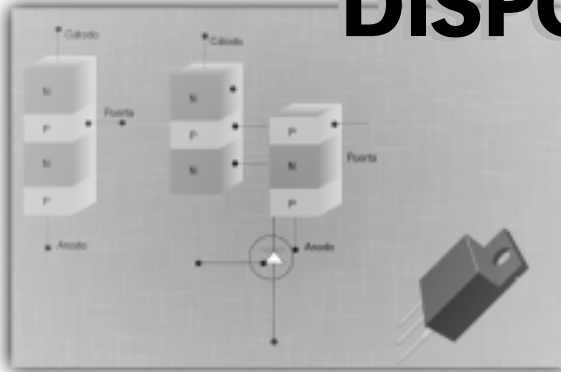


TIRISTORES Y OTROS DISPOSITIVOS DE DISPARO



Oscar Montoya Figueroa

Los tiristores

Los tiristores son dispositivos de amplio uso en las áreas de electrónica comercial e industrial, y de los que funcionan con un mayor grado de complejidad. Entre las funciones que cumplen, está la de controlar la velocidad de un motor, la intensidad de una lámpara; en sistemas de seguridad, en los televisores modernos, etc. En este artículo hablaremos de las características de los principales dispositivos de esta clase.

La palabra *tiristor*, utilizada para definir a este grupo de circuitos, proviene del término de origen griego "puerta". Funcionan como una especie de interruptor del control electrónico y se emplean precisamente para controlar grandes corrientes de carga en motores, calentadores, sistemas de iluminación y demás circuitos similares.

Internamente, estos dispositivos están conformados por cuatro capas de material semiconductor; algunas de sus secciones se conectan de manera externa a terminales conductoras.

Rectificador controlado de silicio

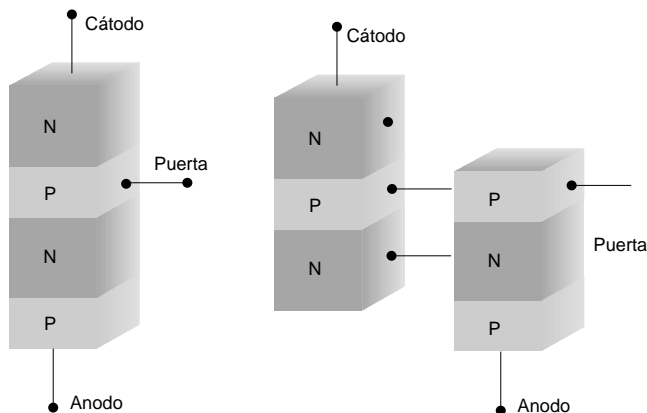
El SCR o Rectificador Controlado de Silicio, es un dispositivo semiconductor de cuatro capas con tres terminales externas llamadas "cátodo", "ánodo" y "compuerta"; cada una de éstas se encuentra conectada a una sección del semiconductor.

La mayoría de estos dispositivos son de uso industrial; significa que pueden manejar corrien-

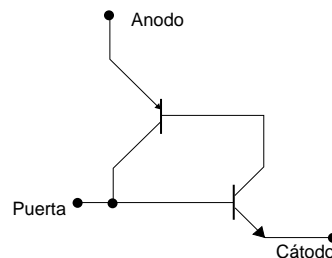
Figura 1

Para comprender mejor el funcionamiento del SCR, lo podemos dividir en dos partes; el circuito parece estar formado por dos transistores: un PNP y un NPN. Por lo que el circuito equivalente para un SCR se forma con dos transistores.

Estructura básica



Circuito equivalente



tes que van desde valores inferiores a 1 amper, hasta cantidades mayores a los 2500 amper.

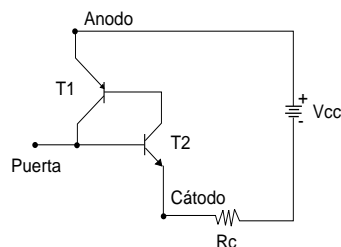
Un SCR se comporta como un interruptor; al aplicarle la alimentación por primera vez, se encontrará abierto; pero si se aplica un pulso de disparo a la terminal compuerta, se cerrará (permitiendo así que la corriente eléctrica lo atraviese). Esto es, si el SCR se conecta en serie con una batería y un resistor (a las terminales de cátodo y ánodo, respectivamente), el dispositivo resultante será considerando como un diodo en polarización directa; esto significa que se mantiene en estado de no-conducción. Para que el dispositivo inicie la conducción, es necesario un pequeño pulso de voltaje en la terminal compuerta; esto lo mantendrá en conducción, a menos que la corriente que lo atraviesa disminuya por debajo de un cierto valor crítico (figura 1).

