

**SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE**

**SENA**

**CENTRO METALMECANICO**



**CURSO VIRTUAL**

**ELECTRONICA BASICA**

**MATERIAL DE APOYO**

**EL DIODO**

## EL DIODO

### Introducción

En este tema estudiaremos el comportamiento del diodo con polarización directa y con polarización inversa, su curva característica de voltaje versus corriente, lo mismo que el significado físico de la tensión de umbral.

### Objetivo:

Al terminar el tema el estudiante estará capacitado para :

- Reconocer que es una unión PN
- Comprender el funcionamiento del diodo en polarización directa
- Identificar que es polarización directa e inversa
- Medir el estado de un diodo

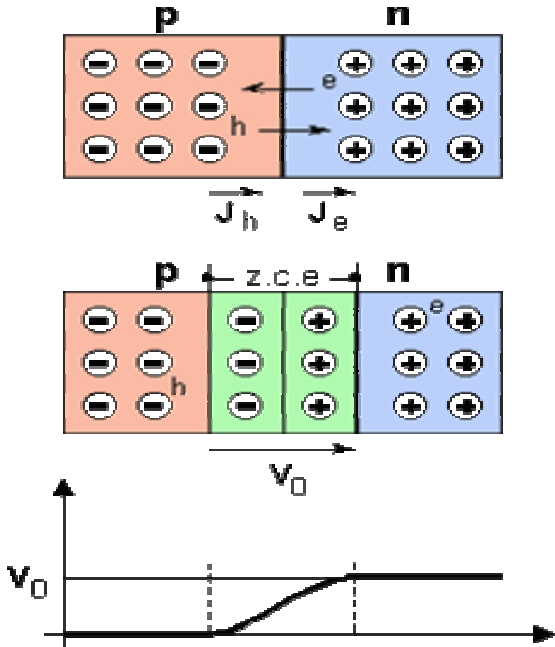
Un **diodo** es un dispositivo que permite el paso de la corriente eléctrica en una única dirección. De forma simplificada, la curva característica de un diodo (I-V) consta de dos regiones, por debajo de cierta diferencia de potencial, se comporta como un circuito abierto (no conduce), y por encima de ella como un circuito cerrado con muy pequeña resistencia eléctrica.

Debido a este comportamiento, se les suele denominar **rectificadores**, ya que son dispositivos capaces de convertir una corriente alterna en corriente continua.

### DIODO PN.

Los diodos PN son uniones de dos materiales semiconductores extrínsecos tipos p y n, por lo que también reciben la denominación de **unión PN**.

Al unir ambos cristales, se manifiestan dos procesos:



Formación de la zona de carga espacial

La Difusión de huecos del cristal p al n ( $J_h$ ), y

Una corriente de electrones del cristal n al p ( $J_e$ ).

Al establecerse estas corrientes aparecen cargas fijas en una zona a ambos lados de la unión, zona que recibe diferentes denominaciones como **zona de carga espacial, de agotamiento, de deflexión, de vaciado**, etc.

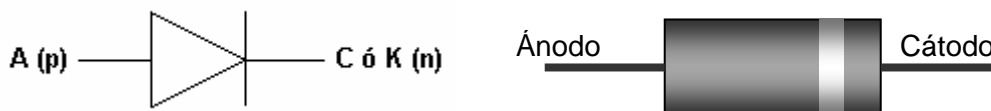
A medida que progresa el proceso de difusión, la zona de carga espacial va incrementando su anchura profundizando en los cristales a ambos lados de la unión. Sin embargo, la acumulación de cargas induce una diferencia de tensión (V) que actuará sobre los electrones con una determinada **fuerza de desplazamiento** que se opondrá a la difusión de huecos y a la corriente de electrones y terminará deteniéndolos.

Esta diferencia de tensión de equilibrio ( $V_0$ ) es de 0,7 V en el caso del silicio y 0,3 V si los cristales son de germanio.

La anchura de la zona de carga de espacial una vez alcanzado el equilibrio, suele ser del orden de 0,5 micras pero cuando uno de los cristales está mucho más dopado que el otro, la zona de carga espacial es mucho mayor.

Al dispositivo así obtenido se le denomina diodo, que en un caso como el descrito, tal que no se encuentra sometido a una diferencia de potencial externa, se dice que no está polarizado. Al extremo p, donde se acumulan cargas negativas se le denomina ánodo, representándose por la letra A, mientras que la zona n, el cátodo, se representa por la letra C (o K).

