

DISPOSITIVOS DE CONTROL DE ESTADO SÓLIDO USADOS EN EL CONTROL DE MOTORES ELÉCTRICOS

MECATRÓNICA_MVILLA

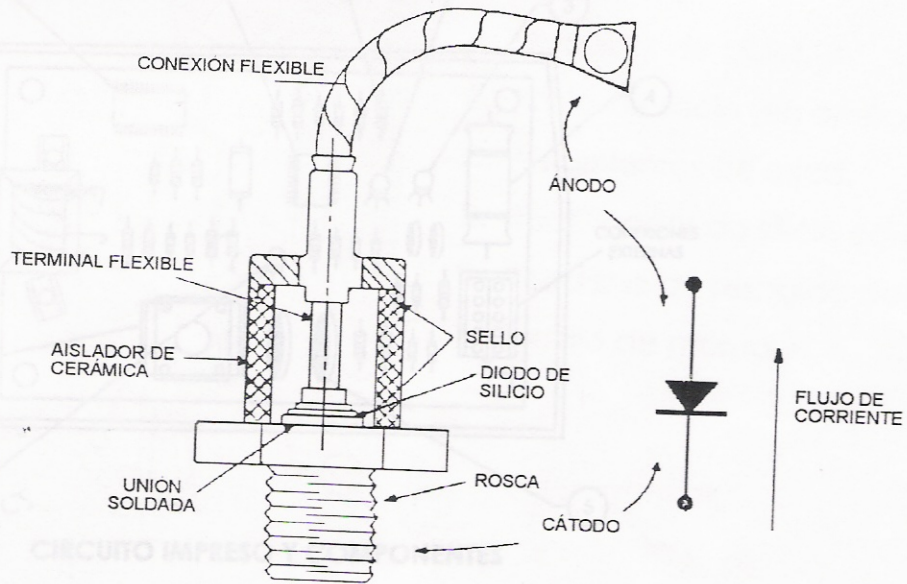
4.1 INTRODUCCIÓN

En algunos procesos industriales, donde es importante obtener una seguridad y productividad máxima, se ha encontrado que los dispositivos electrónicos de estado sólido contribuyen a un mayor control. La invención del diodo y los dispositivos semiconductores de estado sólido (SCR), permiten una amplia gama de posibilidades para la aplicación de los circuitos impresos. Los dispositivos electrónicos de estado sólido no han producido cambios en los aspectos básicos de los procesos industriales; sin embargo, han ayudado a un mayor y más preciso control sobre éstos.

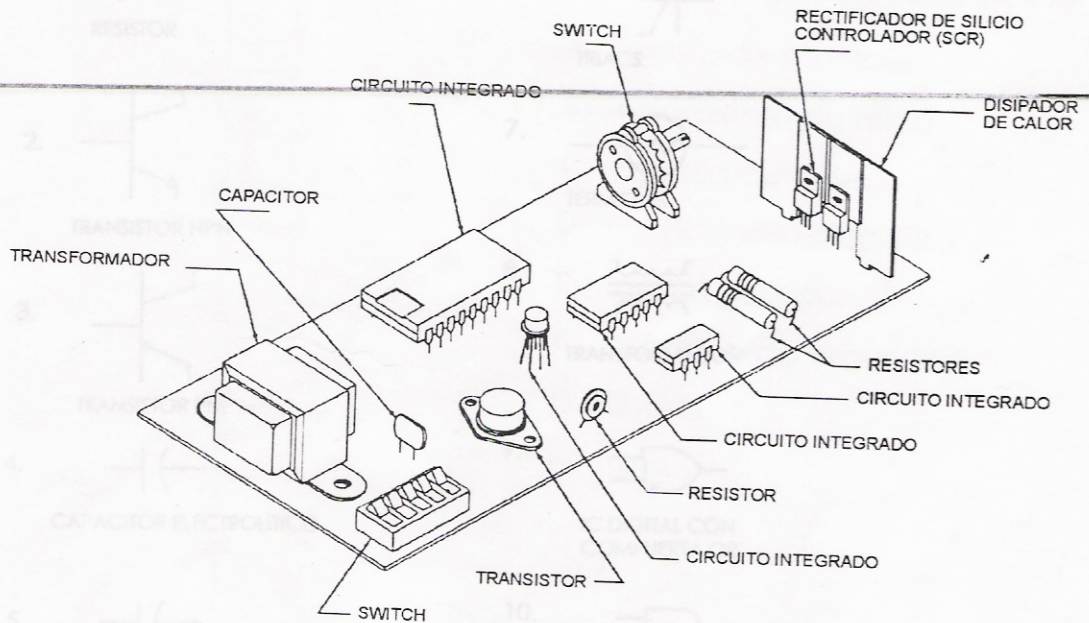
Dentro de las aplicaciones más importantes para el control de los procesos, se tienen los rectificadores de estado sólido, que son esencialmente dispositivos de estructura cristalina capaces de modificar una corriente alterna en un flujo de corriente unidireccional.

A un dispositivo de control de corriente unidireccional se le conoce como **diodo**. Para todo propósito práctico, este flujo unidireccional está considerado como el equivalente de una corriente directa pulsante.

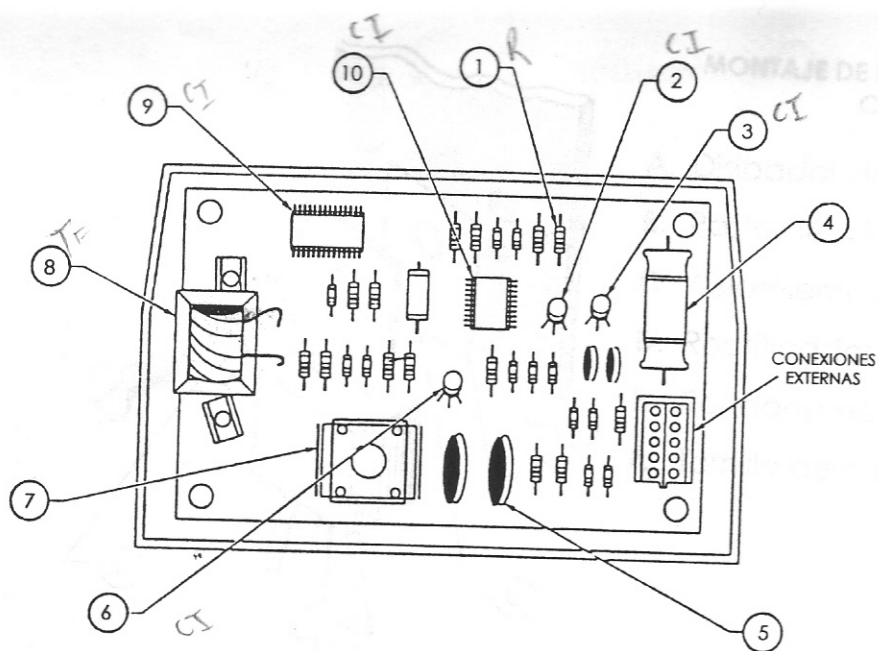
Este tipo de corriente directa es ampliamente usado en la industria, en aplicaciones como: motores de corriente directa para grúas, elevadores, molinos para rolado de acero, control para accionamiento de motores y equipo electrónico en general.



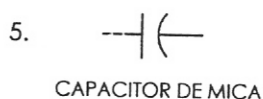
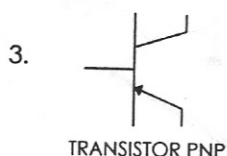
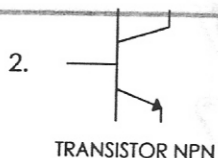
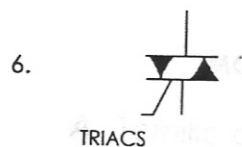
CORTE Y SÍMBOLO DE UN DIODO DE SILICIO



DISPOSITIVOS DE CONTROL A BASE DE SEMICONDUCTORES MONTADOS EN UN CIRCUITO IMPRESO

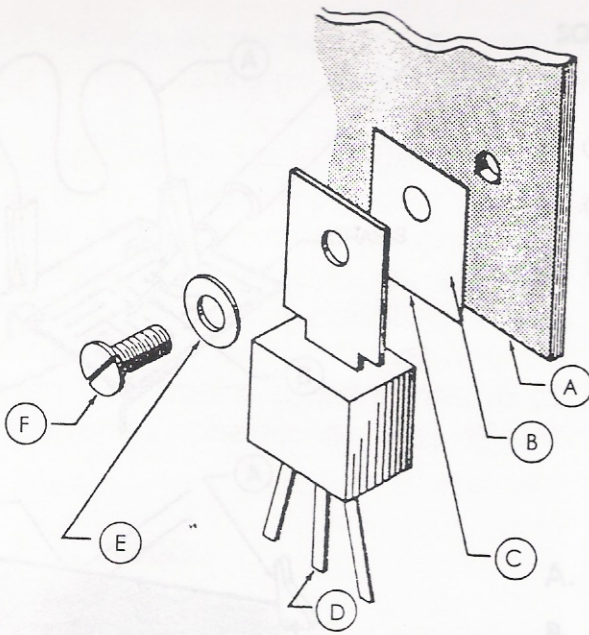


CIRCUITO IMPRESO Y COMPONENTES



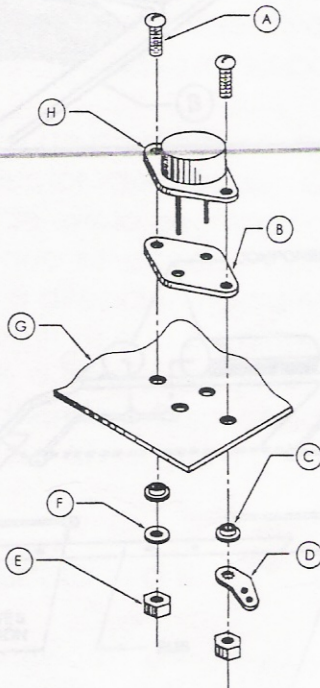
REPRESENTACIÓN DE COMPONENTES EN CIRCUITOS IMPRESOS Y SIMBOLOGÍA

MONTAJE DE RECTIFICADOR DE SILICIO CONTROLADO



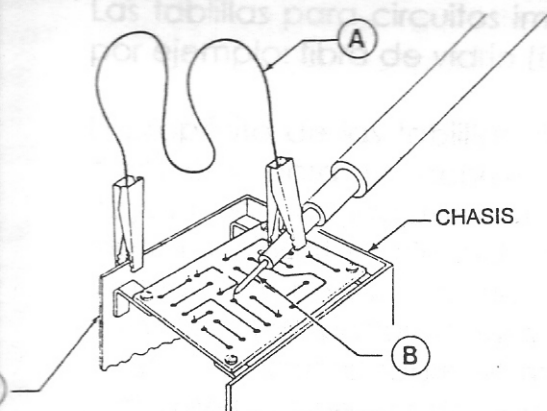
- A. Disipador de calor.
- B. Pasta de silicio (en ambos lados).
- C. Aislamientos de mica.
- D. Rectificador de silicio controlado.
- E. Rondana de respaldo de fibra.
- F. Tornillo de montaje.

MONTAJE DEL TRANSISTOR

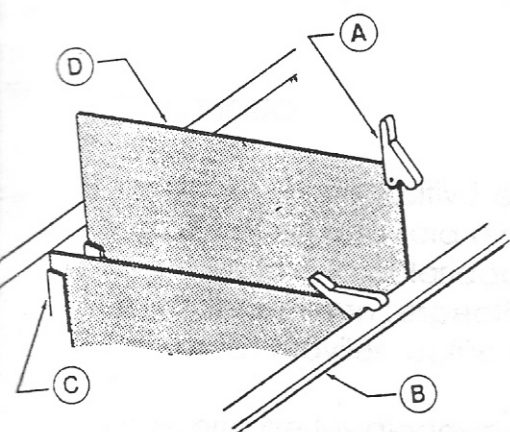


- A. Tornillo de montaje.
- B. Aislamiento de mica.
- C. Boquilla aislante.
- D. Enchufe de soldadura.
- E. Tuerca hexagonal.
- F. Rondana de seguridad.
- G. Chasis.
- H. Transistor.

SOLDADURA EN CIRCUITOS IMPRESOS

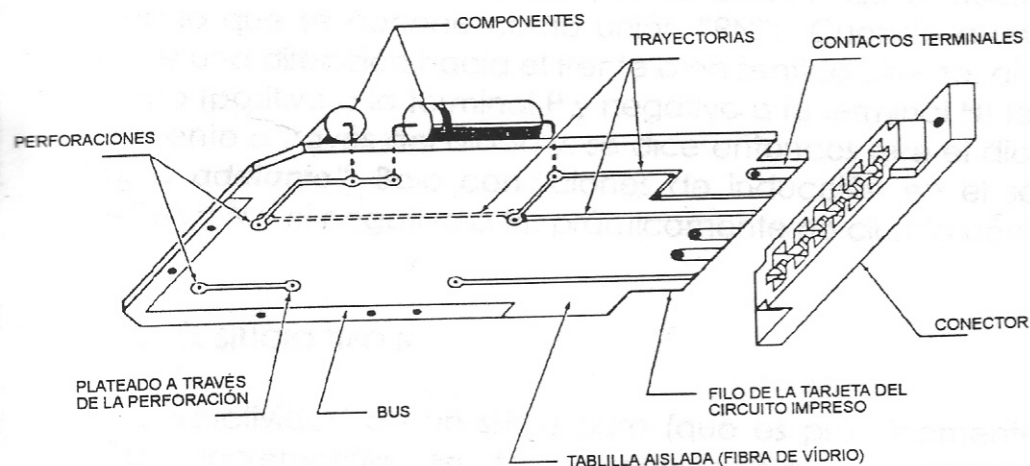


- A. Cable de tierra.
- B. Cautín de soldar.
- C. Chasis.



MONTAJE DE TARJETAS

- A. Fijador del tablero.
- B. Rack de montaje.
- C. Guía del circuito impreso.
- D. Tablilla del circuito impreso.



UN CIRCUITO IMPRESO ES UNA TABLILLA CONSTRUIDA DE UN MATERIAL AISLANTE COMO POR EJEMPLO FIBRA DE VÍDRIO, TRAYECTORIAS LAMINADAS Y TERMINALES DE CONEXIÓN

Las tablillas para circuitos impresos están hechas de material aislante, como por ejemplo: fibra de vidrio (fenólicas con trayectorias conductoras).

El propósito de las tablillas de circuitos impresos es proporcionar trayectorias eléctricas para la conexión de las componentes de un circuito. Las trayectorias conductoras están localizadas en uno o ambos lados del material aislante. Cuando se trata de circuitos complejos, se requiere de tablillas en capas construidas con varias trayectorias sobre el material aislante. Las perforaciones son normalmente plateadas, de manera que estén localizadas sobre el mismo plano. Estas perforaciones en las tablillas permiten la conexión de pequeños conductores.

4.2 EL DIODO

El diodo es un dispositivo electrónico que permite que la corriente circule a través de él en una sola dirección y, dependiendo de cómo esté conectado con respecto a la polaridad del voltaje que se le aplica. Tiene dos terminales que se denominan respectivamente ánodo (A) y cátodo (C), aún cuando no tiene partes móviles, actúa como un switch (interruptor) de alta velocidad.

La mayoría de los diodos son de estado sólido y se construyen de un material semiconductor de silicio. Cuando una placa extremadamente pura de material de silicio se modifica por la adición de materiales "impuros", se forma lo que se conoce como unión "PN". Cuando a una unión PN se le induce una dirección hacia el frente o en sentido directo, al aplicar un voltaje externo (positivo a la terminal P y negativo a la terminal N) la corriente circula fácilmente a través del diodo y, se dice entonces que el diodo está inducido "**hacia adelante**". Bajo condiciones de inducción en el sentido inverso (el positivo a **N** y el negativo a **P**), prácticamente no circula corriente.

4.2.1 EL SILICIO TIPO N

La conductividad de un silicio puro (que es prácticamente un aislador) se puede incrementar en forma significativa (de manera que sea un semiconductor), agregando algunos materiales (impurezas); en estas condiciones, al semiconductor se le denomina impuro. El comportamiento de estos semiconductores requiere de una explicación de la constitución de la materia.

Un átomo de silicio tiene 14 electrones en órbita alrededor de su núcleo positivo. La capa externa o valencia tiene 4 electrones, si esta capa externa pudiera obtener 4 electrones adicionales, quedaría reforzada y produciría un electrón de valencia fuerte; lo que representa como se forma un cristal de silicio por enlace o ligadura covalente.