El circuito equivalente del SCR se comporta como un interruptor abierto, cuando se polariza con una batería V_{cc} y en serie con una resistencia de carga R_c . Como los transistores no están polarizados correctamente, no conducen; en consecuencia, no circula corriente eléctrica a través del circuito.

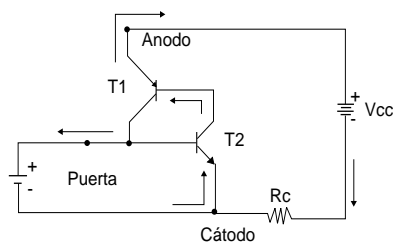
Para que la corriente fluya, se necesita aplicar un pulso de disparo a la terminal compuerta;

puede ser aplicado por medio de una batería V_p . La batería polariza directamente la unión Base-Emisor del transistor T2, poniéndolo así en estado de saturación. La corriente de colector de

Circuito equivalente del SCR en estado de no-conducción



Y su polarización del disparo a la terminal compuerta

**Figura 2**

T2 ingresa a la base del transistor T1, polarizando también la unión Emisor-Base; esto provoca que T1 esté en saturación (figura 2).

Si se dan las condiciones arriba señaladas, el voltaje de V_p ya no será necesario; por lo que al retirar éste, el circuito se mantendrá en conducción. La corriente de colector de T2 mantiene polarizada directamente la unión Base-Emisor de T1; a su vez, la corriente de colector de T1 mantiene la polarización directa de la unión Base-Emisor de T2. Cuando esto sucede, el dispositivo se comporta como un interruptor cerrado.

Para que los transistores pasen del estado de saturación al estado de corte (de interruptor cerrado a interruptor abierto), se requiere que la corriente que los atraviesa sea cero; para lograr esto, hay que desconectar la alimentación de la fuente V_{cc} o colocar un interruptor -a manera de puente- entre el emisor de T2 y el emisor de T1.

Cuando se oprime el interruptor SW1, toda la corriente eléctrica a través de T1 y T2 pasa por SW1; con ello, se obliga a los transistores a pasar del estado de saturación al estado de corte (se abre el circuito).

Otra forma de hacer que el circuito se “abra”, consiste en aplicar un pulso negativo a la compuerta (base de T2). Una vez ejecutada esta acción, la polarización inversa en la unión Emi-

sor-Base de T2 obligará al circuito a pasar al estado de corte (no-conducción). Por otra parte, al no existir corriente eléctrica para polarizar la base de T1, se provoca que éste también pase al estado de corte; en resumen, el circuito deja de conducir la corriente eléctrica y vuelve a comportarse como un interruptor abierto cuando se aplica el pulso inverso.

Es importante que al momento de elegir el reemplazo de un SCR o al diseñar un nuevo circuito, se contemplen los valores proporcionados por el fabricante para cada SCR específico (tabla 1).

Por ejemplo, el SCR matrícula 2N6238 tiene las siguientes características:

$$V_{DRM} = V_{RRM} = 100 \text{ volts}$$

$$I_{TSM} \text{ (a 60 Hertz)} = 25 \text{ amperes}$$

$$I_{CT} = 0.2 \text{ miliampers}$$

$$V_{GT} = 1 \text{ volt}$$

$$T_1 = \text{de } -40 \text{ a } +110 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_C = 93^\circ\text{C cuando conduce 4 amperes de corriente directa}$$

Una lista de SCR's de uso común, que puede servir de referencia para elegir un modelo para una aplicación en particular, se muestra en la tabla 2.

