

ELECTRÓNICA DE POTENCIA

Se suele denominar así a las aplicaciones industriales donde se regulan altas tensiones y corrientes, mediante dispositivos electrónicos.

Es la aplicación de la electrónica de estado sólido para el control y la conversión de la energía eléctrica.



A diferencia de lo que ocurre en la electrónica de las corrientes débiles, en que se da prioridad a la ganancia y fidelidad, la característica más importante de la electrónica de potencia es el rendimiento.

La electrónica de potencia combina la energía con el control (comparación) y el mando.

A continuación podemos apreciar un esquema básico de bloques de un sistema electrónico de potencia.



La regulación de la potencia se realiza mediante un muestreo de la señal de salida con una tensión de referencia.

Ese muestreo dará un resultado y mediante un circuito de mando se actuará sobre el circuito de potencia, aumentando o disminuyendo la transferencia de la misma desde la alimentación a la carga.

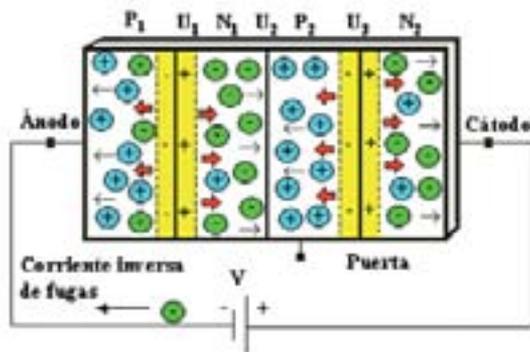
Actores principales de la electrónica de potencia

Dependiendo de la construcción física y del comportamiento de activación y desactivación, en general, los protagonistas de la electrónica de potencia pueden clasificarse en ocho:

1. **Tiristores de control de fase o de conmutación rápida (SCR).**
2. **Tiristores de desactivación por compuerta (GTO).**
3. **Tiristores de trío bidireccional (TRIAC).**
4. **Tiristores de conducción inversa (RTC).**
5. **Tiristores de inducción estática (SITH).**
6. **Rectificadores controlados por silicio activados por luz (LASCR).**
7. **Tiristores controlados por FET (FET-CTH).**
8. **Tiristores controlados por MOS (MCT).**

En esta ocasión sólo vamos a hablar del **tiristor**, del **triac** y del **diac**, (no mencionado en la relación, pero útil para el disparo del triac), porque entendemos que con tener una idea clara de lo que son estos tres componentes es suficiente para el propósito del Mundo de la Electrónica.

El tiristor o Rectificador controlado de Silicio (SCR).



Tiratrón de hidrógeno de General Electric, utilizado en radares.

El nombre proviene de la unión de Tiratrón y Transistor.

Un tiristor es un dispositivo semiconductor de cuatro capas de estructura PNPN con tres uniones PN.

Tiene tres terminales: ánodo, cátodo y puerta ó gate.



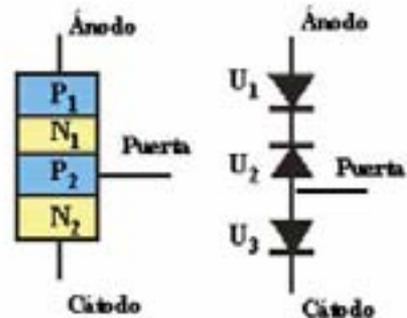
Tiratrón

Se llama **tiratrón** a una válvula termoiónica parecida a un triodo pero sin vacío, es decir, lleno de gas.

Se utiliza para el control de grandes potencias y corrientes, lo que en un dispositivo de vacío es muy difícil debido al número limitado de electrones que puede producir un cátodo termoiónico.

Añadiendo un gas inerte que se ioniza, inicialmente por medio de los electrones termoiónicos, se tiene un número mucho mayor de portadores de corriente que en el triodo.

A diferencia del triodo, la corriente de ánodo no es proporcional a la tensión de rejilla, sino que cuando se dispara, se produce la ionización del gas que lleva al dispositivo a su resistencia mínima.



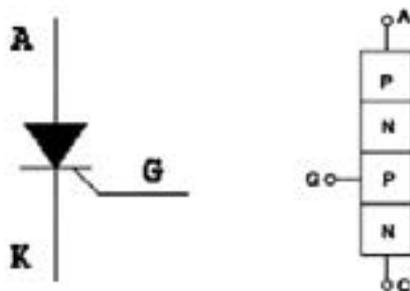
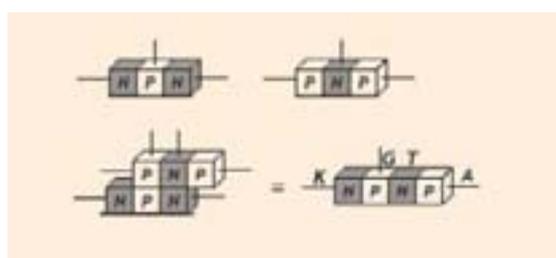
Es uno de los dispositivos semiconductores de potencia más importantes.

Los tiristores se utilizan en forma extensa en los circuitos electrónicos de potencia.

Operan como conmutadores biestables, pasando de un estado no conductor a un estado conductor.

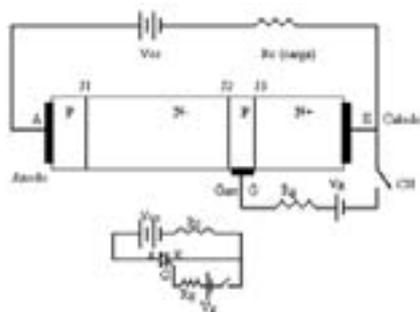
Para muchas aplicaciones se puede suponer que los tiristores son interruptores o conmutadores ideales, aunque los tiristores prácticos exhiben ciertas características y limitaciones.

La figura muestra el símbolo del tiristor y su estructura interna.



Símbolo del tiristor Estructura interna

En la siguiente figura podemos ver el modelo básico de gobierno de un tiristor: una carga R_c alimentada por una tensión, y un circuito de gate o puerta que controla la conducción.



Funcionamiento

Si aplicamos una tensión ánodo-cátodo V_{AK} positiva: las uniones J_1 y J_3 tienen polarización directa o positiva.

La unión J_2 tiene polarización inversa, y sólo fluye una pequeña corriente de fuga.

Se dice entonces que el tiristor está en condición de bloqueo directo en estado desactivado.

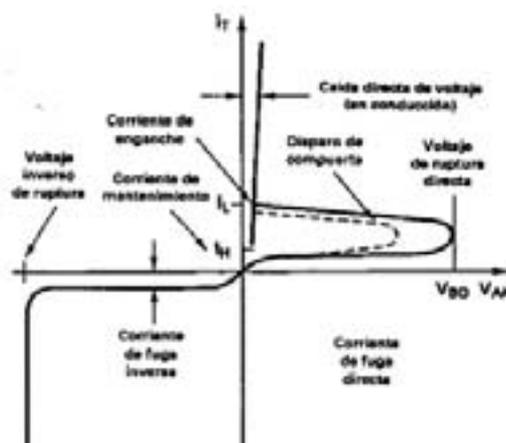
Si el voltaje de ánodo a cátodo V_{AK} se incrementa a un valor lo suficientemente grande, la unión J_2 polarizada inversamente entrará en ruptura.

Esto se conoce como ruptura por avalanche y el voltaje correspondiente se llama voltaje de ruptura directa.

Dado que las uniones J_1 y J_3 tienen ya polarización directa, habrá un movimiento libre de portadores a través de las tres uniones, que provocará una gran corriente directa del ánodo.

Se dice entonces que el dispositivo está en estado de conducción o activado.

La caída de voltaje se deberá a la resistencia óhmica de las cuatro capas y será pequeña, por lo común cercana a 1 voltio.



Una vez que el tiristor está activado, se comporta como un diodo en conducción y ya no hay control sobre el dispositivo.

Curva característica

La interpretación directa de la curva característica del tiristor nos dice lo siguiente: cuando la tensión entre ánodo y cátodo es cero la intensidad de ánodo también lo es.

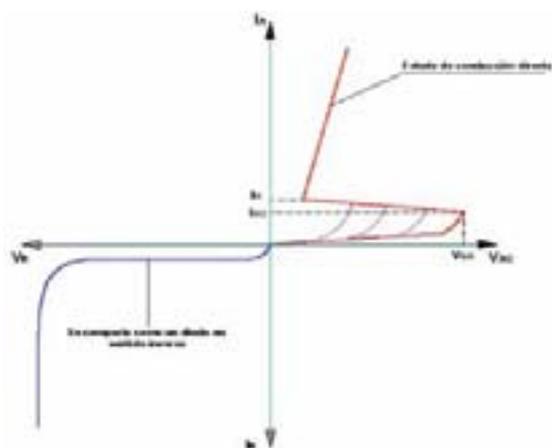
Hasta que no se alcance la tensión de bloqueo (V_{BO}) el tiristor no se dispara.

Cuando se alcanza dicha tensión, se percibe un aumento de la intensidad en el ánodo (I_A), disminuye la tensión entre ánodo y cátodo, comportándose así como un diodo polarizado directamente.

Si se quiere disparar el tiristor antes de llegar a la tensión de bloqueo será necesario aumentar la intensidad de puerta (I_{G1} , I_{G2} , I_{G3} , I_{G4} ...), ya que de esta forma se modifica la tensión de cebado del mismo.

Este sería el funcionamiento del tiristor cuando se polariza directamente, y sólo ocurre en el primer cuadrante de la curva.

Cuando se polariza inversamente se observa una débil corriente inversa (de fuga) hasta que alcanza el punto de tensión inversa máxima que provoca su destrucción.



Es una forma posible de cebar o activar el tiristor, que no nos interesa, pues para ello pondríamos un diodo.



Lo interesante del tiristor es el poder activarlo a diferentes tensiones ánodo-cátodo, gobernándolo mediante el terminal de puerta o gate.

Si aplicamos una tensión positiva en la puerta del tiristor, se establece una corriente por la unión J_3 , polarizada directamente, que produce un aumento de electrones en el cristal P, donde son portadores minoritarios para la unión J_2 y por tanto pueden atravesarla, facilitando que el efecto avalancha en esta unión se realice a menor tensión V_{AK} .

Cuanto mayor sea esa tensión de compuerta, menor será la tensión V_{AK} necesaria para lograr el disparo del tiristor, por lo que una variación V_{GK} consigue diferentes puntos de disparo.



Tenemos por tanto un “diodo de disparo controlado” que nos permitirá rectificar toda o parte de la corriente que nos ofrezca una fuente de tensión alterna.

Cuando el voltaje del cátodo es positivo con respecto al ánodo, la unión J_2 tiene polarización directa, pero las uniones J_1 y J_3 tienen polarización inversa.

Esto es similar a dos diodos conectados en serie con un voltaje inverso a través de ellos.

El tiristor estará en estado de bloqueo inverso y una corriente de fuga, conocida como corriente de fuga inversa I_R fluirá a través del dispositivo.

Descebado del tiristor:

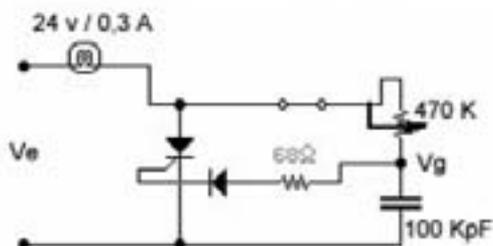
Una vez en conducción, el tiristor sólo se puede cortar o descebar disminuyendo la intensidad por debajo de la intensidad de mantenimiento.

En la práctica lo que se suele hacer es cortocircuitar las patillas del tiristor momentáneamente, o reduciendo la tensión V_{AK} a cero.

Entonces el tiristor se bloquea y hay que volver a dar una tensión de compuerta para cebarlo de nuevo.

El tiristor sólo puede ser cebado mediante V_{AK} positiva, de forma que por sí solo no puede gobernar corriente alterna.

forma que este tardará más o menos en hacerlo, y por tanto la tensión de compuerta del tiristor aumentará más o menos rápidamente en función de ello, variando así el ángulo de disparo del tiristor y por tanto la potencia suministrada a la bombilla.



gobierno es positivo en el primer caso y negativo en el segundo.



Los tiristores con el electrodo de gobierno en P, son los más corrientes; pero los que llevan el electrodo de gobierno en N reciben el nombre de **complementarios**, en las dos variantes más corrientemente utilizadas.



Para entender mejor la actuación de un tiristor podemos compararlo con la puerta de entrada a una estancia, de las que tienen resorte y se cierran solas.

Vamos a suponer que un fuerte viento la golpea por uno de sus lados, tratando de abrirla pero lo impide el picaporte.

Bastará con que alguien lo accione, para que el viento se encargue de abrirla y mantenerla así, sin importar el estado del picaporte.

El viento es el equivalente al voltaje de los electrones presentes en el terminal de control.

Código de designación de los diodos semiconductores controlados (tiristores)

Veamos el código que se utiliza para distinguir las características de los diodos controlados.

La primera letra siempre es una B, que indica que se trata de un semiconductor realizado con silicio.

La segunda letra puede ser una R o una T.

La R indicará que se trata de un dispositivo de control y conmutación disparado electrónicamente, con una característica de ruptura y una resistencia térmica entre la unión y la base de montaje mayor de 15° por W.

Si la segunda letra es una T, indica que se trata de un dispositivo de potencia para control y conmutación disparado eléctricamente, que tiene una característica de ruptura y una resistencia térmica entre la unión y la base de montaje igual o menor de 15° por W.

El número de serie está formado por tres cifras para los dispositivos semiconductores diseñados para aplicación en aparatos de uso doméstico, o por una letra y dos cifras para los dispositivos semiconductores diseñados para equipos profesionales.

Finalmente, el código se complementa con un sufijo, separado del código principal por un guión, y que está compuesto por unas cifras indicativas de la tensión inversa máxima de cresta.

Variedad de Tiristores

Los tiristores se pueden dividir en tiristores de mando y tiristores de potencia al igual que ocurre con los transistores.

También pueden distinguirse por su estructura, pues pueden estar fabricados del tipo PNP ó NPNP.

En cuanto a su estructura conviene aclarar que tanto en el caso PNP como NPNP el ánodo siempre está fijado a un cristal P y el cátodo al cristal N, pero el electrodo de



En el caso de dispositivos semiconductores controlados en los que el ánodo está conectado a la cápsula (polaridad inversa), se añade detrás del código complementario la letra R.

Aplicaciones del tiristor

De momento diremos que:

En amplificación se utiliza en las etapas de potencia en clase D cuando trabaja en conmutación.

También se utilizan como relés estáticos, rectificadores controlados, inversores y onduladores, interruptores...

Encapsulados

Como en cualquier tipo de semiconductor su apariencia externa se debe a la potencia que será capaz de disipar.

En el caso de los tiristores los encapsulados que se utilizan en su fabricación son diversos y aquí aparecen los más importantes.



TO 200AB



TO 200AC



d2pak



TO 209AE (TO 118)



TO 208AD (TO 83)



TO 247AC



TO 220AB



TO 208AC (TO 65)



TO 209 AB (TO 93)

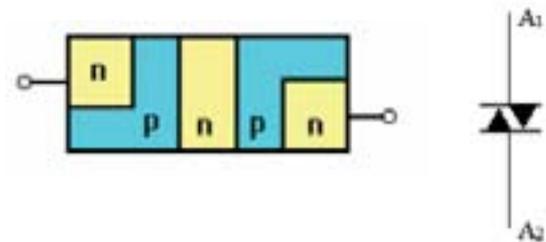
EL DIAC

El Diac es un dispositivo semiconductor de dos conexiones.

Es un diodo bidireccional, una combinación paralela inversa de dos terminales de capas de semiconductor que permiten el disparo en cualquier dirección.

Las características del dispositivo muestran que hay un voltaje de ruptura en ambas direcciones.

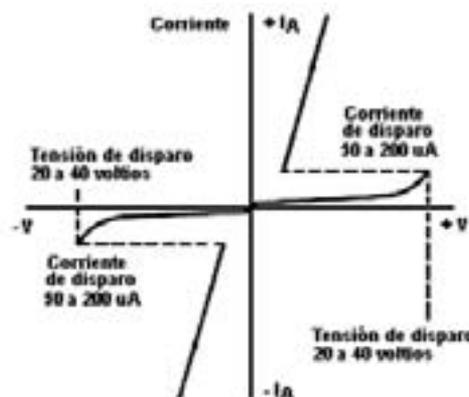
Esta posibilidad de encendido en cualquier dirección puede usarse al máximo para aplicaciones en AC.



Los Diac son una clase de tiristor, y se usan normalmente para disparar los triac, otra clase de tiristor.

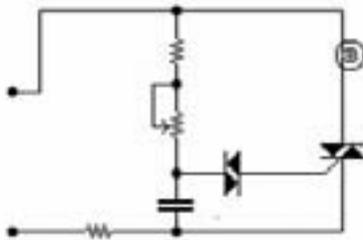
Un Diac se activa cuando el voltaje entre sus terminales alcanza el voltaje de ruptura, dicho voltaje puede estar entre 20 y 40 voltios según la referencia.

En la curva podemos ver que su comportamiento es similar al de un tiristor, salvo que su tensión de disparo es única y en ambos sentidos.



En el esquema que sigue podemos ver un diac utilizado para controlar un Triac en una regulación de corriente alterna.

La carga del condensador es regulada mediante el potenciómetro, cuando la tensión del condensador llegue a la de disparo del diac, este entrará en conducción, activando el Triac, que hará lo mismo, e iluminándose la bombilla.



Se emplea normalmente en circuitos que realizan un control de fase de la corriente del triac, de forma que solo se aplica tensión a la carga durante una fracción de ciclo de la alterna.

Estos sistemas se utilizan para el control de iluminación (Dimer) con intensidad variable, calefacción eléctrica con regulación de temperatura y algunos controles de velocidad de motores.

TRIAC

Un Triac es un dispositivo semiconductor, de la familia de los tiristores.

El éxito obtenido con la introducción del tiristor convencional en el campo de la electrónica, indujo a los investigadores a desarrollar otro tiristor más apto para conducción controlada en circuitos de corriente alterna.

El Triac (Triode AC semiconductor) es un semiconductor capaz de bloquear tensión y conducir corriente en ambos sentidos entre los terminales principales T1 y T2.

Su estructura básica, símbolo y curva característica, aparece a continuación.

Es un componente simétrico en cuanto a conducción y estado de bloqueo se refiere, pues la característica en el cuadrante I de la curva V_{T2-T1} vs i_{T2} es igual a la del III.

Tiene unas fugas en bloqueo y una caída de tensión en conducción práctica-mente igual a la de un tiristor y el hecho de que entre en conducción, si se supera la tensión de ruptura en cualquier sentido, lo hace inmune a destrucción por sobretensión.

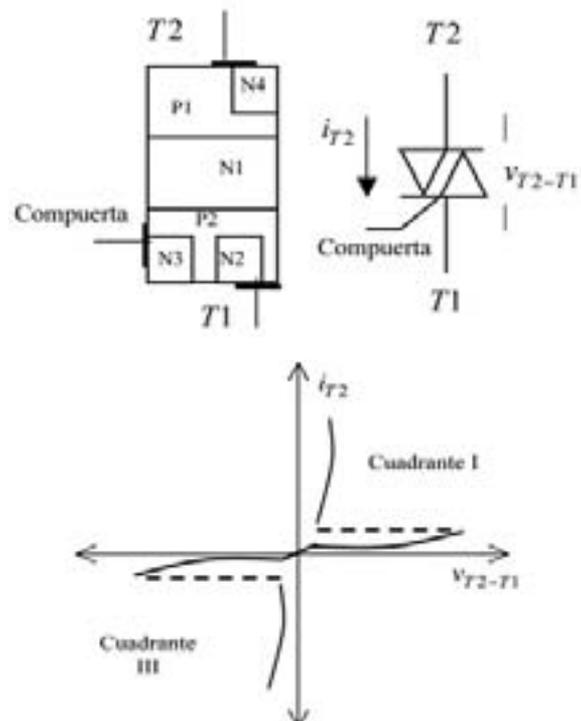
La estructura contiene seis capas, aunque funciona siempre como un tiristor de cuatro.

En sentido T2-T1 conduce a través de P1N1P2N2 y en sentido T1-T2 a través de P2N1P1N4.

La capa N3 facilita el disparo con intensidad de puerta negativa.

La complicación de su estructura lo hace más delicado que un tiristor en cuanto a su $\frac{di}{dt}$, $\frac{dv}{dt}$ y de menor capacidad para soportar sobre corrientes.

