

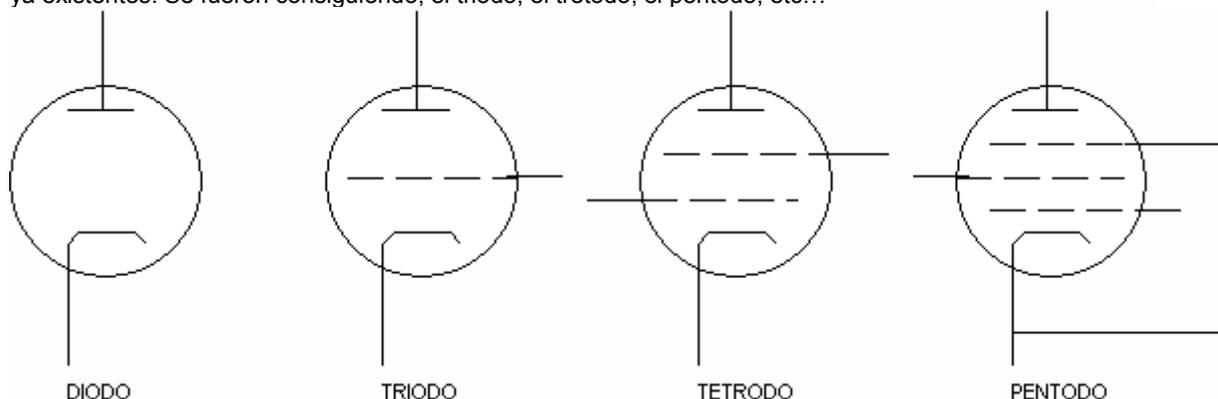
# Las Válvulas de Vacío

## Las Válvulas electrónicas

Erase una vez, la física, esa rama de la ciencia que estudia como se comporta la energía en todas sus formas y la materia en todos sus estados. Como toda ciencia, no solo trata de enunciar teorías, sino que trata de demostrarlas de forma experimental. Corrían los primeros años del siglo XIX, cuando Davy, consiguió iluminar una lamina de platino, haciendo que una corriente eléctrica la atravesara. Seguía corriendo el siglo de los inventos y en el año 1879, Edison comercializo una lámpara incandescente que tenía el filamento de carbono.

Tomas Alva Edison observo que el cristal de las lámparas con las que experimentaba, se ennegrecían cada vez más al fenómeno lo llamo "efecto Edison", hoy día lo llamamos emisión termoionica. Más adelante se le ocurrió colocar una plaquita para evitar el molesto fenómeno; cuando aplico una tensión eléctrica correctamente polarizada, observo que por el circuito circulaba una corriente eléctrica, no supo explicar dicho fenómeno físico, cuando en realidad había descubierto o inventado el diodo o válvula diodo rectificadora.

Pasaron los años y a principio del siglo XX, Fleming, utilizo el diodo como elemento detector, poco a poco fue obteniéndose cada vez más aplicaciones a esta válvula rectificadora o recortadora. A partir de estas investigaciones, las válvulas fueron desarrollandose cada vez más, al introducir algún electrodo entre los ya existentes. Se fueron consiguiendo, el triodo, el tetrodo, el pentodo, etc...



Diodo, Triodo, Tetrodo, Pentodo

# Las Válvulas de Vacío

Los electrones libres pueden obtenerse de diferentes modos:

- Por efecto fotoeléctrico.
- Emisión electronica secundaria.
- Emisión termoionica.

Solo de esta última emisión, la termoionica, es de la que vamos a ocuparnos, ya que es el fundamento de **las válvulas** de vacío.

## Emisión Termoionica

Los electrones libres se encuentran en continuo y arbitrario movimiento, pasando constantemente de la periferia de unos átomos a otros. Pero a la temperatura ordinaria, la velocidad de estos electrones libres no es suficiente para determinar el desprendimiento de los mismos, para abandonar el conductor del que forman parte. Sin embargo, al calentar ciertos conductores metálicos en determinadas condiciones, se pueden conseguir la emisión de electrones libres saliendo hacia el exterior, ya desde los 600°C aproximadamente.

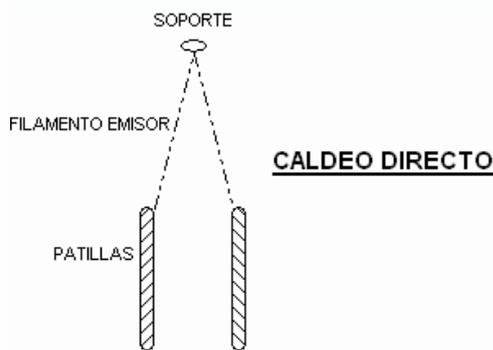
Este fenómeno de los electrones desprendiéndose por efecto del calentamiento, es análogo al de la evaporización de las moléculas de un líquido cuando se calienta fuertemente hasta la ebullición.

En **las válvulas** termoiónicas o electrónicas el elemento o electrodo, que así se denominan los distintos elementos que componen una válvula y produce esta emisión de electrones, se llama emisor o cátodo.

Existen dos formas de producir la emisión catódica, el caldeo directo y el caldeo indirecto.

## Caldeo directo

El caldeo directo por cátodo-filamento era un tipo de caldeo que se utilizaban en **las válvulas** primitivas. Se calentaba un filamento, hasta unos 2500°C, compuesto por tungsteno o tungsteno toriado, para conseguir la emisión electrónica. El calentamiento se logra, al hacer circular directamente una corriente eléctrica por el referido filamento.



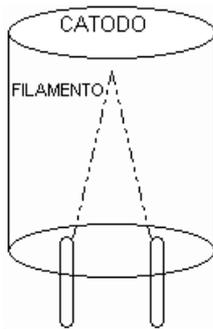
Caldeo Directo

## Caldeo Indirecto

El caldeo indirecto consiste en hacer circular la corriente de caldeo por un calefactor independiente, sin conexión eléctrica de la fuente de calor, en este caso del filamento.