El fósforo es un material pentavalente, lo que significa que tiene cinco electrones en su capa externa de valencia. Cuando se agrega un pequeño porcentaje de fósforo al silicio, los átomos de fósforo desplazan algunos de los átomos de silicio, y dado que sólo cuatro de los cinco electrones son necesarios para los propósitos de un enlace covalente, se "**cede**" un electrón a la estructura cristalina. El electrón formado se denomina del "Tipo N" o negativo, ya que ahora tiene más electrones libres que los que tenía cuando era silicio puro.

4.2.2 EL SILICIO TIPO P

La adición de una impureza trivalente, como es el caso del aluminio al silicio, dado que existen sólo tres electrones en la capa de valencia del aluminio, la sustitución de un átomo de silicio por uno de aluminio deja un enlace incompleto, este enlace se completa generalmente por átomo de silicio circundante, cediendo un electrón para este propósito. El átomo de aluminio adquiere una carga de frontera negativa, creándose de esta manera un "hueco" o "agujero" de donde viene este electrón.

En virtud de que el átomo de aluminio ha dejado agujeros que pueden aceptar electrones, el aluminio se conoce como un receptor de impurezas. La "impureza" del aluminio ha producido que el silicio "Tipo P" tenga muchos más agujeros que electrones libres.

4.2.3 LAS UNIONES P-N

La mayoría de los diodos modernos de unión P-N son el resultado de una capa de silicio tipo N y un óxido de un material de impureza como el aluminio. Juntos en el interior de un horno, cuando se alcanzan algunos cientos de grados centígrados, un gas de los átomos impuros se "difunde" en el interior del semiconductor tipo N, por lo que se forma una capa delgada del tipo P, resultando una unión P-N.

La unión P-N no se forma juntando dos piezas de materiales tipo P y N, debido a que no se puede obtener la unión "electrón-hueco" o "electrón-agujero" por medio de la superposición de dos placas fabricadas de semiconductores de distinto tipo de conducción, ya que entre las placas es inevitable la existencia de películas superficiales y de una capa de aire muy fina.

Cuando se aplica una fuente de voltaje a una unión P-N y el polo positivo se conecta a la región P y el negativo a la región N. El campo eléctrico de la fuente se debilita hasta un valor insignificante al disminuir la barrera potencial de la barrera P-N. Para la conexión inversa, cuando el polo negativo de una fuente de voltaje está conectada a la región P y el polo positivo a la región N, el campo exterior aumenta y aleja a los portadores de carga por ambos lados de la unión. De esta manera, a través de la unión P-N circula una pequeña corriente y, debido a ésta, la resistencia inversa del diodo semiconductor es una magnitud finita. La relación entre la resistencia inversa y la resistencia en sentido directo o hacia adelante, se le denomina "**coeficiente estático de rectificación**".

$$K_{\text{est. rect.}} = \frac{I_{\text{directa}}}{I_{\text{inversa}}} = \frac{r_{\text{inversa}}}{r_{\text{directa}}}$$

Las principales características de los diodos son las siguientes:

a) Voltaje inverso pico.

Un diodo sólo puede soportar tanto voltaje inverso antes de su ruptura dieléctrica, como sus características lo permitan. El voltaje inverso pico se encuentra generalmente dentro del rango de los 50 a los 2000 volts, dependiendo de su construcción. Si se excede el valor del voltaje inverso pico, el diodo comienza a conducir en el sentido inverso, y en muchos casos se destruye inmediatamente.

b) Corriente promedio máxima.

Existe también un límite de la corriente que un diodo puede conducir. La corriente máxima va en un rango de unos pocos cientos de miliamperes hasta más de 2000 amperes, dependiendo de la construcción y tamaño del diodo.

c) Temperatura máxima.

Un diodo nunca debe operar más allá de su temperatura nominal. La mayoría de los diodos de silicio pueden operar satisfactoriamente si su temperatura interna se encuentra entre $(-50^{\circ}\text{C}$ y $+200^{\circ}\text{C})$.

La temperatura de un diodo puede cambiar rápidamente, dependiendo principalmente de sus dimensiones (volumen y masa).

Para mejorar el calor transmitido, los diodos se montan normalmente sobre una base metálica delgada. En instalaciones grandes, los diodos se enfrían por medios externos, como: ventiladores, por flujo continuo de agua desionizada o aceite. En la tabla siguiente, se dan algunas de las propiedades más importantes de los tipos típicos de diodos.

TABLA 4.1
PROPIEDADES DE ALGUNOS DIODOS TÍPICOS

Potencia relativa	I_o Amp	E_o Volts	I_{CR} Amp	E_2 Volts	I_2	T_J $^{\circ}\text{C}$	d (mm)	L (mm)
Baja	1	0.8	30	1000	0.05	175	3.8	4.6
Media	12	0.6	240	1000	0.6	200	11	32
Alta	100	0.6	1600	1000	4.5	200	25	54
Muy alta	1000	1.1	10000	2000	50	200	47	26

Donde:

I_o = Corriente directa promedio.

E_o = Caída de voltaje correspondiente a I_o .

I_{CR} = Valor pico de la onda de corriente para 1 ciclo.

E_2 = Voltaje inverso (valor pico).

I_2 = Valor pico de la corriente inversa de dispersión correspondiente a E_2 .

T_J = Máxima temperatura de la unión
(en el interior del diodo).

www.milla20.blogspot.com

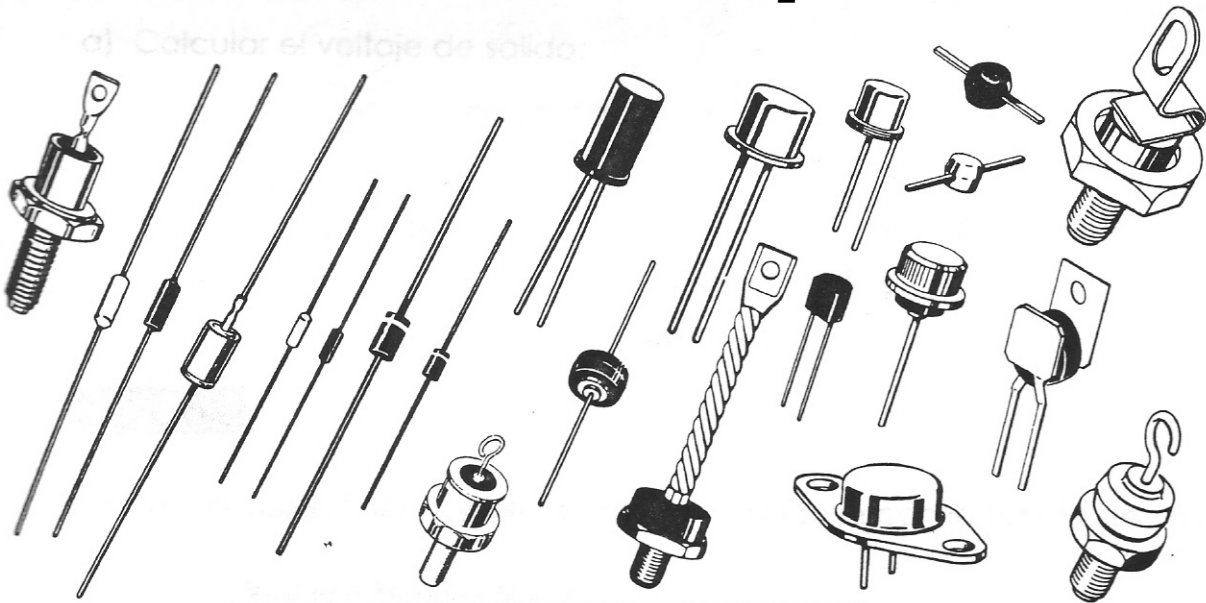
4.2.4 CARACTERÍSTICAS VOLTAJE - CORRIENTE DE UN DIODO

Las propiedades de conducción de un diodo en sentido directo o inverso, se pueden resumir gráficamente en una curva típica para un diodo de silicio. ***Voltaje de sentido directo de aproximadamente 0.6 volts, es requerido en la dirección directa antes que el diodo inicie la conducción.*** Esto se refiere como un voltaje de corte o de "rodilla" y es el requerido para reducir la barrera del potencial, de manera que se pueda iniciar la conducción a través de la unión.

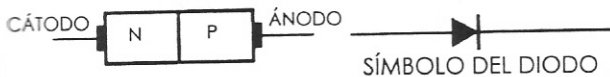
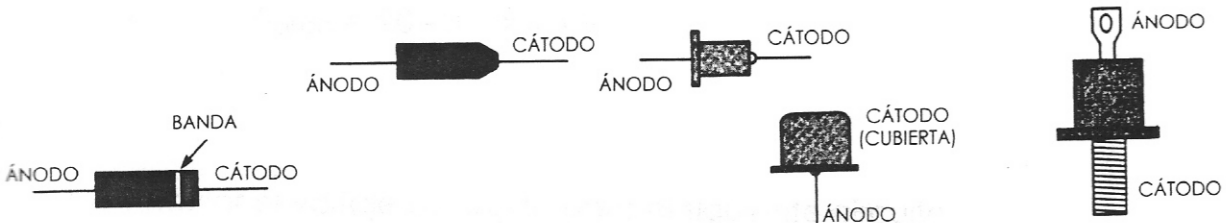
En el momento de "unirse juntos", algunos de los electrones libres en la región tipo **N** se difunden a través de la unión a la región de tipo **P** y se combinan con los agujeros. En forma similar, los agujeros se difunden del tipo **P** a la región de tipo **N** y se combina con los electrones. Este proceso establece una frontera no neutralizada de iones positivos y negativos en sentido opuesto a los lados de la unión. Estas cargas referidas como cargas no cubiertas significan que la región tipo **P** ha adquirido una carga negativa neta y la región tipo **N** una carga neta positiva e igual.

MECATRÓNICA_MVILLA

a) Calcular el voltaje de soldado



DISTINTOS TIPOS CONSTRUCTIVOS DE DIODOS

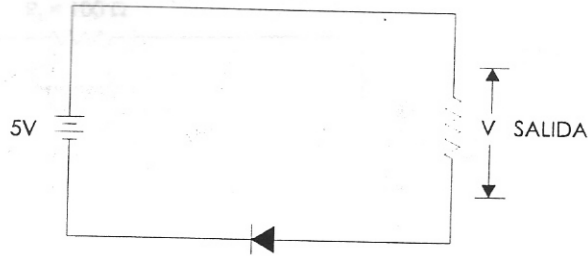


DIODOS SEMICONDUCTORES

EJEMPLO 4.1

En los siguientes circuitos, se supone que se tienen diodos de silicio con un voltaje de 0.6 V, resolver en cada caso lo requerido:

a) Calcular el voltaje de salida:



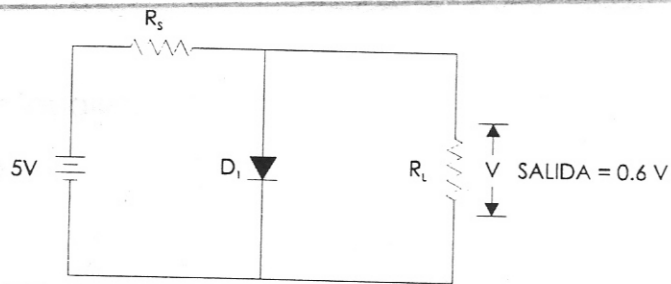
SOLUCIÓN

De diseño $V_{\text{diodo}} = 0.6 \text{ V}$ y está conectado en serie con la fuente del circuito.

$$V_{\text{salida}} = F_{\text{fuente}} - V_{\text{diodo}}$$

$$V_{\text{salida}} = 5.0 - 0.6 = 4.4 \text{ V}$$

b) Calcular el voltaje de salida para el siguiente circuito:

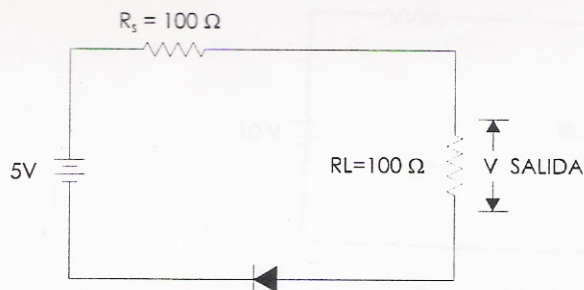


SOLUCIÓN

En el circuito, el diodo D_1 está en paralelo con la fuente y antes de la carga, por lo tanto:

$$V_{D1} = 0.60 = V_{\text{salida}}$$

c) Calcular el voltaje de salida para el siguiente circuito:



SOLUCIÓN

$$V_S = 5V$$

$$V_D = 0.6V$$

La caída de voltaje a través de las resistencias es:

$$V_{RS} + V_{RL} = V_S - V_D \quad \therefore V_{RS} + V_{RL} = 5V - 0.6V$$

$$V_{RS} + V_{RL} = 5.0 - 0.6 = 4.4 V$$

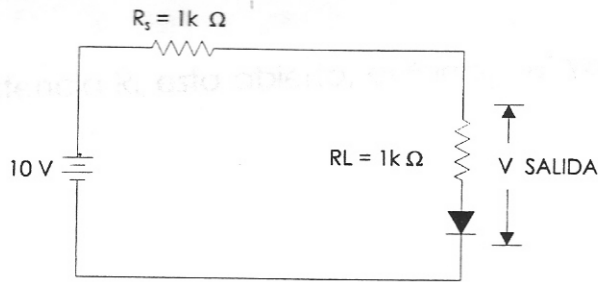
Como las resistencias son iguales:

$$R_S = R_L = 100 \Omega$$

El voltaje de salida es entonces:

$$V = \frac{4.4}{2} = 2.2 V$$

d) Calcular el voltaje de salida para el siguiente circuito:



SOLUCIÓN

El diodo está en serie con la resistencia R_L y con la fuente, por lo tanto:

$$V_S = V_{RL} + V_D$$

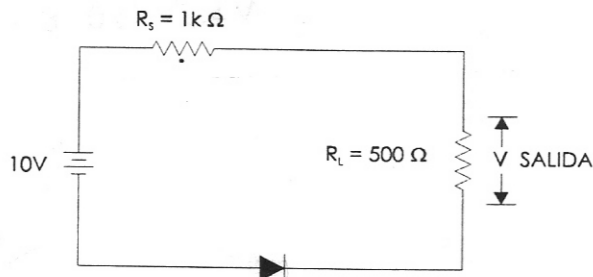
$$V_{RS} + V_{RL} = V_S - V_D$$
$$= 10.0 - 0.6V$$

$$V_{RS} + V_{RL} = 9.4V$$

$$V_S = V_{RL} + V_D = \frac{9.4}{2} + 0.6$$

$$V_S = 5.3V$$

e) Calcular el voltaje de salida para el siguiente circuito, donde el diodo está abierto:

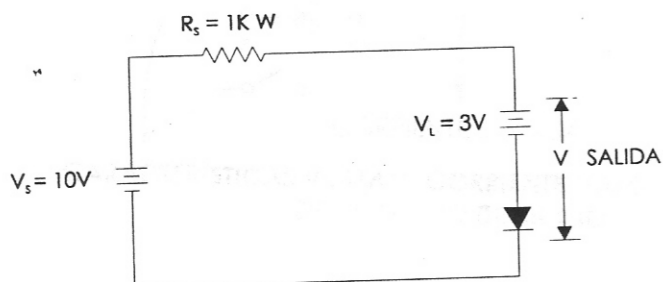


SOLUCIÓN**MECATRÓNICA_MILLA**

Como el diodo en serie con la resistencia R_L está abierto, entonces el voltaje de salida es cero:

$$V_S = 0$$

- e) Calcular el voltaje de salida para el siguiente circuito. Calcular también el voltaje a través de R_S .



$$-V_S + V_{RS} + V_L + V_D$$

$$V_{RS} = V_S - V_L - V_D$$

$$I = \frac{V_{RS}}{R_S} =$$

SOLUCIÓN

El diodo de 0.6 V está en serie con la fuente de 3V, por lo que:

$$V_S = V_L + V_D$$

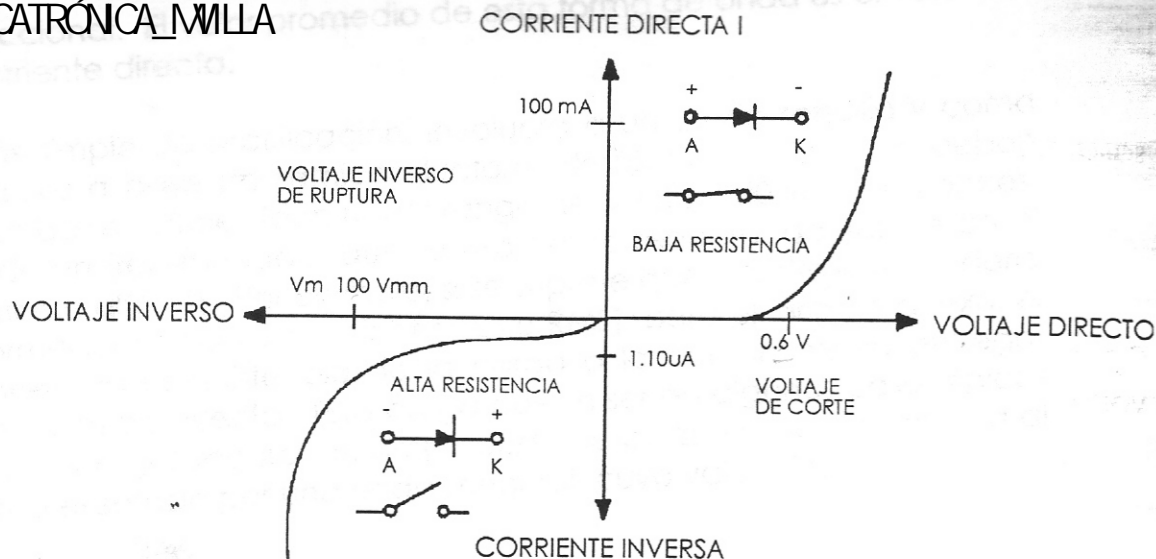
$$V_S = 3 + 0.6 = 3.6 \text{ V}$$

También:

$$V_{RS} = V_S - (V_L + V_D) = 10 - (3 + 0.6) = 6.4 \text{ V}$$

La corriente a través de R_S es:

$$I = \frac{V_{RS}}{R_S} = \frac{6.4}{1000} = 0.0064 \text{ A}$$



**CARACTERÍSTICAS VOLTAJE-CORRIENTE (DIRECTA E INVERSA)
DE UN DIODO DE SILICIO**

4.3 RECTIFICACIÓN

En los sistemas eléctricos de potencia o fuerza, es más eficiente y económico generar y transmitir corriente alterna (CA) que corriente directa (CD). Sin embargo, hay máquinas eléctricas y otros tipos de carga que requieren de CD para operar, por lo que es necesario cambiar de CA a CD, a este proceso se le conoce como **RECTIFICACIÓN**. Existen tres tipos básicos de rectificadores usados en fuentes de CD monofásicos y son: el rectificador de media onda, el rectificador de onda completa y rectificador de onda completa con puente rectificador.