Representación simbólica del diodo PN

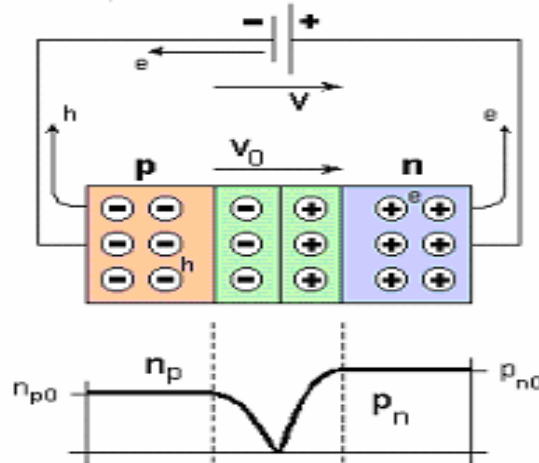


Cuando se somete al diodo a una diferencia de tensión externa, se dice que el diodo está polarizado, pudiendo ser la polarización

**inversa:**  $V_p > V_n$ , o

**directa:**  $V_p < V_n$ .

### POLARIZACIÓN INVERSA DEL DIODO PN.

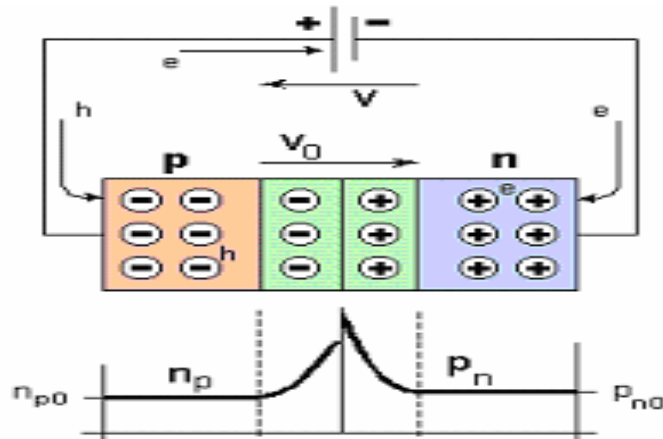


En este caso, el polo negativo de la batería se conecta a la zona p (la de menor tensión) lo que hace aumentar la zona de carga espacial, y por tanto la tensión en dicha zona hasta que se alcanza el valor de la tensión de la batería.

En esta situación, el diodo no debería conducir la corriente; sin embargo, debido al efecto de la temperatura se formarán pares electrón-hueco (ver semiconductor) a ambos lados de la unión produciendo una pequeña corriente (del orden de  $1 \mu\text{A}$ ) denominada **corriente inversa de saturación**.

Por efecto de la polarización inversa, las concentraciones de minoritarios - electrones en la zona p ( $n_p$ ), y huecos en la zona n (PN) - disminuyen a medida que nos aproximamos a la unión desde los valores iniciales del diodo no polarizado hasta anularse.

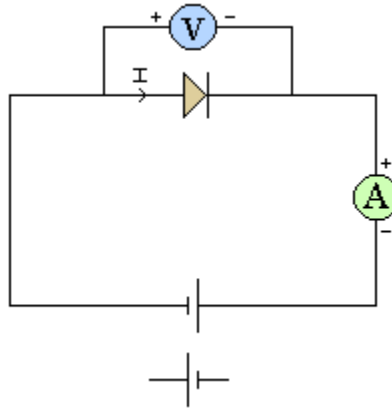
### POLARIZACIÓN DIRECTA DEL DIODO PN.



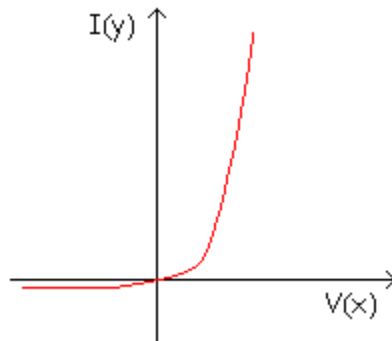
En este caso, al contrario que en el anterior, la batería disminuye la barrera de potencial de la zona de carga espacial, permitiendo el paso de las corrientes de electrones y huecos a través de la unión; es decir, el diodo polarizado directamente conduce la electricidad. Las concentraciones de conductores minoritarios, se incrementan desde los valores iniciales a medida que nos acercamos a la unión. En la representación simbólica del diodo, la flecha indica el sentido de la polarización directa.

### LA CURVA CARACTERÍSTICA DEL DIODO

Analizamos de la misma forma el diodo:



Se le van dando distintos valores a la pila y se miden las tensiones y corrientes por el diodo, tanto en directa como en inversa (variando la polarización de la pila). Y así obtenemos una tabla que al ponerla de forma gráfica sale algo así:



Esta es la curva característica del diodo (un diodo se comporta de esa forma). Como no es una línea recta, al diodo se le llama "Elemento No Lineal" ó "Dispositivo No Lineal", y este es el gran problema de los diodos, que es muy difícil trabajar en las mallas con ellos debido a que sus ecuaciones son bastante complicadas.

La ecuación matemática de esta curva es:

$$I = I_S \cdot (e^{\frac{v}{\eta \cdot V_T}} - 1)$$

$\eta$  = Constante que vale entre 1 y 2

$I_S$  = Corriente inversa de saturación

$V_T$  = Potencial equivalente de temperatura

$V_T = K \cdot T$

$K$  = Constante de Boltzman =  $8.62 \cdot 10^{-5} \frac{eV}{^\circ K}$

$T$  = Temperatura en grados Kelvin ( $^\circ K$ )

En directa, a partir de 0.7 V la corriente aumenta mucho, conduce mucho el diodo y las corrientes son muy grandes. Debido a estas corrientes grandes el diodo podría romperse, por eso hay que tener cuidado con eso (como máximo se tomará 0.8 V ó 0.9 V). En inversa tenemos corrientes negativas y pequeñas.

