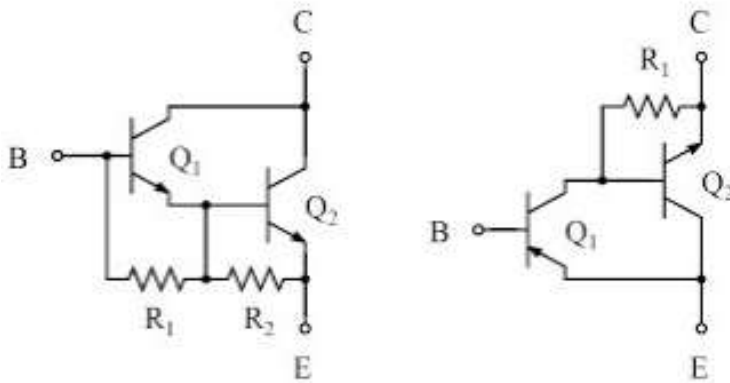
Datos: $V_{CC} = 15V$, $R_{E1} = 4K\Omega$, $R_{C2} = 4K\Omega$, $I_1 = 10\mu A$, $I_2 = 2mA$, $\beta = 100$, $V_{BE} = 0,7V$.

6. Calcular el punto de trabajo de los transistores haciendo uso de la aproximación $b \rightarrow \infty$



Datos: $V_{CC} = 9V$, $R_1 = 2K\Omega$, $R_2 = 1K\Omega$, $R_{C1} = 2,6K\Omega$, $R_{E1} = 500\Omega$, $R_{C2} = 60\Omega$, $R_{E2} = 600\Omega$, $V_{BE} = 0,7V$.

7. Calcular la relación $I_C - I_B$ del par Darlington modificado y del par Sziklai modificado representados en la figura, trabajando en activa directa. Asumir que los transistores son idénticos y que $V_{BE1} = V_{BE2}$.



Conclusiones

- Se pudo precisar cada uno de los teoremas planteados y facilitar un documento de fácil consulta y entendimiento en el campo de la teoría de Circuitos eléctricos.
- En cada una de las unidades se resolvieron ejercicios y se plantearon algunos para ser realizados por el estudiantado.
- La realización de este documento, se realizó de manera tal que se asimilara cada uno de los teoremas y diferenciar cuales se pueden aplicar para cada caso.

- Es necesario estudiar las características de la corriente eléctrica, no solo para planificar estrategias de ahorro, sino porque un mal manejo de la corriente es causa de graves accidentes para la salud y la economía en general.

Recomendaciones

- Reforzar el contenido descrito anteriormente con las bibliografías dadas.
- Resolver los ejercicios al final de cada unidad, de manera de autoevaluación y práctica para una mejor comprensión de cada uno de los teoremas.
- Asistir de manera continua a clases de manera de aclarar dudas o confusión en alguna de las unidades, explicadas anteriormente.