Se fabrican para intensidades desde algunos amperes hasta unos 200 A eficaces y desde 400 a 1.000 V de tensión de pico repetitivo.

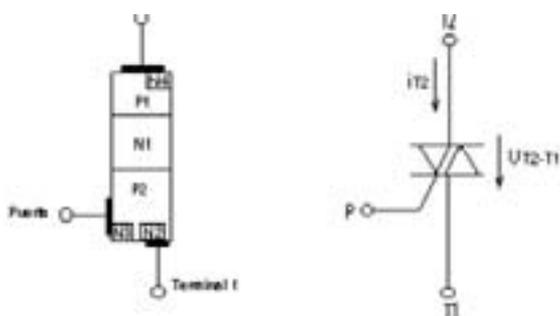


Luego explicaremos qué es

$$\frac{di}{dt} \text{ y } \frac{dv}{dt}$$

La diferencia con un tiristor convencional es que éste es unidireccional y el triac es bidireccional.

De forma coloquial podría decirse que el triac es un interruptor capaz de conmutar la corriente alterna, o sea los dos sentidos de una senoidal.



Estructura interna

Símbolo

Su estructura interna se asemeja en cierto modo a la disposición que formarían dos tiristores en antiparalelo.

Posee tres electrodos: A1, A2, o T1 y T2 según fabricantes (en este caso pierden la denominación de ánodo y cátodo) y puerta.

El disparo del triac se realiza aplicando una corriente al electrodo puerta.

La curva del Triac es similar a la del Diac, pero con la diferencia de que podemos controlar la tensión V_{BD} de disparo del Triac como en el tiristor, haciéndola mayor o menor y regulando así la potencia que dejamos pasar en ambos sentidos (CA).

El triac puede ser disparado en cualquiera de los dos cuadrantes I y III mediante la aplicación entre los terminales de compuerta G y MT1 de un impulso positivo o negativo.

Esto le da una gran facilidad de empleo y simplifica mucho los montajes.

Regulación de potencia por el Triac.

En el circuito simplificado de la figura, tenemos un triac en serie con una carga, por lo que esta recibirá potencia eléctrica cuando el triac entre en conducción.

La corriente promedio entregada a la carga puede variarse alterando la cantidad

de tiempo por ciclo que el triac permanece en el estado encendido.

Si permanece una parte pequeña del tiempo en estado encendido, el flujo de corriente promedio a través de muchos ciclos será pequeño, en cambio si permanece durante una parte grande del ciclo de tiempo encendido, la corriente promedio será alta.



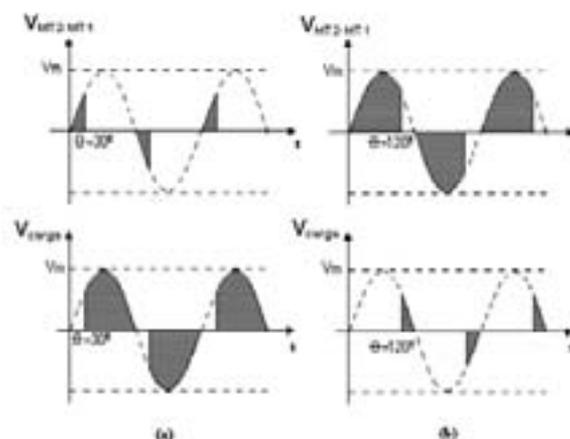
Un triac no está limitado a 180° de conducción por ciclo.

Con un arreglo adecuado del disparador, puede conducir durante el total de los 360° del ciclo.

Por tanto proporciona control de corriente de onda completa, en lugar del control de media onda que se logra con un tiristor (SCR).

Después de transcurrido los 30° , el triac dispara y se convierte en un interruptor cerrado comenzando a conducir corriente a la carga y esto **lo realiza durante el resto del semiciclo.**

La parte del semiciclo durante la cual el triac esta encendido se llama ángulo de conducción.



En las formas de onda del ejemplo (a), estamos disparando el Triac cuando la tensión entre sus terminales A1 y A2 es pequeña.

Al dispararlo, el triac entra en conducción y la corriente puede atravesar la carga, creándose esa forma de onda.

Si fuese una bombilla, se iluminaría mucho.

Se observa también que al ser disparado, la VA1A2 del triac desciende a prácticamente cero voltios.

El Triac, al pasar la tensión por cero voltios, se bloquea, y por lo tanto tenemos que volver a dispararlo en el semiciclo negativo.

En el ejemplo (b), estamos disparando el Triac a 120 grados, por lo que el tiempo en el que entregamos corriente a la carga es mucho más pequeño.

El Triac, al igual que el tiristor y el Diac, se bloquea cuando la tensión en sus terminales pasa por cero voltios, por lo que hay que dispararlo en cada cambio de semiciclo de la tensión de alimentación.

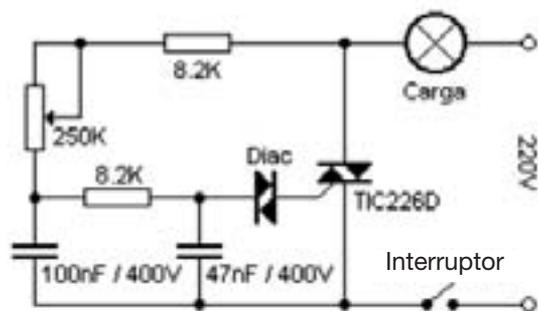
Regulador de luz por triac

Conocido como Dimer.

Se trata del ya conocido y mencionado (en EL MUNDO DE LA ILUMINACIÓN) regulador de potencia lumínica que se utiliza para conseguir confort y ahorro.

El cebado del triac se realiza mediante un conjunto RC que introduce un desfase debido a la constante de tiempo de carga del C.

La constante está determinada por los valores de R, P, y C



El retraso introducido por el circuito RC puede ser variado con el potenciómetro y con ello la potencia media entregada a la carga.

Cuando el potenciómetro está al mínimo, habrá menos desfase en la señal con lo que producimos el impulso antes y aplicamos más potencia a la RL.

Si aumentamos el valor del potenciómetro, el impulso se producirá más tarde y aplicamos menos potencia a la carga, ya que está más tiempo.

Funcionamiento:

El potenciómetro (250KΩ) tiene cinco terminales, dos de ellos forman interruptor que conecta el circuito a la red.

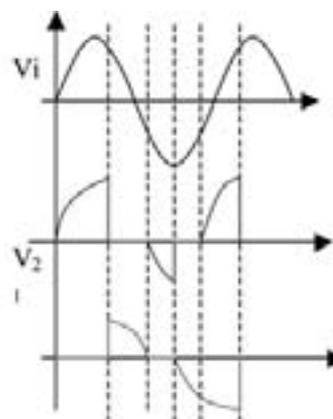
Al conectarlo, una pequeña intensidad atravesará la bombilla y el potenciómetro, cargando el condensador de 100nF.

Esto ocurre muy rápidamente.

A través de la resistencia de 8,2KΩ, aplicamos tensión al Diac, que en cuanto supere los 30 Voltios, se disparará, conduciendo y permitiendo la aplicación de un impulso de tensión en la puerta del Triac, con lo que a su vez este también se disparará, permitiendo el paso de corriente y encendiéndose por tanto la bombilla.

Variando el potenciómetro, variamos la velocidad de carga del condensador de 100nF, o lo que es lo mismo, variamos el ángulo de disparo del Diac, y por tanto el ángulo de conducción del Triac.

Esto ocurre en cada semiciclo de la tensión de entrada, de forma que controlamos prácticamente los 360 grados de la misma.



Características del Tiristor (SCR) y del Triac.

Existen un sin fin de características que debemos indicar si queremos definirlos convenientemente:

VDRM

Tensión de pico repetitivo en estado de bloqueo directo. (Repetitive peak off-state voltage).

Expresa el valor máximo de voltaje repetitivo para el cual el fabricante garantiza que no hay conmutación, con la puerta en circuito abierto.

VDSM

Tensión de pico no repetitivo en estado de bloqueo directo. (Non -repetitive peak off – state voltage). Valor máximo de tensión en sentido directo que se puede aplicar durante un determinado periodo de tiempo con la puerta abierta sin provocar el disparo.

VDWM

Tensión máxima directa en estado de trabajo. (Crest working off - state voltage). Valor máximo de tensión en condiciones normales de funcionamiento.

VRRM

Tensión inversa de pico repetitivo. (Repetitive peak reverse voltage). Valor máximo de tensión que se puede aplicar durante un cierto periodo de tiempo con el terminal de puerta abierto.

VRSM

Tensión inversa de pico no repetitivo. (Non - repetitive peak reverse voltage). Valor máximo de tensión que se puede aplicar con el terminal de puerta abierto.

VRWM

Tensión inversa máxima de trabajo. (Crest working reverse voltage). Tensión máxima que puede soportar el tiristor con la puerta abierta, de forma continuada, sin peligro de ruptura.

VT

Tensión en extremos del tiristor en estado de conducción. (Forward on - state voltage).

VGT

Tensión de disparo de puerta. (Tensión de encendido). (Gate voltage to trigger). Tensión de puerta que asegura el disparo con tensión ánodo - cátodo en directo.

VGNT

Tensión de puerta que no provoca el disparo. (Non - triggering gate voltage). Voltaje de puerta máximo que no produce disparo, a una temperatura determinada.

VRGM

Tensión inversa de puerta máxima. (Peak reverse gate voltage). Máxima tensión inversa que se puede aplicar a la puerta.

VBR

Tensión de ruptura. (Breakdown voltage). Valor límite que si es alcanzado un determinado tiempo en algún momento, puede destruir o al menos degradar las características eléctricas del tiristor.

IT (AV)

Corriente eléctrica media. (Average on - state current). Valor máximo de la corriente media en el sentido directo, para unas condiciones dadas de temperatura, frecuencia, forma de onda y ángulo de conducción.

IT (RMS)

Intensidad directa eficaz. (R.M.S. on state current).

ITSM

Corriente directa de pico no repetitiva. (Peak one cycle surge on - state current). Corriente máxima que puede soportar el tiristor durante un cierto periodo de tiempo.

ITRM

Corriente directa de pico repetitivo. (Repetitive peak on - state current). Intensidad máxima que puede ser soporta-



da por el dispositivo por tiempo indefinido a una determinada temperatura.

IRRM

Corriente inversa máxima repetitiva. (Corriente inversa). (Reverse current). Valor de la corriente del tiristor en estado de bloqueo inverso.

IL

Corriente de enganche. (Latching current). Corriente de ánodo mínima que hace bascular al tiristor del estado de bloqueo al estado de conducción.

IH

Corriente de mantenimiento. (Holding current). Mínima corriente de ánodo que conserva al tiristor en su estado de conducción.

IDRM

Corriente directa en estado de bloqueo. (Off - state current).

IGT

Corriente de disparo de puerta. (Gate current to trigger). Corriente de puerta que asegura el disparo con un determinado voltaje de ánodo.

IGNT

Corriente de puerta que no provoca el disparo. (Non-triggering gate current).

ITC

Corriente controlable de ánodo. (Controllable anode current). (Para el caso de tiristores GTO).

I²t

Valor límite para protección contra sobrecorrientes. (I²t Limit value).

Se define como la capacidad de soportar un exceso de corriente durante un tiempo inferior a medio ciclo.

Permite calcular el tipo de protección.

Se debe elegir un valor de I²t para el fusible de forma que:

$$I^2t \text{ (fusible)} < I^2t \text{ (tiristor)}$$

P_{GAV}

Potencia media disipable en la puerta. (Average gate power dissipation). Representa el valor medio de la potencia disipada en la unión puerta-cátodo.

P_{GM}

Potencia de pico disipada en la puerta. (Peak gate power dissipation). Potencia máxima disipada en la unión puerta-cátodo, en el caso de que apliquemos una señal de disparo no continua.

P_{tot}

Potencia total disipada. (Full power dissipation). En ella se consideran todas las corrientes: directa, media, inversa, de fugas, etc. Su valor permite calcular el radiador, siempre que sea preciso.

T_{stg}

Temperatura de almacenamiento. (Storage temperature range). Margen de temperatura de almacenamiento.

T_j

Temperatura de la unión. (Junction temperature). Indica el margen de la temperatura de la unión, en funcionamiento.

R_{th j-mb} ; R_{j-c} ; R_{φJC}

Resistencia térmica unión-contenedor. (Thermal resistance, Junction to ambient)

R_{th mb-h} ; R_{c-d}

Resistencia térmica contenedor - disipador. (Thermal resistance from mounting base to heatsink).

R_{th j-a} ; R_{j-a} ; R_{φJA}

Resistencia térmica unión - ambiente. (Thermal resistance junction to ambient in free air).

Z_{th j-mb} ; Z_{j-c} ; Z_{φJC(t)}

Impedancia térmica transitoria unión - contenedor. (Transient thermal impedance, junction - to - case).

Z_{th j-a} ; Z_{j-a} ; Z_{φJA(t)}

Impedancia térmica transitoria unión - ambiente. (Transient thermal impedance, junction - to - ambient).

t_d

Tiempo de retraso. (Delay time).

 t_r

Tiempo de subida (Rise time).

 $t_{gt}; t_{on}$

Tiempo de paso a conducción. (Gate - controlled turn - on time).

 $t_q; t_{off}$

Tiempo de bloqueo, (Circuit - commutated turn - off time). Intervalo de tiempo necesario para que el tiristor pase al estado de bloqueo de manera que aunque se aplique un nuevo voltaje en sentido directo, no conduce hasta que haya una nueva señal de puerta.

 di/dt

Valor mínimo de la pendiente de la intensidad por debajo de la cual no se producen puntos calientes.

 dv/dt

Valor mínimo de la pendiente de tensión por debajo de la cual no se produce el cebado sin señal de puerta.

 $(dv/dt)_C$

Valor mínimo de la pendiente de tensión por debajo de la cual no se produce el nuevo cebado del SCR cuando pasa de conducción a corte.

I_{FAV} (SIN 180) (T _{case} =71°C)	V _{RSM} V	V _{RRM}	
19 A	1300	1200	SKT10/12
25 A	1300	1200	SKT16/12
32 A	1300	1200	SKT24/12
40 A	1300	1200	SKT40/12
50 A	1300	1200	SKT50/12
86 A	1300	1200	SKT80/12
110 A	1300	1200	SKT100/12
140 A	1300	1200	SKT130/12
178 A	1300	1200	SKT160/12
285 A	1300	1200	SKT250/12
450 A	1300	1200	SKT340/12
640 A	1300	1200	SKT491/12
890 A	1300	1200	SKT600/12



Vemos que los valores se han quedado reducidos a 4.

Ni tanto ni tan...

Entendemos que las características más importantes del SCR y el Triac son:

Voltaje de ruptura directo. Es el voltaje que soporta en polarización directa y en estado de bloqueo.

Tensión de pico repetitivo en estado de bloqueo directo. (Repetitive peak off-state voltage).

Expresa el valor máximo de voltaje repetitivo para el cual el fabricante garantiza que



Sin embargo vamos a reflejar lo que un fabricante destaca en sus catálogos, que en definitiva serán los parámetros que utilizaremos preferentemente si trabajamos con estos componentes.

no hay conmutación, con la puerta en circuito abierto.

Voltaje de pico inverso. Es el máximo voltaje inverso que puede soportar (similar al de los diodos).

Tensión de pico no repetitivo en estado de bloqueo directo. (Non -repetitive peak off - state voltage). Valor máximo de tensión en sentido directo que se puede aplicar durante un determinado periodo de tiempo con la puerta abierta sin provocar el disparo.

Corriente máxima de operación. Es la corriente de operación o trabajo.

Caída de voltaje en polarización directa. Es el voltaje entre el ánodo y el cátodo cuando está en estado de conducción.

Voltajes de compuerta. Son los valores de voltaje en la compuerta el mínimo para activarlo o máximo que soporta.

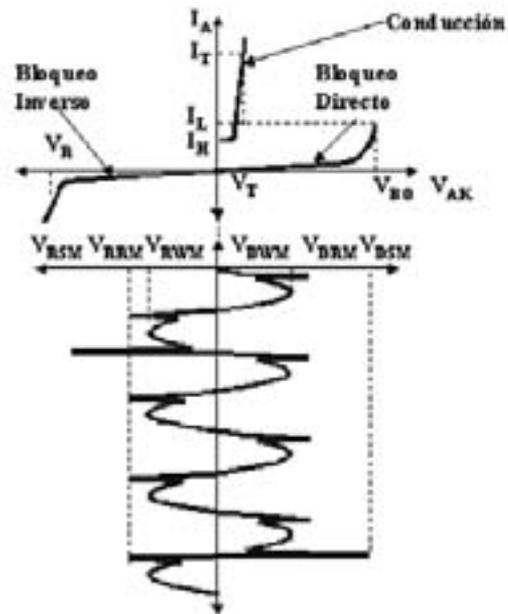
Corrientes de compuerta. Son las corrientes mínima y máxima que debe haber en la compuerta para que el SCR o Triac puedan conducir.

Corriente de enganche. Es la corriente mínima que debe pasar entre sus dos terminales principales para mantener al dispositivo en estado de conducción inmediatamente después de que ha sido activado y se ha retirado la señal de la compuerta.

Corriente de sostenimiento. Es la corriente mínima necesaria entre sus dos terminales principales para mantener al dispositivo conduciendo en régimen permanente. Esta corriente es menor que la corriente de enganche.

$\frac{dv}{dt}$ Es el máximo valor de la velocidad de cambio de voltaje de la señal entre terminales del Triac o SCR que permiten los dispositivos para no entrar en estado de conducción o bien de ruptura.

$\frac{di}{dt}$ Es el máximo valor de la velocidad de cambio de corriente de la señal a través del Triac o SCR que permiten los dispositivos para no entrar en estado de conducción.



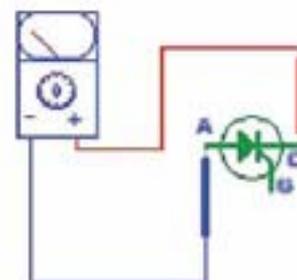
- V_{TOM} = Tensión máxima directa de trabajo
- V_{TSM} = Valor máximo de voltaje repetitivo directo
- V_{ISM} = Valor máximo de voltaje repetitivo inverso
- V_T = Caída de tensión de trabajo
- I_T = Intensidad de trabajo
- I_H = Intensidad de mantenimiento
- I_{TOM} = Intensidad directa en estado de bloqueo. (Intensidad de fuga)
- I_{ISM} = Intensidad inversa en estado de bloqueo. (Intensidad de fuga)
- I_H = Intensidad de enganche

Verificación y chequeo de Tiristores y Triacs

La prueba de Tiristores es aconsejable realizarla desconectándolos del circuito.

Prueba con el Ohmetro o multímetro

Debido a que todos los medidores de resistencia tienen una fuente de corriente



continua (Pilas), se pueden verificar con este instrumento la gran mayoría de rectificadores SCR y TRIAC,s.

No se aconseja hacer estos chequeos con instrumentos que sólo usan una pila de 1,5 voltios, pues la señal que entregan no alcanza ni para probar un LED (diodo emisor de luz).

Procedimiento: Coloquemos el Ohmetro o multímetro en la escala para medir baja resistencia ($R \times 1$).

Coloquemos la pinza positiva (rojo) al cátodo del SCR, y conectemos el ánodo al cable negativo (negro), podrá parecer incorrecto, puesto que se ha dicho que el ánodo debe quedar positivo, pero resulta que las corrientes de salida en los terminales del instrumento tienen polaridad contraria a la que señalan sus signos y colores.

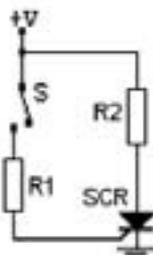
En este momento la aguja del medidor señala alta resistencia (si es que se mueve). Ahora hagamos un puente entre los terminales gate y ánodo, esto ocasionara que la aguja suba a una posición de baja resistencia, y se debe conservar allí aunque retiremos el puente que unió estos dos terminales y suministró la señal de disparo.

Si se trata de un Triac, hagamos primero la prueba anterior, luego invertimos los terminales del Ohmetro (es posible que en esta última posición no se sostenga la aguja en su lugar de baja resistencia cuando se retire el puente, pero esto se debe a que la baja corriente del instrumento medidor no alcanza para mantener encendido el triac en esta polaridad).

Para las pruebas, TP1 equivale al cátodo, y TP2 al ánodo.

COMPORTAMIENTO DEL TIRISTOR EN VARIOS SUPUESTOS.

Funcionamiento en corriente continua.



El funcionamiento de un Tiristor en corriente continua es fácil de entender.