El cátodo o electrodo emisor por tanto queda galvanicamente aislado del filamento, pero es calentado por este y finalmente produce la emisión termoiónica. Consiste en un tubo generalmente de níquel, recubierto de óxidos de bario y estroncio que tienen un gran poder emisor, el cual se logra ya con una temperatura de unos 900°C a 1000°C.

Se deterioran más rápidamente que los de tungsteno al sufrir el bombardeo iónico y al tener que soportar grandes tensiones iónicas. Sin embargo, son casi el tipo único usado en **las válvulas** para las aplicaciones de amplificación.



### CALDEO INDIRECTO

Caldeo Indirecto

Tanto con uno como con otro tipo de caldeo, el número de electrones que es posible emitir, es decir la corriente máxima posible se llama corriente de saturación, dependiendo de la superficie del cátodo emisor del material que lo constituye y de la temperatura de caldeo.

Las válvulas electrónicas podríamos describirlas como un elemento que se constituye con una ampolla de vidrio y dentro de ella se sitúan los distintos electrodos que la componen. Según el número de electrodos que componen una válvula se llama de distinta manera:

- Dos electrodos **Diodo**.
- Tres electrodos **Triodo**.
- Cuatro electrodos **Tetrodo**.
- Cinco electrodos **Pentodo** y así sucesivamente.

El filamento, no cuenta como electrodo para **las válvulas** de caldeo indirecto.

Hay que hablar de la utilidad del vacío en **las válvulas** termoelectrónicas, la extracción del aire de las ampollas de vidrio, es de toda necesidad, para eliminar el oxígeno que determinara la combustión del filamento al calentarse y ponerse incandescente. También es útil hacer el vacío para despejar obstáculos constituidos por las moléculas de gas habilitando el camino que los electrones han de correr, desde el cátodo hacia el lugar de destino que más adelante abordaremos.

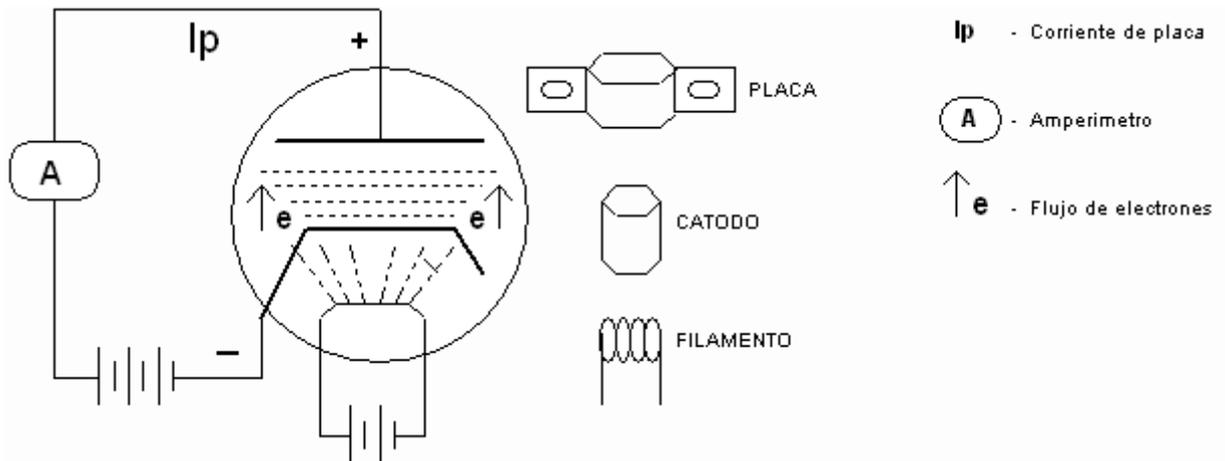
Al ser bombardeadas las moléculas de aire o otro gas por los electrones a gran velocidad, desprenden de los átomos, con lo que chocan, uno o varios electrones al mismo tiempo que dan origen a iones positivos que son atraídos con fuerza por el cátodo, el cual como consecuencia de los choques se debilitan y pueden acortar su duración.

## Las Válvulas Diodo

Constituyen el tipo de **válvulas** más sencillas.

Aunque la emisión electrónica de un cuerpo metálico caliente fue descubierta ya por Edison en 1884, no se obtuvieron resultados prácticos hasta 1904 en que Fleming patentó el diodo para ser utilizado como detector de las señales radiotelegráficas recibidas.

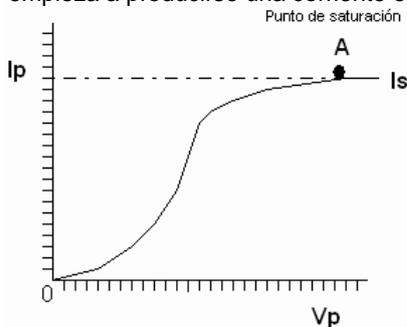
Nos ocuparemos ahora de los diodos de emisión termoiónica de alto vacío. En la figura presentamos el circuito de funcionamiento básico.



La valvula diodo

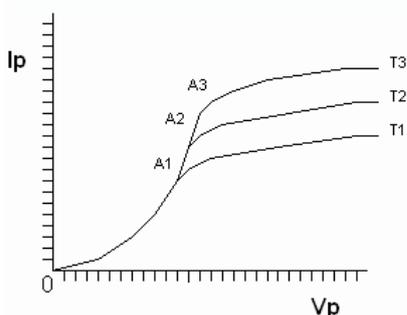
Se acompaña de lo que se llama curvas características del diodo. Estas curvas representan el funcionamiento real de un diodo en función de las distintas polarizaciones de placa y calentamiento del cátodo emisor.