A partir de -1 V se puede despreciar la  $e$  y queda aproximadamente  $I = -I_S$ , que es muy pequeña aunque no se ha tenido en cuenta la corriente de fugas, con ella sería:  $I = -(I_S + I_f)$

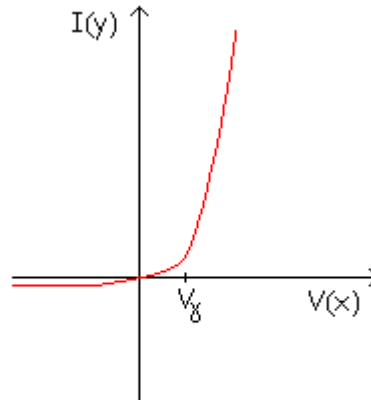
A partir de -1 V si no hubiera  $I_f$  tendríamos una corriente pequeña y horizontal pero como hay fugas que son proporcionales a la tensión inversa, bajando poco a poco.

### TENSIÓN UMBRAL

En la zona directa tenemos dos características importantes:

Hay que vencer la barrera de potencial (superar la tensión umbral  $V_d$ ) para que conduzca bien en polarización directa (zona directa). Aparece una resistencia interna (el diodo se comporta aproximadamente como una resistencia).

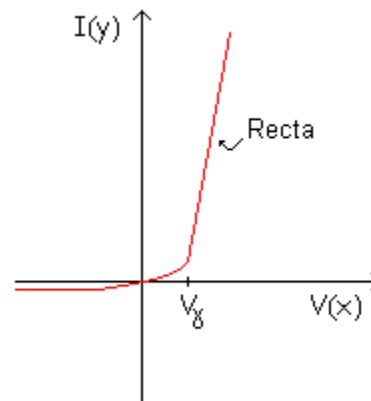
Como ya se ha dicho antes es el valor de la tensión a partir del cual el diodo conduce mucho. A partir de la Tensión Umbral ó Barrera de Potencial la intensidad aumenta mucho variando muy poco el valor de la tensión.



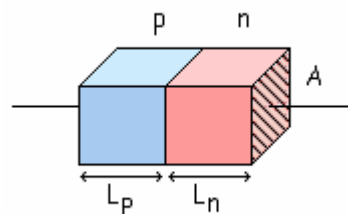
$V_g$  = Tensión Umbral

### RESISTENCIA INTERNA

A partir de la tensión umbral se puede aproximar, esto es, se puede decir que se comporta como una resistencia.



La zona n tiene una resistencia y la zona p otra resistencia diferente:

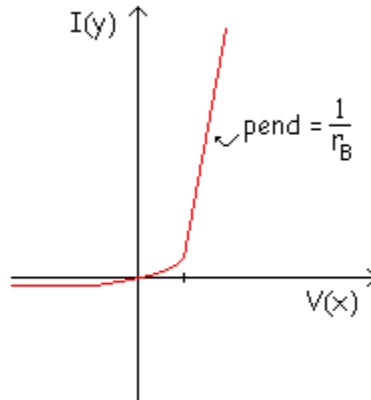


**EJEMPLO: 1N4001**  $r_p = 0.13$   $r_n = 0.1$

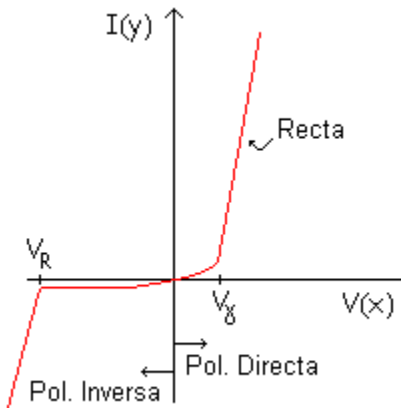
La resistencia interna es la suma de la resistencia en la zona n y la resistencia en la zona p.

$$r_B = r_p + r_n = 0,23 \Omega$$

Y la pendiente de esa recta será el inverso de esta resistencia interna.

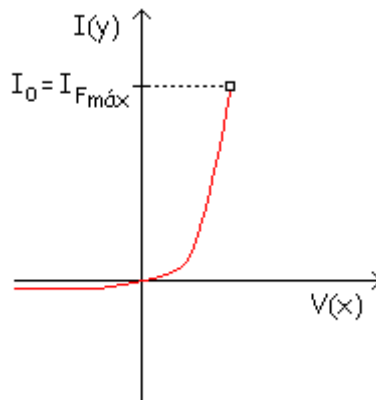


Como la resistencia interna es pequeña, la pendiente es muy grande, con lo que es casi una vertical, esto es, conduce mucho. Resumiendo hemos visto que tenemos:



### Máxima Corriente Continua En Polarización Directa

Es el mayor valor de corriente permitido en la característica del diodo:

