

SEMICONDUCTORES

Los dispositivos de estado sólido son elementos pequeños pero versátiles que pueden ejecutar una gran variedad de funciones de control en los equipos electrónicos. Al igual que otros dispositivos electrónicos, son capaces de controlar casi instantáneamente el movimiento de cargas eléctricas.

Se los utiliza como rectificadores, detectores, amplificadores, osciladores, conmutadores, mezcladores, moduladores, etc.

Su peso y tamaño son reducidos, son de construcción sólida y muy resistente mecánicamente lo que los hace libres de microfónicos y se los puede fabricar de manera que sean inmunes a severas condiciones ambientales.

Materiales semiconductores

Los dispositivos de estado sólido hacen uso de la circulación de corriente en un cuerpo sólido.

En general todos los materiales pueden clasificarse en tres categorías principales:

conductores

semiconductores

aisladores

Como su nombre lo indica, un material “**semiconductor**” tiene menor conductividad que un “**conductor**” pero mayor conductividad que un “**aislador**”.

Hasta hace algunos años el material más utilizado en la fabricación de semiconductores era el “**GERMANIO**”, luego fue reemplazado por el “**SILICIO**”, material que sigue siendo utilizado actualmente. De cualquier manera en muchos circuitos todavía son utilizados diodos de germanio.

Resistividad

La aptitud de un material para conducir corriente (conductividad), es directamente proporcional al número de electrones libres del material. Se denomina electrones libres a aquellos que se encuentran en la órbita más externa del átomo y que están unidos débilmente al núcleo del mismo, por no estar completa la cantidad de electrones correspondientes a dicha órbita.

Los buenos conductores tales como la plata, el cobre y el aluminio, tienen gran cantidad de electrones libres. Su resistividad es del orden de unas pocas millonésimas de ohm-centímetro³.

Los aisladores tales como el vidrio, el caucho y la mica, que tienen muy pocos electrones unidos débilmente al núcleo, tienen resistividades que alcanzan millones de ohm-centímetro³.

El **germanio puro** tiene una resistividad de 60 ohms-centímetro³, mientras la resistividad del **silicio puro** es considerablemente mayor, del orden de los 60.000 ohm-centímetro³.

A estos materiales, cuando son utilizados para fabricar semiconductores, se le agregan impurezas para reducir su resistividad hasta un orden de aproximadamente 2 ohm-centímetro³ a temperatura ambiente. Esta resistividad disminuye rápidamente a medida que aumenta la temperatura en el cuerpo del semiconductor.

Estructura atómica

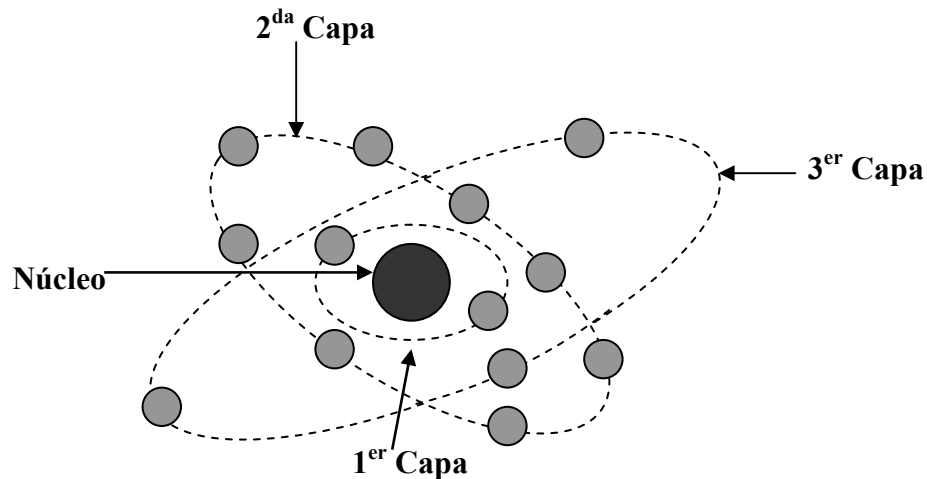


Fig.1 – Atomo de Aluminio

- | | | | |
|---|--|---|----------------------|
| ● | - Electrones / Cargas negativas / Cantidad Total = 13 | } | Número atómico
13 |
| | Cantidad en 1 ^{er} Capa = 2 | | |
| | Cantidad en 2 ^{da} Capa = 8 | | |
| | Cantidad en 3 ^{er} Capa = 3 | | |

- | | | | |
|---|--|---|-------------------|
| ● | - Núcleo formado por: | } | Peso atómico = 27 |
| | Protones / Cargas positivas / Cantidad = 13 | | |
| | Neutrones / Carga eléctrica neutra / Cantidad = 14 | | |

La teoría electrónica explica que los átomos de todos los elementos están constituidos de forma similar a la del aluminio:

un núcleo formado por protones y neutrones y girando alrededor de él, distribuidos en capas y cada uno en su órbita, (esta de forma elíptica), un número de electrones igual al número de protones.

*“Por ser la carga eléctrica de los **ELECTRONES NEGATIVA** y la de los **PROTONES POSITIVA** y además contar el átomo con la misma cantidad de cada uno de ellos, estas cargas se compensan entre sí dando como resultado un estado de carga eléctrica neutra en el átomo”.*

“Por estar la materia formada por átomos, también es neutra en su estado normal, es decir está equilibrada eléctricamente”.

Electrones Libres

Si fuera posible observar un grupo de átomos que conforman una molécula de aluminio, se vería que los electrones situados en la capa más externa (cantidad = 3) y que están débilmente ligados al núcleo, no permanecen constantemente en el mismo átomo, sino que erráticamente algunos de ellos saltan de átomo a átomo, por esta razón se los denomina **Electrones Libres**.

La razón de la débil ligazón de estos electrones con el núcleo se debe a que la tercera capa a la que pertenecen no se encuentra completa, es decir tiene un déficit de electrones. Esta es una característica propia de los materiales conductores.

Núcleo: 6 protones/6 neutrones

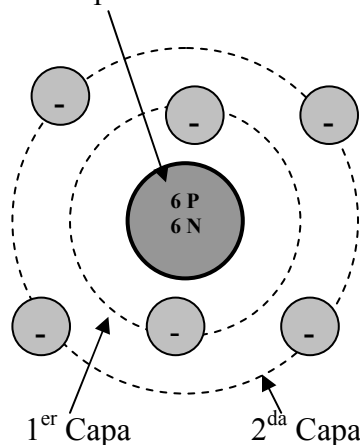


Fig. 2 – Atomo de carbono (C)
Peso atómico = 12
Número atómico = 6

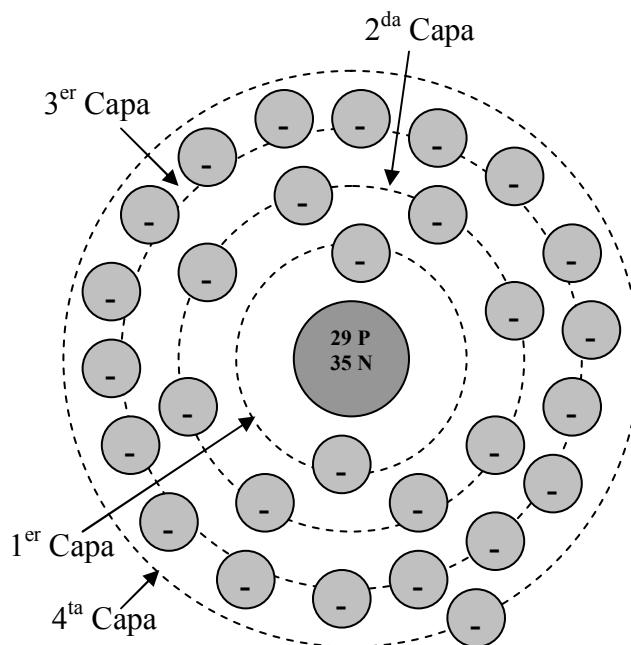


Fig. 3 – Atomo de cobre (Cu)
Peso atómico = 64
Número atómico = 29

En la **Fig. 2** se ha representado un átomo de carbono, en el tenemos la primer capa (órbita) completa, **2 electrones**. La segunda capa (órbita) cuenta con **4 electrones** solamente, para que el átomo fuera estable y no contara con electrones libres (débil ligazón con el núcleo), esta capa debería tener **8 electrones**.

En la **Fig. 3** se ha representado un átomo de cobre, en el tenemos la primer capa (órbita) completa, **2 electrones**. La segunda capa (órbita) también está completa, **8 electrones**. La tercer capa (órbita) se encuentra completa, **18 electrones**. La cuarta capa (órbita) es la incompleta, esta capa podría tener un máximo de **32 electrones**, pero para que el átomo fuera estable solo se necesitarían **8 electrones**.

En las páginas anteriores se vio que los átomos de todos los elementos están constituidos por un núcleo (formado por protones y neutrones) y una cantidad de electrones igual a la de los protones, dispuestos en capas u órbitas.

“Cada capa puede contener una máxima cantidad de electrones, este máximo número de electrones puede determinarse utilizando el siguiente cálculo:

$$\text{Máxima cantidad de electrones por capa} = 2 n^2$$

Siendo “n” el número de capa, contando a partir del núcleo, para la que se desea conocer la máxima cantidad de electrones que puede contener.

Capa	Designación	Máxima cant. de electrones
1 ^{ra}	K	$2 \times 1^2 = 2$
2 ^{da}	L	$2 \times 2^2 = 8$
3 ^{ra}	M	$2 \times 3^2 = 18$
4 ^{ta}	N	$2 \times 4^2 = 32$
5 ^{ta}	O	$2 \times 5^2 = 50$
6 ^{ta}	P	No conocida
7 ^{ma}	Q	No conocida

Como se ha descrito, los electrones en un átomo se sitúan en sucesivas capas a partir del núcleo:

“No puede formarse una nueva capa hasta que la anterior no haya completado la cantidad de electrones que le corresponde. Un átomo es estable, o sea que no se combina química ni eléctricamente con otros átomos cuando su capa exterior se encuentra completa.”

“Los electrones de la capa exterior son los que pueden combinarse química o eléctricamente con los electrones de otros átomos, estos electrones son denominados ELECTRONES de VALENCIA”.

Cuando la capa exterior de un átomo contiene **8 electrones**, el átomo se mantiene muy estable y no presenta tendencia a perder ni ganar ningún electrón. **“Por esta razón ningún átomo contiene más de 8 electrones en su capa exterior”.**

Por ejemplo, la capa N (**cuarta capa**) puede contener un máximo de 32 electrones, pero si esta capa constituye la capa exterior del átomo en cuestión no contendrá más que **8 electrones**.

Ejemplos típicos son algunos gases denominados nobles:

Argón – N° Atómico: 10

1^{er} Capa – 2 electrones

2^{da} Capa – 8 electrones

Kriptón – N° Atómico: 36

1^{er} Capa – 2 electrones

2^{da} Capa – 8 electrones

3^{er} Capa – 8 electrones

Neón – N° Atómico: 36

1^{er} Capa – 2 electrones

2^{da} Capa – 8 electrones

3^{er} Capa – 18 electrones

4^{ta} Capa - 8 electrones

En los gases descriptos, así como también lo son el Radón y el Xenón, sus átomos por su estabilidad no tienden a combinarse con ningún otro elemento y ni siquiera entre sí para formar moléculas.

Formación de una molécula de un mismo elemento

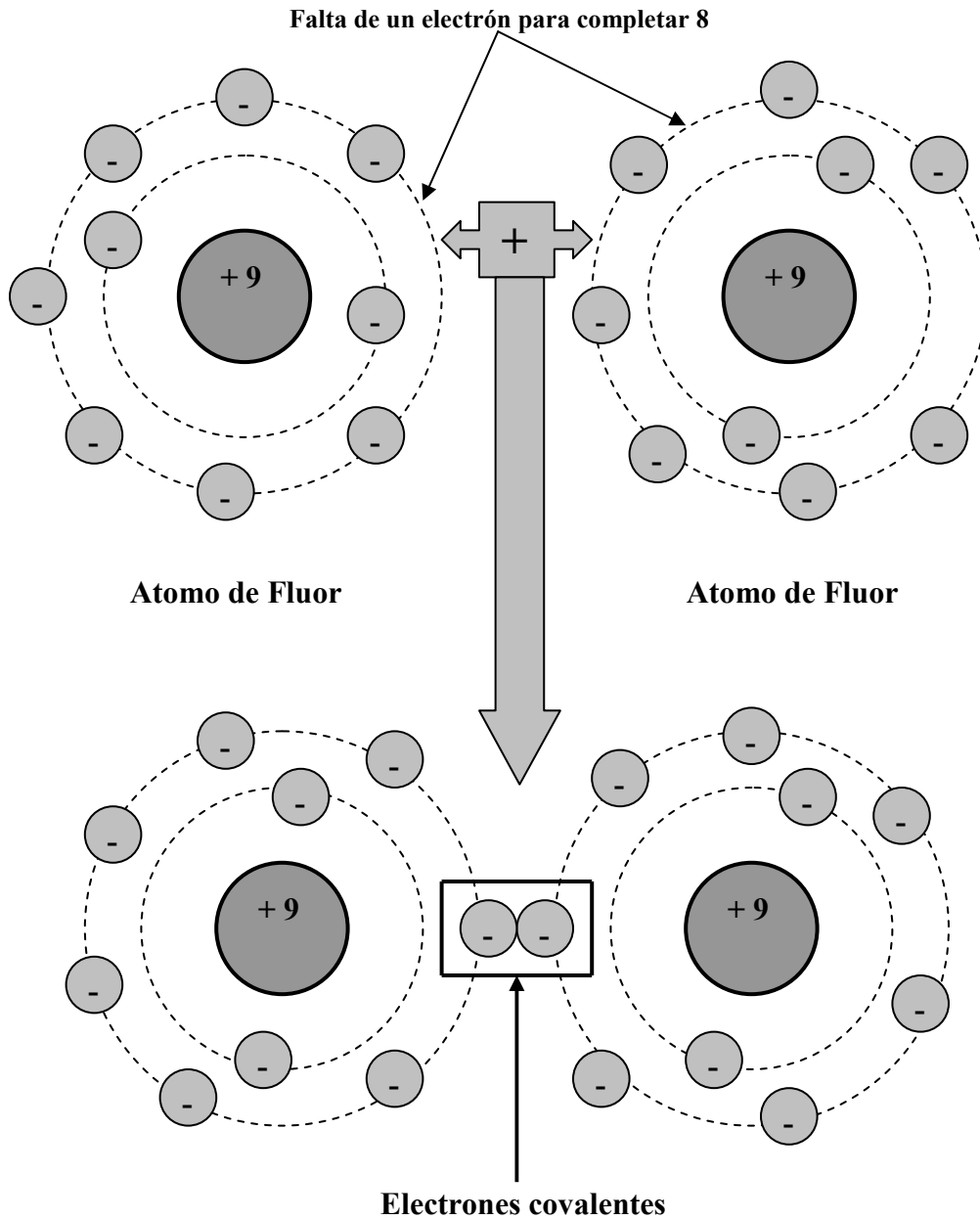


Fig. 4 - Al compartir un electrón de su capa exterior dos átomos de Fluor forman una molécula de Fluor (F_2).

Como se puede apreciar en la **Fig. 4**, el átomo de Fluor contiene 7 electrones en su capa más externa. Al no contener 8 electrones el átomo no es estable, sino que es químicamente **Activo**, por lo tanto pretenderá permanentemente ganar un electrón para completar su capa más externa. Si puede combinarse con algún otro elemento que este dispuesto a perder un electrón de su capa externa lo hará, de lo contrario puede combinarse con otro átomo de su propia especie para formar la molécula de Fluor.

En el caso citado anteriormente los dos átomos de Fluor simplemente están compartiendo sus electrones. Esta condición se mantendrá mientras no se presente la oportunidad de que ambos átomos puedan adquirir el electrón que les falta, en este caso la molécula de Fluor se dividirá en dos átomos y cada uno tomará del otro elemento un electrón que ya no tendrá que compartir con sus pares.

Formación de la molécula de un compuesto

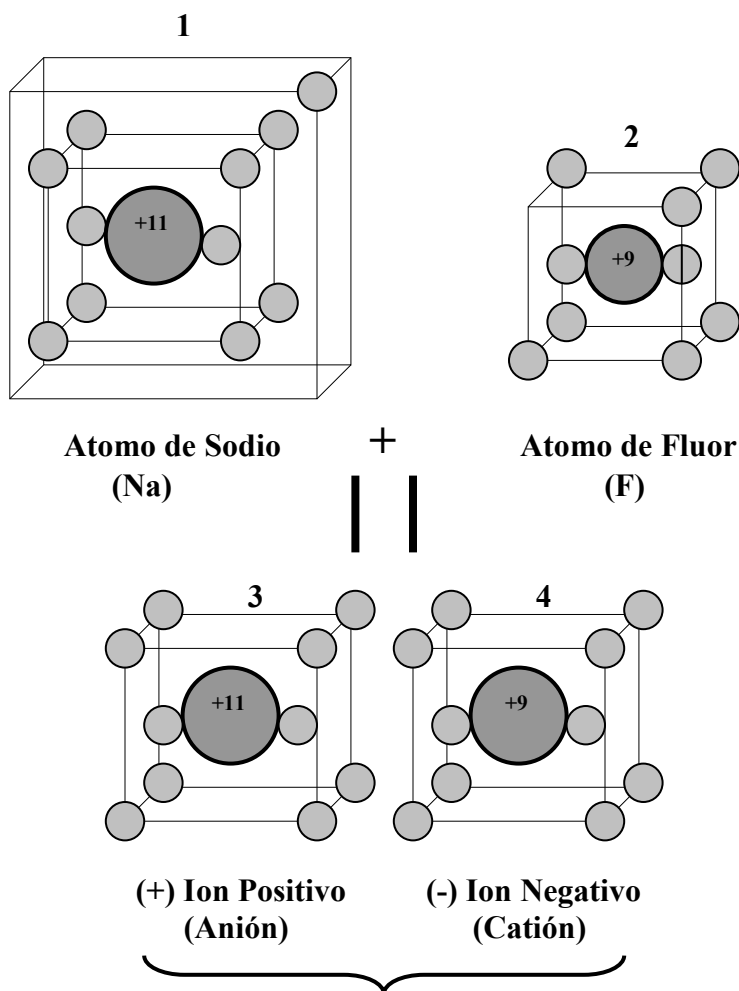


Fig. 5 - Fluoruro de Sodio (NaF)

En la **Fig. 5** se muestra como se combinan los átomos de dos elementos diferentes para formar una molécula de un **compuesto**, permitiendo comprender la mayor parte de las reacciones químicas.

El **N° 1** es un átomo de **Sodio**, en el centro se muestra el núcleo con **11 cargas positivas** (11 protones) que equilibran sus **11 cargas negativas** (11 electrones). Observemos como están dispuestos estos electrones en las **3 capas** del átomo: **2 en la primer capa (capa completa), 8 en la segunda capa (capa completa), 1 en la tercer capa (capa incompleta, deberían ser 8 por ser la capa externa)**. Al estar este undécimo electrón solo en la capa externa, el átomo de Sodio estará muy dispuesto a perderlo.

El **N° 2** es un átomo de **Fluor**, este muestra **9 cargas positivas** en su núcleo (9 protones) que equilibran sus **9 cargas negativas** (9 electrones). Observemos como están dispuestos estos electrones en las **2 capas** del átomo: **2 en la primer capa (capa completa), 7 en la segunda capa (capa incompleta, deberían ser 8 por ser la capa externa)**. Al faltarle un electrón para completar esta última capa, el átomo de Fluor está muy dispuesto para ganar un electrón y completarla.

Es evidente que si se colocan juntos un átomo de Sodio y uno de Fluor, el electrón libre de la capa externa del átomo de Sodio saltará a ocupar el lugar libre de la última capa del átomo de Fluor, dando como resultado esta combinación un elemento compuesto denominado “Fluoruro de Sodio”.

Veamos ahora que los átomos de ambos elementos, N° 3 y N° 4, han quedado con una conformación muy similar, la gran diferencia es que se han convertido en iones, ion positivo de Sodio (anión) e ion negativo de Fluor (catión). En ambos ya las cargas positivas del núcleo no compensan las cargas negativas de los electrones, en el átomo de Sodio tenemos 11 cargas positivas en el núcleo y 10 electrones orbitándolo, el átomo ya no es neutro eléctricamente, presenta una “carga positiva”. En el átomo de Fluor tenemos 9 cargas positivas en el núcleo y 10 electrones orbitándolo, el átomo ya no es neutro eléctricamente, presenta una “carga negativa”.

Las partículas de cargas distintas se atraen mutuamente y eso explica por qué se mantienen juntos los dos iones de Sodio y Fluor formando una molécula de Fluoruro de Sodio.

Estructura del Silicio y del Germanio

El átomo de Silicio (Si) contiene 14 electrones dispuestos de la siguiente forma: 2 electrones en la primer capa (capa completa), 8 electrones en la segunda capa (capa completa) y 4 electrones en la tercer capa o externa (capa incompleta).

El átomo de Germanio (Ge) contiene 32 electrones dispuestos de la siguiente forma: 2 electrones en la primer capa (capa completa), 8 electrones en la segunda capa (capa completa), 18 electrones en la tercer capa (capa completa), 4 electrones en la cuarta capa o externa (capa incompleta).

El Germanio y el Silicio tienen cuatro electrones en su capa exterior, por lo tanto un átomo de estos elementos puede combinarse con otros cuatro átomos iguales compartiendo un par de electrones con cada uno de ellos, completando así los 8 electrones de la capa exterior y adquiriendo así una configuración estable.

Los átomos de Silicio o de Germanio, ligados entre sí de esta forma, conforman una red de cubos denominados “**crisales elementales**” que comparten los cuatro electrones de los vértices comunes, dando lugar a la formación del cristal de Silicio o de Germanio.