Como vemos, consta el diodo de dos electodos, el cátodo y la placa o ánodo. En este caso de calefacción indirecta, tenemos el calefactor o filamento independiente, pero no se considera como ya dijimos anteriormente como un electrodo. Alrededor del cátodo, al ser calentado se produce una nube de electrones que se denomina carga espacial (e). Estos electrones que rodean el cátodo, tienden a oponerse a nuevas salidas de electrones emitidos por este. El fenomeno desaparece cuando aplicamos a la placa un potencial positivo suficiente para atraer a los electrones hacia ella, a partir de entonces empieza a producirse una corriente electrónica por el circuito de placa.



Curva característica del diodo

Curva característica del diodo, corresponde a una temperatura determinada del cátodo, variando la tensión de placa ( $V_p$ ) y observando el aumento de la corriente por placa ( $I_p$ )

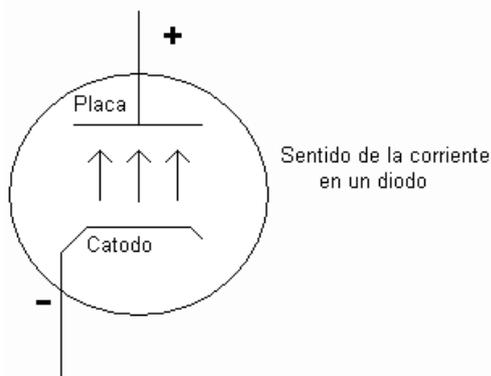


## Curva característica del diodo

Curva característica del diodo si variamos la temperatura del cátodo emisor ( $T_1, T_2, T_3$ ). Según aumentamos la temperatura del cátodo, la saturación se alcanza en un punto más elevado de corriente.

Podemos decir, que en el funcionamiento normal del diodo, es decir, antes de llegar a la corriente de saturación, el valor de  $I_p$  es función de  $V_p$ . Pero cuando hemos alcanzado el valor  $I_p = I_s$ , para incrementar  $I_p$  es necesario aumentar el valor de  $T$  (Temperatura de cátodo).

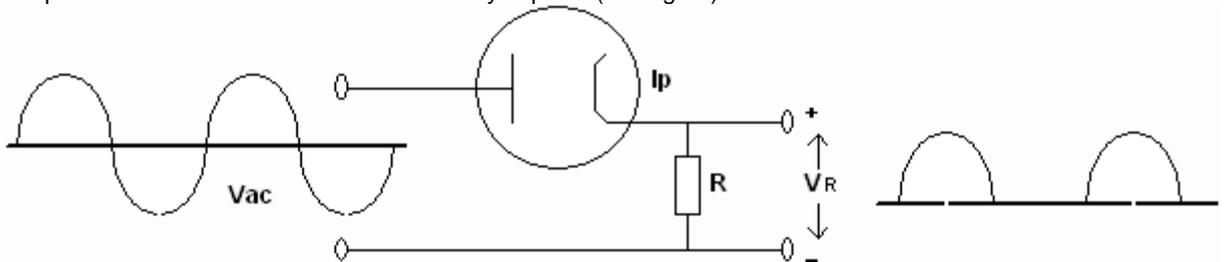
**Sentido único de circulación de los electrones:** De esta propiedad, consistente en permitir el paso en un sentido único, es decir, del cátodo a la placa, procede la denominación de válvula electrónica, dada al diodo y a los demás dispositivos, con más electrodos, del mismo derivados.



Sentido De La Corriente

## La Válvula diodo como rectificador

Al aplicar una tensión de C.A entre el cátodo y la placa ( ver figura) tenemos:



Diodo Rectificador

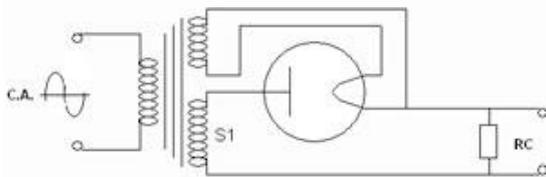
1. La válvula se hace conductora, solamente cuando el potencial de la placa es positivo con relación al cátodo.
2. Por consiguiente, solo circula corriente en un sentido. Es decir, que aplicando a la válvula C.A., obtendremos corriente continua o rectificada.

3. Después de la rectificación quedan anulados los semiciclos negativos de la C.A.

De las propiedades del diodo que acabamos de indicar, se deduce su aplicación como “dispositivo rectificador” de corriente, haciendo posible alimentar las placas y otros electrodos (pantallas) de las diferentes válvulas de un receptor de radio o televisión, con la corriente alterna de la red.

## Las Válvulas diodo como rectificador de media onda

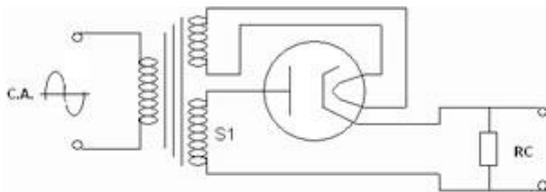
En las figuras que se representan a continuación, además de los gráficos de funcionamiento, vemos dos circuitos, uno de caldeo directo y el otro de caldeo indirecto. Podemos observar que aunque obtenemos corriente continua, esta no es constante en su valor, sino que es pulsatoria. Para poderla aplicar a los circuitos es necesario completarla utilizando condensadores que actuaran como filtros, así quedara completado el circuito rectificador.



