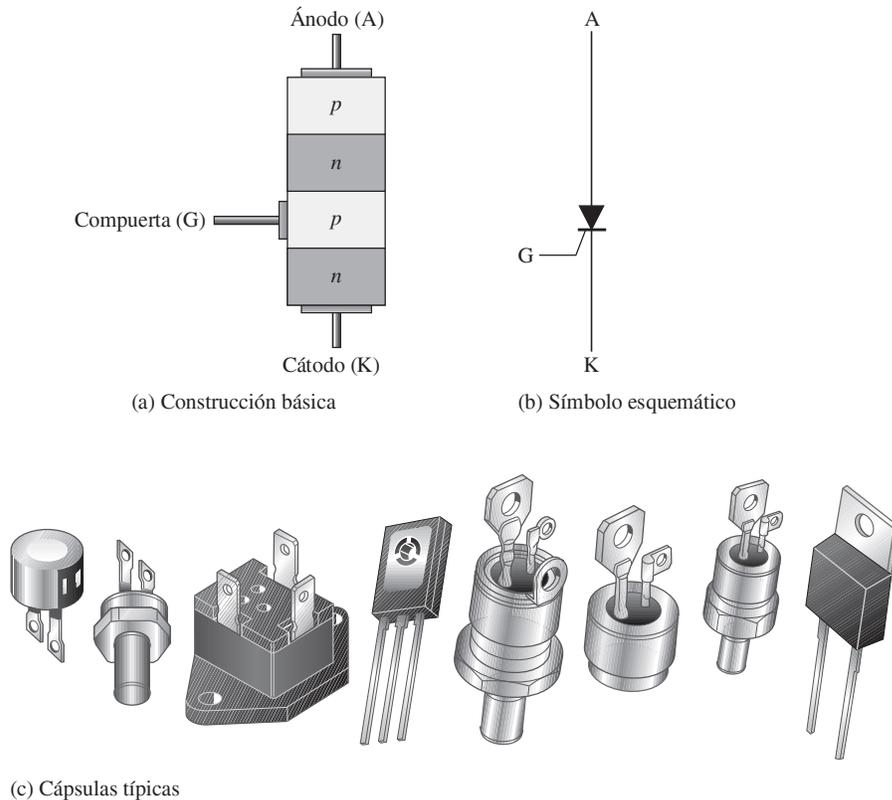


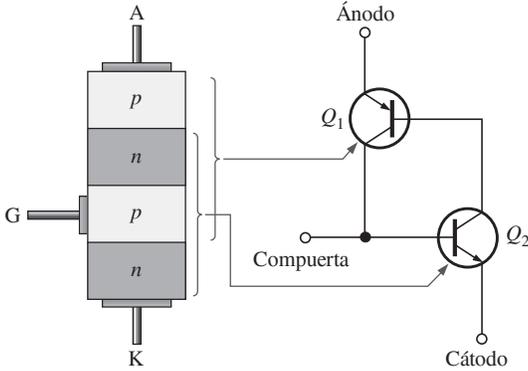
► FIGURA 11-7  
Rectificador controlado de silicio (SCR).



### Circuito equivalente del SCR

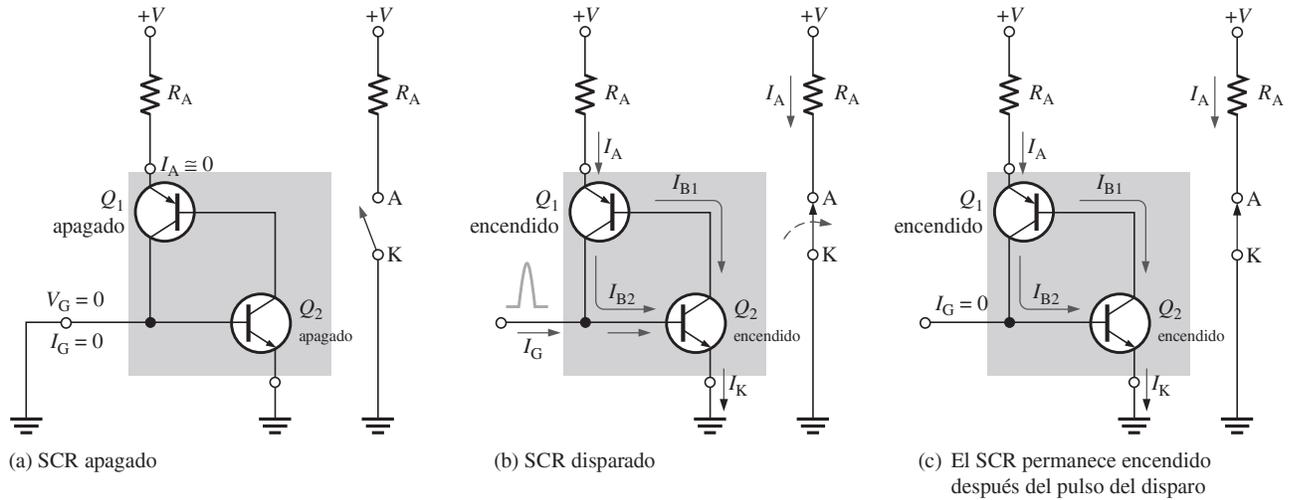
Al igual que la operación de un diodo de 4 capas, la operación del SCR se entiende mejor si su estructura *pnpn* interna se ve como una configuración de dos transistores, como muestra la figura 11-8. Esta estructura es como la del diodo de 4 capas excepto por la conexión de compuerta. Las capas *pnp* superiores actúan como un transistor,  $Q_1$ ; las capas *nnp* inferiores lo hacen como un transistor,  $Q_2$ . De nueva cuenta, Observe que las dos capas intermedias están “compartidas”.

