



## DIODOS SEMICONDUCTORES

### INTRODUCCIÓN AL DIODO

Los elementos de circuitos tratados hasta el presente (resistores, capacitores e inductores) son elementos lineales. Esto significa que si duplicamos el potencial aplicado se duplica la corriente que circula por él. Son dispositivos de dos terminales, el diodo también es un dispositivo de dos terminales muy importante y útil en electrónica, pero se trata de un dispositivo cuyas características están muy lejos de ser lineales.

Dada la filosofía con que se ha encarado el curso estudiaremos lo indispensable de los fundamentos de la física del estado sólido que explican el funcionamiento de los dispositivos semiconductores, nos restringiremos a describir su comportamiento como elemento de circuito y presentar cómo se utilizan dichas propiedades.

### MODELO FÍSICO DE LOS SEMICONDUCTORES

Los Materiales pueden ser clasificados como conductores, semiconductores y aisladores. Pondremos nuestra atención en los semiconductores, los cuales, como su nombre lo indica no son buenos conductores. En la Tabla 1 se indica la resistividad (inversa de la conductividad) de algunos materiales frecuentemente utilizados en la fabricación de componentes electrónicos. La conductancia es una medida de la relativa facilidad con que los electrones se mueven en un material. La conductancia en un metal involucra el movimiento de los electrones libres a través de la estructura cristalina de un metal. Para entender el movimiento de los electrones en un semiconductor, se requiere el desarrollo de algunas ideas de las estructuras y uniones entre materiales. Daremos una idea de un modelo físico simplificado que nos permita el entendimiento cualitativo del comportamiento de los semiconductores.

Los semiconductores más usados comúnmente, son de germanio y silicio. Actualmente el más usado es el silicio y a él nos referiremos.

El núcleo del átomo de silicio tiene 14 protones que le confiere una carga de +14 al núcleo. Alrededor del núcleo se encuentran 14 electrones en orbitales de distinta energía. Un modelo simplificado del átomo considera que solo los cuatro electrones exteriores participan en la unión química. La carga nuclear “efectiva”, es entonces de +4, esto está representado en la figura 1 (El átomo de germanio es semejante en su comportamiento desde este punto de vista).

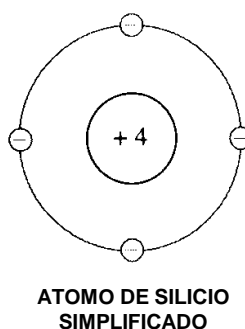
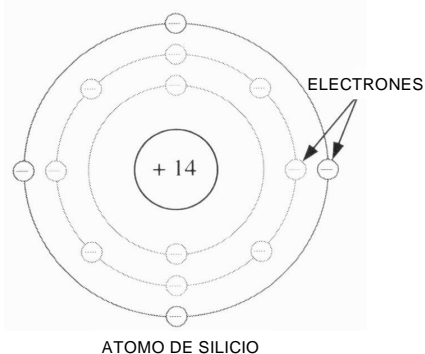


Figura 1: Modelo de Átomo de Silicio

En un monocristal de silicio la unión entre dos electrones de distintos átomos vecinos, se llama “unión covalente”, es decir un electrón proviene de cada uno de los dos átomos vecinos. La estructura del cristal es tridimensional, pero en la

**TABLA 1**  
**Tabla de resistividad**

Material	Resistividad (ohms cm)
<b>Conductores</b>	
Aluminio	$2.7 \times 10^{-6}$
cobre	$1.7 \times 10^{-6}$
oro	$2.4 \times 10^{-6}$
plata	$1.6 \times 10^{-6}$
tungsteno	$5.7 \times 10^{-6}$
<b>Semiconductores</b>	
germanio	$10^5$
selenio	$10^7$
silicio	$10^3$ a $10^6$
<b>Aisladores</b>	
cera (abeja)	$10^{14}$ a $10^{15}$
cerámica	$10^{11}$ a $10^{14}$
ebonita	$10^{15}$ a $10^{17}$



figura 2 se representa una porción del cristal en dos dimensiones. Note que cada átomo está rodeado de 8 electrones de valencia, la cual es una configuración de energía mínima.

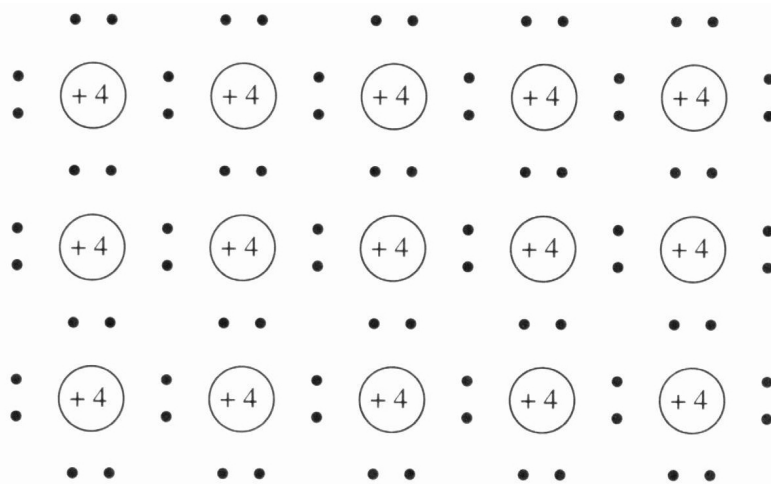


Figura 2: Representación en dos dimensiones de parte de un cristal de silicio

Debido a que cada electrón es retenido fuertemente, la conductancia en un cristal puro, es baja (no conduce a 0°K). Si es entregada suficiente energía al cristal, algunos electrones vencen la atracción de sus núcleos originales y se pueden mover libremente a través del cristal, generando un incremento de la conductancia. Si se aplica suficiente calor (energía térmica) se daría lugar a un aumento incontrolado de la conductividad y se podría causar la destrucción del dispositivo semiconductor.

Si se introduce una pequeña cantidad de impurezas dentro del cristal de silicio y si el número de los electrones de valencia de la impureza no es cuatro, se observa un cambio en la conductancia del cristal.

Por ejemplo: si se agregan átomos pentavalentes de fósforo, arsénico o antimonio (cada uno de los cuales tiene 5 electrones de valencia) estos introducen un electrón de valencia más como se ilustra en la figura 3. El resultado neto es que se introduce un electrón de unión débil dentro de la estructura cristalina donde la mayoría de los electrones están unidos más fuertemente. Esto nos sugiere que se ha violado la regla de electroneutralidad. El nuevo átomo tiene una carga nuclear efectiva de +5; los electrones de valencia cinco logran un balance eléctrico. El electrón adicional sin embargo tiene movilidad mayor que los otros. Debido a que el electrón se puede mover libremente. Al desplazarse este quinto electrón

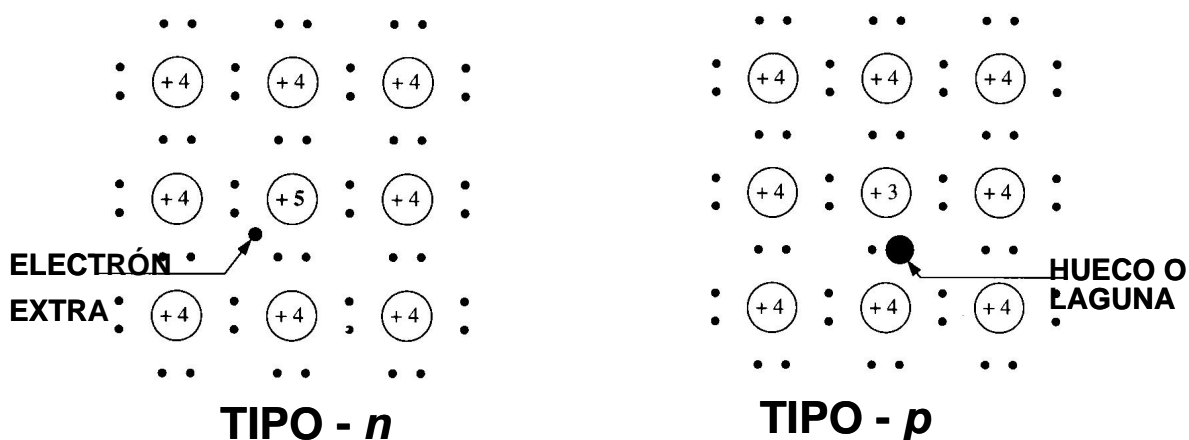


Figura 3: Representación de un cristal de silicio con impurezas pentavalente (tipo *n*) y trivalente (tipo *p*).

deja un lugar “vacante”, también llamado “hueco” o “agujero”. Otros electrones



pueden llenar el agujero, pero en el proceso crea otros agujeros. Los electrones (partículas) cuando se aplica un potencial se mueven en una dirección dentro del cristal, aún aquellos que provienen de los agujeros, y estos se mueven en dirección opuesta a los electrones.

