

Figura 1-4. Efecto de la polarización inversa en un diodo de unión.



Figura 1-5. Símbolo del circuito que representa un diodo semiconductor.

lidos, en dirección a la unión PN, en donde se recombinan para formar cargas neutras y son reemplazados por los electrones libres (cargas negativas) de la batería. Este movimiento de cargas mantiene una elevada corriente directa a través del diodo en forma de electrones libres que pasan del material N, por la unión y el material P, a la terminal positiva de la batería. Dado que hay flujo de corriente a través de esta conexión, se dice que el diodo tiene *resistencia directa baja*.

La conexión para la *polarización inversa* se muestra en la figura 1-4. La terminal positiva de la batería atrae a los electrones libres del silicio tipo N, y los saca de la unión PN. La terminal negativa de la batería atrae a los huecos del silicio tipo P, y los saca de la unión PN. Por lo tanto, no existe la combinación de electrones libres y huecos. Entonces, los portadores de corriente mayoritarios del diodo no producen un flujo de corriente. En el caso de esta conexión de polarización inversa, existe una corriente minúscula en el diodo. Esta corriente se debe a los portadores minoritarios, es decir, los huecos del tipo N y los electrones del tipo P. En el caso de los portadores minoritarios, la polaridad de la batería es correcta y permite el flujo de corriente. Como resultado de los portadores minoritarios, sólo se obtiene un flujo de unos microamperes. Lo anterior se indica mediante las flechas punteadas de la figura 1-4. La conexión de polarización inversa produce una resistencia inversa elevada en el diodo.

La figura 1-5 es el símbolo de circuito de un diodo de semiconductor. La terminal marcada como "ánodo" (representada por la punta de flecha) está conectada con el material tipo P, y la que está señalada como "cátodo" está conectada al material tipo N. Para que haya flujo de corrien-

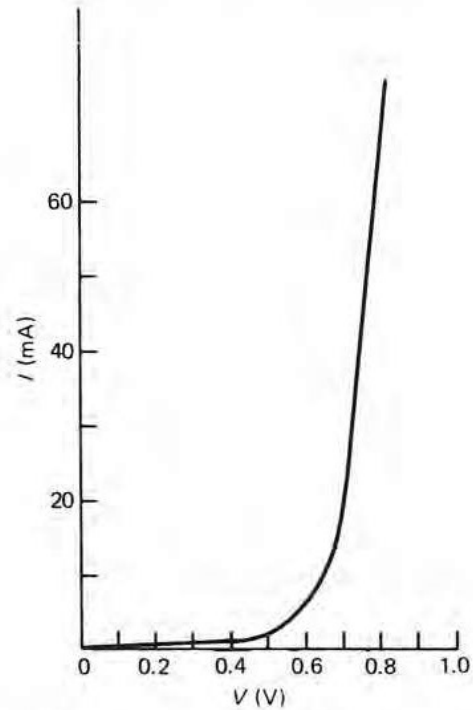


Figura 1-6. Características volt-ampers en polarización directa de un diodo de unión de silicio.

te en este diodo, la terminal positiva de la batería debe estar en el ánodo y la terminal negativa en el cátodo en una configuración de polarización directa.

Característica de voltaje y corriente en directa

La característica de voltaje y corriente (características volt-ampers) se representa en una gráfica que muestra la variación de la corriente en dicho diodo en relación con el voltaje aplicado. Para determinar lo anterior de manera experimental, se mide la corriente de diodo correspondiente a una cantidad sucesiva de voltajes cada vez mayores y se traza una gráfica de la corriente en función del voltaje. El estudiante observará que hay muy poco flujo de corriente en el diodo cuando el nivel de voltaje aplicado es bajo. Por lo tanto, para una polarización directa menor a los 0.7 volts (V), el diodo de silicio atrae poca corriente. En el caso de voltajes de polarización directa iguales o mayores que 0.7 V, el diodo se activa y permite el flujo de la corriente. Asimismo, para valores mayores de 0.7 V, un pequeño aumento del voltaje de polarización directa da por resultado un incremento considerable en la corriente del diodo. En la figura 1-6 se muestra la característica volt-corriente en polarización directa típicas de un diodo de silicio.

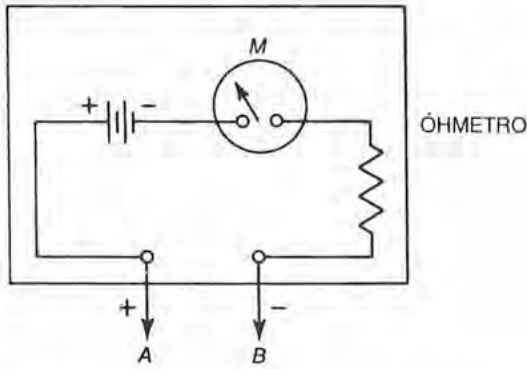


Figura 1-7. Polaridad de las puntas de conexión de un óhmetro.

