



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ

REGULADOR ELECTRÓNICO DE TEMPERATURA PARA CAUTINES CONVENCIONALES

TRABAJO PRESENTADO POR EL C. JOSÉ REMIGIO GÓMEZ FONSECA,
PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA
ELECTRÓNICA, MEDIANTE LA OPCIÓN VII (EXPERIENCIA PROFESIONAL).

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS., ABRIL DEL 2017.

ÍNDICE

CAPÍTULO I

1.1 Introducción.....	4
1.2 Objetivo general.....	5
1.3 Objetivos particulares.....	5
1.4 Hipótesis.....	6
1.5 Justificación.....	6
1.6 Planteamiento.....	8
1.7 Delimitación.....	8
1.8 Bosquejo histórico de los sistemas de control.....	9
1.9. Teoría moderna de control.....	10
1.10 Reguladores analógicos de temperatura.....	11
1.11 Reguladores digitales de temperatura.....	12

CAPÍTULO II

2.1. Etapa de control.....	14
2.1.1 El Diac (Diode alternative current).....	15
2.1.1.1. Circuitos de disparo.	17
2.1.2. El SCR (Sillicon Controlled Rectifier).....	18
2.1.2.1. Funcionamiento.....	18
2.1.2.2. Formas de onda.....	21
2.1.2.3. Características de puerta.....	22
2.1.2.4. Funcionamiento en corriente alterna.....	23
2.1.2.5. Funcionamiento en corriente directa.....	26
2.2. Etapa de potencia.....	29
2.2.1. El Triac.....	29
2.2.2. Características generales.....	30
2.2.3. Formas de onda.....	33
2.3. Dispositivos complementarios.....	35
2.3.1. Capacitores o condensadores.....	36
2.3.1.1. Capacitores fijos.....	36
2.3.1.2. Capacitores variables.	38
2.3.2. Resistencias.....	40
2.3.3. Potenciómetros.....	41

CAPÍTULO III.

3.1. Materiales.....	44
3.2. Circuito eléctrico.....	46
3.3. Funcionamiento general.....	47
3.4. Circuitería y diagramas.....	52

CAPÍTULO IV.

4.1. Procedimientos.....	55
4.2. Propuesta de mejora.....	58
4.3. Conclusiones.....	60

ANEXOS

Anexo 1 Especificaciones técnicas del TRIAC BT 137.....	61
Anexo 2 Especificaciones técnicas del DIODO 1N 4007.....	62
Anexo 3 Especificaciones técnicas del DIAC DB3-TP.....	63

CAPÍTULO I.

1.1 Introducción.

Los reguladores electrónicos de temperatura, son mecanismos de control encargados de mantener constantes las magnitudes o cantidades de calor que diversos dispositivos electrónicos alcanzan, cuando son sometidos a la acción de variaciones de temperatura por agentes externos. En el caso de los reguladores electrónicos de temperatura para caudales convencionales, estos tienen como finalidad mantener a cierto nivel de calor los procesos de soldadura durante los procesos de mantenimiento. El dispositivo empleado con mayor frecuencia como regulador, es el Triac (Tríodos de corriente alterna), el cual es un dispositivo semiconductor dependiente de la familia de los tiristores. La diferencia esencial entre un tiristor y el triac, es que el primero de ellos es unidireccional, mientras que el Triac es bidireccional. Coloquialmente, podemos decir que el triac es un interruptor con capacidad de conmutar la energía alterna.

Básicamente, el triac se compone de un par de tiristores conectados en paralelo pero en sentido opuesto y compartiendo la misma compuerta. Éste funciona con corriente alterna y lógicamente se dispara por la compuerta, alternando las ondas positivas y negativas. La parte positiva de la onda, también llamado semiciclo positivo, pasa por el triac siempre y cuando exista una señal de disparo en la compuerta, ocasionando que la corriente circule de arriba hacia abajo; es decir pasará por el tiristor que apunta hacia abajo.

De forma similar, cuando se presenta la parte negativa de la onda o semiciclo negativo, ésta pasará por el dispositivo, siempre y cuando exista una señal de disparo en la compuerta, circulando de esta forma la corriente de abajo hacia arriba; es decir por el tiristor que apunta hacia arriba. En ambos casos, el disparo es obtenido por la misma compuerta, razón por la que se puede controlar el momento de disparo de ésta y como consecuencia controlar cada uno de los tiristores cuando estén en conducción.

Los disipadores de calor, básicamente son dispositivos cuya función principal es evitar que algunos componentes electrónicos sensibles al calor se sobrecalienten y se dañen, tales como transistores bipolares, reguladores, circuitos integrados, etc. Esto se debe principalmente a que cuando estos dispositivos electrónicos se calientan, la energía no genera un proceso exotérmico, es decir que no liberan la energía en forma de calor, ocasionando de esta forma un aumento considerable en la energía cinética interna del dispositivo y a la postre el daño del mismo por sobrecalentamiento. Para evitar estas anomalías, es necesario adicionar o adaptar a estos circuitos agentes

externos con capacidad de generar la energía exotérmica de ello y de esta forma liberar el calor que no soportan de origen. Esto se deduce al saber que un semiconductor disipa la potencia adecuada, solamente cuando la temperatura de la junta (chip) se encuentra por debajo del máximo indicado por el fabricante. Para que pueda producirse un flujo de energía calorífica de un punto a otro, debe existir una diferencia de temperatura: el calor pasa del punto más caliente al más frío, sin embargo, diferentes factores obstruyen ese proceso. Por lo general, las juntas o puntos de ensamble alcanzan los 150 ° C, lo que suele llevar al daño del dispositivo; de tal forma que es de vital importancia mantener la unión de ensamble entre el chip y la cápsula por debajo del máximo y en lo posible con un mayor margen. La resistencia térmica entre el chip y la cápsula es determinada por el fabricante y depende en gran medida del tipo de encapsulado del dispositivo.

Como todo proceso, los reguladores electrónicos de temperatura presentan una serie de etapas a seguir: La etapa donde se registran o advierten los niveles de temperatura, llamada etapa de disparo; posterior a ella interviene la etapa de control, que es donde se empieza a regular la temperatura por medio de los disipadores de potencia; y finalmente la etapa de salida, que consiste en enviar a los dispositivos las temperatura adecuadas para evitar el daño de éstos.

1.2 Objetivo general.

- Diseñar un sistema regulador de temperatura mediante dispositivos electrónicos de potencia.

1.3 Objetivos particulares.

- Diseñar un sistema de regulación de temperatura, para evitar el sobrecalentamiento de tarjetas de control.
- Implementar un proceso mediante el cual, las tarjetas madre de equipos de cómputo, no sufran daños irreversibles, cuando sean sometidas al proceso de mantenimiento preventivo y/o correctivo.
- Construir un regulador de temperatura por medio de dispositivos electrónicos, para controlar la cantidad de calor generada por un cautín convencional en el soldado de componentes sensibles al calor, en el proceso de mantenimiento correctivo de equipos de cómputo.

1.4 Hipótesis.

Se pretende diseñar y elaborar un regulador de temperatura para cautín convencional, ya que existen dispositivos demasiado sensibles al calor emitido por los cautines al momento de aplicar mantenimiento correctivo y/o preventivo a equipos electrónicos. Con las teorías existentes sobre circuitos controladores de potencia, es posible crear estos reguladores, y sobre todo, disminuir en demasía la pérdida de entes electrónicos por causa de elevaciones de temperatura que sobrepasan los umbrales para los que fueron creados.

1.5 Justificación.

La elaboración del presente sistema de regulación de temperatura, surge como una necesidad de disminuir en gran medida el daño que sufren algunos dispositivos electrónicos muy sensibles al calor, particularmente los circuitos integrados, cuando son sometidos a los diferentes procesos de mantenimiento preventivo y/o correctivo; esto derivado de que al desarrollar el proceso de soldadura, los materiales utilizados (estaño) provocan una alteración en el nivel de calor interno de estos circuitos, y como consecuencia elevan la temperatura del mismo. Así también, al poder regular las temperaturas aplicadas a estos circuitos, se disminuyen los costos de reemplazo de los mismos, aunado a que en el mercado local, no siempre hay en existencia este tipo de dispositivos.

Cuando los elementos electrónicos sensibles al calor, se les hace llegar temperaturas que superan los umbrales para los que fueron creados, se incrementa en ellos la energía cinética de los materiales que fueron utilizados para su fabricación (por lo general, silicio o germanio o arsénico); estos elementos que funcionan con semiconductores tipo p o tipo n, también tienen la limitante en la mayoría de los casos de que no soportan altos voltajes de llegada, ya que por la naturaleza de los dispositivos no son autónomos en la liberación de energía interna, traduciéndose esto en que rápidamente llegan a requerir mayor espacio de existencia y por lo consiguiente, se ven rebasados por los altos niveles de temperatura a los que son expuestos.

Los tiristores utilizados en este trabajo, son el SCR y el TRIAC, están fabricados de materiales semiconductores tipo p y tipo n. En lo que respecta a los materiales tipo p de silicio (Si) dopado con elementos del Grupo III-A como el aluminio (Al), galio (Ga) o indio (In), y tipo-n, de Si dopado con elementos del Grupo V-A como fósforo (P), arsénico (As) o antimonio (Sb). El SCR es más complejo, ya que está construido con 4 capas p-n-p-n de semiconductores: tipo-p (el A), tipo-n, tipo-p (la G) y tipo-n (el K). En el centro de la siguiente Figura se puede ver un diagrama esquemático de su estructura. Tres capas forman un sándwich: tipo-p (el A), tipo-n y tipo-p. Finalmente, el K se construye difundiendo material tipo-n sobre la última capa tipo-p, y G se conecta muy cerca de K, sobre la misma capa de material tipo-p.

El TRIAC está hecho de forma análoga a dos tiristores puestos en antiparalelo, como si fuese un dispositivo de 5 capas n-p-n-p-n de semiconductores. Su estructura central es un sándwich: tipo-p, tipo-n y tipo-p, como el tiristor. Pero el material tipo-n se difunde sobre ambas capas tipo-p, para que funcionen como cátodos K en cada uno de los sentidos de conducción. El MT2 se conecta a una capa tipo-p y a la tipo-n difundida sobre ella. En el otro extremo, se hace lo mismo con el MT1. Y el G también está en contacto con la capa tipo-p y una porción de tipo-n difundida sobre ella.

Es importante mencionar que en los materiales semiconductores, y particularmente en el caso del silicio, éste cuenta en su orbital externo incompleto con sólo cuatro electrones, denominados electrones de valencia. Estos átomos forman una red cristalina, en la que cada átomo comparte sus cuatro electrones de valencia con los cuatro átomos vecinos, formando enlaces covalentes. A temperatura ambiente, algunos electrones de valencia absorben suficiente energía calorífica para librarse del enlace covalente y moverse a través de la red cristalina, convirtiéndose en electrones libres. Si a estos electrones, que han roto el enlace covalente, se les somete al potencial eléctrico de una pila, se dirigen al polo positivo. Cuando un electrón libre abandona el átomo de un cristal de silicio, deja en la red cristalina un hueco, que con respecto a los electrones próximos tiene efectos similares a los que provocaría una carga positiva. Los huecos tienen la misma carga que el electrón pero con signo positivo.

El comportamiento eléctrico de un semiconductor se caracteriza por que los electrones libres son portadores de carga negativa y se dirigen hacia el polo positivo de la pila; mientras que los huecos son portadores de carga positiva y se dirigen hacia el polo negativo de la pila.

En un semiconductor intrínseco al aumentar la temperatura T aumenta la conductividad σ debido a que se liberan más pares electrón-hueco, aumentando la concentración intrínseca de portadores.

A temperaturas muy bajas, próximas a $-273\text{ }^{\circ}\text{F}$ ó 0 K , los átomos de impurezas ya se encuentran ionizados por tener una energía de ionización muy baja; por lo tanto, existe una concentración de portadores significativa que posibilita la conducción, incluso a temperaturas bajísimas.

Al aumentar la temperatura, la conductividad no aumenta de modo sensible, pues ya se han ionizado todas las impurezas, y aunque se aumente más la temperatura, la concentración de éstas no puede aumentar más. Los pares electrón – hueco generados térmicamente son cuantitativamente insignificantes si la temperatura no es excesiva.

Si la temperatura alcanza valores más altos, los pares electrón – hueco generados térmicamente empiezan a ser lo suficientemente significativos como para que su número sea comparable o mayor a los que teníamos procedentes de las impurezas. De este modo, la conductividad, que se había mantenido estable, vuelve a aumentar, ahora como consecuencia de los pares electrón – hueco generado térmicamente. Por lo tanto, a temperaturas muy altas, el comportamiento del semiconductor dopado y el puro tienden a confundirse.

1.6 Planteamiento.

El presente trabajo pretende proporcionar una alternativa de solución al daño que sufren algunos dispositivos electrónicos demasiado sensibles al calor, cuando la temperatura que se le hace llegar por medio de un cautín es superior para la que fueron diseñados. Como es sabido, los cautines son herramientas eléctricas sencillas que tienen un conjunto de componentes que mediante el calor que generan al conectárseles a la corriente eléctrica, modifican el estado químico de algunas sustancias, para dar paso al proceso de soldadura; generan en una barra de metal el calor suficientemente elevado como para derretir metales, tales como el estaño y el oro.

Partiendo de la experiencia con el trabajo de estos dispositivos electrónicos, se ha demostrado que el daño que sufren durante los procesos de mantenimiento preventivo y/o correctivo, en muchas ocasiones implica el reemplazo por completo del dispositivo. Diseñar y realizar un control de temperatura electrónico para cautines convencionales, tendrá como consecuencia disminuir en gran medida que muchos elementos tengan que ser reemplazados, ya que al momento de que la temperatura que emitan los cautines sea controlada o regulada por diversos medios, se tendrá la certeza de que los niveles de calor no lleguen o rebasen los umbrales de temperatura para los que fueron creados.

1.7 Delimitación.

La operación de los reguladores electrónicos de temperatura, depende de diversos dispositivos de disparo y controladores, además de elementos complementarios para el adecuado funcionamiento de estos. Tal es el caso de los triacs, diacs, scr, diodos, resistencias, condensadores, potenciómetros, clavijas, cable, disipadores de calor, tornillos, aislantes de mica, bakelita, ácido, bakelita, cloruro férrico entre otros. A excepción de los primeros dos elementos citados, los demás pueden conseguirse con relativa facilidad en el mercado local; sin embargo, en el caso de los dispositivos de excepción, dependiendo del uso que se requiera, hay que recurrir al mercado externo para obtenerlos de buena calidad y sobre todo que cumplan con las especificaciones requeridas para el trabajo a realizar. Esto trae como consecuencia que acudir a mercados externos, los tiempos de elaboración sean más extensos de lo esperado.

En lo que respecta al aspecto económico, todos los dispositivos son de precios accesibles tanto en el mercado local como foráneo.

En cuanto a su uso, existen restricciones de aplicación porque cada regulador de temperatura tiene atenciones para casos particulares; es decir, que un regulador de temperatura aplicado a caudales convencionales, no puede ser utilizado a otros escenarios, por ejemplo para un taladro, roto martillo, porque son máquinas que generan calor a través del movimiento mecánico. De igual forma en el caso de reguladores de temperatura para espacios cerrados, se utilizan de acuerdo a las necesidades particulares del consumidor.

1.8 Bosquejo histórico de los sistemas de control

Hablar de la evolución histórica de los sistemas de control, implica remontarnos a tres ejes: la industria de producción, tecnología informática y el control automático.

En la industria de la producción, intervienen las industrias manufactureras con la construcción de automóviles y fabricación de galletas; de igual forma se encuentra las industrias de procesos continuos, tales como la industria petrolera, metalúrgica pesada y la industria del gas y química.

Referente a la tecnología informática, se presenta un período de casi dos siglos de innovación, los cuales se presentan en la figura 1.1 a continuación.

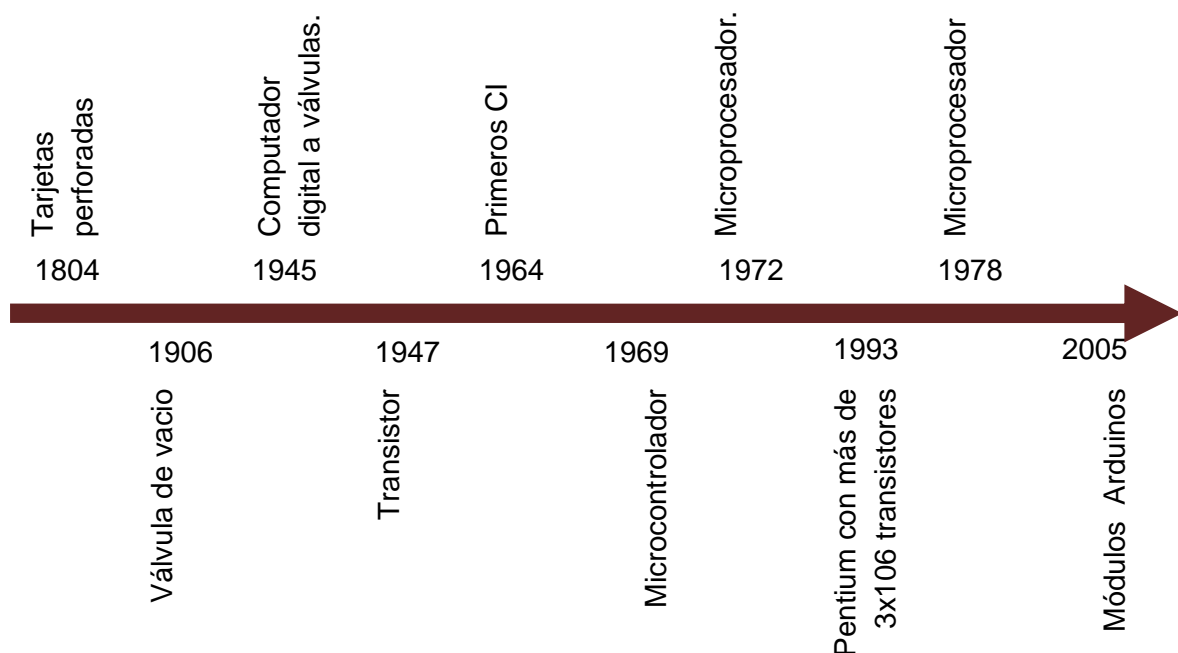


Figura 1-1. Línea de tiempo sobre la evolución de la tecnología informática, aplicada a los sistemas de control.