**CALDEO DIRECTO**

Circuito de Caldeo Directo

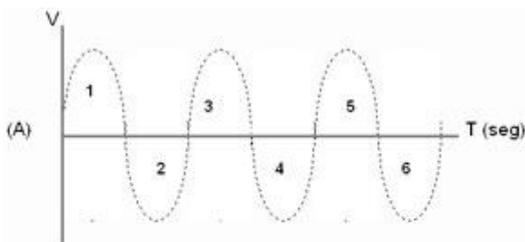
RC: Resistencia de carga



**CALDEO INDIRECTO**

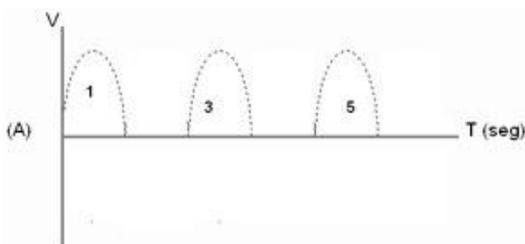
Circuito de Caldeo Indirecto

RC: Resistencia de carga



**Tensión en el secundario S1**

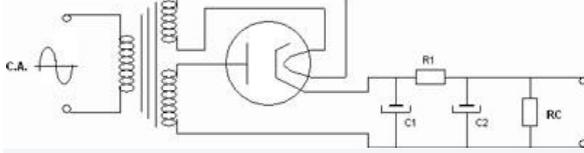
La Válvula como diodo



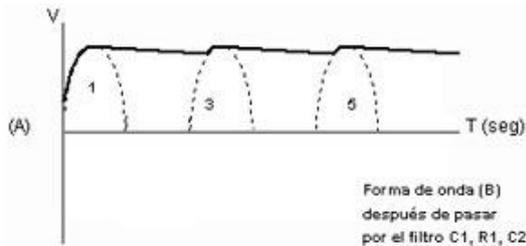
**Tensión en RC**

Tension en la resistencia de carga RC

Si a cualquiera de estos circuitos añadiéramos un filtro (condensador-resistencia-condensador) comúnmente denominado filtro en  $\Pi$  (Pi), veríamos como la tensión no tendría las variaciones que observamos en el dibujo (b).



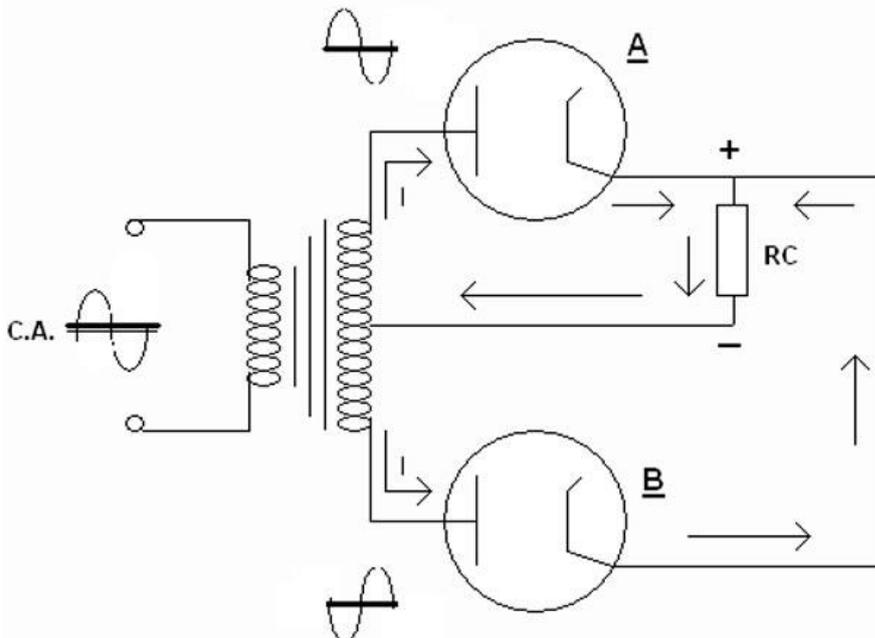
Filtro C1, R1, C2.



Forma de Onda Filtro C1,R1,C1

## Las Válvulas diodo como rectificador de onda completa

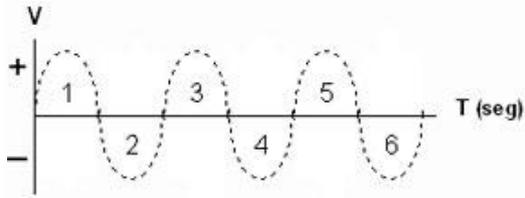
En la figura siguiente se representa un circuito rectificador de onda completa constituido por dos diodos, el 1º de los cuales rectifica las alternancias positivas y el segundo las negativas, de manera que a la resistencia de carga (RC) le llegan rectificadas ambas semiondas, tal como en el dibujo queda explicado. En el dibujo no se representan los filamentos de las válvulas diodo y se entiende que son de caldeo indirecto.



### RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA

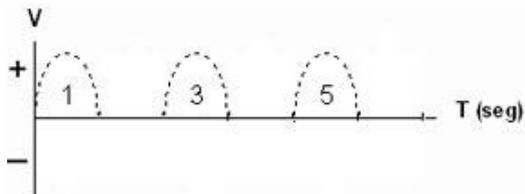
Rectificador De Onda Completa

Las flechas indican el sentido de la corriente en cada uno de los semiciclos, quedando el diodo bloqueado en el semiciclo negativo.