El voltaje de activación en polarización directa de los diodos de silicio tiene un valor característico de 0.7 V. En el caso de los diodos de germanio es de 0.3 V.

Cuando el diodo tiene polarización inversa, la pequeña corriente producida por los portadores minoritarios permanece relativamente constante, es decir, independiente del voltaje de polarización, hasta que se llega a cierto valor de voltaje. Después de este nivel seguro de polarización inversa se produce un fenómeno conocido como "ruptura de avalancha", cuando se presenta una corriente de sobrecarga fuerte, la cual puede destruir el diodo. Por ello, es necesario que éste funcione dentro de límites seguros, normalmente especificados por el fabricante como voltaje directo máximo (V_{FM}) y voltaje inverso máximo (V_{RM}). También se especifica la corriente directa pico (I_{FM}).

Método para probar un diodo semiconductor con un óhmetro

La verificación de resistencia es un método algo burdo para probar el funcionamiento de un diodo semiconductor. Como se recordará, la polaridad de las terminales de la batería de un óhmetro aparece en las puntas de conexión. En la figura 1-7, la punta A es positiva y la punta B es negativa. Al probar con un óhmetro un diodo cuyo funcionamiento es normal se encuentra que la resistencia directa de dicho diodo es baja y que la resistencia inversa es elevada. Por lo tanto, si la punta de conexión positiva del óhmetro (A en la figura 1-7) se conecta al ánodo del diodo y la punta de conexión negativa (B) al cátodo, el diodo estará polarizado directamente. La corriente fluirá y el diodo medirá una resistencia baja. Por otra parte, si se invierten las puntas de conexión del óhmetro, el diodo estará polarizado inversamente. Fluye poca corriente y el valor de la resistencia del diodo es elevado. Si un diodo semiconductor presenta una resistencia directa muy baja y una resistencia inversa baja, es probable que esté dañado (fundido). Por otra parte, una resistencia directa extraordinariamente alta o infinita, indica que el diodo está abierto.

Cómo identificar el ánodo y el cátodo de un diodo

Por lo general, el cátodo de un diodo se indica mediante una banda circular. Si el diodo no está marcado, es sencillo determinar cuál es el ánodo y cuál es el cátodo con una verificación en la resistencia. Primero se determina la polaridad de las puntas de conexión del óhmetro con un voltímetro conectado a las terminales del óhmetro. A continuación se determina la posición de las puntas de conexión del óhmetro que mide la resistencia directa del diodo. En esta posición, la punta de conexión positiva del óhmetro se conecta con el ánodo y la negativa con el cátodo.

Función ohms de bajo voltaje de un óhmetro

La batería de un óhmetro no electrónico, como el de la figura 1-7, es de 1.5 V o más. Por lo tanto, es capaz de polarizar directamente un diodo de unión de silicio con un valor mayor que los 0.7 V necesarios para la conducción. De manera similar, puede polarizar un diodo de unión de germanio a más de los 0.3 V necesarios para la conducción. Por esto es posible llevar a cabo pruebas en diodos semiconductores con un óhmetro. Sin embargo, en la localización de fallas de algunos circuitos semiconductores se utilizan óhmetros electrónicos de baja potencia (LP), en los cuales el voltaje de punta de conexión es menor a 0.7, e incluso 0.3 V. La función correspondiente a ohms de baja potencia ($LP\Omega$) de este tipo de óhmetro no sirve para medir la resistencia directa de un diodo, ni puede identificar el ánodo o el cátodo de un diodo. Por fortuna, el fabricante proporciona, además de la función *ohms de baja potencia*, una función para ohms normales. Las pruebas de resistencia de un diodo semiconductor se llevan a cabo mediante la función *ohms normales* del óhmetro.

Primera aproximación

¿Qué hace un diodo? Conduce bien la corriente en dirección directa y mal en la dirección inversa. En esencia, idealmente un diodo funciona como conductor perfecto (voltaje cero) cuando tiene polarización directa y como un aislante perfecto (corriente cero) si tiene polarización inversa (figura 1-8). A esta primera aproximación de un diodo se le conoce como *diodo ideal*. Representa una manera sencilla y rápida de analizar los circuitos de diodos.