El control automático está referenciado a la instrumentación neumática y electrónica, desde la antigua Grecia hasta la automatización de sistemas industriales, tal como se muestra en el cuadro siguiente:

Siglo III A. C.	Grecia.- Reguladores de nivel flotante para mantener caudal constante
Siglo XVI	Inglaterra.- Sistema de lazo cerrado para mantener los molinos enfrentados al viento.
1775	Primera aplicación industrial, regulador de Watt para el control de velocidad en máquinas de vapor.
Siglo XX	Aplicaciones varias, aparición de la instrumentación neumática
1939	Aplicaciones en buques, aviones y antenas de radar
1960	Control supervisor por computadora.
1968	Primer PLC (Controladores lógicos programables).
1970/1975	Primeros sistemas de control distribuido.
1984	Aparición de los transmisores inteligentes.
1987	Primer sistema industrial abierto.
1990 / 1995	Aceptación masiva del concepto de Sistemas industriales abiertos

Figura 1-2. Cuadro evolutivo de los cambios en controles automáticos.

1.9. Teoría moderna de control.

La teoría de control moderna está basada en el concepto de estabilidad de Liapunov presentado a finales del siglo XIX. Los trabajos desarrollados por Lurie sobre servomecanismos de posicionamiento de torretas de tanques dieron lugar al concepto de estabilidad absoluta, generalizada después por Popov con el concepto de hiperestabilidad, que considera no linealidades en la realimentación.

Los criterios de controlabilidad y observabilidad de sistemas dinámicos lineales, se deben a Kalman, aunque la noción de controlabilidad fue utilizada anteriormente por Pontryagin.

Los métodos de control óptimo se basan en los trabajos de físicos de los siglos XVII al XIX, entre los que destaca Euler, con su cálculo de variaciones. En el desarrollo de estos métodos se deben destacar los trabajos de Pontryagin, La Salle, Bellman y Kalman.

En el control algebraico, basado en la utilización de matrices polinomiales y racionales, hay que hacer mención de los trabajos de Kalman, Rosebrock y Wolowich. Son métodos que utilizan la descripción externa. Al final de los sesenta y comienzo de los setenta se presenta el enfoque geométrico del problema de control, que utiliza métodos del álgebra lineal. En paralelo se desarrollan los métodos de identificación de sistemas, por mínimos cuadrados y de máxima verosimilitud, este último fue desarrollado por Fisher en 1912 y aplicado en sistemas industriales por Åström y Bohlin en 1965.

El concepto de regulador autoajustable fue propuesto inicialmente por Kalman, utilizando un método de identificación de mínimos cuadrados recursivos en su artículo "Design of a self-optimizing control system" [Kalman 58], otro sistema, basado en la minimización de la varianza de salida es desarrollado por Peterka en 1970, y por Åström y Witenmark en [Åström 73]. Se consideraba el problema en un entorno estocástico.

La técnica de los sistemas autoajustables se basa en que si se dispone de un método válido de diseño de reguladores que parte del conocimiento del modelo del proceso, para realizar un control que se adapte a los cambios en el proceso basta con acoplar ese método de diseño de reguladores con un procedimiento de identificación en línea. Para ello se supone, evidentemente, que existe una separación entre las tareas de identificación y control. Se dispondrá de un "calculador" que en paralelo al control se encarga de calcular los valores óptimos de los coeficientes del regulador. Este "calculador" consiste en un estimador recursivo de los parámetros del sistema o proceso controlado. Los resultados del estimador servirán para calcular los valores óptimos de los coeficientes del regulador.

1.10 Reguladores analógicos de temperatura.

Los sistemas analógicos de control, tienen la particularidad de que todas las variables son continuas y dependientes del tiempo. En lo que respecta a los sistemas reguladores, tienen como función principal mantener constante el valor de una variable controlada. En la actualidad existen diversas empresas dedicadas a la investigación e innovación de dispositivos electrónicos en diversos campos. En el caso de los reguladores de temperatura, se pueden mencionar algunos dispositivos de estas características así como los modelos de algunos de ellos.

Automatismos Control y Programación, S.L.U.
(Empresa española).

Regulador analógico de temperatura XCT10XX

Características:

- Funcionamiento on – off
- Sensor pt 100
- Salida de relé
- Rangos normalizados de 100 °C a 300 °C



PCE Ibérica (Empresa española).

Características:

- Tensión de alimentación: 85 - 253 V AC / DC.
- Entrada de sensor: Termoelemento tipo J.
- Rango de medición y regulación: hasta máxima 900 °C (seleccionable).
- Salidas de regulación: Relé o salida SSR (seleccionable).
- Salida de alarma (opcional): Relé de alarma.



Ascon Technology Srl (Empresa italiana)
Regulador analógico de temperatura modelo
TCPDE

Características:

- Tipo termoelectrico
- Oscilación de temperatura: 100 °C a 1200 °C
- Visualización analógica
- Montado en panel.



1.11. Reguladores digitales de temperatura.

A diferencia de los reguladores analógicos, en los reguladores digitales de temperatura se pueden realizar trabajos de regulación sencillos y complejos. De igual forma, tienen como característica principal que operan con variables discretas, es decir que únicamente pueden tomar valores predeterminados en función de la precisión del sistema, y estas variables se conocen sólo en algunos instantes de tiempo. Se puede conectar a los reguladores de temperatura diferentes tipos de sensores, tales como de sensores de resistencia o de termoelementos. Los reguladores de temperatura están disponibles en versiones de 2 o 3 puntos, o como regulador continuo, lo que permite usar funciones On/Off o realizar una regulación continua. Los diferentes reguladores de temperatura disponen, además de la regulación por relé de la magnitud, también otras alarmas que le permiten al usuario conectar por ejemplo, alarmas visuales o sonoras. La programación de los reguladores de temperatura se efectúa mediante las teclas incorporadas, mientras que la indicación de los valores se muestra en la pantalla LCD. Además, algunos

reguladores de temperatura disponen de indicadores digitales con gráficos de barra que permiten tener una visión general de la magnitud.

Regulador DSP 1230, modelo de pulsador
(empresa transnacional)

Características:

- Microprocesador de altas prestaciones.
- Display LCD de 16x2 caracteres de alto contraste.
- Protección contra inversión de polaridad de la batería y del panel.
- Sonda externa para medir la temperatura del acumulador y compensar las variaciones de temperatura.
- Corriente de 30 Amperios continuos de entrada y 30 de salida. Versiones estándar de 12 y 24V.



Regulador digital PCE-RE72 (PCE ibérica,
empresa española)

Características.

- Dos indicadores LED de 4 dígitos.
- Dos salidas relés
- Protección parte frontal IP 65.
- Entrada analógica universal: P, PD, PI, PID, regulación On/Off con histéresis
- Entrada de 0 / 4 - 20 mA 0...5/10 V.
- PT 100 (de 2 o 3 hilos); PT 1000 hilos
- Termoelementos tipo J, T, K, S, R, B, E, N.



CAPÍTULO II.

La importancia del orden y secuencia en el diseño de los circuitos electrónicos, nos da pauta para realizar un buen trabajo, tal es el caso del presente regulador de temperatura para caudales convencionales. Como se explicó en la parte introductoria del presente trabajo, este diseño consta de tres etapas: etapa de disparo, etapa de control y etapa de registro. La figura 2-1 muestra las etapas del circuito.

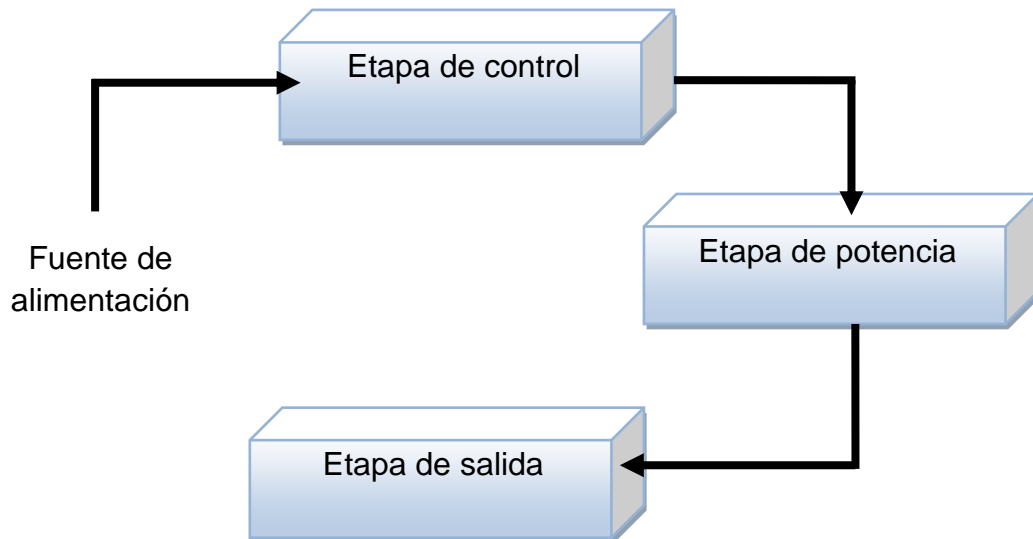


Figura 2-1. Diagrama a bloques del sistema de regulación electrónico de temperatura para caudales convencionales.

La distribución de las etapas, está en función del proceso que se sigue en la utilización del caudal y la regulación de la temperatura de éste. De esta forma, en la fuente de alimentación se utiliza voltaje de línea ordinaria suministrada por la empresa Comisión Federal de Electricidad, cuyo voltaje de línea es de 120 voltios.

2.1. Etapa de control

La etapa inicial del proceso de regulación de temperatura, está formada por diversos dispositivos electrónicos cuya función principal es, generalmente, alimentar una corriente continua, y encargarse de enviar señales de control al circuito de potencia con la finalidad de que los elementos que se encuentran en la etapa de potencia, conduzcan o dejen de conducir ciertos intervalos de tiempo, regulando la potencia entregada a la salida y modificando la presentación de la energía eléctrica. Las señales enviadas pueden aislarse del circuito de potencia a través de procedimientos de conmutación de dispositivos de control, con el fin de aislar eléctricamente el circuito de potencia del de control.

2.1.1 El Diac (Diode alternative current)



Este dispositivo es un diodo de disparo bidireccional y ampliamente utilizado para el disparo de tiristores y triacs.

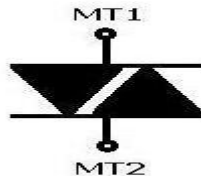


Figura 2-2. Símbolo del DIAC

El diac cuenta con dos terminales que funcionan como un par de diodos zener conectados en serie y orientados de forma opuesta. La conducción se inicia cuando se supera el valor de tensión del diodo zener que está conectado en sentido opuesto. Normalmente este dispositivo no conduce, sino que tiene una corriente pequeña de fuga. Sin embargo, cuando el voltaje de tensión es alcanzado, la tensión se reduce y entra en conducción dejando pasar la corriente para el disparo del scr o triac. Derivado de esto, se utiliza generalmente como control de potencia controlando sus fases. La figura 2-3 muestra el comportamiento del dispositivo.

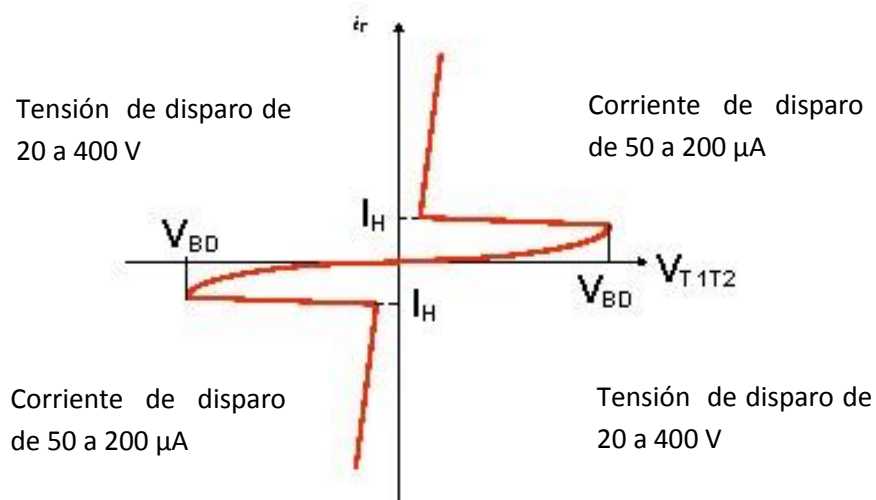


Figura 2-3. Curva característica del diac.

Si se aumenta la tensión de los ánodos en cualquiera de los sentidos, se llega a producir un fenómeno de ruptura primaria de un transistor. La curva característica exhibe una zona de resistencia negativa en la que la tensión de saturación depende del mayor o menor grado de hibridación de la estructura cristalina para el funcionamiento como tiristor. Por estar más cerca del funcionamiento de un semiconductor de tres capas, la tensión de intensidad de ruptura es del orden de los 30V y 100 μ A; mientras que el pico de intensidad que puede soportar es de unos 2 A. La asimetría de tensión no suele llegar a los 2 V.

De igual forma puede percibirse que cuando el voltaje de cualquier polaridad entre sus dos terminales supera el valor especificado, entra en avalancha y disminuye su resistencia interna a un valor muy bajo. Esto significa que, si es colocado en paralelo con la salida de una fuente de corriente alterna, podrá recortar todos los picos positivos y negativos que pase del voltaje del umbral del diac. Si es puesto en serie, solamente dejará pasar corriente cuando lleve más tensión que la del gatillado para triacs en circuitos de corriente alterna.

Este dispositivo tiene un rango simétrico de conmutación en ambos sentidos de 20 a 40 voltios, tensión que usualmente excede el punto de umbral de puerta de los triacs, de tal forma que estos trabajan siempre en un nivel seguro.

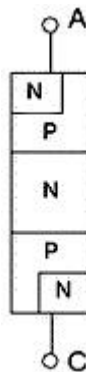


Figura 2-4. Estructura interna del diac

El funcionamiento del DIAC consiste fundamentalmente en llevar la estructura NPN hasta un voltaje de ruptura equivalente al del transistor bipolar. Debido a la simetría de construcción de este dispositivo, la ruptura puede ser en ambas direcciones y debe procurarse que sea la misma magnitud de voltaje. Una vez que el dispositivo empieza a conducir corriente sucede un decremento en el voltaje de ruptura, presentando una región de impedancia negativa (si se sigue aumentando la corriente puede llegar hasta la segunda ruptura), entonces se logra que el dispositivo maneje corrientes muy grandes.

2.1.1.1. Circuitos de disparo.

Como este dispositivo es utilizado como un control de fase de la corriente del triac, pueden utilizarse para el control de iluminación con intensidad variable, calefacción eléctrica con regulación de temperatura y algunos controles de velocidad de motores. El circuito más recurrente para estas aplicaciones es el siguiente.

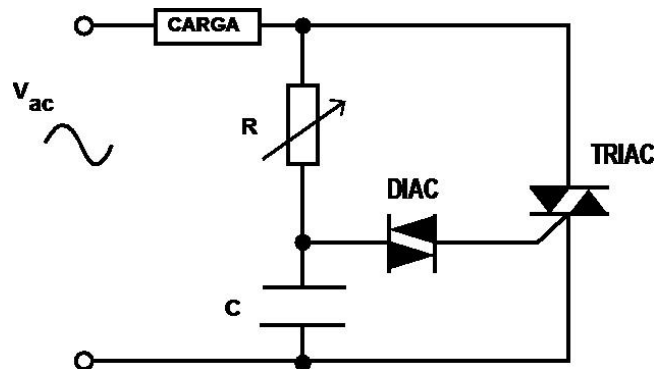


Figura 2-5. Circuito simple de disparo del diac

Del circuito se deduce que el potenciómetro, cara al condensador C hasta que se alcanza la tensión de disparo del diac, y consecuentemente se produce a través de él la descarga del capacitor, cuya corriente alcanza la compuerta del triac y le genera conducción. Este mecanismo se produce una vez en el semiciclo positivo y otra en el negativo. El momento de disparo puede ser ajustado a través del potenciómetro, variando como consecuencia el tiempo de conducción del triac, y por lo tanto, el valor de voltaje medio aplicado a la carga.

2.1.2. El SCR (Silicon Controlled Rectifier)



El rectificador controlado de silicio, es un dispositivo de tres terminales utilizado para controlar corrientes relativamente grandes de una carga. La figura 2-6 muestra el símbolo del dispositivo, así como sus componentes

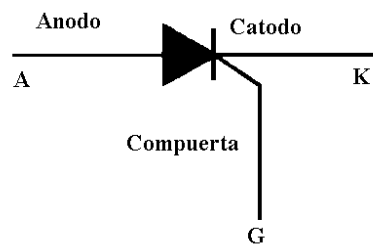


Figura 2-6. Símbolo del SCR

2.1.2.1. Funcionamiento

Los SCR actúan se forma similar a un interruptor. Cuando está conduciendo presenta un camino de baja resistencia para el flujo de corriente de ánodo a cátodo; por consiguiente actúa como un interruptor cerrado. Por otro lado, cuando está bloqueado, no puede fluir corriente de ánodo a cátodo, por lo que actúa como un interruptor abierto. Debido a que es un dispositivo de estado sólido, la conmutación de un SCR es muy rápida.