Normalmente el Tiristor trabaja con polarización directa entre ánodo (A) y cátodo (C o K) (la corriente circula en el sentido de la flecha del Tiristor).

Con esta condición, sólo es necesario aplicar un pulso en la compuerta (G) para activarlo.

Este pulso debe de tener una amplitud mínima, para que la corriente de compuerta (IG) provoque la conducción.

Activación del Tiristor

En la figura se ve una aplicación sencilla del tiristor en corriente continua.

El SCR se comporta como un circuito abierto hasta que activa su compuerta (GATE) con un pulso de tensión que causa una pequeña corriente (el cierre momentáneo del interruptor S).

El tiristor conduce y se mantiene conduciendo, no necesitando de ninguna señal adicional para mantener la conducción.

No es posible desactivar el tiristor (que deje de conducir) con la compuerta.

Características del pulso de disparo

La duración del pulso aplicado a la compuerta G debe ser lo suficientemente largo para asegurar que la corriente de ánodo se eleve hasta el valor de retención.

Otro aspecto importante a tomar en cuenta es la amplitud del pulso, que influye en la duración de éste.

Desactivación de un Tiristor.

Una vez activado, se mantiene conduciendo, mientras la corriente de ánodo (I_A) sea mayor que la corriente de mantenimiento (I_H).

Normalmente la compuerta (G) no tiene control sobre el Tiristor una vez que este está conduciendo.

Opciones para desactivarlo:

1. Se abre el circuito del ánodo (corriente $I_A = 0$).
2. Se polariza inversamente el circuito ánodo-cátodo (el cátodo tendrá un nivel de tensión mayor que el del ánodo).
3. Se deriva la corriente del ánodo I_A , de manera que esta corriente se reduzca y sea menor a la corriente de mantenimiento I_H .

Si se disminuye lentamente el voltaje (tensión), el Tiristor seguirá conduciendo hasta que por él pase una cantidad de corriente menor a la llamada "corriente de mantenimiento o de retención (I_H)", 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.

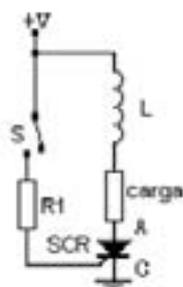
Como se puede ver el SCR, tiene dos estados:

- 1- Estado de conducción, en donde la resistencia entre ánodo y cátodo es muy baja.
- 2- Estado de corte, donde la resistencia es muy elevada.

El Tiristor con carga inductiva

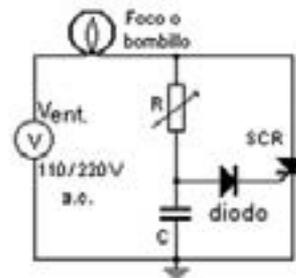
Cuando la carga del SCR no es resistiva pura, como la mostrada en la figura anterior, si no, una carga inductiva, (bobina), es importante tener en cuenta el tiempo que tarda la corriente en aumentar en una bobina.

El pulso que se aplica a la compuerta debe ser lo suficientemente duradero para que la corriente de la carga iguale a la corriente de enganche y así el Tiristor se mantenga en conducción.



Funcionamiento en corriente alterna

Control de fase con tiristor



Se usa principalmente para controlar la potencia que se entrega a una carga. (En el caso de la figura es una bombilla o foco)

La fuente de voltaje puede ser de 110V, 120V, 230V, en corriente alterna, etc.

La potencia suministrada a la carga se controla variando el ángulo de conducción pero sólo conducirá un semiciclo.

Curva característica

La siguiente figura muestra la dependencia entre la tensión de conmutación y la corriente de compuerta.

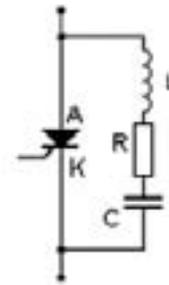
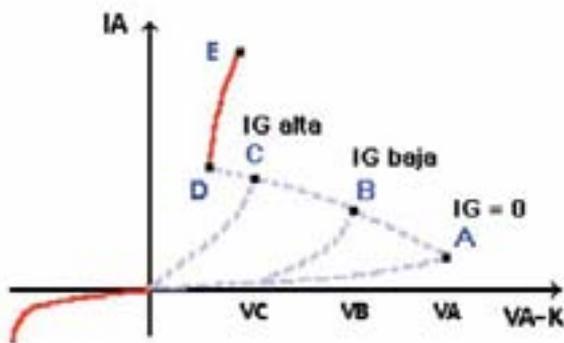
Cuando el Tiristor está polarizado en inversa se comporta como un diodo común (ver la corriente de fuga característica).

En la región de polarización en directo el Tiristor se comporta también como un diodo común, siempre que el tiristor ya haya sido activado (On). Puntos D y E.

Para valores altos de corriente de compuerta (I_G) (Punto C), la tensión de ánodo a cátodo es menor (V_C).

Si la I_G disminuye, la tensión ánodo-cátodo aumenta. (Punto B y A, y la tensión ánodo-cátodo V_B y V_A).

Concluyendo, al disminuir la corriente de compuerta I_G , la tensión ánodo-cátodo tenderá a aumentar antes de que el SCR conduzca (se ponga en On).



Acordémonos de que la bobina se opone a cambios bruscos de corriente.

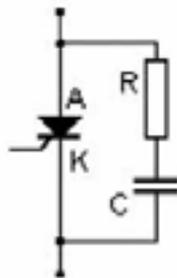
Protección contra cambios bruscos de tensión (dv/dt), velocidad de crecimiento de la tensión.

Los cambios bruscos de tensión entre el ánodo (A) y el cátodo (K = C), pueden producir cebados no deseados, causando con ello que el Tiristor se dispare y empiece a conducir.

El dv/dt máximo es especificado por el fabricante.

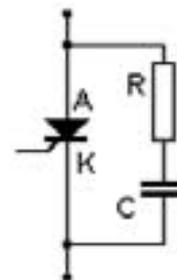
A veces por diferentes motivos, la tensión entre los terminales del SCR pueden cambiar en forma repentina y de manera evidente (el cambio de tensión es grande)

Para evitar este inconveniente, se utiliza un circuito RC en paralelo con el tiristor como se muestra en la figura.



Un condensador descargado se comporta inicialmente (al ser conectado) como un corto circuito y la gran demanda de corriente tiene que atravesar el tiristor.

Para evitar este problema se pone en serie con la carga una bobina (ver figura) de poco valor, para retardar el incremento de la corriente a un valor aceptable.



Este circuito limita la velocidad de subida de la tensión en los terminales del tiristor.

Acordémonos de que el condensador se opone a cambios bruscos de tensión.

El circuito RC produce un desplazamiento de la fase entre la tensión de entrada y la tensión en el condensador que es la que suministra la corriente a la compuerta del SCR.

Como R es un potenciómetro, el valor resistivo puede variar y así producir un corrimiento de fase ajustable, que causará que la entrega de potencia a la carga (la bombilla) también sea variable.

Con esto se logra que la intensidad de la luz en la bombilla varíe. El diodo en la compuerta del SCR se usa para bloquear la tensión de compuerta durante el ciclo negativo (de 180° a 360°).

MÁS APLICACIONES DEL SCR

Ahora indicamos todas:

Sus aplicaciones se extienden desde la rectificación de corrientes alternas, en lugar de los diodos convencionales hasta la realización de determinadas conmutaciones de baja potencia en circuitos electrónicos, pasando por los onduladores o inversores que transforman la corriente continua en alterna.

La principal ventaja que presentan frente a los diodos cuando se les utiliza como rectificadores es que su entrada en conducción estará controlada por la señal de puerta. De esta forma se podrá variar la tensión continua de salida si se hace variar el momento del disparo ya que se obtendrán diferentes ángulos de conducción del ciclo de la tensión o corriente alterna de entrada.

Además el tiristor se bloqueará automáticamente al cambiar la alternancia de positiva a negativa ya que en este momento empezará a recibir tensión inversa.

Por lo anteriormente señalado el SCR tiene una gran variedad de aplicaciones, entre ellas están las siguientes:

- Controles de relevador.
- Circuitos de retardo de tiempo.
- Fuentes de alimentación reguladas.
- Interruptores estáticos.
- Controles de motores.
- Recortadores.
- Inversores.
- Ciclo conversores.
- Cargadores de baterías.
- Circuitos de protección.
- Controles de calefacción.
- Controles de fase.

CARACTERÍSTICAS DE CONMUTACIÓN

Los tiristores, al no ser interruptores perfectos, necesitan un tiempo para pasar del estado de bloqueo al estado de conducción y viceversa.

Para frecuencias inferiores a 400 Hz se pueden ignorar estos efectos.

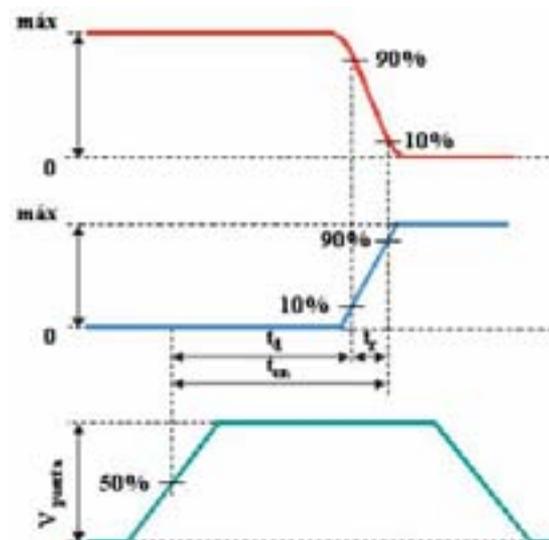
En la mayoría de las aplicaciones se requiere una conmutación más rápida (mayor frecuencia), por lo que éste tiempo debe tenerse en cuenta.

Se realiza el análisis por separado del tiempo que tarda el Tiristor en pasar de corte a conducción o tiempo de encendido, t_{on} y el tiempo que tarda el Tiristor en pasar de conducción a corte o tiempo de apagado, t_{off} .

• Tiempo de Encendido, t_{on}

El tiempo de encendido o tiempo en pasar de corte a conducción, t_{on} se puede dividir en dos tiempos:

Tiempo de retardo, t_d y Tiempo de subida, t_r .



Representación gráfica del tiempo de encendido, t_{on}

El tiempo de retardo

También llamado tiempo de precondicionamiento, t_d es el tiempo que transcurre

desde que el flanco de ataque de la corriente de puerta alcanza la mitad de su valor final (50%) hasta que la corriente de ánodo alcanza el 10% de su valor máximo para una carga resistiva, ver figura.

El tiempo de retardo depende de la corriente de mando, de la tensión ánodo cátodo y de la temperatura, t_d disminuye si estas magnitudes aumentan.

El tiempo de subida

t_r es el tiempo necesario para que la corriente de ánodo pase del 10% al 90% de su valor máximo para una carga resistiva.

Este tiempo se corresponde también con el paso de la caída de tensión en el Tiristor del 90% al 10% de su valor inicial. Ver figura.

La amplitud de la señal de puerta y el gradiente de la corriente de ánodo, juegan un papel importante en la duración del t_r que aumenta con los parámetros anteriores.

El tiempo de cebado o tiempo de encendido, debe ser lo suficientemente corto, como para no ofrecer dificultades en aplicaciones de baja y de mediana frecuencia.

La suma de los dos tiempos anteriores, t_d y t_r es el tiempo de cierre t_{on} , trascurrido el cual el Tiristor se satura comenzando la conducción.

Otro factor, de gran importancia, que se debe tener en cuenta es el hecho de que durante el cebado del dispositivo, el impulso sólo afecta a la parte vecina del electrodo de puerta, con lo cual el paso del Tiristor del estado de corte a conducción está limitado en principio a esta superficie inicialmente cebada.

Como la caída de tensión en el Tiristor no se efectúa de una forma instantánea, simultáneamente se pueden presentar valores altos de tensión y de corriente, alcanzándose valores muy altos de potencia.

La energía será disipada en un volumen muy reducido, en las cercanías de la puerta que es donde comienza la conducción, dando lugar a un calentamiento considerable.

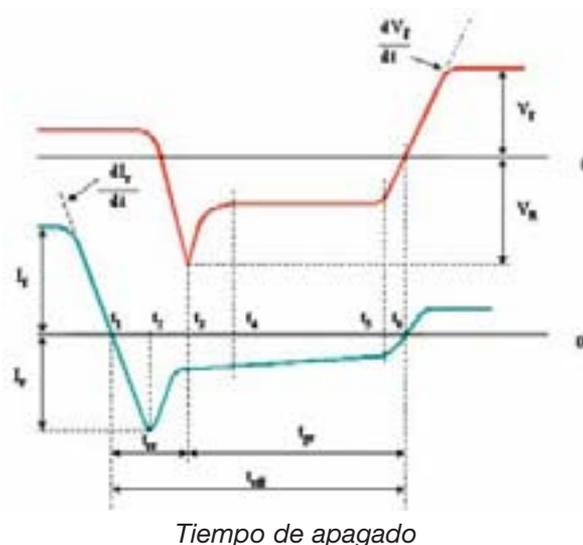
Si se alcanzase en algún momento el límite térmico crítico, podría destruirse la zona conductora por fusión de la pastilla de silicio.

Esto se conoce con el nombre de destrucción por d/d_i .

Sobre los tiempos anteriores (t_d y t_r) pueden influir una serie de parámetros entre los que cabe destacar los que influyen sobre t_d : Tiempo de subida, amplitud de la corriente de ánodo y tensión de ánodo.

• Tiempo de apagado, t_{off}

Para comprender mejor el estudio del tiempo de apagado (extinción) del Tiristor, es decir el paso del estado de conducción al estado de bloqueo (t_{off}), hay que tener en cuenta las formas de onda características que aparecen en la figura.



La extinción del Tiristor se producirá por dos motivos: Por reducción de la corriente de ánodo por debajo de la corriente de mantenimiento y por anulación de la corriente de ánodo.

El tiempo de apagado, t_{off} se puede subdividir en dos tiempos parciales: el tiempo de recuperación inversa, t_{rr} y el tiempo de recuperación de puerta, t_{gr}

$$t_{off} = t_{rr} + t_{gr}$$



Si la tensión aplicada al elemento cambia de sentido y lo polariza inversamente, la corriente directa se anula, alcanzándose un valor débil de corriente inversa, i_r .

Las cargas acumuladas en la conducción del tiristor se eliminan entonces parcialmente, pudiéndose definir un **tiempo de recuperación inversa**, t_{rr} , desde t_1 a t_3 en la figura.

El resto de las cargas almacenadas se recombinan por difusión.

Cuando el número de cargas es suficientemente bajo, la puerta recupera su capacidad de gobierno: puede entonces volver a aplicarse la tensión directa sin riesgo de un nuevo cebado.

Este tiempo se denomina **tiempo de recuperación de puerta**, t_{gr} .

Los parámetros que influyen sobre el tiempo de apagado, t_{off} son:

- Corriente en estado de conducción, I_T : Elevados picos de corriente implican mayores tiempos de apagado.
- Tensión inversa, VR: Pequeños valores de VR implican grandes tiempos de extinción. Para limitar esta tensión aproximadamente a un voltio, se coloca un diodo en antiparalelo con el Tiristor.
- Velocidad de caída de la corriente de ánodo, di/dt : Altos valores de di/dt implican bajos tiempos de apagado.
- Pendiente de tensión, dV_D/dt : Elevados valores de pendiente de tensión implican mayores t_{off} .
- Temperatura de la unión, T_j o del contenedor, T_c .
Altas temperaturas implican mayores t_{off} .
- Condiciones de puerta. La aplicación de una tensión negativa de puerta durante la recuperación inversa reduce el t_{off} . Es importante no aplicar un valor excesivo de tensión inversa en la puerta.

Veamos como las presentan los fabricantes:

V _{RRM}	V _{RRM} V _{ORM}	(dI/dt) _{cr} V/μs	I _{Tmax} (maximum values for continuous operation)		
			30 A	40 A	50 A
			I _{TRM} (sin. 180; T _{case} = ... °C)		
V	V	V/μs	19 A (95 °C)	25 A (74 °C)	32 A (72 °C)
500	400	500	–	SKT 16/04 D	SKT 24/04 D
700	600	500	SKT 10/06 D	SKT 16/06 D*	–
900	800	500	SKT 10/08 D	SKT 16/08 D	SKT 24/08 D
1300	1200	1000	SKT 10/12 E	SKT 16/12 E*	SKT 24/12 E*
1500	1400	1000	–	SKT 16/14 E	SKT 24/14 E
1700	1600	1000	–	SKT 16/16 E	SKT 24/16 E*
1900	1800	1000	–	SKT 16/18 E+	SKT 24/18 E+

Thyristors

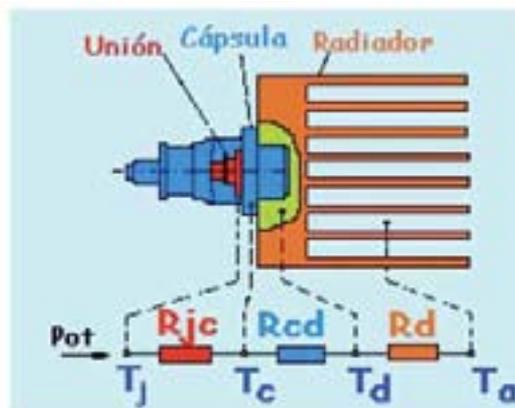
SKT 10
SKT 16
SKT 24



Symbol	Conditions	SKT 10	SKT 16	SKT 24	Units
I_{TRM}	sin. 180; (T _{case} = ...)	10 (106)	16 (103)	24 (94)	A °C
I_{TRM}	T _q = 25 °C; 10 ms T _q = 130 °C; 10 ms	250 210	370 330	450 380	A
I_T	T _q = 25 °C; 8,35 ... 10 ms T _q = 130 °C; 8,35 ... 10 ms	310 220	680 550	1000 720	A ² s A ² s
i_{gr}	T _q = 25 °C I _q = 1 A di/dt = 1 A/μs		typ. 1		μs
t_{gr}	V _D = 0,67 · V _{ORM}		typ. 2		μs
(dI/dt) _{cr}	f = 50 ... 60 Hz		50		A/μs
i_r	T _q = 25 °C; typ./max.		80 / 150		mA
I_r	T _q = 25 °C; typ./max.		150 / 300		mA
I_{r0}	T _q = 130 °C; typ.		80		μs
V_r	T _q = 25 °C; (I _r = ...); max.	1,6 (30)	2,4 (75)	1,9 (75)	V A
$V_{r(max)}$	T _q = 130 °C	1,0	1,0	1,0	V
I_r	T _q = 130 °C	18	20	10	mA
I_{D0} , I_{D0}	T _q = 130 °C; V _{DD} = V _{ORM} V _{DD} = V _{ORM}	4	8	8	mA
V_{D1}	T _q = 25 °C		3		V
I_{D1}	T _q = 25 °C		100		mA
V_{D0}	T _q = 130 °C		0,25		V
I_{D0}	T _q = 130 °C		3		mA
$R_{th(j-c)}$	cont.	1,2	0,8		°C/W
$R_{th(j-a)}$	sin. 180 / rec. 120	1,3 / 1,35	0,9 / 0,95		°C/W
$R_{th(a-c)}$		1,0	0,5		°C/W
T_{q}			-40 ... +130		°C
T_{ep}			-40 ... +150		°C
M	SI units	2,0	2,5		Nm
	US units	18	22		lb. in.
a		5 · 9,81	5 · 9,81		mb/s ²
w		7	12		g
Case		B 1	B 2		

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS

Para proteger a los dispositivos de este aumento de temperatura, los fabricantes proporcionan en las hojas de características una serie de datos térmicos que permiten determinar las temperaturas máximas que puede soportar el elemento sin destruirse y el cálculo del disipador adecuado.



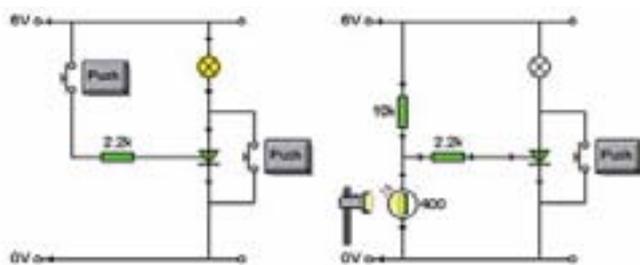
THERMAL RESISTANCES

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{Tj,mb}$	Thermal resistance junction to mounting base	in free air	-	-	1.3	K/W
$R_{Tj,ja}$	Thermal resistance junction to ambient		-	60	-	K/W

PRÁCTICAS CON TIRISTORES

Conviene que nos familiaricemos con ellos para descubrir que no son tan inexpugnables...