V_{DRM}	Es el voltaje máximo respectivo (en forma de pulsos) en sentido directo, que puede ser aplicado al SCR en estado de no conducción.
V_{RRM}	Es el voltaje máximo respectivo (en forma de pulsos) en sentido inverso, que puede ser aplicado al SCR en estado de no conducción.
I_{TSM}	Es el voltaje máximo de corriente que puede conducir el SCR para un valor específico de frecuencia.
$I_{T(RMS)}$	Es el valor de corriente máxima que puede conducir el dispositivo en valor RMS o eficaz.
I_{GT}	Es el valor máximo de corriente requerido para hacer que el SCR pase de estado de no conducción al estado de conducción.
V_{GT}	Es el valor de corriente directa requerido para producir la corriente de disparo a la terminal compuerta
T_J	Es la temperatura de unión a la que se puede operar el SCR, como resultado de la temperatura ambiente y las condiciones de carga.
T_C	Temperatura del encapsulado bajo las condiciones de operación especificadas.

Tabla 1

Tabla 2

Matrícula	VDRM-RRM	IT(RSM)	VGRM	IGFM	ITSM (60HZ)
C10F 50V	4A	6V	0.2A	20A	
C106A 100V	4A	6V	0.2A	20A	
C106B 200V	4A	6V	0.2A	20A	
C106D 400V	4A	6V	0.2A	20A	
C106M 600V	4A	6V	0.2A	20A	

Interruptor controlado de silicio

El interruptor controlado de silicio o SCS (*Silicon Controlled Switch*), es una versión modificada del SCR; está formado por cuatro capas de material semiconductor dopado, donde cada una de las secciones se conecta a una terminal.

Este dispositivo se comporta de manera similar al SCR, con la diferencia de que puede ser disparado por medio de cualquiera de las dos compuertas (ánodo y cátodo); además, está diseñado para trabajar con corrientes eléctricas pequeñas del orden de los miliamperes (figura 3).

FotoSCR

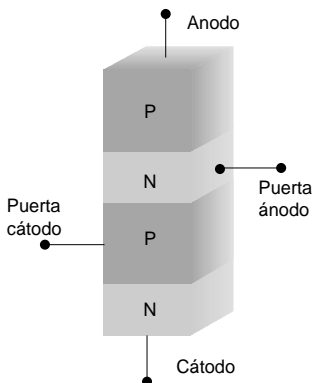
Un fotoSCR, es un dispositivo con tres terminales; su encapsulado en la parte superior dispone

de una lente que permite el paso de la luz, para iluminar el semiconductor que forma al fotoSCR. La luz incidente en el semiconductor provoca la liberación de los electrones en la compuerta. Estos electrones forman una corriente eléctrica suficiente para lograr que el fotoSCR conmute al estado de conducción, si es que el dispositivo se encuentra en polarización directa. La terminal externa conectada a la compuerta, tiene la función de variar la sensibilidad del dispositivo mediante la polarización aplicada (figura 4).

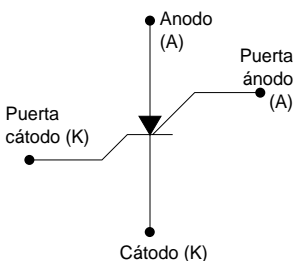
Diodo de cuatro capas

Los SCR requieren dispositivos que, mediante voltajes aplicados en la terminal compuerta G, controlan el paso de la corriente eléctrica que los atraviesa. Este control puede realizarse por

Estructura interna de un interruptor controlado de silicio



Símbolo esquemático para el SCS



Circuito equivalente del SCS a transistores

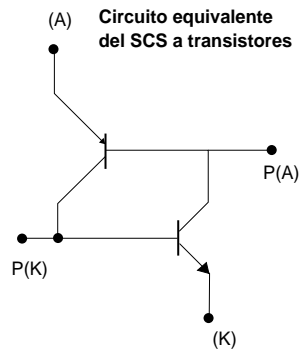
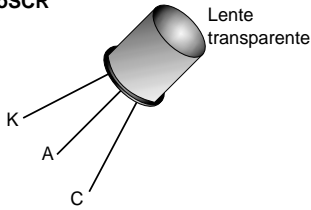


Figura 3

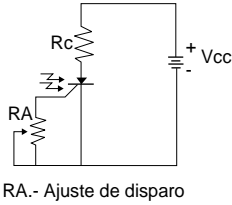
Figura 4

Encapsulado del fotoSCR

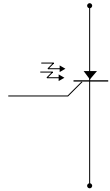
- K) Cátodo
- A) Anodo
- C) Compuerta



Circuito de polarización



Símbolo esquemático del fotoSCR



medio de circuitos electrónicos digitales, como cuando operan en circuitos de alarma. Pero cuando el SCR se utiliza para controlar la cantidad de corriente eficaz aplicada a un dispositivo eléctrico (como un motor), es necesario emplear dispositivos de disparo controlado.