Los agujeros están fijos en la estructura, pero cuando uno se llena con un electrón, se crea otro agujero, dando la impresión que el agujero se mueve.

Un cristal de silicio es “dopado” con un elemento como fósforo (P) o arsénico ( $A_s$ ) se llama “cristal tipo n” porque la conducción se realiza por medio de cargas negativas.

Si una impureza tal como indio ( $I_n$ ) o Boro (B) que tienen tres electrones de valencia, se insertan en el cristal, se forma un “cristal tipo p” (Fig. 3b).

En el cristal tipo p se incorpora en la estructura del cristal un agujero. La mayoría de los portadores de corriente de este tipo son agujeros y la minoría son los electrones. A la inversa ocurre con el cristal tipo n.

La idea del “movimiento” de agujeros se muestra en la figura 4, donde el movimiento puede percibirse como generación de pares de electrón-agujero con la

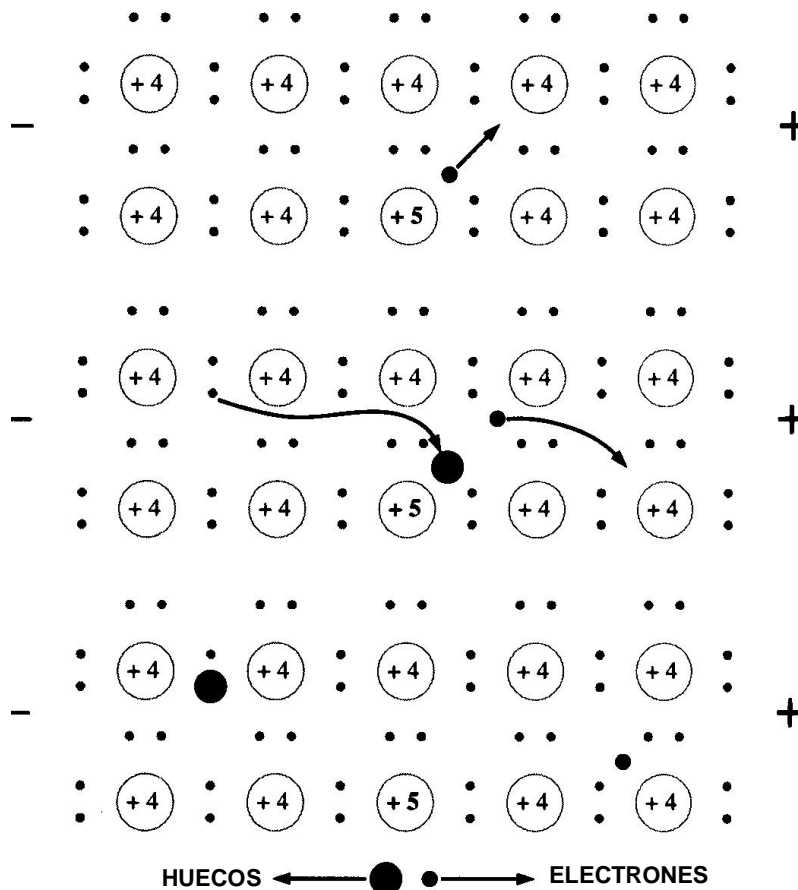


Figura 4: Dirección de movimiento de los huecos y los electrones.

subsecuente recombinación en otros lugares de la estructura del cristal. Cuando una fuente de tensión externa se aplica al cristal solo los electrones dejan y entran al cristal, el proceso es ilustrado en la figura 4 donde se ve el movimiento de agujeros en un sentido y de electrones en la dirección opuesta. A temperatura ambiente un cierto número de pares electrón-agujero se generan adentro del cristal. Así es como un electrón es liberado de su sitio de unión, dejando atrás el agujero. Estos portadores así como aquellos adicionados a propósito constituyen la corriente dentro del cristal. El proceso de generación y recombinación se produce continuamente en el cristal.

### LA UNIÓN *p-n*:



Cuando un cristal está hecho con átomos donadores y aceptores se crea una unión  $p-n$ . La unión formada por cristal tipo  $n$  y tipo  $p$  se muestra en la figura 5A. El cristal tipo  $n$  es "rico" en electrones y el tipo  $p$  es "deficiente" en electrones. Del mismo modo el material "rico" en agujeros es el tipo  $p$  y el tipo  $n$  es "deficiente" en agujeros. Al formarse la unión, los electrones se difunden a través de la unión como se muestra en la figura 5B. Si solamente hubiese difusión se produciría una uniformidad de electrones y agujeros en todo el material. Pero otros procesos limitan la difusión; un potencial o barrera electrostática limita la difusión.

La barrera se crea debido a que una carga negativa se mueve dentro del cristal tipo  $p$ , dejando una carga positiva en el material tipo  $n$  como se muestra en la figura 5C; donde se ha creado una zona de depleción o agotamiento por la difusión de electrones y subsecuente recombinación con agujeros. Debido a ello se ha creado un potencial de unión el cual es de signo opuesto a las designaciones de los materiales. La fuente de tensión simboliza este resultado en la figura 5D. La unión también se comporta como un capacitor. La falta de portadores de carga en la unión es equivalente a la separación de cargas en un

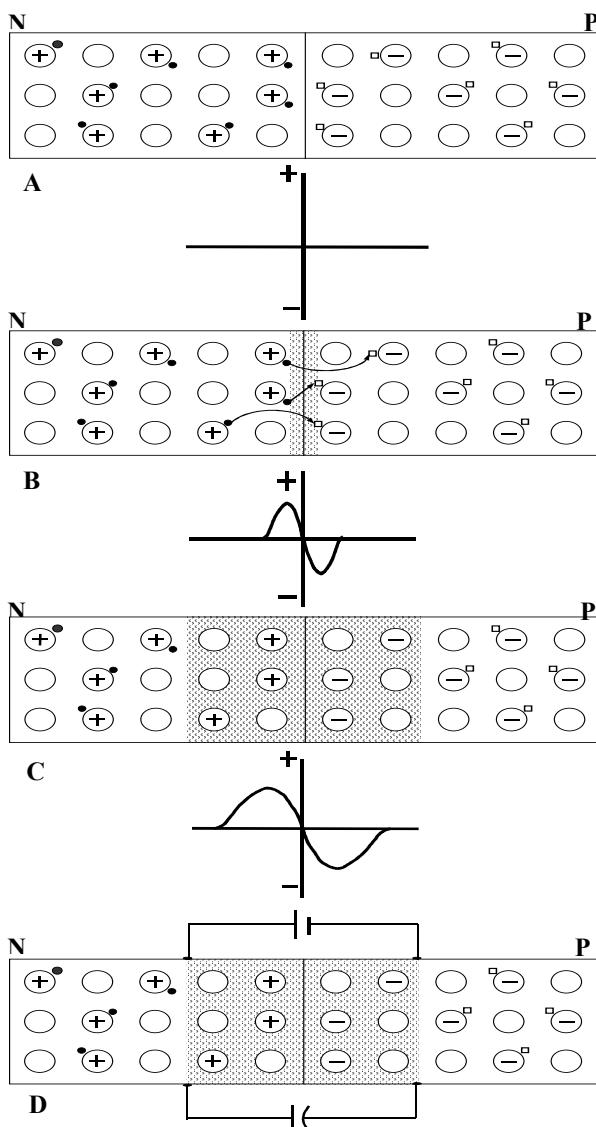


Figura 5: Proceso de formación de una juntura-

$p-n$ . La zona de depleción sirve como medio dieléctrico. La magnitud de la capacitancia de la unión es pequeña, pero puede ser un factor importante en el comportamiento en alta frecuencia. El potencial de unión depende del material. A  $25^\circ \text{C}$  el potencial de unión del silicio es de aproximadamente  $0,6 \text{ V}$  y el de germanio es de  $0,4 \text{ V}$ .