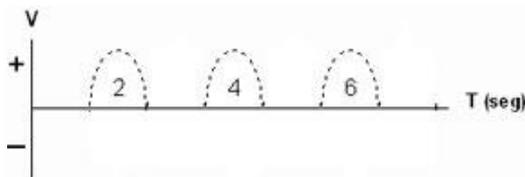
### TENSIONES EN TRANSFORMADOR

Tensiones en TR



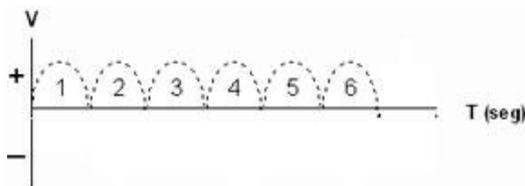
### CORRIENTES EN DIODO A

Corriente Diodo A



### CORRIENTES EN DIODO B

Corriente Diodo B

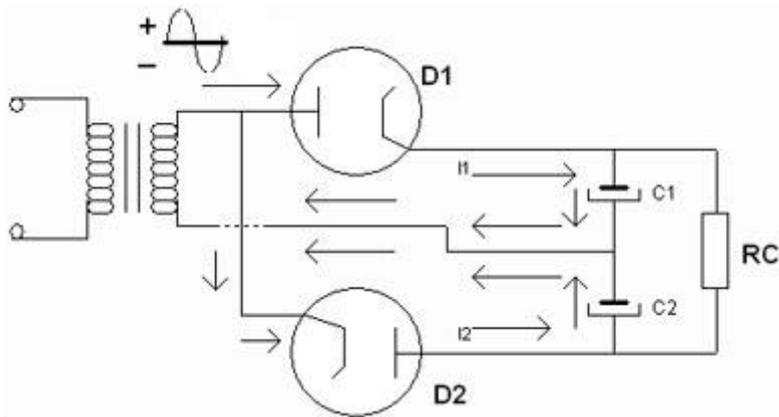


### TENSIONES Y CORRIENTES EN RC

Tension y Corriente en RC

## Las Válvulas diodo como rectificador doblador de tensión

Los dobladores de tensión son rectificadores que tienen la facultad de aumentar al doble la tensión que les llega. Este tipo de rectificadores fue muy usado en receptores de televisión su funcionamiento es similar al rectificador de onda completa salvo en la disposición de los condensadores.



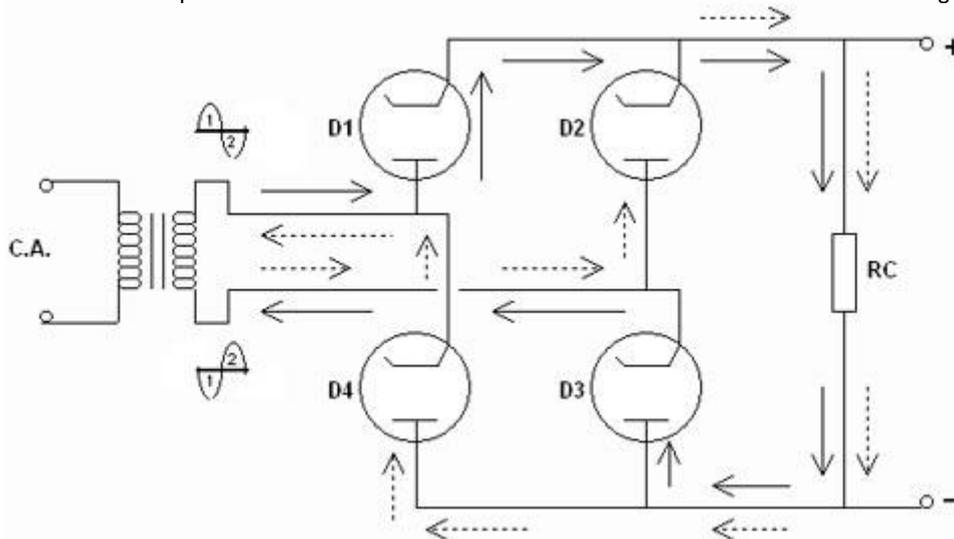
Doblador de Tension

Cuando aparece el semiciclo positivo en el secundario del transformador, el diodo D1 conduce, haciendo que se cargue el condensador C1 según indica la dirección de la flecha I1. Seguidamente aparecerá el semiciclo negativo, conduciendo ahora el diodo D2 y quedando bloqueado el D1. Con esta corriente I2, se consigue ahora cargar el condensador C2. Por lo tanto la suma de la carga del condensador C1 mas la de del condensador C2, hace que la tensión aumente al doblen en la RC.

Por lo tanto la válvula diodo podríamos utilizarla como triplicador, cuadruplicador, etc...de tensión según la disposición del circuito y la colocación de sus elementos.

## Las válvulas diodo como rectificador puente

La válvula diodo puede utilizarse como rectificador en una disposición denominada "puente" o Puente Graetz. Este dispositivo rectifica los dos semiciclos de la c.a. El funcionamiento es el siguiente:



La válvula diodo como rectificador puente

Supongamos que en el primer semiciclo la parte superior del secundario es positivo respecto a la parte inferior. En esta circunstancia la corriente pasa a través del diodo D1, la RC, el diodo D3 y llega a la parte inferior del secundario (flechas discontinuas).

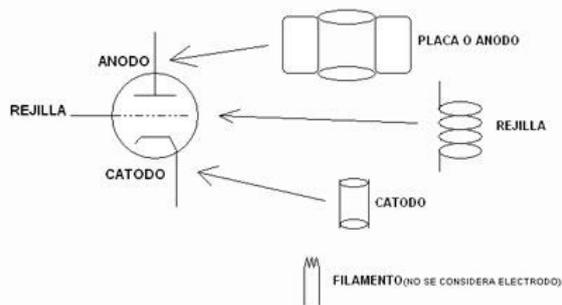
En el siguiente semiciclo, la parte inferior será positiva respecto de la superior, por lo tanto la corriente circulara por el diodo D2, la RC y el diodo D4, regresando a la parte superior del secundario (flechas continuas).

Observaremos que por RC tanto en el primer semiperiodo como en el segundo, la corriente que circula siempre lo hace en el mismo sentido.

La ventaja de este circuito rectificador con respecto a los clásicos, es que al quedar los diodos en serie, aguantan valores de tensión más elevados y no necesitamos un transformador desfasado o con toma central, como en el caso del rectificador de onda completa.

## Las Válvulas Triodo

En la válvula triodo, además del cátodo y el ánodo, existe un tercer electrodo en medio de ellos que se denomina rejilla. Este tercer electrodo, sirve para controlar el paso de electrones a través de la válvula, es decir, para controlar la corriente de ánodo sin necesidad de que varíe la tensión aplicada a este último.