4.3.1 RECTIFICACIÓN DE MEDIA ONDA

En electrónica, la mayoría del equipo debe operar alimentado de una fuente de corriente directa. En el equipo de tipo portátil se usan pilas, pero en general se debe proporcionar una fuente de suministro en corriente directa que se puede obtener de la rectificación de una fuente de corriente alterna. En el caso de México puede ser de 120 ó 127 volts a 60 Hz. El propósito de la fuente de suministro de potencia es convertir la corriente alterna en corriente directa. En virtud de que los diodos son sensitivos a la polaridad, se pueden usar para rectificar la forma de onda de corriente alterna en una forma de

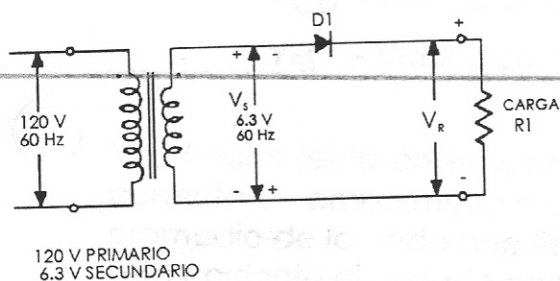
onda unidireccional. El valor promedio de esta forma de onda es el valor del voltaje en corriente directa.

La forma más simple de rectificación, involucra a un diodo sencillo y como muchos circuitos a base de semiconductores (transistores). Estos se deben alimentar con bajos voltajes (dentro del rango de 6 volts a 20 volts), entonces, se requiere de un transformador que se usa como reductor de voltaje en el lado de corriente alterna. Por ejemplo, si se supone que el voltaje secundario en el transformador es 6.3 volts (valor eficaz o RMS), para el circuito anexo, el valor R_L representa la resistencia de la carga a la que se desea entregar potencia en corriente directa. Esta carga puede ser en algunos casos típicos para un radio, una grabadora, un amplificador, etc. El voltaje de entrada al diodo está representado por una onda senoidal, cuyo valor pico es:

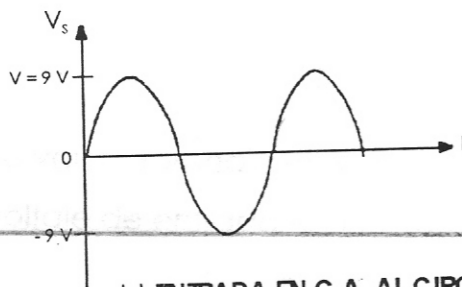
$$V_M = \sqrt{2} \times 6.3 = 8.9 \text{ volts}$$

$$V_{RMS} = \frac{V_M}{\sqrt{2}}$$

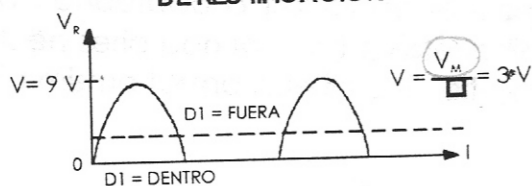
MECATRÓNICA MILLA



RECTIFICADOR DE 1/2 ONDA



b) ENTRADA EN C.A. AL CIRCUITO DE RECTIFICACIÓN



c) MEDIA ONDA RECTIFICADA

RECTIFICACIÓN DE MEDIA ONDA

En el medio ciclo positivo de V_s , el diodo $D1$ está orientado para la conducción hacia el frente y conduce, permitiendo que la corriente fluya hacia la resistencia R_L . Como una simplificación, se puede despreciar el voltaje de "corte" en el diodo y su resistencia. En este caso, el voltaje a través de la carga será la mitad de una onda senoidal de valor pico 9 volts.

Cuando el voltaje de entrada se invierte en polaridad (mostrado por los círculos con signos de polaridad), el diodo es dirigido en sentido inverso. Esta acción de bloqueo significa que no circula corriente y el voltaje a través de la carga es cero por medio ciclo. También se desprecia la pequeña corriente en sentido contrario que circula.

El voltaje de salida rectificado de media onda a través de la carga, se le llama algunas veces "**voltaje pulsante unidireccional**" y aún cuando no es "**suave**", la forma de onda contiene o es considerada como de corriente directa, y es bastante satisfactoria para algunas aplicaciones, tales como: cargadores de baterías o alimentación a motores de C.D.

El valor promedio de la forma de onda rectificada se puede demostrar que es:

$$V_{CD} = \frac{V_M}{\pi} \text{ volts}$$

MECATRÓNICA_MILLA

Donde:

V_{CD} = Voltaje en C.D. o valor promedio en volts.

V_M = Valor pico del voltaje de entrada en volts.

V_{CD} I valor leído en el voltmetro conectado a través de la carga R_L . Si se conecta un amperímetro de C.D. en serie con la carga, éste indicará el valor promedio de la onda que tiene la misma forma que la del voltaje. El valor de esta corriente está dado como:

$$I_{CD} = \frac{I_M}{\pi} \text{ (amperes)}$$

O por:

$$I_{CD} = \frac{V_{CD}}{R_L} \text{ (amperes)}$$

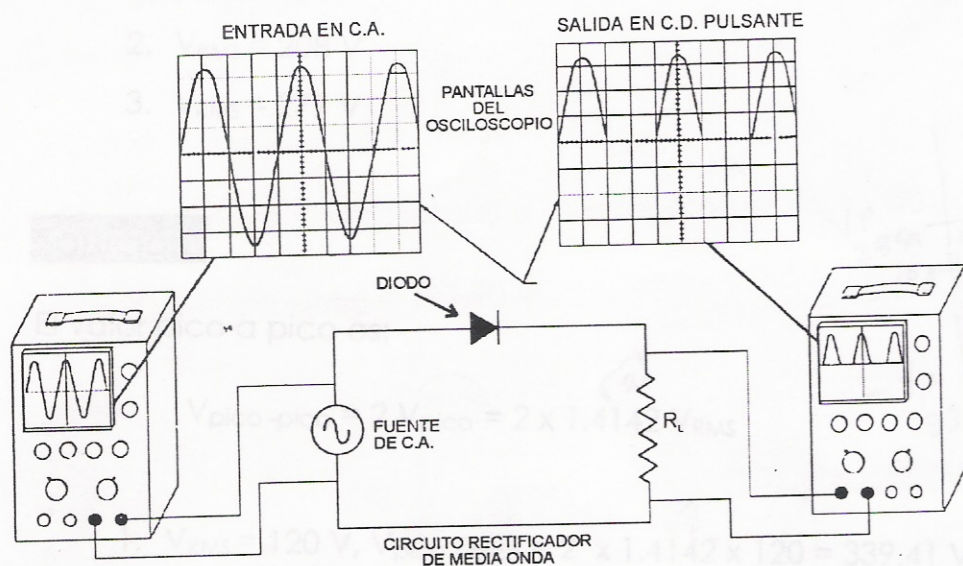
Donde:

I_{CD} = Corriente directa o promedio en ampere.

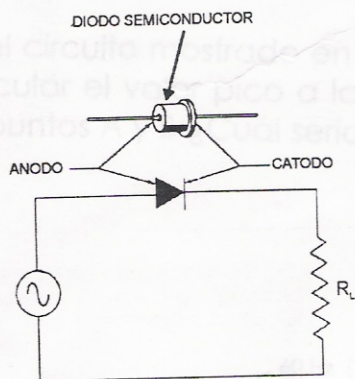
I_M = Valor pico de la corriente en amperes.

R_L = Resistencia de carga ohms.

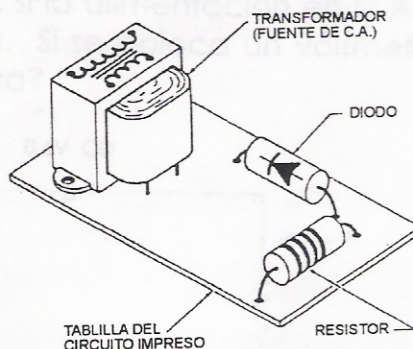
MECATRÓNICA_MILLA



El rectificador de media onda es una combinación de una resistencia de carga y un diodo a través de una fuente de C.A. cuando opera en forma apropiada el voltaje de salida se cortará a la mitad o será rectificado. Como la señal viaja ahora en una sola dirección, se clasifica como C.D. pulsante.



EL CIRCUITO RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA ES LA FORMA MÁS SIMPLE DE UN CIRCUITO RECTIFICADOR



UN RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA SE PUEDE MONTAR SOBRE UNA TABLILLA DE CIRCUITO IMPRESO CON UN TRANSFORMADOR COMO LA FUENTE DE C.A.

EJEMPLO 4.2

Convertir los siguientes valores eficaces (RMS) a valores pico-pico:

1. $V_{RMS} = 120 \text{ V}$

2. $V_{RMS} = 208 \text{ V}$

3. $V_{RMS} = 277 \text{ V}$

MECATRÓNICA_MILLA

SOLUCIÓN

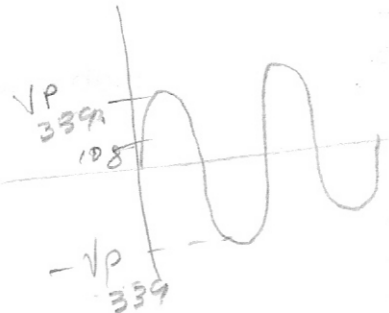
El valor pico a pico es:

$$V_{\text{pico-pico}} = 2 V_{\text{pico}} = 2 \times 1.4142 V_{RMS}$$

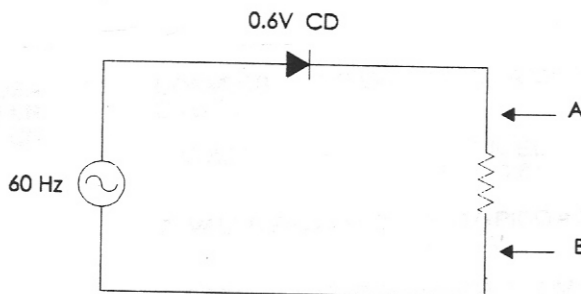
1. $V_{RMS} = 120 \text{ V}$, $V_{\text{pico-pico}} = 2 \times 1.4142 \times 120 = 339.41 \text{ V}$

2. $V_{RMS} = 208 \text{ V}$, $V_{\text{pico-pico}} = 2 \times 1.4142 \times 208 = 588.30 \text{ V}$

3. $V_{RMS} = 277 \text{ V}$, $V_{\text{pico-pico}} = 2 \times 1.4142 \times 277 = 783.47 \text{ V}$

**EJEMPLO 4.3**

En el circuito mostrado en la figura, si la alimentación en C.A. fuera de 220 V. Calcular el valor pico a la entrada. Si se coloca un voltmetro de C.D. entre los puntos A y B ¿Cuál sería la lectura?



SOLUCIÓN

MECATRÓNICA_MILLA

a) Con un valor $V_{RMS} = 220\text{ V}$, el valor pico es:

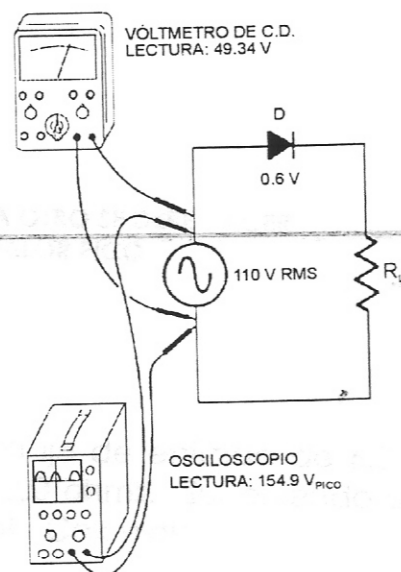
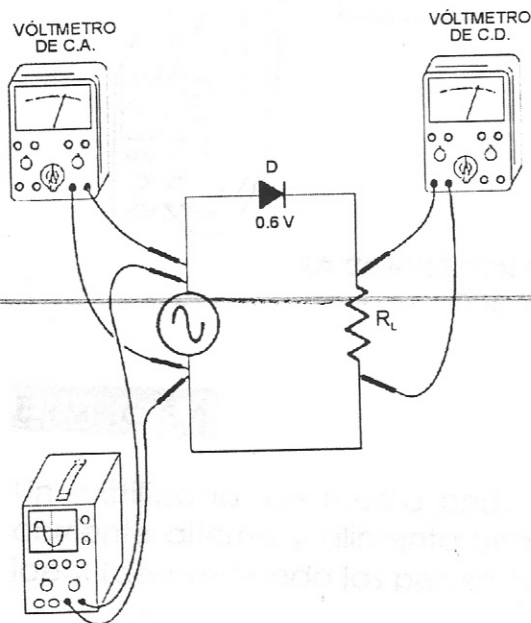
$$V_{pico} = 1.4142 \times V_{RMS} = 1.4142 \times 220 = 311.12$$

b) En C.D. se tiene:

$$V_{AB} = 311.12 - 0.6 = 310.52\text{ V}$$

El valor leído entre A y B correspondería al valor promedio, es decir:

$$V_{AB} = V_{PROMEDIO} = 197.90\text{ V}$$



EN UN CIRCUITO RECTIFICADOR SE USA GENERALMENTE PARA TOMAR MEDICIONES UN VÓLTMETRO O UN OSCILOSCOPIO

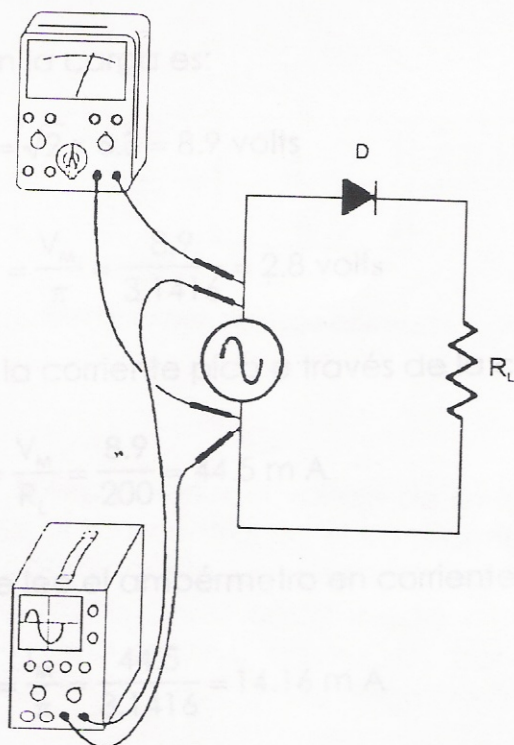
CONVERSIÓN DE VALOR PICO A VALOR PROMEDIO EN C.D.

$$1. \text{VOLTAJE PICO - VOLTAJE EN EL DIODO} = 155.5 - 0.6 = 154.9\text{ V}$$

$$2. \text{VALOR PROMEDIO} = 0.637 \times \text{PICO} = 0.637 \times 154.9\text{ V} = 98.67\text{ V}$$

$$3. \text{PROMEDIO EN C.D.} = \text{VALOR PROMEDIO} / 2 = 98.67 / 2 = 49.34\text{ V}$$

LA LECTURA EN EL VÓLTMETRO DE C.A.: 110 Vrms (EFICAZ)



$$1. \text{ Pico} = \frac{\text{Pico} - \text{Pico}}{2} \\ = \frac{311}{2} = 155.5\text{V}$$

$$2. \text{ Eficaz} = 0.707 \times \text{Pico} \\ = 0.707 \times 155.5 \\ = 109.94 \text{ V} \\ \approx 110 \text{ V}$$

LA CONVERSIÓN DE UN VALOR A OTRO SE DEBE HACER
CON RELACIÓN AL VALOR PICO

EJEMPLO 4.4

Un rectificador de media onda tiene un voltaje de entrada de 6.3 volts en corriente alterna y alimenta una carga de 200 ohms. Suponiendo un diodo ideal (despreciando las pérdidas en el diodo). Calcular:

- El voltaje en corriente directa a través de la carga.
- El valor de corriente pico a través de la carga.
- El valor que lee el amperímetro de C.D., que está en serie con la carga.
- La potencia en corriente directa que se entrega a la carga.