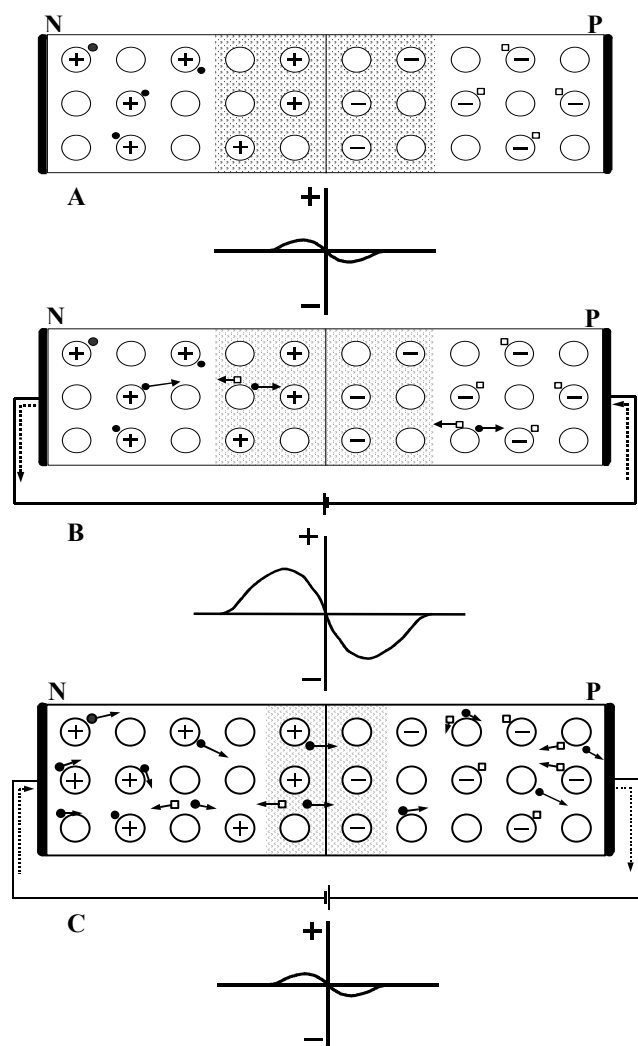


Figura 6: Comportamiento de la juntura  $p-n$  con distintas tensiones aplicadas.



Si se colocan contactos metálicos en las caras opuestas del cristal y se aplica una tensión, es claro el carácter unidireccional de la unión (figura 6A). Si se aplica una tensión de polarización que coincida con la polaridad del potencial de la unión (figura 6B) la altura de la barrera se incrementa y esencialmente no circula corriente (una corriente de unos pocos microamperes fluye debido a la conducción de los portadores minoritarios). Esto se denomina "polarización inversa". Si la polarización de la tensión aplicada es opuesta al de la unión, la barrera de potencial de la juntura se reduce y circula la corriente (figura 6C); esto se denomina "polarización directa". Este dispositivo se llama diodo. El lado *p* y la unión *p-n* se denomina ánodo.

## EL DIODO

En la Fig. 7 se muestra el símbolo de un diodo y la curva característica del mismo. La característica más importante del diodo es la de conducir corriente eléctrica en una sola dirección (la indicada por el sentido de la flecha de Fig. 7).

Los dos terminales del diodo son el ánodo y el cátodo. Cuando el ánodo es positivo con respecto al cátodo el diodo está *polarizado en sentido directo* y la corriente fluye de ánodo a cátodo tal como se muestra en la Fig. 8 a. Cuando el diodo está polarizado en directo y hay circulación de corriente siempre aparece una diferencia de potencial entre sus extremos.

Cuando el ánodo es negativo con respecto del cátodo (fig. 8 b) el diodo está *polarizado en sentido inverso* y no fluye corriente a través del diodo por lo que la tensión entre ánodo y cátodo es la de la batería.

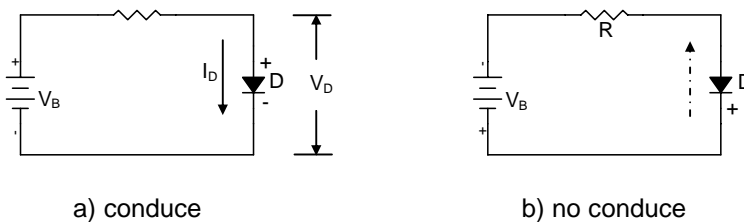


Fig. 8 : diodo polarizado: a) directo – b) inverso

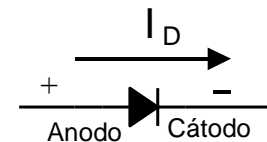


Fig. 7 a) Símbolo del diodo

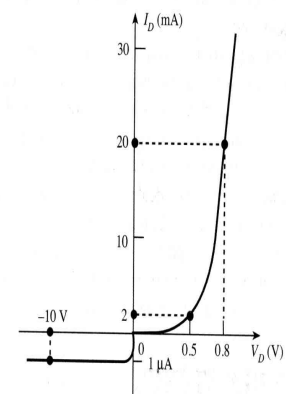


Fig. 7 b) Curva característica

## APROXIMACIONES AL DIODO

### Modelo simple.

La forma mas simple de describir el diodo es como un elemento unidireccional ( que conduce en un solo sentido) e interpretarlo como un *interruptor cerrado* cuando está polarizado en directo y como un *interruptor abierto* cuando está en inversa circunstancias ilustrada en la Fig. 9. En la Fig. 10 se muestra la curva característica de este diodo ideal, como es habitual se toma como sentido positivo de la tensión el de la polarización en directo.

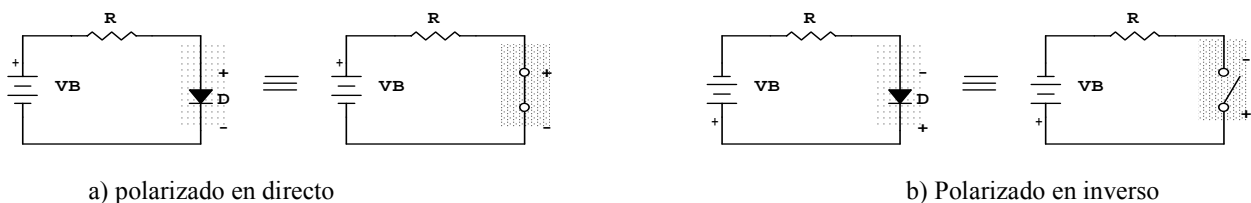


Fig. 9: Aproximación del diodo a un interruptor



En muchos casos este modelo es lo suficientemente exacto y resulta de utilidad, no obstante no tiene en cuenta entre otras cosas la caída de potencial en directa debido a la barrera de potencial y a la resistencia interna.

### Modelo con barrera de potencial.

Se mejora el modelo anterior si tenemos en cuenta que, para que el diodo conduzca una corriente apreciable la polarización en directa debe superar la barrera de potencial. Debido a ello modificamos el modelo de diodo simple en lo atinente a la polarización directa agregando una batería en serie con el interruptor cerrado como se muestra en la Fig. 11. La barrera de potencial no afecta la polarización inversa.