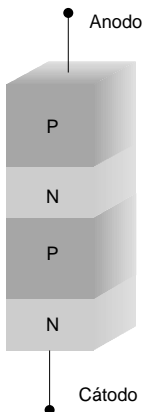
En este caso, el *diodo Shockley* o diodo de cuatro capas conduce la corriente cuando un voltaje de polarización en sentido directo sea apli-

cado. La estructura de este dispositivo es de cuatro capas de material semiconductor, en cuyos extremos se ha colocado un par de terminales externas. Se considera un diodo, porque dispone de dos terminales (no confundir con el diodo *Schottky*); también se le conoce como diodo PNPN (figura 5).

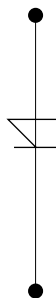
Si polarizamos al diodo en forma directa, colocando la terminal negativa de la batería en el emisor de T1 y el polo positivo en el colector de T2, el dispositivo se mantendrá sin conducir; esto, porque no existe corriente a través de los colectores que pueda polarizar las bases. Cuando el valor del voltaje aplicado en sus extremos alcanza cierto limite, dependiendo del tipo de diodo, la polarización inversa aplicada a los colectores (unión Base-Colector) de los transistores hace que fluya una corriente en sentido inverso; como ésta es suficiente para polarizar las uniones Base-Emisor de ambos transistores, provoca que los mismos pasen del estado de corte al estado de saturación; es como si se hubiese aplicado un pulso de disparo. El voltaje de activación para el diodo se conoce como Voltaje *Breakover*.

La única forma de hacer que el diodo deje de conducir, es reduciendo la corriente que lo atraviesa hasta un valor inferior a la corriente de mantenimiento (valor mínimo de corriente requerido para que el dispositivo se mantenga en

Estructura interna de un diodo de cuatro capas



Símbolo esquemático del diodo de cuatro capas



Circuito equivalente a transistores

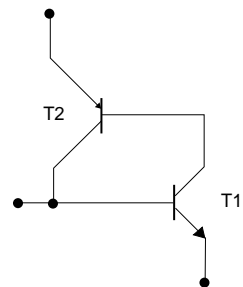


Figura 5

estado de conducción). Los diodos Shockley se fabrican para manejar voltajes de operación en un rango de 10 a 400 volts, con corriente alterna o directa pulsante de hasta 100 amperes de corriente.

SUS

El interruptor unilateral de silicio o SUS (*Silicon Unilateral Switch*), es un dispositivo que permite el paso de la corriente eléctrica en un solo sentido cuando el voltaje aplicado a sus terminales en sentido directo supera cierto valor. Es muy parecido al diodo *Shockley*, con la diferencia que posee una terminal extra de disparo con la que se controla la condición de disparo en la que opera (lo que no puede hacerse en un diodo de cuatro capas).

Un SUS opera con valores de voltaje y corriente eléctrica bajos, hasta 8 volts y 1 amper, respectivamente (figura 6).

TRIAC

El TRIAC o transistor de corriente alterna, es un dispositivo semiconductor bidireccional con tres terminales; o sea, puede conducir la corriente eléctrica en ambos sentidos. Las terminales ánodo y cátodo se han cambiado por MT1 y MT2, que es la abreviatura de Terminal Principal 1 y Terminal Principal 2 (*Main Terminal*).

Símbolo esquemático de un interruptor unilateral de silicio (sus) y gráfica de un encapsulado.

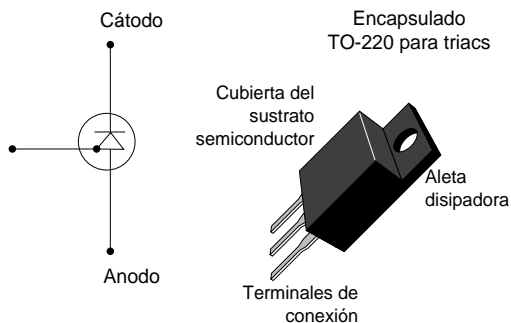


Figura 6

El circuito equivalente para el TRIAC se puede formar con dos SCR en paralelo, pero con sus polaridades invertidas (figura 7). Cuando se aplica el pulso de activación en la terminal compuerta, no importa la polaridad aplicada a las terminales MT; la razón, es que uno de los dos SCR se encontrará polarizado directamente y conducirá.