Cebado y descebado de un tiristor.



1º circuito:

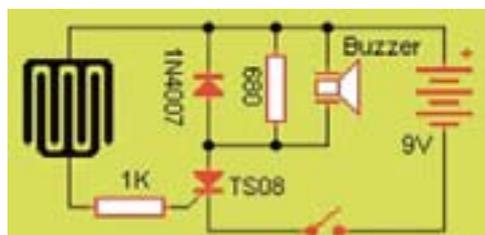
¿Por qué al quitar la corriente a la puerta, la bombilla sigue encendida?

2º circuito:

¿Cuándo se cebó el tiristor, de día o de noche?
¿Y por qué no se apaga la bombilla cuando amanece de nuevo? ¿Es un encendido/apagado automático o semiautomático?

ALARMA CONTRA LLUVIA

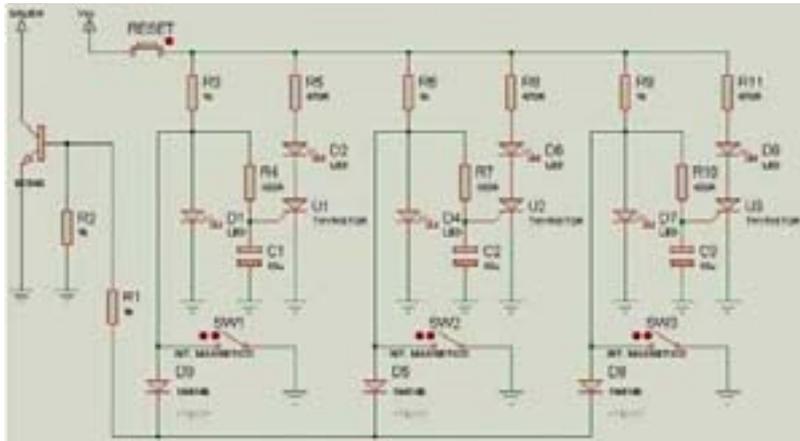
Este simple dispositivo es ideal para despistados que dejan las ventanas abiertas de par en par y, cuando llueve, se olvidan de cerrarlas.



El corazón del proyecto es el tiristor TS08 que se encuentra inicialmente abierto.

Cuando las gotas de agua caen sobre las pistas entrelazadas se produce una conducción parcial de corriente que logra disparar la compuerta y hacer sonar la alarma.

CIRCUITO PARA AUMENTAR LAS ENTRADAS DE UNA ALARMA



Descripción del circuito:

Normalmente las entradas de disparo de una central de alarma se activan al abrir un circuito, que puede ser un interruptor, pulsador, relé, etc., en los que sus contactos se encuentran normalmente cerrados.

Cuando en dicha central de alarma hemos cubierto todas sus entradas y tenemos que ampliar las zonas a cubrir, procedemos a coger varios dispositivos de disparo (magnéticos, volumétricos, interruptores pánico, etc.) y los ponemos en serie, de modo que cuando alguno de estos se activa nos dispara esta entrada de alarma. El inconveniente de este sistema es que no podemos saber a simple vista que elemento es el que nos ha provocado la alarma.

Con este circuito podemos ampliar cualquier entrada de alarma al número que queramos, simplemente habrá que ir encadenando circuitos.

Cada zona de disparo llevara asociada 2 diodos Led (rojo y verde).

El Led rojo nos indicara que esa zona ha estado abierta, mientras que el verde lo que indica es que está abierta en este momento.

Para apagar los Led rojos abra que actuar sobre un pulsador de RESET.

Descripción del esquema:

Procederemos a la explicación de un único módulo de disparo, ya que este se repite continuamente.

Partimos del caso de que el interruptor SW1 esta cerrado, por lo que el Led D1 estará apagado y el tiristor, al tener la puerta al potencial de masa, no conducirá, por lo que D2 también estará apagado.

Al abrirse SW1 se iluminara D1, y a su vez, mediante R3 y R4 polarizaremos la puerta del tiristor, que entrará en avalancha quedando permanentemente en estado de conducción haciendo que se ilumine D2.

Mediante D3 polarizamos al transistor BC548, de modo que la salida de este quedara a potencial de masa, la cual podemos utilizar para disparar directamente alguna alarma o bien actuar sobre la bobina de un relé.

El condensador C1 tiene como misión eliminar los parásitos o interferencias que pueden producirse en el cableado de SW1.

El pulsador de reset es del tipo que en reposo esta normalmente cerrado, de modo que al accionarlo le quita la alimentación al circuito y reestablece el estado de los tiristores.

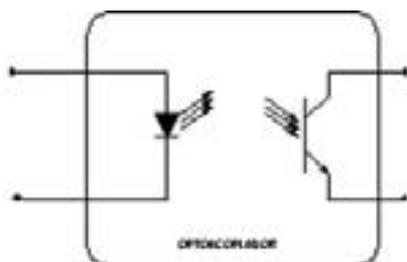
OPTOELECTRÓNICA, TERMoeLECTRICIDAD Y DISIPADORES DE CALOR

La **optoelectrónica** constituye el nexo de unión entre los sistemas ópticos y los sistemas electrónicos.

Los componentes optoelectrónicos son aquellos cuyo funcionamiento está relacionado directamente con la luz.

Optoacopladores

Un optoacoplador es un componente formado por la unión de un diodo LED y un fototransistor u **otro semiconductor**, acoplados a través de un medio conductor de luz y encerrados en una cápsula cerrada y opaca a la luz.



Esquema de un optoacoplador

Cuanta mayor intensidad atraviesa el fotodiodo, mayor será la cantidad de fotones emitidos y, por tanto, mayor será la corriente que recorra el fototransistor.

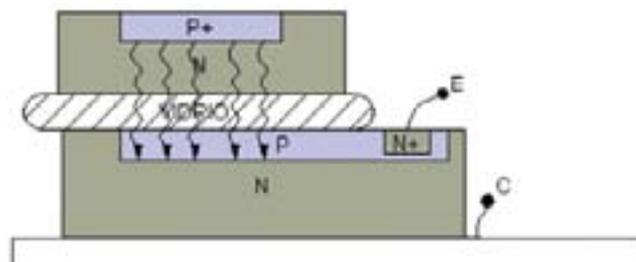
Se trata de una manera de transmitir una señal de un circuito eléctrico a otro.

Obsérvese que no existe comunicación eléctrica entre los dos circuitos, es decir existe un trasiego de información pero no existe una conexión eléctrica: la conexión es óptica.

Las ejecuciones de un optoacoplador son variadas y dependen de la casa que los fabrique.

Una de las más populares se ve en la figura.

Se puede observar como el LED, en la parte superior, emite fotones que, tras atravesar el vidrio, inciden sobre el fototransistor.



Obsérvese también el aislamiento eléctrico entre fototransistor y LED ya mencionado.

Tipos

Existen varios ejemplos de optoacopladores cuya diferencia entre sí depende de los dispositivos de salida que se insertan en el componente.

Según esto tenemos los siguientes:

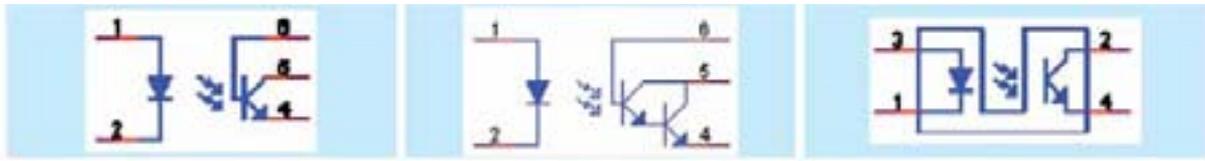
- **Fototransistor:** o lineal, conmuta una variación de corriente de entrada en una variación de tensión de salida.

Se utiliza en acoplamientos de líneas telefónicas, periféricos, audio...

- **Optotiristor:** Diseñado para aplicaciones donde sea preciso un aislamiento entre una señal lógica y la red.

- **Optotriac:** Al igual que el optotiristor, se utiliza para aislar circuitos de baja tensión de la tensión de red.

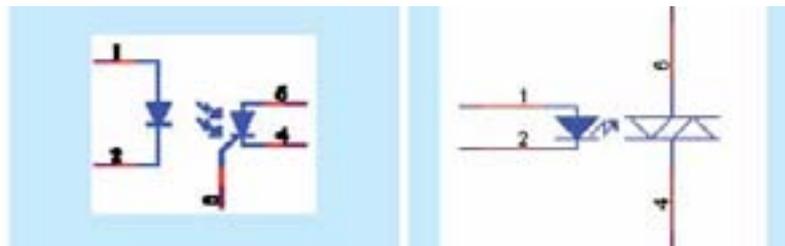
En general pueden sustituir a los relés ya que tienen una velocidad de conmutación mayor, así como ausencia de rebotes.



Símbolo del optotransistor

Símbolo de un optotransistor en configuración Darlington

Símbolo de un optotransistor encapsulado ranurado



Símbolo del Optotiristor

Símbolo Optotriac

Encapsulados de los optoacopladores

El encapsulado varía en función del tipo de optoacoplador y de su aplicación, así como del número de unidades que se encuentren en su interior.

En el caso de optoacopladores sencillos la cápsula, de tipo DIL, suele tener 6 patillas, siendo estos los más utilizados (obsérvese en la figura su construcción interna).

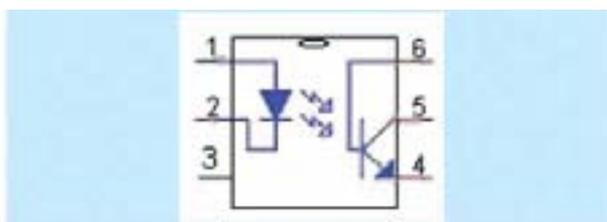
Los dobles, también de tipo DIL tienen 8 pines; algunos pueden tener hasta cuatro unidades en cápsulas DIL de 16 patillas.

Normalmente, los pines del elemento emisor están a un lado de la cápsula y los del sensor en el lado opuesto.

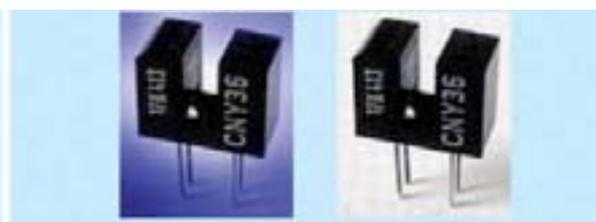
Existen unos encapsulados diferentes en los que, físicamente se puede interrumpir el haz luminoso (usados para control de posición, nº de revoluciones, cerraduras...).

De esta forma el encapsulado presenta una ranura entre el emisor y el receptor.

Se les denomina de cápsula ranurada o fotocélulas de herradura.



Optotransistor insertado en cápsula tipo DIL



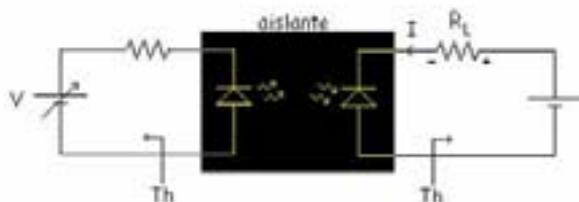
Dos tipos de optoacopladores de cápsulas ranuradas



Aspecto de un encapsulado DIL de 6 patillas (pdf)

Encapsulados DIP-8 y DIP-14

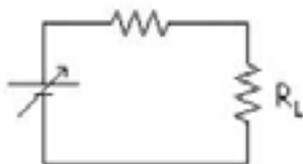
Veamos su comportamiento con un ejemplo



Si variamos la tensión de la pila varía ILED, varía la iluminación que recibe el fotodiodo, y varía su corriente I.

Esta variación de V afecta a la I y esta a la tensión en RL.

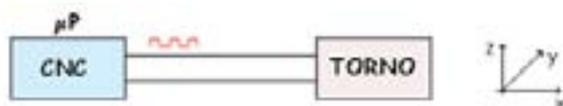
En realidad ese circuito es como:



Pero el fotodiodo sirve para aislar, porque pueden originarse problemas al conectar directamente la carga.

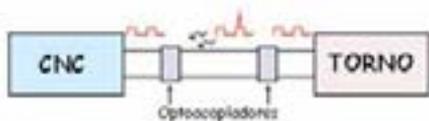
Ejemplo:

Imaginemos que debemos pasar la información procesada (de un ordenador) al control numérico de un torno.



Mandamos información en 5 V y 0 V y al estar en un ambiente polucionado eléctricamente, picos, espúreos, esos datos pueden distorsionarse (llegan del torno picos que alteran esa información).

Hay que aislar el circuito de control (CNC) de la máquina que vamos a controlar.



El optocoplador elimina esos picos, amortigua los parásitos, y la señal no llega distorsionada.

TERMoeLECTRICIDAD

La interacción entre un fenómeno eléctrico y térmico se conoce desde el siglo XIX, cuando Joule observó que la materia ofrece cierta resistencia al movimiento de los electrones.

Éstos ceden energía cinética al entorno en los sucesivos choques.

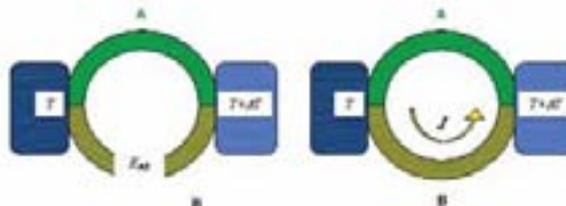
Ésta energía proporcionada por los electrones se disipa en forma de calor.

Sin embargo, no es éste el único fenómeno de interacción termoelectrónica.

Otros efectos son los denominados Seebeck, Thomson y Peltier.

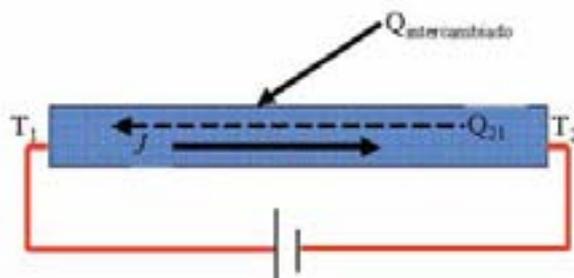
El efecto Seebeck

Thomas J. Seebeck descubrió que en un circuito formado por dos metales distintos homogéneos, A y B, con dos uniones a diferente temperatura, T y T + DT, aparece una corriente eléctrica J, o bien, si se abre el circuito una fuerza termoelectromotriz que depende de los metales utilizados en la unión y de la diferencia de temperatura entre las dos uniones. Ver figura.



El efecto Thomson

Descubierto en 1857 por Thompson W., consiste en la absorción o liberación de calor por parte de un conductor eléctrico, con un gradiente de temperaturas, por el cual circula una corriente eléctrica.



Ya en 1885 el físico inglés Rayleigh J.W. planteó la posibilidad del uso de dispositivos termoelectricos como generadores de corriente eléctrica.

Sin embargo, pese a que los fenómenos termoelectricos son bien conocidos desde hace ya más de cien años, su desarrollo, tanto como generadores de corriente o como refrigerantes, estuvo totalmente frenado debido al escaso rendimiento que se obtenía.

Como consecuencia, la mayor parte de las aplicaciones termoelectricas, que han ido desarrollándose desde hace más de 30 años han sido para el campo militar, donde es más importante la robustez y precisión que la eficiencia o el coste.

En el mercado civil actual, la refrigeración termoelectrica tiene un lugar en aplicaciones de medicina, aparatos científicos y en dispositivos en los cuales la potencia de refrigeración es muy pequeña y de aplicación puntual.

El efecto Peltier

El efecto Peltier fue descubierto en el año 1834 por el físico francés Peltier J. C. A. Surgió sobre la base del descubrimiento del físico alemán Seebeck T.J. en 1821, quien observó que en un circuito formado por dos conductores distintos, cuyas uniones soldadas se encuentran en medios con temperaturas distintas, aparece entre ambos una diferencia de potencial.

Esta diferencia de potencial es función de la naturaleza de los conductores y de la diferencia de temperaturas.

Este dispositivo se conoce como termo-par.

La esencia del efecto Peltier, que básicamente es el contrario del efecto Seebeck, consiste en hacer pasar una corriente procedente de una fuente de energía eléctrica continua, a través de un circuito formado por dos conductores de distinta naturaleza, obteniéndose que una de sus uniones absorbe calor y la otra lo cede.

El calor que cede el foco caliente será la suma de la energía eléctrica aportada al ter-

moelemento y el calor que absorbe del foco frío.

Estos termoelementos, configurados de este modo, constituyen una máquina frigorífica.

¿Qué ha ocurrido con los pronósticos tan optimistas, que tras el gran avance que supuso la incorporación de los materiales semiconductores a la termoelectricidad, tenían los investigadores de la década de 1960 sobre la refrigeración termoelectrica?

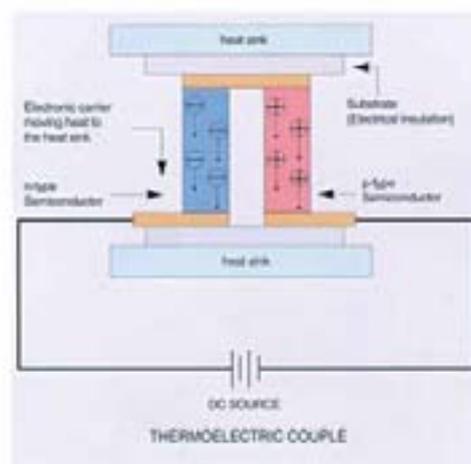
¿Por qué no se ha logrado la eficiencia frigorífica que se esperaba?

Efectivamente, no se han obtenido los rendimientos que se preveían y el mercado civil de refrigeración sigue dominado por la máquina de compresión.

Se pueden apuntar varias razones que expliquen el bajo nivel de aplicación en la actualidad.

En primer lugar hay que señalar que tras el gran impulso que supuso la incorporación de los materiales semiconductores, la evolución de éstos ha sido más lenta de lo esperado. En segundo lugar, debido a que la pastilla Peltier suministra una elevada potencia calorífica en una pequeña superficie, resulta difícil disipar el calor de manera eficiente, provocando una importante disminución en el rendimiento de la pastilla.

Ya Stockholm J. G., 1997, señaló que las prestaciones de la refrigeración termoelectrica dependen en primer lugar del desarrollo de materiales y en segundo lugar del diseño térmico.



Vamos a centrarnos en el efecto PELTIER.

Todos los que tenemos interés por la electrónica, hemos oído hablar o nos ha tocado leer algo referido a las células de PELTIER, y no nos significa una gran ayuda el que se repitan los escasos datos que figuran en los folletos.

Para hacer algo útil, hay que moverse en otra dirección: experimentar con ellas (las células) es decir, hay que buscarlas, adquirir varios ejemplares y comprobar, a nivel práctico, si cuanto se dice y escribe es cierto.

Sólo así se pueden descubrir las ventajas y defectos, que no se suelen citar.

Las células de efecto PELTIER no son un descubrimiento reciente, ya que fue en 1834 cuando el físico francés Jean Charles Peltier descubrió este efecto termoeléctrico, en el curso de sus investigaciones sobre la electricidad.

Comprobó que, haciendo pasar una tensión continua a través de las superficies de contacto de dos sustancias conductoras distintas, por un lado se absorbía calor (lado frío), y por el lado contrario se generaba calor (lado caliente).

Este descubrimiento no se aprovechó mucho en el pasado, pero cuando empezaron a aparecer en el mercado los nuevos materiales semiconductores, utilizados en la actualidad para fabricar los transistores, muchos fabricantes empezaron a realizar innumerables tipos de células –de baja, media y alta potencia- debido a las enormes ventajas que ofrecían.



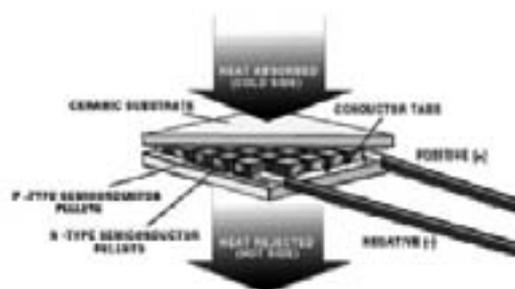
De hecho, además de ser totalmente silenciosas tienen un tamaño y peso muy reducidos, soportan sin problemas golpes y vibraciones, se pueden utilizar en cualquier

posición, vertical, horizontal, inclinadas, y además, gracias a ellas, se puede regular la potencia frigorífica variando simplemente la corriente de alimentación.



Lo que las hace aún más interesantes es el hecho de que, al invertir la polaridad de alimentación, se invierte también su funcionamiento; es decir: la superficie que antes generaba frío empieza a generar calor, y la que generaba calor empieza a generar frío.