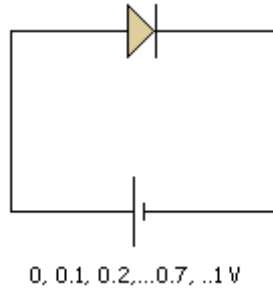


**EJEMPLO: 1N4001**  $I_{Fmáx} = 1 \text{ A}$  (F = forward (directa))

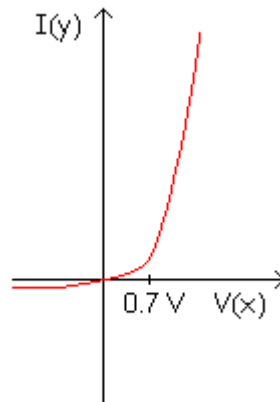
### Resistencia Para Limitación De Corriente

En circuitos como el de la figura, hay que poner una resistencia porque sino el diodo se estropearía fácilmente.

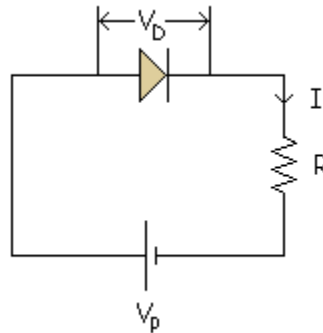




Esto se ve dándole valores a la pila, y viendo las intensidades que salen, que a partir de 0.7 V (suponiendo que el diodo es de silicio) aumentan mucho como se ve claramente en la gráfica de la característica del diodo.



Entonces se pone una resistencia para limitar esa corriente que pasa por el diodo, como se ve en la figura:



Se calcula la resistencia para limitar la corriente, para que no aumente a partir de 1 A por ejemplo.

$$I = \frac{V_p - V_d}{R}$$

### Disipación Máxima De Potencia

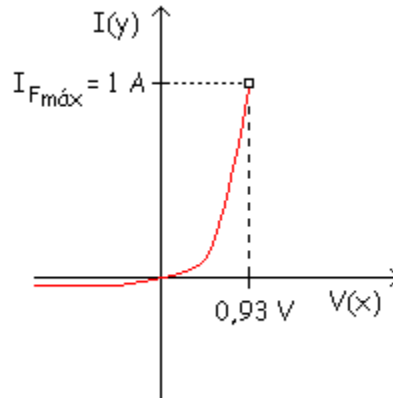
La máxima corriente y la máxima potencia están relacionados. Como ocurre con una resistencia, un diodo tiene una limitación de potencia que indica cuanta potencia puede disipar el diodo sin peligro de acortar su vida ni degradar sus

propiedades. Con corriente continua, el producto de la tensión en el diodo y la corriente en el diodo es igual a la potencia disipada por éste.

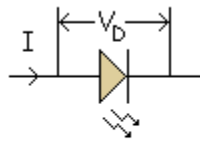
Normalmente en diodos rectificadores no se suele emplear la limitación máxima de potencia, ya que toda la información acerca de la destrucción del diodo (por calor) ya esta contenida en el límite máximo de corriente.

### EJEMPLO: 1N4001

En la hoja de características indica una corriente máxima con polarización directa  $I_o$  de 1 A. Siempre que la corriente máxima con polarización directa sea menor que 1 A, el diodo no se quemará.

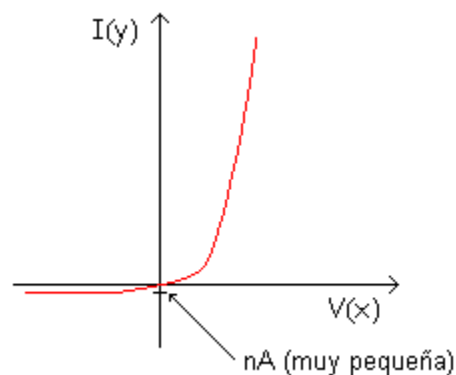


La potencia que se disipa en el diodo en forma de calor.

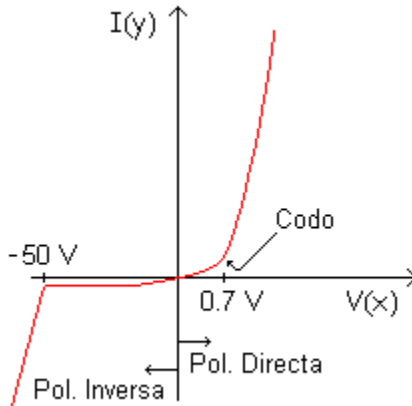


$$P_{\text{máx}} = V_D \cdot I = 0,93 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} = 0,93 \text{ W}$$

Como ya se ha dicho no se debe pasar de ese valor de potencia.