El valor promedio de la corriente que fluye por la carga, puede controlarse colocando un SCR en serie con la carga. Esta disposición se muestra en figura 14, el cual muestra una fuente de alimentación de corriente alterna y frecuencia de 60 Hz.

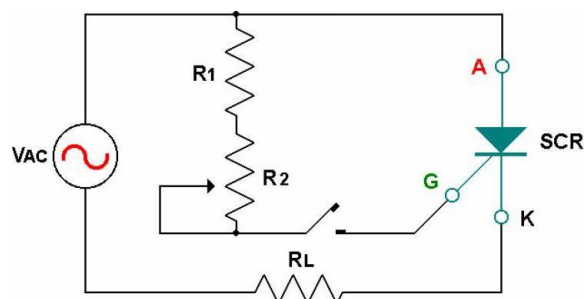


Figura 2-7. Relación circuital entre la fuente de voltaje, un SCR y la carga

Como la fuente de alimentación es de corriente alterna, el SCR permanece una cierta posición del período en el estado de conducción y el resto del período en el estado bloqueado. En una fuente ac de 60Hz, el período es de 16.67 mseg. Son estos 16.67 mseg los que deben repartirse entre el estado de conducción y el estado de bloqueo. La cantidad de tiempo que permanece en cada estado se controla por medio de la puerta.

Cuando el SCR permanece en estado de conducción, la magnitud promedio de la corriente por la carga es pequeña. Esto es debido a que la corriente puede fluir de la fuente a la carga y a través del SCR solamente durante un tiempo pequeño. Si la señal de puerta se cambia de tal manera que el SCR permanece en conducción durante una gran porción del período, entonces la magnitud promedio de la corriente será grande. Esto es debido a que ahora la corriente puede fluir desde la fuente a la carga y a través del SCR durante un tiempo relativamente grande. En esta forma, la corriente por la carga puede variarse ajustando la magnitud de la porción del período en la cual el SCR está en conducción.

Tal y como su nombre lo sugiere, el SCR es un rectificador, de modo que solamente permite el paso de corriente durante el semiciclo positivo de la fuente ac. El semiciclo positivo es el semiciclo en el cual el ánodo del SCR es más positivo que el cátodo. Es decir que el SCR mostrado en la figura 2-8 no puede estar en conducción por más de medio ciclo. Durante el otro medio ciclo, la polaridad de la fuente es negativa, y esta polaridad negativa hace que el SCR quede inversamente polarizado, lo cual impide que circule cualquier corriente hacia la carga.

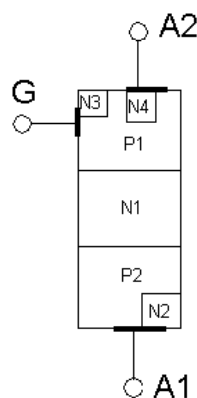


Figura 2-8. Estructura interna del SCR

Como puede observarse, el SCR es un dispositivo de cuatro capas de material semiconductor, con estructura p-n-p-n ó n-p-n-p. De igual forma contiene tres terminales: ánodo, cátodo y puerta; ésta última es la encargada de controlar el paso de corriente entre ánodo y cátodo; básicamente funciona como un diodo rectificador controlado, permitiendo circular la corriente en un solo sentido. Mientras no se aplique ninguna tensión en la puerta del SCR no se inicia la

conducción y en el instante en que se aplique dicha tensión, el tiristor comienza a conducir. Trabajando en corriente alterna el SCR se desexcita en cada alternancia o semiciclo. Trabajando en corriente continua, se necesita un circuito de bloqueo forzado, o bien interrumpir el circuito.

El pulso de conmutación ha de ser de una duración considerable, o bien, repetitivo si se está trabajando en corriente alterna. En este último caso, según se atrase o adelante el pulso de disparo, se controla el punto (o la fase) en el que la corriente pasa a la carga. Una vez arrancado, podemos anular la tensión de puerta y el tiristor continuará conduciendo hasta que la corriente de carga disminuya por debajo de la corriente de mantenimiento (en la práctica, cuando la onda senoidal cruza por cero)

Cuando se produce una variación brusca de tensión entre ánodo y cátodo del tiristor, éste puede dispararse y entrar en conducción aún sin corriente de puerta. Por ello se da como característica la tasa máxima de subida de tensión que permite mantener bloqueado el SCR. Este efecto se produce debido al condensador parásito existente entre la puerta y el ánodo.

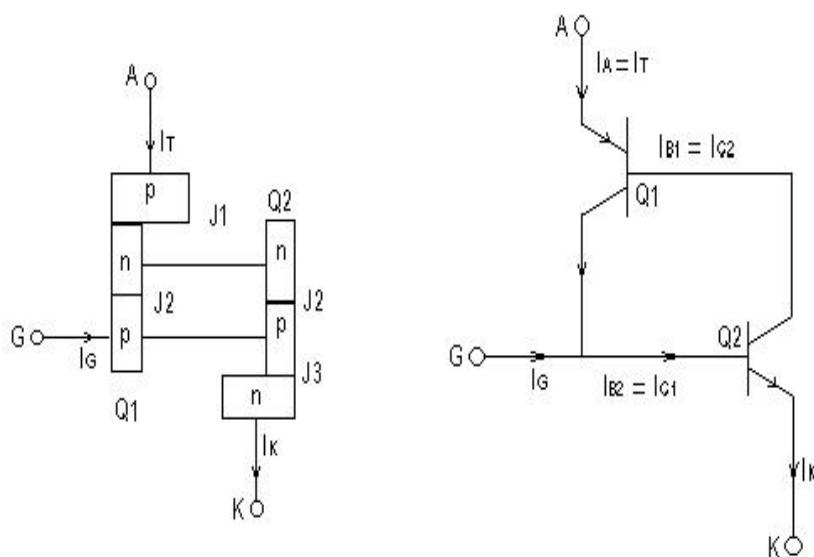


Figura 2-9. Circuito equivalente del SCR.

Cuando se aplica una corriente i_G al terminal G (base de Q_2 y colector de Q_1), se producen dos corrientes llamadas i_{C2} a i_{B1} . La corriente i_{B1} es la corriente base del transistor Q_1 y causa que exista una corriente de colector de Q_1 (i_{C1}) que a su vez alimenta la base del transistor Q_2 (i_{B2}), este a su vez causa más corriente en i_{C2} , que es lo mismo que i_{B1} en la base de Q_1 ; este proceso regenerativo se repite hasta saturar Q_1 y Q_2 provocando el encendido del dispositivo.

2.1.2.2. Formas de onda en el SCR

El SCR presenta un par de ángulos en su operación: ángulo de disparo¹ y ángulo de conducción². La figura 2-10 muestra los intervalos sobre los cuales el SCR opera en conducción o bloqueo.

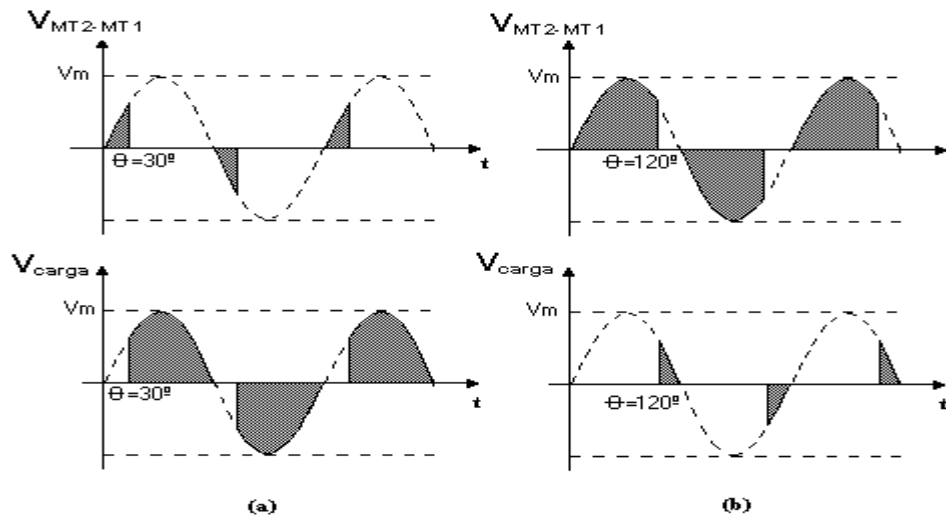


Figura 2-10. Formas de onda ideales de voltaje en terminales del SCR

Cuando el ciclo de corriente alterna empieza su alternancia positiva, el SCR está bloqueado y por lo tanto el voltaje instantáneo a través de sus terminales ánodo y cátodo, es igual al voltaje de la fuente. Esto es justamente lo que sucedería si se colocara un interruptor abierto en lugar del SCR. El SCR está tumbando la totalidad del voltaje de la fuente, el voltaje a través de la carga (V_{carga}) es cero durante este tiempo. El extremo izquierdo de las formas de onda de la figura 2-10 (a) ilustra este hecho. A la derecha del eje horizontal de esa misma figura, se muestra que el voltaje de ánodo a cátodo (V_{AK}) cae a cero después de cerca de un sexto del semiciclo positivo; este es el punto correspondiente a 60° . Cuando V_{AK} cae a cero, el SCR ha sido cebado o ha pasado al estado de conducción; por lo tanto, el ángulo de disparo es de 60° . Durante los próximos 30° el SCR actúa como un interruptor cerrado sin voltaje a través de sus terminales. El ángulo de conducción es 150° . El ángulo de disparo y el ángulo de conducción siempre totalizan 180° .

La forma de onda del voltaje en la carga de la figura 2-10 (a) muestra que cuando el SCR es cebado, el voltaje de la fuente se aplica a la carga. El voltaje de la carga sigue al voltaje de la fuente por el resto del semiciclo positivo, hasta cuando el SCR se bloquea de nuevo. El bloqueo del SCR ocurre cuando el voltaje de la fuente pasa por cero.

¹ Es el número de grados de un ciclo ac que transcurren antes que el SCR pase al estado de conducción.
² Es el número de grados de un ciclo ac durante los cuales el SCR está en conducción.

En general, estas formas de onda muestran que antes del cebado el SCR, la totalidad del voltaje de la fuente cae en terminales del SCR y la carga recibe cero volts. Después del cebado del SCR, la totalidad del voltaje de la fuente cae en la carga, y el SCR tumba el voltaje a cero voltios. El SCR actúa como un interruptor de acción rápida.

La figura 2-10 (b) muestra las mismas formas de onda para un ángulo de disparo diferente. En estas formas de onda, el ángulo de disparo es del orden de 120° y el ángulo de conducción del orden de 60° . La carga recibe el voltaje de la fuente de alimentación durante un tiempo mucho más corto comparado con el de la figura 17(a). Como resultado, la magnitud del promedio de la corriente resultante es más pequeña. Algunas consideraciones en lo que respecta la nomenclatura de estos dispositivos se indica a continuación.

- El voltaje de ruptura directo V_{BR} es el voltaje por arriba del cual el SCR entra a la región de conducción:
 - a) **O**, significa que el dispositivo opera como un circuito abierto de G a K.
 - b) **S**, representa circuito cerrado de G a K.
 - c) **R**, implica una resistencia considerable de G a K.
 - d) **V**, indica una polarización fija de G a K.
- La corriente de sostenimiento (I_H) es el valor de corriente por abajo del cual el SCR cambia del estado de conducción a la región de bloqueo directo bajo las condiciones establecidas.
- Las regiones de bloqueo directo e inverso son las regiones que corresponden a la condición de circuito abierto para el rectificador controlado que bloquean el flujo de carga (corriente) del ánodo al cátodo.
- El voltaje de ruptura inverso es equivalente al voltaje Zener o a la región de avalancha del diodo semiconductor de dos capas fundamental.

2.1.2.3. Características de puerta del SCR

Un SCR es cebado por la inyección de un pulso de corriente en la puerta. Esta corriente de puerta i_G fluye a través de la unión entre compuerta y cátodo y sale del SCR por el terminal de cátodo. La magnitud de la corriente de puerta necesaria para cebar un SCR en particular se simboliza por I_{GT} . La mayoría de los SCR requieren una corriente de puerta comprendida entre 0.1 y 20 mA para cebarse ($I_{GT}=0.1$ a 20 mA). Dado que entre puerta y cátodo hay una unión p-n estándar, el voltaje entre estos terminales (V_{GK}) será ligeramente mayor que 0.6 V. La figura 2-11 muestra las condiciones que deben existir en la puerta del SCR para el cebado.

Una vez cebado el SCR, no es necesario que continúe fluyendo corriente por la puerta, ya que el dispositivo permanece en conducción por el tiempo que fluya corriente a través de sus terminales principales, de ánodo a cátodo.

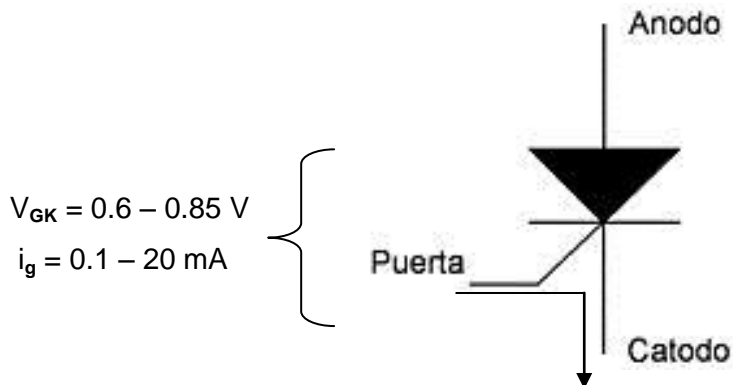


Figura 2-11. Voltaje de puerta a cátodo y corriente de puerta necesarios para cebar un SCR

Cuando la corriente de ánodo a cátodo (i_{AK}) descienda por debajo de algún valor mínimo, denominada corriente de mantenimiento, simbolizada por I_{HO} , el SCR se bloqueará. Esto generalmente ocurre cuando el voltaje ac de alimentación pasa por cero voltios hacia su zona negativa. Para la mayoría de los SCR de mediana potencia I_{HO} es del orden de 10 mA.

2.1.2.4. Funcionamiento del SCR en corriente alterna

Los circuitos de disparo, comúnmente utilizados para el control de compuerta, están diseñados utilizando un potenciómetro y una carga conectada al cátodo del dispositivo, tal como se muestra en la figura 2-12.

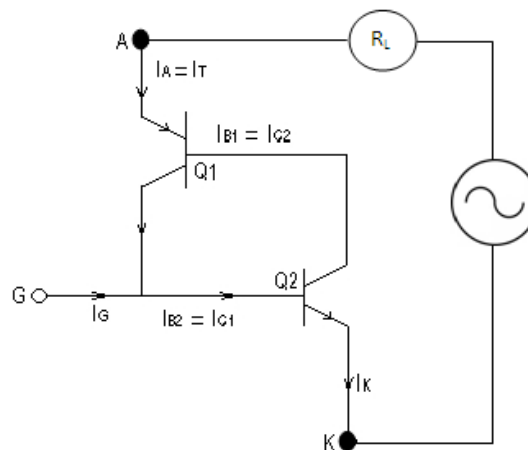


Figura 2-12. Circuito equivalente del SCR, operando con corriente alterna

En el diagrama se utiliza una fuente de voltaje ac para alimentar ambos circuitos, el circuito de control de puerta y el circuito de carga. Esta modalidad es muy común en circuitos con SCR.

Como la fuente es de corriente alterna, cuando el interruptor está abierto, no es posible la circulación de corriente hacia la puerta. El SCR nunca pasará a conducción, de modo que esencialmente es un circuito abierto en serie con la carga y por lo tanto ésta se encuentra desenergizada.

Cuando se cierra el interruptor, habrá corriente hacia la puerta cuando la fuente de voltaje sea positiva. El ángulo de disparo está determinado por la posición de R_s , la resistencia variable o potenciómetro. Si R_2 es baja, la corriente de puerta será suficientemente grande para cebar al dispositivo cuando la magnitud de la fuente de voltaje sea baja. Por lo tanto, el ángulo de disparo será pequeño y la magnitud del promedio de la corriente por la carga será grande. Si R_2 es alta, la fuente de voltaje debe subir a un valor alto para poder entregar suficiente corriente de puerta para cebar el SCR. Esto aumenta el ángulo de disparo y reduce la magnitud del promedio de la corriente de carga.

El propósito de R_1 es el de mantener algún valor fijo de resistencia en la terminal en caso que R_2 sea puesta a cero. Esto es necesario para proteger la puerta de sobre corrientes. R_1 determina también el mínimo ángulo de disparo. En algunos casos se inserta un diodo en serie con la puerta para proteger la unión puerta – cátodo contra voltajes inversos altos.

Una desventaja de este circuito de disparo simple es que el ángulo de disparo puede ajustarse solamente de 0° a 90° . Este hecho puede entenderse si analizamos las formas de onda de disparo ideales, de la figura 2-13.

Se muestra que i_G apenas si alcanza a I_{GT} , la corriente de puerta necesaria para cebar el SCR. Bajo esta circunstancia el dispositivo se ceba a los 90° del ciclo. Puede suceder que si i_G fuese más pequeña, no podría de ninguna manera, cebarse el SCR. Por tanto, ángulos de disparo mayores a 90° no son posibles con este tipo de circuito de control de puerta.