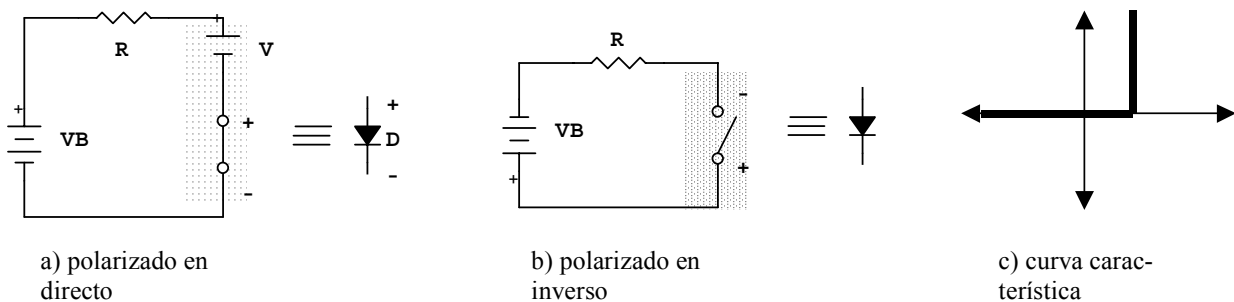


Fig. 11: Aproximación del diodo teniendo en cuenta el potencial de barrera

### Modelo del diodo.

Si tenemos en cuenta que el diodo cuando conduce también presenta una pequeña resistencia en directa y que hay una pequeña corriente cuando está en inversa debido a una alta resistencia e incluimos estas en el modelo del diodo anterior tenemos como resultado lo mostrado en la Fig. 12.

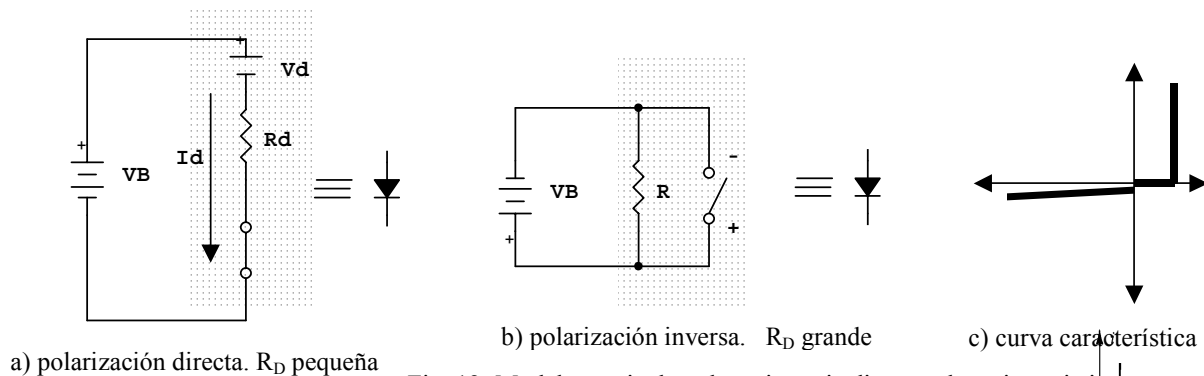


Fig. 12: Modelo que incluye la resistencia directa y la resistencia inversa.

El modelo descrito nos servirá para interpretar el funcionamiento del diodo en sus condiciones normales de funcionamiento en bajas frecuencias. Parámetros como la capacidad ánodo-cátodo y la tensión de ruptura serán tenidos en cuenta e incorporados al modelo cuando los mismos tengan influencia en una aplicación específica.

### RUPTURA INVERSA

Con polarización inversa vimos que solamente circulará una corriente inversa de saturación muy pequeña y prácticamente constante. Si se aumenta progresivamente la tensión inversa la corriente comenzará a incrementarse apreciablemente, Fig. 13, dicha tensión crítica recibe el nombre de *tensión de ruptura inversa*. Si se aumenta mas la tensión aplicada se puede destruir el diodo.

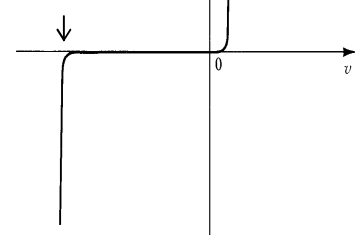


Fig. 13: Ruptura inversa del diodo



## EFEECTO DE LA TEMPERATURA

La temperatura tiene una gran influencia en los semiconductores, y por ende en los diodos semiconductores afectando tanto las características directas como las inversas.

En particular sobre el diodo de silicio se ha comprobado experimentalmente que la corriente inversa de saturación  $I_s$  se duplica cada  $10^\circ\text{C}$  de aumento de temperatura empeorando las características del diodo. Ver Fig.14.

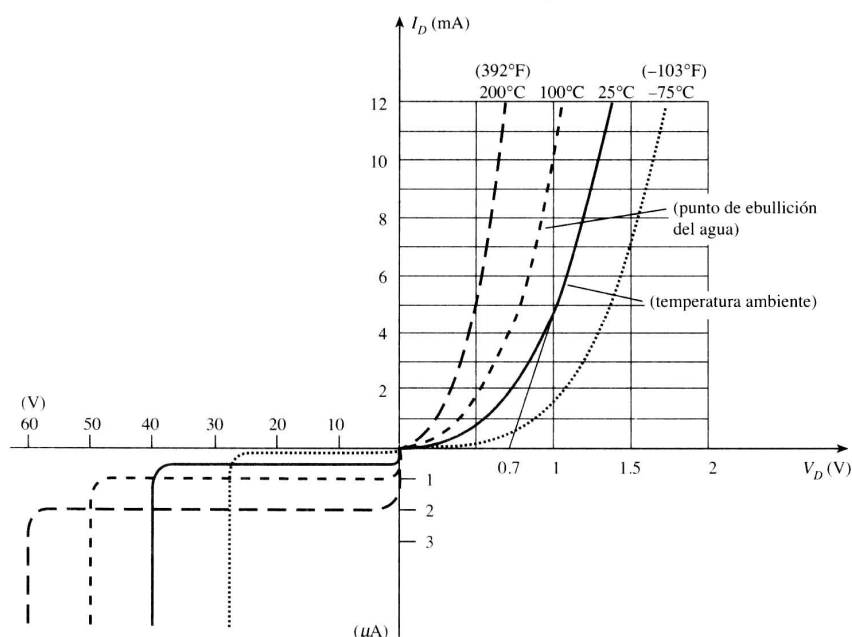


Figura 14: Modificación de las características del diodo con la temperatura.

La temperatura también afecta las características de polarización en directa, la tensión de la juntura *disminuye* aproximadamente  $2\text{mV}/^\circ\text{C}$  de aumento de temperatura. Un aumento en la temperatura mejora las características ya que la curva se acerca al eje de la corriente tendiendo al diodo ideal. Debe interpretarse esto con precaución ya que no se debe superar el rango normal de trabajo especificado para el diodo.

## RESISTENCIA

Es usual en electrónica hablar de la resistencia de un dispositivo, aún en el cual la corriente  $I$  que circula por el mismo no es proporcional a la tensión  $V$  aplicada y el cociente  $V/I$  depende de  $V$  en vez de ser constante e independiente de  $V$ .

El tipo de resistencia que presenta un diodo depende del tipo de señal aplicada y mencionaremos dos tipos de resistencia: en corriente continua o estática y en corriente alterna o dinámica.

### Resistencia en c.c o estática

La aplicación de una tensión continua a un circuito que contiene un diodo como el que se muestra en la Fig. 15 dará como resultado un *punto de operación* sobre la curva característica. La resistencia del diodo en dicho punto es



$$R_{cc} = \frac{V_D}{I_D}$$

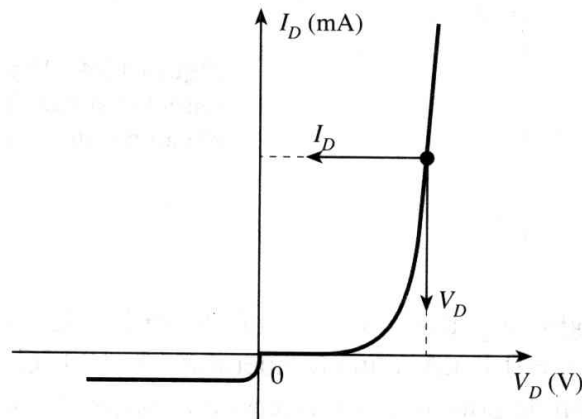


Fig. 15: Obtención de la resistencia en c.c. para un punto de operación.