Si el SCR1 se encuentra polarizado en forma inversa y el SCR2 en forma directa cuando se aplica el pulso a la compuerta G, solamente este último conducirá. Si se invierte la polaridad de la batería y se aplica el pulso de disparo nuevamente en la compuerta G, sólo el SCR1 conducirá. El efecto total del dispositivo es el de permitir el paso de la corriente eléctrica, independientemente de la polaridad del voltaje aplicado en las terminales MT.

El TRIAC se aplica principalmente en circuitos que operan con corriente alterna y en los que se requiere controlar la corriente que se les aplica. Otra característica importante de los TRIAC's, es que pueden ser disparados por pulsos negativos o positivos aplicados a la terminal compuerta G.

En estos dispositivos es necesario tener cuidado al emplear voltajes grandes de corriente alterna, ya que la terminal MT2 se encuentra

Un triac puede conducir la corriente eléctrica en ambos sentidos, al ponerse en estado de conducción a través de su terminal compuerta.

Símbolo esquemático del triac

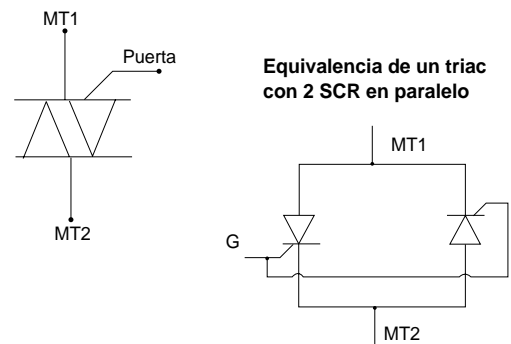


Figura 7

Datos técnicos para algunos triacs de la serie MAC, los cuales tienen aplicaciones como relevadores de estado sólido, control de motores, control de temperatura, fuentes de alimentación y en general en aplicaciones donde se requiere control de onda completa.

Matrícula	V _{DRM}	I _{T(RSM)}	V _{GRM}	I _{GFM}	I _{TSM (60HZ)}
MAC15-4	200V	15A	10V	1A	150A
MAC15-6	400V	15A	10V	1A	150A
MAC15-8	600V	15A	10V	1A	150A
MAC15-10	800V	15A	10V	1A	150A

conectada eléctricamente a la parte metálica del cuerpo del TRIAC.

Los parámetros a considerar cuando se elige un TRIAC, son iguales a los utilizados para el SCR; la única diferencia es que el V_{RRM} o voltaje inverso no existe en el caso de los TRIAC's, debido a que no importa la polaridad en sus extremos (tabla 3).

DIAC

El DIAC o diodo bidireccional de disparo (Diodo de Corriente Alterna, por su nombre en inglés) es un dispositivo semiconductor muy parecido al diodo *Shockley*, con la diferencia de que permite el paso de la corriente eléctrica en ambos sentidos; también tiene un valor de voltaje de conducción (*breakover*) que es el mismo en am-

bos sentidos. El circuito equivalente del DIAC es un par de diodos *Shockley* en paralelo, pero con polaridades opuestas (figura 8).

Cuando se aplica una tensión en los extremos del DIAC, éste se mantiene en estado de no-conducción mientras no se supere el voltaje nominal de conducción. Realmente no importa la polaridad aplicada al DIAC, porque en la configuración del circuito siempre uno de los dos diodos se encontrará polarizado directamente y el otro en forma inversa. Si se alcanza el voltaje de conducción, el DIAC que se encuentra polarizado directamente conducirá; y se mantendrá así, en tanto la corriente no esté por debajo del valor de mantenimiento. Si se invirtiera la polaridad de la tensión aplicada, se repetiría el proceso pero a la inversa.

Por ser un dispositivo de tipo bidireccional, es utilizado como disparador de compuerta en los TRIAC's (figura 9).

Circuito equivalente de un diac

El diac es un dispositivo bidireccional de disparo y su circuito equivalente se forma por dos diodos Shockley en paralelo con polaridades invertidas.