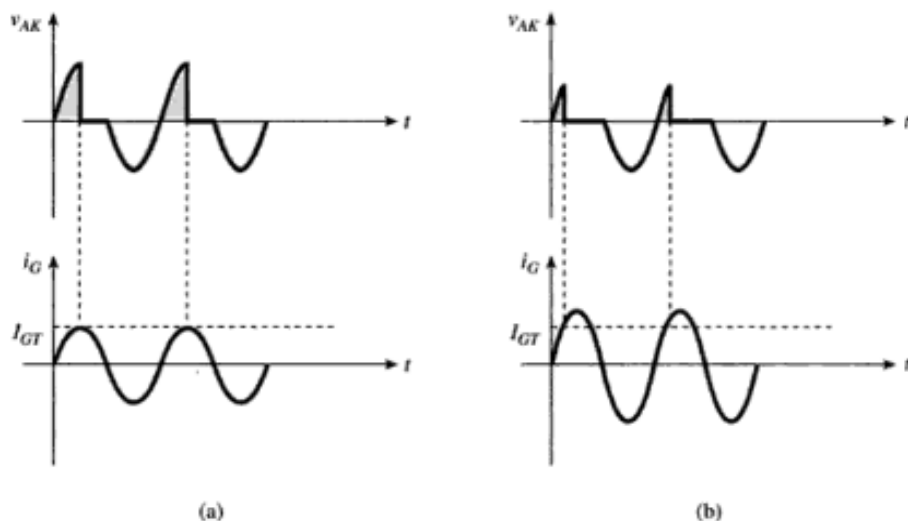


Figura 2-13. Formas de onda ideales del voltaje en los terminales principales del SCR y de la corriente de puerta.

En la figura 2-13 (b) i_G es un poco grande. En este caso, i_G alcanza el valor de i_{GT} relativamente pronto durante el ciclo, lo cual produce un pronto cebado del SCR. Tan pronto como el SCR se deba, el voltaje de ánodo a cátodo cae casi a cero (de hecho de 1 a 2 voltios por la mayoría de los SCR). Dado que el voltaje de puerta está derivado del voltaje ánodo – cátodo, también caerá prácticamente a cero, suspendiendo la corriente de puerta. Además, dado que la puerta está inversamente polarizada durante el semiciclo negativo de la fuente ac de voltaje, realmente, no hay corriente negativa de puerta, tal como lo ilustra la figura 2-13. Entonces en realidad, la curva i_G es una onda senoidal en fase con la fuente de voltaje solamente en la región comprendida entre 0° y el punto de disparo; en cualquier otro momento i_G es cercana a cero.

Antes del disparo, la forma de onda de V_{AK} , es prácticamente idéntica a la forma de onda de la fuente ac, debido a que la caída de tensión en la carga, es despreciable antes del disparo. El voltaje en la carga es pequeño debido a que la resistencia de la carga en circuitos como éste, es mucho más pequeña que la resistencia en el circuito de control de puerta. La resistencia de la carga casi siempre es menor a 100Ω y algunas veces menor que 10Ω . La resistencia fija en el circuito de control de puerta, típicamente es del orden de varios miles de ohmios. Cuando estas dos resistencias se conectan en serie, como sucede antes del disparo, el voltaje a través de la pequeña resistencia de carga, es naturalmente menor. Esto hace que la casi totalidad del voltaje de la fuente aparezca en los terminales del SCR.

El flujo de corriente promedio para una carga puede ser controlado colocando un SCR en serie con la carga. La alimentación de voltaje es comúnmente una fuente de 60-Hz de ca, pero puede ser de cd en circuitos especiales.

Si la alimentación de voltaje es de ca, el SCR pasa una cierta parte del tiempo del ciclo de ca en el estado ON, y el resto del tiempo en el estado OFF. Para una fuente de 60-Hz de ca, el tiempo del ciclo es de 16.67 ms. Son estos 16.67 ms los que se dividen entre el tiempo que está en ON y el tiempo que está en OFF. La cantidad de tiempo que está en cada estado es controlado por el disparador.

Si una porción pequeña del tiempo está en el estado ON, la corriente promedio que pasa a la carga es pequeña. Esto es porque la corriente puede fluir de la fuente, a través del SCR, y a la carga, sólo por una porción relativamente pequeña del tiempo. Si la señal de la compuerta es cambiada para hacer que el SCR este en ON por un periodo más largo del tiempo, entonces la corriente de carga promedio será mayor. Esto es porque la corriente ahora puede fluir de la fuente, a través del SCR, y a la carga, por un tiempo relativamente mayor. De esta manera, la corriente para la carga puede variarse ajustando la porción del tiempo del ciclo que el SCR permanece encendido

2.1.2.5. Funcionamiento del SCR en corriente directa

Cuando un SCR es utilizado en un circuito dc, no ocurre bloqueo automático, porque la fuente de voltaje no pasa por cero. En estos casos, se utilizan otros medios para suspender la corriente principal del SCR y reducirla por debajo de I_{HO} . El método obvio para hacerlo es desconectar la fuente de alimentación dc, pero resulta demasiado impráctico.

Generalmente, la corriente principal se suspende efectuando un cortocircuito temporal entre ánodo y cátodo. Este procedimiento se muestra en figura 2-14, en la cual un transistor como interruptor está conectado en paralelo con el SCR. Cuando el SCR va a ser bloqueado, el circuito de disparo activa el transistor y lo lleva a saturación.

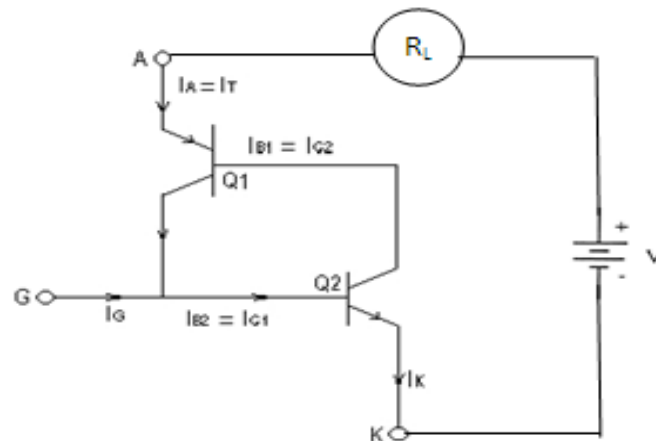


Figura 2-14. Circuitos de conmutación con SCR en corriente directa. El transistor como interruptor cortocircuita el SCR.

La corriente de carga circula momentáneamente por el transistor haciendo que la corriente principal del SCR caiga por debajo de I_{HO} . El transistor mantiene en conducción el tiempo suficiente para que el SCR se bloquee. Este hecho normalmente toma algunos milisegundos en un SCR de mediana potencia. Luego el circuito de disparo suspende la corriente de base, llevando el transistor a corte antes que sea dañado por el paso de la gran corriente de carga.

En esta distribución el circuito de disparo es responsable tanto por la conducción como por el bloqueo del SCR. Puede ejecutarse el bloqueo más efectivo si se polariza inversamente al SCR. Un circuito capaz de efectuarlo se muestra en la figura 2-15.

Si no existe corriente en la compuerta el tiristor no conduce. Lo que sucede después de ser activado el SCR, es que se queda conduciendo (activado) y se mantiene así. Si se desea que el tiristor deje de conducir (desactivado), el voltaje +V debe ser reducido a 0 Voltios.

Si se disminuye lentamente el voltaje (tensión), el tiristor seguirá conduciendo hasta que por el pase una cantidad de corriente menor a la llamada "corriente de mantenimiento o de retención", lo que causará que el SCR deje de conducir aunque la tensión V_G (voltaje de la compuerta con respecto a tierra no sea cero).

Como puede apreciarse, el SCR tiene dos estados: estado de conducción y estado de corte.

- Estado de conducción.- En este caso, la resistencia entre el ánodo y el cátodo del tiristor es baja y por consecuencia existe circulación de corriente en ambos transistores, con un solo impulso de entrada por puerta, esto es en el colector de Q_1 la base de Q_2 . Ante ello el circuito se mantiene funcionando como un circuito cerrado. Todo esto sucede cuando se presenta un pulso de conducción en la compuerta, de tal manera que aunque desaparezca algún pulso de entrada, el dispositivo continúa en este estado, ya que le basta un mínimo impulso de entrada para activarse.
- Estado de corte.- Se presenta este estado de corte del dispositivo cuando la resistencia existente es bastante elevada, comportándose el diagrama como un circuito abierto. La inoperación o estado de corte del SCR puede lograrse cuando el voltaje de compuerta ubicado entre el colector de Q_1 y la base de Q_2 , sea disminuido hasta un valor de 0 V. En otras palabras, cuando se disminuye lentamente el voltaje de tensión del tiristor, éste continuará conduciendo hasta que pase por él una cantidad de corriente menor a la corriente de mantenimiento o corriente de sostenimiento o retención, lo que ocasionará que el dispositivo deje de conducir

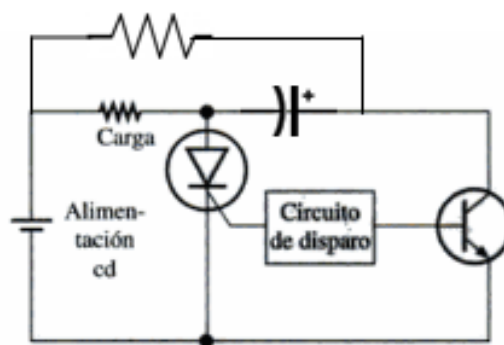


Figura 2-15. Circuito de conmutación con SCR. El transistor como interruptor pone en paralelo con el SCR un condensador cargado para polarizarlo inversamente.

En el circuito mostrado, el condensador se carga con la polaridad indicada cuando el SCR pasa a conducción. Para el bloqueo, el circuito de disparo nuevamente satura el transistor, lo cual efectivamente coloca al condensador en paralelo con el SCR. Dado que el voltaje a través del condensador no puede cambiar instantáneamente, el condensador aplica temporalmente un voltaje inverso al SCR y de esta forma alcanza el bloqueo del dispositivo

2.2. Etapa de potencia

Esta es la etapa del circuito, en la que entran en operación tiristores y triacs, ya que son dispositivos de potencia capaces de soportar grandes tensiones e intensidades.

En esta etapa se presenta, posiblemente la parte fundamental de la regulación del voltaje y potencia, y por lo tanto, la temperatura del diseño. Es aquí donde la etapa de disparo entrega los voltajes o corrientes a los dispositivos de control de potencia, tales como el triac. En esta etapa se presenta la presencia de voltaje, corriente, resistencia, temperatura y potencia al momento de conectar el caudín a la toma de corriente. De igual forma se activan los dispositivos de disparo para dar paso a la etapa de control de potencia.

Los dispositivos electrónicos que forman parte de la etapa de potencia son elementos semiconductores que funcionan prácticamente como interruptores, es decir tendrán que presentar las siguientes características:

Alta impedancia cuando están en bloqueo o corte. (interruptor abierto).

Impedancia muy baja en conducción (interruptor cerrado).

En ambos casos la potencia consumida por estos dispositivos será muy baja puesto que en el primer caso aunque soporten tensiones elevadas, la corriente que circula por el dispositivo será próxima a cero, con lo que el producto de la tensión por la intensidad, que es la potencia consumida, será muy pequeño.

En el segundo caso, la intensidad de la corriente puede ser elevada, pero la caída de tensión en el dispositivo será próxima a cero, con lo cual la potencia vuelve a ser pequeña. Se consumirá más potencia en el paso de conducción a bloqueo y viceversa, pero estos dispositivos tienen tiempos de conmutación pequeños, por lo que tampoco presentan en este caso un consumo de potencia apreciable.

2.2.1. El Triac



El triac de corriente alterna, comúnmente llamado triac, es un dispositivo semiconductor de tres terminales, utilizado para el control de corriente promedio a una carga, con la particularidad de que conduce en ambos sentidos y puede ser bloqueado al invertir la tensión o hacer decaer la corriente por debajo del valor nominal. Este puede ser disparado independientemente de la polarización de compuerta, es decir que es sensible a una corriente de puerta positiva o negativa. Al igual que otros dispositivos de potencia, el triac tiene símbolo propio, además de su circuito equivalente.

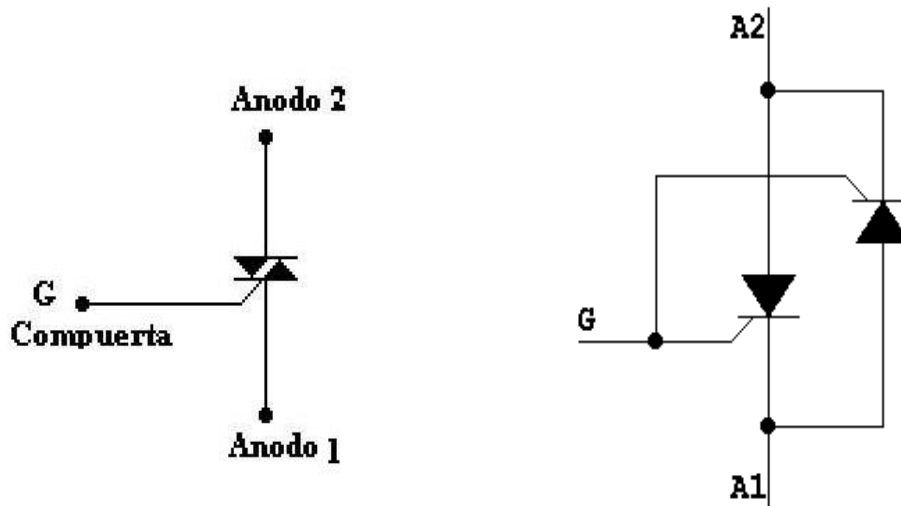


Figura 2-16. Símbolo del triac y circuito equivalente.

En la figura 2-16, se muestra el símbolo representativo del triac, en la que se manifiestan sus componentes externos: ánodo 1, ánodo 2 y compuerta. En lo que concierne al circuito equivalente, es visible la forma estructurada de los tiristores en paralelo: los cátodos dan origen a la compuerta del dispositivo, mientras que ánodos y cátodos opuestos originan los ánodos A_1 y A_2 .

Cuando el triac está en plena conducción, genera una trayectoria electrónica de baja resistencia de una terminal a la otra, misma que depende del flujo de la polaridad del voltaje aplicado. Si el voltaje es más positivo en el ánodo 2, la corriente fluye del ánodo 2 al ánodo 1; en caso contrario, ésta corriente fluye del ánodo 1 al ánodo 2. En ambos casos el triac se comporta como un interruptor cerrado, y deja de conducir cuando no puede fluir corriente entre las terminales principales sin importar la polaridad de voltaje externo aplicado; es decir en estos casos actúa como un interruptor abierto. Cuando se aplica una diferencia de tensión (dv/dt) aún sin conducción previa, el triac puede entrar en conducción directa.

2.2.2. Características generales.

1. La corriente puede circular en ambas direcciones.
2. Son dispositivos adecuados para convertidores de conmutación forzada en aplicaciones de potencia intermedia y alta.
3. Se aplican para el control de encendido por puerta (pulso) y no es posible apagarlo desde la puerta.
4. Pueden apagarse con pulsos de señal negativa.
5. Soportan potencias elevadas cercanas a los 4000 A y 7000 volts.
6. Frecuencia máxima de funcionamiento baja, ya que sacrifica la velocidad para conseguir una caída en conducción lo menor posible. Debido a esto, su funcionamiento se centra en aplicaciones a frecuencia de red.

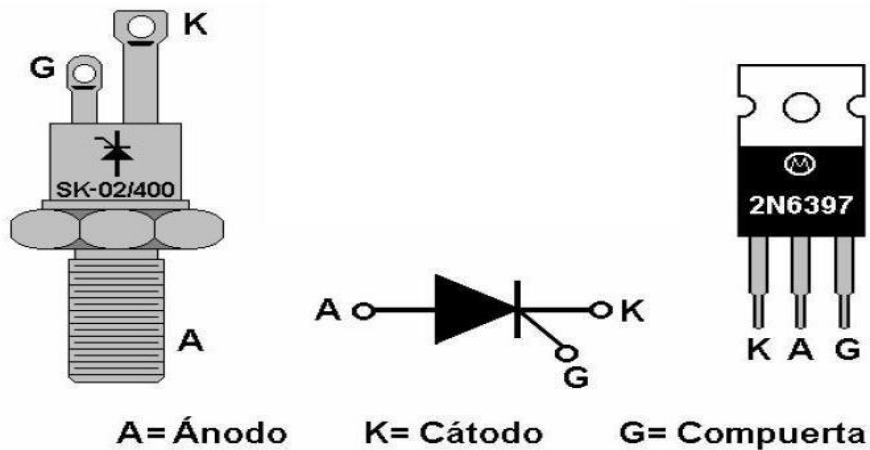


Figura 2-17. Símbolo y representación comercial de algunos tipos de triac.

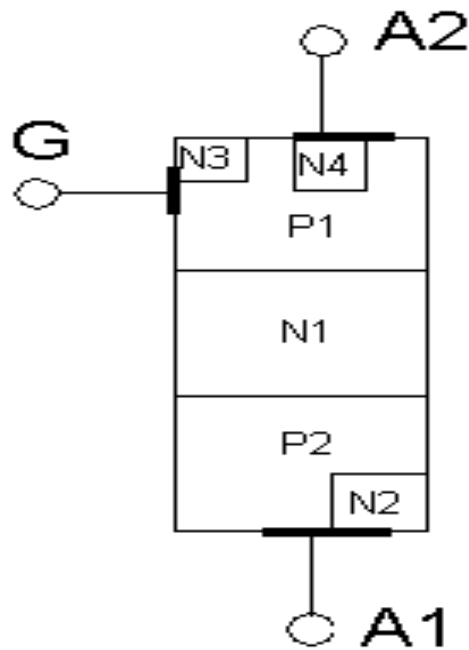


Figura 2-18. Estructura interna del triac, a partir de materiales semiconductores.

La figura 2-18 muestra el interior del triac a partir de los semiconductores tipo N y tipo P. Puede apreciarse que contiene seis capas denominadas P1, P2, N1, N2, N3 y N4; la actividad a nivel semiconductor es la siguiente:

Cuando conduce del ánodo 2 al ánodo 1, el recorrido es a través de P1-N1-P2-N2, mientras que en sentido contrario la conducción recorre la trayectoria de

P2-N1-P1-N4. La función de la capa N3 es facilitar el disparo con intensidad de puerta negativa.