SOLUCIÓN

a) El voltaje en la carga es:

$$V_M = \sqrt{2} \times 6.3 = 8.9 \text{ volts}$$

$$V_{CD} = \frac{V_M}{\pi} = \frac{8.9}{3.1416} = 2.8 \text{ volts}$$

b) El valor de la corriente pico a través de la carga es:

$$I_M = \frac{V_M}{R_L} = \frac{8.9}{200} = 44.5 \text{ m A}$$

c) El valor que lee el amperímetro en corriente directa es:

$$I_{CD} = \frac{I_M}{\pi} = \frac{44.5}{3.1416} = 14.16 \text{ m A}$$

d) La potencia entregada a la carga en C.D. es:

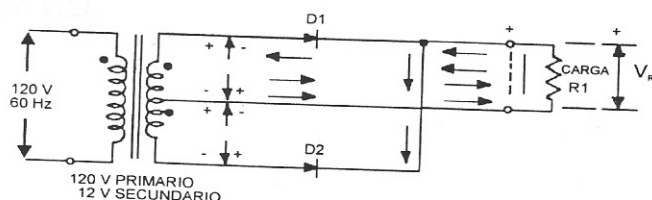
$$\begin{aligned} P_{CD} &= V_{CD} I_{CD} = 2.8 \times 0.01416 = 0.0396 \text{ watts} \\ &= 39.6 \text{ m watts} \end{aligned}$$

4.3.2 RECTIFICACIÓN DE ONDA COMPLETA

La llamada rectificación de onda completa se puede hacer de distintas formas, una es mediante el uso de dos diodos con un transformador similar al usado en el rectificador de media onda, pero con un tap en el devanado secundario en la parte central, que proporciona una trayectoria de retorno común, como se muestra en la figura siguiente:

MECATRÓNICA MILLA

MECATRÓNICA MILLA



RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA



ENTRADA EN C.A. AL CIRCUITO DE RECTIFICACIÓN



ONDA RECTIFICADA A LA CARGA

En la figura anterior el voltaje de línea a línea es 12.6 volts, de manera que el voltaje al tap central en el transformador es 6.3 volts, es decir este circuito es una combinación de dos circuitos rectificadores de media onda con un diodo, rectificando cada medio ciclo de voltaje de entrada. En el primer medio ciclo positivo de V_M , D_1 conduce y D_2 está en sentido contrario y abierto. En el medio ciclo negativo D_1 está abierto y D_2 conduce.

La forma de onda de voltaje a través de la carga se indica también en la figura anterior. Resulta evidente ahora que la salida de voltaje de onda completa promedio es el doble de la obtenida con un rectificador de media onda.

$$V_{CD} = \frac{2 V_M}{\pi} \text{ (volts)}$$

$$I_{CD} = \frac{2 I_M}{\pi} \text{ (amperes)}$$

Donde:

V_{CD} = Voltaje promedio o voltaje en C.D. en volts.

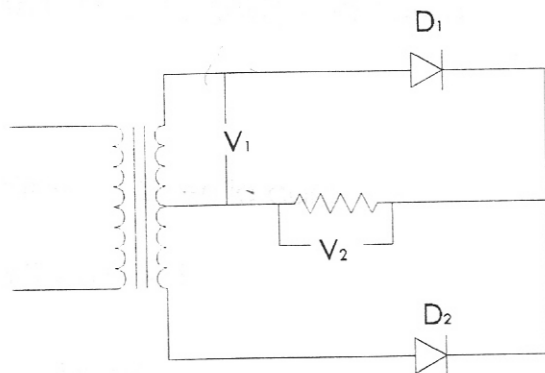
V_M = Valor pico del voltaje en C.A. de entrada en volts.

I_{CD} = Valor de corriente directa (C.D.) en la carga expresada en amperes.

I_M = Valor pico de la corriente de carga (en el lado de C.A.) en amperes.

EJEMPLO 4.5

Para el circuito mostrado en la figura, si $V_1 = 72 \text{ V}_{\text{RMS}}$, calcular el voltaje de salida de V_2 en CD.

**SOLUCIÓN**

El circuito anterior corresponde a un rectificador de onda completa, donde la salida debe ser aproximadamente el 90% del valor eficaz (RMS) de C.A., menos el voltaje a través del diodo.

$$V_1 = 72 \text{ V}_{\text{RMS}}$$

$$V_{\text{RMS}} \times 0.9 = 72 \times 0.9 = 64.8 \text{ V}$$

$$V_2 = 64.8 - 0.6$$

$$V_2 = 64.2 \text{ V}_{\text{CD}}$$

EJEMPLO 4.6

Se tiene un rectificador de onda completa a base de un transformador con 120 volts en el primario, 12.6 volts en el secundario y tap (derivación) en el centro de este devanado usando dos diodos. Despreciando las pérdidas en los diodos, si se alimenta una carga de 200 ohms. Calcular:

- a) El valor de voltaje (promedio) en C.D. en la carga.
- b) El valor pico de la corriente a través de la carga.
- c) La lectura de la corriente directa en la carga.
- d) La potencia en C.D. entregada a la carga.

SOLUCIÓN

MECATRÓNICA_MILLA

- a) El valor de voltaje en C.D. en la carga es:

$$V_M = \sqrt{2} \times 6.3 = 8.9 \text{ volts}$$

$$V_{CD} = \frac{2 V_M}{\pi} = \frac{2 \times 8.9}{3.1416} = 5.7 \text{ volts}$$

- b) El valor pico de la corriente es:

$$I_M = \frac{V_M}{R_C} = \frac{8.9}{200} = 44.5 \text{ m A}$$

- c) El valor de la corriente en la carga es:

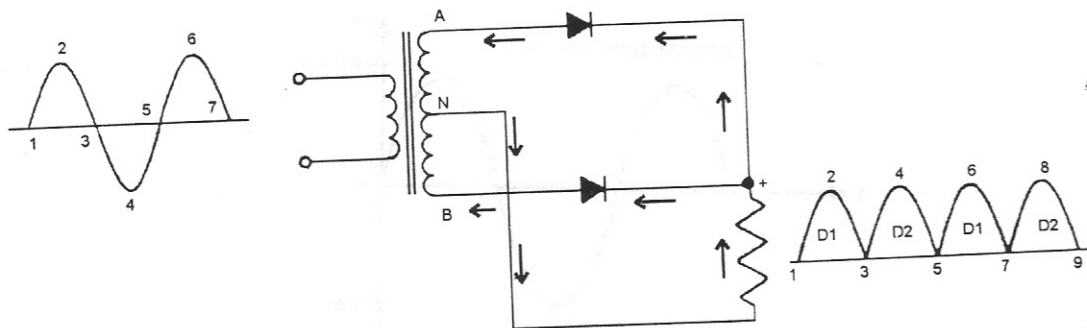
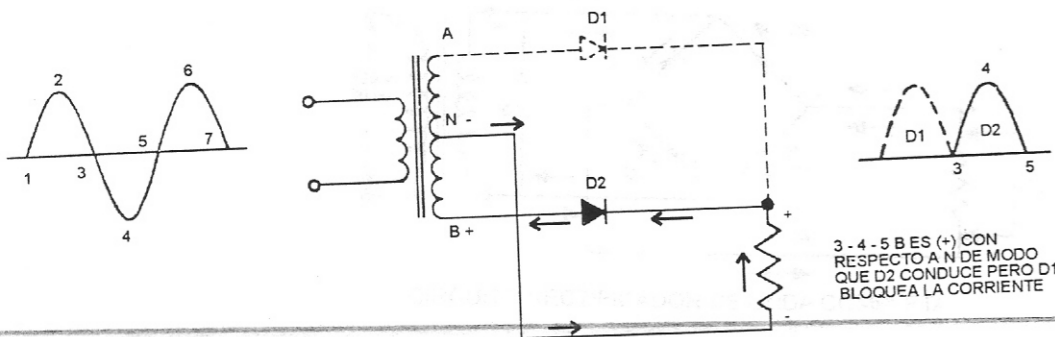
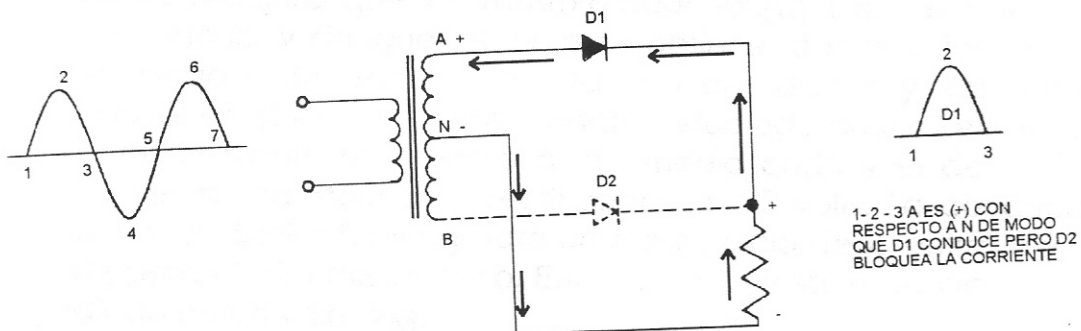
$$I_{CD} = \frac{2 I_M}{\pi} = \frac{2 \times 44.5}{3.1416} = 28.32 \text{ m A}$$

- d) La potencia entregada a la carga es:

$$P_{CD} = V_{CD} I_{CD} = 5.7 \times 0.02832 = 0.1614 \text{ watts}$$

4.3.3 RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA CON PUENTE RECTIFICADOR

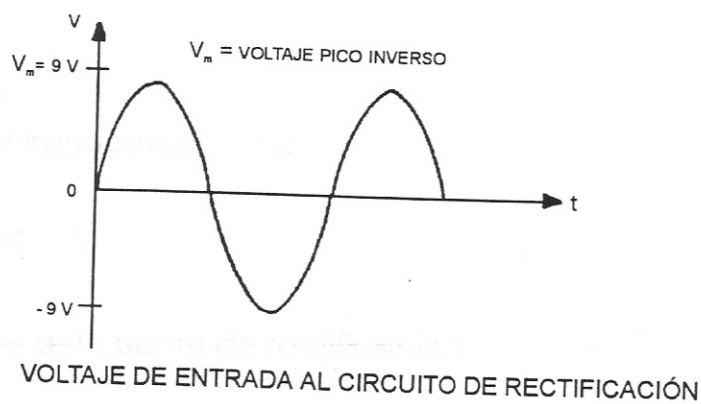
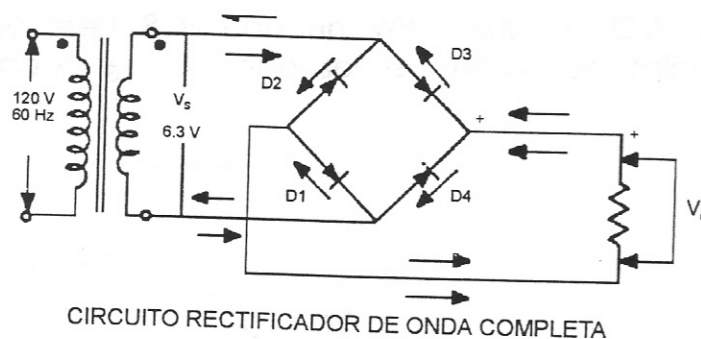
MECATRÓNICA_MILLA

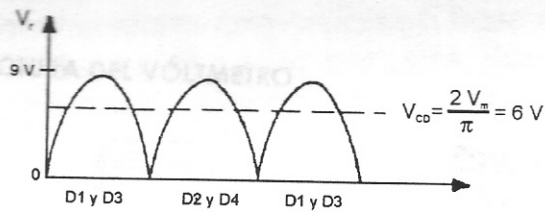


OPERACIÓN DE UN TRANSFORMADOR CON TAP CENTRAL
ALIMENTANDO A UN RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA

4.3.3 RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA CON PUENTE RECTIFICADOR

Si se usan cuatro diodos en una configuración en forma de puente, entonces, no se requiere que el transformador tenga Tap central en su devanado secundario, y de igual manera se obtiene la misma forma de onda que el rectificador de onda completa con dos diodos y transformador con tap central en el devanado secundario estudiado antes. Refiriéndose a los casos anteriores para el rectificador de media onda y el de onda completa, la salida del transformador rectificador es 6.3 volts. La conducción se alterna entre los diodos D_1 y D_3 para un medio ciclo de la entrada y los diodos D_2 y D_4 para el otro medio ciclo. Esto causa un voltaje de pico inverso para cada diodo de un valor V_M .





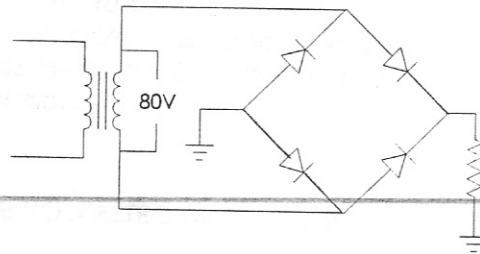
VOLTAJE RECTIFICADO

RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA CON PUENTE

MECATRÓNICA_MILLA

EJEMPLO 4.7

En el circuito mostrado, se leen 80V con un voltmetro de C.A. en el secundario del transformador, ¿cuál debe ser el voltaje de salida del rectificador?



SOLUCIÓN

El valor pico a la salida del transformador es:

$$V_{\text{PICO}} = \frac{80}{0.7071} = 113.14 \text{ V}$$

Restando el voltaje a través del puente de rectificación:

$$V_{\text{PICO}} - 2 \times 0.6 = 113.14 - 1.2 = 111.94 \text{ V}$$

El valor de salida del rectificador debe ser el valor promedio, es decir:

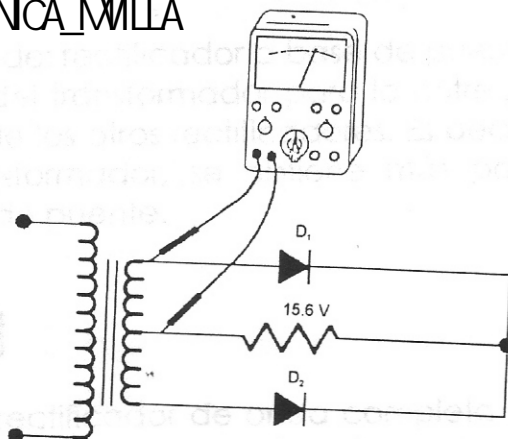
$$V_s = 0.637 \times 111.94$$

$$V_s = 71.305 \text{ volts}$$

LECTURA DEL VÓLTMETRO

ONDA COMPLETA

MECATRÓNICA MILLA



La salida de un rectificador de onda completa debe ser aproximadamente el 90% del valor eficaz (RMS) de C.A. menos el 0.6 volt a través del diodo

Paso 1.

Medición del voltaje de línea de un lado del transformador con tap en el centro.

Paso 2.