► FIGURA 11-8  
Circuito equivalente del SCR.



### Encendido del SCR

Cuando la corriente en la compuerta,  $I_G$ , es cero, como muestra la figura 11-9(a), el dispositivo actúa como un diodo de 4 capas en el estado de *apagado*. En este estado, la muy alta resistencia entre el ánodo y el cátodo pueden ser simulados de forma aproximada por un interruptor abierto, como se indica. Cuando se aplica un pulso (**disparo**) positivo de corriente a la compuerta, ambos transistores se encienden (el ánodo debe ser más positivo que el cátodo). Esta acción se muestra en la figura 11-9(b).  $I_{B2}$  enciende a  $Q_2$  y crea una trayectoria para  $I_{B1}$  hacia el colector  $Q_2$ , por lo que  $Q_1$  se enciende. La corriente en el colector de  $Q_1$  proporciona una corriente adicional en la

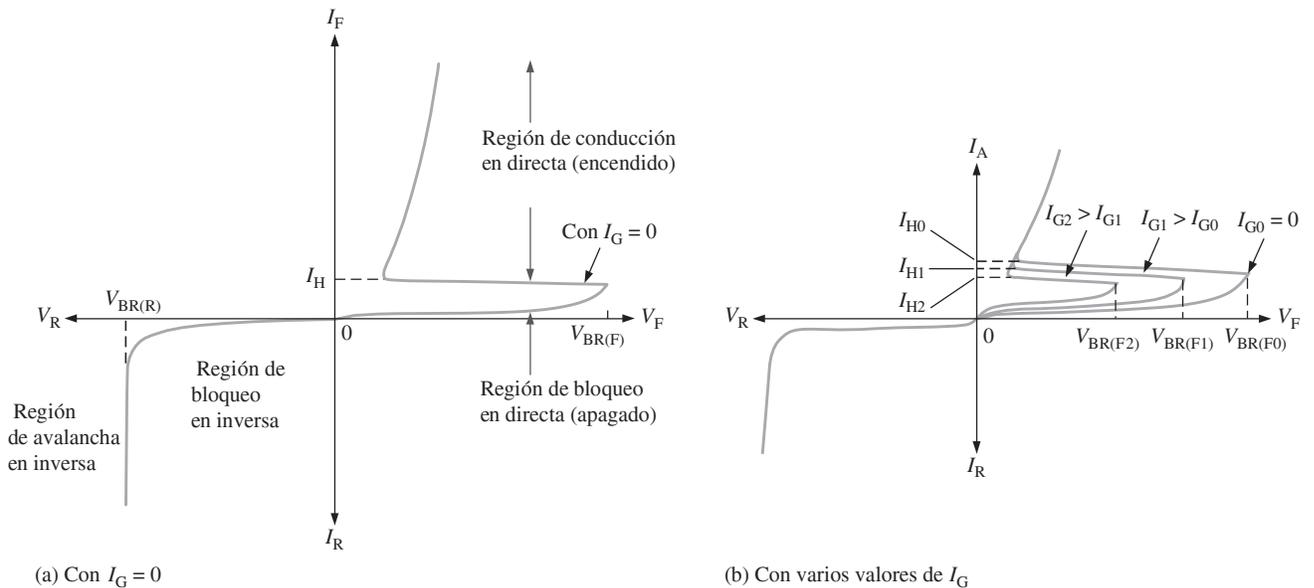


▲ FIGURA 11-9

Proceso de encendido de un SCR con los equivalentes de los interruptores mostrados.

base para  $Q_2$ , de tal forma que  $Q_2$  permanece en conducción una vez que el pulso de disparo se retira de la compuerta. Por esta acción regenerativa,  $Q_2$  mantiene la conducción en saturación de  $Q_1$  al proporcionar una trayectoria para  $I_{B1}$ ; a su vez,  $Q_1$  mantiene la conducción en saturación de  $Q_2$  al proporcionar  $I_{B2}$ . De este modo, el dispositivo permanece encendido (interruptor cerrado) una vez que es activado para que encienda, como muestra la figura 11-9(c). En este estado, la muy baja resistencia entre el ánodo y el cátodo puede ser simulada de forma aproximada por un interruptor cerrado, como se indica.