Las aplicaciones prácticas de estas células son infinitas.

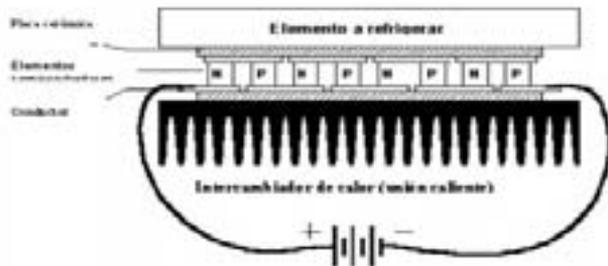


La lista podría ser interminable, ya que son muchas las aplicaciones en que es necesario utilizar el frío y al mismo tiempo, el calor.

Si observamos las figuras presentadas, podemos ver que una célula se compone, prácticamente, de dos materiales semiconductores, uno tipo N y otro tipo P, unidos entre si por una lámina de cobre.

Si en el lado del material N se aplica la polaridad positiva de alimentación en el lado del material P la polaridad negativa, la placa de cobre de la parte superior enfría, mientras que la inferior calienta.

Si en esta misma célula, se invierte la polaridad de alimentación, es decir, se aplica en el lado del material N la polaridad negativa y en el lado del material P la positiva, se invierte la función de calor / frío: la parte superior calienta y la inferior enfría.



Comparémosla con frigorífico.

Un dispositivo de refrigeración convencional lleva tres elementos fundamentales: un evaporador, un compresor y un condensador.

El evaporador representa la sección fría dentro de la cual el refrigerante, bajo presión, puede evaporarse.

El paso del refrigerante de estado líquido a gaseoso necesita tomar calor de su entorno.

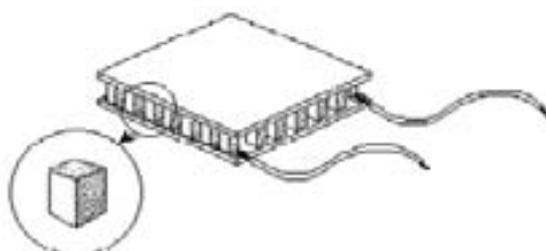
El compresor funciona como una bomba para el refrigerante, que, comprimiéndolo, hace que pase de estado gaseoso a líquido, restituyendo su energía calorífica.

El condensador radia las calorías cedidas por el refrigerante y el compresor, al exterior.

El módulo Peltier por lo tanto presenta ciertas analogías con un dispositivo como este.

Es, por lo tanto, una bomba de calor estática que no requiere ni gas ni partes móviles.

Físicamente los elementos de un módulo Peltier son bloques de **1 mm³** conectados eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo (ver figura).



Si tenemos en cuenta sus reducidas dimensiones, unos milímetros escasos, una sola célula puede alcanzar, como máximo una potencia frigorífica de 0,5 vatios.

Es decir, que para conseguir potencias frigoríficas de 15 a 20 vatios, hay que realizar baterías formadas, como mínimo por 30 o 40 células.

De hecho, al aumentar el número de células, aumenta la superficie radiante y, por lo tanto, la potencia refrigerante.

En resumen, que tanto la dimensión como la potencia calorífica obtenida dependen del número de elementos utilizados por módulo.

Existen células Peltier con dimensiones y potencias diversas.

También existen células aisladas y no aisladas, en función de que encima y debajo de las dos superficies exista, o no, una capa fina de material cerámico, necesario para aislar las láminas de cobre de las distintas células,

Por consiguiente estas dos superficies se pueden apoyar sobre cualquier plano metálico sin necesidad de aislantes, o no.

Si una célula Peltier está sin aislar será necesaria la utilización de una mica del tipo Sil-Pad, para poder transferir la energía.

Este tipo de micas son caras y difíciles de conseguir.

Por otro lado, las células ya aisladas tienen un material cerámico con una resistencia térmica muy baja, por lo que la pérdida de transferencia es insignificante.

El frío o calor que puede generar un módulo Peltier viene especificado por el salto térmico (diferencia térmica, incremento, etc.) que indican sus fabricantes.

En teoría, un salto térmico de 70 grados significa que si el lado caliente de la célula se ha estabilizado a una temperatura de 45 grados, en el lado frío existe una temperatura de $45-70 = -25$ grados.

Por el contrario, si el lado caliente sólo alcanza 35 grados, en el lado frío existirá una temperatura de $35-70 = -35$ grados.

A nivel práctico, debido a las inevitables pérdidas de transferencia de calor entre célula y aleta de refrigeración es difícil alcanzar este salto térmico.

Tampoco tiene un rendimiento lineal y son elementos muy pesados, es decir que el rendimiento obtenido del funcionamiento es muy bajo.

Nuestro objetivo, al trabajar con estos aparatos, es obtener una diferencia de temperatura máxima entre las superficies de los módulos.



Si suponemos que la diferencia indicada por el constructor es de unos 67°C , entre las dos caras, esta condición no se podrá obtener mientras la potencia calórica a extraer por la cara fría (recordemos que una cosa se enfría cuando pierde calor y el lado frío toma calor del exterior) no sea nula, es decir, cero: debemos considerar que el módulo se encuentra en un espacio ausente de radiación infrarroja y aislado (ausencia de cambio de calor con el exterior).

Resulta evidente que, en estas condiciones, está fuera de lugar colocar un componente electrónico sobre la cara fría.

Seamos realistas, conviene contar siempre con una diferencia de temperatura de unos $30\text{-}40^{\circ}\text{C}$ en una utilización normal.

Es decir, que si el lado caliente del módulo se estabiliza a una temperatura de 45°C , en el lado contrario la temperatura puede ser de $45\text{-}40 = +5^{\circ}\text{C}$.

Por el contrario, si el lado caliente no supera los 35°C , en el frío tendremos $35\text{-}40 = -5^{\circ}\text{C}$.

Por consiguiente, si pretendemos conseguir en el lado frío del módulo una temperatura de -15°C , tendríamos que lograr

que en lado contrario, es decir, el caliente, no se alcance nunca una temperatura superior a $40\text{-}15 = 25^{\circ}\text{C}$, lo que se consigue aplicando en el lado caliente una aleta de refrigeración de tamaño adecuado y disipando rápidamente el calor por medio de un ventilador, o por evaporación, o por evaporación-condensación en vacío, o por cualquier otro medio que creamos necesario y conveniente.

Y ahora pongamos otra nota de color: cuanto más se enfría la parte caliente más se enfría la parte fría. Y, todo hay que decirlo, mayor es su necesidad energética.

Es decir, más amperios consume, por lo que hay que limitarlo.

A todo esto hay que añadir que el elemento conductor del frío también influye, ya que no conduce igual el aluminio que el cobre o el latón.

El material ideal es el cobre cuya conductividad térmica es de $4,1\text{W}/\text{cm}/^{\circ}\text{C}$.

El Aluminio se sitúa en segundo lugar con una conductividad de $2\text{W}/\text{cm}/^{\circ}\text{C}$ y por último el latón que tiene $1,1\text{W}/\text{cm}/^{\circ}\text{C}$.

(NOTA: si se quiere tener un mejor rendimiento, aunque sea más caro, hay que utilizar cobre).

Los módulos Peltier también funcionan mejor o peor en función de la alimentación que requieran, ya que no todos funcionan con los mismos voltios ni amperios.

Por consiguiente, cada tipo de módulo se alimenta con la tensión indicada por el fabricante, para evitar que se inutilice en un plazo breve.

No se puede presentar un proyecto alimentado con la tensión de 12 a 13 voltios de una batería, sin puntualizar el tipo de módulo que hay que utilizar, ya que si uno compra uno que requiera de 3,6 u 8 voltios, la quemaría de inmediato al aplicar los 12 voltios.

Igual que hablamos de voltios hay que mencionar los amperios.

Digamos que los mejores resultados se obtienen cuando el elemento Peltier funciona entre un 40% y un 80% de la corriente máxima indicada por el fabricante.



Tanto los voltios, como los amperios, influyen en la duración y el buen funcionamiento del elemento Peltier antes de que llegue a transformarse en una masa amorfa (literalmente, se funde).

Ya se ha mencionado que se puede incrementar la potencia frigorífica aumentando el número de células.

Si se utilizan dos módulos de 52 vatios, se puede alcanzar una potencia frigorífica de 102 vatios; si se utilizan 5 se consiguen 260 vatios.

No obstante, si tenemos en cuenta su coste, esta solución ya es válida en el caso de aplicaciones industriales muy concretas.

Los módulos en serie (o en cascada) sólo se pueden utilizar si tienen características idénticas, es decir, la misma tensión de alimentación, la misma corriente de absorción y la misma potencia frigorífica. En una palabra, que sean iguales.

Esto último no es del todo cierto, ya que depende de la utilización y la disposición de las mismas (juntas o separadas por un elemento conductor del frío).

Es fácil suponer que si se enlazan en serie dos células que requieren una tensión de 12 voltios cada una, deberán ser alimentadas con una tensión de 24 voltios.

Si se conectan 3 se tiene que triplicar la tensión, es decir, usar 36 voltios.

Sea como fuere, no se aconseja enlazarlas en paralelo, ya que se precisarían alimentadores capaces de generar corrientes exageradas.

Un caso práctico: enfriador con célula Peltier.

Uno de los problemas comunes cuando se acerca el verano es el exceso de temperatura en un acuario.

El agua demasiado caliente puede afectar seriamente la salud de los peces y bajar enormemente el contenido de oxígeno en el agua.

A las plantas les sientan aún peor las altas temperaturas.

Para solucionar este problema proponemos un enfriador basado en una célula Peltier.

Introducción

El centro del invento es una célula Peltier.

La célula Peltier es una plaquita cuadrada de unos 4 por 4 centímetros y un grosor de 4 milímetros.

Al suministrarle electricidad, que ha de ser de 12 V y en corriente continua, la temperatura de sus dos caras adquiere una diferencia térmica de unos 40 °C: una se calienta y la otra se enfría.

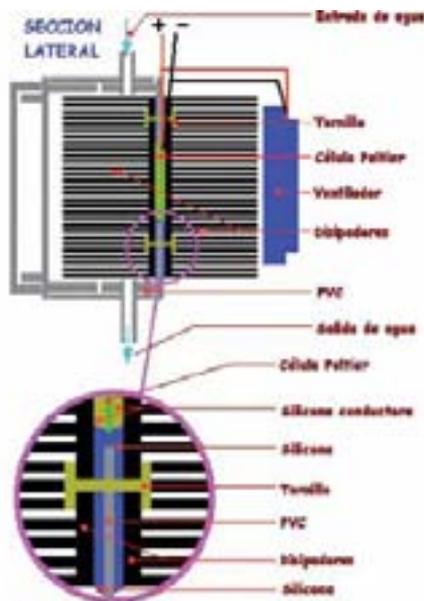
Si conseguimos que la cara caliente no se caliente demasiado, la cara fría estará más fría aún.

Por tanto se trata de enfriar lo más rápidamente posible la cara caliente, y de dotar a la cara fría también de algo que nos permita absorber el máximo calor del agua de nuestro acuario.

El material

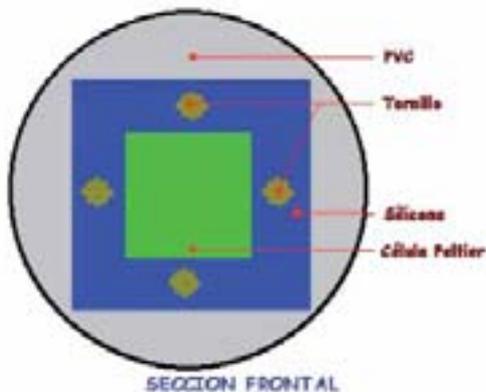
- Una célula Peltier. Unos 36 € en una tienda de electrónica.
- Un radiador 9x9x4 cm aprox. 4,80 € en la misma tienda de electrónica.
- Un radiador 12x12x6 cm aprox. 4,80 €.
- Silicona conductora. Se encuentra en las tiendas de electrónica. No es imprescindible.
- Un ventilador 8cm de diámetro a 12 V. Unos 9 €.
- Una fuente de alimentación de 12 V y 6 A. Usar una fuente de ordenador.
- Un tubo rígido de PVC de 21 mm de diámetro y de 25 cm de largo.
- Un tubo rígido de PVC de 125 mm de diámetro y 10 cm de longitud.
- Un tapón ciego de PVC de 125 mm de diámetro.
- Un tapón de rosca, o tapón de registro, de PVC de 125 mm de diámetro.

- Pegamento de PVC.
- Todo esto se puede adquirir en cualquier tienda de saneamientos.



Construcción del enfriador

Paso 1: mediante un cúter caliente recortamos un cuadrado en el centro del tapón ciego, de manera que quepa la célula Peltier de forma lo más ajustada posible.



Paso 2: posicionamos los dos radiadores según el esquema.

Con un taladro hacemos cuatro orificios cerca del hueco que va a ocupar la célula Peltier, pero sin pasar por ella.

Paso 3: montamos en el tapón ciego la célula Peltier.

Para averiguar la cara caliente, la conectamos brevemente a la fuente de alimentación (No invertir la polaridad).

La cara fría ha de quedar hacia dentro.

Rellenamos el borde entre la célula y el orificio del tapón con silicona.

Dejamos secar la silicona.

Paso 4: recubrimos la célula Peltier con una fina capa de silicona conductora por ambas caras.

El contacto entre la silicona con la célula y los disipadores ha de ser perfecto, sin burbujas de aire.

Paso 5: en la parte exterior de los disipadores aplicaremos un cordón de silicona.

Los colocamos y apretamos fuertemente los tornillos.

Paso 6: atornillamos el ventilador y hacemos las conexiones.

Paso 7: pegamos con pegamento de PVC el resto de las piezas plásticas.

Finalmente dejamos secar al menos 73 horas y ya tenemos listo nuestro enfriador.

Instalación

Es sencilla.

Simplemente debemos intercalar este dispositivo entre el filtro y el acuario, teniendo en cuenta que el radiador exterior y su ventilador desprenden mucho calor.

El tapón ciego de registro nos permitirá abrirlo para limpiar el refrigerador, aunque no debería ensuciarse mucho si lo ponemos después del filtro.

El rendimiento es aceptable, aunque la bajada de temperatura es muy lenta, cosa ideal para nuestros peces.

Puede mantener la temperatura de 120 litros a unos 6°C por debajo de la temperatura ambiente en un acuario debidamente aislado.

El consumo es de aproximadamente unos 60 W.



Deseamos experimentar y tratamos de conseguir un elemento Peltier, y para ello nos acercamos a una tienda de electrónica y nos piden 33 euros.

Ya tenemos una referencia.

A continuación consultamos en Internet y nos encontramos los precios que figuran a continuación:



Referencia-descripción-Euros sin IVA

Célula Peltier 33W (9,2V 6A) 30 x 30 x 3,9 mm
38,72 euros

Célula Peltier de 59W (16,4V 6A) 40 x 40 x 3,9 mm
52,10 euros

Sin embargo nuestra curiosidad es poderosa y encontramos, en un centro comercial, unas neveras portátiles para conectar en el mechero del coche y nos piden 36 euros, incluyendo un alimentador externo 230 V AC/12 V DC.



¡Qué maravilla!

Leemos las instrucciones y descubrimos que el salto térmico sólo es de 20 °C, es decir, que si tenemos 32 °C, sólo podemos enfriar hasta +12 °C.

¡Bueno! ¡Que le vamos a hacer!

La compramos y manipulándola empezamos a entender del tema.

¡Es más!, leemos varios artículos sobre este efecto tan curioso e incluso **descubrimos un texto muy esclarecedor, que vamos a transcribir...**

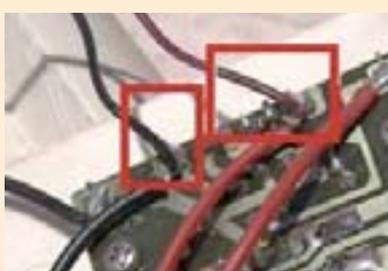


Truco para mejorar el rendimiento de las neveras de coche.

“Las neveras portátiles con sistema de enfriamiento, al igual que las de las caravanas y autocaravanas cuando funcionan a 12V, solo sirven para conservar lo que ya introducimos frío, (con mucho tiempo, enfriaríamos una cerveza).



Estas neveras funcionan por células Peltier, que lo que hacen es absorber el calor (o sea, enfriar) por un lado produciendo calor por el otro, siendo reversible el funcionamiento simplemente cambiando la polaridad de los 12 V, la célula va cogida a una superficie de aluminio que hace a su vez de fondo y parte de laterales de la nevera, y por el otro lado lleva un radiador de aluminio que se refrigera con aire de un ventilador para mejorar el rendimiento de la célula.



Hace algunos años me compre una de estas, decepcionándome con lo que yo esperaba en aquellos momentos, vista la utilidad, noté que algunas veces no conservaba como debía y puse una sonda de termómetro dentro para observar las oscilaciones en diversas ocasiones y puntos distintos, encontrando que algunos puntos si que estaban fríos, pero otros no, por lo que me decidí a ponerle un ventilador en el interior que impulsara aire justo contra la superficie donde se encuentra el aluminio en contacto con la célula, ya que esta es la zona mas fría, por razones obvias, saliendo el aire que hemos impulsado por la separación que dejé entre el ventilador y el aluminio.

Para ello y debido al poco volumen de que disponen este tipo de nevera utilicé un ventilador como los que se usan (o mas bien usaban) los micros Pentium ya que cumplen las dos premisas fundamentales, tamaño pequeño y funcionamiento a 12 V. Este ventilador lo fijé sustituyendo uno de los tornillos que sujetan la célula Peltier por otro mas largo que me permitiera coger el ventilador más un pequeño separador, en el mismo punto, y en otro lateral del ventilador puse un tornillo más otro separador, pero sin cogerlo al aluminio, de esta forma el aire ya enfriado sale por todos los espacios que dejan estos separadores.

El cable de alimentación lo he sacado por la parte de plástico de ese mismo lateral, por ser mas fácil y porque además donde tenia que soldar los terminales de alimentación estaban mas altos en el otro lado.

La conexión la realicé en el mismo punto donde va conectado el ventilador grande que enfría el radiador de aluminio de la célula Peltier, pues aquí no se invierte la polaridad, como ocurre donde conecta la célula Peltier.

Una vez montado todo, observé mejoras del orden de unos 7 grados menos en el interior, teniendo las mismas condiciones en el exterior, ya que las células Peltier, según modelos, lo que hacen es conseguir del orden de 20 grados menos que la temperatura exterior, repito, según modelos.

Y ya puestos, busqué un sitio donde ubicar un termómetro, de los que venden para coches que marcan la temperatura interna y externa, de manera fija, encontrando un lugar justo detrás del plástico negro que canaliza el aire del ventilador hacia el radiador.

Para pasar el sensor dentro, desmonté el termómetro, desoldé el cable y lo pasé desde el interior hacia el exterior, volviendo a soldarlo, es importante no cortarlo ni reducir la longitud del cable, pues estos termómetros vienen calibrados con esa longitud, aunque no son muy precisos por lo menos no se empeoran sus características.



Otro truco, por llamarlo de alguna forma, es que para conectar estas neveras a 230 V podemos utilizar una fuente de un ordenador tipo 386,486, Pentium, pues este tipo de fuente suministra hasta 8 A en su salida de 12 V siendo el consumo de la mía de 5 A, y llevan interruptor, cosa que no ocurre con las fuentes de los equipos modernos (ATX), además esta fuente se puede encontrar por unos 24 euros, dependiendo del sitio etc.”



Otras aplicaciones interesantes: enfriar los componentes que sufren calentamiento en un ordenador

Se comercializan conjuntos Peltier-disipador-ventilador ya preparados para paliar el excesivo calor que se produce dentro del ordenador.

¿Qué hay de especial en los elementos Peltier para esta aplicación?

Los buenos refrigeradores Peltier refrigeran significativamente mejor que los disipadores convencionales, siendo muy adecuados para el procesador y las tarjetas gráficas.

Es importante subrayar que el disipador de un refrigerador Peltier estará mas caliente que un disipador de un refrigerador convencional, debido al calor añadido que produce el propio elemento Peltier.

Son muy interesantes pero también tienen...

Peligros

Si bien un refrigerador Peltier puede ser una perfecta solución térmica, si su diseño es insuficiente o los ventiladores están instalados inadecuadamente puede ser inseguro.