Por ejemplo, el diodo de la figura 1-9a) tiene polarización directa. En una primera aproximación actúa como un corto circuito. Por lo tanto, la corriente que pasa por el diodo es

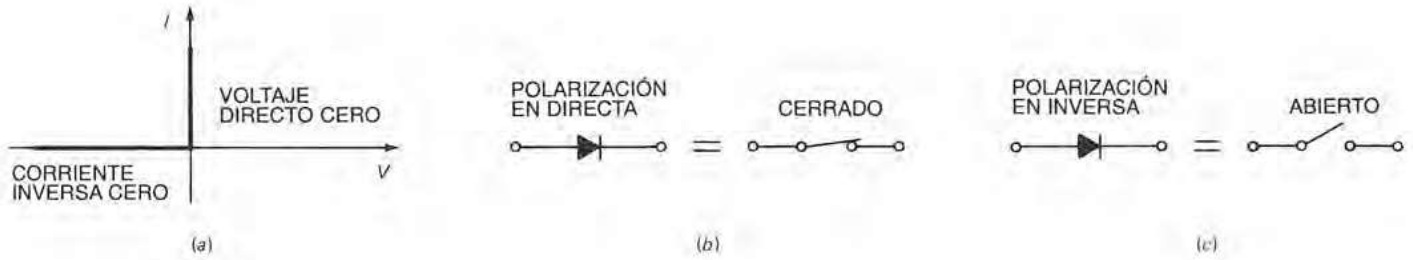


Figura 1-8. Diodo ideal: a) gráfica; b) polarización directa; c) polarización inversa.

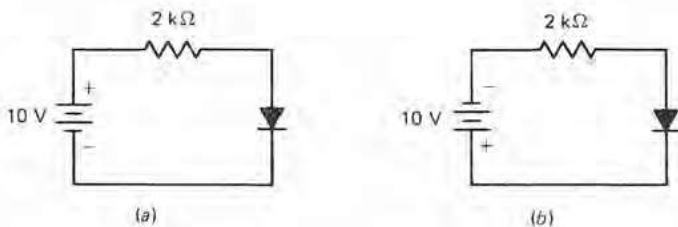


Figura 1-9. Primera aproximación: a) $I = 5 \text{ mA}$; b) $I = 0 \text{ mA}$.

$$I = \frac{10 \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega} = 5 \text{ mA} \quad (1.1)$$

Por otra parte, el diodo de la figura 1-9b) tiene polarización inversa. Idealmente se trata de un circuito abierto, por lo que la corriente que circula por él es de 0.

Segunda aproximación

Para que un diodo de silicio conduzca realmente bien es necesario que haya por lo menos 0.7 V. Cuando la fuente de voltaje es grande, 0.7 V es una cantidad muy pequeña como para tener algún efecto. Pero si la fuente de voltaje no es tan grande, entonces hay que tomar en cuenta los 0.7 V.

En la figura 1-10a) se muestra la gráfica correspondiente a la segunda aproximación. Se puede observar que la co-

rriente no fluye sino hasta que aparecen 0.7 V en el diodo. A partir de este momento el diodo se activa. Sin importar la corriente directa, sólo se permite una caída de voltaje de 0.7 V en el diodo de silicio. (Para los diodos de germanio, utilice un valor de 0.3 V.) Por cierto, el valor de 0.7 V se conoce como voltaje de *barrera* o de “codo”.

La figura 1-10b) es el circuito equivalente de la segunda aproximación. En este caso el diodo debe considerarse como un interruptor conectado en serie con una batería de 0.7 V. Si el voltaje fuente que alimenta al diodo rebasa al voltaje de contratensión, se cierra el interruptor y el voltaje del diodo es igual a 0.7 V.

Como ejemplo se utilizará la segunda aproximación para el caso del diodo de la figura 1-9a). El voltaje de la fuente es suficiente para rebasar el voltaje de codo. Por lo tanto, el diodo tiene polarización directa y la corriente es igual a

$$I = \frac{10 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega} = 4.65 \text{ mA} \quad (1.2)$$

Si la polarización del diodo es inversa, como en la figura 1-9b), la segunda aproximación sigue dando un valor de corriente igual a cero.

Resistencia másica

Para valores superiores al voltaje de codo, la corriente del diodo aumenta con rapidez; un pequeño aumento del voltaje del diodo provoca un aumento considerable en la corriente del diodo. Una vez superado el voltaje de contratensión,



Figura 1-10. Segunda aproximación: a) gráfica; b) circuito equivalente de la polarización directa.

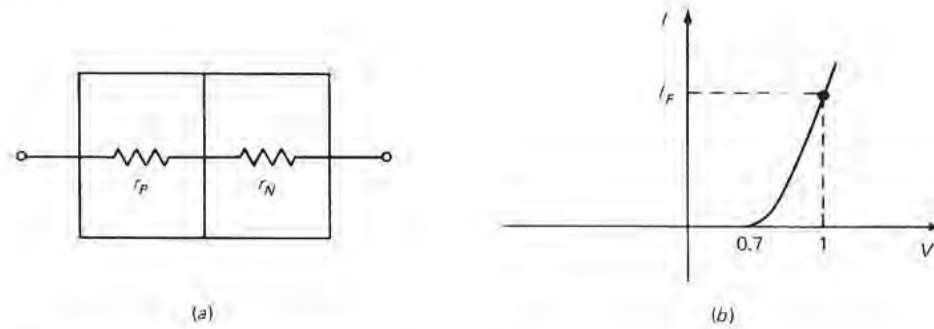


Figura 1-11. a) Resistencia másica; b) corriente directa correspondiente a 1 V.