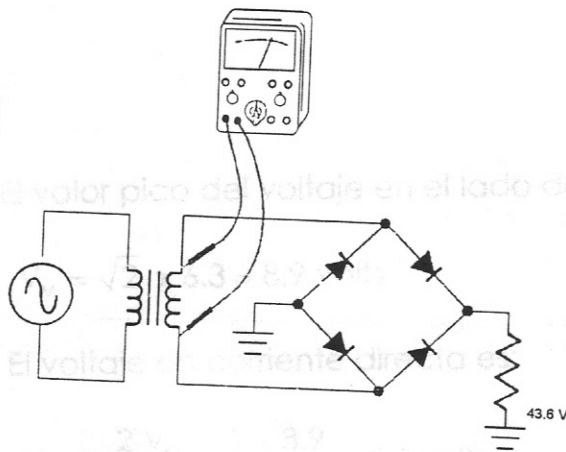
Valor eficaz x 90%
 $= 18 \times 0.90 = 16.2 \text{ V}$

Paso 3.

Restar 0.6 V (caída de voltaje en el diodo) del paso anterior:
 $16.2 - 0.6 = 15.6 \text{ V}$

LECTURA DE VÓLTMETRO DE C.A. 50 V

PUENTE DE ONDA COMPLETA



La salida de un puente rectificador de onda completa debe ser aproximadamente el 90% del valor eficaz (RMS) de la entrada en C.A. menos la caída de voltaje a través de los dos diodos.

Salida de Voltaje en C.D.**Paso 1.**

Medir el voltaje de línea a través del circuito del puente.

Paso 2.

Valor eficaz x 90%
 $= 50 \times 0.9 = 45 \text{ V}$

Paso 3.

Restar la caída del voltaje (1.2 V) del diodo del valor obtenido en el paso 2, que es : $45.0 - 1.2 = 43.8 \text{ V}$

Por conveniencia, los rectificadores comerciales a base de puente contienen cuatro diodos encapsulados en el mismo paquete, con dos terminales para la entrada en corriente alterna (C.A.) y dos para la salida en (C.D.).

Una ventaja del rectificador a base de puente de diodos, es el mayor uso del secundario del transformador para la entrega de corriente, comparado con cualquiera de los otros rectificadores. Es decir, para una capacidad dada en VA del transformador, se obtiene más potencia en C.D. con el circuito rectificador de puente.

MECATRÓNICA MILLA

EJEMPLO 4.8

Se tiene un rectificador de onda completa a base de un puente de diodos, se alimenta al puente de un transformador con 120 volts en el primario y 6.3 volts en el secundario. Si se desprecian las pérdidas en los diodos y se alimenta una carga de 200 ohms. Calcular:

- a) El voltaje en C.D. en la carga.
- b) La corriente a la carga.
- c) La potencia entregada a la carga en C.D.
- d) El voltaje de pico inverso.

SOLUCIÓN

- a) El valor pico del voltaje en el lado de corriente alterna es:

$$V_M = \sqrt{2} \times 6.3 = 8.9 \text{ volts}$$

El voltaje en corriente directa es:

MECATRÓNICA MILLA

$$V_{CD} = \frac{2 V_M}{\pi} = \frac{2 \times 8.9}{3.1416} = 5.7 \text{ volts}$$

b) La corriente alimentada a la carga es:

$$I_{CD} = \frac{V_{CD}}{R_C} = \frac{5.7}{200} = 28.5 \text{ m A}$$

c) La potencia a la carga es:

$$P_{CO} = V_{CD} I_{CD} = 5.7 \times 0.0285 = 0.16245 \text{ watts}$$

d) El voltaje inverso pico es:

$$VIP = V_M = 8.9 \text{ volts}$$

EJEMPLO 4.9

Una fuente de C.A. tiene un valor eficaz de 120 volts, 60 Hz. la carga alimentada en el lado de corriente directa del rectificador de puente a base de diodos es de 20 A. Calcular:

a) El voltaje en C.D. en el lado de la carga.

b) La corriente promedio en C.D. en cada diodo.

SOLUCIÓN

$$a) V_{CD} = \frac{2 \times \sqrt{2}}{p} \times V = \frac{2 \times \sqrt{2}}{p} \times 120 = 108 \text{ volts}$$

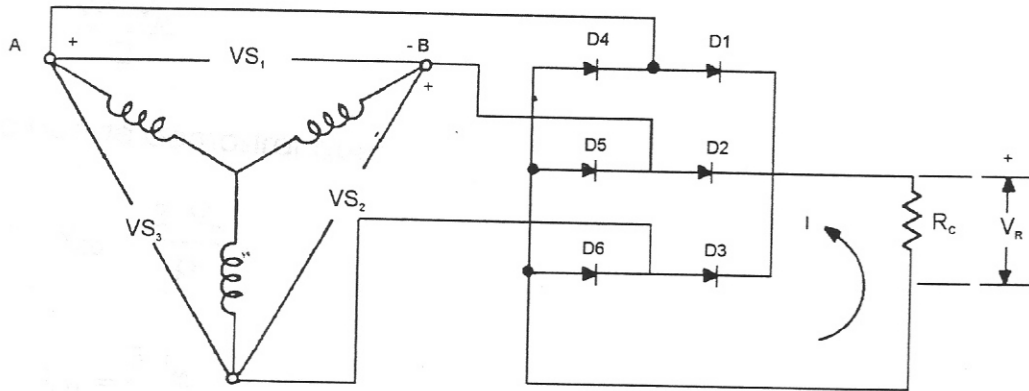
b) Para una corriente en la carga de 20 A en C.D., la corriente en cada diodo es:

$$I = \frac{I_{CD}}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ A}$$

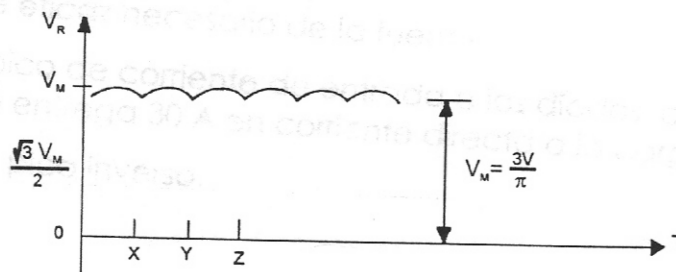
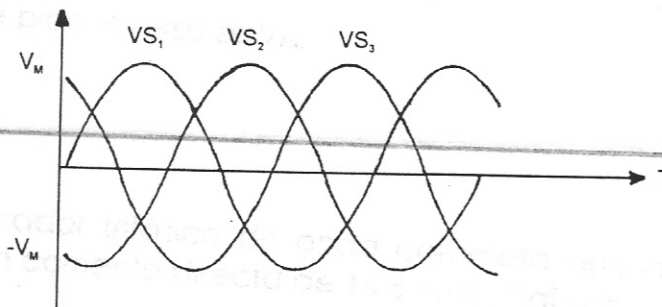
4.4 RECTIFICACIÓN TRIFÁSICA DE ONDA COMPLETA

MECATRÓNICA_MILLA

En la llamada electrónica de potencia, los diodos encuentran aplicaciones importantes en la rectificación trifásica. En este caso, como hay tres fases, se requieren seis diodos como se muestra en la figura:



CIRCUITO DE UN RECTIFICADOR TRIFÁSICO DE ONDA COMPLETA



FORMA DE ONDA A LA SALIDA DEL RECTIFICADOR

En la figura anterior, si se considera el intervalo de X a Y, VS_2 es negativa, lo cual quiere decir que la corriente circulará desde B a través de D_5 y la carga, y regresará a través de D_1 hacia A (VS_1 es positiva). De Y a Z, VS_3 se

encuentra cerca de su máximo negativo, lo que significa que C es negativa con respecto a A, en consecuencia, la corriente circula fuera de C a través de D₆ y la carga, y regresa a través de D₁ nuevamente hacia el interior de A, debido a esto, los períodos de conducción son de sólo 60°. El voltaje de salida nunca debe estar debajo de:

$$\frac{\sqrt{3} V_M}{2}$$

MECATRÓNICA_MILLA

Se puede demostrar que:

$$V_{CD} = \frac{3 V_C}{p}$$

$$I_{CD} = \frac{3 I_M}{p}$$

También el voltaje pico inverso es V_M .

EJEMPLO 4.10

Se tiene un rectificador trifásico de onda completa que debe entregar un voltaje de salida en corriente directa de 14.5 volts. Calcular:

- El voltaje eficaz necesario de la fuente.
- El valor pico de corriente de entrada a los diodos, cuando la fuente entrega 30 A en corriente directa a la carga.
- El voltaje pico inverso.

SOLUCIÓN

- El voltaje eficaz se determina a partir de:

$$V_{CD} = \frac{3V_M}{p}$$

De donde:

MECATRÓNICA_MILLA

$$V_M = \frac{p}{3} \times V_{CD}$$

$$V_M = \frac{p \times 14.5}{3} = 15.2 \text{ volts}$$

El valor eficaz es entonces:

$$V_{MS} = \frac{V_M}{\sqrt{2}} = \frac{15.2}{\sqrt{2}} = 10.7 \text{ volts}$$

b) El valor pico de la corriente se obtiene a partir de la expresión:

$$I_{CD} = \frac{3I_M}{p} ; I_M = \frac{p \times I_{CD}}{3}$$

$$I_M = \frac{p}{3} \times 30 = 31.41 \text{ amperes}$$

c) El voltaje pico inverso es:

$$V_{PIV} = V_M = 15.2 \text{ volts}$$

4.5. EL FILTRADO DE ONDAS RECTIFICADAS

Los circuitos de rectificación que se han estudiado producen voltajes y corrientes pulsantes. En algunos tipos de cargas, estas pulsaciones no son tolerables y se deben usar algunos filtros para suavizar el rizo de la onda rectificada. El propósito básico de un filtro de C.D. es proporcionar una onda rectificada suavizada a la carga. Un filtro debe absorber energía cuando el voltaje o la corriente en C.D. tiende a incrementarse y entregar energía cuando el voltaje o la corriente directa tienden a disminuir. De esta manera, el filtro mantiene un voltaje y corriente constantes a la carga.

Los tipos más comunes de filtros son los denominados **inductivo y capacitivo**. Los inductivos a base de bobinas almacenan energía en su campo

Donde: magnético y tienden a mantener la corriente constante, en consecuencia, se deben instalar en serie con la carga. Los filtros capacitivos almacenan energía en su campo eléctrico y tienden a mantener un voltaje constante, por lo tanto, se instalan en paralelo con la carga.

La acción del filtrado se mejora en la medida que se incrementa la cantidad de energía almacenada en el filtro. En el caso de una inductancia se obtiene un buen suavizamiento en la corriente (el valor del rizo de pico a pico es menor del 5% en C.D.) si se cumple la condición.

$$W_L > P / f$$

Donde:

W_L = Energía almacenada en el inductor en C.D. (joules).

P = Potencia absorbida por la carga en C.D. (watts).

f = Frecuencia de la fuente en hertz.

4.5.1 EL FACTOR DE RIZO

La correcta operación o éxito de un filtro se mide por el factor de rizo que se define como:

$$r = \frac{V_{\text{eficaz}} \text{ o rms}}{V_{\text{CD}}}$$

Donde:

MECATRÓNICA_MILLA

r = Factor de rizo (sin dimensiones).

V_{eficaz} = Valor eficaz del voltaje de rizo en volts.

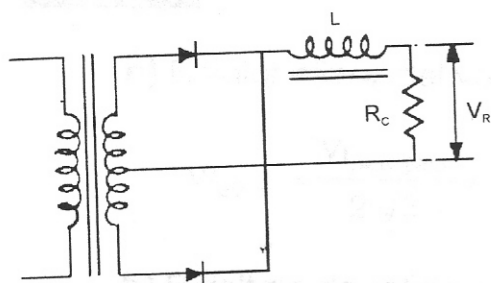
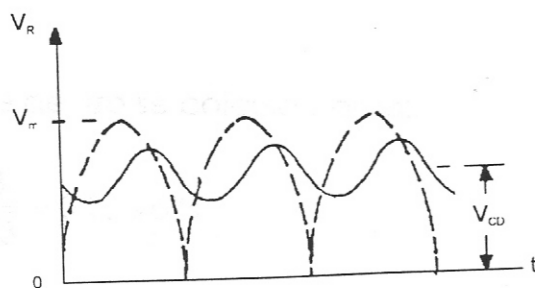
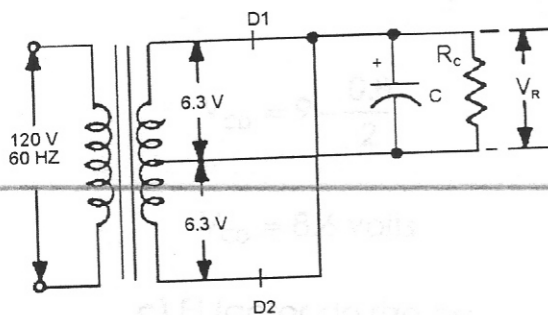
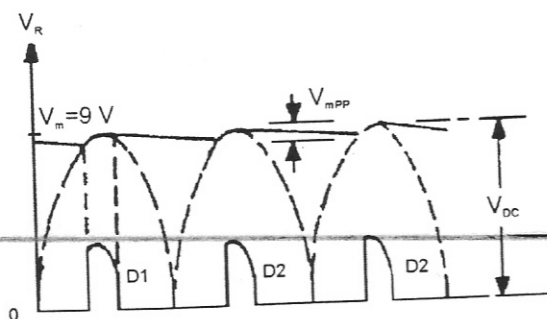
V_{CD} = Voltaje de salida del rectificador en C.A.

Para un filtro con capacitor, el factor de rizo es aproximadamente de forma triangular, con un valor eficaz de:

$$V_{r_{\text{eficaz}}} = \frac{V_{r_{\text{pico-pico}}}}{2\sqrt{3}} \text{ volts}$$

MECATRÓNICA_MILLA

Donde:

 V_{reficaz} = Valor eficaz del voltaje de rizo en volts. $V_{\text{pico-pico}}$ = Valor pico a pico del voltaje de rizo en volts.RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA
CON FILTRO INDUCTIVOVOLTAJE DE SALIDA FILTRADO MOSTRANDO EL
VALOR PROMEDIO EN C.D.RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA
CON FILTRO CAPACITIVO

PULSOS DE CORRIENTE POR DIODOS

VOLTAJE DE SALIDA MOSTRANDO EL
VOLTAJE DE RIZO DE PICO A PICO

EJEMPLO 4.11

Un rectificador de onda completa alimenta una carga de 100 ohms con un filtro a base de capacitor de 1000 microfarads. La salida tiene un valor de 9 volts pico y un voltaje rizo de pico a pico de 0.8 volts. Calcular:

- a) El valor eficaz del voltaje de rizo.
 b) El voltaje de salida en C.D.
 c) El Factor de rizo.

SOLUCIÓN

- a) El valor eficaz del voltaje de rizo se calcula como:

$$V_{r_{\text{eficaz}}} = \frac{V_{r_{\text{pico-pico}}}}{2\sqrt{3}} = \frac{0.8}{2\sqrt{3}} = 0.23 \text{ volts}$$

- b) El voltaje de salida en C.D. es:

$$V_{CD} = V_M - \left(\frac{V_{r_{\text{pico-pico}}}}{2} \right)$$

$$V_{CD} = 9 - \frac{0.8}{2}$$

$$V_{CD} = 8.6 \text{ volts}$$

- c) El factor de rizo es:

$$r = \frac{V_{r_{\text{eficaz}}}}{V_{CD}} = \frac{0.23}{8.6} = 0.027 \text{ volts}$$

Expresado en porciento:

$$r = 2.7\%$$

Cuando el capacitor se recarga en un período de tiempo breve comparado con la mitad de éste, el valor teórico del factor de rizo esta dado, como:

$$r = \frac{1}{4\sqrt{3} f R_e C} = \frac{2410}{C R_c}$$

Donde:

C = Capacitancia en microfarads.

MECATRÓNICA_MILLA

R_C = Resistencia de la carga en ohms.

f = Frecuencia de suministro en hertz.

Para el ejemplo anterior el factor de rizo teórico se calcula, como:

$$r = \frac{2410}{C R_C} = \frac{2410}{1000 \times 100} = 0.024 \text{ ó } 2.4\%$$

El voltaje de salida en C.D. considerando la resistencia de la bobina es:

$$V_{CD} = 5.7 \times \frac{R_L}{R_C + R_L}$$

5.7 volts representa el voltaje en C.D., despreciando la resistencia L.

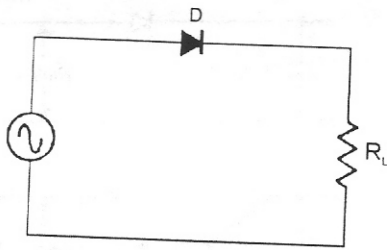
Donde:

R_C = Resistencia de la carga en ohms.