Válvula Triodo

Al tomar la rejilla diferentes tensiones con relación al cátodo tenemos:

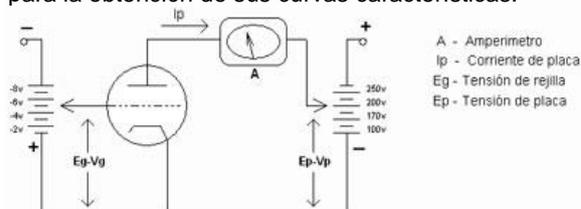
1º Cuando la rejilla es neutra o cuando se encuentra a la misma tensión que el cátodo, la válvula, se comportará, prácticamente, como un diodo, es decir, como si no existiera la rejilla y por lo tanto no influyendo en la corriente de la placa.

2º Cuando la rejilla es negativa, con relación al cátodo, la corriente de placa disminuye e incluso puede llegar a anularse.

3º Cuando la rejilla se hace positiva con relación al cátodo, la corriente de placa aumenta, hasta un momento en que ya no es posible incrementarla más. Es entonces cuando se dice que la válvula ha llegado al punto de saturación.

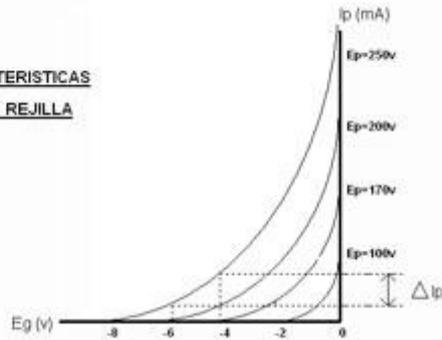
4º Cuando se hace la rejilla positiva con respecto al cátodo, pronto aparece una corriente en el circuito de rejilla-cátodo que aumenta progresivamente, al incrementarse la tensión positiva de rejilla.

La invención del triodo, se debe a De Forest que en 1906 se le ocurrió introducir un tercer electrodo, que es la rejilla de control. En esta figura representamos el montaje de un triodo para su funcionamiento y para la obtención de sus curvas características.



FUNCIONAMIENTO DEL TRIODO

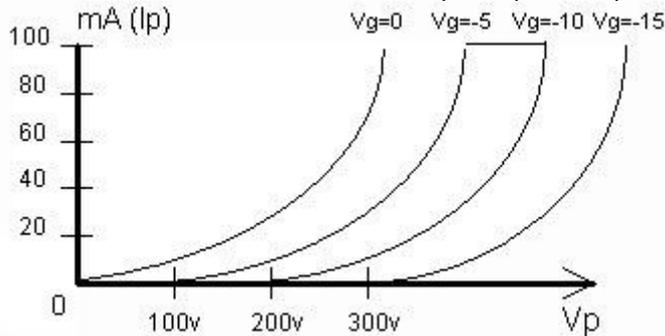
**CURVAS CARACTERÍSTICAS  
ESTÁTICAS DE REJILLA**



**CURVAS ESTÁTICAS DE REJILLA**

Obtenemos cada una de estas curvas, aplicando un cierto potencial de placa ( $V_p$ ), que es lo que la define como individuo de la familia de curvas, dando diferentes valores a la tensión de rejilla ( $V_g$ ) y anotando los correspondientes valores que va tomando la corriente de placa ( $I_p$ ).

Las curvas características estáticas de la placa quedan representadas en la siguiente figura.



**Curvas Estáticas de Placa**

Utilizando el mismo montaje para la obtención de las curvas características de rejilla, podemos ahora obtener estas otras curvas. Aquí mantenemos constante la tensión de rejilla ( $V_g$ ), durante la obtención de cada una de las curvas que constituyen la familia.

Los coeficientes característicos de la válvula triodo son tres:

1º Resistencia interna ( $R_i$ ), llamada también resistencia de placa, la obtendremos para un triodo cualquiera, dividiendo un incremento o variación de la corriente de placa, permaneciendo constante la tensión de rejilla

$$R_i = \frac{\Delta V_p}{\Delta I_p}$$

Tomando  $\Delta V_p$  en voltios y  $\Delta I_p$  en amperios, obtenemos  $R_i$  en ohmios ( $\Omega$ ).

2º Factor de amplificación  $\mu$ , que puede definirse como el número de voltios de variación de la tensión de placa a que equivale la variación de un voltio en la tensión de rejilla.

$$\mu = \frac{\Delta V_p}{\Delta V_g} \quad (\text{Para } I_p \text{ constante})$$

Es decir, que para obtener el valor de  $\mu$ , bastara dividir el número de voltios que tenemos que variar la tensión de placa (permaneciendo  $V_g$  constante) para obtener una determinada variación de  $I_p$ , por el

numero de voltios en que tendríamos que variar la tensión de rejilla (permaneciendo  $V_p$  constante) para obtener igual variación de  $I_p$ .

El valor de  $\mu$ , depende de la relación  $\frac{C_{kg}}{C_{kp}}$  o sea, entre las capacidades inter-electricas cátodo-rejilla y cátodo-placa.

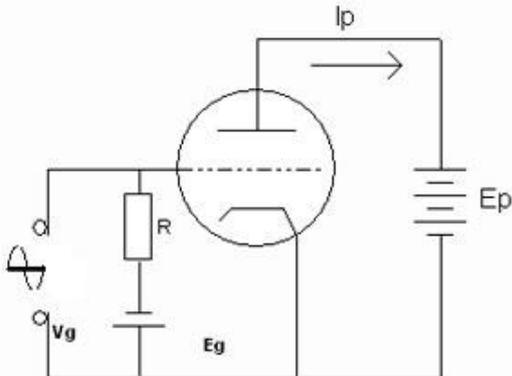
Es decir, que aumenta el factor de amplificación, aproximando la rejilla al cátodo y alejando la placa del mismo ó al aumentar la superficie de la rejilla.

3º Pendiente, conductancia mutua o transconductancia, que se representa por medio de las letras  $P, S$  ó  $G_m$  y equivale a la variación de la corriente de placa, por cada voltio de variación de la tensión de rejilla, permaneciendo constante la tensión de placa.