Generalmente son fabricados para soportar intensidades que van desde algunos amperios hasta unos 200 A eficaces y desde 400 a 100 V de tensión de pico repetitivo; además de que operan a frecuencias bajas.

El triac tiene cuatro formas de disparo a partir de los cuadrantes, denominados: I (+), III (+), I (-) y III (-).

Disparo cuadrante I (+).- En este tipo de disparo la polaridad del ánodo MT2 y la de la compuerta son positivas, con respecto al ánodo MT1. Este método es el más común. La corriente de compuerta circula internamente hasta MT1, en parte por la unión P2N2 y en parte por la zona P2. Se observa como la corriente pasa por la ruta desde MT2 de: P1N1 y P2N2 para llegar a MT1. (Ver figura 5).

Disparo cuadrante III (-).- En este tipo de disparo es aquel en que la tensión del ánodo MT2 y la tensión de la compuerta son negativos con respecto a MT1. Esto hace que el TRIAC conduzca desde MT1 ésta MT2 pasando por la ruta P2N1P1N4.

Disparo cuadrante I (-).- En este tipo de disparo la polaridad del ánodo MT2 es positiva con respecto al ánodo MT1, mientras que la compuerta tiene una polaridad negativa con respecto al ánodo MT1. El TRIAC conduce del ánodo MT2 al MT1 pasando inicialmente por la ruta P1N1P2N3, y después por la ruta principal P1N1P2N2.

Disparo del cuadrante III (-).- En este modo la tensión del ánodo MT2 es negativa con respecto a la del ánodo MT1 y la tensión de disparo de la compuerta es positiva con respecto al ánodo MT1. Este método conduce por la ruta P2N1P1N4 de MT1 hacia MT2.

La figura 2-19 muestra la curva característica del triac, a partir de los diferentes tipos de disparo.

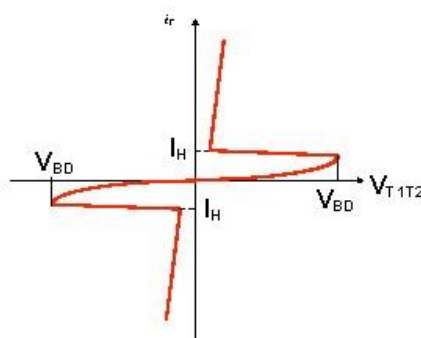


Figura 2-19. Curva característica de voltaje – corriente del triac.

En la figura 2-19 se percibe el comportamiento del voltaje - corriente de un triac, y es visible que primeramente se presenta con pendientes negativas entre los ánodos A_1 y A_2 . El punto V_{BD} , es llamado voltaje de ruptura y es el punto por el cual el dispositivo pasa de una resistencia alta a una resistencia baja y la corriente, a través del Triac, crece con un pequeño cambio en la tensión entre los ánodos. El Triac permanece en estado ON hasta que la corriente disminuye por debajo de la corriente de mantenimiento I_H . Esto se realiza por medio de la disminución de la tensión de la fuente. Una vez que el Triac entra en conducción, la compuerta no controla más la conducción, por esta razón se acostumbra dar un pulso de corriente corto y de esta manera se impide la disipación de energía sobrante en la compuerta. El mismo proceso ocurre con respecto al tercer cuadrante, cuando la tensión en el ánodo A_2 es negativa con respecto al ánodo A_1 y obtenemos la característica invertida. Por esto es un componente simétrico en cuanto a conducción y estado de bloqueo se refiere, pues la característica en el cuadrante I de la curva es igual a la del cuadrante III.

2.2.3. Formas de onda

Las formas de onda de los triac son muy parecidas a las formas de onda de los SCR, a excepción de que pueden dispararse durante el semiciclo negativo. En la figura 2-20 se muestran las formas de onda tanto para el voltaje de carga como para el voltaje del triac (a través de los terminales principales) para dos condiciones diferentes.

En la figura 2-20 (a), las formas de onda muestran apagado el triac durante los primeros 30° de cada semiciclo, durante estos 30° el triac se comporta como un interruptor abierto, durante este tiempo el voltaje completo de línea se cae a través de las terminales principales del triac, sin aplicar ningún voltaje a la carga. Por tanto no hay flujo de corriente a través del triac y la carga. La parte del semiciclo durante la cual existe esta situación se llama ángulo de disparo de disparo. Después de transcurrido los 30° , el triac dispara y se vuelve como un interruptor cerrado y comienza a conducir corriente a la carga, esto lo realiza durante el resto del semiciclo. La parte del semiciclo durante la cual el triac está encendido se llama ángulo de conducción. El ángulo de conducción en la figura 2-20 (a) es 150° . Las formas de onda muestran que durante el ángulo de conducción la totalidad del voltaje de línea se aplica a la carga, y cero volts aparece a través de los terminales principales del triac.

En la figura 2-20 (b), se muestran las mismas formas de ondas pero con ángulo de retardo de disparo mayor.

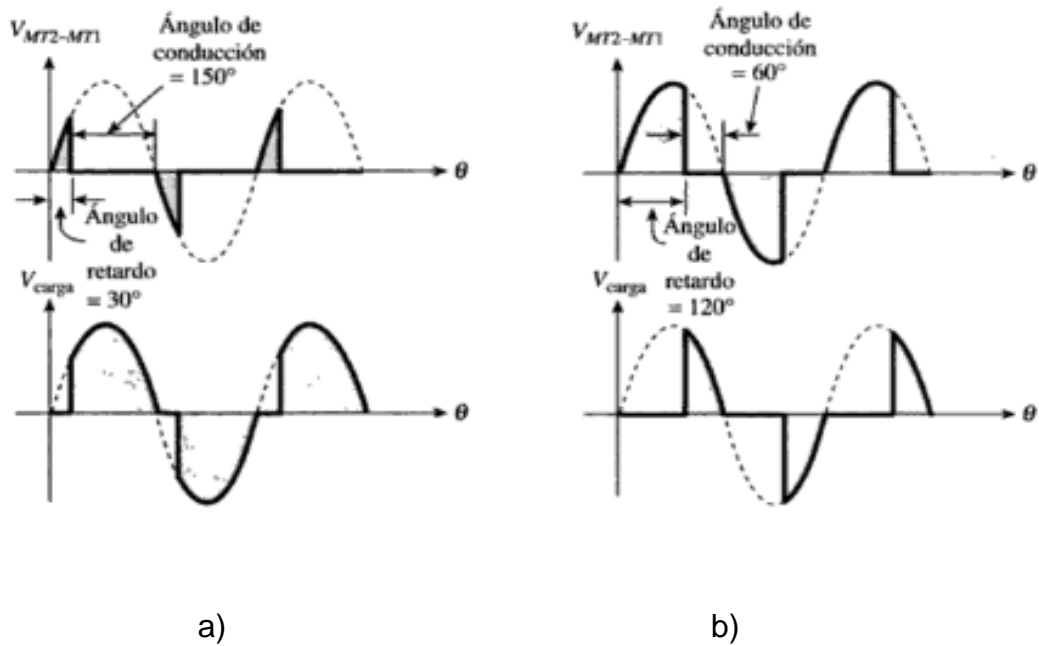


Figura 2-20. Formas de onda del triac, entre sus principales terminales, con ángulos de disparo de 30° y 120° .

El ángulo de disparo es de 120° y el ángulo de conducción es de 60° . Dado que la corriente fluye durante una pequeña porción de la totalidad del ciclo en este caso, el promedio de corriente es menor que cuando se encontraba en condición de la figura 2-20 (a), y por lo tanto se transfiere menos potencia de la fuente de carga.

Los triacs, al igual que los SCR y muchos otros dispositivos semiconductores, presentan un notorio rango de variación en sus características eléctricas. Este problema es especialmente evidente con los triacs porque usualmente sucede que los requerimientos de disparo son diferentes para las dos polaridades de la fuente de voltaje.

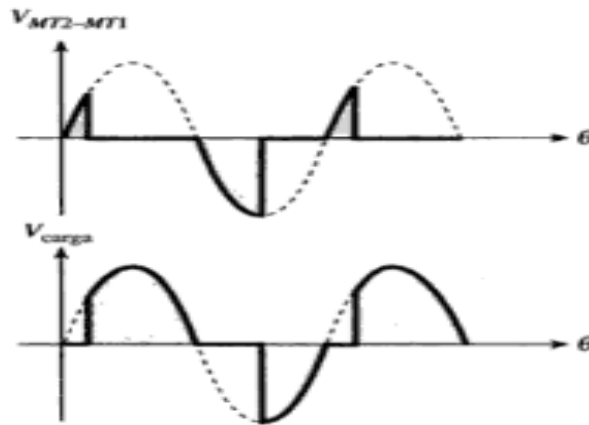


Figura 2-21. Formas de onda del triac, entre sus principales terminales, con ángulos de disparo iguales.

La figura 2-21 nos muestra un ángulo de disparo más pequeño en el semiciclo positivo que en el semiciclo negativo, esto es debido a la tendencia del triac a dispararse más fácilmente en el semiciclo positivo. Otros triacs del mismo tipo podrían presentar una tendencia a dispararse más fácilmente durante el semiciclo negativo; en este caso el ángulo de disparo negativo sería pequeño.

El triac es uno de los dispositivos electrónicos de potencia más utilizado, debido principalmente a que es bidireccional y simétrico; razón de ello tiene las principales aplicaciones:

- Su versatilidad lo hace ideal para el control de corrientes alternas.
- Una de ellas es su utilización como interruptor estático ofreciendo muchas ventajas sobre los interruptores mecánicos convencionales y los relés.
- Funciona como interruptor electrónico y también a pila.
- Se utilizan triacs de baja potencia en muchas aplicaciones como atenuadores de luz, controles de velocidad para motores eléctricos, y en los sistemas de control computarizado de muchos elementos caseros. No obstante, cuando se utiliza con cargas inductivas como motores eléctricos, se deben tomar las precauciones necesarias para asegurarse que el TRIAC se apaga correctamente al final de cada semiciclo de la onda de corriente alterna

2.3. Dispositivos complementarios

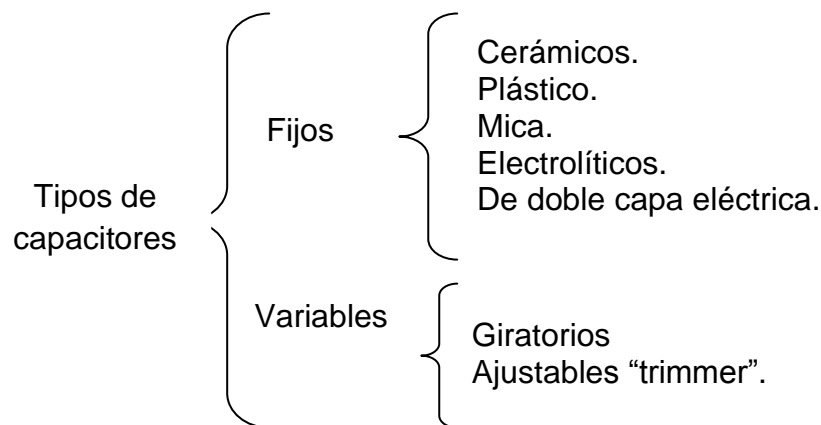
A continuación se presentan los dispositivos que complementan el trabajo de los elementos que existen en las etapas de disparo y de potencia.

2.3.1. Capacitores o condensadores.



Los condensadores son dispositivos electrónicos cuya función principal es almacenar energía para acelerar o prolongar el disparo de dispositivos de potencia. Están formados por dos placas separadas por un elemento no conductor, cuyo objetivo primordial es introducir capacitancia en un circuito eléctrico.

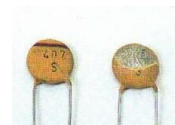
Existen dos tipos generales de capacitores: fijos y variables.



2.3.1.1. Capacitores fijos.

Como puede observarse en el cuadro sinóptico, existen cuatro variantes de capacitores, todos tienen en común una capacidad fija determinada por el fabricante y su valor no se puede modificar. Sus características dependen principalmente del tipo de dieléctrico utilizado, de tal forma que los nombres de los diversos tipos se corresponden con los nombres del dieléctrico usado.

a) Capacitores cerámicos



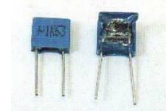
Utilizan la cerámica como dieléctrico, siendo el material más utilizado el dióxido de titanio. Sin embargo, estos materiales confieren al capacitor grandes inestabilidades por lo que en base al material se pueden diferenciar dos grupos: uno de ellos se caracteriza por su alta estabilidad con un coeficiente de temperatura bien definido y casi constante; otro grupo no tiene definido su coeficiente de temperatura y además no es líneas, cuya capacidad varía considerablemente con la temperatura, el voltaje y el tiempo de funcionamiento.

Como ventaja de estos dispositivos, es que las altas constantes dieléctricas características de las cerámicas permiten amplias posibilidades de diseño mecánico y eléctrico.

Las especificaciones generales son las siguientes:

- Capacitancias en la gama de 0,5 pF hasta 470 nF
- Tensión de trabajo desde 3 V. a 15.000 Volts o más.
- Tolerancia entre 1% y 5%
- Relativamente chicos en relación a la Capacitancia.
- Amplia banda de tensiones de trabajo.
- Son adecuados para trabajar en circuitos de alta frecuencia.
- Banda de tolerancia buena para aplicaciones que exigen precisión.

b) Capacitores de plástico.



La principal característica de estos condensadores es su alta resistencia de aislamiento y elevada temperatura de funcionamiento. Según el proceso de fabricación podemos diferenciar entre los de tipo k y tipo MK, que se distinguen por el material de sus armaduras (metal en el primer caso y metal vaporizado en el segundo).

Según el dieléctrico usado se pueden distinguir estos tipos comerciales:

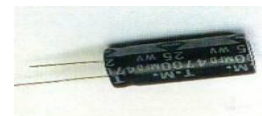
- KS: styroflex, constituidos por láminas de metal y poliestireno como dieléctrico.
- KP: formados por láminas de metal y dieléctrico de polipropileno.
- MKP: dieléctrico de polipropileno y armaduras de metal vaporizado.
- MKY: dieléctrico de polipropileno de gran calidad y láminas de metal vaporizado.
- MKT: láminas de metal vaporizado y dieléctrico de teraftalato de polietileno (poliéster).
- MKC: makrofol, metal vaporizado para las armaduras y policarbonato para el dieléctrico.

c) Capacitores de mica



En estos capacitores, el dieléctrico utilizado es la mica o silicato de aluminio y potasio y se caracterizan por bajas pérdidas, ancho rango de frecuencias y alta estabilidad con la temperatura y el tiempo.

d) Capacitores electrolíticos



En estos capacitores una de las armaduras es de metal mientras que la otra está constituida por un conductor iónico o electrolito. Presentan unos altos

valores capacitivos en relación al tamaño y en la mayoría de los casos son polarizados.

Podemos distinguir dos tipos:

- Electrolíticos de aluminio: la armadura metálica es de aluminio y el electrolito de tetraborato armónico.
- Electrolíticos de tántalo: el dieléctrico está constituido por óxido de tántalo y nos encontramos con mayores valores capacitivos que los anteriores para un mismo tamaño. Por otra parte las tensiones nominales que soportan son menores que los de aluminio y su costo es algo más elevado.

Las especificaciones generales son las siguientes:

- Capacitancia en la gama de $1\mu\text{F}$ a $220.000\mu\text{F}$.
- Tensiones de trabajo entre 2 y 1.000 V.
- Tolerancia entre -20% y $+50\%$, generalmente.
- La corriente de fuga es relativamente alta o sea que la aislamiento no es excelente.
- Son polarizados, se debe respetar la polaridad.
- La capacidad aumenta a medida que el capacitor envejece.
- Tienen una duración limitada.
- La Capacitancia varía ligeramente con la tensión.
- Los capacitores electrolíticos no se usan en circuitos de alta frecuencia, se usan en circuitos de baja frecuencia, uso general y corriente continua.

e) Capacitores de doble capa eléctrica



También son llamados supercapacitores o CAEV debido a la gran capacidad que tienen por unidad de volumen. Se diferencian de los capacitores convencionales en que no usan dieléctrico por lo que son muy delgados. Las características eléctricas más significativas desde el punto de su aplicación como fuente acumulada de energía son: altos valores capacitivos para reducidos tamaños, corriente de fugas muy baja, alta resistencia serie, y pequeños valores de tensión.

2.3.1.2. Capacitores variables.

Con estos tipos de capacitores, se pueden variar los límites de capacitancia, y su aplicación conlleva a la operación por medio de ajuste de frecuencias o puesta a punto. La variación de la capacidad es llevada a cabo por medio del desplazamiento mecánico entre las placas enfrentadas. La figura 2-21 muestra las curvas características de estos tipos de condensadores, según el ángulo de corrección.

La relación con que varían su capacidad respecto al ángulo de rotación está determinada por la forma constructiva de las placas enfrentadas, entre las que destacan lineal, logarítmica y cuadrática corregida.

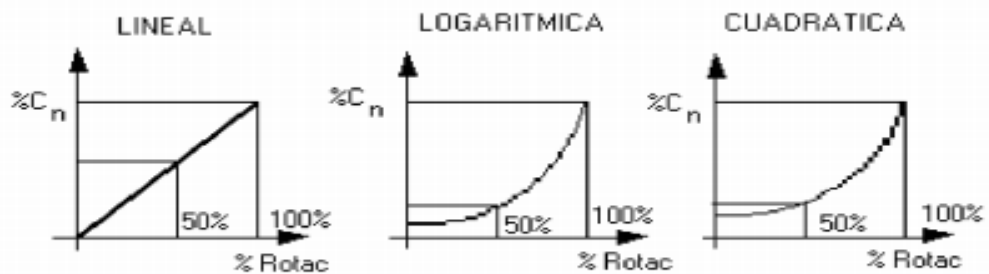


Figura 2-21. Comportamiento del capacitor en función el ángulo de rotación.

a) Giratorios.