Si sigo aumentando la tensión inversa puede ocurrir la ruptura a la tensión de ruptura, en este ejemplo a  $V_R = -50 \text{ V}$  aparece la avalancha y ya la ecuación no vale, es otra distinta:



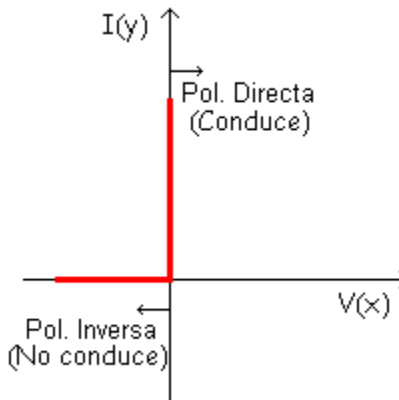
Y aquí el diodo se destruye a no ser que sea uno preparado (un diodo zener). Al punto en el que se vence la barrera de potencial se le llama codo. La "Barrera de Potencial" ó "Tensión Umbral" es el comienzo del codo, a partir de ahí conduce mucho el diodo en directa.

Modelos equivalentes lineales aproximados del diodo

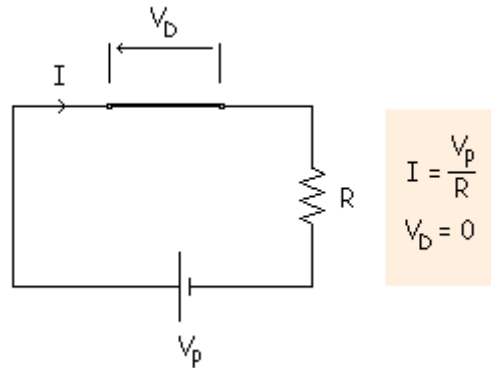
Existen tres aproximaciones muy usadas para los diodos de silicio, y cada una de ellas es útil en ciertas condiciones.

### 1ª Aproximación (el diodo ideal)

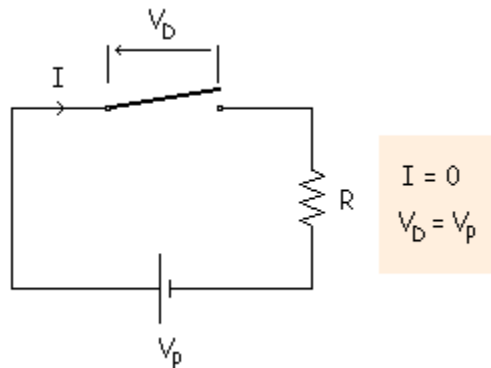
La exponencial se aproxima a una vertical y una horizontal que pasan por el origen de coordenadas. Este diodo ideal no existe en la realidad, no se puede fabricar por eso es ideal.



**Polarización Directa:** Es como sustituir un diodo por un interruptor cerrado.

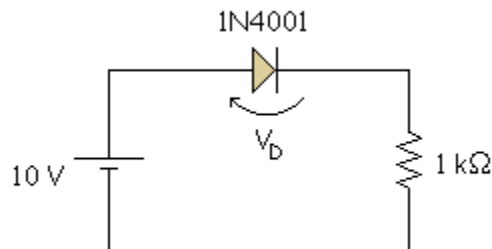


**Polarización Inversa:** Es como sustituir el diodo por un interruptor abierto.

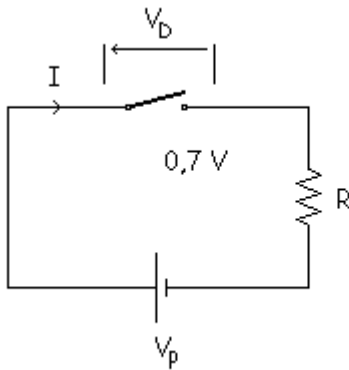


Como se ha visto, el diodo actúa como un interruptor abriéndose o cerrándose dependiendo si esta en inversa o en directa. Para ver los diferentes errores que cometeremos con las distintas aproximaciones vamos a ir analizando cada aproximación.

**EJEMPLO:**

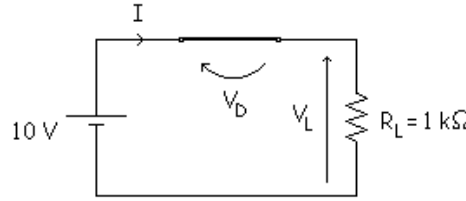


En polarización directa:



$$I = 0$$

$$V_D = V_p$$



$$I = \frac{10}{1} = 10 \text{ mA}$$

$$V_L = \text{Tensión en la carga}$$

$$V_L = 10 \text{ V}$$

$P_L = \text{Potencia en la carga}$        $P_D = \text{Potencia disipada en el diodo}$

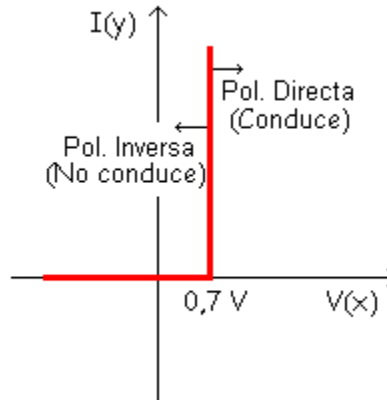
$$P_L = V_L \cdot I = 10 \text{ V} \cdot 10 \text{ mA} = 100 \text{ mW}$$

$$P_D = V_D \cdot I = 0 \cdot 10 \text{ mA} = 0 \text{ W}$$

$$P_T = \text{Potencia disipada total} = P_D + P_L = 0 + 100 \text{ mW} = 100 \text{ mW}$$