Del mismo modo que un diodo de 4 capas, un SCR también puede encenderse sin que se active la compuerta incrementando el voltaje entre el ánodo y el cátodo a un valor que exceda el voltaje de ruptura en directa  $V_{BR(F)}$ , como se muestra en la curva de la figura 11-10(a). El voltaje de ruptura en directa se reduce a medida que  $I_G$  se incrementa por encima de 0 V, como lo muestra el conjunto de curvas de la figura 11-10(b). Con el tiempo,  $I_G$  alcanza un valor al cual el SCR enciende a un voltaje muy bajo entre el ánodo y el cátodo. Así que, como se puede ver, la corriente en la compuerta controla el valor del voltaje de ruptura en directa,  $V_{BR(F)}$ , requerido para que encienda.



▲ FIGURA 11-10

Curvas de característica del SCR.

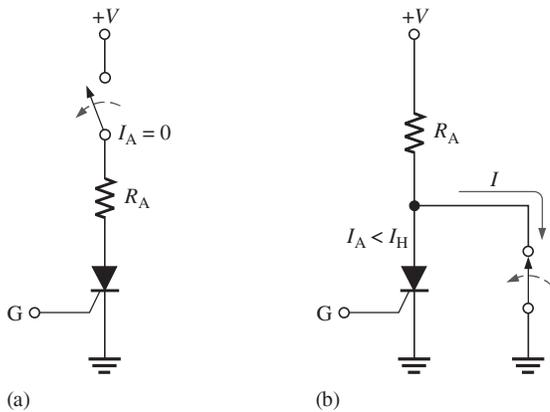
Aun cuando los voltajes entre el ánodo y el cátodo de más de  $V_{BR(F)}$  no dañan el dispositivo si se limita la corriente, esta situación deberá evitarse porque se pierde el control normal del SCR. Normalmente deberá prenderse sólo con un pulso en la compuerta.

### Apagado del SCR

Cuando la compuerta regresa a 0 V una vez que cesa el pulso de disparo, el SCR no puede encenderse; permanece en la región de conducción en directa. La corriente en el ánodo se reduce por debajo del valor de la corriente de retención,  $I_H$ , para que prenda otra vez. En la figura 11-10 se indica la corriente de retención.

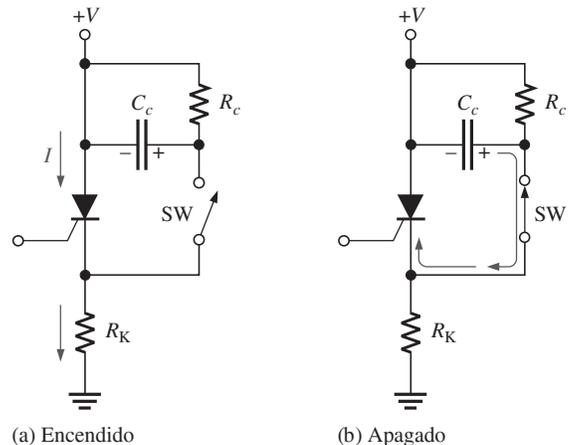
Existen dos métodos básicos de encender un SCR: *interrupción de la corriente en el ánodo* y *conmutación forzada*. La corriente en el ánodo puede ser interrumpida mediante una configuración de conmutación momentánea en serie o en paralelo, como muestra la figura 11-11. El interruptor en serie en la parte (a) simplemente reduce a cero la corriente en el ánodo y apaga el SCR. El interruptor en paralelo en la parte (b) aleja una parte de la corriente total del SCR, con lo cual la corriente en el ánodo se reduce a un valor menor que  $I_H$ .

El método de **conmutación forzada** básicamente requiere obligar momentáneamente a la corriente que circula a través del SCR a que lo haga en la dirección opuesta a la conducción en directa, de modo que la corriente neta en directa se reduzca por debajo del valor de retención. El circuito básico, como muestra la figura 11-12, consta de un interruptor (normalmente un interruptor basado en un transistor) y un capacitor. En tanto el SCR está conduciendo, el interruptor está abierto y  $C_c$  se carga al voltaje de alimentación por conducto de  $R_c$ , como muestra en parte (a). Para apagar el SCR, el interruptor se cierra, lo cual coloca el capacitor a través del SCR y la corriente fluye en la dirección opuesta a la corriente en directa, como muestra la parte (b). Típicamente, los tiempos que los SCR permanecen apagados varían desde unos cuantos microsegundos hasta cerca de 30  $\mu s$ .