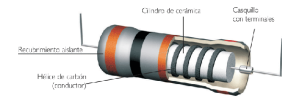


Estos dispositivos son frecuentemente utilizados para la sintonía de la frecuencia en aparatos de radio. La idea de estos es variar con la ayuda de un eje (que mueve las placas del capacitor) el área efectiva de las placas que están frente a frente y de esta manera se varía la capacitancia. Estos capacitores se fabrican con dieléctrico de aire, pero para reducir la separación entre las placas y aumentar la constante dieléctrica se utiliza plástico. Esto hace que el tamaño del capacitor sea menor.

b) Ajustables



Tiene aplicaciones en ajustes muy precisos o finos y rangos de capacitancias muy pequeños. Normalmente éstos, después de haberse hecho el ajuste, no se vuelven a tocar. Su capacidad puede variar entre 3 y 100 pF. Hay trimmers de presión, disco, tubular, de placas.



2.3.2. Resistencias.

Como su nombre lo indica, las resistencias son construidas para oponerse al paso de la corriente eléctrica, y está ligada directamente con la cantidad de voltaje, corriente y potencia en los circuitos electrónicos, mediante la ley de Ohm. Su unidad es el ohm Ω . Su función principal es el cerrar, atenuar o frenar el libre tránsito de cargas eléctricas o electrones. Los conductores tienen baja resistencia eléctrica, mientras que en los aisladores es alto este valor. La figura 2-22 muestra de forma ilustrativa el comportamiento de electrones en conductores buenos y malos.



Figura 2-22. Electrones fluyendo por conductores diferentes.

Normalmente los electrones tratan de circular por el circuito eléctrico de una forma organizada, sin embargo, de acuerdo a la resistencia que encuentren a su paso, pueden fluir con gran intensidad o la fluidez que presentan es menor. En la figura 2-22 (a) se muestra a los electrones fluyendo por un buen conductor eléctrico que ofrece baja resistencia. En el caso de la figura 2-22 (b), los electrones se encuentran dentro de un mal conductor eléctrico, ya que ofrece alta resistencia al paso de los electrones. En este caso los electrones chocan contra otros al no poder circular libremente y como consecuencia generan calor.

Las resistencias determinan su valor de acuerdo a los colores de franjas que llevan en el cuerpo. Existen normas internacionales estandarizadas para esta deducción, tal y como se muestra en la tabla 2.1 es esta sección. La importancia de homogeneizar los colores estriba en el hecho de que pueden transitar de un país a otro sin necesidad de realizar algún tipo de ajuste o conversión.

	CODIGO DE COLORES			
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a
NEGRO		0	x 1	
MARRON	1	1	x 10	
ROJO	2	2	x 100	
NARANJA	3	3	x 1.000	
AMARILLO	4	4	x 10.000	
VERDE	5	5	x 100.000	
AZUL	6	6	x 1.000.000	
VIOLETA	7	7	x 10.000.000	
GRIS	8	8	x 100.000.000	
BLANCO	9	9	x 1.000.000.000	
DORADO			x 0,1	+ 5%
PLATEADO			x 0,01	+ 10%
SIN COLOR				± 20%

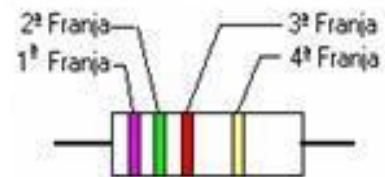


Tabla 2.1. Código de colores de resistencias

2.3.3. Potenciómetros.

También llamados resistencias variables, éstos son componentes electrónicos analógicos y/o digitales, cuya función primordial es controlar el paso de la corriente eléctrica a lo largo de un circuito cuando se conecta en paralelo; de igual forma controla la caída de potencial cuando se le conecta en serie. Por su función es comparado muy a menudo con los resistores, con la diferencia de que los potenciómetros tienen variable su resistencia.

Se componen de una resistencia constante a lo largo de la cual se mueve un cursor móvil que divide a la resistencia total, por lo que cuando este cursor cambia de posición el valor de una aumenta y otra disminuye.

Estos tienen tres terminales: dos de las cuales se conectan en los extremos de la resistencia total y el último se une al cursor, independientemente de que sean lineales o rotativos. La figura 2-23 muestra las formas físicas de cada uno de ellos, así como su símbolo

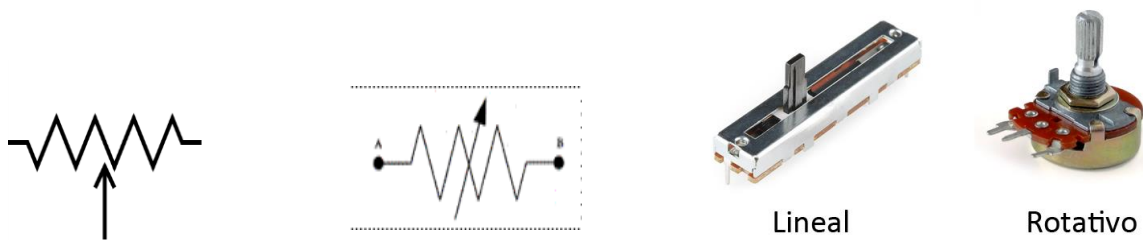


Figura 2-23. Símbolo y formas físicas de los potenciómetros.

Como puede apreciarse en lo que respecta al símbolo del dispositivo, éste es de los pocos componentes electrónicos que no tienen estandarizada su representación en los circuitos eléctricos o electrónicos. En la figura 2-24, se puede apreciar la forma de conexión interna de ellos.

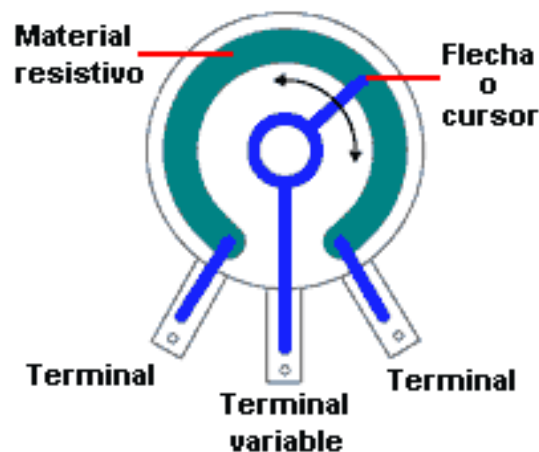
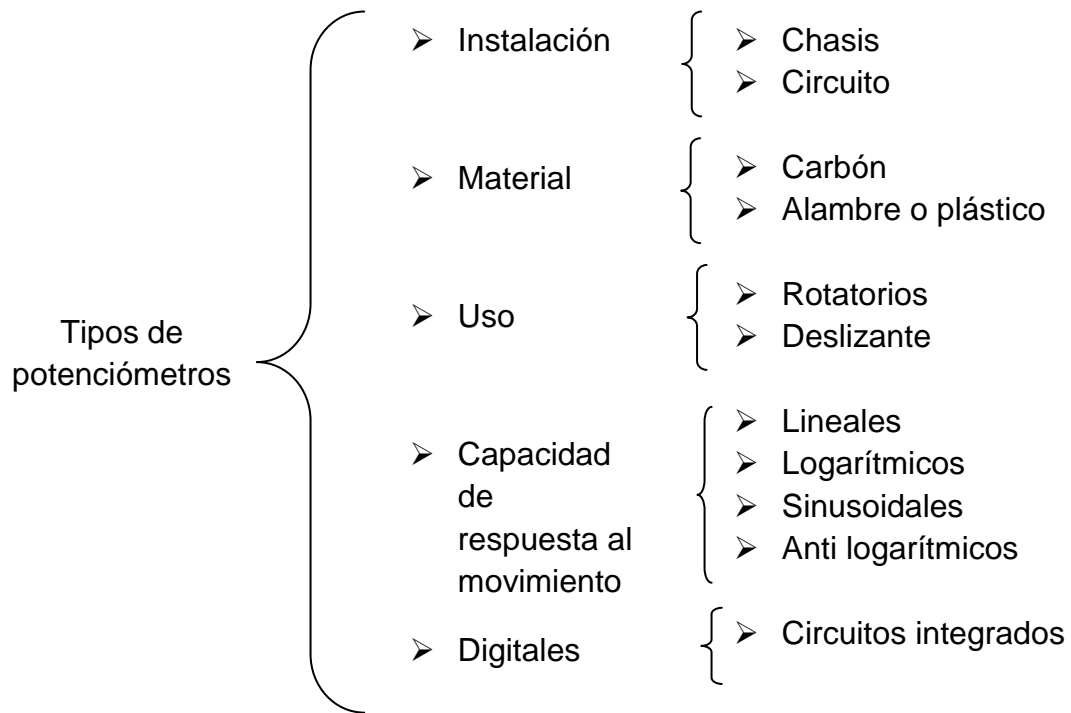


Figura 2-24. Estructura interna del potenciómetro.

Es visible que la información presentada en el esquema interno del potenciómetro, el material resistivo está acotado por las terminales 1 y 2; cuando el cursor se desplaza hacia la terminal 1, aumenta la resistencia entre el cursor y la terminal 1, y consecuentemente el paso de la señal aumenta entre el cursor y la terminal 1.

Del mismo modo, si el cursor y la terminal 2 disminuyen, aumenta el paso de la señal en esta región. Los potenciómetros pueden distinguirse de acuerdo a la forma de instalación, según el material, de acuerdo al uso y a su capacidad de respuesta.



Esquema 2-1. Tipos de potenciómetros.

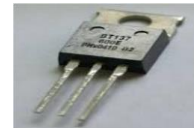
CAPÍTULO III.

Para la realización del regulador electrónico de temperatura, se utilizaron diversos materiales y la distribución de ellos es en función lo que se requiere que realicen. De igual forma se utilizó un osciloscopio para analizar la señal de potencia.

3.1. Materiales.

La lista siguiente muestra los dispositivos utilizados en elaboración del regulador electrónico de temperatura para caudales convencionales.

- 1 Triac BT 137



- 1 Diac



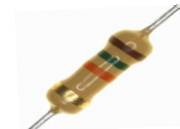
- 2 Diodos 1N4007



- 1 Resistencia de 1K (café, negro, rojo)



- 1 Resistencia de 15K (café, verde, naranja)



- 1 Condensador de 0.1 μ F (104) a 250 voltios o más



- 1 Condensador de 0.047 (473) a 250 voltios a más



- 1 Potenciómetro de 500 K



- 1 toma corriente



- 1 Clavija de caucho



- 1 Metro de cable 2x16



- 1 Disipador de calor de aluminio



- 1 Tornillo de ½ de largo x 1/8 con tuerca



- 2 pasamuros



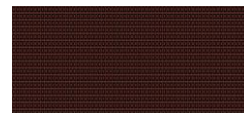
- 1 Aislante de mica



- 1 perilla plástica.



- Bakelita



- Cloruro férrico



3.2. Circuito eléctrico

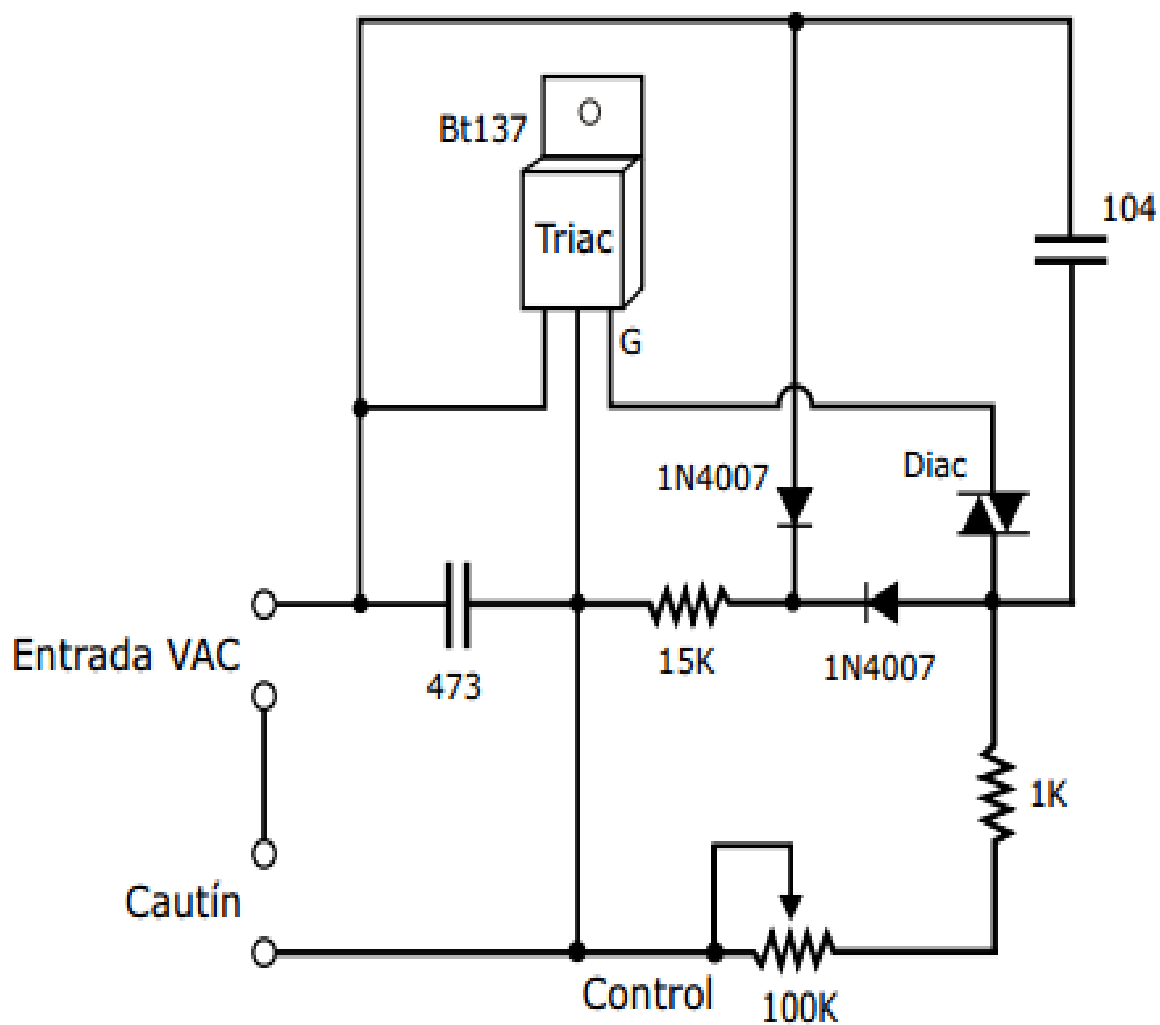


Figura 3-1. Diagrama electrónico del regulador

3.3. Funcionamiento general.

La ley de Ohm, para que exista un circuito eléctrico cerrado tiene que existir:

- Una fuente de fuerza electromotriz (FEM) o diferencia de potencial, es decir, una tensión o voltaje (V) aplicado al circuito.
- El flujo de una intensidad de corriente (I) fluyendo por dicho circuito.
- Una carga, consumidor o resistencia conectada al mismo.

Reactancia capacitiva (XC) se considera como la oposición o resistencia que ofrecen al flujo de la corriente eléctrica los capacitores o condensadores. Esta reactancia representa una “carga capacitiva” para el circuito de corriente alterna donde se encuentra conectada.

Cuando la intensidad de la corriente está en fase con el voltaje, la corriente (I) que fluye por el circuito eléctrico de corriente alterna, así como la tensión o voltaje (V) aplicado al mismo, se puede representar gráficamente por medio de dos sinusoides, que sirven para mostrar cada una de las magnitudes. Para un circuito cerrado con una carga resistiva conectada al mismo, tanto la sinusoide de la corriente como la del voltaje aplicado al circuito, coincidirán tanto en fase como en frecuencia.

La figura 3-2 muestra el control máximo de potencia con el potenciómetro totalmente abierto. Esto explica la existencia de una onda sinusoidal con una perturbación de empate entre los semiciclos positivos y los semiciclos negativos. Esto ocurre porque el circuito tiene un retardo mínimo en el cambio de señal. Como la onda es completa, la corriente está cercana a los 0.250 A. Entonces se tiene que si multiplicamos la corriente por el voltaje aplicado, obtenemos la potencia, es decir:

$$P = V_{rms} \cdot I_{rms}$$

Datos: $P = (120 \text{ V})(0.250 \text{ A})$

$I = 0.250 \text{ A}$ $P = 30 \text{ w.}$

$V = 120 \text{ V}$

Los resultados nos indican que el caudín estará a su máxima temperatura, ya que es de 30 w el que se utilizó en la prueba. Ahora, si se utiliza un caudín de 80 w el circuito habría que ajustarlo y trabajaría a 80w.

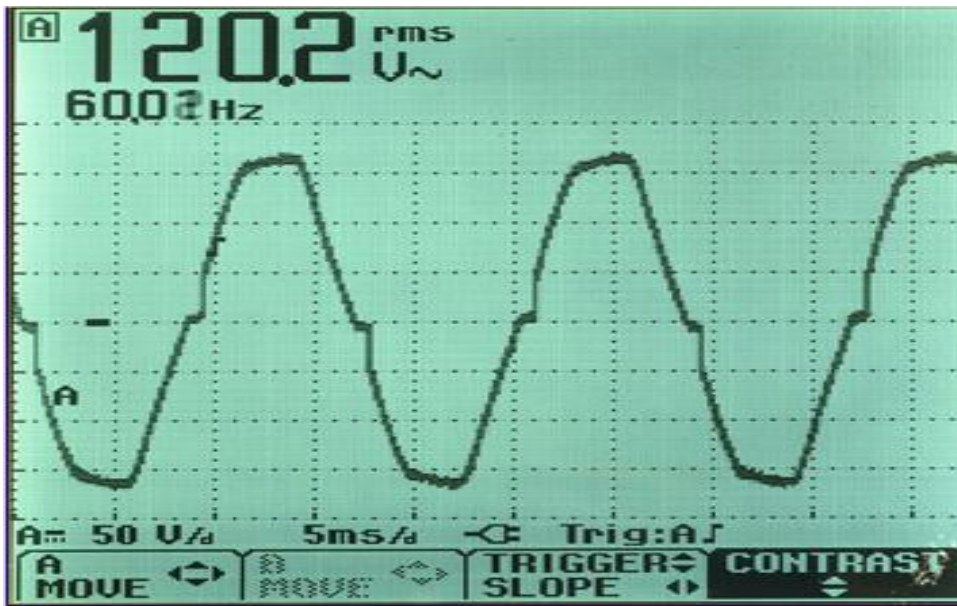


Figura 3-2. Señal de salida del caudín, con el potenciómetro abierto totalmente.