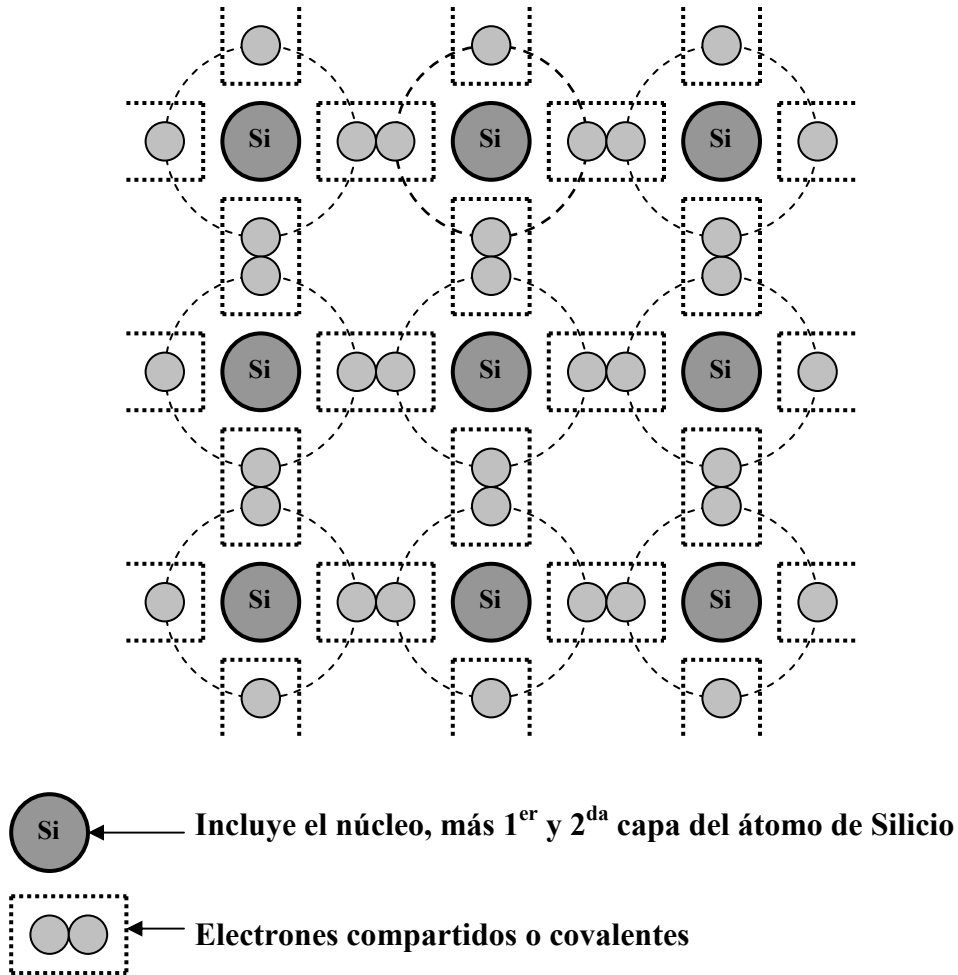


Fig. 6 – Estructura reticular cristalina de Silicio

La estructura tal como se observa en **Fig. 6** no tiene electrones débilmente unidos al núcleo, por lo tanto el elemento conforma un mal conductor. Para poder separar las ligaduras covalentes y proveer así electrones libres para la conducción de corriente eléctrica, sería necesario aplicar altas temperaturas o campos eléctricos intensos al material.

Otra manera de alterar la estructura cristalina y obtener así electrones libres, consiste en agregar pequeñas cantidades de otros elementos que tengan una estructura atómica diferente.

Mediante el agregado de cantidades muy pequeñas de otros elementos, llamados “Impurezas”, es posible modificar y controlar las propiedades eléctricas básicas de los materiales semiconductores. La relación entre “Impurezas” y material semiconductor es del orden de una parte en diez millones.

Cuando se agrega al material semiconductor el elemento de “impureza”, los átomos de este elemento se incorporan a la estructura reticular del semiconductor pasando a formar parte de la misma.

Si el átomo de impureza contiene un electrón más de valencia en su capa exterior (5 electrones) que el átomo del semiconductor (4 electrones), este electrón adicional no podrá formar una ligadura covalente debido a que no encontrará un electrón de valencia libre adyacente (**Fig. 7**). El electrón excedente es atraído débilmente por el núcleo del átomo y solo requiere una ligera excitación para separarse, en consecuencia la presencia de tales electrones excedentes hacen al material mejor conductor, es decir su resistencia a la circulación de corriente eléctrica disminuye.

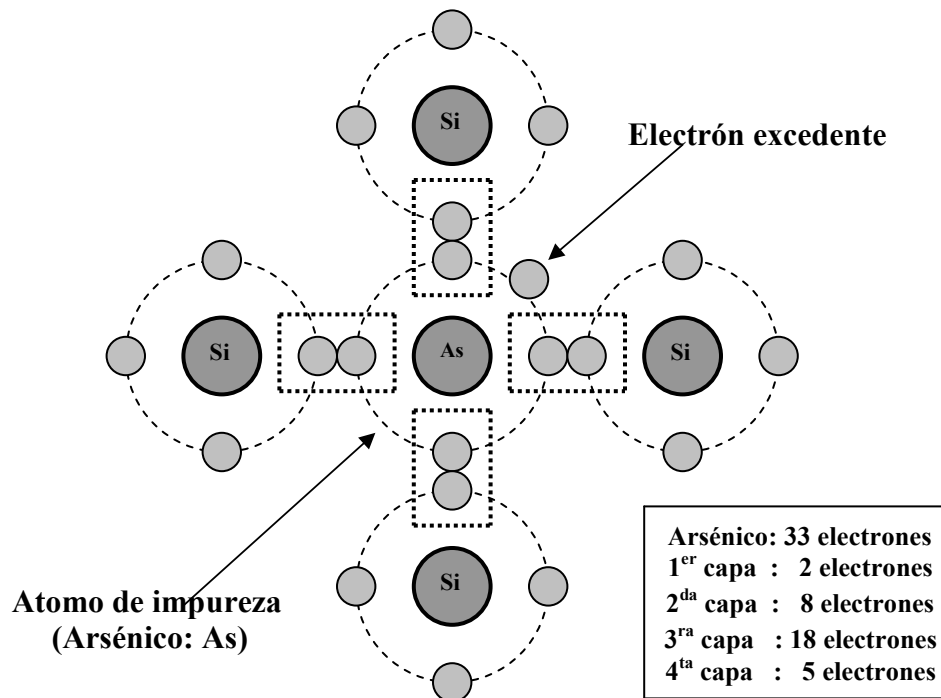


Fig. 7 – Material tipo N

Los elementos de impureza más utilizados que se agregan a los cristales de silicio para proveer los electrones excedentes incluyen al **Fósforo (P)**, el **Arsénico (As)** y el **Antimonio (Sb)**.

Cuando se agregan al silicio estos elementos, el material resultante es denominado “Tipo N” debido a que los electrones libres excedentes tienen carga negativa. Debe hacerse notar, sin embargo, que la carga negativa de estos electrones se equilibra con una carga positiva equivalente situada en el núcleo de los átomos de impureza, por lo tanto el material sigue siendo neutro eléctricamente.

Se produce un efecto diferente cuando en la estructura cristalina del silicio se introduce impurezas cuyos átomos tienen un electrón de valencia menos en su capa exterior (3 electrones) que el átomo de silicio (4 electrones).

Aunque todos los electrones de valencia del átomo de impureza forman ligaduras covalentes con los electrones de los átomos vecinos del semiconductor, una de las ligaduras de la estructura cristalina no puede completarse debido a que al átomo de impureza le falta un electrón de valencia en su capa externa con respecto a los que poseen los átomos del semiconductor. Como consecuencia de ello aparece en la estructura reticular del cristal un vacío denominado “Laguna” (Fig. 8).

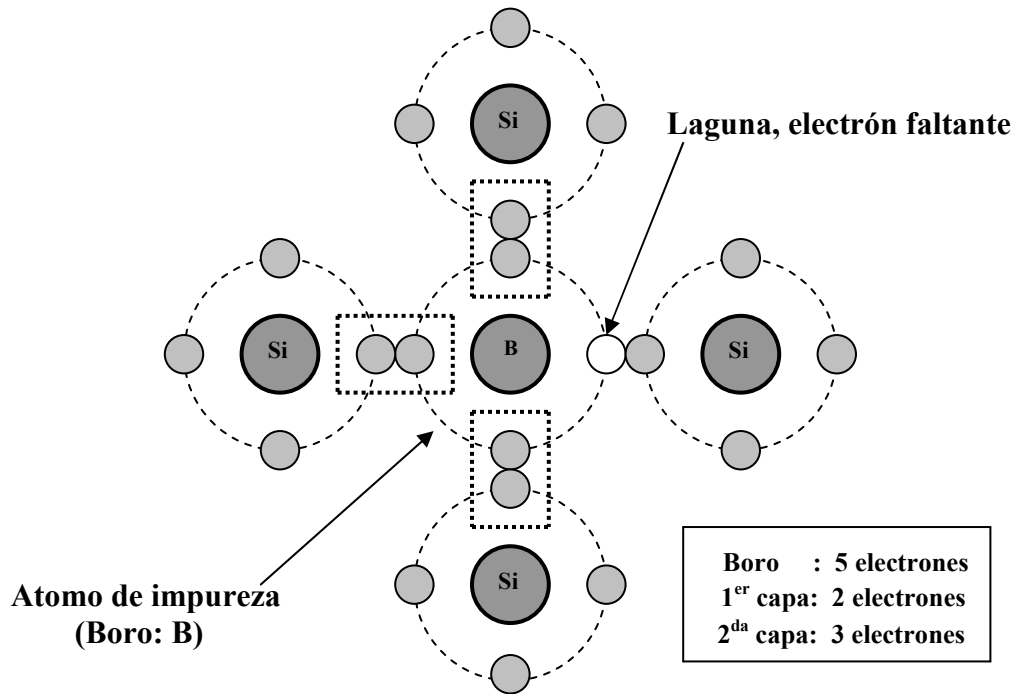


Fig. 8 – Material tipo P

Al quedar conformada así la estructura reticular del cristal, cualquier electrón de las ligaduras covalentes adyacentes puede entonces absorber suficiente energía como para romper su ligadura y moverse a través de la red para llenar la laguna.

Al igual que en el caso de los electrones excedentes, la presencia de lagunas dentro de la estructura, favorece la circulación de electrones en el material del semiconductor, en consecuencia la conductividad aumenta y la resistividad disminuye.

Se considera que el lugar vacío o laguna en la estructura cristalina tiene una carga eléctrica positiva, porque representa la falta de un electrón. Sin embargo en este caso también la carga neta del cristal permanece invariable o sea neutra.

El material semiconductor que contiene lagunas o cargas positivas es denominado material “Tipo P”.

Los materiales tipo P se forman agregando al silicio elementos como el Boro (B), Galio (Ga), Indio (In), Aluminio (Al).

“Aunque existe poca diferencia en la composición química de los materiales Tipo N y Tipo P, las diferencias en las características eléctricas de los dos tipos de elementos son sustanciales y resultan muy importantes en el funcionamiento de los dispositivos semiconductores”.

Junturas P - N

Cuando se unen dos pastillas de materiales semiconductores, una **Tipo N** y otra **Tipo P**, tal como se muestra en la **Fig. 9**, se produce un fenómeno singular pero muy importante en la zona en la que se ponen en contacto los dos materiales, denominada “**Juntura P-N**”.

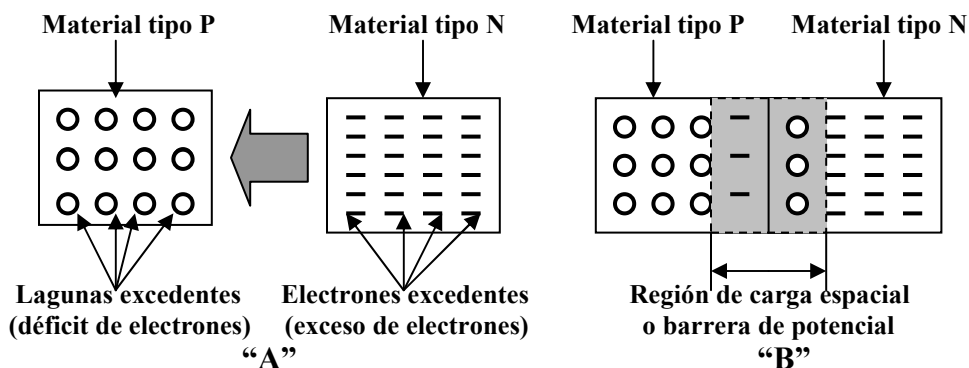


Fig. 9

Cuando se forma una juntura **P-N**, algunos de los electrones libres del material **Tipo N** se difunden a través de la juntura hacia el material **Tipo P**, combinándose con las lagunas de este material. Estos electrones al abandonar el material **N** dejan huecos o lagunas en él, de modo que si observamos la **Fig. 9 “B”** se podría interpretar que los electrones se mueven del material **N al P** y las lagunas del **P al N**. La energía térmica es la que produce esta llamada “**Corriente de Difusión**”.

Como resultado del proceso de difusión, se produce una **Diferencia de Potencial a través de la Región de Carga Espacial**. Esta diferencia de potencial puede representarse, tal como se muestra en la **Fig. 10**, como una batería imaginaria conectada a través de la juntura P-N.

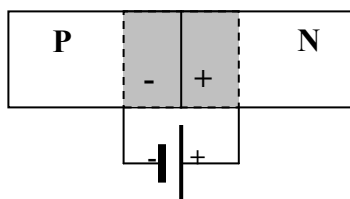


Fig. 10

El símbolo de batería se utiliza simplemente para ilustrar los efectos eléctricos internos de la juntura, el potencial que representa por supuesto no es mensurable directamente.

Esta diferencia de potencial forma una barrera denominada “**Barrera de Energía**” la cual impide que se sigan difundiendo electrones a través de juntura. En efecto, los electrones del material **Tipo N** que tienden a seguir difundirse a través de la juntura son repelidos por la carga negativa inducida en el material **Tipo P**, mientras que las lagunas del material **Tipo P** son repelidas por la carga positiva inducida en el material **Tipo N**. Esta diferencia de potencial o barrera de energía impide por lo tanto una interacción total entre los dos tipos de materiales, preservando así las diferencias en sus características.

Circulación de corriente a través de una juntura P-N

Cuando se conecta una batería a una juntura P-N, la intensidad de corriente que circulará por la juntura será dependiente del nivel de tensión aplicada y de la polaridad con que se conecte la batería a la juntura.

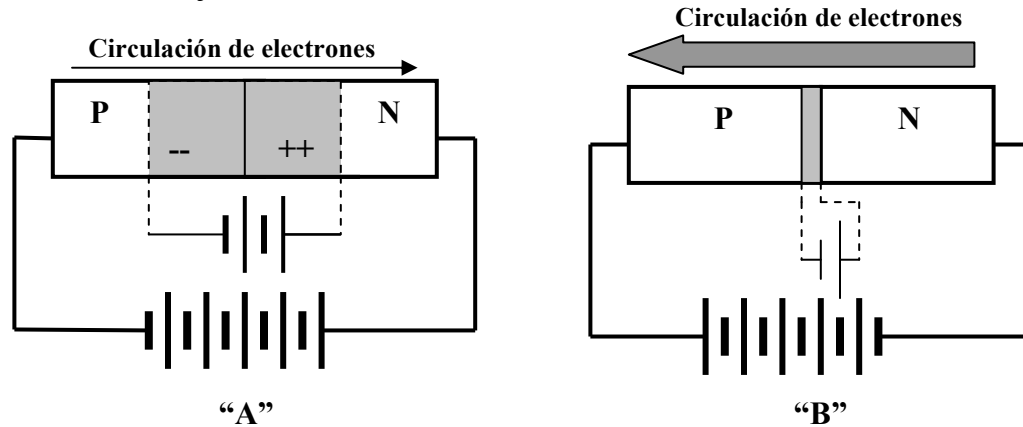


Fig. 11

En el circuito eléctrico representado en la Fig. 11 “A” el Terminal Positivo de la batería externa ha sido conectado al Semiconductor N y el Terminal Negativo al Semiconductor P. Con esta disposición de polarización de la Juntura P-N, los electrones libres del material semiconductor Tipo N son atraídos por el Electrodo Positivo de la batería, alejándose de la juntura. Al mismo tiempo, las lagunas del material semiconductor Tipo P son atraídas por el Electrodo Negativo de la batería, alejándose también de la juntura. Como resultado de las condiciones descriptas en el párrafo anterior, la **región de carga espacial en la juntura se ensancha y la diferencia de potencial que representa llega casi al nivel de la tensión de la batería externa.**

La circulación de corriente a través de la juntura es extremadamente pequeña, si se produce. **“Una juntura P-N, alimentada por una fuente de Corriente Continua de esta manera, se dice que está Polarizada Inversamente”.**

En el circuito eléctrico representado en la Fig. 11 “B”, se han invertido las conexiones de la batería externa, estando ahora su Electrodo Positivo conectado al semiconductor Tipo P y su Electrodo Negativo al semiconductor Tipo N. Con esta disposición de polarización de la juntura P-N, los electrones del material Tipo P cercanos al Electrodo Positivo de la batería rompen sus ligaduras covalentes y entran a la batería, creando en el material nuevas lagunas. Al mismo tiempo los electrones libres del material Tipo N son repelidos por el Electrodo Negativo de la batería moviéndose hacia la juntura, al desplazarse van creando nuevos espacios o lagunas que son ocupados por nuevos electrones que ingresan al material desde el Electrodo Negativo de la batería.

Toda esta acción da como resultado un estrechamiento de la carga espacial de modo que los electrones comienzan a difundirse rápidamente a través de la juntura dirigiéndose hacia el electrodo positivo de la batería, al combinarse con las lagunas del material P. Esta circulación electrónica continuará mientras se mantenga conectada la fuente de alimentación externa.

“Una juntura P-N alimentada por una batería externa tal como se muestra en la Fig. 11 “B”, se dice que está Polarizada Directamente”.

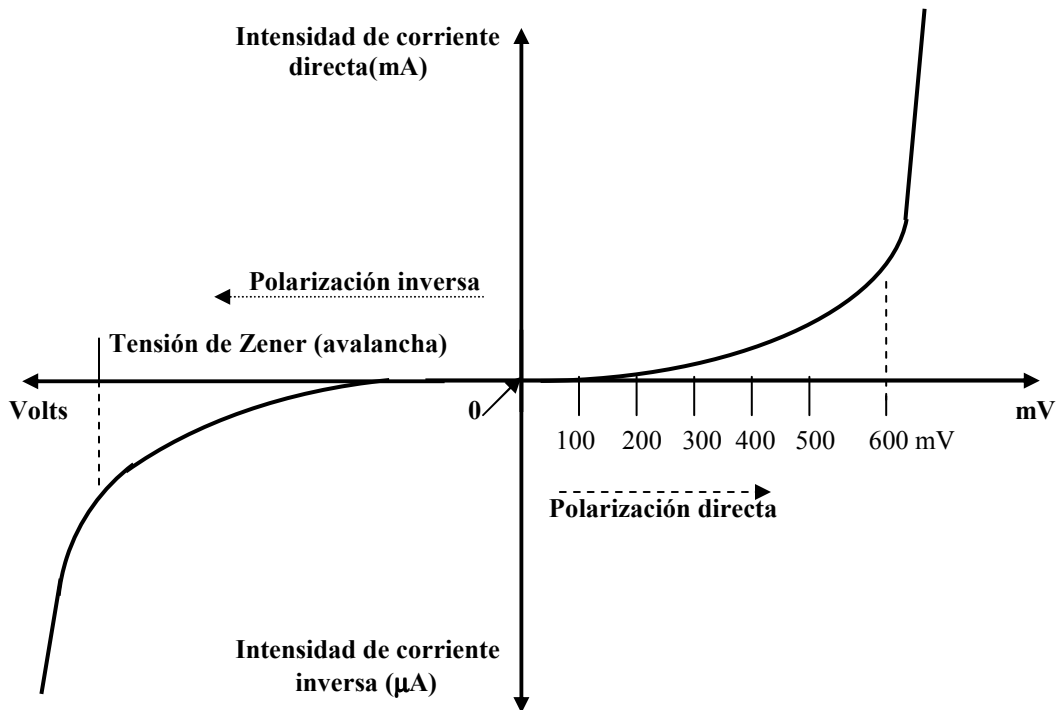


Fig. 12 - Curva característica Tensión de Polarización vs. Corriente de una juntura P-N

En la Fig. 12 se ha representado una curva generalizada para una **Juntura P-N** de la **tensión de polarización de la juntura Vs. la intensidad de corriente circulante por la misma**, observe que se han contemplado los casos de **polarización directa e inversa**.

En la **región de polarización directa (cuadrante superior derecho)**, se puede ver que la intensidad de corriente circulante por la juntura, aumenta inicialmente lentamente a medida que aumenta la tensión aplicada a la juntura, es decir, partiendo desde tensión cero y prácticamente hasta llegar a los 500 mV a 600 mV, cada variación de 100 mV producen un aumento en la intensidad de corriente de unos pocos mA, cruzando el umbral de la **Barrera de Energía o de Potencial que impone la juntura (alrededor de 600mV)**, la intensidad de corriente aumenta rápidamente de modo que para variaciones de la tensión de polarización de unos pocos mV la intensidad de corriente aumenta en forma importante.

En la **región de polarización inversa (cuadrante inferior izquierdo)**, observe que para variaciones de varios volts de la tensión aplicada la intensidad de corriente sufre escasas variaciones y está dentro del orden de los microAmpar (μA). El nivel de dicha tensión podrá ser siendo aumentada (dependiendo del diodo utilizado) hasta un cierto nivel, después del cual se producirá un efecto de avalancha en la juntura que producirá un brusco aumento de la intensidad de corriente inversa que si no es limitada producirá la destrucción instantánea de la juntura. **Dicho nivel de tensión es denominado Tensión de Zener.**

Diodos

El dispositivo de estado sólido más simple es el **Diodo**, el cual se representa por el símbolo mostrado en la **Fig. 13**.

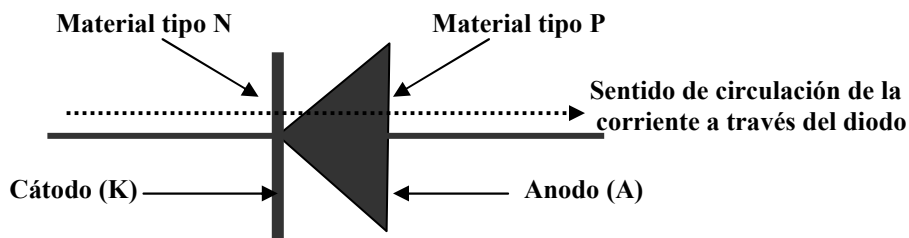


Fig. 13 - Diodo

La estructura básica del Diodo es una juntura P-N, similar a la descrita anteriormente.

- El material tipo N es denominado **Cátodo del Diodo** y es simbolizado por la letra **K**.
- El material tipo P es denominado **Anodo del Diodo** y es simbolizado por la letra **P**.

El sentido de la flecha utilizada para simbolizar el ánodo del diodo, representa el sentido de circulación de **Corriente Convencional** a través del diodo.

El sentido de circulación de corriente electrónica a través del diodo (sentido de circulación real de la corriente eléctrica) es contrario a la flecha, es decir, de “Cátodo” a “Anodo” (negativo a positivo).

EL DIODO COMO RECTIFICADOR EN LA CONVERSION DE C.A. a C.C.

RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA

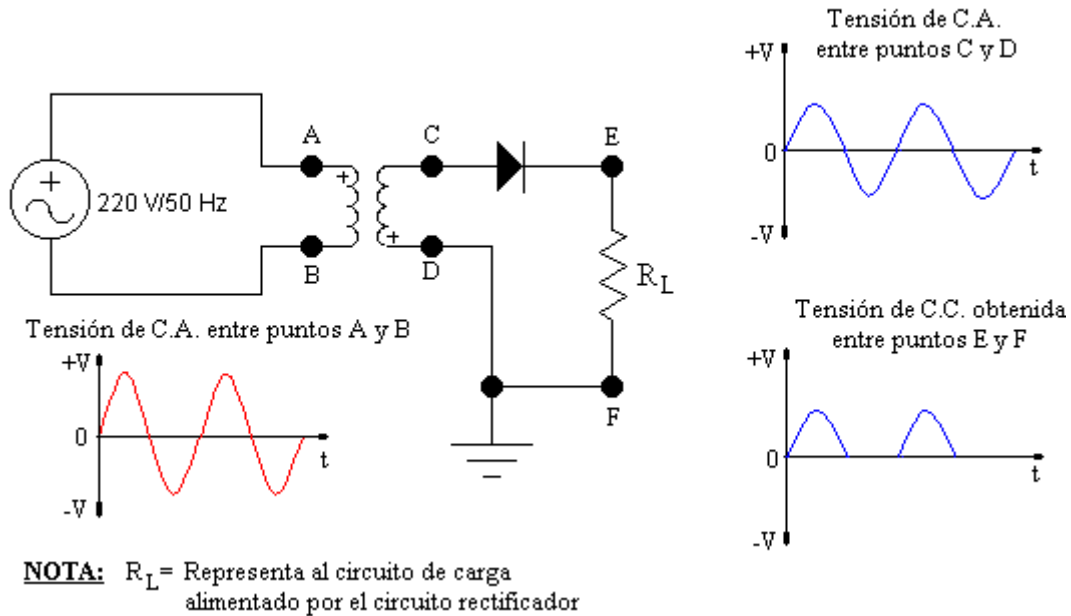


Fig. 14

Como se puede apreciar en la Fig. 14, la C.C. rectificada obtenida, es una C.C. pulsante con un "rizado" o "ripple" muy grande. Este puede ser suavizado colocando un condensador en paralelo con la carga R_L . Este condensador es denominado comúnmente "condensador de filtro". (Fig. 15)

RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA

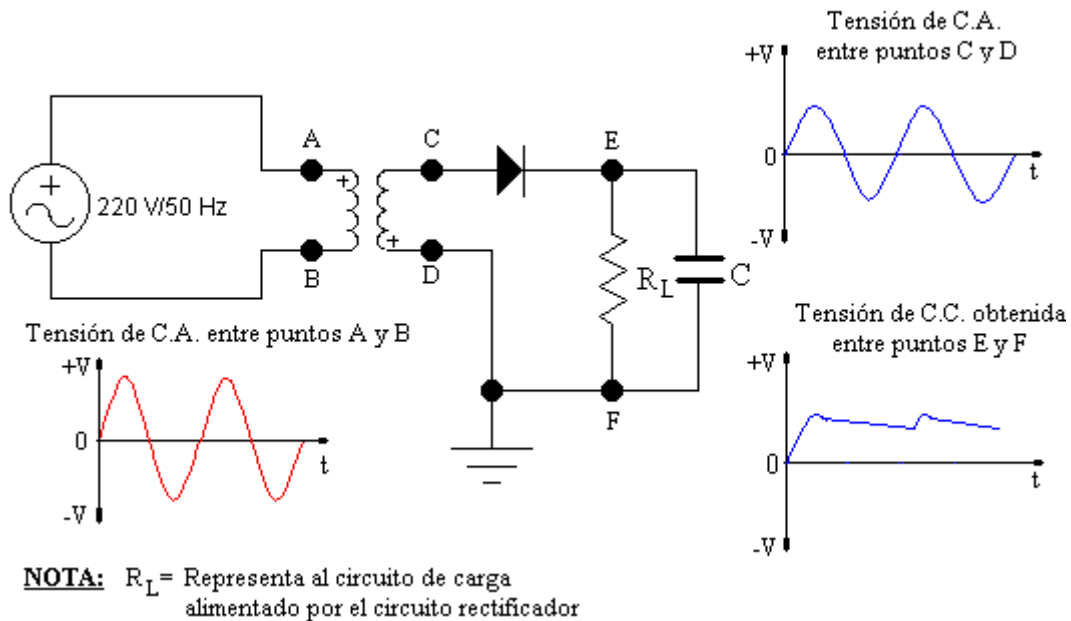


Fig. 15

El rizado es la componente de C.A. que queda superpuesta a la C.C. obtenida de la rectificación. En la Fig. 16 se representa la influencia del condensador “C” sobre el nivel de rizado en la fuente planteada en la Fig. 15:

Fig. 16B, capacitancia de C mayor que en Fig. 16^a

Fig. 16C, capacitancia de C mayor que en Fig. 16B

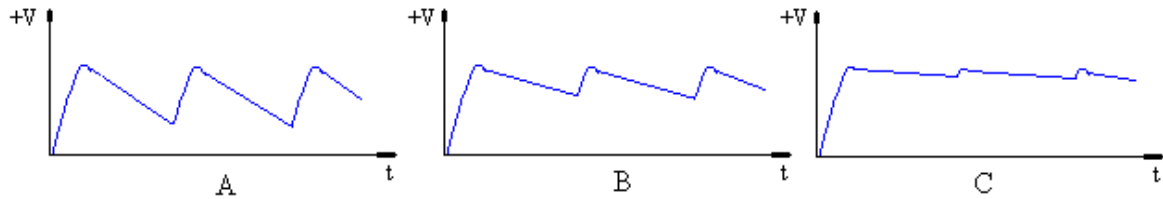


Fig. 16

En un rectificador de Media Onda, la frecuencia de la C.A. de rizado es la misma que la frecuencia de la C.A. de alimentación. En este caso (Figs. 14 y 15), es de 50 Hz..

RECTIFICADORES DE ONDA COMPLETA

En la Fig. 17 se ha planteado un Circuito Rectificador Clásico de Onda Completa, en el que se utiliza un transformador cuyo secundario tiene una derivación en el punto medio de su arrollado secundario.

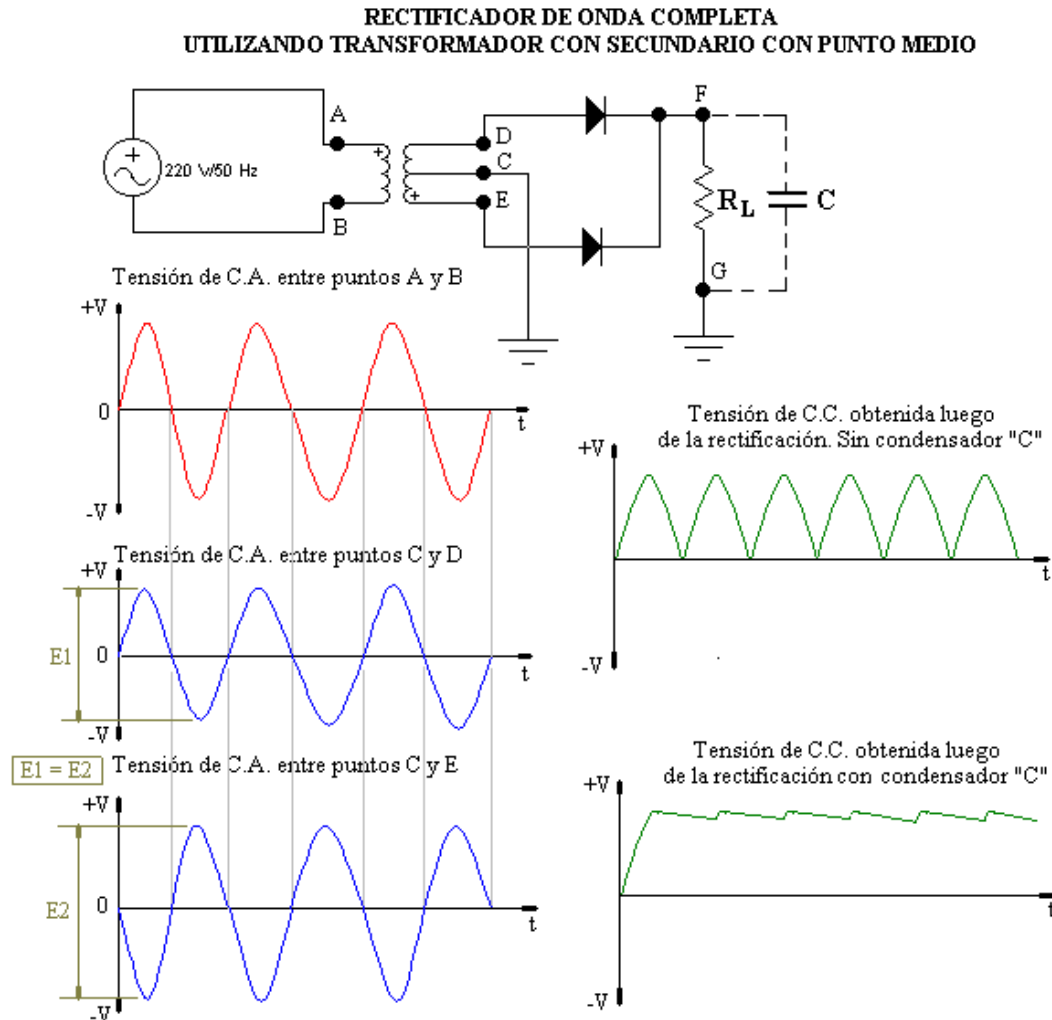


Fig. 17

La frecuencia de la componente de C.A. de rizado, es el doble de la frecuencia de la C.A. de alimentación. Es este caso la frecuencia de la C.A. de alimentación es de 50 Hz, por lo tanto la frecuencia de la C.A. de rizado es de 100 Hz.

Como en el caso del rectificador de media onda, la amplitud de la C.A. de rizado es dependiente de la capacidad del condensador "C".

RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA EN CONFIGURACION PUENTE

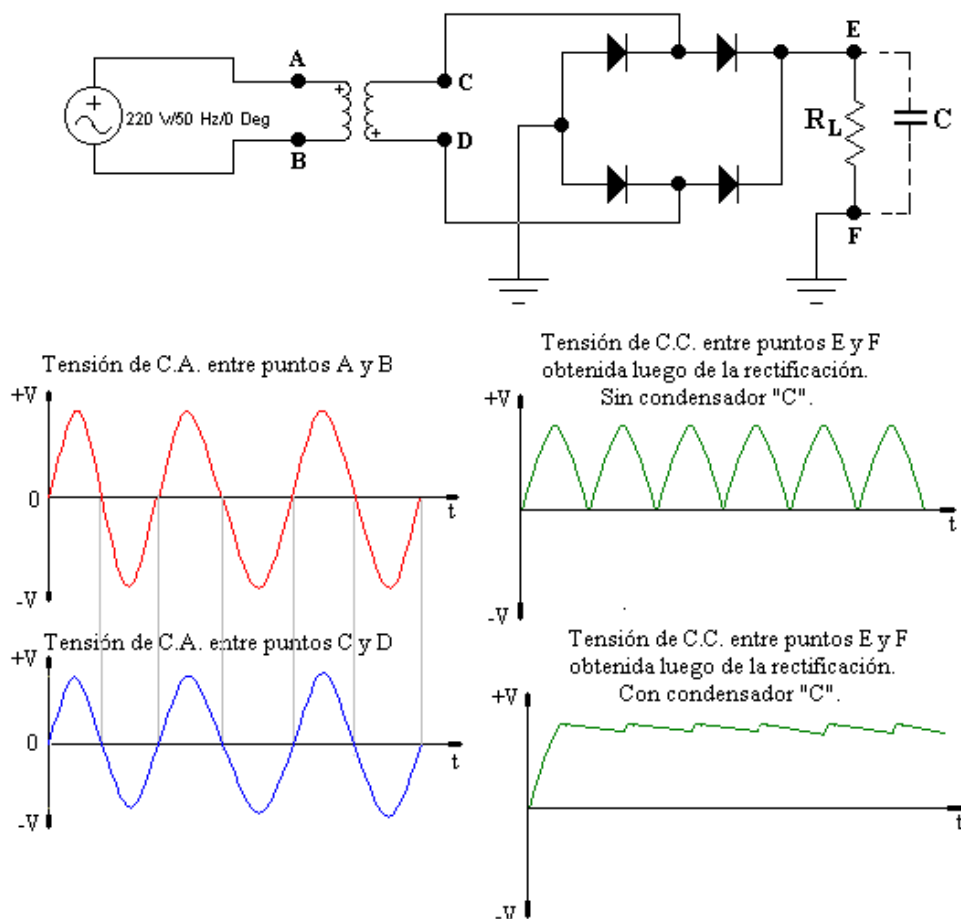


Fig. 18

La frecuencia de la componente de C.A. de rizado, es el doble de la frecuencia de la C.A. de alimentación. Es este caso la frecuencia de la C.A. de alimentación es de 50 Hz, por lo tanto la frecuencia de la C.A. de rizado es de 100 Hz.

Como en el caso del rectificador de media onda, la amplitud de la C.A. de rizado es dependiente de la capacidad del condensador “C”.

En ambas fuentes de rectificación de onda completa presentadas (Figs. 17 y 18), el filtrado realizado por el condensador “C” es un filtrado muy rudimentario, pero eficaz en muchos casos, especialmente para alimentar etapas de alto nivel, donde los valores de zumbido (100 Hz) no son importantes para el desempeño global del sistema.

Se puede realizar un cálculo simple pero muy aproximado del valor de capacidad del capacitor “C” en cada caso.

Se debe tener en cuenta la máxima intensidad de corriente que se demandará a la fuente y cual es la máxima tensión de rizado que se desea permitir. Con estos datos se calcula el valor de “C” con la siguiente ecuación:

$$C \text{ (microFaradios)} = \frac{10 \times I \text{ (miliAmperes)}}{Vr \text{ (Volts)}}$$

Planteo de un ejemplo real:

Calculo del valor de capacidad del capacitor “C”, para una fuente a la que se demandará una intensidad de corriente **I = 1 Amper** y en la que se desea tener una tensión de rizado no mayor que **Vr = 0,5 Volt**

$$C = \frac{10 \times 1000}{0,5} = 10000 \text{ uF}$$

Observe el elevado valor de capacidad necesario, que es tanto más importante, cuanto mejor quiera filtrarse una tensión aplicada a una carga que consume alta intensidad de corriente.

El diodo no es solamente empleado como rectificador, es empleado en múltiples funciones en electrónica. Asimismo existe una cantidad muy grande de tipos de diodo, el diseño y fabricación de cada uno responde a la aplicación a la que está destinado.

Un diodo muy particular es el **DIODO DE ZENER**. Este diodo se utiliza para alimentar circuitos con una tensión estabilizada, dentro de ciertos límites.

El mismo se trabaja con polarización inversa en la zona de avalancha o Tensión de Zener, nivel de tensión que el diodo tiende a mantener constante entre sus extremos variando la intensidad de corriente que por él circula, lo que se traduce en una mayor o menor caída de tensión sobre la resistencia limitadora de corriente dispuesta en serie con la fuente de alimentación del sistema (R1 en los circuitos de la Fig. 18).



Símbolo del Diodo Zener

Ejemplos de funcionamiento de un diodo zener ante variaciones de la tensión de alimentación o de la carga que demanda el circuito.

NOTA: R1 = resistencia limitadora

R2 = carga que impone el circuito alimentado con la tensión estabilizada por el zener

1N4733 = Diodo Zener 5.1V- 1Watt

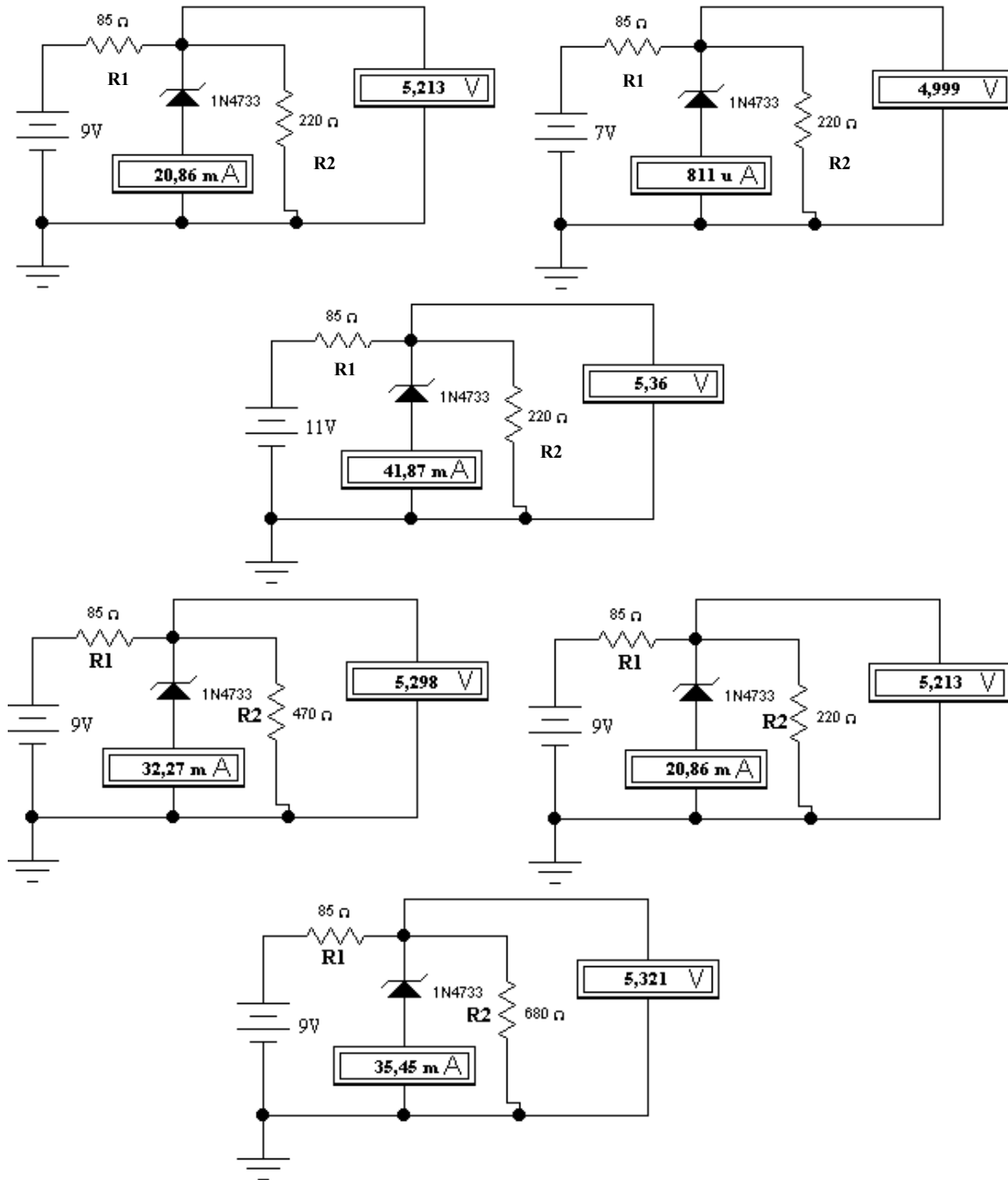


Fig. 18

Existe una muy amplia variedad de Diodos Zener, con tensiones de enclavamiento que van desde por ejemplo 2,4V; 2,7V; 3,0V; 3,7V;hasta centenas de Volt y dentro de esas tensiones los hay para distintas potencias, desde ½ watt hasta 50 watt o más.

La potencia se determina como primera aproximación, multiplicando la tensión de enclavamiento por la máxima intensidad de corriente a circular por el diodo. No olvidemos que la potencia es:

$$W = V \times I$$

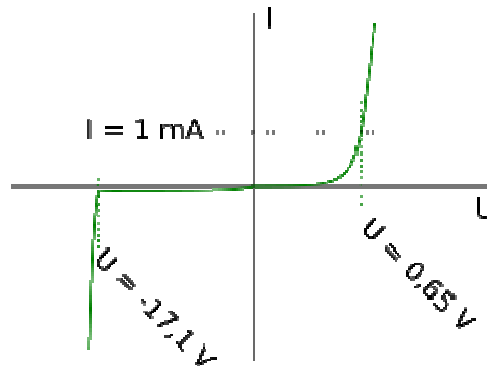
Un **diodo Zener**, es un diodo de silicio que se ha construido para que funcione en las zonas de rupturas. Llamados a veces diodos de avalancha o de ruptura, el diodo zener es la parte esencial de los reguladores de tensión casi constantes con independencia de que se presenten grandes variaciones de la tensión de red, de la resistencia de carga y temperatura.

Símbolo esquemático

El diodo Zener se representa en los esquemas con el siguiente símbolo: en cambio el diodo normal no presenta esa curva en las puntas:



Símbolo esquemático del diodo zener



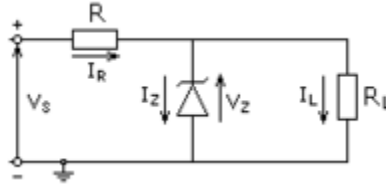
Voltaje zener: el diodo está polarizado en forma inversa, obsérvese que la corriente tiene un valor casi nulo mientras que el voltaje se incrementa rápidamente, en este ejemplo fue con 17 voltios.

Resistencia Zener Un diodo zener, como cualquier diodo, tiene cierta resistencia interna en sus zonas P y N; al circular una corriente a través de éste se produce una pequeña caída de tensión de ruptura.

En otras palabras: si un diodo zener está funcionando en la zona zener, un aumento en la corriente producirá un ligero aumento en la tensión. El incremento es muy pequeño, generalmente de una décima de voltio.

Los **diodos Zener** mantienen la tensión entre sus terminales prácticamente constante en un amplio rango de intensidad y temperatura, cuando están polarizados inversamente, por ello, este tipo de diodos se emplean en circuitos estabilizadores o reguladores de la tensión tal y como el mostrado en la figura.

Eligiendo la resistencia R y las características del diodo, se puede lograr que la tensión en la carga (R_L) permanezca prácticamente constante dentro del rango de variación de la tensión de entrada V_S .