He aquí relacionados algunos de los peligros:

Sobrecalentamiento: Los refrigeradores Peltier vienen con un disipador y un ventilador. Si el ventilador falla, es mas peligroso que el comportamiento con un disipador convencional.

Debido a que el calor del elemento Peltier, puede freír la CPU.

También debe asegurarse de la ventilación adecuada del sistema.

Un refrigerador Peltier añadirá calor al sistema y por eso otras unidades sensibles al mismo, como los discos duros, deben ser refrigeradas adecuadamente.

Asegúrese que no haya cables de impidan la libre circulación del aire o cubran el ventilador.

Como con otros refrigeradores, deberá utilizarse los accesorios correspondientes.

Problemas eléctricos:

El elemento Peltier consume una potencia eléctrica importante, posiblemente más de lo que pueda suministrar su fuente de alimentación.

Esto es especialmente un problema al arrancar un sistema:

Mientras los discos duros alcanzan velocidad, estos utilizan más potencia, y si el Peltier se inicia consumiendo esta potencia al principio, se producirá una sobrecarga en la fuente de alimentación que a la larga acortará su vida

Los buenos conjuntos refrigeradores Peltier resuelven este problema arrancando los elementos después de cierto tiempo, cuando la CPU está caliente.

Otro problema puede ser el cableado eléctrico del elemento Peltier, si tiene poca sección (como algunos Peltiers baratos).

Este puede no ser motivo suficiente para sobrecalentar el elemento Peltier.

Conviene que el refrigerador Peltier tenga una línea alimentación específica y única desde la fuente de alimentación.

El Peltier no debe compartir la alimentación con un disco duro, floppy, etc.

La condensación de agua es especialmente un problema cuando utiliza su ordenador en un ambiente húmedo.

Cuando la CPU funciona en frío (unos segundos o minutos después de la puesta en marcha), puede enfriarse por debajo de la temperatura de la habitación, y esto produce condensación en el CPU, en el zócalo, y debajo del zócalo.

Las buenas unidades resuelven este problema haciendo funcionar el elemento Peltier sólo después de que el CPU alcance una cierta temperatura.

La condensación es un problema a considerar, pero no debemos sobrestimar su importancia, sino prevenirla.

Un cortocircuito debido a la condensación es muy improbable, especialmente a partir de agua condensada (destilada), pues conduce muy mal la electricidad (casi no contiene iones).

El elemento Peltier debe tener el tamaño adecuado.

Si el elemento Peltier sólo cubre una parte del CPU (algunas veces puede haber un problema con la CPU si esta tiene una pequeña placa metálica en medio, por ejemplo el Pentium-200 MMX), entonces

puede ocurrir la condensación.

Si el elemento Peltier es demasiado pequeño (como el caso del K6, que tiene una gran placa metálica), la refrigeración puede ser inadecuada.

¿Cuándo ocurre la condensación exactamente?

El que en un elemento Peltier ocurra o no la condensación, depende de tres factores:

La temperatura ambiente, la humedad del aire, y la temperatura del objeto refrigerado (P.E. CPU o lado frío del elemento Peltier).

El aire caliente y húmedo dentro de la caja del ordenador, es la causa más probable para producir condensación.

Unos ejemplos de condensación

Temperatura ambiente de 20° C, humedad del aire, 65%.

Resultado: Habrá condensación en una superficie que alcance una temperatura de 13,2° C (CPU, refrigerador Peltier).

Si la temperatura ambiente es de 25° y la humedad del aire es de 90% se producirá la condensación a una temperatura de 23,2° C.

Y si la temperatura ambiente es de 30° y la humedad del aire del 90% la condensación se producirá a los 28,2° C.

No nos asustemos porque si se utiliza adecuadamente, un buen refrigerador Peltier puede ser una excelente solución.

Si se utiliza inadecuadamente, o es de baja calidad, si puede causar problemas o hacer peligrar la integridad de su sistema.

¿Cuánto puede durar un elemento Peltier?

Un elemento Peltier por sí mismo dura mucho tiempo.

De hecho hay quien utiliza Peltier sin problemas desde hace muchos años.

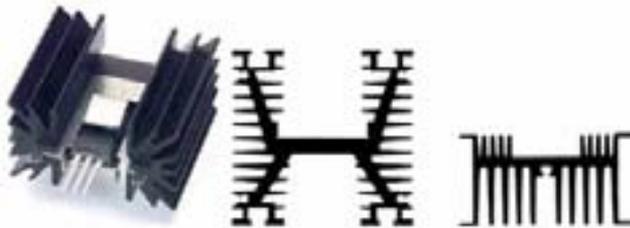
Es poco probable que el elemento Peltier deje de funcionar.

Sin embargo, como en otros disipadores, el ventilador es el que puede dejar de funcionar y provocar un desastre.



Conviene asegurarse al comprar el refrigerador Peltier para este fin (si se compra uno) que éste incluya una alarma de temperatura.

DISIPADORES DE CALOR



Radiadores de extrusión

Introducción



Vamos a hablar del calor generado por los semiconductores en su trabajo y cómo evacuarlo.

La potencia manejada por los dispositivos semiconductores, Transistores, Triac, Reguladores de tensión, etc., es, en muchos casos, una magnitud considerable.

Además, el problema se agrava teniendo en cuenta que el tamaño de tales dispositivos es muy pequeño, lo que dificulta la evacuación del calor producido.

Un cuerpo que conduce una corriente eléctrica pierde parte de energía en forma de calor por efecto Joule.

En el caso de los semiconductores, se manifiesta principalmente en la unión PN, y si la temperatura aumenta lo suficiente, se produce la fusión térmica de la unión, inutilizando el dispositivo.

Los dispositivos de potencia reducida, disipan el calor a través de su encapsulado hacia el ambiente, manteniendo un flujo térmico suficiente para evacuar todo el calor y evitar su destrucción.

En los dispositivos de más potencia, la superficie del encapsulado no es suficiente para poder evacuar adecuadamente el calor disipado.

Se recurre para ello a los radiadores, que proporcionan una superficie adicional para el flujo térmico.

En Electrónica de Potencia **la refrigeración** juega un papel muy importante en la optimización del funcionamiento y vida útil del semiconductor de potencia.

Propagación del calor

El calor se transmite mediante tres formas conocidas: radiación, convección y conducción.

Por radiación recibimos los rayos del Sol.

La radiación no necesita un medio material para propagarse, puede hacerlo a través del vacío.

Todo cuerpo con una temperatura superior a los cero grados absolutos (kelvin) produce una emisión térmica por radiación, pero en el caso que nos ocupa es de una magnitud despreciable, y por tanto no se tiene en cuenta la emisión por radiación.

La convección es un fenómeno que atañe a fluidos, tales como el aire o el agua. Favorece la propagación del calor en estos cuerpos, que son de por sí muy buenos aislantes térmicos.

Un cuerpo caliente sumergido en aire, hace que las capas próximas al mismo se calienten, lo que a su vez ocasiona una disminución de su densidad, y por esto se desplazará esta masa de aire caliente hacia estratos más elevados dentro del recinto.

Inmediatamente, el "hueco" que ha dejado este aire es ocupado por aire más frío, y así se repite el ciclo, generando corrientes de convección que facilitan el flujo térmico.

Este mismo fenómeno se da en el agua, o cualquier líquido o gas.

La transmisión por conducción se manifiesta más obviamente en cuerpos sólidos.

Curiosamente los cuerpos que son buenos conductores eléctricos, también son

buenos conductores térmicos, y se explica a nivel subatómico.

El cobre, la plata, níquel, aluminio, oro, etc., son excelentes conductores.

Si aplicamos una llama a una barra de cobre, enseguida notaremos el calor por el extremo que lo agarramos.

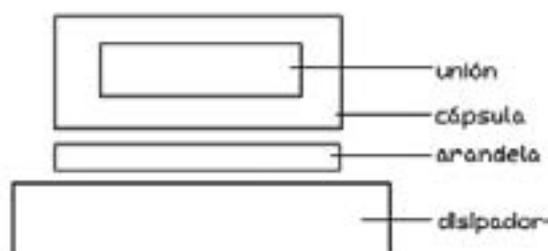
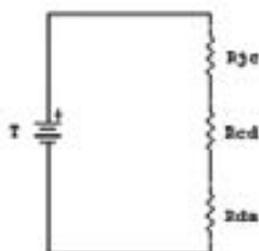
Este calor se ha propagado por conducción.

En la disipación de calor de los semi-conductores, solamente consideramos los dos últimos tipos de propagación: convección y conducción.

Analogía eléctrica. Se puede establecer una correspondencia entre la Ley de Ohm y la propagación térmica mediante la siguiente tabla de equivalencias:

Analogía térmica	Ley de Ohm
intensidad (I)	calor (W)
tensión (V)	temperatura (T)
resistencia (R)	resist. térmica (R)
$V = IR$	$T = WR$

Las unidades son W (vatios), T (°C, grados centígrados) y R (°C/W)



$$T = T_j - T_a = W (R_{jc} + R_{cd} + R_{da})$$

T_j = temp. de la unión

T_a = temp. ambiente

R_{jc} = resist. térmica unión-cápsula

R_{cd} = resist. térmica cápsula-disipador

R_{da} = resist. térmica disipador-ambiente

El tipo de contacto entre cápsula y disipador podrá ser:

- Directo.
- Directo más pasta de silicona.
- Directo más mica aislante.
- Directo más mica aislante más pasta de silicona.

El valor de esta resistencia térmica influye notablemente en el cálculo de la superficie y longitud que debe disponer la aleta que aplicaremos al dispositivo a refrigerar.

Cuanto más baja es R_{cd} menor será la longitud y superficie de la aleta requerida.

Por ejemplo, para una cápsula TO.3 se tiene con contacto directo más pasta de silicona una $R_{cd} = 0,12$ °C/W, con contacto directo $R_{cd} = 0,25$ °C/W, con contacto directo más mica y más pasta de silicona $R_{cd} = 0,4$ °C/W, y con contacto directo más mica $R_{cd} = 0,8$ °C/W.

Por lo tanto podemos decir que cuando no sea necesario aislar el dispositivo, el tipo de contacto que más interesa es el directo más pasta de silicona, ya que da el menor valor de R_{cd} y si hubiese que aislar con mica interesa montar mica más pasta de silicona ya que la R_{cd} es menor que si se monta sólo con mica.

Por ello podemos obtener la siguiente conclusión:

La mica aumenta la Rcd mientras que la pasta de silicona la disminuye y como se ha dicho cuanto más pequeña sea la Rcd menor superficie de aleta refrigeradora.

La asociación de resistencias térmicas es igual que la asociación de resistencias eléctricas.

En serie, sumamos los valores de cada R, de manera que la resistencia térmica equivalente es mayor que cada una de las resistencias por separado.

Lógicamente, cuanto mayor es la resistencia térmica, mayor dificultad para el flujo de calor.

Cálculo del disipador

La mayoría de fabricantes de semiconductores proporcionan los datos suficientes para poder calcular el disipador que requerimos.

Necesitamos como punto de partida, la temperatura máxima que puede alcanzar la unión del transistor.

DISPOSITIVO	RANGO DE Tj _{máx}
de unión de Germanio	Entre 100 y 125 °C
de unión de Silicio	Entre 150 y 200 °C
JFET	Entre 150 y 175 °C
MOSFET	Entre 175 y 200 °C
Tiristores	Entre 100 y 125 °C
Transistores Uniunión	Entre 100 y 125 °C
Diodos de Silicio	Entre 150 y 200 °C
Diodos Zener	Entre 150 y 175 °C

Esta temperatura no se deberá alcanzar en ningún caso, para no destruir el componente. Normalmente el fabricante proporciona el "operating temperature range" por ejemplo, de 65 a 200 °C indica que la temperatura máxima es de 200°C.

Deberemos tomar como coeficientes de seguridad, k, los siguientes:

k = 0,5 para un diseño normal con temperatura moderada.

k = 0,6 para economizar en tamaño de disipador.

k = 0,7 cuando el disipador permanezca en posición vertical y en el exterior (mejora de convección).

Con el coeficiente k, y tomando la temperatura máxima de funcionamiento como Tj, tenemos la expresión:

$$T = kT_j - T_a = W (R_{jc} + R_{cd} + R_{da})$$

Donde W representa la potencia en vatios (calor) que disipará el componente.

Si no disponemos de estos datos, podemos tomar como Tj = 135 °C para transistores de silicio, y Tj = 90°C para transistores de germanio.

El flujo de calor, desde la unión PN hasta el ambiente tiene que atravesar varios medios, cada uno con diferente resistencia térmica.

Resistencia unión-cápsula (Rjc).

Viene dado en manuales y tablas, y depende de la construcción de la cápsula.

El tipo TO-3 disipa gran cantidad de calor.

Resistencia cápsula-disipador (Rcd).

Depende del encapsulado y del aislamiento, si lo hay, entre el componente y el disipador.

El aislante puede ser mica, pasta de silicona y otros medios.

Cada uno presenta diferente resistencia térmica.

Resistencia disipador-ambiente (Rda).

Este es el que tratamos de calcular.



Radiador para TO-220



Radiador para TO-3

Ejemplo

Vamos a utilizar un regulador de tensión LM317T con encapsulado TO-220 y cuyos datos son los siguientes:

Del data book o datasheet sacamos estos datos:

$$T_j = 125 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$R_{jc} = 5 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

De nuestro montaje y las tablas, deducimos:

$$R_{cd} = 1,4 \text{ }^\circ\text{C/W (separador de mica)}$$

$$T_a = 25 \text{ }^\circ\text{C (tomamos este valor)}$$

Cálculo de la potencia que disipa el LM317.

La potencia que disipa el regulador es el producto de la V que existe entre la patilla de entrada y salida y la corriente que entrega el regulador.

Por mediciones obtenemos:

$$V_{in} = 12 \text{ voltios}$$

$$V_{out} = 6,3 \text{ voltios}$$

$$V = V_{in} - V_{out} = 5,7 \text{ voltios}$$

$I = 0,9\text{A}$ es la corriente que entrega el regulador.

$$\text{Pot} = 5,7 \times 0,9 = 5,13 \text{ vatios}$$

Partimos de la expresión:

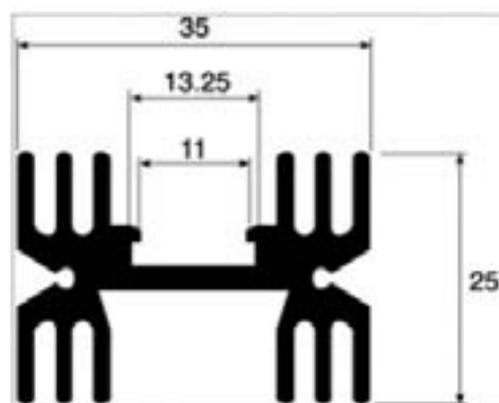
$$T = T_j - T_a = W (R_{jc} + R_{cd} + R_{da})$$

Tenemos que calcular el valor del disipador que necesitamos, R_{da} .

Despejamos y ponemos un $k = 0,7$ porque vamos a poner el disipador en el exterior y vertical.

$$R_{da} = [(k T_j - T_a) / W] - R_{jc} - R_{cd} = [(0,7 \cdot 125 - 25) / 5,13] - 5 - 1,4 = 5,78 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Buscamos en catálogo y encontramos el radiador siguiente:



Tiene una $R = 5 \text{ }^\circ\text{C/W}$, que es suficiente, máxime teniendo en cuenta que ya hemos tomado un coeficiente k de seguridad igual a $0,7$ y nos aseguramos de sobra.

Con este radiador, podemos calcular la temperatura que alcanzará el mismo cuando el LM317 disipa $5,13 \text{ W}$ de una forma muy sencilla:

$$T_d - T_a = R_{da}$$

$$W \text{ ---> } T_d = R_{da}$$

$$W + T_a = 5$$

$$5,13 + 25 = 50,65 \text{ }^\circ\text{C}$$

La elección del coeficiente k es arbitraria por nuestra parte.

Podemos perfectamente elegir $k = 1$ pero nos arriesgamos mucho.

Es preferible en este caso subir la temperatura ambiente de diseño a 30 ó 35 grados, o incluso más, para evitar que se destruya.

Tener en cuenta que si el dispositivo está en una caja, la temperatura fácilmente sube a 40 grados o más.

Cálculo de grandes radiadores

Cuando tengamos que disipar potencias de más de 50 vatios, las dimensiones del radiador se disparan (y los euros también).

Es habitual en transistores de salida, sobre todo en amplificadores de clase A.

A veces, es incluso difícil evaluar cual será la potencia que tenemos que disipar.

Si por ejemplo, se trata de un amplificador clase A, la cosa es fácil, pues sabemos que la máxima potencia se disipa en el reposo y conociendo la corriente y la tensión a la que está sometido el transistor podemos inmediatamente saber la potencia.

Pero en el caso de clase B o clase AB la cosa no es tan sencilla y tendremos que recurrir a predicciones más o menos acertadas, teniendo siempre presente que más vale tirar por lo alto para evitar fallos.

La lógica nos dice que si tenemos un radiador con una resistencia térmica R y lo dividimos en dos partes iguales, entonces obtenemos dos radiadores cuya R es justo el doble.

No es cierto.

Dependerá de la geometría y características propias del fabricante.

No hay más remedio que consultar datasheets, que para grandes radiadores de extrusión incluyen gráficas de R y longitud.

Normalmente, en el caso anterior la R obtenida en cada una de las mitades es menor que el doble.

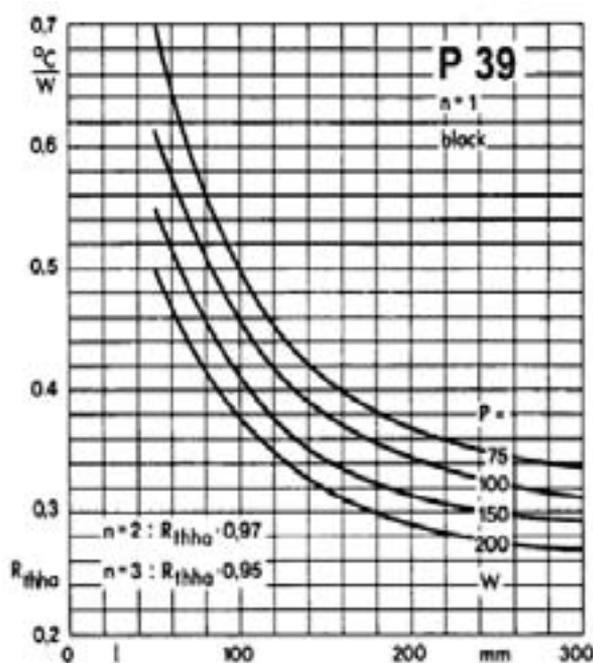
El gráfico adjunto corresponde a un radiador de la casa Semikron (modelo P39):

Observamos el gráfico y vemos que el rendimiento disminuye con la longitud del radiador.

Por ejemplo, para 200 vatios de disipación térmica, la R oscila entre $0,29\text{ °C/W}$ (200mm) y $0,38\text{ °C/W}$ (100mm) y no como era de esperar ($0,58\text{ °C/W}$ para 100mm).

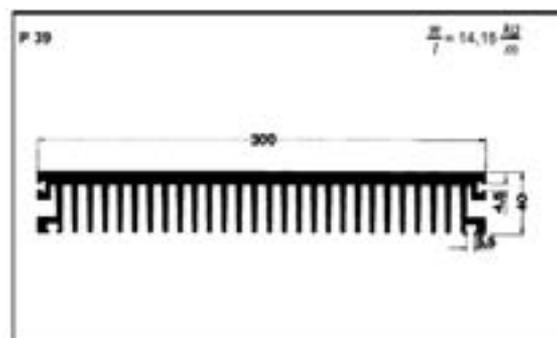
Al revés, el rendimiento aumenta según la potencia que disipe.

Por ejemplo, para una $L = 100\text{mm}$ la R varía desde $0,5$ (75W) hasta $0,38\text{ °C/W}$ (200W).



Si por ejemplo, necesitamos $0,4\text{ °C/W}$ para 200W vale con un radiador de 90mm, pero si sólo disipamos 75W de calor, entonces vamos a necesitar una longitud de 160 mm. (Porque la R se hace mayor)

Tener en cuenta que la anchura (w) es constante y vale 300mm.



Varios transistores en un radiador

Ya vimos como el sentido común nos jugó una mala pasada en nuestro cálculo de la longitud del radiador.

Examinemos otro proceso mental muy habitual en estos casos.

Nos encontramos ante dos transistores que disipan cada uno 30 vatios y decidimos poner ambos en el mismo radiador.