La figura 3-3 ilustra la señal de salida del caudín cuando el potenciómetro está totalmente cerrado. Partiendo de ahí, observamos que se ha variado el ángulo de disparo, haciendo más rápido el tiempo en que el triac se encuentra en estado de conducción, y consecuentemente se recorta un tramo de la onda. El voltaje disminuye a 86 V aproximadamente, y al medir la corriente detectamos que se redujo a 0.130 A. Utilizando el factor de voltaje multiplicado por la corriente, podemos deducir la potencia del caudín, esto es:

$$P = V_{rms} \cdot I_{rms}$$

Datos: $P = (86 \text{ V})(0.130 \text{ A})$

$I = 0.130 \text{ A}$ $P = 15 \text{ w.}$

$V = 86 \text{ V}$

Estos resultados nos indican que el caudín aún se mantiene caliente, pero a una temperatura reducida al 50% de la temperatura total.

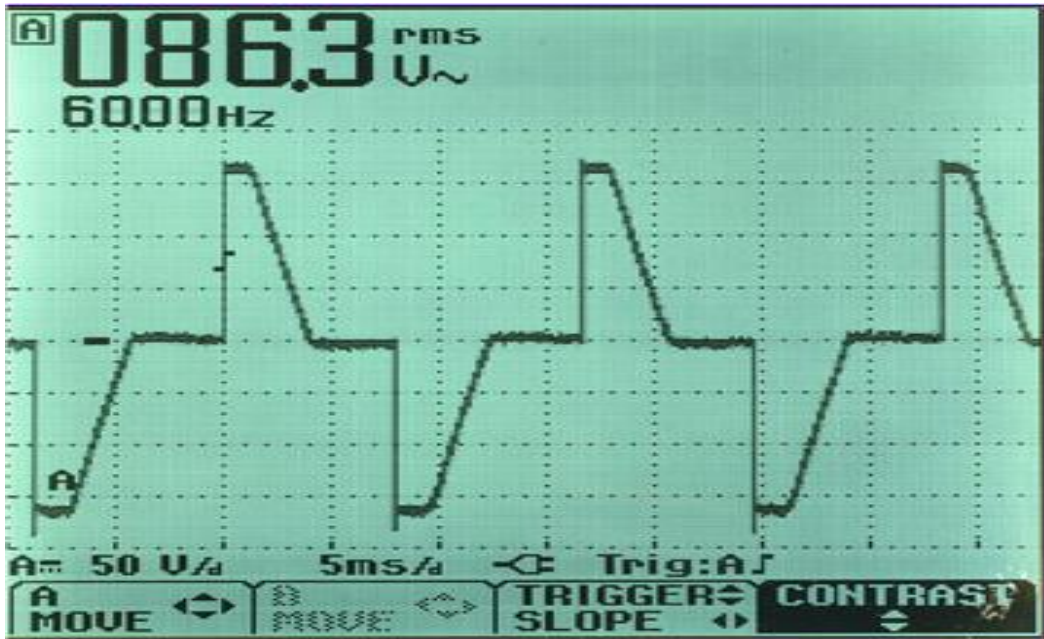


Figura 3-3. Señal de salida del caudín, con el potenciómetro cerrado totalmente.

Durante el proceso se realizaron los cálculos siguientes:

Para conocer el valor de ajuste del potenciómetro en función del ángulo de disparo segmentado a cada 20° en los primer semiciclo de la función senoidal, se tomó como referencia la expresión matemática siguiente:

$$Vq = Vcc [1 - e^{-t/RC}]$$

Como la variable desconocida es el valor resistivo del potenciómetro, entonces se realizó un procedimiento matemático para despejar la citada variable.

$$\frac{Vq}{Vcc} = 1 - e^{-t/RC}$$

Aplicando logaritmos a ambos lados de la expresión, se obtiene:

$$\ln [Vq / Vcc] = \ln [1] - \ln [e^{-t/RC}]$$

Pero, por propiedades logarítmicas $\ln [1] = 0$, se reduce la expresión a lo siguiente:

$$\{ \ln [Vq / Vcc] = - \ln [e^{-t/RC}] \} \{-1\}$$

$$- \ln [Vq / Vcc] = \ln [e^{-t/RC}]$$

Aplicando propiedades de conversión logarítmica a exponencial en el segundo miembro de la expresión, se tiene:

$$\ln [Vq / Vcc] = -t/RC \ln [e]$$

Pero, por propiedades logarítmicas $\ln [e] = 1$, se reduce la expresión a lo siguiente:

$$\ln [Vq / Vcc] = -t/RC$$

Finalmente, despejando mediante ajustes aritméticos a la variable involucrada, se obtiene:

$$R = -t / [C \ln (Vq/Vcc)]$$

Sustituyendo los valores constantes, como:

$C = 0.1 \mu F$ (valor del capacitor utilizado en el sistema).

$Vq = 32 V$

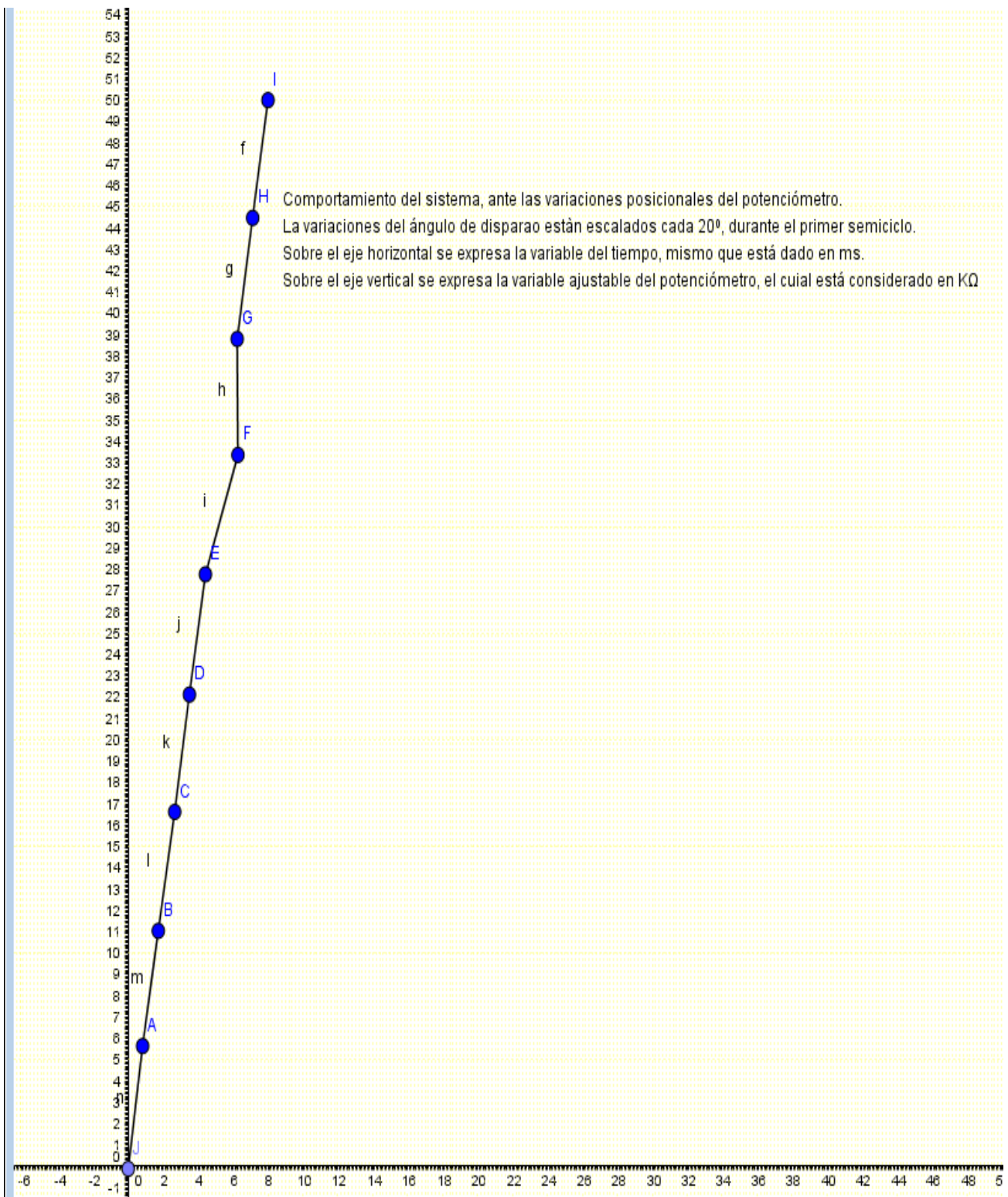
$Vcc = 170 V$

La expresión se reduce a:

$$R = -t / -16 \times 10^{-9}$$

θ	t(m seg)	R (K Ω)
0°	0	0
20°	0.88	5.5
40°	1.77	11.06
60°	2.66	16.62
80°	3.5	22.18
100°	4.44	27.15
120°	5.33	33.31
140°	6.22	38.87
160°	7.11	44.43
180°	8	50

Tabla 3-1. Variaciones posicionales del potenciómetro en función de los ángulos de disparo y por lo tanto del tiempo, expresado en ms.



Gráfica 3-1. Curva representativa de valores obtenidos y plasmados en la tabla 3-1.

Es importante hacer notar que conforme el ángulo va aumentando, la potencia alcanza su máximo en 14.42 W (valor que es soportado por el caudín, que es de 30 W) y empieza a disminuir.

Lo anterior es fácilmente explicable ya que el factor de potencia es la relación entre la energía que se convierte en trabajo y la energía eléctrica que un circuito o dispositivo consume; es decir que es el cociente entre el voltaje total aplicado a un circuito y el voltaje en la parte resistiva del mismo.

La potencia en corriente alterna, consumida por un circuito con elementos resistivos (resistencias) y reactivos (condensadores y/o inductores) se puede obtener con las siguientes fórmulas:

$$P = I \times V \times (\text{factor de potencia}) \text{ ó } P = I_{\text{RMS}} \times V_{\text{RMS}} \times (\text{factor de potencia})$$

Ver en el diagrama el circuito y el correspondiente diagrama fasorial. (a pesar de que el diagrama representa un valor inductivo, el procedimiento es válido en sentido general)

3.4. Circuitería y diagramas.

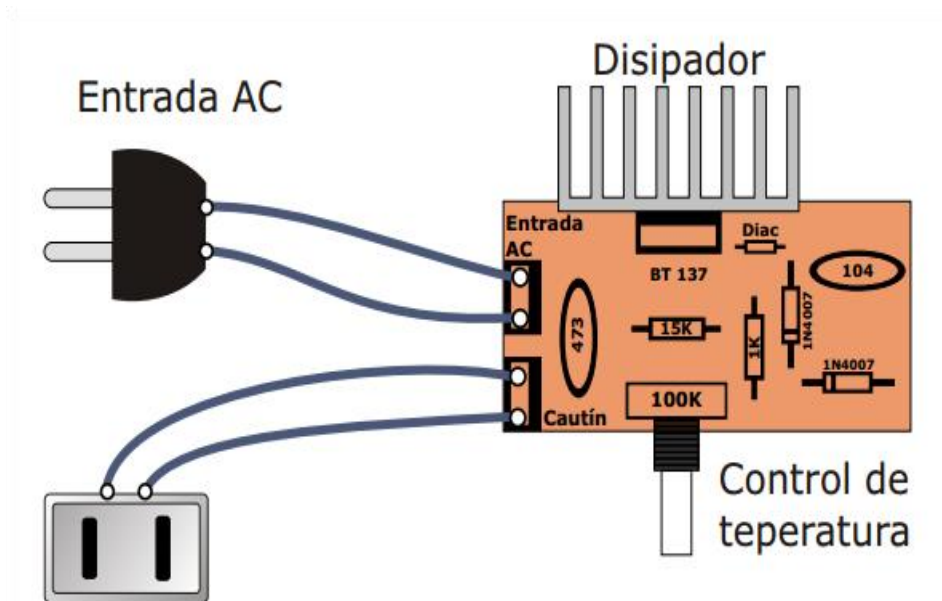


Figura 3.4. Diagrama de conexión

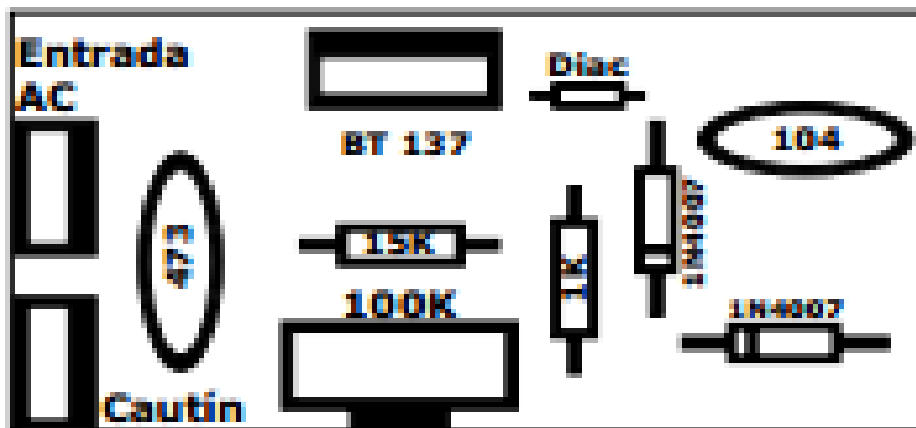


Figura 3.5. Máscara de componentes

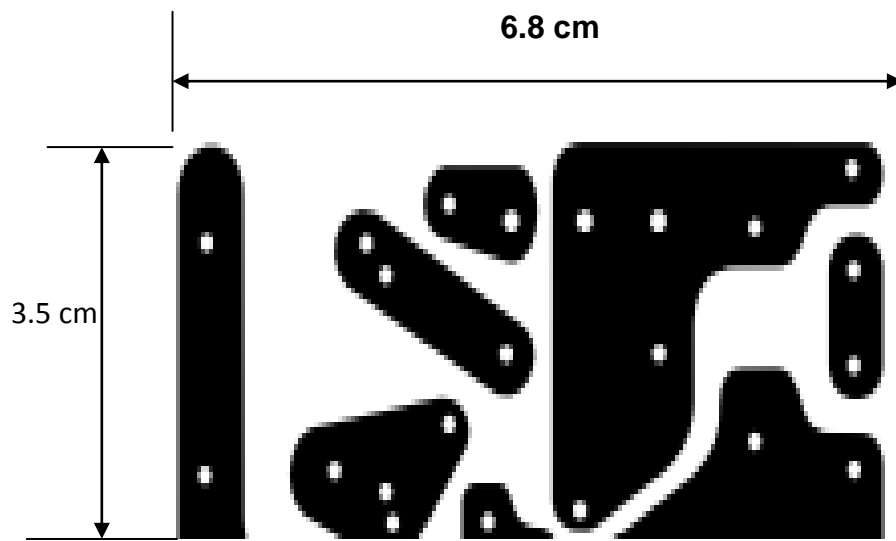


Figura 3.6. Circuito impreso (PCB) al derecho para imprimir con el método de serigrafía

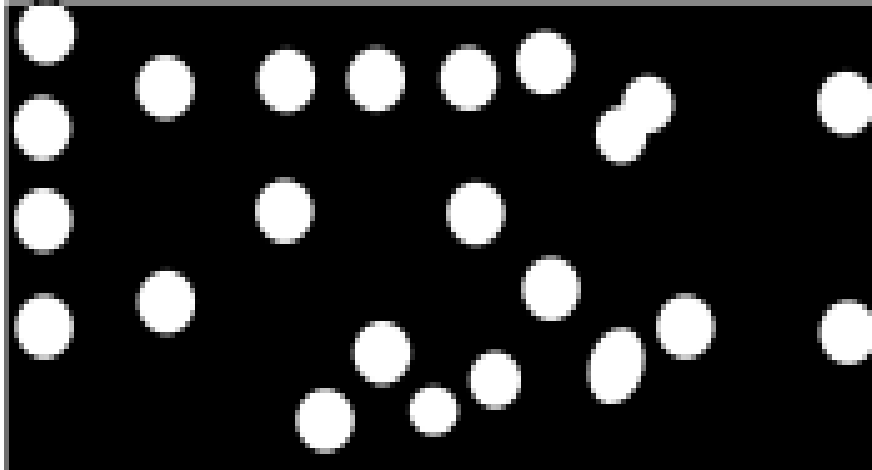


Figura 3.7. Máscara antisoldante (Solder mask UV)

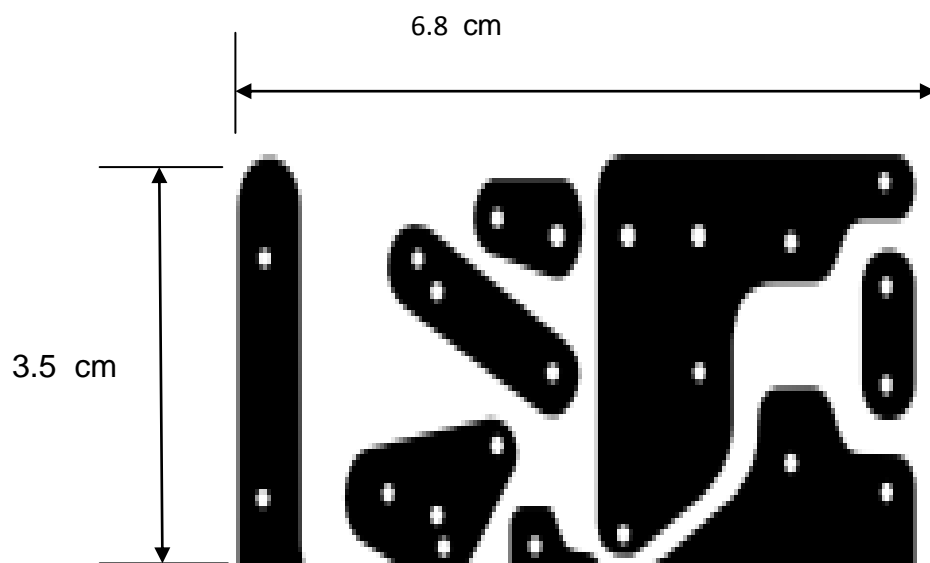


Figura 3.8. Circuito impreso (PCB) en modo espejo para imprimir con el método de planchado

CAPÍTULO IV.