Para elegir la resistencia limitadora R adecuada hay que calcular primero cuál puede ser su valor máximo y mínimo, después elegiremos una resistencia R que se adecue a nuestros cálculos.

$$R_{min} = \frac{V_{smax} - V_z}{I_{Lmin} + I_{zmax}}$$

$$R_{max} = \frac{V_{smin} - V_z}{I_{Lmax} + I_{zmin}}$$

Donde:

1. R_{min} es el valor mínimo de la resistencia limitadora.
2. R_{max} es el valor máximo de la resistencia limitadora.
3. V_{smax} es el valor máximo de la tensión de entrada.
4. V_{smin} es el valor mínimo de la tensión de entrada.
5. V_z es la tensión Zener.
6. I_{Lmin} es la mínima intensidad que puede circular por la carga, en ocasiones, si la carga es desconectable, I_{Lmin} suele tomar el valor 0.
7. I_{Lmax} es la máxima intensidad que soporta la carga.
8. I_{zmax} es la máxima intensidad que soporta el diodo Zener.
9. I_{zmin} es la mínima intensidad que necesita el diodo zener para mantenerse dentro de su zona zener o conducción en inversa (1mA).

La resistencia que elijamos, debe estar comprendida entre los dos resultados que hemos obtenido.

La resistencia de carga del circuito (R_L) debe cumplir la siguiente formula:

$$R_L = \frac{V_z}{I_{Lmax}}$$

Los diodos Zener generan ruido. Por esa característica, son usados en los generadores de ruido y puentes de ruido.

Diodos Rectificadores de Avalancha Controlada

Tal como se vio en la **Pág. 13/ Fig. 12** , todo diodo tiene una zona de avalancha de corriente, cuando es sometido a tensiones de polarización inversa. El nivel de la tensión inversa aplicada, para la que se produce esa conducción (de cátodo a ánodo), es distinta para cada tipo de diodo.

Los **Rectificadores de Avalancha Controlada** se recomiendan para las aplicaciones en que la capacidad para soportar elevados transitorios de tensión constituye un factor importante del diseño. En este tipo de rectificadores, la tensión a la que se produce la avalancha es predeterminada durante la fabricación mediante un control preciso de las resistividades (es decir las concentraciones de impurezas) en las zonas de la juntura P-N y mediante una cuidadosa atención de la geometría de la pastilla de silicio. En la fabricación de los *rectificadores de avalancha controlada*, se debe tener especial cuidado para asegurar una gran regularidad de la pastilla de silicio y una distribución pareja de impurezas, en las regiones N y P, de la juntura del semiconductor.

Además, los bordes de la juntura P-N de silicio deben tener una forma tal que reduzcan la intensidad de los campos eléctricos localizados en la superficie de la juntura. Estas condiciones aseguran que la ruptura sea uniforme a través de toda la zona de la juntura, en lugar de concentrarse en puntos débiles cercanos a la superficie de la juntura.

Esta avalancha uniforme, si se mantiene dentro de límites aceptables, no es destructiva.

Sometiendo a numerosas pruebas a los Rectificadores de Avalancha Controlada es posible predecir con exactitud el comportamiento de estos dispositivos en condiciones de tensión inversa elevada.

Los rectificadores son probados para determinar su aptitud para soportar elevados transitorios de tensión, sometiéndolos también a pruebas de duración, para determinar su capacidad para funcionar largos períodos en la región de avalancha. La pendiente de la *curva de corriente-tensión* en la región de avalancha define el nivel de disipación (potencia) al comienzo de la ruptura por avalancha y también el nivel máximo de disipación que los rectificadores pueden soportar en condiciones de polarización inversa.

Dentro de los regímenes especificados para cada tipo, los rectificadores de avalancha controlada pueden absorber sin grandes riesgos aumentos grandes de energía, como los que se producen como consecuencia de la conmutación rápida de los circuitos inductivos.

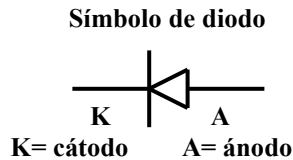
- **Recopilado de:**

RCA – MANUAL PARA PROYECTISTAS

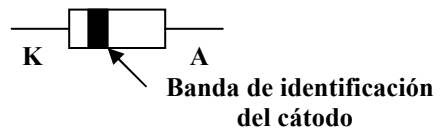
Circuitos de Potencia de Estado Sólido

Comprobación del estado de diodos de uso general y rectificadores

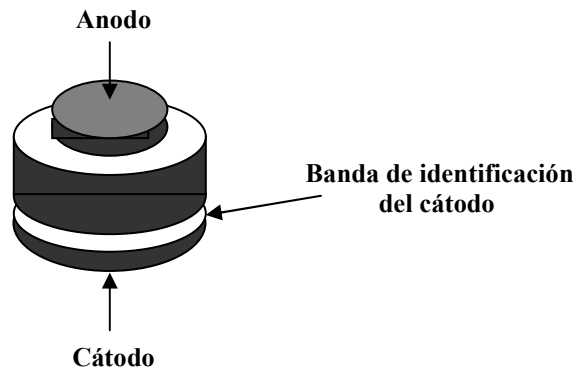
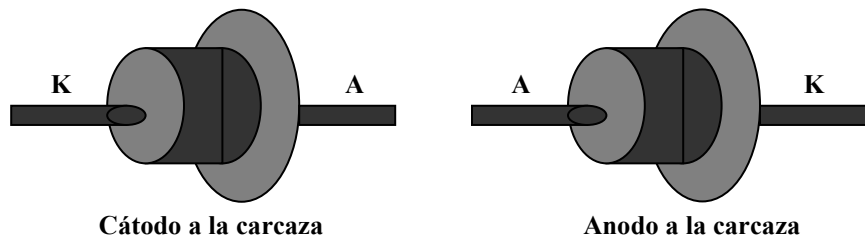
Debido a que los diodos son componentes activos no amplificadores, **simples comprobaciones de juntura en cortocircuito, abierta, o excesivas pérdidas en sentido inverso al de conducción** son métodos normalmente utilizados para establecer su estado de funcionamiento.



Encapsulado típico de diodos de baja y media corriente



Diodos rectificadores para alternador



Una comprobación rápida del estado de un diodo puede ser realizada por medio de un multímetro digital que posea la función Medición de Diodos.

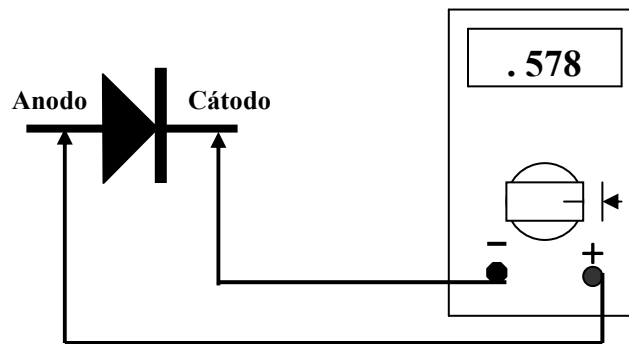


Fig. 1 - Diodo polarizado por el multímetro en el sentido de conducción

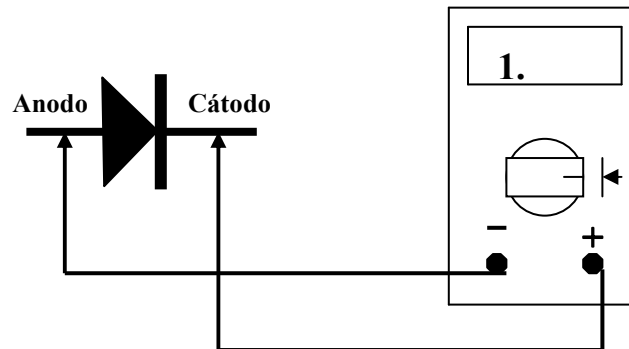


Fig. 2 - Diodo polarizado por el multímetro en el sentido inverso de conducción

En las Fig.1 y Fig.2 se puede apreciar como utilizar un multímetro digital que contenga la función medición de diodos.

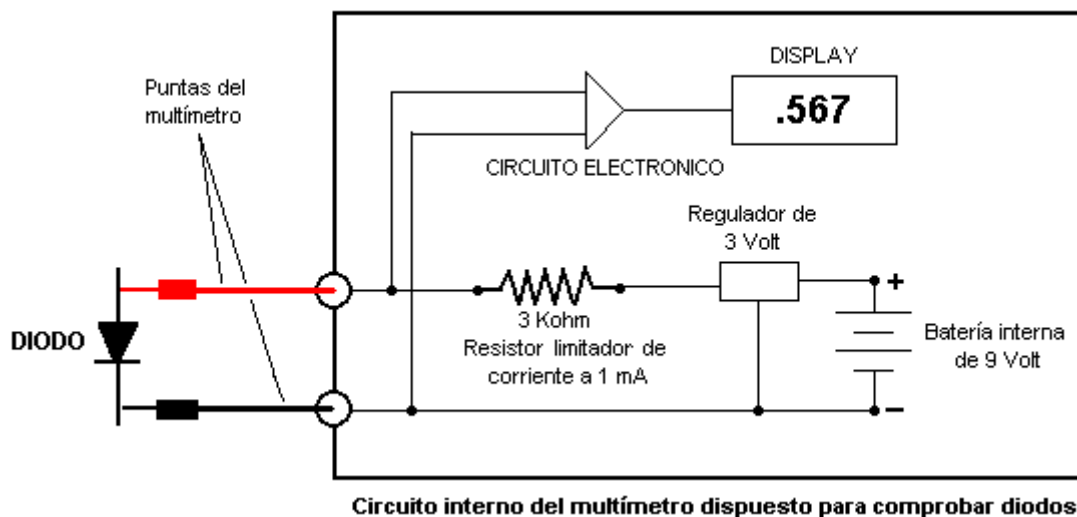
Se ha seleccionado por medio de la llave selectora la función Medición de Diodos, luego se ha conectado la punta positiva del multímetro al ANODO del diodo y la negativa al CATODO (Fig.1).

Al ser conectadas las puntas de esta forma, el diodo queda polarizado correctamente para conducir, por tener aplicado el polo positivo de la fuente interna del multímetro al ANODO y el negativo de dicha fuente al CATODO.

No olvidar que para que un diodo conduzca su ANODO debe ser más positivo que el CATODO. En un diodo de SILICIO (que son los que se están tratando) la diferencia de potencial ANODO/CATODO para plena conducción debe ser de 0,6 volts.

Como se aprecia en la Fig.1, dicho voltage es el que se lee en el display del instrumento. Según el tipo de diodo de silicio medido, esa tensión estará comprendida entre 0,5 a 0,7 volts.

- **Prestar especial atención a la lectura que se obtiene en esta medición.**
Un multímetro digital dispuesto en la función Comprobación de Diodos NO ESTA MIDIENDO RESISTENCIA, ESTA MIDIENDO TENSION de C.C.
Se hace esta salvedad debido a que es muy frecuente escuchar que erróneamente se cree que al medir un diodo con multímetro digital, dispuesto en la función Comprobación de Diodos, se está midiendo la resistencia de juntura en el sentido de conducción y no la caída de tensión sobre la misma, que es realmente lo que se está midiendo.



- Todo diodo que al ser comprobado utilizando este sistema arroje un valor de tensión comprendido entre 0,5 y 0,7 volts, puede ser considerado en buen estado por lo que hace al estado de su juntura al ser polarizada en el sentido directo o de conducción.

Se observa en la Fig.2 que se han invertido las conexiones de las puntas del multímetro, o sea que la punta positiva se ha conectado al CATODO y la negativa al ANODO. Ahora la juntura del diodo ha sido polarizada inversamente, por lo tanto el diodo no conduce y en el display no se presenta ninguna lectura válida.

En el caso del multímetro utilizado en el ejemplo, el display presenta en este caso la lectura 1., en otros se presenta OL., etc.

- Si alguna tensión es medida, por ejemplo 1,6 volts o 2,5 volts, no cabe ninguna duda que el diodo testeado tiene fugas muy importantes en el sentido inverso de

conducción, del orden de los 10 Kohm a 15 Kohm. Indudablemente se trata de un diodo defectuoso.

Fugas menores o sea que presenten una resistencia mayor, por ejemplo 30 Kohm, no seran detectadas utilizando este método. A pesar de todo un diodo con una resistencia de fuga de ese valor es un diodo deteriorado.

Los multímetros digitales utilizados como óhmetros (función medición de resistencias), no sirven para medir la resistencia de juntura de un diodo en el sentido de conducción y generalmente no son confiables o no sirven para medir resistencia de fuga, conducción en el sentido de polarización inversa.

Los multímetros analógicos prestan mejores posibilidades de comprobación del estado de un diodo, tanto cuando es medida su resistencia de juntura en el sentido de conducción (polarización directa), como cuando se mide la posible resistencia de fuga de dicha juntura (polarización inversa).

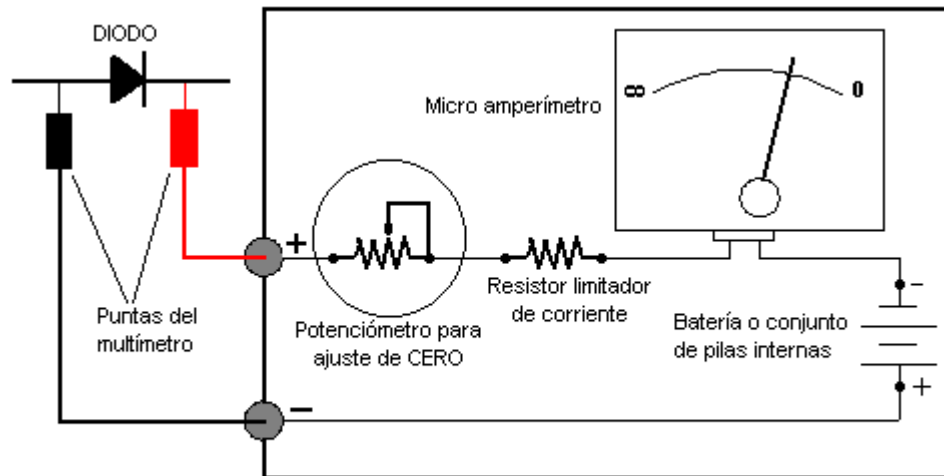
Se entiende por multímetro analógico aquel cuyas lecturas son indicadas por una una aguja que se desplaza sobre distintas escalas.

- **Anteriormente, cuando se hizo referencia a la utilización de un multímetro digital, se explicó que las puntas del multímetro se conectaban positiva a ánodo y negativa a cátodo para polarizar la juntura del diodo en el sentido directo o de conducción. (Fig.1)**

Esto se debe a que cuando se selecciona en un multímetro digital la funciones Comprobación de Diodos o Medidor de Resistencias (óhmetro), el POLO POSITIVO de la fuente interna del multímetro (batería), está conectado a través de algun circuito interno del mismo a la PUNTA POSITIVA y el POLO NEGATIVO de dicha fuente está conectado a la PUNTA NEGATIVA.

- **En los multímetros analógicos cuando se selecciona alguna de las escalas de la función Medición de Resistencias (óhmetro), el POLO POSITIVO de la fuente interna (batería o conjunto de pilas), está conectado a través de un circuito interno a la PUNTA NEGATIVA y el POLO NEGATIVO de dicha fuente está conectado a la PUNTA POSITIVA.**

(Ver figura en Pág. Siguiete)



Circuito interno de un multímetro analógico cuando se selecciona una escala para medir resistencia (óhmímetro)

- Para medir con un multímetro analógico la resistencia de juntura de un diodo en el sentido de conducción, primero se debe seleccionar preferentemente la escala de resistencias **R x100**.
- A continuación conectar entre sí las Puntas Positiva y Negativa del multímetro y ajustar la aguja a fondo de escala (indicación de 0 ohms), por medio del control de ajuste de cero.
- Luego conectar la PUNTA POSITIVA al CATODO del diodo y la PUNTA NEGATIVA al ANODO del mismo.
- **Una lectura de 500 a 600 ohms es normal para diodos de pequeña y media potencia.**
En diodos de mayor potencia como los utilizados en alternadores de automotores, dicha resistencia es algo menor, alrededor de 400 ohms.

**** Observe y recuerde que al utilizar un multímetro análogo para comprobar el estado de la juntura de un diodo en el sentido de conducción, las puntas de prueba se conectan al revés que en el caso de utilizar un multímetro digital.**

Esto se debe, como ya se explicó, a la inversión de polaridad de la batería con respecto a las puntas de prueba.

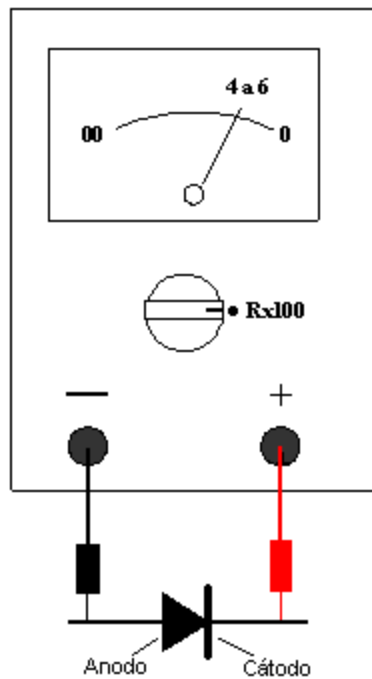
Para comprobar si el diodo tiene fugas de corriente en el sentido inverso al de conducción (Polarización Inversa) se debe proceder de la forma siguiente:

- Seleccionar la escala de resistencias de **R x10 Kohm**.
- Unir las puntas Positiva y Negativa del multímetro y ajustar la aguja a fondo de escala (indicación de 0 ohm) por medio del control de ajuste de cero.
- Conectar luego la PUNTA POSITIVA del multímetro al ANODO del diodo y la PUNTA NEGATIVA al CATODO del mismo.

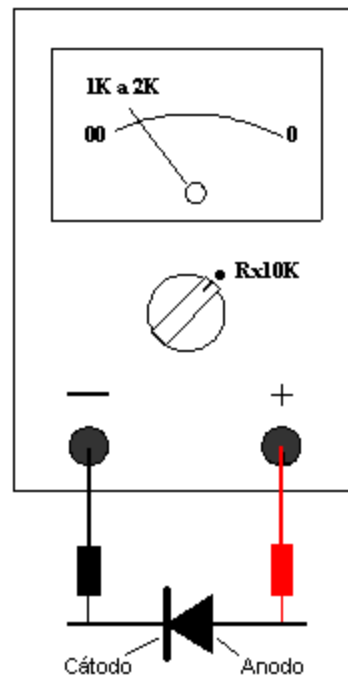
Al conectar las puntas del multímetro como se indica, observe que el diodo ha quedado polarizado inversamente, por lo tanto no debería conducir. En la práctica no es así, pero cuanto más alta sea la resistencia medida, más seguro se puede estar de las buenas condiciones del componente bajo prueba.

- Los diodos de silicio muestran elevada resistencia de fuga que puede llegar hasta 1000 megohms. Un valor normal en diodos de potencia para alternadores de automotores en buen estado es de 10 a 20 megohms.

Multímetro analógico



Medición de la resistencia de juntura en un diodo de silicio polarizado en sentido directo



Medición de la resistencia de fuga en un diodo de silicio polarizado en sentido inverso

FUNCIONAMIENTO DEL TRANSISTOR

Las Figs. 11“A”;11”B” y 12 revelan que una **juntura P-N** con *polarización inversa* es equivalente a un elemento de *alta resistencia* (baja corriente para una tensión dada), pero que con *polarización directa* es equivalente a un elemento de *baja resistencia* (alta corriente para una tensión dada).

Para una corriente determinada, la potencia desarrollada $W = I^2.R$, en el primer caso es mayor que en el segundo.

Se puede fabricar un cristal que tenga dos junturas P-N, una de ellas para ser polarizada en *sentido directo* y la otra en *sentido inverso*. Así, podemos introducir una señal en la primera y extraerla de la segunda con una ganancia de potencia. Tal circuito transfiere la señal de un circuito de baja resistencia a otro de alta resistencia.

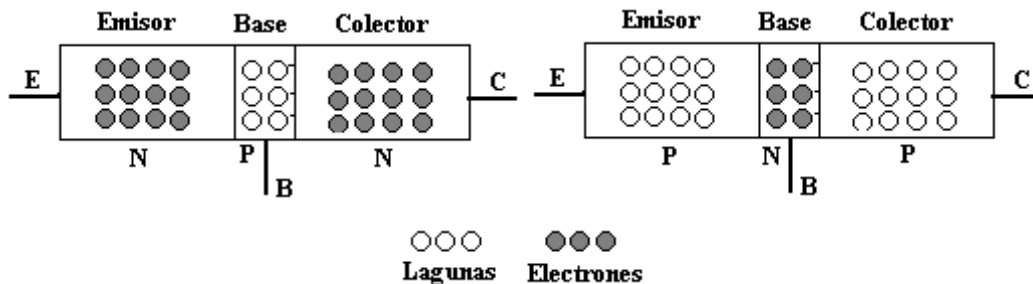
De la contracción de los términos *transfer* (transferencia) y *resistor* (resistencia) resulta la palabra “TRANSISTOR”.

El transistor es dispositivo de tres elementos que son: (Fig. 19)

- El *emisor*, que emite los portadores de carga.
- La *base*, que controla el flujo de los portadores de carga.
- *El colector*, que capta la mayoría de los portadores de carga emitidos por el emisor.

TRANSISTOR NPN

TRANSISTOR PNP



SIMBOLOS QUE REPRESENTAN TRANSISTORES

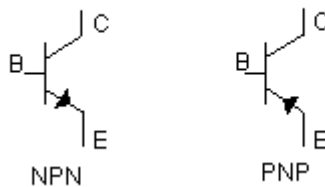


Fig. 19

Si en un transistor **NPN**, un voltaje **E1** es aplicado al **diodo base-emisor** en el sentido de conducción (Fig. 20), una cantidad grande de **electrones** contenidos en el **emisor**, serán atraídos por el positivo de **E1** y entraran a la **base** donde se neutralizarán con las **lagunas positivas** contenidas en ella.

Esta combinación de electrones y lagunas en la base causará, que la misma cantidad de electrones que entran salgan de ella hacia el electrodo positivo de **E1**. Pero la capa de material **P** que forma la base es muy fina, por lo tanto contiene pocas lagunas. Muchos de los electrones que fluyen desde el emisor, atraídos por el polo positivo de **E1**, no pueden combinarse con lagunas de la base quedando en estas condiciones moviéndose en la zona cercana a la juntura.

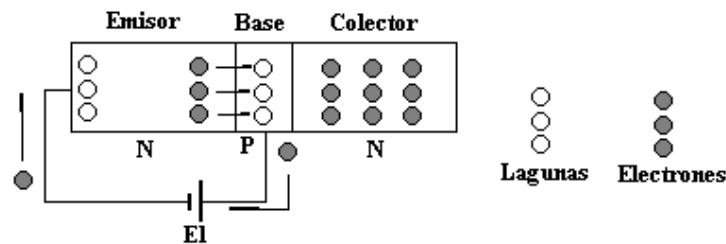


Fig. 20

Aplicamos ahora un voltaje **E2** (de mayor nivel que **E1**) entre el **emisor** y el **colector**. (Fig.21)

La diferencia de potencial de **E2** (positivo a colector y negativo a emisor), hará que los electrones libres cercanos a la juntura emisor-base y que no pueden combinarse con las lagunas de la base, sean atraídos por el polo positivo de **E2** atravesando la base.