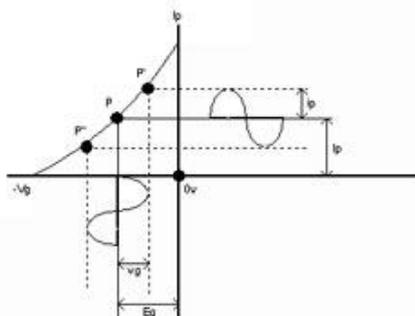
$$P = S = G_m = \frac{\Delta I_p}{\Delta V_g}$$

Las pendiente se expresa, en miliamperios por voltio ó milimhos.

## Funcionamiento dinámico de la válvula triodo



Funcionamiento Dinamico del Triodo



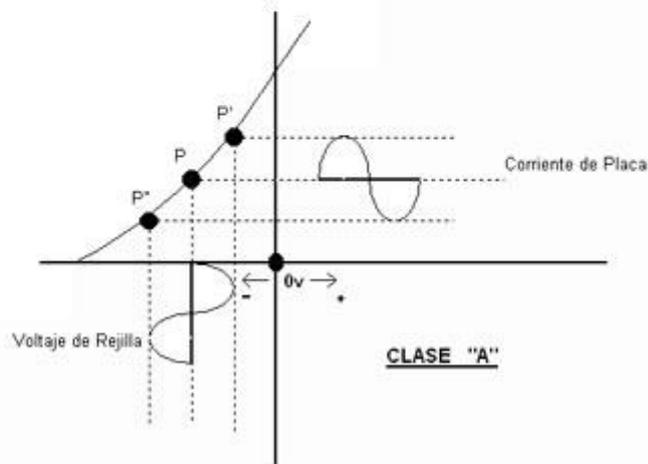
En esta figura representamos la variación que se produce en la corriente de placa al variar la tensión aplicada a la rejilla. Vemos que en el circuito de placa aparece una corriente alterna superpuesta a la continua, reproducción exacta en la frecuencia y forma de onda de la tensión alterna  $V_g$  inyectadas entre el cátodo y la rejilla.

El condensador C, a través del cual se aplica la tensión de excitación de rejilla, es necesario para evitar que la tensión  $E_g$  de polarización de rejilla pueda quedar cortocircuitada través de dicho circuito de excitación.

Este comportamiento de la válvula triodo, es lo que se denomina funcionamiento dinámico del triodo. Conociendo como transportamos una tensión o forma de onda desde el circuito de rejilla de una válvula, al circuito de placa, podremos comprender como válvula polarización funcionan los distintos tipos de amplificadores.

### Amplificador clase A

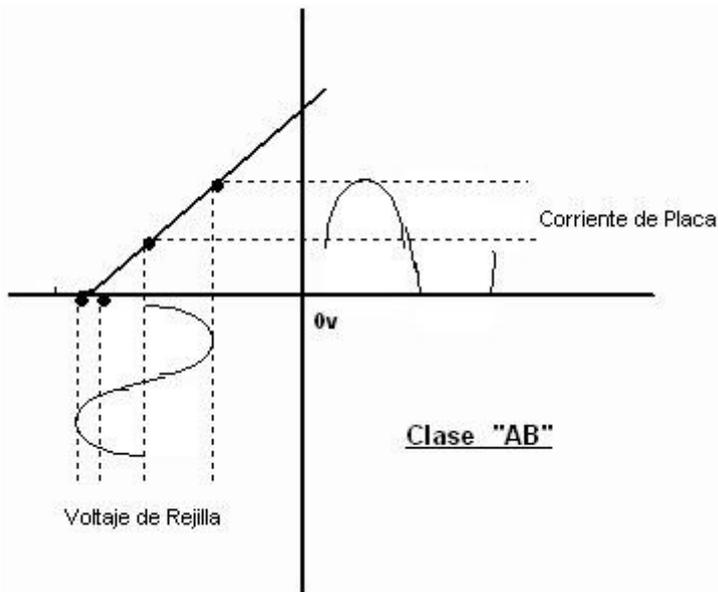
En este tipo de amplificadores, el punto de funcionamiento de la válvula se mueve siempre en la región recta de la curva característica, por lo tanto la corriente de placa no se anula en ningún momento.



Amplificador Clase A

### Amplificador clase AB

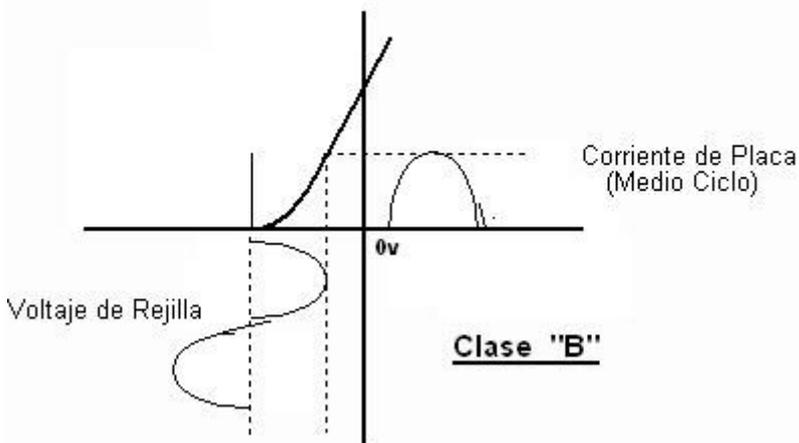
En este caso, la polarización de rejilla y las tensiones alternas aplicadas son tales, que la corriente de placa fluye mas de medio ciclo, pero menos del ciclo completo.