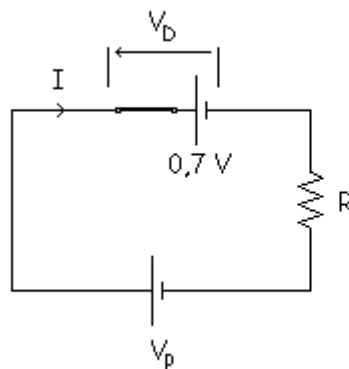
### 2ª Aproximación

La exponencial se aproxima a una vertical y a una horizontal que pasan por 0,7 V (este valor es el valor de la tensión umbral para el silicio, porque suponemos que el diodo es de silicio, si fuera de germanio se tomaría el valor de 0,2 V).



El tramo que hay desde 0 V y 0,7 V es en realidad polarización directa, pero como a efectos prácticos no conduce, se toma como inversa. Con esta segunda aproximación el error es menor que en la aproximación anterior.

**Polarización directa:** La vertical es equivalente a una pila de 0,7 V.

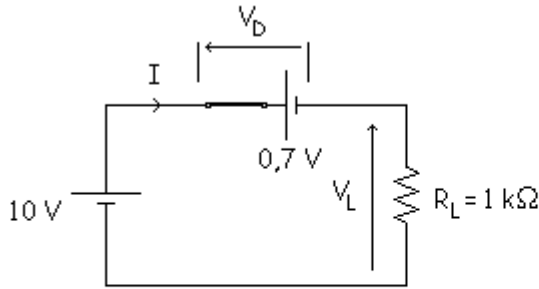


$$I = \frac{V_p - 0,7 \text{ V}}{R}$$

$$V_D = 0$$

**Polarización Inversa:** Es un interruptor abierto.

**EJEMPLO:** Resolveremos el mismo circuito de antes pero utilizando la segunda aproximación que se ha visto ahora. Como en el caso anterior lo analizamos en polarización directa:



$$\text{malla: } -10 + 0,7 + 1I = 0$$

$$I = \frac{10 - 0,7}{1} = 9,3 \text{ mA}$$

$$V_L = 10 - 0,7 = 9,3 \text{ V}$$

$$P_L = V_L \cdot I = 9,3 \cdot 9,3 = 86,5 \text{ mW}$$

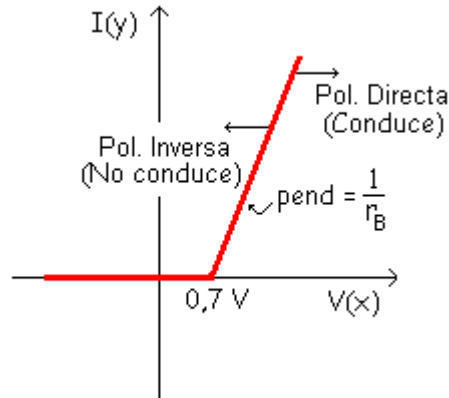
$$P_D + P_L = 6,51 + 86,5 = 93 \text{ mW}$$

$$P_D = V_D \cdot I = 0,7 \cdot 9,3 = 6,51 \text{ mW}$$

Como se ve estos valores son distintos a los de la anterior aproximación, esta segunda aproximación es menos ideal que la anterior, por lo tanto es más exacta, esto es, se parece más al valor que tendría en la práctica ese circuito.

### 3ª Aproximación

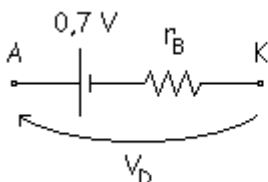
La curva del diodo se aproxima a una recta que pasa por 0,7 V y tiene una pendiente cuyo valor es la inversa de la resistencia interna.



El estudio es muy parecido a los casos anteriores, la diferencia es cuando se analiza la polarización directa:

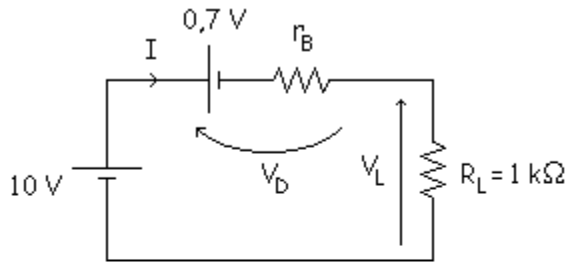
$$V_D = 0,7 + I \cdot r_B$$

$$I = \frac{1}{r_B} \cdot V_D - \frac{0,7}{r_B}$$



- A = Anodo
- K = Cátodo
- $r_B$  = Resistencia interna

**EJEMPLO:** En el ejemplo anterior usando la 3ª aproximación, tomamos 0,23 como valor de la resistencia interna.



$$r_B = 0,23 \Omega$$

$$\text{malla: } -10 + 0,7 + (1 + 0,23 \cdot 10^{-3}) \cdot I = 0$$

$$I = \frac{10 - 0,7}{1 + 0,23 \cdot 10^{-3}} = 9,3 \text{ mA}$$

$$V_D = 0,7 + 0,23 \cdot 10^{-3} \cdot 9,3 = 0,702 \text{ V} \quad P_D = V_D \cdot I = 0,702 \cdot 9,3 = 6,5286 \text{ mW}$$