### Resistencia en c.a o dinámica

También es llamada resistencia para pequeñas señales o incremental. En el circuito de la Fig.16 a) se ha colocado en serie con la batería un generador de tensión alterna senoidal, pequeña comparada con  $V_B$ , la que hará variar la tensión sobre el diodo alrededor del *punto de operación*. Al aumentar la tensión aplicada al circuito, debido a la suma de la tensión continua mas el valor de la alterna en ese instante, hace que el punto de operación **Q** se desplace hacia arriba sobre la curva característica del diodo. Cuando cambie la polaridad de la tensión alterna el punto se desplazará hacia abajo Fig. 16 b). Podemos determinar los correspondientes cambios de corriente para esa particular pequeña variación de tensión. Se llama *resistencia dinámica* a:

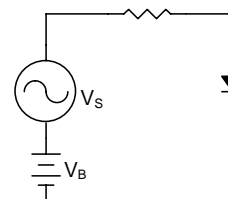
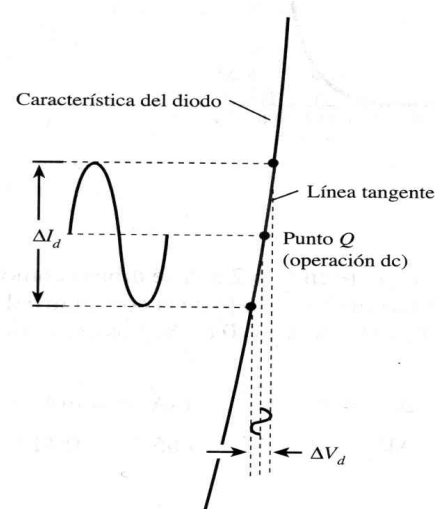


Fig. 16 a)  $V_S$  se suma a  $V_B$

$$r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d}$$

En otras palabras la *resistencia dinámica* es la razón entre pequeños cambios de la tensión aplicada y el resultante cambio de corriente en el dispositivo para un dado *punto de operación*.

Fig. 16 b) Determinación de la resistencia dinámica.



### DIODO ZENER

En la Fig. 17 se muestra el símbolo de un *diodo zener*. Es un diodo de silicio especialmente diseñado para trabajar en la región de ruptura inversa. Una de las aplicaciones mas importantes del diodo zener es como regulador de tensión en circuitos de corriente continua.





Si se supera la *tensión de ruptura inversa*, Fig. 12., la corriente inversa crece muy rápidamente y el circuito externo al zener debe limita la corriente a través del mismo para que la disipación de potencia no lo sobrecaliente y destruya el diodo.

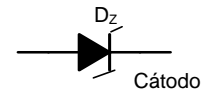


Fig. 17: Símbolo del diodo Zener

A partir de “rodilla” la tensión sobre el zener  $V_z$  permanece prácticamente constante aunque aumenta ligeramente cuando aumenta la corriente  $I_z$ . En otras palabras la resistencia dinámica ( $R_z$ ) es distinta de cero y su valor se puede determinar con la inversa de la pendiente de la curva en dicha región.

En la Fig. 19 a) se muestra el circuito equivalente de un *diodo Zener ideal* en condiciones de polarización inversa, comportándose como una batería con una tensión igual a  $V_z$ . En condiciones de polarización directa el Zener se comporta como un diodo común.

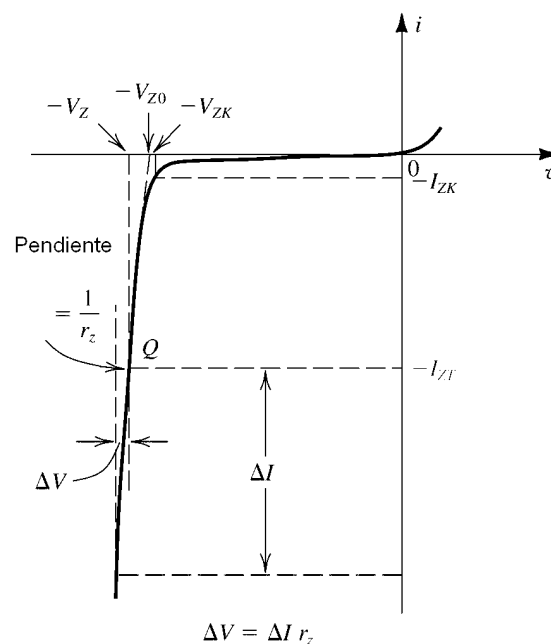


Fig. 18: Curva característica del Diodo Zener

Como el diodo Zener real presenta una resistencia dinámica  $R_z$  el circuito equivalente, para polarización inversa se muestra en la Fig. 19 b).

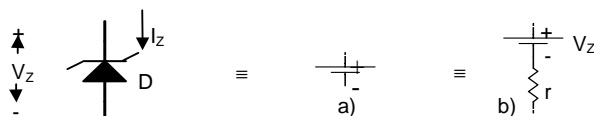


Fig. 19: Zener polarizado en inversa. Circuito equivalente.  
a) Zener ideal      b) Zener real



Se dispone de diodos Zener con distintos valores de  $V_z$  que van desde 1.8 a 200 volt. Los que están por debajo de los 5 V la corriente inversa se debe al fenómeno denominado *ruptura Zener* y la  $V_z$  tiene coeficiente de temperatura negativo. Por encima de los 6V el fenómeno que predomina en la región de Zener es la *ruptura por avalancha* que determina que el coeficiente de temperatura de  $V_z$  sea positivo.

## DIODO EMISOR DE LUZ

Como su nombre lo indica, el diodo emisor de luz (LED) es un componente que emite luz cuando se le entrega energía. El acrónimo LED proviene del ingles Light Emitting Diode.

En la Fig. 20 se muestra el símbolo del LED el que se comporta eléctricamente como un diodo común salvo que en polarización directa tiene una caída de tensión entre 1,5 y 2,5 V y la circulación de corriente produce la emisión de luz.

Corrientes típicas entre 5 a 25 mA producen un brillo adecuado, dependiendo la intensidad lumínica en forma prácticamente lineal de la corriente eléctrica.

Los tres colores mas comunes de luz visible emitidas por los LED son el rojo, verde y amarillo dependiendo de los materiales empleados en su construcción. Además de conseguirse como componentes individuales los LED se fabrican en distintos arreglos entre ellos formando los “displays” numéricos de 7 segmentos .

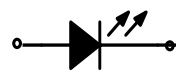


Fig. 20: Símbolo del LED



## APLICACIONES DEL DIODO

### INTRODUCCIÓN

Hasta ahora se han visto las p<sup>o</sup>incipales características y los modelos de los diodos semiconductores. Se desarrollarán a continuación algunas aplicaciones del diodo a distintas configuraciones de circuitos, analizando los mismos con las herramientas adquiridas.

### RECTIFICACIÓN

Rectificación es el proceso por el cual se transforma la corriente alterna en corriente continua, siendo esta la aplicación más simple e importante del diodo. Debido a ello al diodo también se lo conoce como *rectificador*. Existen distintas configuraciones de circuitos rectificadores que pasaremos a estudiar.

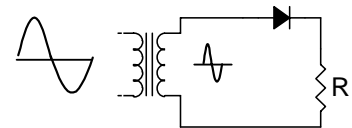


Fig. 1: Rectificador media onda

### RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA

El circuito de la Fig.1 muestra el más simple de los rectificadores: el *rectificador media onda*. La tensión de líneas de 220 V c.a. 50Hz. por medio de un transformador se adecua el valor de tensión a las necesidades. El secundario del transformador actúa como fuente de c.a. senoidal para alimentar el rectificador.