Durante la realización del regulador, lógicamente se realizaron pruebas diversas, hasta alcanzar los resultados requeridos; importantes es mencionar que se utilizaron multímetros y osciloscopios; con el multímetro se detectaron los valores de voltaje, corriente, resistencia y por consecuencia potencia; mientras que con el osciloscopio se apreciaron las formas de onda de los tiristores en plena conducción, como consecuencia de la variación del potenciómetro.

4.1. Procedimientos.

El protoboard es un elemento auxiliar en el campo de la electrónica, toda vez que su uso se permite implementar los diversos componentes del circuito, con la ventaja de que pueden distribuirse de manera que pueda maniobrarse sin dificultad; no así cuando se trabaja en la etapa de circuitería impresa, ya que una vez que se realiza el vaciado del cloruro ferroso sobre la bakelita, no es posible realizar modificaciones.

Utilizando un cautín de 30 watts, y con las especificaciones técnicas de los elementos que intervienen en el circuito, se realizaron las pruebas siguientes:

- a) Conectado toda la circuitería en el protoboard, y con el potenciómetro abierto, se procedió a enviar corriente de línea al circuito, momento que en el multímetro aparecen valores variables de voltaje debido al constante cambio de semiciclos naturales de la corriente alterna. La corriente presentada por el multímetro es de 0.250 A. Entonces para determinar la potencia disipada existente en ese momento, se aplica la fórmula básica de potencia:

$$\text{Potencia} = (V) \cdot (I)$$

$$P = (120 \text{ V}) \cdot (0.250 \text{ A})$$

$$P = \underline{30 \text{ w}} \text{ (En corriente directa).}$$

Con esta potencia, el osciloscopio muestra una onda semideformada tipo sinusoidal, ya que existe una pequeña prominencia justo cuando se presenta el cambio de ciclos. Se deduce entonces que el cautín mantiene en ese punto a máxima temperatura.

- b) Al ajustar el potenciómetro al extremo opuesto para trabajarlo en la modalidad "cerrado", se registra en el multímetro una disminución de voltaje cercada a 85 volts, y consecuentemente la corriente se ve afectada de igual forma porque desciende hasta los 13 mA. Esto detona en el osciloscopio al emitir una forma de onda recortada, derivado de

que la temperatura del cautín también se ve afectada y por lo tanto se reduce la temperatura de operación del mismo.

La potencia de salida es calculable de la siguiente forma:

$$\text{Potencia} = (\text{voltaje}) \cdot (\text{corriente})$$

$$P = (85 \text{ V}) \cdot (13 \text{ m A})$$

$$\underline{P = 11.35 \text{ w}} \text{ (En corriente directa).}$$

Estos resultados indican, que los elementos de control han regulado la temperatura del cautín, mismo que se encuentra a la mitad de su temperatura total.

Para los efectos buscados de corriente alterna se hicieron cálculos, para voltajes de 120 (ver tabla 3.1) y 85 V (ver tabla 3.2)

4.1. Propuestas de mejora.

Derivado de las limitaciones técnicas encontradas y considerando la evolución de circuitería electrónica, es probable que se diseñen y ejecuten circuitos reguladores de temperatura para caudales, no únicamente convencionales, sino también digitales. Para ello se requiere de microprocesadores, específicamente el PIC 16F887, ya que tiene gran versatilidad. La ventaja de utilizar los microprocesadores es que pueden programarse para presentar de forma automática los ajustes en los sistemas variantes de temperatura. Adicional a este microprocesador, se requieren los siguientes elementos:

- 2 Tabletas de prueba Protoboard.
- 2 Capacitor Cerámico de 22 μ F.
- 1 Fuente de Corriente Continua.
- 2 Cables Banana- Caimán.
- 4 Push button
- ISIS Proteus v7.6 SPO
- PIC C CCS
- Computadora PC
- Pickit 2
- 2 sensores de temperatura LM35
- L293D
- 2 Ventiladores de 12 V
- Pantalla LCD 16x2
- 1 Buzzer
- 2 Tabletas de prueba Protoboard.
- 2 Capacitor Cerámico de 22 μ F.
- 1 Fuente de Corriente Continua.
- 2 Cables Banana- Caimán.
- 4 Push button
- ISIS Proteus v7.6 SPO
- PIC C CCS

El funcionamiento general del circuito estará fundamentalmente con el direccionamiento signado desde la programación de los componentes digitales; es necesario el diseño de un sistema que sea capaz de censar la temperatura en tiempo real mostrada por medio de un LCD, donde se tendrán tres rangos de temperatura: si la temperatura es menor a 0 °C se considera baja, la temperatura es menor de a 30 °C se considera temperatura media, pero si esta excede los 40 °C se considera alta. y se mandara una alerta , para controlar la temperatura se activaran dos ventiladores con el fin de bajar la temperatura cuando la temperatura es mayor a 20 °C se activara un ventilador para que regule la temperatura y evitar que esta aumente.

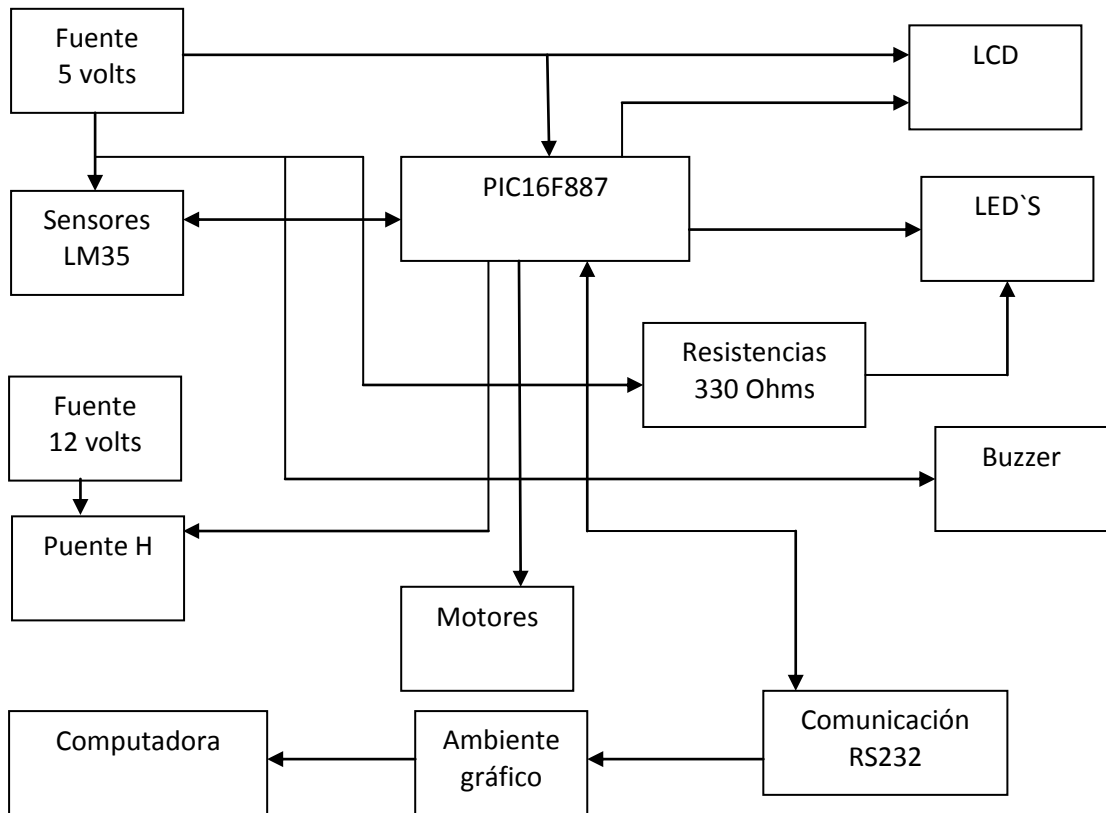


Fig. 4-1. Diagrama a bloques del regulador de temperatura mediante micro controlador PIC 16F887

En todos los casos, al registrarse las temperatura en sus tres parámetros, se mandara una alerta, para controlar la temperatura se activaran dos ventiladores con el fin de bajar la temperatura cuando la temperatura es mayor a 20 °C se activara un ventilador para que regule la temperatura y evitar que esta aumente.

Las pantallas de LCD serán quienes ilustren los valores de temperatura existentes en el circuito; un ejemplo de ello se muestra en la siguiente figura.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ TEMPERATURA -10 ° C											INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ TEMPERATURA 25 ° C											INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ TEMPERATURA 73 ° C													
VSS	VDD	VEE	RS	RW	E	D0	D1	D2	D3	D4	D5	VSS	VDD	VEE	RS	RW	E	D0	D1	D2	D3	D4	D5	VSS	VDD	VEE	RS	RW	E	D0	D1	D2	D3	D4	D5

Figura 4-2. Ejemplo de salida en las pantallas LCD para informar la temperatura existente.

El microcontrolador PC16F887 genera el procesamiento de información; mientras que los sensores de temperatura LM35 emiten la alerta o información de niveles de temperatura, ya sea en grados Celsius o grados Fahrenheit, según el país donde se instale. El sistema generará una alarma de variación brusca de temperatura, mediante los LED`s, mismos que fungirán como una especie de semáforos, de tal forma que cuando la temperatura exceda los 40^o C, se activará un sonido.

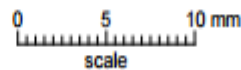
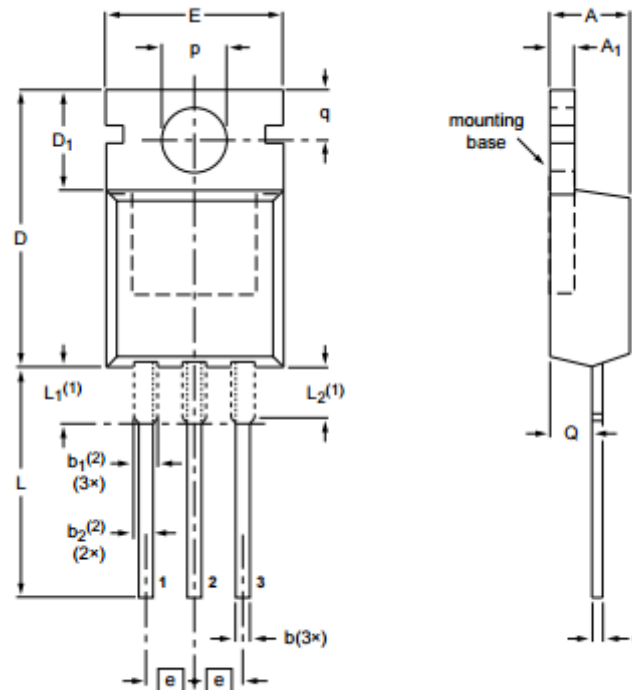
La lectura de temperatura que proporciona el sensor LM35 , se analizará en el microcontrolador mediante el convertidor analógico, el cual configura a una resolución de 10 bits, lo cual nos proporcionara una buena lectura de la señal.

4.3. Conclusiones.

Una vez realizado el regulador electrónico de temperatura para cautines convencionales, con elementos que en su momento existieron como dispositivos de alta tecnología, en el entorno local, fue importante constatar la aplicación que éste tuvo en las funciones para lo que fue creado. Sin embargo, derivado de los avances tecnológicos tanto en el entorno local como foráneo, es indispensable que toda innovación tecnológica nos conlleve al uso adecuado de sistemas que en su operatividad faciliten el trabajo delicado a dispositivos demasiado sensibles a los cambios de temperatura; de ahí que se realiza la propuesta con el uso del microcontrolador PC16F887.

ANEXOS.

Anexo 1. Especificaciones técnicas del TRIAC BT137, utilizado en la etapa de potencia.



DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A	A ₁	b	b ₁ (2)	b ₂ (2)	c	D	D ₁	E	e	L	L ₁ (1)	L ₂ (1) max.	p	q	Q
mm	4.7 4.1	1.40 1.25	0.9 0.6	1.6 1.0	1.3 1.0	0.7 0.4	16.0 15.2	6.6 5.9	10.3 9.7	2.54	15.0 12.8	3.30 2.79	3.0	3.8 3.5	3.0 2.7	2.6 2.2

- Triac de 8A y 600V
- Corriente pico no repetitiva: 65 A
- Compuerta de alta sensibilidad.
- Corriente total RMS max: 8 A
- Corriente pico max: 65 A (@ 25°C, t_p=20ms)
- Voltaje pico repetitivo en estado apagado max: 600 V
- Corriente pico de compuerta max: 2 A
- Operación en cuatro cuadrantes
- Alta sensibilidad de compuerta, puede ser conectado directamente a µC's o circuitos lógicos
- Voltaje de disparo de compuerta: ≤ 1.5V
- Voltaje de disparo de compuerta: 2.5 mA típico
- Encapsulado: TO-220AB

Anexo 2. Especificaciones técnicas del DIODO 1N 4007, utilizado como elemento complementario.

Rectificadores axiales con montura de alambre de recuperación estándar

Esta hoja de características proporciona información sobre rectificadores axiales con montura de alambre, tamaño subminiatura, para aplicaciones de baja potencia de propósito general.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

ENVASE: Sin vacío, Transfer Molded.
 TEMPERATURA MÁXIMA DE LOS CONDUCTORES PARA PROPÓSITOS DE SOLDADURA: 350 °C, a 3/8" del envase durante 10 segundos con una tensión de 5 lbs.
 ACABADO: Todas las superficies externas son resistentes a la corrosión y los conductores se pueden soldar con facilidad.
 POLARIDAD: el cátodo se indica mediante la banda de color.
 PESO: 0,40 gramos (aproximadamente).

* Marca registrada de Motorola Inc.

Del 1N4001 al 1N4007

El 1N4004 y 1N4007 son los dispositivos preferidos de Motorola

RECTIFICADORES CON MONTURA DE ALAMBRE. UNIÓN DIFUNDIDA 50-1000 VOLTIOS



ESPECIFICACIONES MÁXIMAS

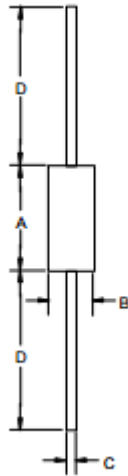
Especificación	Símbolo	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Unid.
Tensión inversa pico repetitivo Tensión inversa pico de operación Tensión de bloqueo en cc	V_{RRM} V_{RSM} V_B	50	100	200	400	600	800	1000	V
Tensión inversa pico no repetitivo (media onda, una sola fase, 60 Hz)	V_{RRM}	60	120	240	480	720	1000	1200	V
Tensión inversa ms	$V_{RRM(10)}$	35	70	140	280	420	560	700	V
Corriente prom. rectific. en polariz. dir. (una fase, carga resist., 60 Hz, véase la figura 8, $T_A = 75^\circ\text{C}$)	I_O	1,0							A
Oleada de cor. pico no repetitiva (la oleada se aplica en las cond. especificadas de carga, v. figura 2)	I_{FSM}	30 (para un ciclo)							A
Intervalo de temp. de operación y de almacenam. de la unión	T_J, T_{STG}	-65 a + 175							°C

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS*

Características y condiciones	Símbolo	Tipo	Máx.	Unid.
Máxima caída de tensión instantánea en polarización directa	V_F	0,93	1,1	V
Máxima caída de tensión promedio de ciclo completo en polarización directa	$V_{F(AVG)}$	—	0,8	V
Corriente inversa máx. (voltaje específ. en cd) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 100^\circ\text{C}$	I_R	0,05 1,0	10 50	μA
Máxima corriente inversa prom. de ciclo completo ($I_O = 1,0$ A, $T_A = 75^\circ\text{C}$, conductores de 1 pulg.)	$I_{R(AVG)}$	—	30	μA

* Indica datos registrados JEDEC.

Anexo 3. Especificaciones técnicas del DIAC DB3-TP, utilizado como elemento de la etapa de control.



DIMENSIONS					
DIM	INCHES		MM		NOTE
	MIN	MAX	MIN	MAX	
A	—	.150	—	3.8	
B	—	.079	—	2.00	
C	—	.020	—	.52	
D	1.083	—	27.50	—	

- Diac (Diodo de corriente alterna o bidireccional) de 32 V, 2 A, 150 Mw
- Voltaje de ruptura V_{BO} : 32 V típicos
- Simetría del voltaje de ruptura $|V_{BO1} - V_{BO2}|$ max: 3 V
- Corriente de ruptura I_{BO} max: 100 μ A
- Corriente pico repetitivo en conducción max. (20 μ s, 100 Hz): 2 A
- Potencia disipada max: 150 mW
- Encapsulado: DO-35G