Más del 95% de los electrones emitidos por el emisor circularán por el colector atraídos por el positivo de E2. De esto fácilmente se deduce que un 5% o menos de los electrones que circulan por el emisor circulan por la base.

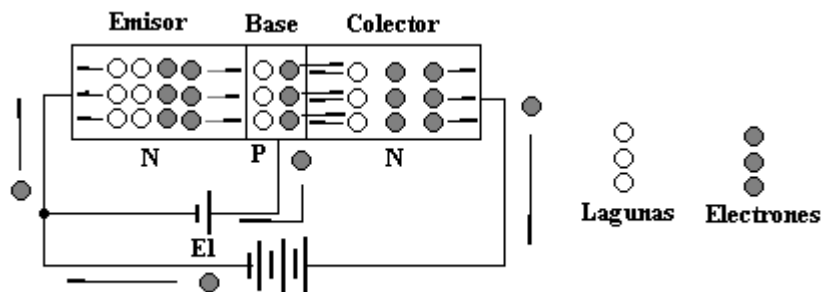


Fig. 21

Las corrientes que fluyen a través de los tres terminales de transistor son denominados:

I_B = Corriente de Base

I_E = Corriente de Emisor

I_C = Corriente de Colector

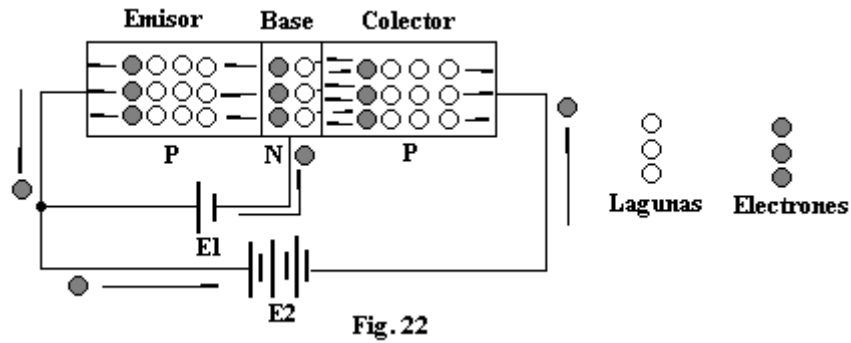


Fig. 22

Para un transistor PNP la polaridad de las fuentes debe ser invertida, pero su funcionamiento es igual al NPN. (Fig. 22).

Decíamos anteriormente que a lo sumo un 5% de los electrones que circulan por el emisor llegan a circular por la base, la relación:

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

es denominada **FACTOR DE AMPLIFICACION DE CORRIENTE**

Este factor puede ser simbolizado por β o h_{fe}

Los transistores de pequeña señal (pequeña potencia), tienen generalmente un factor de amplificación de

$$h_{fe} = 50 \sim 500$$

Los transistores de potencia tienen factores de amplificación mucho menores, generalmente comprendidos entre:

$$h_{fe} = 10 \sim 20$$

El transistor es representado generalmente tal como se ve en la Fig. 23, o también como se lo representa en la Fig. 19.

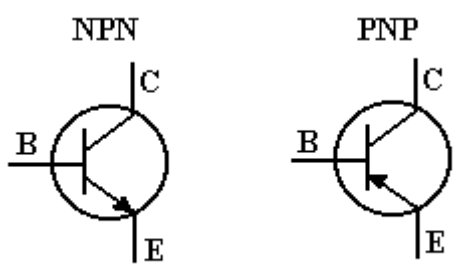


Fig. 23

La flecha del emisor indica la dirección de circulación de la corriente cuando el transistor está funcionando. Tenga en cuenta que esta indicación obedece a la circulación de corriente teniendo en cuenta el sentido convencional (no electrónico), o sea de Positivo a negativo.

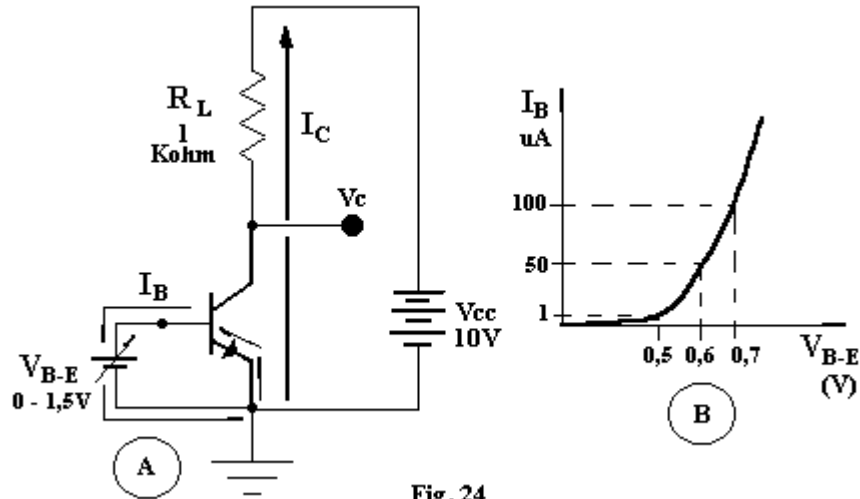


Fig. 24

En la Fig. 24”A” se plantea un transistor NPN al que se polariza su **Base** con respecto al **Emisor** por medio de una fuente V_{B-E} cuya tensión es ajustable entre **0V** y **1,5V**. El **Colector** se alimenta a través de una resistencia de **1 Kohm**, con una fuente fija V_{CC} de **10V**, conectada entre **Colector** y **Emisor**.

En la Fig. 24”B” vemos como varía la corriente de base I_B , en función de la tensión de polarización directa del diodo **B-E**.

Veamos como varía la corriente de colector I_C , en función de la variación de la corriente de base I_B .

Como se vio en la página anterior, para que exista una corriente a través del colector, debe estar circulando corriente entre emisor y base, producto esta corriente del nivel de la tensión de polarización B-E. Recordemos como se relacionan ambas corrientes:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \text{ de aquí se deduce que } I_C = I_B \cdot \beta$$

Si la $I_B = 0$, la $I_C = 0$, no circulará corriente de colector, por lo que no se produce ninguna caída de tensión sobre la resistencia de carga de colector R_L y el nivel de tensión en el nodo

$$V_C = 10 \text{ V (tensión de la fuente } V_B)$$

El transistor, en esta condición de funcionamiento se dice que está CORTADO

Si la $I_B = 100 \mu\text{A}$ y asumiendo que para ese transistor su factor de amplificación es $h_{fe}=100$ la intensidad de corriente de colector será ahora de:

$$I_C = 100 \mu\text{A} \times 100 = 10000 \mu\text{A} = 10 \text{ mA} = 0,01 \text{ A}$$

Para esta condición, la tensión en el nodo V_C será:

$$V_C = V_{CC} - (R_L \cdot I_C) = 10 - 10 = 0\text{V}$$

El transistor, en esta condición de funcionamiento, se dice que está SATURADO

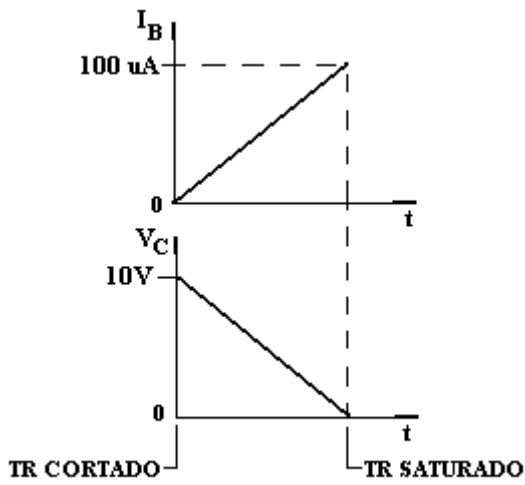


Fig. 25

Si en el circuito planteado en la Fig. 24, la corriente de base I_B , se incrementa continuamente entre 0 μA y 100 μA , una corriente de colector I_C 100 veces mayor circulará en cada instante, causando una caída de tensión a través de R_L cada vez mayor (Fig. 25). Consecuentemente V_C decrecerá continuamente desde 10V hasta 0V.

Asumiendo que:

la tensión de polarización Base-Emisor para la que la corriente de base es de 100 μA , punto en el que el transistor está saturado, es de:

$$V_{BE} = 0,7 \text{ V}; \text{ para } I_B = 100 \mu A; V_C = 0 \text{ V}$$

la tensión de polarización Base-Emisor para la cual la corriente de base es de 1 μA , punto en el que el transistor comienza a salir del corte, es de:

$$V_{BE} = 0,5 \text{ V}; \text{ para } I_B = 1 \mu A; V_C = 10 \text{ V}$$

La tensión de polarización Base-Emisor para la cual la corriente de base es de 50 μA , punto en el que la corriente de colector es de 5mA, por lo que la tensión en el nodo $V_C = 5 \text{ V}$, es de:

$$V_{BE} = 0,6 \text{ V}; \text{ para } I_B = 50 \mu A; V_C = 5 \text{ V}$$

De lo anteriormente desarrollado se desprende que:

- Cuando V_{BE} sea menor que 0,6V, V_C será mayor que 5V.
- Cuando V_{BE} sea mayor que 0,6V, V_C será menor que 5V.
- Cuando V_{BE} varía, V_C también varía. pero en sentido contrario. (Fig. 26)

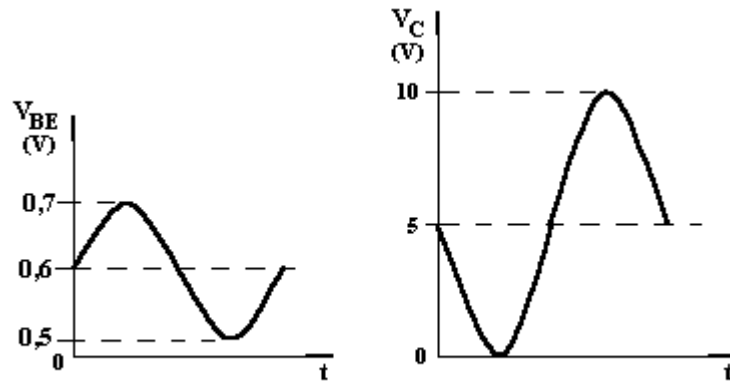


Fig. 26

En la Fig. 26 se aprecia claramente que para una variación de la tensión de polarización $V_{BE} = 0,2 V_{PP}$, se produce una variación en la caída de tensión sobre R_L de $V_C = 10V_{PP}$

Si la V_{BE} es considerada como un Voltaje de Entrada o Señal de Entrada y V_C como un Voltaje de Salida o Señal de Salida, una amplificación de tensión de la Señal de Entrada se produce en la etapa, siendo esta amplificación de:

$$\text{Amplificación de Tensión} = \frac{10V_{PP}}{0,2V_{PP}} = 50 \text{ veces}$$

- *El defasaje de la Señal de Salida con respecto a la Señal de Entrada es de 180° .*
- *El Emisor es el electrodo común del transistor para ambas señales.*
- *Si la señal de entrada aplicada supera en amplitud los $200mV_{PP}$, por ejemplo llega a $400mV_{PP}$, la señal de salida será recortada en ambos hemiciclos. Esto es porque el hemiciclo positivo de la señal de salida no puede tener una amplitud mayor que la tensión de fuente $V_{CC} = 10V$ y el hemiciclo negativo de esta señal no puede caer por debajo de $0V$. (Fig. 27)*

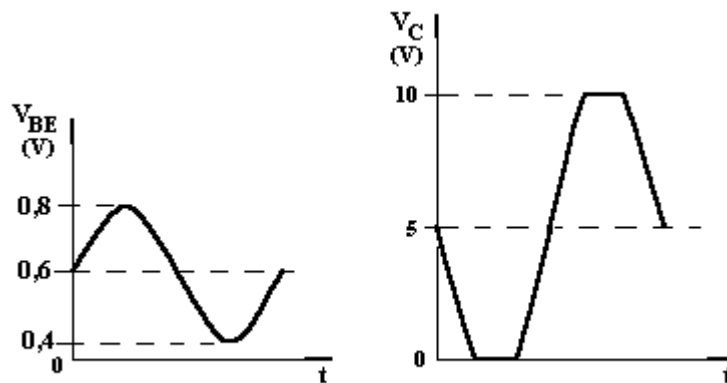
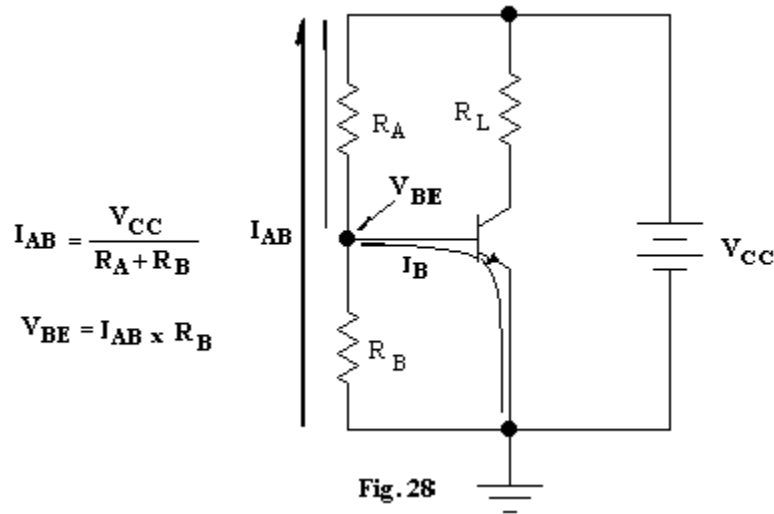


Fig. 27

- *La etapa amplificadora planteada en la Fig. 24 y que se analizó precedentemente es denominada “Amplificador en Clase A”.*

En la práctica, debido a que los transistores no son componentes tan lineales como se los consideró teóricamente para la descripción de su funcionamiento, la polarización de base V_{BE} , y el valor de la resistencia de carga R_L , son elegidos tomando en cuenta distintos parámetros del transistor seleccionado, de modo que este trabaje en su zona más lineal, con el fin que la señal de salida sea lo menos distorsionada posible con respecto a la señal de entrada. Estos parámetros se obtienen de las hojas de datos del transistor.

- ❖ *Hasta ahora se utilizaron dos fuentes de C.C. distintas. Una de ellas para obtener la tensión de polarización base-emisor (V_{BE}) deseada y la otra para establecer la tensión de alimentación emisor-colector (V_{CC}).*
- ❖ *En la práctica una sola fuente es utilizada.*



En la Fig. 28 se muestra como esta disposición es lograda. La tensión de polarización base-emisor se obtiene de la fuente por medio de un divisor de tensión formado por las resistencias R_A y R_B . Los valores de estas resistencias se eligen de modo que la intensidad de corriente circulante por el divisor, sea por lo menos 10 veces mayor que la corriente de base del transistor, de este modo, esta corriente que también circula por R_A , no influye sobre la caída de tensión que se produce sobre esta resistencia, puesto que I_B es muy pequeña con respecto a la impuesta por el divisor I_{AB} .

- En la Fig. 29 se plantea una etapa similar a la utilizada en la descripción de funcionamiento de un Amplificador en Clase A, pero con un transistor real BC549. Observe se ha polarizado la base del TR de modo que la corriente de colector en reposo, es decir sin señal de entrada, sitúe la tensión de colector en prácticamente la mitad de la tensión de fuente.

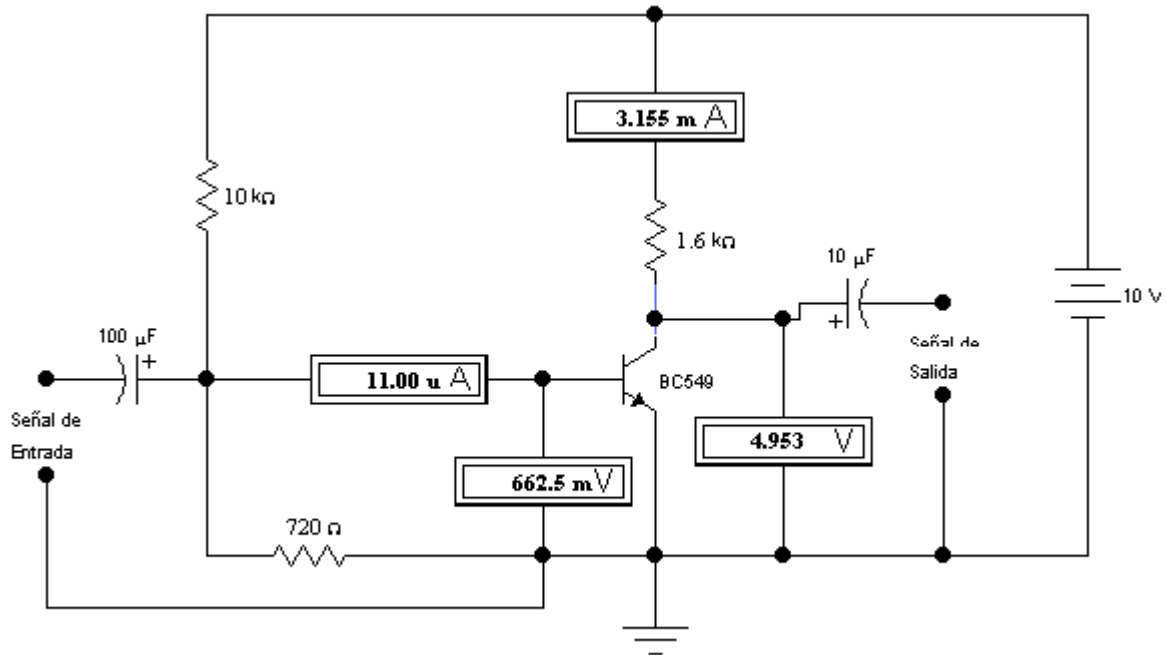


Fig. 29

A esta etapa amplificadora en Clase A, se le aplica ahora una señal de corriente alternada proveniente de un generador externo. Observe que esta señal es aplicada a través de un condensador, denominado de *acoplamiento*. El condensador evita que la resistencia de salida del generador (en realidad es impedancia de salida), despolarice la base del transistor por estar en paralelo con la resistencia de 720 Ω del divisor de tensión de polarización de base (Fig. 30).

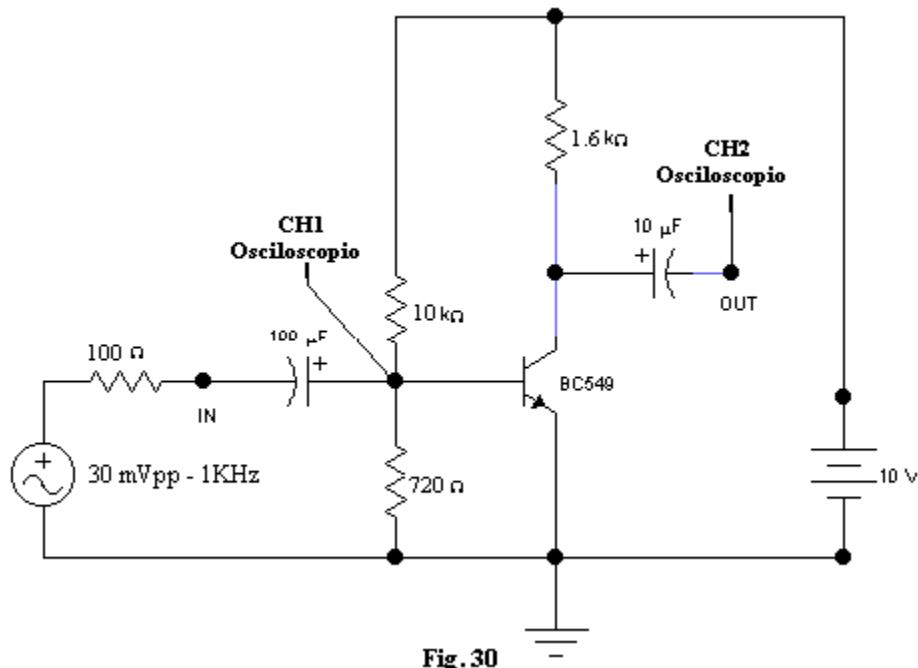


Fig. 30

ChA = Voltaje de la Señal de Entrada
 40 mVpp
 ChB = Voltaje de la Señal de Salida
 7,63 Vpp

 Ganancia de Tensión
 A = 190

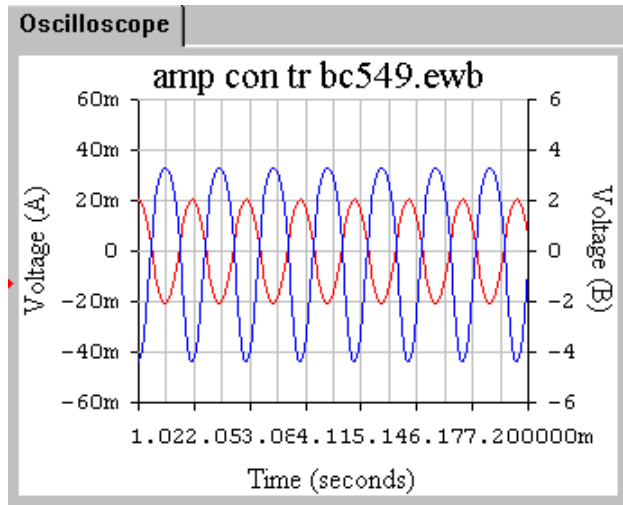


Fig. 31

- ❖ Como vemos la Ganancia de Tensión obtenida es de 190 veces.
- ❖ La respuesta a frecuencias de la etapa se mantiene plana (no tiene atenuación), entre 10Hz y 100KHz.

El tipo de polarización visto puede ser mejorado de modo de estabilizar al transistor *térmicamente*. Esto se consigue añadiendo una resistencia en el emisor del transistor R_E (Fig 32).

Como norma general, la caída de tensión en dicha resistencia se elige de modo que sea la décima parte de la tensión de alimentación.