▲ FIGURA 11-11

El SCR se apaga por la interrupción de la corriente en el ánodo.



▲ FIGURA 11-12

El SCR se dispara por conmutación forzada.

### Características y valores nominales de un SCR

Varias de las características y de valores nominales más importantes del SCR se definen como a continuación se describe. Utilice la curva que aparece en la figura 11-10(a) como referencia en los casos en que sea apropiado.

**Voltaje de ruptura en directa,  $V_{BR(F)}$**  Éste es el voltaje al cual el SCR entra a la región de conducción en directa. El valor de  $V_{BR(F)}$  es máximo cuando  $I_G = 0$  y se designa  $V_{BR(F)}$ . Cuando se incrementa la corriente en la compuerta,  $V_{BR(F)}$  se reduce y se designa  $V_{BR(F1)}$ ,  $V_{BR(F2)}$ , y así sucesivamente, con incrementos graduales de la corriente en la compuerta ( $I_{G1}$ ,  $I_{G2}$ , y así sucesivamente).

**Corriente de retención,  $I_H$**  Éste es el valor de la corriente en el ánodo por debajo del cual el SCR cambia de la región de conducción en directa a la región de bloqueo en directa. El valor se incrementa con valores decrecientes de  $I_G$  y es máximo con  $I_G = 0$ .

*Corriente de disparo en la compuerta,  $I_{GT}$*  Éste es el valor de la corriente en la compuerta necesario para cambiar el SCR de la región de bloqueo en directa a la región de conducción en directa en condiciones específicas.

*Corriente en directa promedio,  $I_{F(\text{prom})}$*  Ésta es la corriente máxima en forma continua en el ánodo (cd) que el dispositivo puede soportar en el estado de conducción en condiciones específicas.

*Región de conducción en directa* Esta región corresponde a la condición *encendido* del SCR en la que la corriente fluye del ánodo al cátodo gracias a la muy baja resistencia (corto aproximado) del SCR.

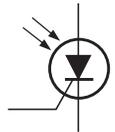
*Regiones de bloqueo en directa y en inversa* Estas regiones corresponden a la condición *apagado* del SCR en la que la corriente que fluye del ánodo al cátodo es bloqueada por el circuito abierto efectivo del SCR.

*Voltaje de ruptura en inversa,  $V_{BR(R)}$*  Este parámetro especifica el valor de voltaje en inversa del cátodo al ánodo al cual el dispositivo irrumpe en la región de avalancha y comienza a conducir en exceso (igual que en un diodo de unión *pn*).

## SCR activado por luz (LASCR)

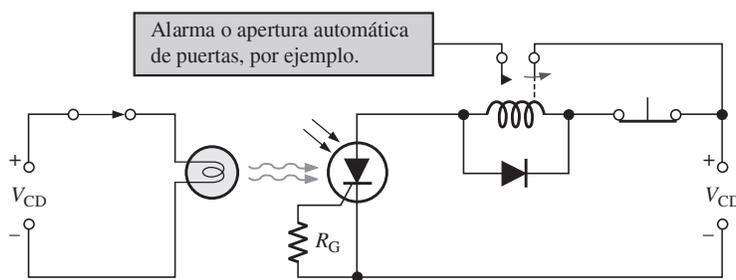
El rectificador controlado de silicio activado por luz (**LASCR**) es un dispositivo semiconductor de cuatro capas (tiristor) que opera esencialmente como lo hace un SCR convencional, excepto porque también puede ser activado por luz. El LASCR conduce corriente en una dirección cuando es activado por una cantidad suficiente de luz y continúa haciéndolo hasta que la corriente se reduce por debajo de un valor especificado. La figura 11-13 muestra un símbolo esquemático de LASCR. El LASCR es más sensible a la luz cuando la compuerta está abierta. Si es necesario, se puede utilizar un resistor de la compuerta al cátodo para reducir la sensibilidad.

La figura 11-14 muestra un LASCR utilizado para energizar un relevador de enclavamiento. La fuente de entrada prende la lámpara; la luz incidente resultante activa el LASCR. La corriente en el ánodo energiza el relevador y cierra el contacto. Observe que la fuente de entrada se encuentra eléctricamente aislada del resto del circuito.



▲ FIGURA 11-13

Símbolo de LASCR.



▲ FIGURA 11-14

Circuito LASCRA.

### REPASO DE LA SECCIÓN 11-2

1. ¿Qué es un SCR?
2. Mencione las terminales de un SCR.
3. ¿Cómo se puede encender un SCR (hacerlo que conduzca)?
4. ¿Cómo se puede apagar un SCR?
5. ¿Qué se requiere en la figura 11-14 para apagar el LASCR y desenergizar el relevador?