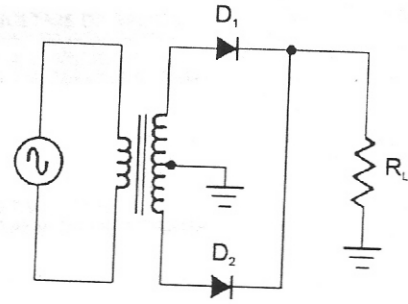
R_L = Resistencia de la inductancia en ohms.

$$V_{CD} = 5.7 \times \frac{100}{25 + 100} = 4.6 \text{ volts}$$

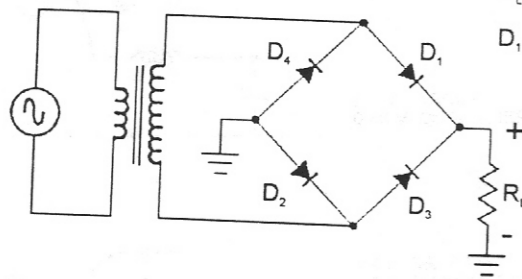
MECATRÓNICA_MILLA



RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA



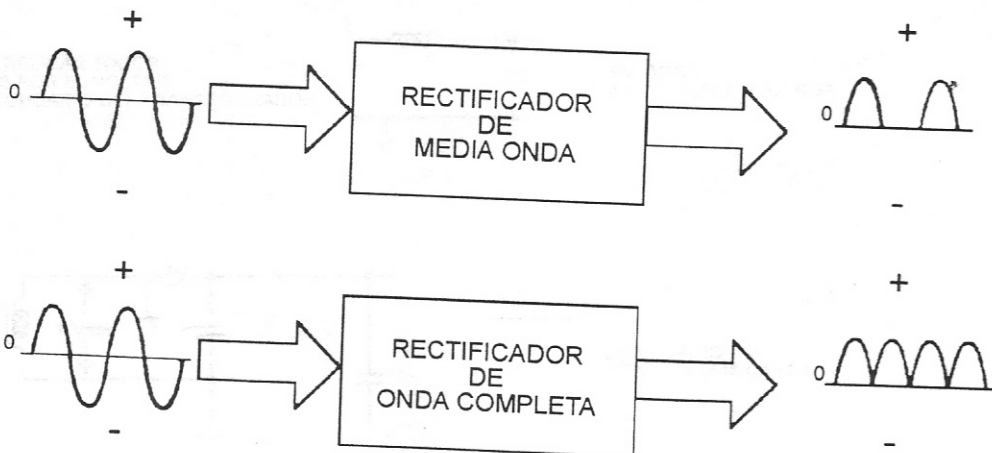
RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA



PUENTE RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA

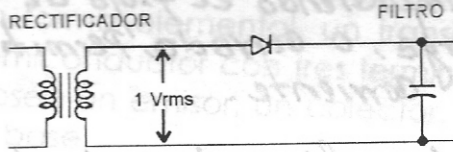
 R_L = RESISTENCIA DE CARGA D_1, D_2, D_3, D_4 = DIODOS

CIRCUITOS BÁSICOS DE RECTIFICADORES



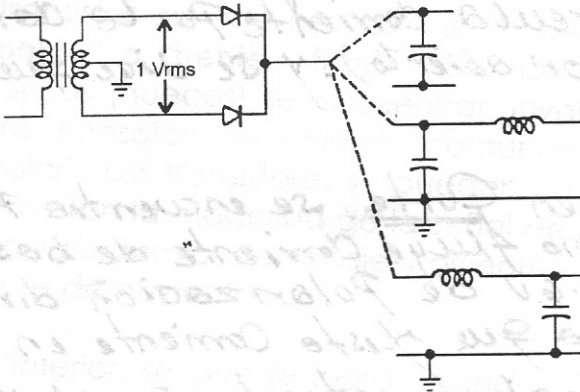
TIPOS DE RECTIFICADORES

MECATRÓNICA_MILLA



VOLTAJE DE SALIDA

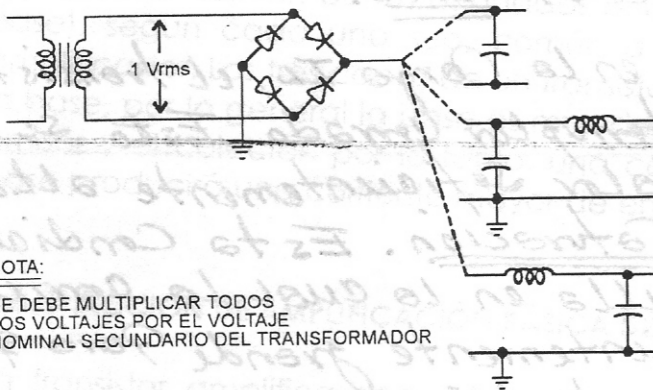
1.4 V VACIO
0.7 V MÁXIMA CARGA



0.7 V VACIO
0.45 V MÁXIMA CARGA

0.7 V VACIO
0.45 V MÁXIMA CARGA

0.7 V VACIO
0.45 V CUALQUIER CARGA



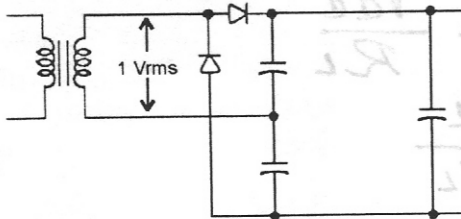
1.4 V VACIO
0.9 V MÁXIMA CARGA

1.4 V VACIO
0.9 V MÁXIMA CARGA

1.4 V VACIO
0.9 V CUALQUIER CARGA

NOTA:

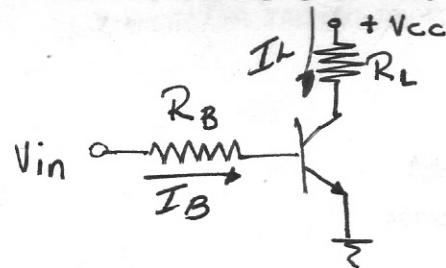
SE DEBE MULTIPLICAR TODOS
LOS VOLTAJES POR EL VOLTAJE
NOMINAL SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR



2.8 V VACIO
0.7 V MÁXIMA CARGA

VOLTAJES DE SALIDA DE COMBINACIONES DE RECTIFICACIÓN Y FILTRO (MONOFÁSICO)

EL TRANSISTOR COMO INTERRUPTOR.



El Voltaje de entrada V_{in} cuando el transistor como interruptor, se encuentra abierto, impidiendo el flujo de corriente por la carga, o cerrado, permitiendo el flujo de corriente.

- Cuando V_{in} es un voltaje bajo, no hay flujo de corriente por la unión base-emisor, y no circula corriente por la carga (opera el transistor como interruptor abierto). y se dice que opera en la Región de Corte.

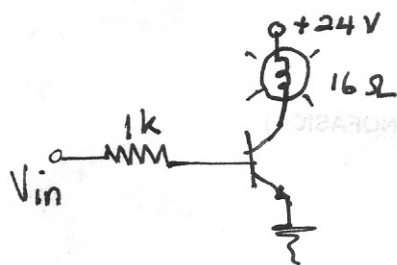
- Cuando el transistor está en Corte, se encuentra por debajo de los 0.6V, por lo cual no fluye corriente de base, ya que se ocupe mínimo de 0.6V de polarización directa en la unión base-emisor para que fluya corriente en ella I_B , ahora también si el terminal de entrada se lleva a tierra el transistor entra en Corte.

∴ Para que fluya corriente en la carga I_L , el transistor debe de operar como interruptor cerrado. Esto se consigue elevando el V_{in} a un valor suficientemente alto para llevar el transistor a Saturación. Esta condición de Saturación, es aquella en la cual la corriente de colector es lo suficientemente grande para que todo el voltaje de alimentación, V_{CC} , aparezca en los terminales de la R_L .

$$* \text{ donde: } I_C(\text{sat}) = \frac{V_{CC}}{R_L}$$

$$I_B(\text{sat}) = \frac{I_C(\text{sat})}{\beta} = \frac{V_{CC}}{\beta R_L}$$

MECATRÓNICA MILLA



¿cual es la cantidad de voltaje de entrada V_{in} necesario para cerrar el interruptor?
¿cuanta I_B circula?
¿cuanto es I_B necesaria

4.6 EL TRANSISTOR

En forma elemental, un transistor se puede considerar como un dispositivo semiconductor con tres terminales. En la forma en que se diseña un transistor posee un emisor, un colector, más una tercera terminal que se le denomina la base.

El transistor consiste esencialmente de dos uniones de diodos P_N "**espalda - espalda**" o "**frente - frente**". Debido a que, tanto los electrones como los agujeros (huecos) se encuentran involucrados en la operación de la unión para transistor, se refieren comúnmente como una "transistor de unión bipolar". Los transistores se pueden emplear para amplificar señales. Esto es, aumentan la magnitud de la señal de entrada, corriente o voltaje (o ambas) a un valor mayor de voltaje, corriente o potencia, controlando el voltaje de la fuente de alimentación.

Lo anterior, se puede lograr usando cualquiera de las tres configuraciones: **emisor común** (EC), **base común** (BC) o **colector común** (CC). Estos nombres se derivan de los asignados a las tres terminales (emisor, colector y base), según cada una sea, común a ambos a la entrada y salida del amplificador. Las tres capas de un transistor bipolar son el emisor, el colector y la base, por lo general la base es muy delgada y tiene menos átomos que el emisor y el colector; por lo tanto, una corriente muy pequeña de emisor a base producirá una corriente mayor de emisor a colector.

4.6.1 ACCIÓN DE AMPLIFICACIÓN BÁSICA DE EMISOR COMÚN

Un transistor amplifica una señal alterna de voltaje, controlando al de la fuente de suministro a que se encuentra conectada. Esto se explica de acuerdo a la figura siguiente:

SOLUCION

$$I_C = \beta I_B \therefore I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$I_C(\text{sat}) = \frac{V_{CC}}{R_L} = \frac{24V}{16\Omega} = 1.5A$$

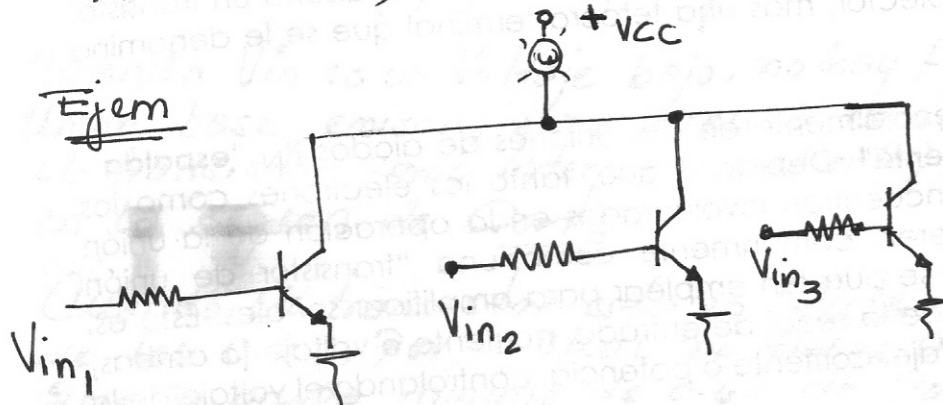
$$\beta = 150$$

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_L}$$

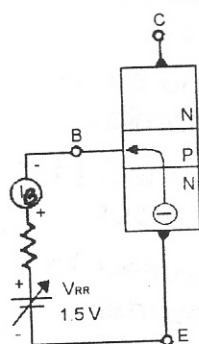
$$I_B(\text{sat}) = \frac{V_{CC}}{\beta R_L} = \frac{24V}{(150)(16\Omega)} = 10mA$$

$$V_{in} = I_{B(\text{sat})} R_B + 0.6V = (10mA)(1K) + 0.6 = 10.6V$$

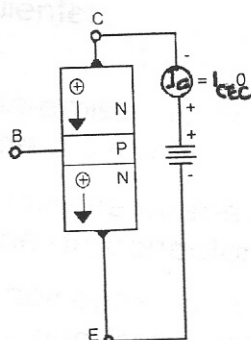
Ejem



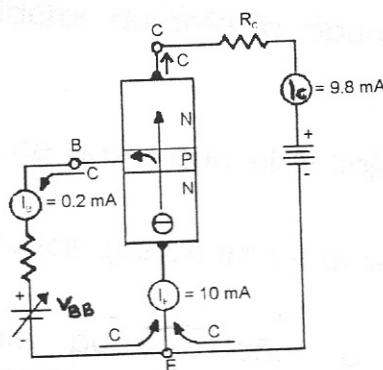
MECATRÓNICA_MILLA



A) LA DERIVACIÓN DIRECTA EMISOR - BASE CAUSA UNA CORRIENTE BASE



B) LA DERIVACIÓN INVERSA COLECTOR-BASE PRODUCE UNA PEQUEÑA CORRIENTE DE FUGA HACIA EL COLECTOR



C) UNA PEQUEÑA CORRIENTE BASE PRODUCE LA CIRCULACIÓN DE UNA CORRIENTE ELEVADA EN EL COLECTOR

Si la unión **emisor-base** (EB) es de sentido directo con un voltaje V_{BB} , entonces, una corriente circulará en cualquier unión PN tipo diodo. En un diodo de silicio, el voltaje de la base al emisor V_{BE} se encuentra en el rango de 0.5 a 0.6 volts para una corriente base $I_B = 0.2$ mA. Si ahora se considera que la fuente de voltaje en corriente directa es $V_{CD} = 12$ volts y está conectada del colector al emisor con la base abierta; esto invierte la unión colector-base, de manera que sólo circula una pequeña corriente de fuga. Esta corriente se denomina como de colector a emisor con la base abierta (I_{CEA}). El valor de esta corriente es muy pequeño en transistor de silicio, es del orden de 1 microamper a 25°C y causa inestabilidad a grandes temperaturas (ver inciso **b** de la figura anterior).

Si se analiza ahora el efecto de aplicar simultáneamente una derivación directa a la unión base-emisor (EB) y una señal inversa a la unión colector-base (CB) (como se muestra en el inciso **c** de la figura anterior), el resultado es una corriente elevada que circula en el circuito de colector y que es del orden de 50 a 200 veces mayor que la corriente base en transistores de señal pequeña, se usa una resistencia en el colector, R_C para limitar la corriente del colector a valores seguros. Esto es posible por los siguientes hechos:

- La base es muy delgada.
- La base está ligeramente viciada con respecto al emisor y al colector.
- La unión emisor-base (EB) está puenteada en sentido directo.

Algunos aspectos que se deben considerar durante la operación de los transistores son los siguientes:

- a) La unión base-emisor no conduce hasta que el voltaje en sentido directo excede a 0.6 volts.
- b) Demasiada corriente puede producir que un transistor se caliente al tacto, conviene desconectarlo.
- c) Demasiada corriente o voltaje puede dañar o destruir al semiconductor que forma al transistor.

Existen básicamente las siguientes clases de transistores:

- De baja señal y switcheo.
- De potencia.
- De alta frecuencia.

MECATRÓNICA MLLA

4.7 LOS RECTIFICADORES DE SILICIO CONTROLADO (SCR)

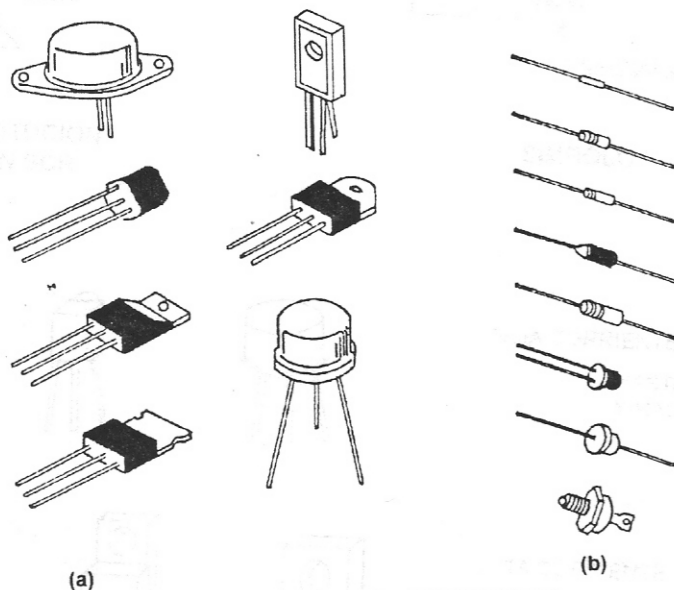
Un dispositivo electrónico de estado sólido que se encuentra en las aplicaciones de la electrónica, es el llamado rectificador de silicio controlado (SCR). Se usan por lo general en circuitos donde la corriente es alta, se encuentran, por ejemplo, en circuitos con corrientes de 400 A.