Si pensamos el diodo como un conductor unidireccional resulta fácil entender como funciona el circuito.

Durante el semiciclo positivo de la tensión aplicada, Fig.2 a) el ánodo del diodo es positivo con respecto al cátodo, está polarizado en forma directa, por lo tanto puede conducir y podemos suponer que se comporta como una llave cerrada dejando pasar todo el semiciclo.

Durante el semiciclo negativo de la tensión aplicada, Fig.2 b) la polarización del diodo es inversa, se comporta como un circuito abierto por lo que no hay circulación de corriente y la caída de potencial sobre la carga es cero.

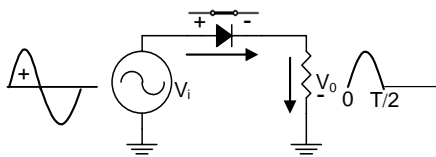


Fig. 2 a) Semiciclo positivo diodo conduce

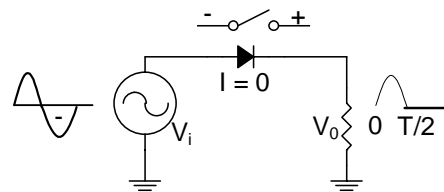


Fig. 2 b): Semiciclo negativo diodo no conduce

En la Fig. 3 se muestra la forma de onda de la tensión de entrada y salida. Ella es válida a los efectos prácticos si la amplitud de la señal de entrada es suficientemente grande con respecto la caída en el diodo (0,6 V) y podemos tomar como válido el modelo ideal de diodo. En caso contrario, cuando se trata de aplicaciones con pequeña señal, tendremos que tener en cuenta el modelo real y debemos restar a la tensión de salida la caída de tensión sobre el diodo ya que este empieza a conducir recién cuando la tensión de entrada supera los 0,6 V.

La señal de salida del rectificador es una c.c. (tiene una sola polaridad) pero dista de ser constante, por medio de un filtro podremos mejorar la forma de onda. En la Fig.3 se ilustra señal de salida rectificada y el valor de cc de la misma  $V_{cc}=0,318 V_m$  (suponiendo el diodo como elemento ideal).

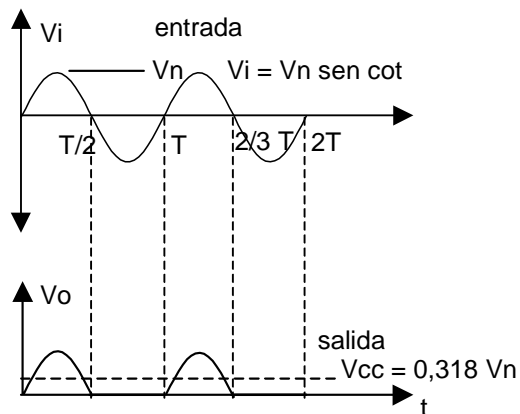


Fig. 3: Señal de entrada y rectificad media onda

### RECTIFICADORES DE ONDA COMPLETA.

En la Fig.4 presenta el circuito de un rectificador de onda completa con transformador con punto medio o derivación central.

Durante el semiciclo positivo de la tensión de entrada el ánodo del diodo D1 es positivo con respecto al cátodo y podemos suponer que se comporta como una llave cerrada dejando pasar todo el semiciclo; mientras que el diodo D2 estará polarizado en inversa y podemos suponer que se comporta como una llave abierta. En la Fig.5 a) se ilustra la situación que acabamos de describir.

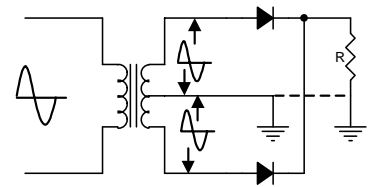


Fig. 4 Rectificador de onda completa

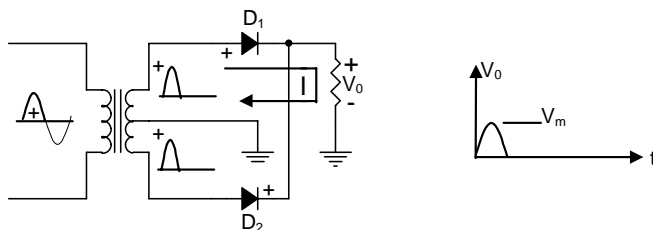


Fig. 5 a) En semiciclo positivo D conduce

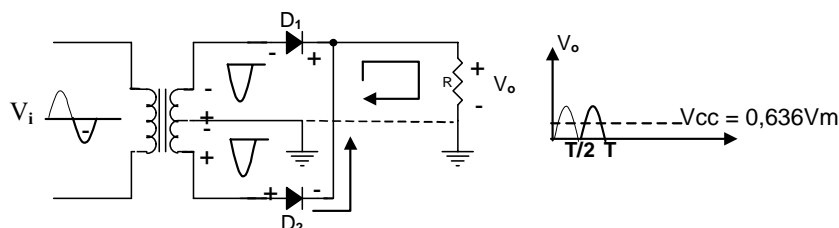


Fig. 5 b): En el semiciclo negativo D1 no conduce D2 conduce

Durante el otro semiciclo de la señal de entrada, el negativo, el diodo que conduce es D2 mientras que D1 es como una llave abierta, ello está ilustrado en la Fig.5 b).



Se debe destacar que la circulación de corriente en el resistor R en ambos semiciclos tiene el mismo sentido por lo que la caída de potencial siempre es positiva como se ilustra en la Fig.5. Debido a que el área bajo la curva en un ciclo semiciclos tiene el mismo sentido por lo que la caída de potencial siempre es positiva como se ilustra en la Fig.5. Debido a que el área bajo la curva en un ciclo completo de la tensión de entrada es el doble que la del rectificador media onda el valor de la c.c. también es el doble:  $V_{cc} = 0,636 V_m$ .

Una configuración con cuatro diodos como la mostrada en la Fig.6 se conoce como rectificador puente, el que está alimentado por un transformador.

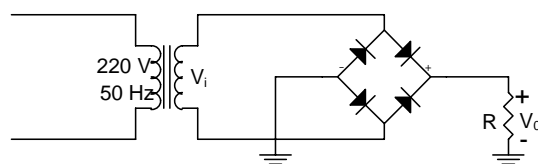


Fig. 6: Rectificador Puentes

En la Fig.7 a) podemos observar lo que ocurre durante el semiciclo positivo de la señal de entrada, conducen los diodos D2 y D4 por estar polarizados en directa, no lo hacen por estar polarizados inversamente D1 y D3.

En el siguiente semiciclo los diodos D1 y D3 conducen ya que las polarizaciones se lo permiten, no lo hacen por estar polarizados inversamente D2 y D4, la situación durante esta parte del ciclo esta representada en la Fig.7 b).

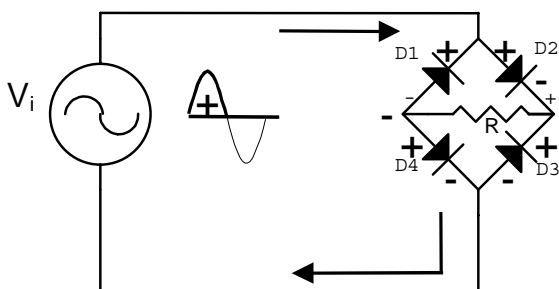


Fig. 7 a) En el semiciclo positivo conducen D2 y D4

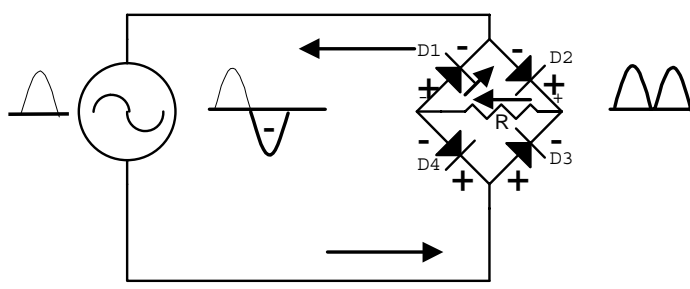


Fig. 7 b) En el semiciclo negativo conducen D3 y D1

La corriente en ambos semiciclos de la señal del generador circula en el mismo sentido a través del resistor R por lo que la salida es la misma que la ilustrada en el caso del rectificador onda completa con derivación central.