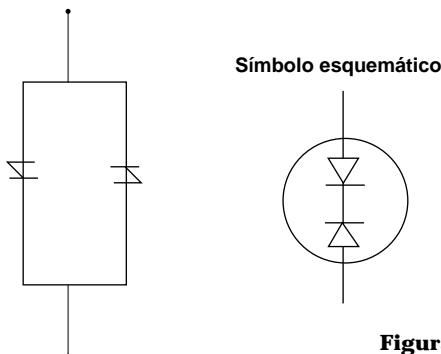


Figura 8

SBS

El interruptor bilateral de silicio (*Silicon Bilateral Switch*), es un dispositivo de control para el disparo de la compuerta en TRIAC's. Como su nombre lo indica, tiene la propiedad de conducir la corriente eléctrica en ambos sentidos; cuando la tensión alcanza el valor de conducción, a diferencia de un DIAC, el SBS adquiere un voltaje de conducción mucho más pequeño (un valor de voltaje de conducción típico, es del orden de los 8 volts).

Un SBS es un semiconductor avanzado, ya que no es una versión modificada de un diodo

PNPN. Está formado por un conjunto de dispositivos discretos, y se fabrica más bien como un circuito integrado; además, cuenta con una terminal extra llamada “compuerta” que proporciona mayor flexibilidad en el disparo.

SIDAC

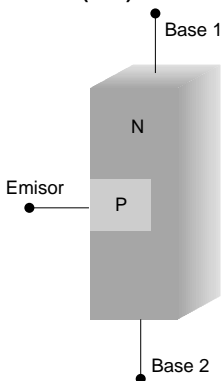
El disparador bilateral de alto voltaje o SIDAC (*High Voltage Bilateral Tigger*), es un dispositivo electrónico de reciente aparición. Permite la manipulación de voltajes altos de disparo, lo que amplía la gama de aplicaciones de los dispositivos disparadores; de esta manera, se ahorran gastos en componentes extras que serían necesarios para ciertas clases de circuitos.

Los voltajes de conducción para este dispositivo fluctúan en un rango que va de los 100 a los 300 volts; por eso es grande la corriente que el circuito puede conducir.

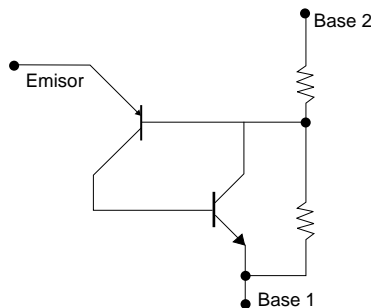
UJT

Por último, el UJT o transistor uni-unión (*Unijunction Transistor*), es utilizado como dispositivo de disparo. Se trata de un elemento semiconductor de conmutación por ruptura, muy utilizado en circuitos industriales, temporizadores, osciladores, generadores de onda y como circuitos de control de compuerta para TRIAC y SCR.

Estructura básica de un transistor uni-unión (UJT)



Circuito equivalente a transistores del UJT



Símbolo esquemático del UJT

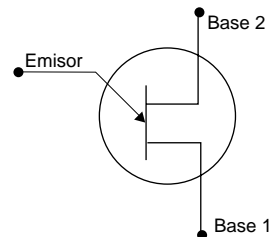
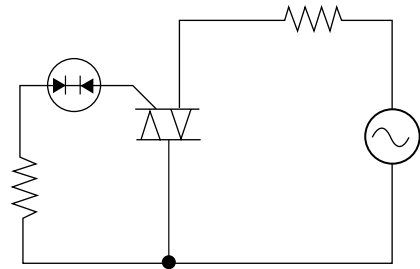


Figura 10

Circuito de polarización de disparo **Figura 9**

El diac se utiliza como circuito de disparo de un triac



La zona P del emisor está altamente dopada, mientras que la zona N del semiconductor tiene un dopado pequeño. Cuando el emisor del transistor no se encuentra conectado a ningún circuito externo, la resistencia entre las terminales Base 1 y Base 2 es de unos 4,000 a 10,000 ohms.

El circuito equivalente para el transistor UJT, está formado por un par de transistores en configuración de retroalimentación y un divisor de tensión entre el colector y el emisor de uno de los transistores (figura 10).

Este dispositivo tiene la característica de presentar resistencia negativa; es decir, a un aumento de corriente se sucede una disminución de voltaje en las terminales del mismo. ●