El SCR es similar a un transistor bipolar con una cuarta capa y, por lo tanto, tres uniones PN, algunas veces es llamado un diodo de 4 capas PNPN, dado que pasa una corriente en una sola dirección. Durante la operación de un SCR, si el ánodo se hace más positivo que el cátodo, las dos uniones PN más externas se puentean en el sentido directo. Sin embargo, la unión PN media se puentea en el sentido inverso y la corriente no puede circular.

Una pequeña corriente de sentido directo en la compuerta, cambia al sentido directo a la unión media PN y permite una corriente mucho mayor en el dispositivo.

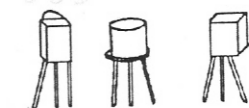
El símbolo de un SCR es parecido al de un diodo, excepto porque tiene una línea adicional. Esta línea adicional se le conoce como "la compuerta". El ánodo y el cátodo son los mismos que para un diodo. Dado que un SCR se parece a un diodo y es accionado como un transistor, algunas personas

dicen que es una combinación de ambos, sin embargo, hay una gran diferencia. Para accionar un SCR, la compuerta debe haber tenido un pulso que es positivo con respecto al cátodo. Una vez que se ha encendido el SCR conducirá del cátodo al ánodo. Esto establece la diferencia, si se abre el circuito hacia la compuerta, el SCR se mantendrá conduciendo, si se remueve la compuerta, la corriente desaparece.

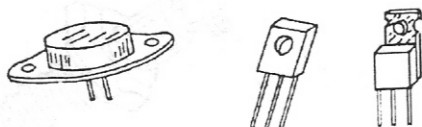


(a) TRANSISTORES (b) DIODOS

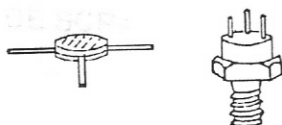
FORMAS DE TRANSISTORES Y DIODOS



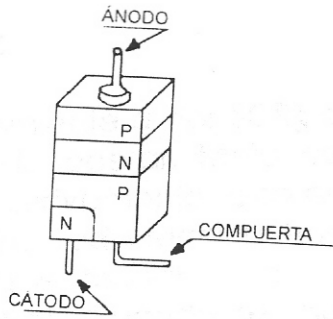
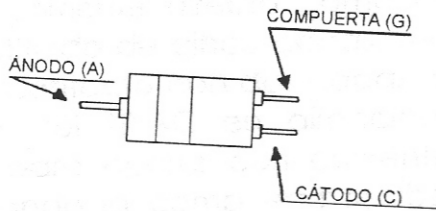
TRANSISTORES PARA SEÑALES PEQUEÑAS
PARA AMPLIFICAR SEÑALES DE BAJO NIVEL



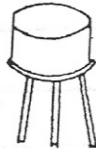
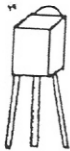
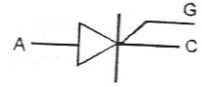
TRANSISTORES DE POTENCIA USADOS EN AMPLIFICADORES DE
ALTA POTENCIA Y ALIMENTACIÓN DE FUERZA



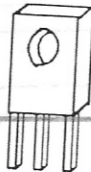
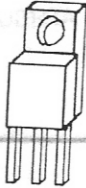
TRANSISTORES DE ALTA FRECUENCIA PARA OPERAR CON
FRECUENCIAS DE RADIO, TELEVISIÓN Y MICRO-ONDAS

CONSTITUCIÓN
DE UN SCR

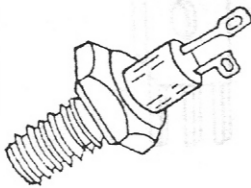
SÍMBOLO DEL SCR



BAJA CORRIENTE

HASTA 1 AMPERES
Y HASTA 100 VOLTS

ALTA CORRIENTE

HASTA 10 AMPERES
Y VARIOS CIENTOS DE VOLTS

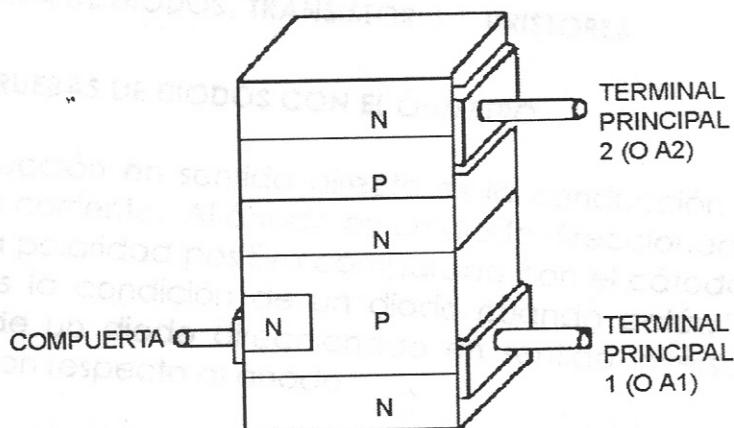
ALTA CORRIENTE

HASTA 2500 AMPERES
Y HASTA VARIOS MILES DE VOLTS

TIPOS DE SCRs

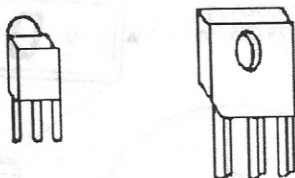
4.8 LOS TRIACS

El triac es equivalente a dos SCR's conectados en paralelo. Esto significa que un TRIAC puede operar, tanto con corriente directa como con corriente alterna. Constructivamente, está constituido de cinco capas, más una capa extra del tipo N. Cada terminal hace contacto con dos capas. Los dos SCR's en paralelo que forman una cara del TRIAC en direcciones opuestas (paralelo inverso). Cuando se usan para operar con corriente alterna, el TRIAC permanece "dentro", sólo cuando la compuerta recibe corriente y cambia a "fuera" cuando la onda de C.A. pasa por cero (0) volts.



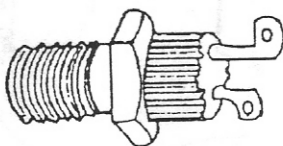
TIPOS DE TRIACS

BAJA CORRIENTE



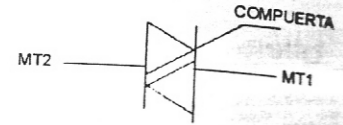
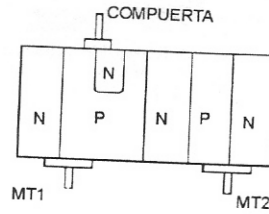
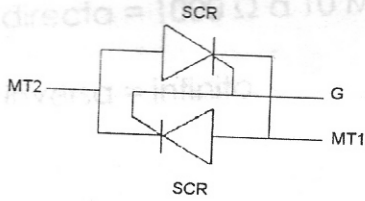
TRIACS DE BAJA CORRIENTE
PARA CORRIENTES DE 1 AMPER
A VÁRIOS CIENTOS DE VOLTS

CORRIENTE MEDIA



PARA CORRIENTES HASTA DE 40
AMPERES Y HASTA 1000 VOLTS

SÍMBOLOS DE LOS TRIACS

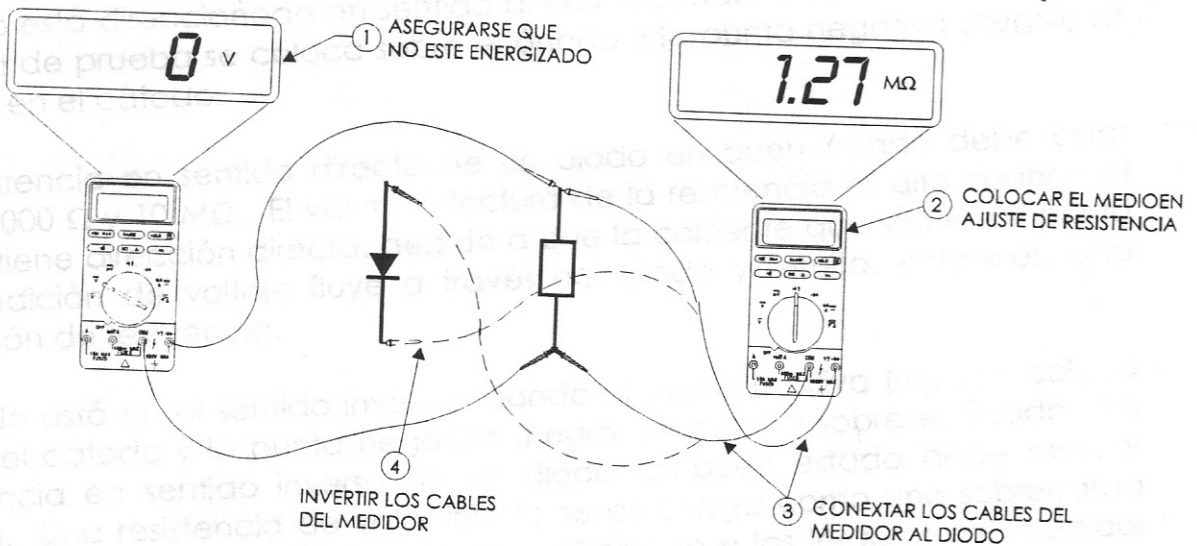


4.9 PRUEBA DE DIODOS, TRANSISTORES Y TIRISTORES

4.9.1 PRUEBAS DE DIODOS CON EL ÓHMETRO

La conducción en sentido directo es la conducción de un diodo mientras conduce corriente. Al ánodo en un diodo direccionado en el sentido directo tiene una polaridad positiva comparada con el cátodo. El direccionamiento inverso es la condición de un diodo cuando actúa como un aislador. El cátodo de un diodo direccionado en sentido inverso tiene una polaridad positiva con respecto al ánodo.

El diodo actúa como un switch cerrado cuando opera en sentido directo y como un switch abierto cuando opera en sentido inverso. Para verificar la condición de un diodo se usa un óhmetro.



PRUEBA DE DIODOS, TRANSISTORES Y TRIAC

4.9.2 PRUEBA DEL DIODO CON EL MULTÍMETRO

Diodo en buen estado:

Lectura directa = $1000\ \Omega$ a $10\ M\Omega$

MECATRÓNICA_MILLA

Lectura inversa = infinito

Diodo en mal estado:

Las mismas lecturas en el medidor en ambas direcciones.

Para usar el óhmetro para probar un diodo, se aplica el siguiente procedimiento:

1. Asegúrese que el circuito no esté energizado (debe estar FUERA). Por medio de un voltmetro se mide para asegurar que no hay energía.
2. Ajuste el instrumento de medición (si se trata de un multímetro) para medir resistencia.
3. Conecte las puntas del instrumento al diodo y registre el valor de la medida.
4. Invierta las puntas del medidor y registre el valor de la medida.

El diodo está direccionado en sentido directo cuando el cable positivo (rojo) o punta de prueba se coloca sobre el ánodo y la punta negativa (negro) se coloca en el cátodo.

La resistencia en sentido directo de un diodo en buen estado debe estar entre $1000\ \Omega$ y $10\ M\Omega$. El valor de lectura de la resistencia es alto cuando el diodo tiene dirección directa, debido a que la corriente que viene del punto de medición de voltaje fluye a través del diodo y resulta, entonces, una medición de resistencia.

El diodo está en el sentido inverso cuando la punta positiva (roja) se coloca sobre el cátodo y la punta negativa (negro) se coloca sobre el ánodo. La resistencia en sentido inverso de un diodo en buen estado debe marcar infinito. Una resistencia de valor infinito se despliega como una sobrecarga en medidor digital. El diodo está en mal estado si las lecturas del medidor son las mismas en ambas direcciones.

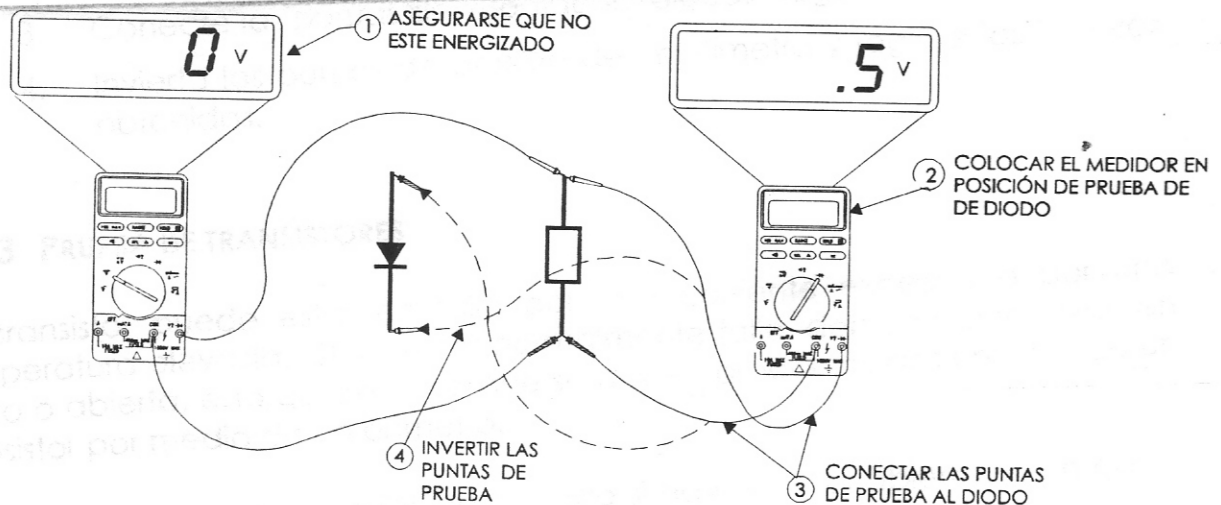
4.9.2 PRUEBA DEL DIODO CON EL MULTÍMETRO

La prueba de un diodo con un óhmetro no indica siempre si el diodo está en buen o mal estado. Si se prueba un diodo que está conectado a un circuito, con un óhmetro, puede dar lecturas falsas porque otras componentes pueden estar conectadas en paralelo con el diodo bajo prueba. La mejor forma de probar un diodo es medir la caída de voltaje a través del diodo cuando está en sentido directo.

Un diodo en buen estado tiene una caída de voltaje a través del mismo cuando está operando en el sentido directo y conduciendo corriente, entre 0.5 V y 0.8 V, considerando que la mayoría de los diodos son de silicio. Algunos diodos están hechos de germanio y tiene una caída de voltaje entre 0.2 V y 0.3 V.

Un multímetro se ajusta en la posición de prueba de diodo para probar la caída de voltaje a través del diodo.

En esta posición, el medidor produce un pequeño voltaje entre las puntas de prueba. El medidor despliega la caída de voltaje cuando las puntas están conectadas a través de un diodo.



DIODO EN BUEN ESTADO

Sentido directo

Lectura :

Diodos de silicio = 0.5 V a 0.8 V.

Diodos de germanio = 0.2 V a 0.3 V

MECATRÓNICA_MILLA

Sentido inverso

Diodo abierto = lectura infinito en ambas direcciones.

Diodo en corto = 0-4 V en ambas direcciones.

Para probar un diodo usando la posición del multímetro para prueba de diodo, se emplea el siguiente procedimiento:

1. Asegúrese que el circuito no esté energizado (debe estar **FUERA**), por medio de un voltmetro se mide para asegurar que no hay energía.
2. Coloque el selector del medidor en la posición de prueba del diodo.
3. Conecte las puntas del medidor al diodo. Registre las lecturas.
4. Invierta las puntas de prueba del multímetro y registre las lecturas obtenidas.

4.9.3 PRUEBA DE TRANSISTORES

Un transistor puede estar en falla por una corriente excesiva o por una temperatura elevada. El transistor normalmente falla, debido a una unión en corto o abierta, esto quiere decir que se deben probar las dos uniones de un transistor por medio de un óhmetro.