$$V_L = 10 - 0,702 = 9,298 \text{ V} \quad P_L = V_L \cdot I = 9,298 \cdot 9,3 = 86,4714 \text{ mW}$$

$$P_T = P_D + P_L = 6,5286 + 86,4714 = 93 \text{ mW}$$

Esta tercera aproximación no merece la pena usarla porque el error que se comete, con respecto a la segunda aproximación, es mínimo. Por ello se usará la segunda aproximación en lugar de la tercera excepto en algún caso especial.

### Como Elegir Una Aproximación

Para elegir que aproximación se va a usar se tiene que tener en cuenta, por ejemplo, si son aceptables los errores grandes, ya que si la respuesta es afirmativa se podría usar la primera aproximación. Por el contrario, si el circuito contiene resistencias de precisión de una tolerancia de 1 por 100, puede ser necesario utilizar la tercera aproximación. Pero en la mayoría de los casos la segunda aproximación será la mejor opción.

La ecuación que utilizaremos para saber que aproximación se debe utilizar es esta:

$$I_F = \frac{V_S - 0,7}{R_L + r_B}$$

Fijándonos en el numerador se ve que se compara la  $V_S$  con 0.7 V. Si  $V_S$  es igual a 7 V, al ignorar la barrera de potencial se produce un error en los cálculos del 10 %, si  $V_S$  es 14 V un error del 5 %, etc...

$V_S$	Diodo ideal
3,5 V	20 %
7 V	10 %
14 V	5 %
28 V	2,5 %
70 V	1 %

Si se ve el denominador, si la resistencia de carga es 10 veces la resistencia interna, al ignorar la resistencia interna se produce un error del 10 % en los cálculos. Cuando la resistencia de carga es 20 veces mayor el error baja al 5 %, etc...

$\frac{R_L}{r_B}$	Primera o segunda aproximación
5	20 %
10	10 %
20	5 %
40	2,5 %
100	1 %

En la mayoría de los diodos rectificadores la resistencia interna es menor que  $1 \Omega$ , lo que significa que la segunda aproximación produce un error menor que el 5 % con resistencias de carga mayores de  $20 \Omega$ . Por eso la segunda aproximación es una buena opción si hay dudas sobre la aproximación a utilizar. Ahora veremos una simulación para un ejemplo concreto de uso de estas aproximaciones.



### Hoja De Característica De Diodos Del Manual De Reemplazo ECG

#### DIODOS & RECTIFICADORES DE PROPOSITO GENERAL

ECG TYPE	MATERIAL	DESCRIPCIÓN Y APLICACIONES	ENCAPSULADO	Maximo Voltaje de pico inverso (Voltios)	Maxima Corriente en Directo Average(promed) (Amp)	Maximo pico de corriente instantaneo en sentido directo (Amp)	Maxima caída de Voltaje en sentido directo (Voltios)	Tiempo de Recuperación Inversa nanosegundos(ns)
				PRV	IF	IFSM	VF	trr
109	GE(germanio)	De Proposito General SW	D07	100	0.06	0.5	1 @ 200ma	
110A	GE(germanio)	De Proposito General (PG)	D07	30	0.15		1 @ 5ma	
110MP	GE(germanio)	PG .AFC, unidos de a Par	D07	75	0.05	0.5	1 @ 9ma	
112	SI (Silicio)	Diodo Schottky pequeña señal	D035	5	0.03	0.06	0.55 @10ma	
116	SI (Silicio)	Rectificador PG	D041	600	1	30	1.2 @ 0.5A	
117	SI (Silicio)	Rectificador Metalico PG	D026	600	1		1.1 @ 1ATyp	
120	SE(selenio)	Rectificador T.V. PG		18	0.065			
173BP	SI (Silicio)	Diodo Damper para TV (par)		500	0.6	8	4.4 @ 0,5A	4us
174	SE(selenio)	Diodo Damper para TV	T056	270	6	25	0.6 @ 5A	
177	SI (Silicio)	Diodo detector suicheo rapido	D035	200	0.25	1	1 @ 0.1	50
507	SI (Silicio)	Diodo de suicheo rapido	D041	50	1	30	1.1 @ 1A	200
552	SI (Silicio)	Rectificador de suicheo rapido PG	D041	600	1	30	1.1 @ 1A	200
558	SI (Silicio)	Rectificador de alto voltaje SW	D041	1500	1	50	1.3 @ 1A	250
580	SI (Silicio)	Rectificador de suicheo rapido PG		600	3	100	1.3 @ 3A	150
590	SI (Silicio)	Suicheo doble de anodo común		75	0.3	6 @ 1 us	1.2 @ 0.1	3
593	SI (Silicio)	suicheo de alta velocidad	SOT-23	75	0.25	2 @ 1 us	1 @ 0.05	6

## Como probar un diodo.

Poder determinar si un diodo está en buen estado o no es muy importante en la vida de un técnico en electrónica, pues esto le permitirá poner a funcionar correctamente un artículo electrónico. Pero no sólo son los técnicos los que necesitan saberlo. En el caso del aficionado que está implementando un circuito o revisando un proyecto, es indispensable saber en que estado se encuentran los componentes que utiliza.