Amplificador Clase AB

## Amplificador clase B

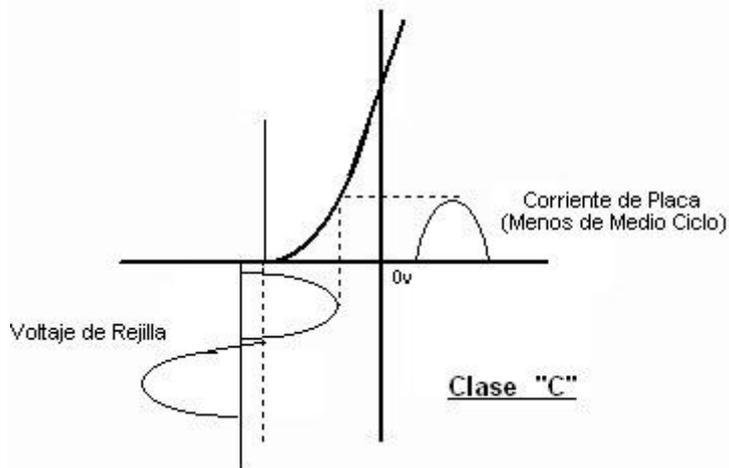
Este tipo de amplificadores se caracterizan por que la polarización de la rejilla de la válvula coincide con la tensión de corte. Es decir, teniendo la válvula en reposo sin excitación,  $I_p = 0$ . La corriente de placa fluye solamente durante medio ciclo. La distorsión puede ser moderada y el rendimiento llega a 0,7. Estos amplificadores se utilizan en pasos de potencia de emisoras de radiotelegrafía.



Amplificador Clase B

## Amplificador clase C

Aquí tenemos, que la polarización de rejilla es mayor que el valor de la tensión de corte. Por lo tanto  $I_p = 0$  cuando no hay excitación y fluye durante menos de medio ciclo. La distorsión puede ser grande, pero el rendimiento es muy bueno, pudiendo alcanzar un 90%.



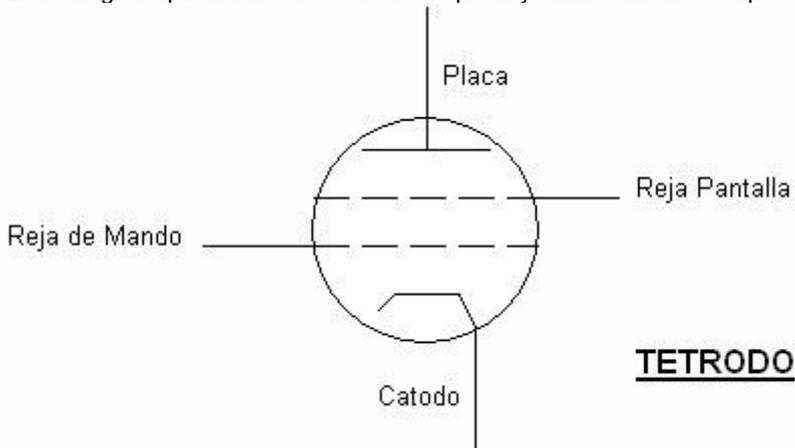
Amplificador Clase C

## Válvula Tetrodo

Un tetrodo es una válvula de cuatro electrodos. además del cátodo, rejilla de control ( $g_1$ ) y placa, como el triodo, se añade una nueva rejilla entre la placa y la rejilla de control que denominamos rejilla pantalla.

Existen algunas ventajas para ser utilizada esta válvula, pero también se derivan algunos efectos perjudiciales, que el efecto "emisión secundaria" produce cuando la tensión de placa es inferior a la de la pantalla.

Esto obliga a aplicar fuertes tensiones de placa y limitar mucho el empleo del tetrodo.

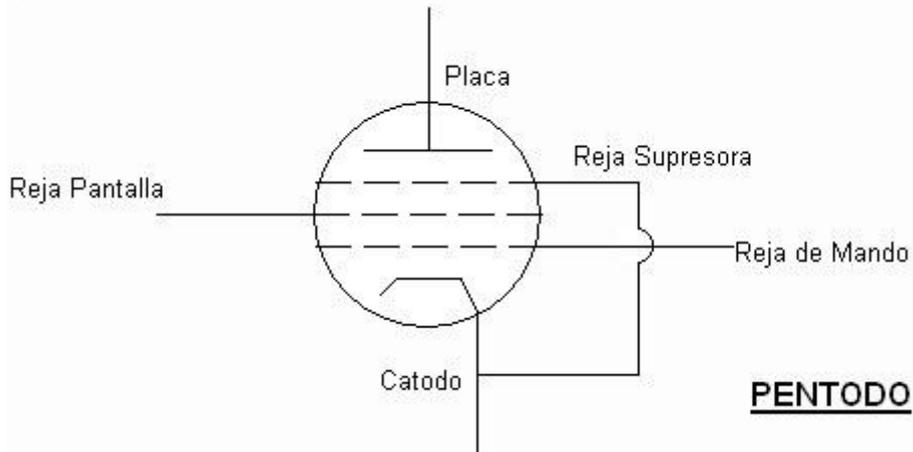


Válvula Tetrodo

## Válvula pentodo

La válvula Pentodo es una válvula de cinco electrodos, que solo se diferencia del tetrodo en que se añade una nueva rejilla, la rejilla supresora, entre la placa y la rejilla pantalla. la rejilla supresora se une eléctricamente al cátodo y de esta manera repele a los electrones que producen la "emisión secundaria",

devolviendolos a la placa y por consiguiente eliminando dicha emisión que resulta tan perjudicial para el tetrodo.



Válvula Pentodo

En resumen podemos decir que el pentodo conserva en mayor grado todas las ventajas del tetrodo, en relación también con el triodo, y elimina sus inconvenientes gracias a la inclusión de la rejilla supresora. Además del diodo, triodo, tetrodo y pentodo, existen otras válvulas con mayor número de electrodos, cuyos nombres también indican el número de los mismos. Exodo, heptodo, octodo, y todas ellas son básicamente análogas a las válvulas descritas anteriormente.