Por tanto, debemos disipar un total de 60 vatios, y con los datos del fabricante, sabemos que:

$$T_j = 200 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$R_{jc} = 1,5 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$R_{cd} = 0,8 \text{ }^\circ\text{C/W (separador de mica y c\u00e1psula TO-3)}$$

Cogemos una Temperatura ambiente de 30 grados (el radiador est\u00e1 al aire libre)

Hacemos nuestros c\u00e1lculos mec\u00e1nicamente, y en seguida obtenemos la resistencia de radiador que necesitaremos:

$$R_{da} = \frac{T_j - T_a}{W} - R_{jc} - R_{cd} = \frac{200 - 30}{60} - 1,5 - 0,8 = 0,53 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

\u00bfGran equivocaci\u00f3n!

Examinemos detenidamente el escenario, dibujando un diagrama de analog\u00eda el\u00e9ctrica:

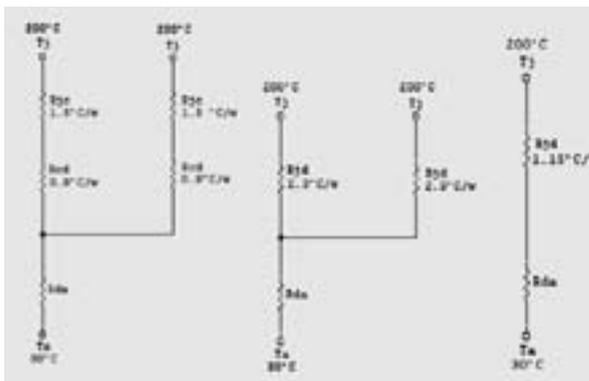


Fig. 1

Fig. 2

Fig. 3

La asociaci\u00f3n de resistencias t\u00e9rmicas se trata igual que las el\u00e9ctricas, asociando series y paralelos llegamos al resultado de la Fig.3.

La resistencia t\u00e9rmica total de los transistores (Rjd) es de 1,15°C/W en lugar de los 2,3°C/W, que alegremente supusimos.

O sea, hemos reducido a la mitad la Rjd por el mero hecho de utilizar dos transistores. Tiene sentido, porque proporcionamos dos caminos al flujo de calor.

Calculemos de nuevo nuestro radiador:

$$R_{da} = \frac{T_j - T_a}{W} - R_{jc} - R_{cd} = \frac{200 - 30}{60} - 1,15 = 1,68 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

La diferencia entre un radiador de 0,53°C/W y otro de 1,68°C/W es notable.

Si en lugar de dos transistores, pusi\u00e9ramos cuatro, la nueva Rjd valdr\u00eda 0,575°C/W y el nuevo radiador que necesitar\u00edamos tendr\u00eda una R de 2,26°C/W.

En resumen, podemos ahorrar en radiador si distribuimos el flujo de calor entre m\u00e1s transistores.

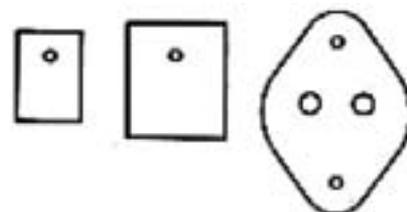
Estos sencillos c\u00e1lculos nos han mostrado que no siempre las cosas son como parecen. Si bien un primer vistazo nos condujo por el camino equivocado, un an\u00e1lisis con mayor detenimiento nos ense\u00f1\u00f3 una realidad bien diferente.

Para saber m\u00e1s sobre c\u00e1lculo de radiadores

No es f\u00e1cil conseguir informaci\u00f3n sobre este campo, la informaci\u00f3n est\u00e1 dispersa y es incompleta.

La mayor parte de lo aqu\u00ed se ha expuesto se ha sacado de fabricantes, datasheets y alg\u00fan libro de electr\u00f3nica.

La mayor\u00eda de la gente se desorienta bastante con unidades del tipo "\u00b0C/W" que no le suenan.



Aisladores para TO-220 y TO-3

TABLAS DE RESISTENCIAS TÉRMICAS DE AISLADORES

RESISTENCIA TERMICA CONTENEDOR -DISIPADOR				
Tipo de contenedor	Contacto directo sin mica	Contacto directo y silicona	Contacto con mica	Contacto con mica silicona
TO.5	1	0,7	--	--
TO.39	1	0,7	2	1,5
TO.126	1,4	1	1,4	1,3
TO.220	0,8	0,5	1,4	1,2
TO.202	0,8	0,5	1,4	1,2
TO.152	0,8	0,5	1,2	0,9
TO.90	0,5	0,3	1	0,7
TO.3P.	0,4	0,2	2,1	1,5
TO.59	1,2	0,7		
TO.117	2	1,7	--	--
SOT.48	1,8	1,5		
DIA.4L	1,1	0,7		
TO.66	1,1	0,65		

TABLAS DE RESISTENCIAS TÉRMICAS DE ENCAPSULADOS

RESISTENCIA TERMICA UNION -CONTENEDOR Y UNION-AMBIENTE		
Tipo contenedor	Rjc (°C/W)	Ria (°C/W) sin aleta
TO.5-TO.39	de 10 a 60	de 175a 220
TO.202	de 12 a 15	de 80a 90
TO. 1 26-SOT.32	de 3 a 15	de 80a 100
TO.220	de 1,5a 4,2	de 60a 70
TO.66 plástico	de 1,5a 4,2	de 60a 70
TO.3 plástico	de 1 a 2	de 35 a 45
TO.66	de 4 a 5	de 75a 85
SOT.9	de 4 a 5	de 75a 85
TO.59	de 1,5a 3	de 70a 90
TO.60	de 1,5a 3	de 70a 90
TO.3	de 0,8a 3	de 30a 40
TO.117	de 15 a 35	de 70a 90
SOT.48	de 1,8a 6	de 40a 70



TO-218

TO-220

TO-247

TO-5

TO-92

CÓMO DISEÑAR CIRCUITOS IMPRESOS Y CÓMO SOLDAR LOS COMPONENTES

Hemos llegado a un punto en que la curiosidad nos envuelve y empezamos a preguntarnos si somos capaces de aplicar lo aprendido haciendo algún pinito...

¿Seremos capaces de desarrollar un circuito?

¿Por qué no?

Sigamos leyendo para conocer cómo proceder...partiendo de cero

Una placa de circuito impreso o **PCB** (del inglés *Printed Circuit Board*), es una plancha de material rígido aislante, cubierta por unas pistas de cobre, por una de sus caras o por ambas, para servir como conexiones entre los distintos componentes que se montarán sobre ella.

La materia prima consiste en esa plancha aislante, normalmente fibra de vidrio, cubierta completamente por una lámina de cobre.

Dependiendo del tipo de placa, el cobre puede ir a su vez protegido por una capa de resina fotosensible.



Capas de una placa de circuito impreso

En la realización de un circuito electrónico se pueden distinguir tres etapas fundamentales:

El diseño, la prueba y el montaje final

El diseño

El objetivo de esta etapa es definir el dibujo que formarán las pistas de cobre sobre la placa.

Generalmente se hace en dos fases.

En primer lugar, partiendo de las especificaciones sobre la funcionalidad del circuito se deciden los componentes a utilizar y las interconexiones necesarias entre ellos.

Después, con toda esa información, se define la máscara:

La colocación de los componentes sobre la placa, y la forma de las conexiones entre ellos.

En montajes muy sencillos no es raro que se prescinda de alguna de las dos etapas.

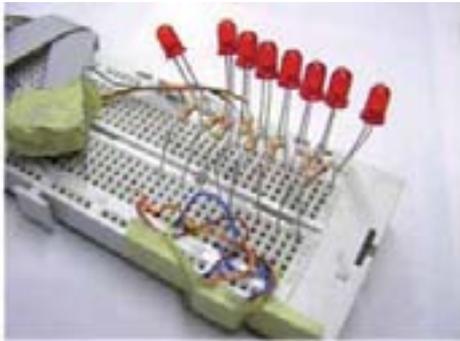
La prueba

Después de diseñado el circuito en papel es imprescindible probarlo para comprobar si funciona como se esperaba.

Al igual que en cualquier otro proceso de fabricación, cuanto antes se detecten los problemas menos costará solucionarlos.

Por ese motivo es muy conveniente realizar las pruebas antes de completar el montaje definitivo, para evitar gastar placa, componentes, y más tiempo del necesario.

En ciertos casos se pueden realizar algunas pruebas incluso antes de diseñar el circuito, por ejemplo para probar por separado cada componente de los que se esperan utilizar.



Placa de prototipos

El montaje final

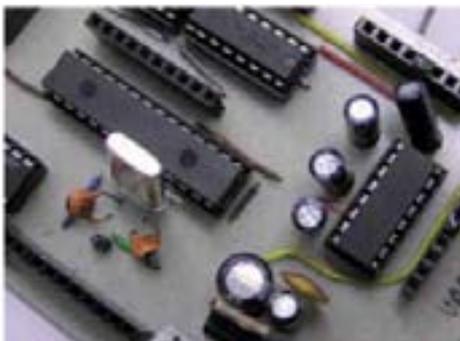
Cuando hayamos comprobado el correcto funcionamiento del prototipo podemos pasar a hacer el montaje definitivo en una placa de circuito impreso, afinando el diseño, y soldando todos los componentes necesarios.

Por supuesto que una vez montado el circuito final será necesario volver a probarlo, aunque si las etapas anteriores se completaron cuidadosamente será raro encontrar errores graves.

Consideraciones generales de diseño

Esta serie de indicaciones son muy generales, pero no se aplican en todos los casos. Puede ser interesante leerlas como información general y luego poner en práctica las que sean aplicables en cada situación.

1. Hay que estudiar la colocación de los componentes teniendo en cuenta la interconexión, interferencias electromagnéticas e interferencias térmicas.



Placa final

2. No poner pistas ni colocar componentes cerca de los bordes de las placas donde pueda existir contacto con los tornillos de fijación, guías o con la caja.
3. Poner puntos de test en la placa donde se puedan conectar instrumental fácilmente. Usar conectores para separar bloques funcionales y así facilitar su comprobación. Estudiar siempre el diseño desde el punto de vista de la refinación y medición.
4. Diseñar de forma estandarizada y modular.
De ese modo se podrá reutilizar partes del diseño PCB en circuitos nuevos.
Recordar que los mayores costes de la ingeniería son los relacionados con la I+D.
5. No olvidar las leyes de Murphy: “todo diseño genera un producto difícil de ensamblar e imposible de reparar”.
6. En los circuitos de alta velocidad tener en cuenta la capacidad eléctrica entre líneas.
7. Cualquier componente debe poder cambiarse sin necesidad de quitar otros.
8. Hacer PADS grandes (puntos de conexión del componente con la pista) para componentes que por su peso (transformador) o uso (botonera) puedan crear tensiones mecánicas en la PCB.
9. En los circuitos de alta frecuencia los componentes deben estar cercanos y las patas de los mismos deben ser lo más cortas posible. Lo ideal es emplear SMD (montaje superficial).
10. Las bobinas y transformadores deben orientarse para disminuir acoplamientos magnéticos (lo mejor es ponerlos en perpendicular unos con otros).
11. Tener en cuenta la influencia que puede tener un componente que disipa mucha energía sobre otro de características dependientes de la temperatura.

12. Los componentes con peso considerable deben fijarse a la placa mediante bridas, pegamento, soldadura, etc.
13. Diseñar los soportes de los componentes de modo que sean resistentes a cambios de tamaño.

Esto puede ocurrir a menudo con componentes pasivos, transformadores, etc.

14. Verificar que la impresora no genere discontinuidades y que imprima a la escala correcta.
15. Antes de hacer la placa verificar cuidadosamente la interconexión y numeración de cada pin de los circuitos integrados.
16. Llenar con planos de masa toda la parte de la placa que no lleve pistas.
17. Dimensionar las pistas teniendo en cuenta la máxima corriente que deban conducir.
18. Tener en cuenta el espacio necesario para obtener aislamiento entre pistas cuando se trabaja con alta tensión.
19. Para reducir el acoplamiento entre líneas en una placa de RF, es conveniente separar las líneas por un camino de masa.

Lo mismo para señales en cable plano.

En ambos casos se reduce la inductancia y capacidad parásita entre líneas.

20. En circuitos digitales se puede reducir el ruido de conmutación conectando:

Condensador cerámico de $0,1\mu\text{F}$ entre V_{cc} y Gnd de cada circuito integrado lo más cercano posible a éste.

Un condensador de $10\mu\text{F}$ por cada 10 integrados.

Un condensador de $47\mu\text{F}$ o más junto a la entrada de alimentación de cada placa.

21. En placas con partes analógicas y digitales, sepárese cada uno de los bloques y utilícese una masa analógica y otra digital.

Ambas deben estar unidas mediante un filtro paso bajo que permita filtrar el

ruido producido por la conmutación digital.

22. En los bloques analógicos que trabajen con bajas tensiones diseñe cuidadosamente los caminos de tierra para evitar lazos.

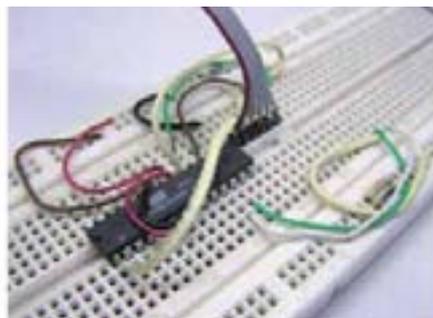
Realización de prototipos

Antes de hacer el montaje final es muy recomendable probar su funcionamiento en una placa de prototipos rápidos, para comprobar que el esquema eléctrico sea correcto y que todos los componentes funcionan como se espera.

Sin embargo hay circuitos que no es factible o práctico montar en placa de prototipos, y no quedará más remedio que probarlo por partes, o realizar un prototipo sobre PCB.

En cada caso concreto habrá que decidir cuál es la alternativa que más tiempo va a ahorrar a la hora de probar el circuito, e incluso si vale la pena intentar montar el circuito final sin haberlo probado antes.

Placas entrenadoras (protoboard)



Protoboard con un montaje

La placa entrenadora está compuesta por unas matrices de puntos de conexión donde poder introducir las patillas de casi todos los tipos de componentes que existen.

Los puntos de inserción están interconectados de la forma que se ve en la figura.

Estas placas no son cómodas en circuitos muy complejos, donde los cables se van acumulando y la probabilidad de una conexión errónea o un falso contacto es elevada.

Sin embargo, son especialmente recomendables en circuitos no demasiado complejos pero muy variables, donde no está nada claro qué componentes harán falta o la interconexión necesaria entre ellos.

Por el tamaño de las conexiones no son utilizables en circuitos de radiofrecuencia.

Los cables apropiados para hacer de puentes entre los terminales de los diferentes componentes deben ser con cubierta plástica, rígidos, y la parte que pelemos no debe ser demasiado larga (aproximadamente 4mm), para evitar cortocircuitos en la placa.

Placas pretaladradas

Además de las placas entrenadoras, si el circuito es pequeño también se pueden utilizar placas pretaladradas para hacer el prototipo o incluso el dispositivo final.

Las placas pretaladradas son PCBs llevan una matriz de agujeros sucesivos a la distancia estándar entre patillas (100 milésimas de pulgada).

Cada agujero tiene su PAD (a menudo ya estañado), y éstos pueden estar desconectados o interconectados en tiras.



Soldaduras en una placa pretaladrada

Para usarlas, se sueldan los componentes como si se tratase de un circuito hecho a medida, y las conexiones entre patillas se realizan con puentes, cortocircuitando PADs con estaño, o aprovechando las conexiones que vienen hechas en placas de tiras.

En este último caso, será necesario cortar la tira con un cutter en los puntos donde no se desee una conexión.

Placas impresas

Como última alternativa, puede ser conveniente diseñar una placa provisional para hacer las pruebas antes de la placa definitiva.

Dependiendo de la complejidad, frecuencia de trabajo, etc. del circuito a montar, ésta puede ser la mejor opción.

La placa de pruebas será más grande que la definitiva, con los componentes más separados, y con previsión para cortar conexiones o para soldar diferentes componentes en pruebas (por ejemplo, si no se está seguro de qué componente dará las mejores prestaciones).

También es recomendable utilizar zócalos para todos los integrados.

Cuando se acaban las pruebas, la placa suele quedar con una buena cantidad de sus pistas cortadas y posiblemente vueltas a soldar, componentes soldados entre pista y pista donde no se esperaba colocar componentes, y algunos puentes y cortocircuitos.

En resumen: se trata de hacer un diseño previo al definitivo teniendo especialmente en cuenta la facilidad para probar la placa, corregir posibles errores, e introducir los cambios necesarios.

Una vez que, gracias a ella, se obtiene el diseño definitivo, se puede diseñar la placa final de una forma más compacta, eliminando los componentes descartados, etc.

Esto no quiere decir que en la placa final no se deba tener en cuenta la facilidad para localizar los errores, si no todo lo contrario.

Realización de circuitos impresos

Sin duda el sistema con el que mejores resultados se pueden conseguir es el envío del diseño a una empresa especializada para su fabricación.

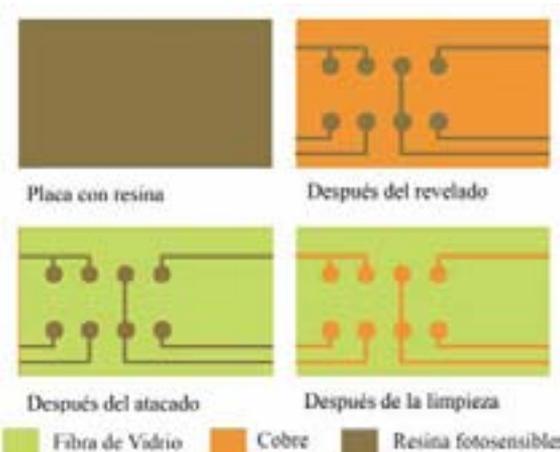
Este método es inabordable económicamente para la fabricación de un pequeño número de placas (menos de 50-100), pero es la única alternativa para la realización de placas con más de dos caras.



Placa enviada a fábrica

Todos los procedimientos manuales parten de una placa cubierta enteramente por una lámina de cobre, y pasan por la eliminación del indeseado, permitiendo que quede únicamente donde deba haber pistas.

Para ello se empieza por proteger el cobre en las zonas donde deba permanecer, para luego disolver el resto en un baño químico.



Pasos típicos en la fabricación de un circuito.

Protección directa del cobre

La forma más sencilla de proteger el cobre donde deba haber pistas es cubrirlo directamente con alguna sustancia resistente al ataque químico posterior.

Al ser un procedimiento enteramente manual no se puede conseguir fácilmente una precisión inferior a 1mm, y por tanto este método sólo es útil para placas sencillas y con separaciones grandes entre patas.

Como no se va a utilizar un procedimiento de fotograbado, la materia prima necesaria es placa virgen, es decir, la base (fibra de vidrio, baquelita...) cubierta únicamente por el cobre.

La alternativa más típica consiste en pintar literalmente las pistas sobre el cobre con un rotulador indeleble.

La tinta del rotulador queda adherida al cobre formando una capa que es prácticamente insoluble a los productos usados para el atacado posterior.

Otra alternativa consiste en recortar tiras de cinta adhesiva y pegarlas sobre la superficie de la placa siguiendo el diseño que deban tener las pistas.

Por supuesto, si se necesita realizar más de una placa será necesario repetir todo el trabajo para cada una de ellas.

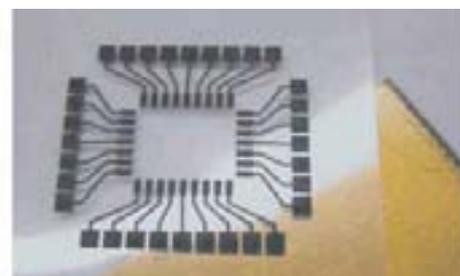
Impresión fotográfica de las pistas en la placa (fotograbado)

Para poder realizar el fotograbado es necesario utilizar una placa especial sensibilizada, es decir, una placa de circuito impreso en la que el cobre viene cubierto por una capa de resina fotosensible.

Dicha resina posee unas propiedades químicas que se ven alteradas por la exposición a la luz ultravioleta, lo que permitirá disolver la laca protectora sólo en las zonas donde se deba eliminar después el cobre.

Para limitar la exposición de la luz a ciertas zonas de la placa se utiliza un fotolito o máscara, que no es más que una transparencia realizada típicamente en acetato o papel cebolla con un dibujo que representa las pistas del circuito deseado.

Máscara en acetato y placa sensibilizada



Existen dos tipos de placas sensibilizadas: positivas y negativas.

En la placa positiva (la más común), la resina no es soluble en el revelador, aunque se vuelve soluble al exponerla a la luz ultravioleta.