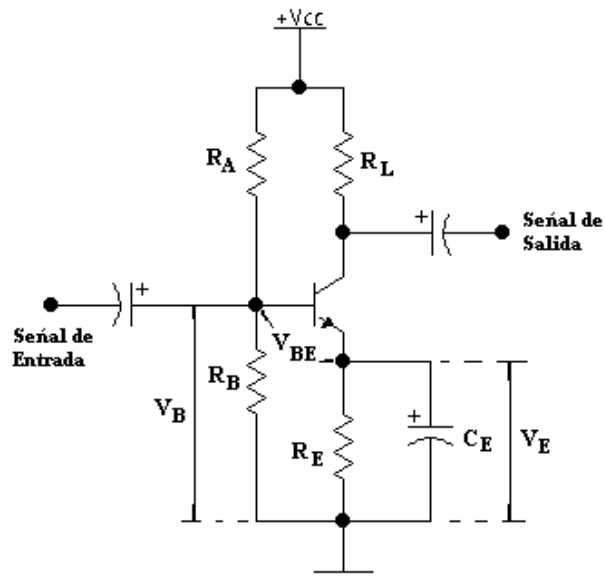


Fig. 32

Observe la etapa de la Fig. 32, si aumenta la temperatura en el transistor, por efecto de la misma este tenderá a conducir más y aumentará la corriente de colector. Por consecuencia aumentará la corriente de emisor, provocando a través de R_E una mayor caída de tensión V_E . Como la tensión de polarización V_B se mantiene constante, debido a que está impuesta por el divisor resistivo R_A / R_B , la tensión de polarización V_{BE} disminuirá, haciendo que el transistor conduzca menos, compensando así el aumento de corriente provocado por el aumento de temperatura.

La resistencia R_E introduce a la etapa una realimentación negativa para la Corriente Continua.

Para evitar que la señal de corriente alterna que está siendo amplificada tenga efectos sobre la polarización de C.C. del transistor, debido a la resistencia de emisor R_E , en paralelo con esta se coloca un condensador de desacoplo C_E . La reactancia capacitiva de este condensador debe ser, para la frecuencia más baja que se desea amplificar, por lo menos 10 veces menor que el valor de la resistencia R_E .

Siendo la Reactancia Capacitiva de un condensador:

$$X_C \text{ (ohms)} = \frac{1}{2 \pi f C}$$

f = frecuencia expresada en Hertz

C = capacidad expresada en faradios

En la Fig. 32 se plantea una etapa amplificadora en base a un transistor BC 549 en la que se incluye la resistencia de emisor $R_E = 300 \Omega$.

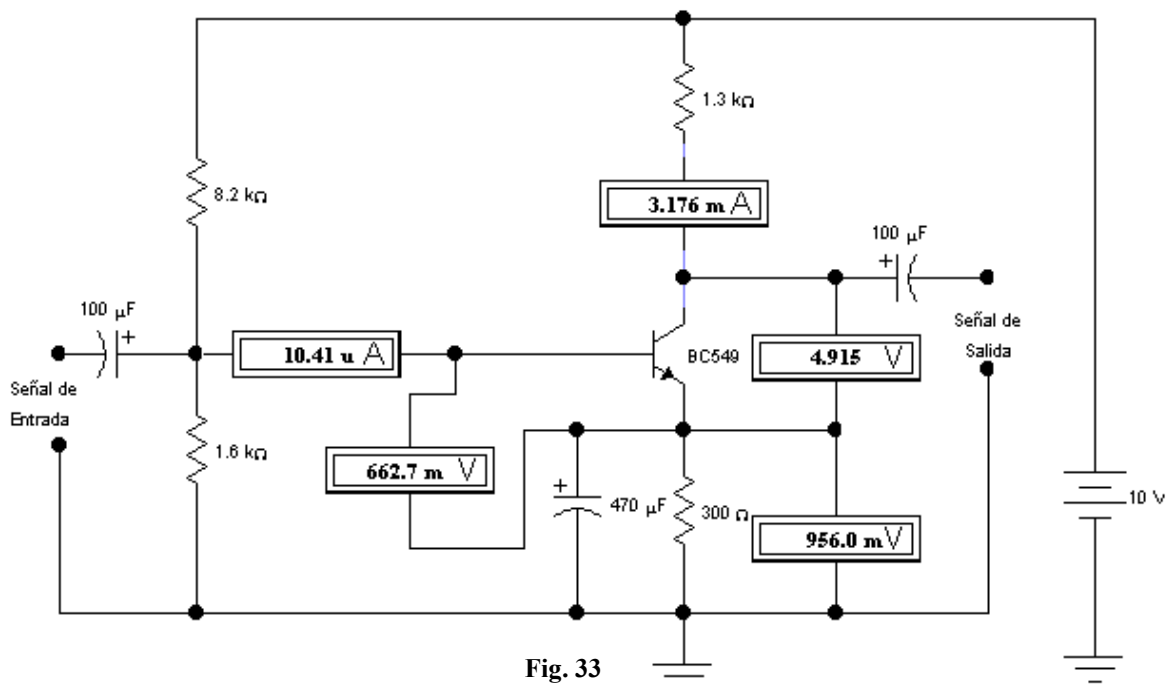


Fig. 33

En la Fig. 34 se tiene la etapa planteada en la Fig. 33, pero a la que se le ha aplicado ahora una señal de C.A. proveniente de un generador externo. Las Señales de Entrada y Salida son mostradas tal como se ven en la pantalla de un osciloscopio (Fig. 35).

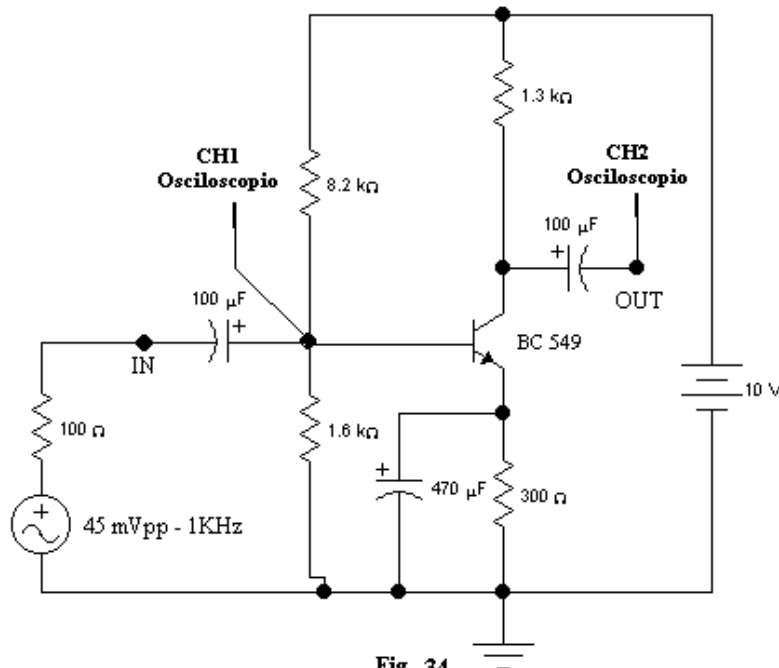


Fig. 34

ChA = Voltaje de la Señal de Entrada
45 mVpp
ChB = Voltaje de la Señal de Salida
5,9 Vpp

Ganancia de Tensión
A = 131

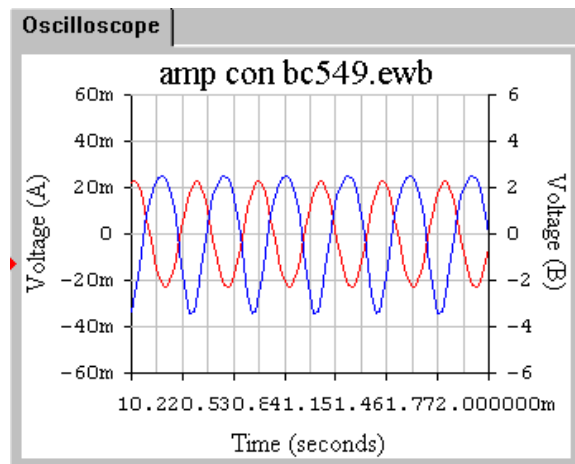


Fig. 35

- ❖ La Ganancia de Tensión de la etapa es de 131 veces, algo menor que en el caso planteado en las Figs. 29 – 30 – 31. Esto es debido a la menor disponibilidad de tensión Emisor-Colector por la inclusión de la resistencia de Emisor.
- ❖ La respuesta a frecuencias de la etapa se mantiene plana entre 100 Hz y 100 KHz. Para que la respuesta mejore en bajas frecuencias, el condensador de desacoplo de emisor debe aumentarse a por lo menos 1000µF.

Observe que la señal amplificada por los circuitos planteados en las Figs. 30 y 34 presenta una distorsión importante del hemiciclo negativo. Esto se debe a que en ambas etapas se busca la máxima amplificación de la señal de entrada y la distorsión se produce por la no linealidad del diodo base-emisor

En la práctica, cuando se diseñan etapas amplificadoras, se da prioridad a la deformación (distorsión) que introduce la etapa en la señal amplificada con respecto a la señal a amplificar, buscando que esta sea lo mínima posible sacrificando si es necesario, nivel de amplificación.

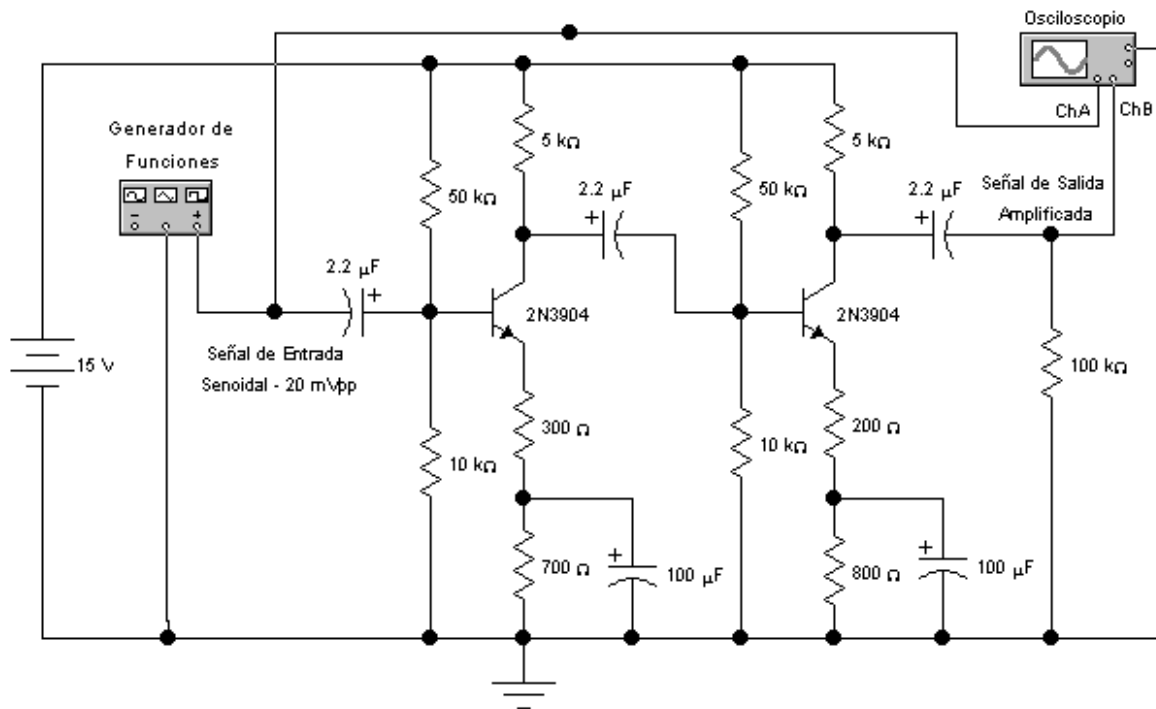


Fig. 36

En las Fig. 36 se muestra el circuito de un amplificador de 2 Etapas cuya ganancia total de tensión es de:

$$A = 200 \text{ veces}$$

Respuesta a Frecuencias = plana entre 20Hz y 150KHz

Los resistores de 300Ω y 200Ω insertados en los emisores del primer transistor y el segundo, respectivamente, al no estar bypassados por un condensador introducen una realimentación negativa para la C.A., esta realimentación mejora el factor de distorsión.

- En la Fig. 37 se muestra, en la pantalla del osciloscopio, las señales de Entrada y Salida del circuito

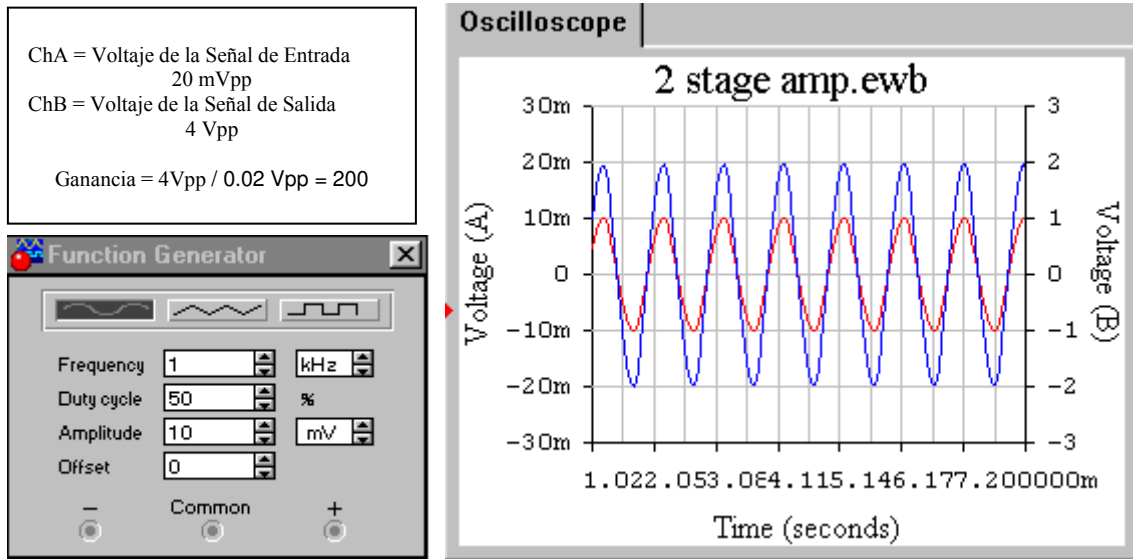


Fig. 37

Observe que las señales de Entrada y Salida se encuentran en fase, esto es debido a que al existir dos etapas se produce una doble inversión de la señal de entrada.

- Los amplificadores vistos hasta ahora son denominados:

Amplificadores en Clase A en configuración Emisor Común.

Los amplificadores en Clase A, amplifican la señal de entrada completa, es decir los dos hemiciclos, si los hay.

Su configuración se denomina Emisor Común por estar el emisor conectado a masa, aplicándose la señal a amplificar a la base y obteniendo la señal amplificada en el colector.

Su Resistencia de Entrada es baja, comprendida entre 100Ω y $5K\Omega$. Su Impedancia de Salida es alta, comprendida entre $10K\Omega$ y $100K\Omega$.

Realizan amplificación en corriente y tensión, lo que permite obtener una alta ganancia de potencia.

Las señales de Entrada y salida se encuentran desfasadas 180° y la respuesta en frecuencia es pobre comparada con la configuración de Base Común.

Por sus buenas características de ganancia es el circuito utilizado como amplificador para medias y bajas frecuencias.

Como la diferencia de impedancia de entrada y salida no es muy grande, esta configuración se utiliza en amplificadores de varias etapas, ya que permite el acoplamiento de una etapa a la siguiente.

- **Amplificador Clase A en configuración Base Común**

La Señal de Entrada, en este tipo de circuito, se aplica al Emisor mientras la Señal de Salida amplificada se obtiene, como en el caso anterior, del Colector.

En la Fig. 38 se muestra una etapa amplificadora de este tipo. En la Fig. 39 vemos las señales de Entrada y Salida en la pantalla del osciloscopio.

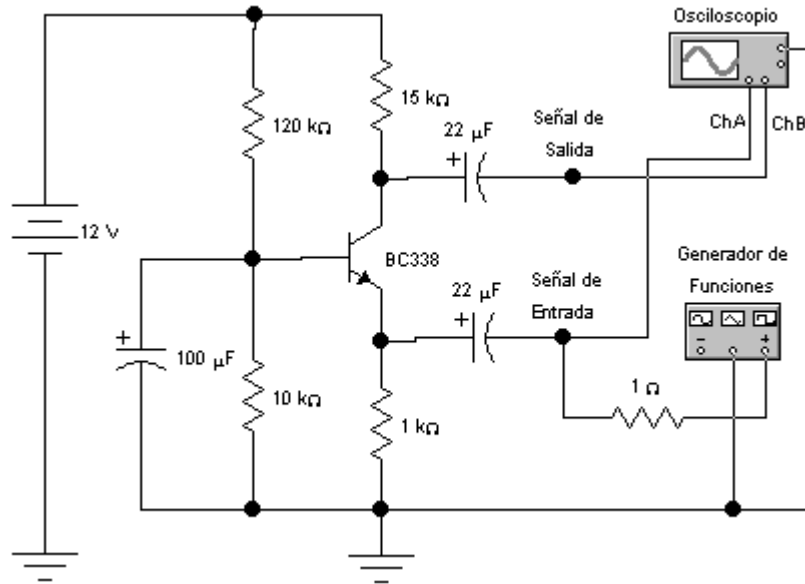


Fig. 38

ChA = Voltaje de la Señal de Entrada
20 mVpp
ChB = Voltaje de la Señal de Salida
5 Vpp
Ganancia = $5 \text{ Vpp} / 0,02 \text{ Vpp} = 250$

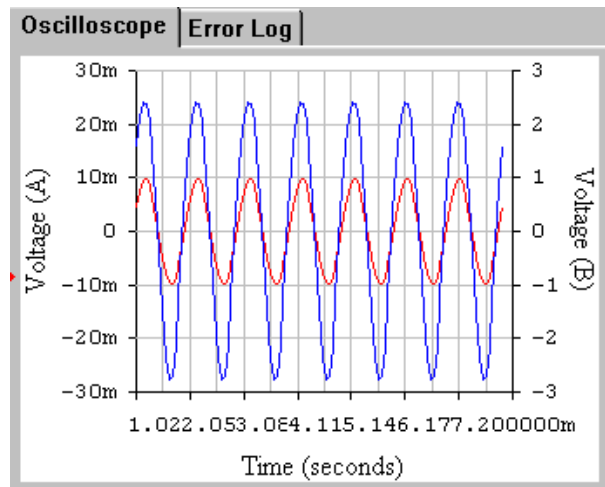
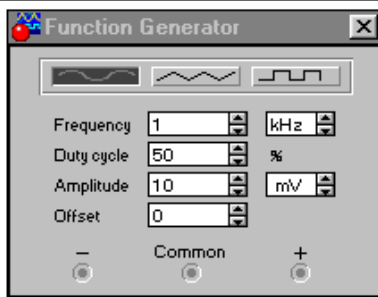


Fig. 39

La base del transistor está puesta a masa para la corriente alterada de la señal a través del condensador de $100\mu\text{F}$, de ahí que esta configuración reciba el nombre de Base Común.

La Resistencia de Entrada es bastante baja, pudiendo estar comprendida entre 10Ω y 100Ω y presenta una Impedancia de Salida muy alta, entre $500K\Omega$ y $1M\Omega$.

En este tipo de circuito la amplificación de corriente es siempre menor que la unidad, mientras tiene una alta amplificación de tensión, entre 500 y 5000.

La ganancia en potencia es media, entre 100 y 1000.

Las señales de Entrada y Salida se encuentran en fase.

Es la configuración que mejor respuesta en frecuencia proporciona.

Esta configuración tiene su principal aplicación como amplificador para altas frecuencias.

- **Amplificador en Clase A en configuración Colector Común.**

A este tipo de etapa se la conoce también como, Seguidor de Tensión o Seguidor Emisivo.

En la Fig. 40 se muestra una etapa amplificadora de este tipo. En la Fig. 41 vemos las señales de Entrada y Salida en la pantalla del osciloscopio.

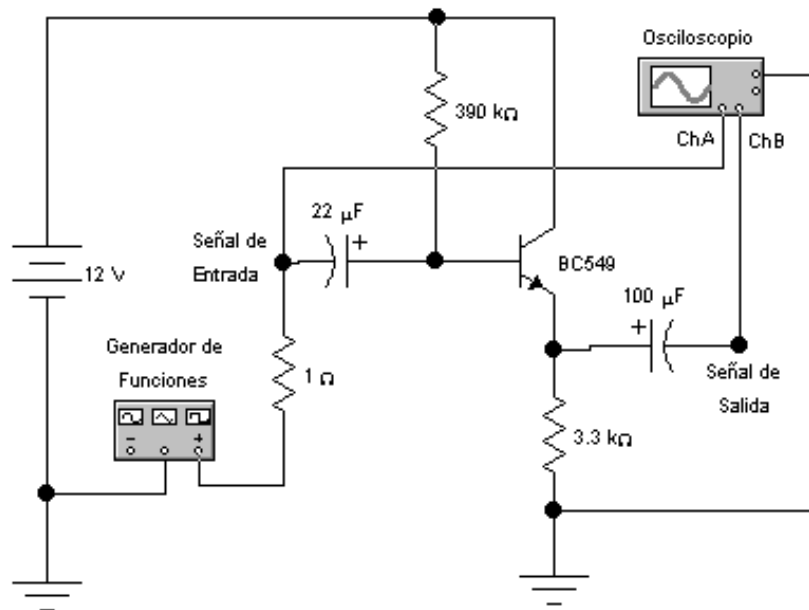


Fig. 40

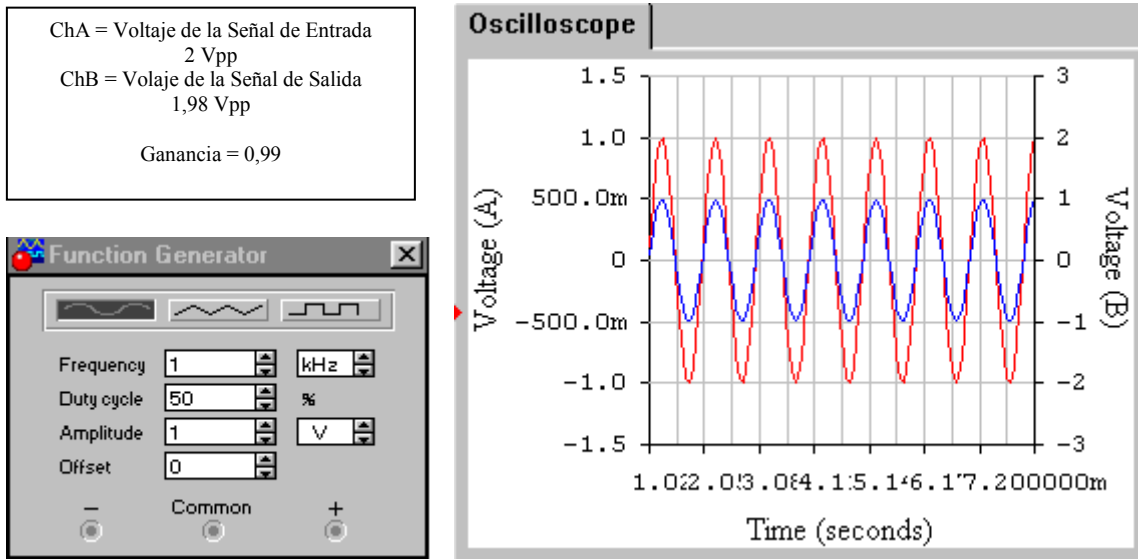


Fig. 41

En este último tipo de configuración, la Señal de Entrada que se desea amplificar se aplica a la Base del transistor.