Hoy en día existen multímetros (VOM) digitales que permiten probar con mucha facilidad un diodo, pues ya vienen con esta alternativa listos de fábrica.

El caso que se presenta aquí es el método típico de medición de un diodo con un tester analógico (el que tiene una aguja)

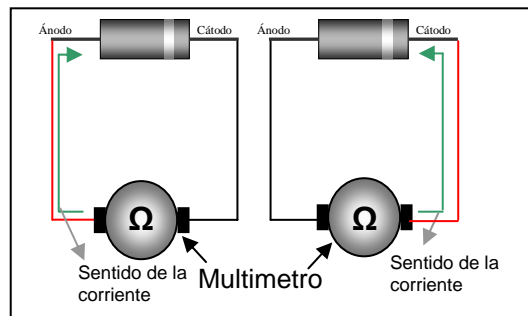
## Medición de los diodos con Multímetro Analógico

Para empezar, se coloca el selector para medir resistencias (ohmios / ohms), sin importar de momento la escala.

Se realizan las dos pruebas siguientes:

Se coloca el cable de color rojo en el ánodo de diodo (el lado de diodo que no tiene la franja) y el cable de color negro en el cátodo (este lado tiene la franja), el propósito es que el Multímetro inyecte una corriente en el diodo (esto es lo que hace cuando mide resistencias). Si la resistencia que se lee es baja indica que el diodo, cuando está polarizado en directo funciona bien y circula corriente a través de él (como debe de ser). Si esta resistencia es muy alta, puede ser síntoma de que el diodo está "abierto" y deba de reemplazarlo.

Se coloca el cable de color rojo en el cátodo y el cable negro en el ánodo. En este caso como en anterior el propósito es hacer circular corriente a través del diodo, pero ahora en sentido opuesto a la flecha de este. Si la resistencia leída es muy alta, esto nos indica que el diodo se comporta como se esperaba, pues un diodo polarizado en inverso casi no conduce corriente. Si esta resistencia es muy baja podría significar que el diodo esta en "corto" y deba de reemplazarlo.



**Nota:** El cable rojo debe ir conectado al Terminal del mismo color en el multímetro  
El cable negro debe ir conectado al Terminal del mismo color en el Multímetro (el común/ common)

### Medición de los diodos con Multímetro digital



FIG. 1

El Tester Digital está seleccionado para realizar mediciones de semiconductores (símbolo del diodo). Al colocar las Puntas de Prueba, Positivo en el Ánodo del Diodo y Negativo en el otro extremo. (Cátodo) éste nos da un valor que es de 0.546, lo cual indica que el diodo está con polarización directa, y por lo tanto está en buenas condiciones.

Nota: El rango normal de medidas para los diodos de silicio es (entre 0.400 y 0.600) y para los diodos de germanio (entre 0.150 y 0.300)

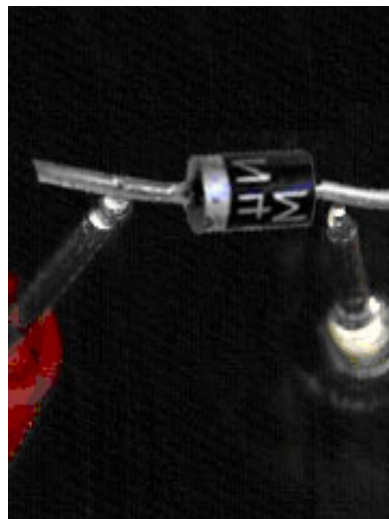


FIG. 2

Vemos que al colocar la punta de Prueba Negativa en el Pin del Ánodo y colocamos la punta de Prueba Positiva en el Pin del cátodo, el instrumento nos muestra un valor infinito. ( Polarización inversa) y por lo tanto el diodo está en buenas condiciones. Si nos midiera un valor menor de 10 veces el valor leído en polarización directa, el diodo tendría fugas y estaría defectuoso.

**Bibliografía:**

Material preparado por Ing. Martín E. Duran Instructor de electrónica y telecomunicaciones centro Metalmecánico SENA Regional Antioquia

Tomado del Curso de electrónica Básica por Internet Por: Autor: Andrés Aranzabal

Olea Director de proyecto: Carmelo Alonso González

e-mail de contacto: [jtpalgor@sb.ehu.es](mailto:jtpalgor@sb.ehu.es)

Tomado del curso electrónica básica II por training systems M<sup>2</sup> LTD. (documento disponible en el sena)