Se debe recalcar que lo anterior es válido cuando podemos aplicar el modelo ideal del diodo. Para señales de entrada al rectificador pequeñas, donde la caída del diodo es comparable a la entrada, se debe tener en cuenta tal circunstancia y con mayor razón en el caso del rectificador puente ya que la corriente circula por dos diodos en cada semiciclo y la caída a tener en cuenta es de 1,2 V.

El puente de diodos es un circuito muy usado y se fabrica como un único dispositivo de cuatro terminales en distintos rangos de tensión, corriente y potencia.

## SUJETADORES

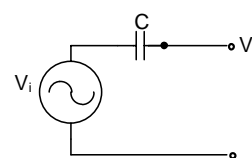
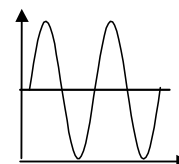
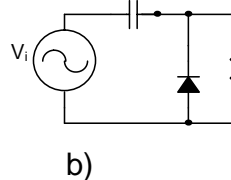
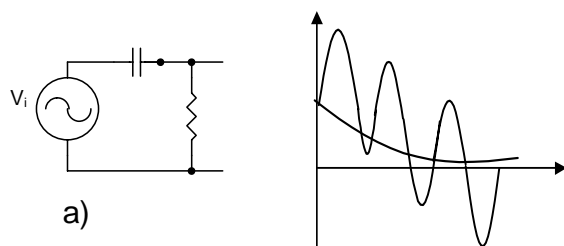


Fig. 8 El nivel de cc de



Cuando la señal de interés proviene de un capacitor con su extremo abierto como muestra la Fig.8 el valor medio de la tensión en dicho punto está determinada por la carga inicial del capacitor y por lo tanto impredecible.

Por ello es necesario conectar ese terminal a tierra o a algún otro punto de



referencia por medio de una resistencia grande; esto permitirá drenar el exceso de cargas del capacitor para luego de un tiempo tener una componente de cc a la salida igual a cero Fig.9 a).

Un método simple de establecer un nivel de tensión continua de referencia se muestra en la Fig. b) donde se usa un diodo para enclavar o "sujetar" la señal de salida.

Durante el semiciclo negativo de la señal de entrada el diodo está polarizado en directa, el capacitor se carga a un valor próximo al pico de la señal de entrada ( $V_P - 0,7$  V). Si la constante de tiempo RC es muy grande con respecto al período de la tensión, el capacitor se comporta como una batería. La tensión del capacitor se suma a la entrada y tendremos una señal de salida como muestra la Fig.9 b).

## DIODO RECORTADOR

Cuando es necesario limitar las variaciones de una señal mas allá de un cierto valor se puede usar un circuito recortador. En el circuito de la Fig.10 se muestra un circuito que cumple esta función. El diodo impide que la tensión de salida supere la tensión de batería  $V_{BB} + 0,7$  volts. Cuando la señal de entrada supera dicho valor, el diodo está en condiciones de conducir, la tensión en el punto A permanecerá prácticamente constante y la tensión por arriba de ese nivel queda recortada. Para valores de señal inferiores a  $V_{BB} + 0,7$  volts el diodo no conduce y la señal sobre la carga R sigue a la de entrada ( si  $R \gg R_s$ ) Ajustando el valor de la  $V_{BB}$  se puede obtener distintos valores de recorte. Invertiendo la posición del diodo o la polaridad de la batería se puede obtener el recorte de distintas porciones de la señal de entrada.

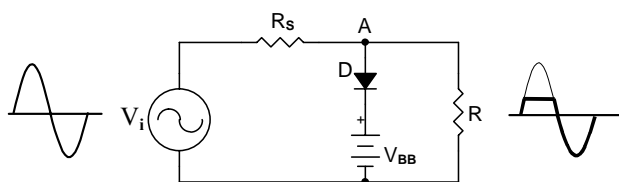


Fig. 10: Limitador de tensión positiva

Un circuito limitador muy usado es el que se muestra en la Fig.11. Este circuito limita la excursión de la salida a valores correspondientes a la caída de tensión del diodo en polarización directa y es muy usado para proteger la entrada de

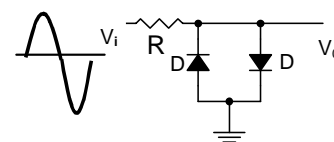


Fig. 11: Limitador con diodos



los amplificadores de eventuales grandes tensiones indeseables. Cuando la señal de entrada varía entre los límites  $\pm 0,7$  volts ninguno de los diodos conduce y no se ve afectada, si la entrada supera dichos límites el correspondiente diodo conducirá. La salida queda limitada a 0,7 volts y el resto de la tensión caerá sobre el resistor R.

## DIODO COMO SUPRESOR

De acuerdo a las propiedades del inductor:

$$V = L \, di/dt$$

teniendo ello en cuenta si se desconecta de golpe un inductor del circuito que lo alimenta ( $dt=0$ ) se genera una gran diferencia de potencial entre sus extremos. Esa gran diferencia de potencial puede producir deterioro en el circuito de comando del inductor, ya sea sobre los contactos de un interruptor o un dispositivo semiconductor. Un diodo en paralelo con el inductor es una solución simple para el caso en que el inductor esté alimentado por c.c. como se muestra en la Fig.12. Cuando el interruptor está cerrado el diodo está polarizado inversamente. Cuando se abre la llave, el diodo pasa a conducción y el potencial sobre el contacto no superará la tensión de la batería previniendo una tensión excesiva.

Esta solución se aplica a circuitos de c.c. y no es válida para c.a. donde se usan diodos zener o un circuito amortiguador RC.

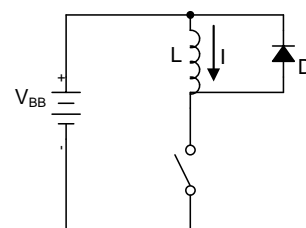


Fig. 12 Diodo supresor en carga inductiva para c.c.

## FILTRADO DE LA TENSIÓN RECTIFICADA

La forma de onda salida de un rectificador es de una tensión pulsante, es una señal continua solo en el sentido en que no cambia de polaridad. Dicha tensión es útil solo en pocas aplicaciones, no lo es para alimentar circuitos electrónicos o sustituir baterías. Es necesario "alisar" la salida para tener una verdadera tensión continua de salida, para ello usamos un filtro.

El filtro mas simple y muy usado es el mostrado en la Fig.13 consiste en un capacitor. El capacitor sirve mas como un dispositivo de almacenamiento de energía que parte de un filtro pasabajos clásico.

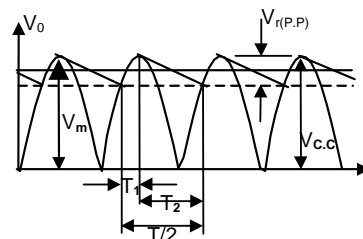
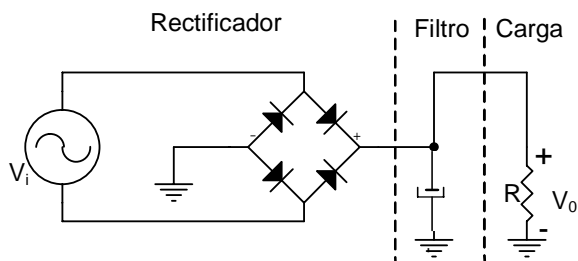


Fig. 13: Efecto del capacitor de filtro sobre un rectificador onda completa

En la misma figura se muestra la forma de onda de la tensión de salida correspondiente al rectificador de onda completa. En ella puede observarse que la salida tiene un nivel de c.c. de salida a la que se le superpone c.a. Llamamos a la c.a. tensión de rizo  $-V_{rizo(p.p.)}$  y corresponde a la carga y descarga del capacitor.