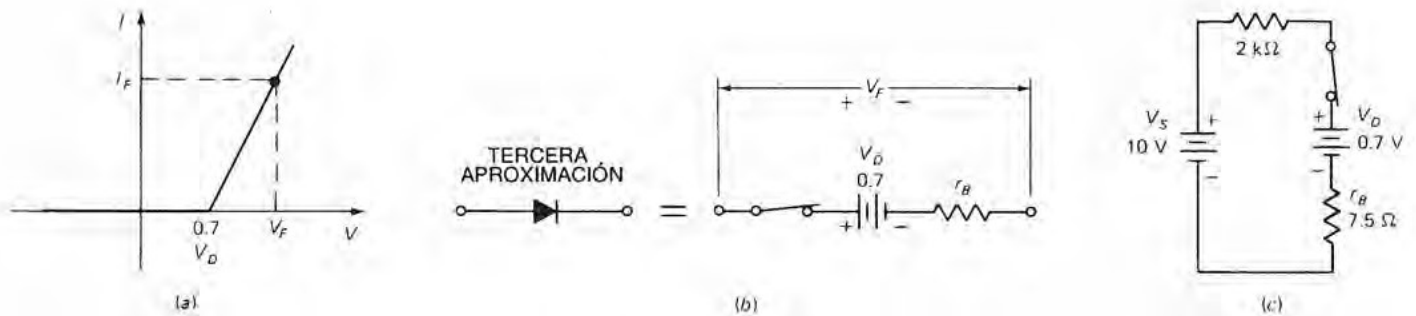


Figura 1-12. Tercera aproximación: a) gráfica; b) equivalente en polarización directa; c) ejemplo.

lo único que se opone a la corriente del diodo es la resistencia de las regiones P y N, representadas por r_P y r_N en la figura 1-11. La suma de estas resistencias se llama *resistencia másica del diodo*. Usando literales

$$r_B = r_P + r_N \tag{1.3}$$

El valor característico de r_B varía entre 1 y 25 ohms (Ω).

El cálculo de la resistencia másica de un diodo de silicio se realiza de la siguiente manera. En la hoja de especificaciones del fabricante por lo general se indica el valor de la corriente directa I_F correspondiente a 1 V. En el caso de un diodo de silicio los primeros 0.7 V son necesarios para rebasar el voltaje de barrera; los 0.3 volts restantes se consumen en la resistencia másica del diodo. Por lo tanto, para calcular la resistencia másica se tiene

$$r_B = \frac{0.3 \text{ V}}{I_F} \tag{1.4}$$

donde I_F es la corriente directa para 1 V.

Por ejemplo, el 1N456 es un diodo de silicio cuya I_F es igual a 40 mA a 1 V. Su resistencia másica es igual a

$$r_B = \frac{0.3 \text{ V}}{40 \text{ mA}} = 7.5 \Omega \tag{1.5}$$

Tercera aproximación

En la tercera aproximación de un diodo se incluye la resistencia másica, r_B . En la figura 1-12a) se muestra el efecto de r_B . Una vez activado el diodo de silicio, la corriente produce un voltaje en r_B . Cuanto mayor sea la corriente, mayor será el voltaje.

El circuito equivalente de la tercera aproximación es un interruptor conectado en serie con una batería de 0.7 V y una resistencia de valor r_B (figura 1-12b). Una vez que en el circuito externo se rebasa el potencial de contratensión, se obliga el paso de la corriente a través de la resistencia másica.

Como ejemplo de la tercera aproximación suponga que se usa un 1N456 como el de la figura 1-9a). Dado que tiene una resistencia másica de 7.5 Ω , el equivalente de la figura 1-9a) puede ser la figura 1-12c). En este circuito la corriente es

$$I = \frac{10 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega + 7.5 \Omega} = \frac{9.3 \text{ V}}{2007.5 \Omega} \tag{1.6}$$

Se ha analizado el mismo circuito (figura 1-9a) utilizando tres aproximaciones del diodo. Los resultados obtenidos son

$$\begin{aligned} I &= 5 \text{ mA} && \text{(ideal)} \\ I &= 4.65 && \text{(segunda)} \\ I &= 4.63 && \text{(tercera)} \end{aligned} \tag{1.7}$$