La Señal de Salida se obtiene a través del Emisor.

El Colector se encuentra a masa para la corriente alternada pues está directamente conectado al positivo de la fuente de alimentación. De ahí que reciba el nombre de Colector Común.

Este montaje presenta una Resistencia de Entrada muy alta, comprendida entre $50\text{K}\Omega$ y $500\text{K}\Omega$, mientras que la Impedancia de Salida es muy baja, entre 10Ω y 100Ω .

La amplificación de corriente es media, entre 10 y 100.

La amplificación de tensión es menor que la unidad.

Su ganancia en potencia está comprendida entre 10 y 100.

No presenta ningún defasaje entre las señales de Entrada y Salida.

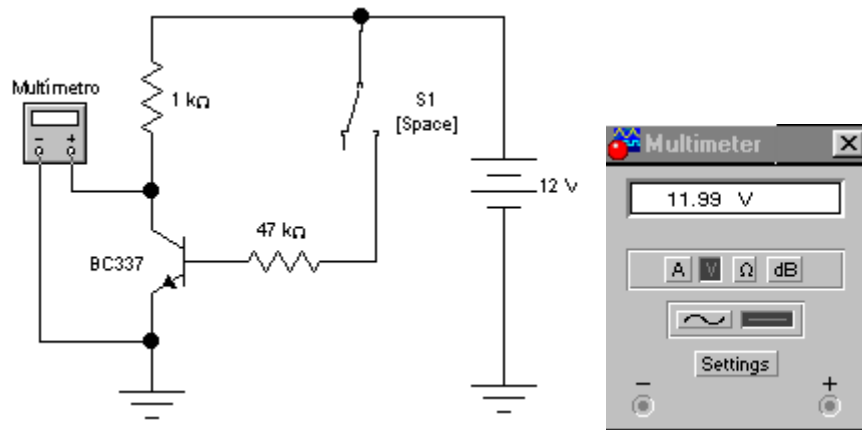
Gracias a las Impedancias de Entrada y Salida de este tipo de etapa, es que es muy utilizado como Adaptador de Impedancias. Adapta muy bien etapas de Alta Impedancia de Salida con etapas de Baja Impedancia de Entrada.

- **El transistor en conmutación**

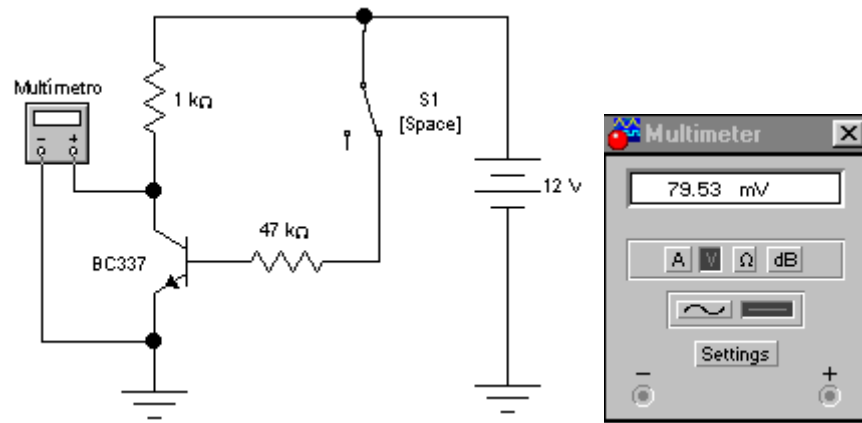
En este tipo de utilización, el transistor solamente puede tomar dos estados

Saturado o al Corte

En las Figs. 42 y 43 vemos estas dos condiciones.



Transistor cortado - Fig. 42



Transistor saturado - Fig. 43

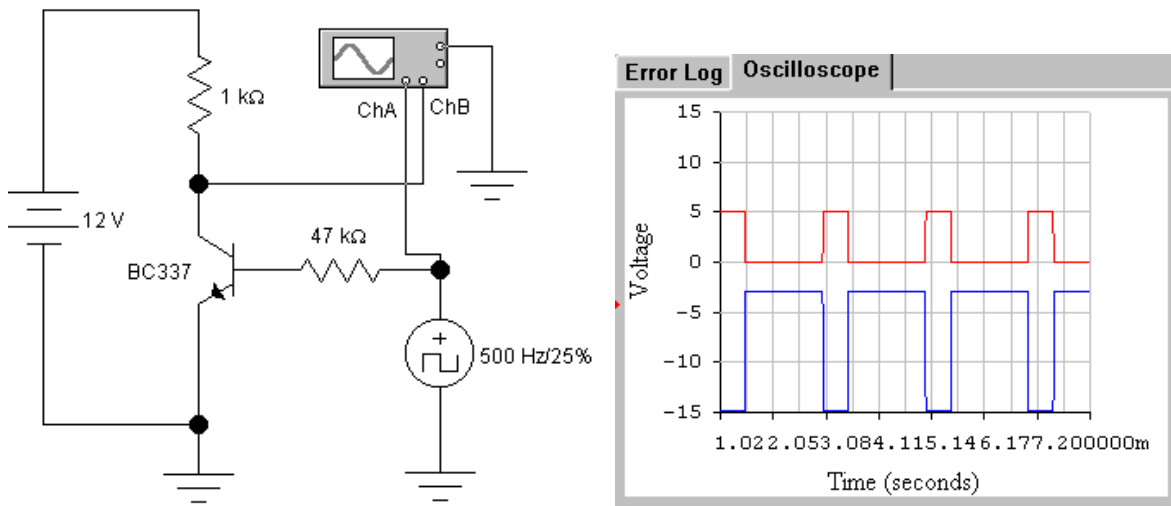


Fig. 44

— CHA — CHB

En la Fig. 44 se muestra un transistor trabajando en conmutación cuando es activada su base por una señal cuadrada cuyos estados son:

$$\text{ON} = 1 = 5 \text{ Volt} \text{ ---- } \text{OFF} = 0 = 0 \text{ Volt}$$

Los estados del transistor se corresponden con la señal que recibe en base y sus estados son:

$$\text{Señal} = 5\text{V} \Rightarrow \text{Transistor} = \text{ON (en saturación)}$$

$$\text{Señal} = 0\text{V} \Rightarrow \text{Transistor} = \text{OFF (cortado)}$$

Observe que el tiempo que el transistor se encuentra en saturación, es igual al tiempo que la señal aplicada a su base se encuentra a nivel alto, o sea

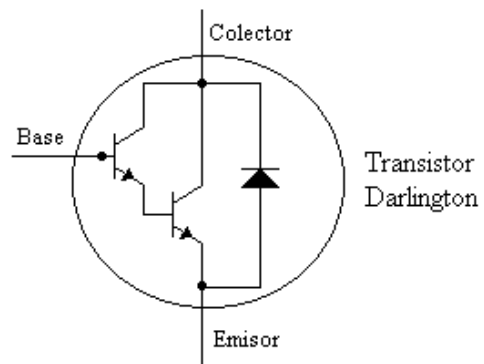
$$\text{ON} = 1 = 5\text{V.}$$

Como ya sabemos esto se traduce en el colector del transistor en los siguientes estados:

$$\text{Señal} = 1 = 5\text{V} \Rightarrow \text{Colector} = 0 = 0\text{V}$$

El transistor en conmutación (también conocido como switching) es muy utilizado para el manejo de relays, electro válvulas, motores, inyectores de combustible, bobinas de encendido, etc.

Cuando se necesita conmutar cargas que demandan corrientes elevadas por ejemplo, una electro válvula, un inyector de combustible, el primario de una bobina de encendido, un motor de C.C., es común la utilización de transistores denominados Darlington. Observe la Fig.45, contenidos en la misma cápsula hay dos transistores, la corriente emisor-colector del primero es la corriente de base del segundo. Una etapa así configurada puede tener ganancias de corrientes elevadas, de 500 a 1000 veces, esto permite manejar corrientes grandes en la carga de colector con corrientes muy pequeñas de base.



Supongamos que la corriente que demanda la carga sea de 7 Amper, si el transistor Darlington empleado tiene una ganancia $h_{fe} = 500$, la corriente de base que demandará será de 14 mA. Esto permite que esta etapa de potencia sea manejada directamente por circuitos digitales, circuitos estos que pueden erogar solamente potencias pequeñas.

El diodo conectado entre emisor y colector es de protección y es común encontrarlo en transistores Darlington diseñados para manejar cargas inductivas.

- **Tiempos de conmutación**

El pasar del *Corte* a la *Saturación* y viceversa no es instantáneo, es decir, el transistor necesita un determinado tiempo para conmutar. Este tiempo de conmutación se divide en dos:

El tiempo que tarda en pasar del estado de *Corte* al de *Saturación*, se denomina:

$$t_{\text{OFF-ON}}$$

El tiempo que tarda en pasar del estado de *Saturación* al de *Corte*, se denomina:

$$t_{\text{ON-OFF}}$$

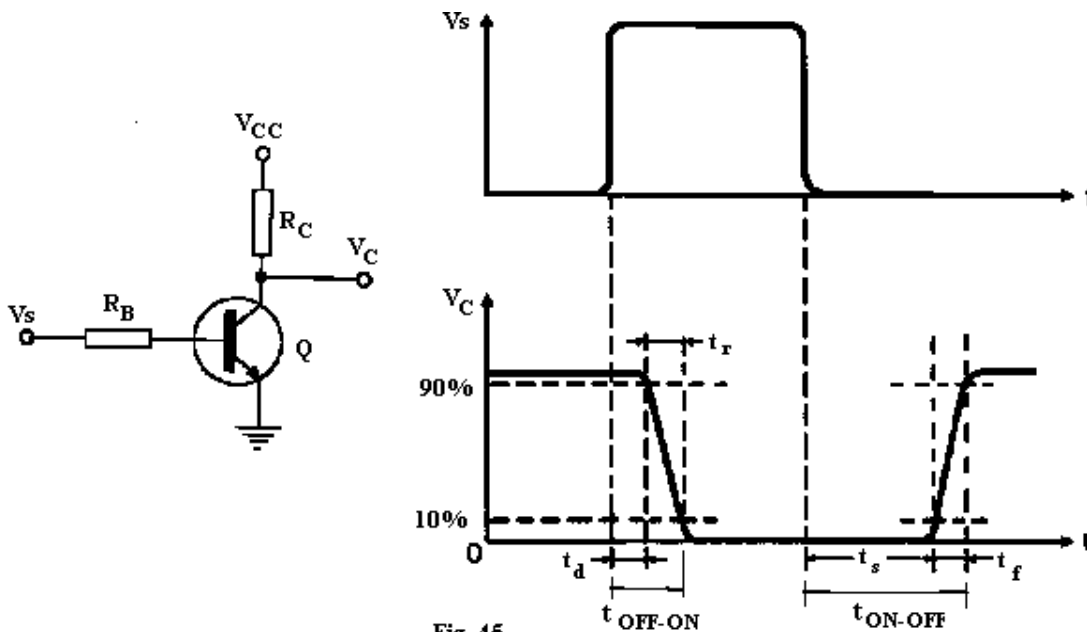


Fig. 45

Observando la Fig.45, podemos ver como a su vez estos tiempos se subdividen en otros dos:

$$t_{\text{OFF-ON}} = t_d + t_r$$

$$t_{\text{ON-OFF}} = t_s + t_f$$

t_d – Delay Time: en el cambio de *Corte* a *Saturación*, es el tiempo que transcurre desde que aparece la señal en la base, V_s , hasta que la tensión de colector, V_c , cae al 90% de la tensión de fuente, V_{CC} .

t_r – Rise Time: en el cambio de *Corte* a *Saturación*, es el tiempo que tarda en caer la tensión de colector, V_c , desde el 90% al 10% de la tensión de fuente, V_{CC} .

t_s – Storage Time: en el cambio de *Saturación* a *Corte*, es el tiempo transcurrido entre la

desaparición de la señal, V_s , y el paso de la tensión de colector, V_C , de 0% al 10% de la tensión de fuente, V_{CC} .

t_f – Fall Time: en el cambio de *Saturación* a *Corte*, es el tiempo que tarda la tensión de colector, V_C , en pasar del 10% al 90% de la tensión de fuente, V_{CC} .

El tiempo más significativo es “ t_s ”, Storage Time. En los transistores empleados en las aplicaciones de conmutación, este tiempo suele variar entre 10 y 60 ns.

- **Multivibrador Astable**

Es un circuito como el de la Fig. 46, capaz de generar por si mismo una Señal Cuadrada. Como se puede observar, el circuito es totalmente simétrico y está construido en base a dos transistores. Recibe el nombre de **Astable** porque ninguno de los estados del transistor (corte o saturación) es estable, es decir, está continuamente cambiando de corte a saturación y viceversa.

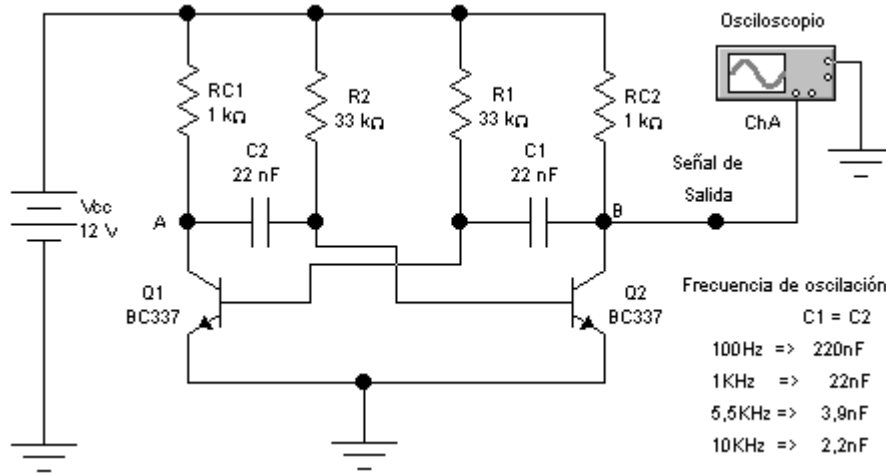


Fig. 46

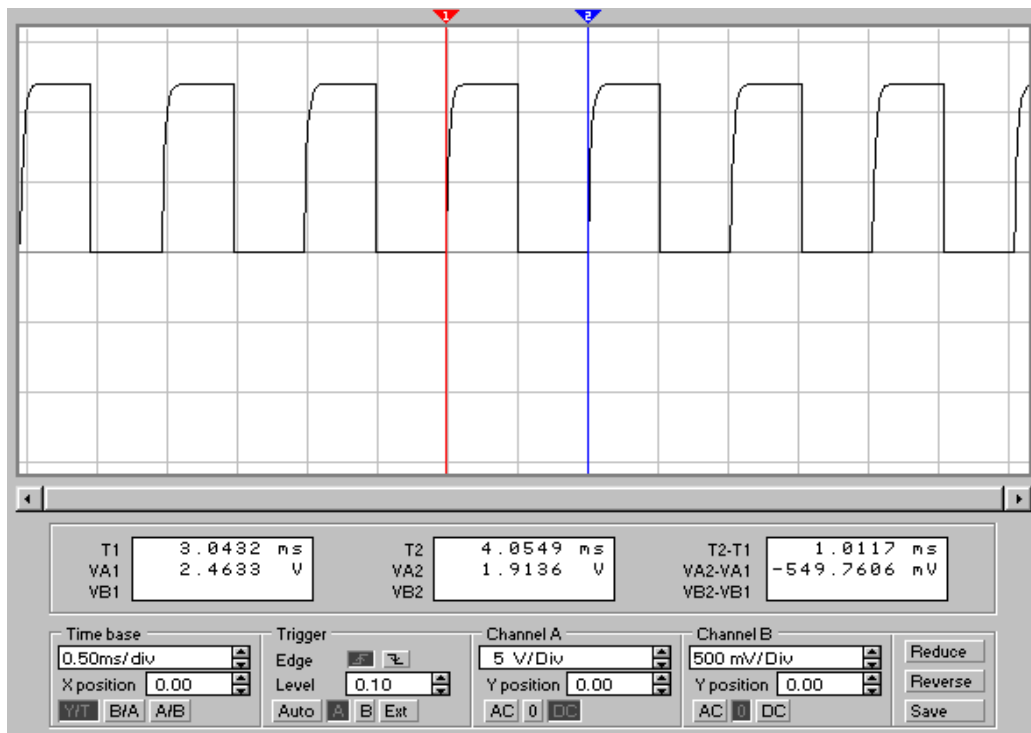


Fig. 47

Amplificador en Clase B

Si en el circuito básico de un amplificador en Clase A que se planteo inicialmente, Fig. 28; Pág. 35, se elimina la resistencia R_A que forma parte del divisor de tensión que polariza la base del transistor, se tiene un **Amplificador Polarizado en Clase B**. (Fig. 42)

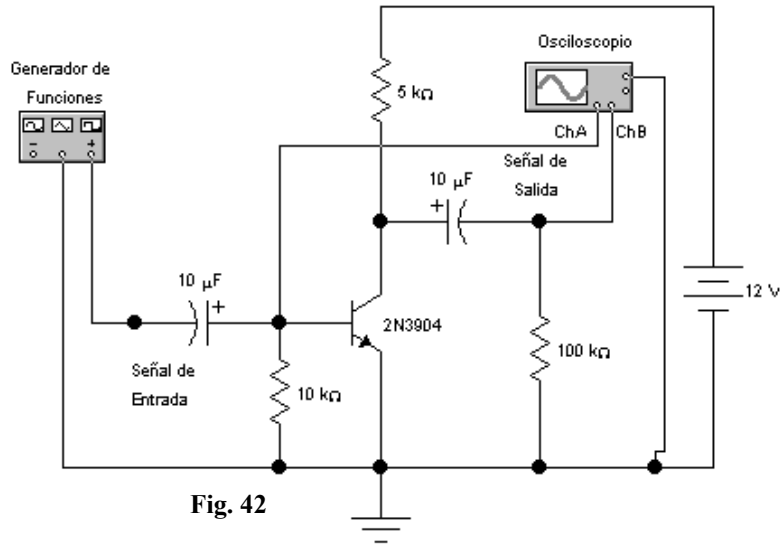


Fig. 42

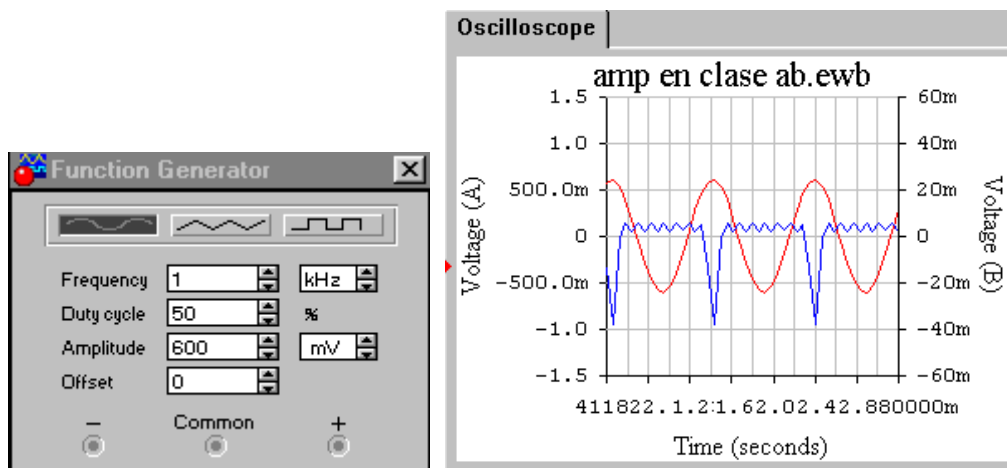


Fig. 43

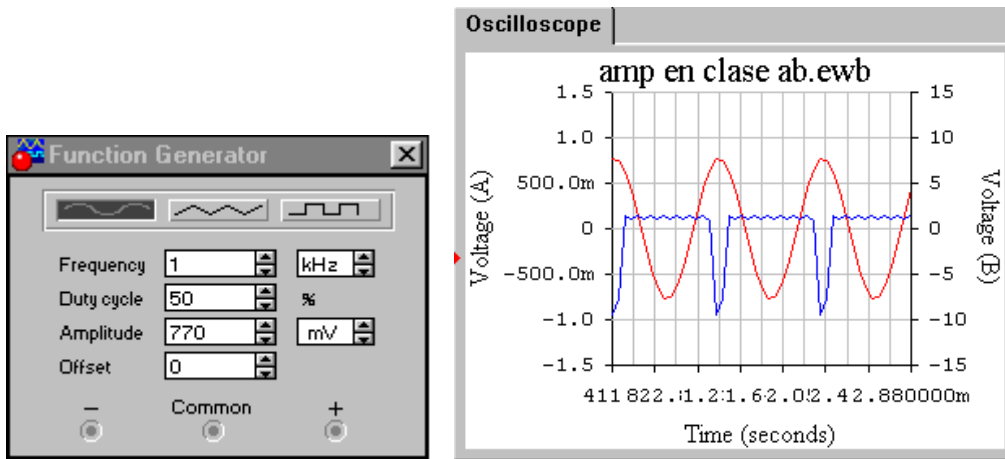


Fig. 44

Como se puede apreciar en las Figs. 43 y 44 que muestran la pantalla del osciloscopio, el transistor en estas condiciones, al tener la base al mismo potencial que el emisor, recién comienza a conducir cuando el nivel de la señal aplicada en base supera la barrera de potencial del diodo base-emisor, es decir alrededor de los 600 mVp (tensión de pico de la señal) y solamente logra amplificar parte del hemiciclo positivo.