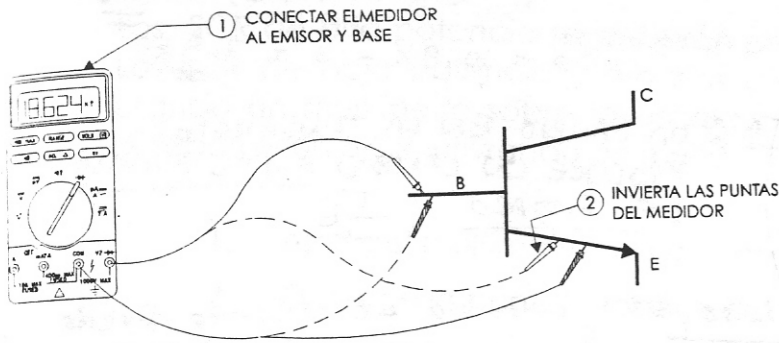
Para probar un transistor NPN, verificando si hay uniones abiertas o en corto, se aplica el siguiente procedimiento:

1. Conecte un multímetro al emisor y la base del transistor. Mida la resistencia. Mida la resistencia.

MECATRÓNICA_MILLA

2. Invierta las puntas de prueba y mida la resistencia. La unión emisor/base está bien cuando la resistencia es alta en una dirección y baja en la dirección opuesta. Esta relación de alta a baja resistencia debe ser mayor de 100:1. Los valores típicos de las resistencias son $1\text{ K}\Omega$ (con la punta de prueba del medidor sobre la base) y $100\text{ k}\Omega$ (con la punta positiva del medidor sobre el emisor). La unión está en corto cuando ambas lecturas son bajas. La unión está abierta cuando ambas lecturas son altas.
3. Conecte el medidor al colector y base del transistor. Mida la resistencia
4. Invierta las puntas del medidor y mida la resistencia. La unión colector/base está bien cuando la resistencia es alta en una dirección y baja en la dirección opuesta. La relación de resistencia alta a baja debe ser del orden de 100:1, como en el punto anterior.
5. Conecte el medidor al colector y emisor del transistor y mida la resistencia.
6. Invierta las puntas del medidor y mida la resistencia. La unión colector/emisor está bien cuando la resistencia medida tiene un valor alto en ambas direcciones. La prueba aplicada a los transistores NPN se usa para probar los transistores PNP, la diferencia es que las puntas de prueba del equipo de medición se deben invertir para obtener los mismos resultados.

CONECTAR EL MEDIDOR AL EMISOR Y BASE



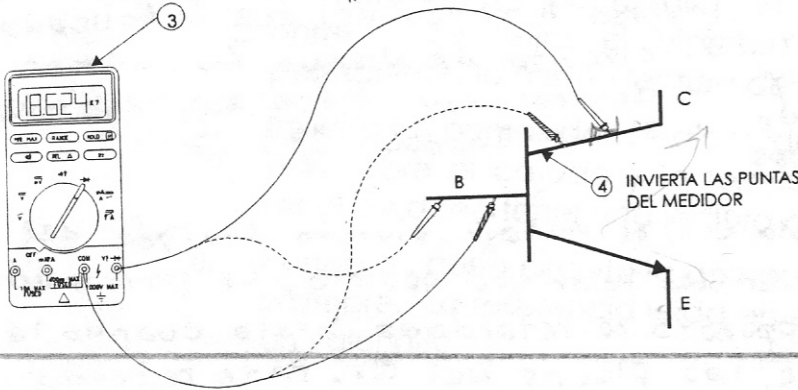
UNIÓN EMISOR/BASE

Abierto:
Ambas lecturas altas.

Buen estado:
Alta resistencia en una dirección y baja en otra.

Corto:
Ambas lecturas bajas.

3 CONECTE EL MEDIDOR AL COLECTOR Y BASE



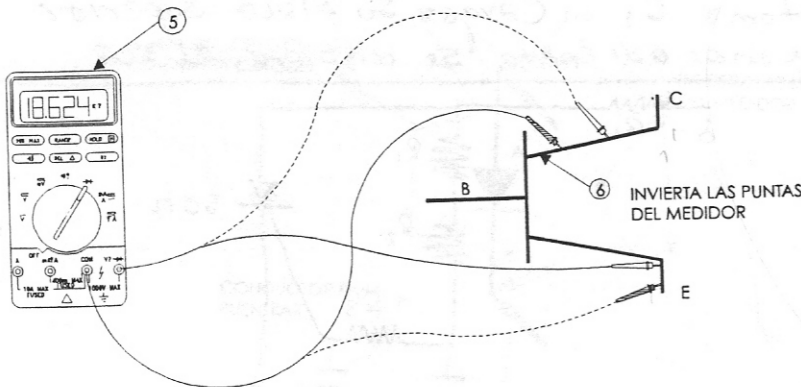
UNIÓN COLECTOR/BASE

Abierto:
Alta resistencia en ambas direcciones.

Buen estado:
Alta resistencia en una dirección y baja en otra.

Corto:
Baja resistencia en ambas direcciones.

5 CONECTE EL MEDIDOR AL COLECTOR Y EMISOR



UNIÓN COLECTOR/EMISOR

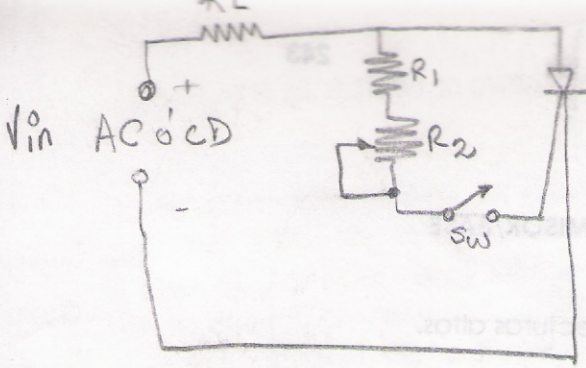
Abierto:
No se puede determinar.

Buen estado:
Lectura de alta resistencia en ambas direcciones.

Corto:
Lectura de baja resistencia en ambas direcciones.

CONEXIONES DE PRUEBA A TRANSISTORES

MECATRÓNICA_MILLA



ejem: $V_{AC} = 115 V_{RMS}$, $I_{GT} = 15mA$

$R_1 = 3k$
 $R_2 = ?$

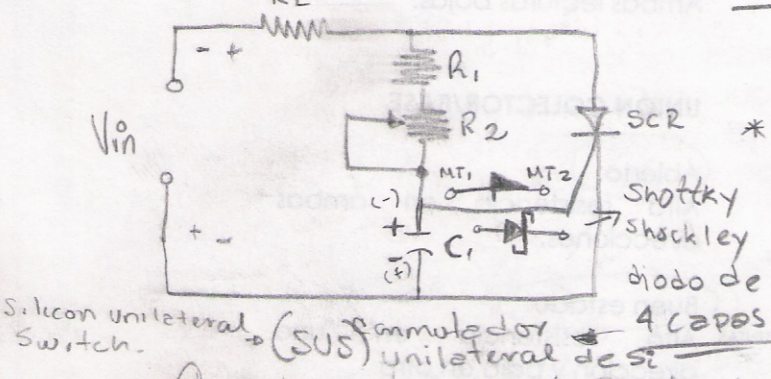
$V_p = V_{RMS} (1.4142)$
 $V_p = (115)(1.4142) = 10.8k$

$R_2 = 10.8k - 3 = 7.8k$

NOTA : UN CAMBIO EN LA TEMPERATURA PRODUCE UN CAMBIO EN EL ANGULO DE DISPARO Y $\underline{I_L}$

* Usando Condensadores:

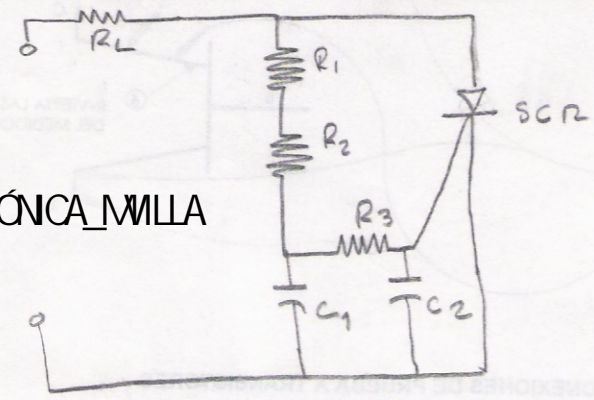
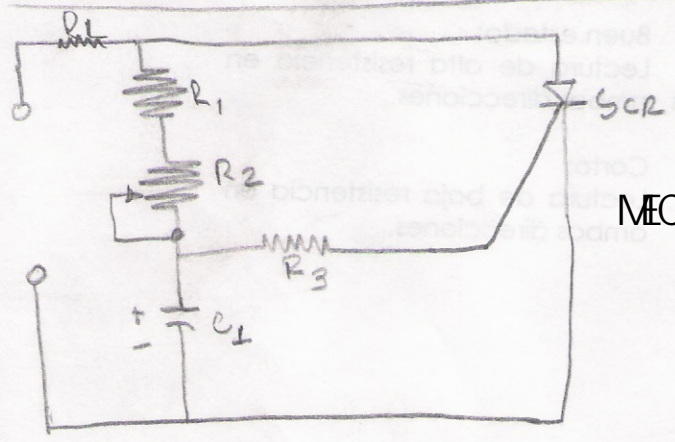
Ventajas el Angulo de disparo puede Ajustarse a mas de 90° del Angulo de disparo.



* Cuando la fuente AC es neg., el voltaje Inverso a través del SCR es Aplicado al circuito de disparo RC, cargando el condensador placa sup. negativa y placa Inferior (+)

* Cuando entra en el semiciclo (+), el voltaje directo Através del SCR tiende a cargar C1 en la Polaridad opuesta, La formación de voltaje en la dirección opuesta es retardada hasta cuando la carga (-) sea removida de las placas del C1. Este retardo en la aplicación de un voltaje Positivo a la Puerta, Puede extenderse a más de 90° .

* Cuanto R_2 mas tiempo toma C1 en Cargar su placa superior Positivamente, Para que mas adelante se dispare el SCR.



MECATRÓNICA MILLA

* El voltaje de C1 debe de Ser Alto para alcanzar una I_{GT}

El volt. de C1 sirve Para cargar C2 lo que da como resultado aun mas retardo el voltaje de "G"

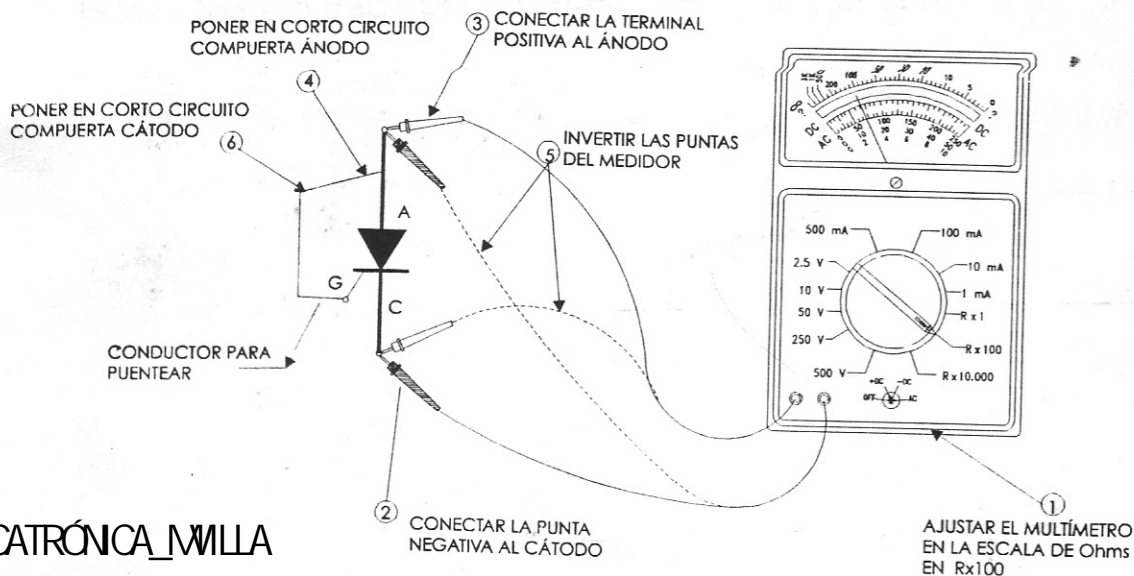
$V_{ango} \approx 0.01 \text{ a } 1 \mu f$

* dado que el voltaje de C1 es mas Alto. el disparo es aun mn retardado.

4.9.4 PRUEBA DE TIRISTORES (SCR)

Los SCR de alta potencia se deberán probar usando un circuito de prueba. Los SCR de baja potencia y algunos de alta potencia, se pueden probar usando un multímetro sobre la escala de resistencia. El procedimiento de prueba de un SCR, utilizando un multímetro es el siguiente:

1. Ajuste el multímetro sobre la escala $R \times 100$.
2. Conecte la punta negativa del medidor al cátodo.
3. Conecte la punta positiva del medidor al ánodo. El medidor debe leer infinito.
4. Ponga en corto circuito la compuerta al ánodo, usando un alambre para "puentear". El medidor debe leer "casi cero ohms". Se retira el alambre usado como puente y debe permanecer la misma lectura de resistencia baja.
5. Invierta las puntas del medidor, de manera que la terminal positiva esté sobre el cátodo y la terminal negativa sobre el ánodo. El medidor debe tener una lectura de "casi infinito".
6. Ponga en corto circuito la compuerta al ánodo con un puente de alambre. La resistencia leída en el medidor debe permanecer en un valor alto.

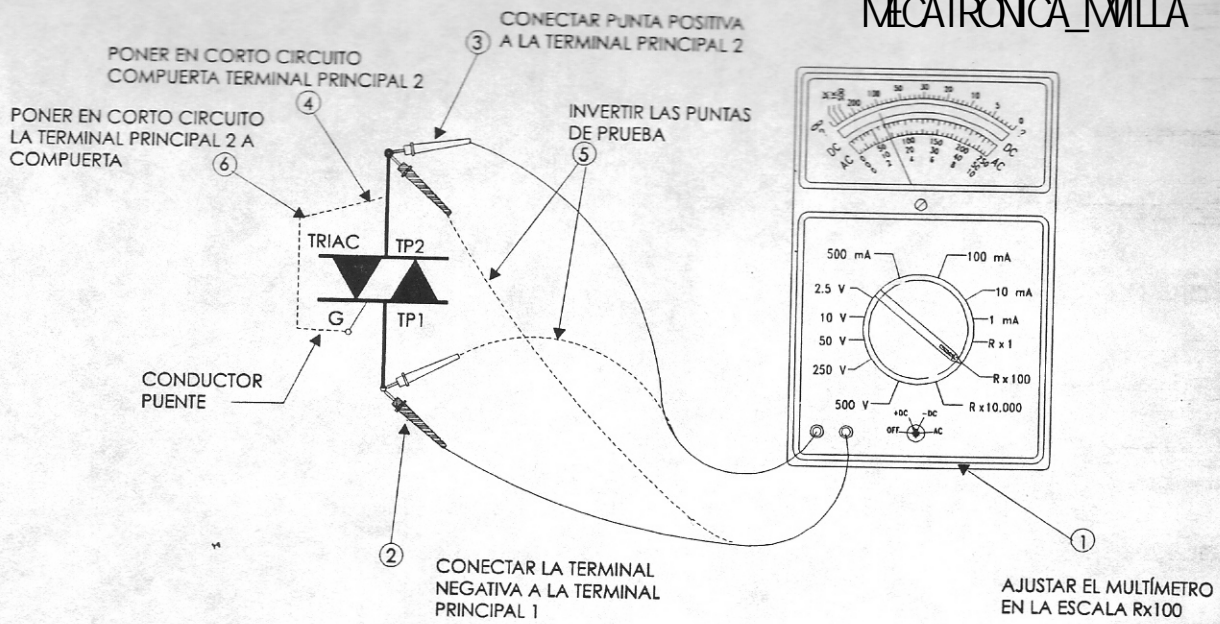


4.9.5 PRUEBA DE TRIAC

Los TRIACS se deben probar bajo condiciones de operación, usando un osciloscopio, se puede utilizar un multímetro para hacer una prueba aproximada o rústica con el TRIAC fuera del circuito.

Para probar un TRIAC con el multímetro, se sigue el siguiente procedimiento:

1. Ajuste el multímetro en la escala $R \times 100$.
2. Conecte la punta negativa del medidor a la terminal principal 1.
3. Conecte la punta positiva del medidor a la terminal principal 2. El multímetro debe leer infinito.
4. Ponga en "corto circuito" la compuerta de la terminal principal 2, usando un conductor como puente. La lectura del medidor debe ser "casi cero ohms". Esta lectura cero debe permanecer cuando se retira la punta de prueba.
5. Invierta las puntas del medidor, de manera que la terminal positiva esté sobre la terminal principal 1 y la terminal negativa sobre la terminal principal 2. El multímetro debe leer infinito.
6. Ponga en corto circuito la compuerta del TRIAC a la terminal principal 2, usando un conductor como puente. El multímetro debe leer "casi cero ohms". Cuando se retira la punta de prueba, la lectura cero debe permanecer.



PRUEBA DE UN TRIAC

MECATRÓNICA - MILLA.

2013