Los diodos solo conducen cuando la tensión del ánodo es mayor que la del cátodo, esto es cuando la tensión de entrada es mayor que la del capacitor.

El capacitor se carga durante el tiempo  $T_1$  debido a que la tensión de salida del puente es mayor que la del capacitor. Luego de llegar al valor máximo  $V_m$  la



salida del puente comienza a disminuir, como el capacitor se cargó a  $V_m$  el puente deja de entregar corriente. A partir de ese instante es el capacitor el que comienza a entregar corriente a la carga  $R$ , durante el tiempo  $T_2$ , a expensas de las cargas almacenadas durante  $T_1$ . Mientras mayor sea la capacidad del capacitor menor será el rizado.

El valor del capacitor se elige para tener un valor de rizado pequeño con respecto a  $V_{c.c.}$  para ello se debe cumplir

$$R_L C \gg 1/f$$

Donde  $f$  es la frecuencia de rizado, en nuestro caso 100Hz.

Si medimos la tensión de salida con un voltímetro de c.c y uno de c.a. El primero nos indicaría la magnitud solo el valor promedio o el nivel de c.c. de la salida ( $V_{c.c.}$ ). El voltímetro de c.a. (rms) indicará el valor eficaz (rms) de la tensión de rizo.

En los rectificadores sin filtro, vistos anteriormente, la forma de onda de la corriente a la corriente que circula por el diodo rectificador es la misma que la de la tensión. Cuando agregamos el capacitor de filtro el diodo deja de conducir durante todo el semiciclo correspondiente para hacerlo solo durante una fracción del mismo, en el caso ilustrado durante,  $T_1$ .

## FUENTES DE ALIMENTACIÓN

En los diagramas circuitales es frecuente encontrar baterías que actúan como fuentes de energía de c.c. Un método muy común de obtener una fuente de corriente continua consiste en adecuar la amplitud de la tensión de línea de c.a., rectificarla, filtrarla y regularla para obtener la fuente de c.c. necesaria.

En la Fig.14 se puede ver un diagrama en bloques de una fuente de alimentación. La misma se alimenta de la tensión de línea (220 V 50 Hz.), por medio de un transformador se adecua el nivel de tensión al valor deseado. El transformador también cumple el importante rol de brindar aislación galvánica entre el secundario y la tensión de línea.

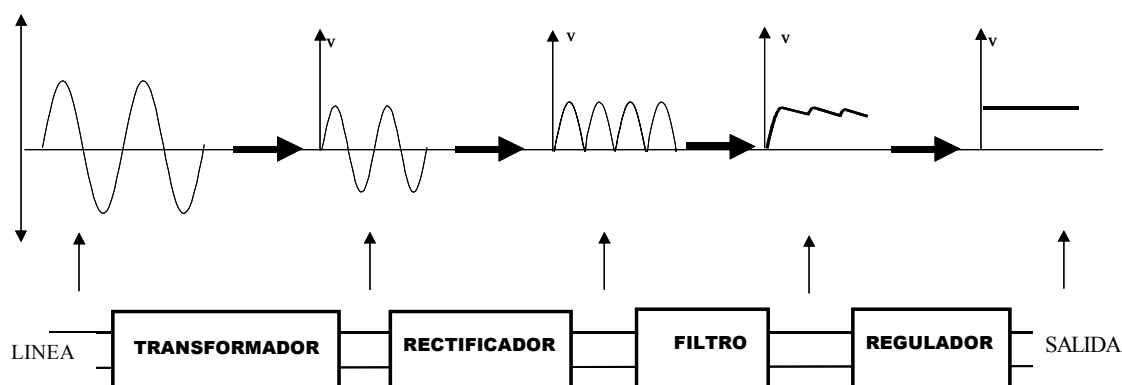


Fig. 14: Diagrama con los bloques constitutivos de una fuente de alimentación

Luego un rectificador y un filtro proveen de una tensión de c.c. con un cierto rizado. Si se conectara la carga a la salida del filtro, toda variación de la tensión de línea o de la carga producirían variaciones de la tensión de salida; con el objeto de mantener esta en un valor constante, sin rizado e independiente de las antedichas fluctuaciones se intercala un regulador entre el filtro y la carga. Hoy en día como regulador se usa muy frecuentemente un circuito integrado de tres terminales de bajo precio. El mismo es un dispositivo de estado sólido especialmente diseñado para brindar además de una tensión constante de salida una buena estabilidad térmica, limitador de corriente que protege por eventuales cortocircuito en la salida y protección por sobre calentamiento.





En la Fig.15 se muestra una fuente de alimentación que usa uno de tales reguladores. Hay reguladores de tres terminales en una amplia gama de tensiones fijas no solo para tensiones positivas sino también para negativas y también reguladores con tensión de salida ajustable por medio de un simple potenciómetro.

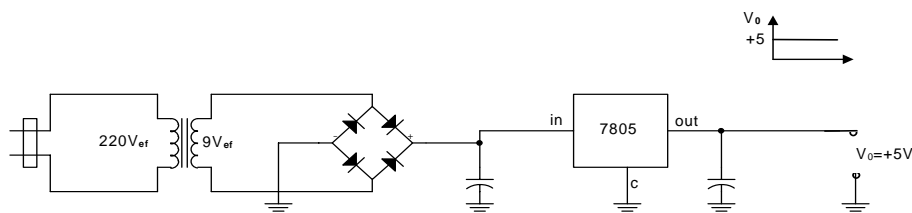


Fig. 15: Fuente de alimentación regulada de +5V

### FUENTE DE ALIMENTACIÓN PARTIDA

Frecuentemente nos encontramos con circuitos que requieren fuentes de alimentación con tensión tanto positiva como negativa simultáneamente. Podemos obtener una fuente de tensión negativa por medio de un rectificador media onda u onda completa como los anteriormente descritos invirtiendo la dirección de conducción invirtiendo los diodos y del capacitor de filtro (si es polarizado). En la Fig. 16 se muestra una de tales fuentes de alimentación llamada *fente partida*.

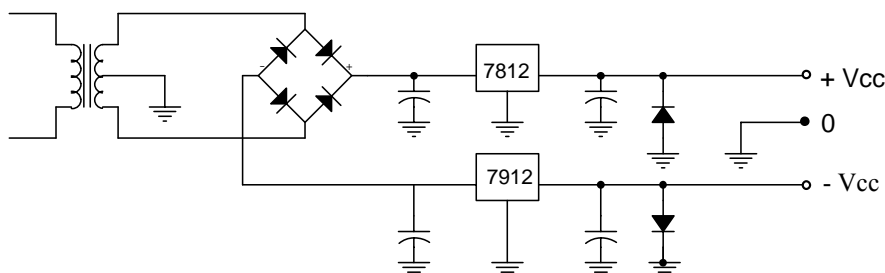


Fig. 16: Fuente de alimentación partida

### MULTIPLICADORES DE TENSIÓN

Un multiplicador de tensión se muestra en la Fig.17. Se trata de un doblador de tensión. Podemos verlo como dos circuitos rectificadores media onda conectados en serie. Durante el semiciclo positivo uno de los diodos conduce y carga el capacitor, durante el semiciclo negativo el otro diodo es el que conduce cargando el otro capacitor.

La tensión total es igual al doble de la tensión pico de entrada. En este tipo de circuito para que sea válido lo anterior la carga no debe drenar mucha corriente de los capacitores.

Basados en la idea del doblador de tensión es posible hacerla extensiva para obtener triplicadores o cuadruplicadores de tensión.

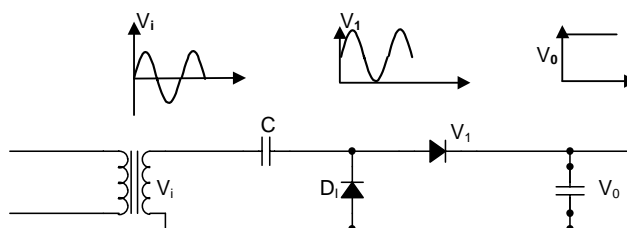


Fig. 17: Dobrador de tensión