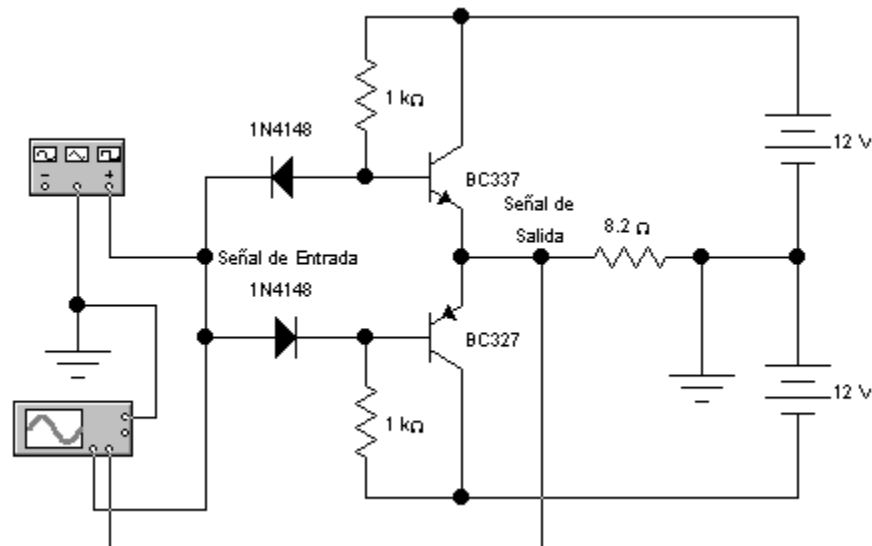


Fig. 45

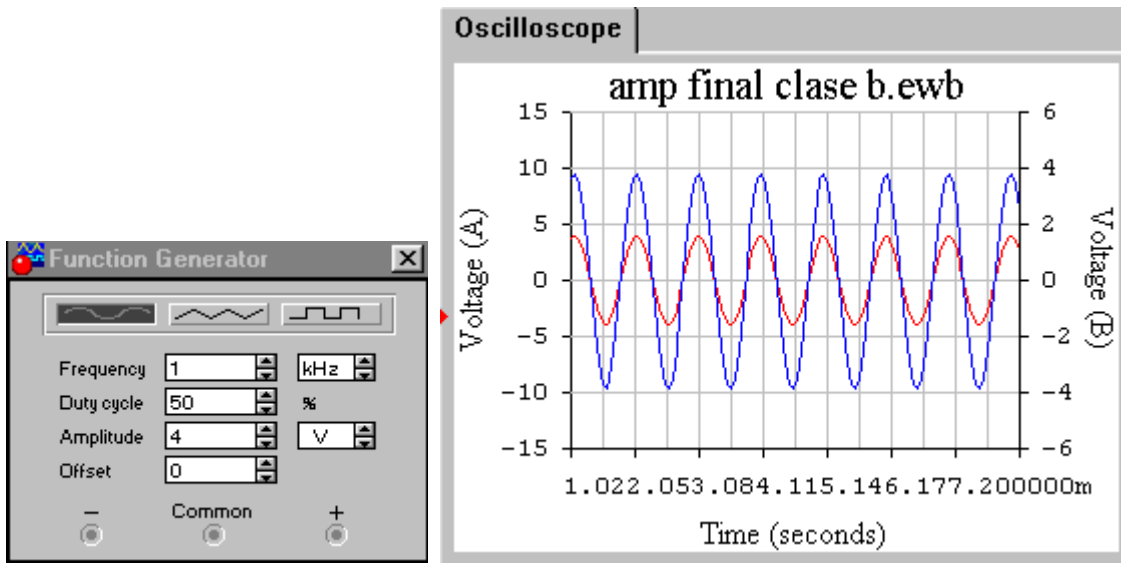


Fig. 46

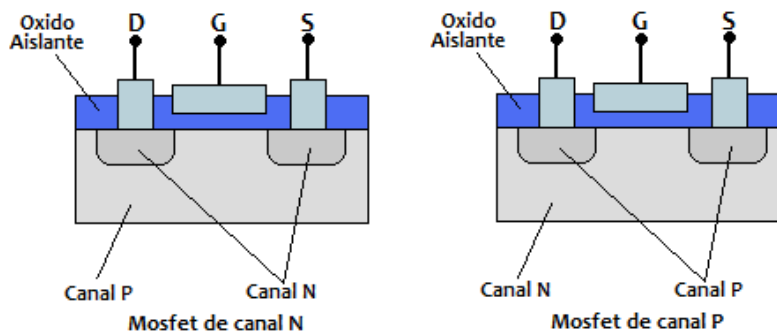
TRANSISTORES MOSFET

Las siglas MOSFET vienen de Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, que significa Transistor Semiconductor de Efecto de Campo con Oxido de Metal.

En la actualidad se ha conseguido abaratar la fabricación de este tipo de transistores unipolares, por lo que están siendo utilizados para sustituir a los tiristores. La razón fundamental de este cambio es que se controlan por tensión y no hacen falta los circuitos de bloqueo adicionales que utilizan los tiristores.

SIMBOLOGIA Y TERMINALES (CONEXIONES)

Este tipo de transistores unipolares está fabricado con una barra principal semiconductor de tipo P o N, y dos zonas transversales de semiconductor de tipo contrario al de la barra principal. Pero con la diferencia con respecto a los JFET de que la capa superior es de material dieléctrico (aislante) y aísla el terminal de compuerta (G) del resto del componente.



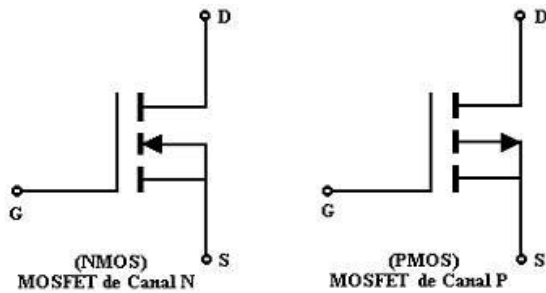
Terminales y partes semiconductoras de un transistor unipolar Mosfet

G – terminal de compuerta (Gate)

D – terminal de drenador (Drain)

S – terminal de surtidor o fuente (Source)

Con esta peculiar forma de fabricación se consigue crear un campo eléctrico entre el terminal de puerta y el material dieléctrico; esto, eléctricamente, equivale a que haya un condensador entre estas dos partes, lo que provoca que la corriente por el terminal de puerta sea cero.



Símbolos electrónicos de los transistores MOSFET

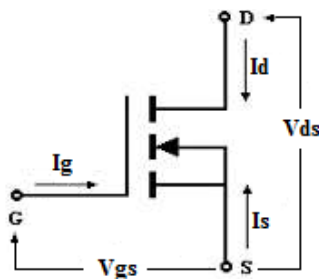
G: terminal de puerta.
D: terminal de drenador o drenaje.
S: terminal de surtidor o fuente.

tienen tres terminales: compuerta, drenador y surtidor.

Dependiendo de si la barra central del componente es de un tipo u otro de semiconductor, existen dos tipos de transistores MOSFET: de canal P o de canal N.

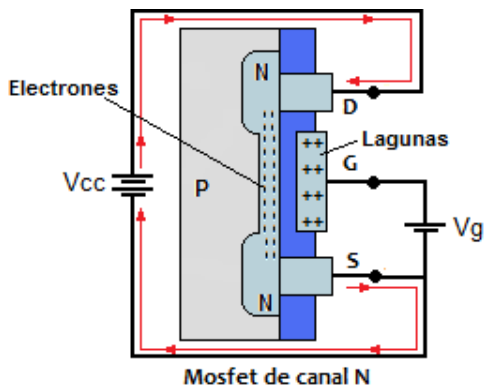
Sus respectivos símbolos se diferencian entre ellos en que la flecha pintada sobre el terminal del surtidor tiene sentido contrario.

Estos dos tipos se diferencian en que todos los sentidos de corriente y tensión definidos en un MOSFET de tipo N, son de sentido contrario en uno de tipo P.



Signos de tensiones y corrientes de un MOSFET de canal N

Ig: intensidad por la puerta.
Vgs: tensión puerta-fuente.
Id: intensidad por el drenaje.
Vds: tensión drenador-surtidor.
Is: intensidad por el surtidor o fuente.



Para que circule corriente en un MOSFET de Canal N se debe aplicar una tensión positiva a la compuerta (G) con respecto a la fuente (V_g).

Una tensión más elevada que la anterior entre drenaje (D) y fuente (S), positivo a D y negativo a S (V_{cc}).

Los electrones del canal N de la fuente (S) y del drenaje (D) son atraídos a la compuerta (G) creando un puente por el canal P.

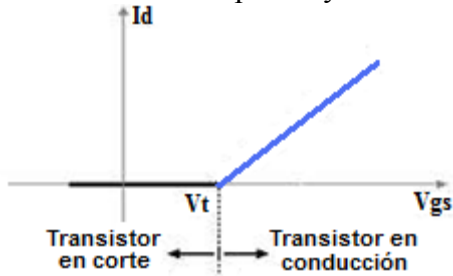
La diferencia de potencial existente entre fuente y drenaje, impuesta por V_{cc} , atraerá a estos electrones hacia el polo positivo de V_{cc} estableciendo así la circulación de corriente a través del MOSFET.

El ancho del puente depende del nivel de la tensión aplicada a la compuerta (V_g). La variación de esta tensión es la que permite regular la intensidad de corriente circulante a través del semiconductor

CURVAS CARACTERÍSTICAS

Se utilizan dos curvas características: la de entrada y la de salida.

La curva característica de entrada relaciona la corriente que circula por el drenador (I_d) con la tensión entre la puerta y el surtidor (V_{gs}).

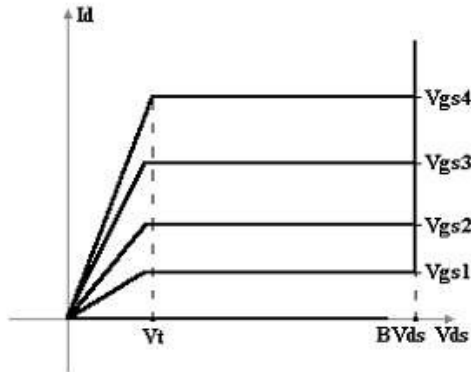


Curva característica de entrada de un transistor MOSFET.

I_d : intensidad por el drenador.
 V_{gs} : tensión compuerta-surtidor.
 V_t : tensión umbral.

En este caso el valor de tensión que identifica el límite en el cual se pasa de conducción a corte se llama tensión umbral (V_t). Si V_{gs} es mayor que este valor, el transistor MOSFET está conduciendo; mientras que si es menor no conduce.

La curva característica de salida relaciona la intensidad por el drenador (I_d) con la tensión existente entre los terminales del drenador y el surtidor (V_{ds}).



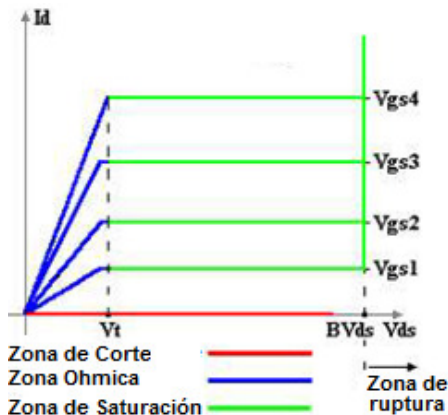
Curva característica de salida de un transistor MOSFET

I_d : intensidad de drenador.
 V_{ds} : tensión drenador-surtidor.
 I_{ds} : intensidad de drenador máxima aprovechable.
 V_{gs} : tensión compuerta-surtidor.
 V_t : tensión umbral.
 BV_{ds} : tensión drenador-surtidor máxima aprovechable

En esta curva, cada línea continua referencia un valor de tensión entre la puerta y el surtidor (V_{gs}) distinto. ($V_{gs1} < V_{gs2} < V_{gs3} < V_{gs4}$)

ZONAS DE FUNCIONAMIENTO

Los transistores MOSFET tienen cuatro zonas de funcionamiento.



Zonas de funcionamiento de un transistor MOSFET

ZONA DE CORTE

El transistor MOSFET equivale eléctricamente a un circuito abierto entre los terminales del drenador y el surtidor. Se comporta como un interruptor desconectado, situado entre los dos terminales.

ZONA OHMICA

El MOSFET equivale a una resistencia variable conectada entre el drenador y el surtidor. El valor de esta resistencia varía dependiendo del valor que tenga la tensión entre la puerta y el surtidor (V_{gs}).

ZONA DE SATURACION

El transistor entra en esta zona de funcionamiento cuando la tensión entre el drenador y el surtidor (V_{ds}) supera un valor fijo denominado tensión drenador-surtidor de saturación (V_{dssat}); este valor viene determinado en las hojas características proporcionadas por el fabricante.

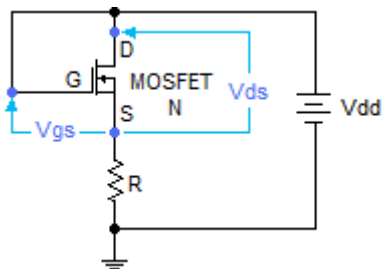
En esta zona el MOSFET mantiene constante su corriente por el drenador (I_d), independientemente del valor de tensión que halla entre el drenador y el surtidor (V_{ds}).

Por lo tanto, el transistor equivale a un generador de corriente continua de valor I_d .

ZONA DE RUPTURA

Esta zona apenas se utiliza porque el transistor MOSFET pierde sus propiedades semiconductoras y se puede llegar a romper el componente físico. La palabra ruptura hace referencia a que se rompe la unión semiconductor de la parte del terminal del drenador.

EJEMPLO DE POLARIZACIÓN DE UN MOSFET



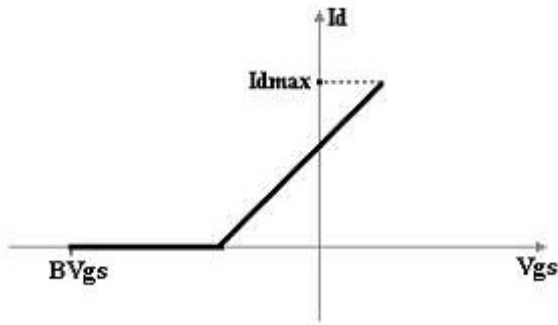
Circuito de polarización de un transistor MOSFET.

En este circuito la fuente de alimentación de continua V_{dd} tiene un valor en voltios superior al valor de tensión de umbral del MOSFET (V_t). Esto implica que el MOSFET está en zona de conducción, porque V_{gs} es mayor que V_t .

Como la tensión entre la puerta y el surtidor (V_{gs}) tiene el mismo valor que la tensión existente entre el drenador y el surtidor (V_{ds}), el transistor unipolar se encuentra funcionando en zona de saturación. Esto implica que el MOSFET equivale, eléctricamente, a un generador de corriente continua y constante.

LIMITES DE RUPTURA

La utilización de transistores unipolares en circuitos electrónicos, tanto JFET como MOSFET, exige, como en cualquier otro componente, conocer sus limitaciones de trabajo.



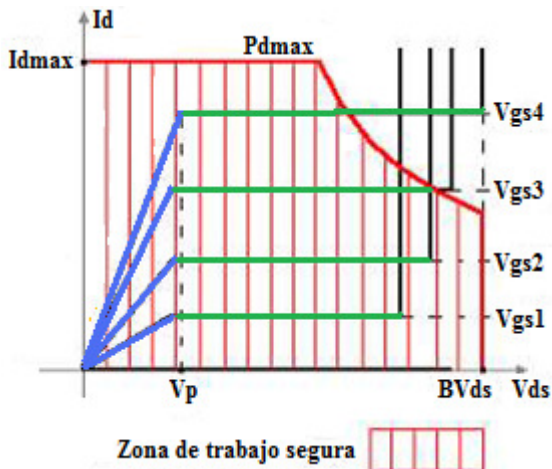
Curva de entrada referenciada con límites de ruptura.

Idmax: intensidad drenador máxima.

BVgs: tensión puerta-surtidor máxima.

Los transistores unipolares están limitados en tres magnitudes eléctricas:

- En tensión: no se puede superar el valor máximo de tensión entre la puerta y el surtidor. Este valor se denomina **BVgs**. Tampoco se puede superar un valor máximo de tensión entre el drenador y el surtidor denominado **BVds**.
- En corriente: no se puede superar un valor de corriente por el drenador, conocido como **Idmax**.
- En potencia: este límite viene marcado por **Pdmax**, y es la máxima potencia que puede disipar el componente.



Curva de salida referenciada con límites de ruptura.

Idmax: intensidad de drenador máxima.

BVds: tensión drenador-surtidor máxima.

Pdmax: potencia eléctrica máxima.

Todos estos valores que marcan los límites de ruptura del transistor unipolar vienen referenciados en las hojas de características (DATA-BOOK) proporcionadas por el fabricante.

Transistores IGBT

El transistor IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) es un dispositivo de compuerta aislada.

Tiene una estructura interna similar a la de un MOSFET, pero en el lado del drenador (colector) tiene una juntura P-N, la cual inyecta portadores minoritarios (lagunas) en el canal cuando el IGBT está en conducción. De esta manera se reduce significativamente la disipación de potencia.

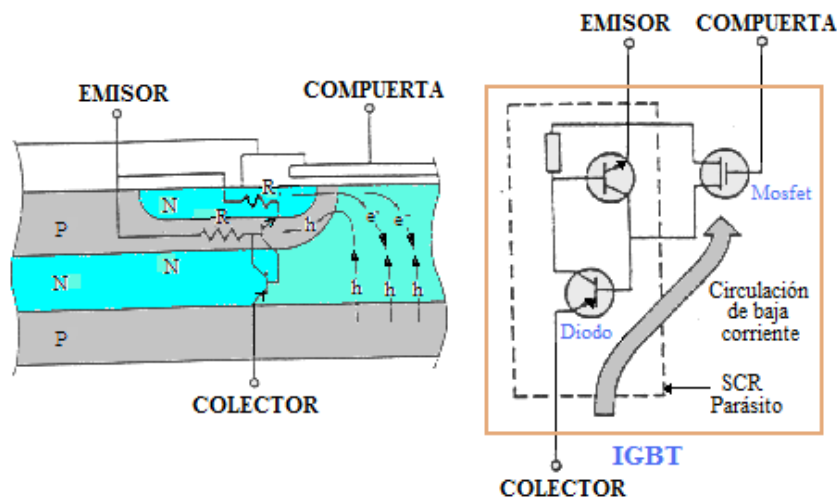
Los IGBT constituyen, desde el punto de vista de su empleo, un híbrido entre los transistores bipolares y los MOSFET para aprovechar tanto la sencillez de ataque de los últimos, como la capacidad para conducir altas corrientes y baja resistencia en conducción de los primeros.

Con el Mosfet

- ❖ Compuerta controlada por tensión
- ❖ La capacidad de entrada debe ser cargada y descargada durante el encendido y el apagado del transistor.
- ❖ Peligro de daños en el debido a cargas electrostáticas.

Con el bipolar

- ❖ Tensión de saturación poco dependiente de la corriente de colector por tener una resistencia en estado de conducción (emisor colector) baja, del orden de algunos miliohm.
- ❖ Dicha resistencia no se incrementa con la temperatura, por lo tanto tiene bajas pérdidas.
- ❖ Luego del apagado los portadores minoritarios necesitan un tiempo para la recombinación, lo que da como resultado una corriente inversa.
- ❖ No tiene diodo parásito.



Estructura y circuito equivalente del IGBT

Debido a la capa adicional tipo P, el IGBT tiene en la zona entre el colector y el emisor una estructura de cuatro capas.

La adición de esta capa Tipo P, introduce un nuevo transistor parásito que con el NPN inherente a la estructura de un MOSFET, conforma un Tiristor parásito, el cuál en caso de ser activado puede destruir al IGBT, este fenómeno se elimina constructivamente.

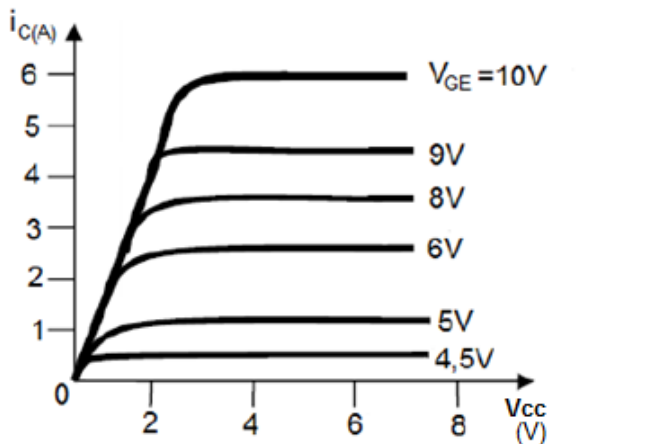
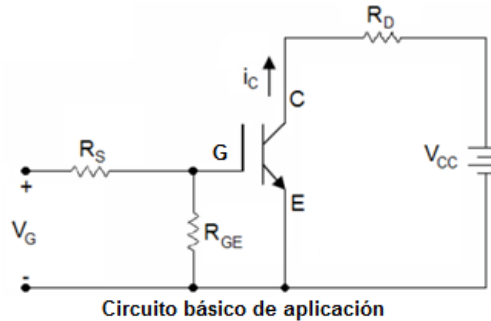
Las dos estructuras que existen son:

- 1) De perforación (PT – punch through)
- 2) NPT (non punch through)

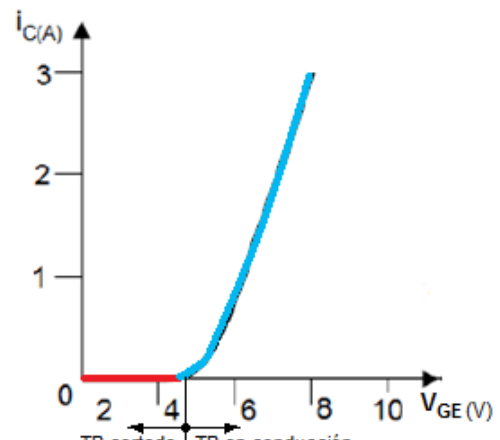
Como en un MOSFET incremental de canal N, se polariza la compuerta positivamente con respecto al emisor. Los portadores N (electrones) son atraídos al canal P (huecos) hacia la compuerta, produciendo una polarización directa de la base del transistor NPN, entrando este en conducción.

Resumiendo, un transistor IGBT se activa cuando se aplica una tensión positiva a la compuerta con respecto al emisor y se desactiva cuando se elimina esa tensión de polarización positiva.

Al ser activado y desactivado por tensión y no por corriente como los BJT, el circuito de control resulta sencillo al requerir del mismo prácticamente cero potencia.



Curvas características Tensión de Colector-Emisor (V_{CC}) vs. Corriente de Colector (I_C) para distintos niveles de tensión de polarización de la Compuerta (V_{GE})



Curva característica de transferencia Corriente de Colector (I_C) vs. Tensión de Polarización Compuerta-Emisor (V_{GE})

Un solo IGBT puede llegar a manejar hasta 1200V y 400A a una frecuencia de conmutación de hasta 20KHz.

Su aplicación está creciendo rápidamente en potencias intermedias como propulsores de motores de Corriente Continua y Corriente Alternada, UPS, relay de estado sólido, etc.

En automoción se utilizan por ejemplo en PCM, como drivers de bobinas de encendido y drivers de inyectores. También como drivers de motores de enfriamiento de radiadores.