Una transparencia impresa para placa positiva, por tanto, debe ser opaca sobre las pistas y transparente en los espacios entre ellas.

En la placa negativa el comportamiento es el inverso: la resina es soluble hasta que recibe una cantidad suficiente de radiación que la fija, y por tanto deberemos imprimir en negro las zonas donde no debe quedar cobre.

La más utilizada es la placa positiva

Que suele expendirse con una protección adhesiva contra la luz, que no se debe retirar hasta el último momento.

Aún así, la sustancia fotosensible no necesita que trabajemos a oscuras.

También hay sprays que permiten sensibilizar placas vírgenes, pero el resultado es peor que empleando placa ya sensible, y el ahorro suele ser insignificante.

La máscara se puede preparar de dos formas: pintando directamente sobre ella con un rotulador negro, o realizando todo el diseño en un ordenador e imprimiendo el resultado sobre la transparencia.

El primer método tiene la misma pega que la protección directa manual del cobre en cuanto a la precisión, pero cuenta con la ventaja de que permite fabricar varias placas sin tener que repetir el dibujo de cada vez.

Si no se dispone de una impresora capaz de imprimir sobre transparencia se puede imprimir sobre papel normal, y fotocopiar el diseño sobre una transparencia en una librería.

También se puede utilizar papel cebolla en vez del acetato, aunque el contraste conseguido entre zonas transparentes y oscuras suele ser inferior.

Es conveniente cortar la placa antes de retirar la protección, para evitar rallar la resina que provocarían cortes en las pistas del circuito final.

Una vez obtenida la transparencia podemos reparar las pistas que estén en mal estado con un rotulador permanente de color negro.

Insolado

Para trasladar el diseño de la máscara a la resina fotosensible se procede al insolado. Éste consiste en cubrir la placa con la máscara y aplicar luz durante un cierto tiempo. Para ello se suele utilizar una insoladora, que no es más que una caja opaca con tubos fluorescentes de luz actínica (con un gran contenido de radiación ultravioleta, para acelerar el insolado) donde se coloca la placa con la máscara.

De este modo se consigue que sólo reciba luz la resina bajo las zonas transparentes de la máscara, mientras que el resto queda protegido por el tóner o la tinta.



Insoladora

La cantidad de luz necesaria para activar la resina depende del tipo de placa.

El tiempo de insolación dependerá por tanto de la placa, así como de la potencia luminosa de la insoladora, el tipo de máscara, etc.

Si se desconoce el tiempo necesario para un caso concreto, el mejor método para averiguarlo es por prueba y error.

Este tiempo estará limitado por la calidad de la transparencia: cuanto más opa-

cas sean las zonas negras, mejor protegida de la luz estará la resina que no se debe activar, y por tanto se podrá aplicar más luz sin que haya problemas.

De forma similar, cuanto más claras sean las zonas transparentes más luz las atravesará y por tanto se podrá conseguir un buen resultado con menos tiempo.

Se puede decir que el tiempo mínimo de insolación viene limitado por lo opaca que sea la transparencia, mientras que el tiempo máximo depende de lo transparente que sea la tinta.

Hay que tener cuidado con la posición en que se pone la máscara, ya que es muy fácil despistarse y ponerla al revés.

Para evitar confusiones suele ser útil marcar el diseño con unas letras o un logotipo que identifiquen claramente en que posición se ha de poner, leyéndose al derecho si la máscara está bien puesta.

En caso contrario, se puede deducir la colocación de la máscara teniendo en cuenta que las pistas en el cobre seguirán exactamente el dibujo en la máscara y que los componentes se colocan por la otra cara de la placa, simplemente identificando alguna patilla de un integrado.



Si al imprimir no se consigue una opacidad suficiente en las zonas que deben quedar cubiertas, se pueden pegar juntas dos copias idénticas del circuito.

Esta técnica no es muy recomendable con papel cebolla, pero con acetato suele dar buenos resultados.

Un tiempo de exposición típico para una insoladora de 4 tubos es de unos 2 minutos, aunque esa cifra puede variar mucho en función de otros parámetros.

Podemos fabricar nuestra insoladora con tubos fluorescentes blancos, que son más baratos que los negros (los usados por insoladoras comerciales).

También necesitaremos un cristal translúcido y una caja donde alojar todo.

Si el insolado ha salido bien, generalmente se puede apreciar a simple vista el sutil cambio de color de la resina activada.

Si por error se insoló una placa poniendo la máscara al revés hay componentes que no tienen problema, como las resistencias o condensadores, pero hay otros que no pueden ser montados porque los pines no coinciden donde deberían estar.

Lo que se puede hacer para aprovechar la placa es soldar esos componentes por el lado de las pistas de cobre.

Es posible insolar una placa con una lámpara normal, aunque hay que tratar de que la luz sea lo más homogénea posible sobre la superficie de toda la placa, y el tiempo necesario aumentará mucho.

Para que el dibujo de la máscara se imprima sobre la placa de forma precisa es necesario que durante el insolado estén perfectamente juntas, sin que queden arrugas o burbujas entre ellas.

Para evitarlas la mayoría de insoladoras dispone de una espuma que presionará la placa contra la transparencia.

Precaución:

- No deben exponerse los ojos a la luz actínica.
- La radiación ultravioleta puede dañarlos.

Revelado

Una vez insolada la placa, toda la resina correspondiente a las zonas en que no debe quedar cobre está lista para ser disuelta en un baño químico, mientras que la resina que debe quedar sobre las pistas de cobre se mantendrá insoluble a lo largo de todo el proceso.

El siguiente paso es precisamente la eliminación de toda la resina sobrante, para dejar luego el cobre expuesto al ataque final.

Para ello se suele sumergir la placa insolada en un disolvente (el revelador): se vierte una cierta cantidad de líquido revelador (lo suficiente para cubrir completamente la placa) en un recipiente de fondo plano y se introduce la placa.



Durante el revelado es conveniente mover ligeramente el recipiente para provocar un flujo del líquido sobre la placa.

El tiempo que debe estar la placa sumergida en el revelador no es crítico.

Además existe la ventaja de que durante el revelado se ve la placa, por lo que se sabrá a simple vista cuándo se puede retirar.

Sin embargo, si se mantiene demasiado tiempo podría acabar disolviéndose también la resina que no fue expuesta a la luz, con lo que tendríamos una bonita placa virgen.

Si el revelado tarda demasiado (más de 2 o 3 minutos), puede deberse a un insolado insuficiente o a una concentración del revelador demasiado baja.

Si por el contrario al poco tiempo de introducir la placa en el revelador desaparece toda la resina, probablemente se haya insolado la placa demasiado tiempo.

Una vez terminado el revelado es necesario lavar bien la placa para eliminar todos los restos de revelador (cualquier resto de revelador reducirá la potencia del atacador en la siguiente etapa).

En este momento, ya disponemos de una placa "virgen" con el cobre cubierto por resina protectora únicamente sobre las pistas que deben quedar en el circuito.

Si al terminar el revelado observamos que hay alguna pista sobre la que desapareció demasiada resina, o con algún corte, se puede reforzar con un rotulador indeleble antes del atacado.

Por otra parte, si aún quedan restos de resina en alguna zona donde no debería haberla, se puede rascar con un cutter.

En las tiendas de electrónica se suele vender polvo revelador en sobres, con la cantidad justa para disolver en un litro de agua.

Para disolverlo rápidamente es conveniente que el agua esté algo caliente; de lo contrario tardará un rato en deshacerse.

Una alternativa económica consiste en utilizar sosa cáustica, vendida en droguerías y ferreterías por un precio sensiblemente inferior.

Es fácil encontrarla en escamas o en granos, en botes de 1Kg.

La proporción en que se debe rebajar con agua es necesario calcularla por prueba y error, aunque probablemente sea cercana a un tapón de sosa por litro de agua.

Precaución:

- La sosa cáustica es muy corrosiva, y puede causar graves quemaduras.
- En caso de mancharse con revelador, es necesario lavarse con agua abundante.
- El manejo de la placa es conveniente hacerlo con unas pinzas plásticas, con cuidado de no rayar la resina.

Atacado

Ahora debemos eliminar las partes de cobre que quedaron desprotegidas.

En el procedimiento puramente manual serán las partes que no fueron cubiertas con el rotulador; en el fotográfico las que fueron activadas por la luz y después reveladas.

Para ello hay dos métodos:

- Utilizar una solución de cloruro férrico en agua. En el comercio se vende ya un bote con garbanzos de cloruro, para llenar de agua y realizar la solución con la concentración exacta, o bien ya disuelto.
- Utilizar una solución ácida rápida. Esta opción es más cara y peligrosa que la anterior pero ofrece mejores resultados y es más rápida.

El atacado, utilizando cloruro férrico, es un procedimiento razonablemente lento (de 15 a 30 minutos) y muy dependiente de la temperatura del líquido.

Se debe disolver algo de cloruro férrico en la cantidad necesaria de agua, para luego sumergir en ella la placa revelada.

La concentración no es crítica pero tendrá efecto sobre el tiempo necesario para completar el proceso.

Para acelerar el atacado, es conveniente que el líquido esté caliente (a unos 30º), y a poder ser bien oxigenado.



Cloruro férrico

El cloruro férrico no es corrosivo si cae sobre la piel, pero es conveniente lavarlo cuanto antes, además mancha mucho.

La otra alternativa es el atacador rápido, que consiste en un ácido para disolver el cobre y un reductor para limpiar la superficie de la placa y permitir actuar al ácido.

El procedimiento es muy similar al usado con el revelador: se vierte la cantidad necesaria de disolución en un recipiente limpio y se sumerge en él la placa, moviendo ligeramente el recipiente para renovar el atacador en contacto con la placa.

El proceso termina cuando se observa que ya no queda cobre entre las pistas; si la mezcla estaba bien no debería tardar más de 5 minutos, aunque eso depende mucho de las concentraciones y la cantidad de cobre a disolver.

Si el revelado fue defectuoso, también lo será el atacado.

Si quedaban restos de resina entre pistas, el atacador no será capaz de retirar correctamente el cobre.

Si por el contrario toda la resina estaba demasiado debilitada, toda la placa resultará atacada, provocando cortes o incluso la desaparición completa de pistas.

Si el problema fue un revelado insuficiente pero se supone que el insolado fue correcto, es posible lavar la placa y volver a bañarla en el revelador.

Una vez completado el atacado de nuevo es necesario lavar bien la placa para evitar que los restos de ácido corroan el cobre de las pistas.

Precaución:

Al igual que el revelador, el atacador es muy corrosivo y si entra en contacto con la piel es necesario lavarse con agua abundante.

Además durante el atacado se generan gases tóxicos (cloro), por lo que es necesario realizarlo en un lugar bien ventilado.

La solución rápida se vende en el comercio en dos botes o sobres diferentes, uno con cada componente denominado típicamente "S" y "L". Se debe rebajar las concentraciones de cada bote con agua en la proporción indicada y en el momento de su uso, mezclar ambos líquidos.

Como alternativa barata al atacador rápido de tienda se puede utilizar una disolución de ácido clorhídrico (sulfumán, agua-fuerte) y agua oxigenada.

El ácido clorhídrico puede conseguirse en cualquier ferretería o droguería, pero el agua oxigenada es necesario que sea de farmacia, de 110 volúmenes (la típica del botiquín suele ser de 10 volúmenes; no tiene la concentración suficiente).

La mezcla se puede realizar en el momento de fabricar la placa, y suele constar de un 25% de ácido, un 25% de agua oxigenada, y un 50% de agua.

Si el atacado tarda mucho en empezar suele indicar una falta de agua oxigenada.

Si por el contrario empieza rápido pero tarda demasiado en terminar probablemente se deba a una falta de ácido o una mala limpieza de la placa tras el revelado.



Ácido clorhídrico y agua oxigenada



Utilizar en todas las fases del proceso diferentes recipientes para las distintas soluciones; además deben ser plásticos.

Los utensilios que se introduzcan en las mismas, para manejar el circuito, deben ser plásticos también.

Si no se dispone de probetas para medir la cantidad de cada líquido, se puede hacer a ojo, echando aproximadamente a partes iguales ácido y agua oxigenada y luego diluyendo.

Las proporciones no son críticas, por lo que con un poco de práctica se puede hacer una buena mezcla a la primera.

Finalización

Una vez terminado el atacado, la placa ya tiene las pistas dibujadas en cobre.

Sobre el metal aún quedan los restos de la resina (o del rotulador permanente, si se hizo a mano), que imposibilitarán la soldadura de los componentes.

Antes de soldar, por tanto, es necesario terminar de limpiar la placa.

Para ello se pueden utilizar dos métodos: disolver la resina o la tinta indeleble con un disolvente común (alcohol, acetona, etc.), o volver a insolar la placa sin máscara (para que todas las pistas reciban luz) y volver a revelarla para eliminar toda la resina (¡ojo, no se la debe volver a atacar después!).

Una vez limpia la placa de resina es conveniente comprobar con un tester la continuidad eléctrica de todas las pistas, o al menos de aquellas más finas o que planteen alguna duda.

Este paso puede ahorrar mucho tiempo si después de montar todos los componentes el circuito no funciona.

Si entre la fabricación de la placa y el montaje de los componentes van a transcurrir varios días, se puede posponer la limpieza de la resina hasta el momento de soldar los componentes, ya que ésta protege al cobre de la suciedad y la oxidación.

Soldado y ensamblaje de los componentes

Suponiendo que la placa ya esté terminada y limpia podemos empezar a soldar los componentes.

No es necesario seguir ningún orden concreto, aunque suele ser más cómodo empezar por los componentes de menor altura (resistencias, diodos) para acabar por los más voluminosos.

Es importante fijarse bien en la polaridad y la colocación de los componentes antes de empezar a soldarlos, especialmente en condensadores, diodos, e integrados.

Si alguna pista quedó mal (demasiado fina, con agujeros, cortes, etc.) se puede reparar con estaño.

Si el corte es grande, se puede soldar sobre la pista un hilo de cobre, o un trozo de patilla de resistencia.

Si se encuentra algún cortocircuito entre dos pistas, se puede eliminar con un cutter.

Taladrado de la placa

Una vez terminada la fabricación de la placa y antes de empezar a soldar los componentes hay que hacer los agujeros en el circuito impreso para introducir los terminales.

Esta etapa no será necesaria si estamos haciendo un montaje con tecnología SMD.

La gran mayoría de los agujeros que tengamos que realizar en una placa serán para soldar la patilla de algún componente, y por tanto estarán rodeados de cobre.

Recordemos que a ese punto de conexión entre una pista y una patilla de un componente se le denomina pad.

Una ayuda para esta etapa es considerar los agujeros ya en el diseño de las pistas, dejando sin cobre los puntos donde tengamos que taladrar.

Si el diseño es con ordenador, normalmente éste ya imprime las marcas para esos agujeros.

De esta forma, conseguimos que la broca del taladro no resbale por el pad, quedando un taladrado más preciso.

Para el taladrado de la placa lo más recomendable es utilizar un mini-taladro apropiado para ello, con su soporte de columna.

En general cualquier taladro con poca holgura en el eje y poca vibración (ya que no romperá las finas brocas utilizadas) puede valer, pero cuanto más grande sea más incómodo será de manejar.



Minitaladro para uso electrónico

Para la mayoría de los componentes se utilizarán brocas de 0,6mm a 1,25mm de diámetro.

Con una broca de 0,8mm tendremos suficiente para la mayoría de resistencias, condensadores, transistores, etc.

Se debe elegir una broca que genere un agujero no mucho mayor que la patilla del componente, de forma que la podamos introducir cómodamente por el mismo pero sin que quede demasiado holgada.

Asegurarse bien de que no quede ningún agujero por hacer antes de empezar a soldar los componentes, ya que una vez que la placa tenga componentes soldados no se podrá apoyar bien y será muy incómodo taladrarla.

Iniciación a la soldadura con estaño

La soldadura con estaño es la base de todas las aplicaciones electrónicas porque permite la realización de conexiones entre conductores y entre éstos y los diversos componentes, obteniendo rápidamente la máxima seguridad de contacto.

Consiste en unir las partes a soldar de manera que se toquen y cubrirlos con una gota de estaño fundido que, una vez enfriada, constituirá una verdadera unión, sobre todo desde el punto de vista electrónico.

Ésta es una tarea manual delicada que sólo se consigue dominar con la práctica.

Una soldadura mal hecha puede causar que el producto falle en algún momento.

Esto es como aprender a andar en bicicleta, una vez que se domina ya nunca se olvida.

El soldador utilizado en Electrónica

En Electrónica se suelen utilizar soldadores de potencia reducida, ya que generalmente se trata de trabajos delicados.

Es una herramienta útil que tiene un enorme campo de aplicación, ya sea para realizar nuevos montajes o para hacer reparaciones.

El soldador debe permitir las operaciones de soldadura con estaño correspondientes a la unión de dos o más conductores, o conductores con elementos del equipo.

Debido a su frecuente empleo, deberá presentar, entre otras características, una gran seguridad de funcionamiento y durabilidad.

En general, se trata de una masa de cobre (punta), que se calienta indirectamente por una resistencia eléctrica conectada a una toma de energía eléctrica (generalmente el enchufe de 230V).

Los tipos que se encuentran generalmente en el mercado pueden clasificarse en soldadores comunes o de lápiz y soldadores de pistola.

Tipos de soldadores



Éste es el clásico soldador de tipo lápiz, de 30W.

Su calentamiento es permanente y posee una alta inercia térmica.

Tanto en el momento de la soldadura como en las pausas de esta labor, el soldador permanece conectado a la corriente eléctrica.

Resulta adecuado para trabajos repetitivos y numerosos.

El soldador de abajo es de pistola.

La punta se calienta por el efecto de una gran corriente que pasa por ella (el abultado mango lleva dentro un transformador que la produce) y la punta viene a ser el secundario.

Resulta útil para trabajos esporádicos ya que se calienta instantáneamente.

No se usa mucho en electrónica porque la punta no suele resultar lo bastante fina y precisa.

Suele llevar un par de bombillas que iluminan la zona donde se va a soldar.

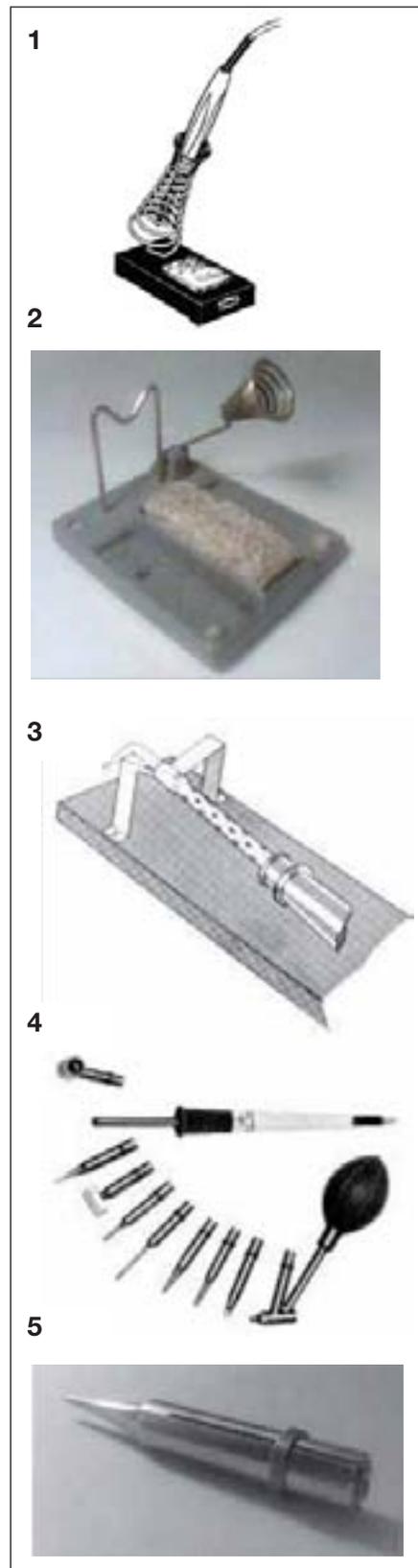


Tipos de soportes

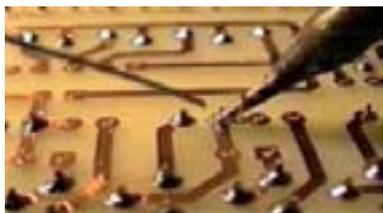
Ya que el soldador mantiene la punta caliente (a unos 250~300 °C), se hace necesario el uso de un soporte donde dejarlo

durante el tiempo que no se usa, para evitar quemar la mesa de trabajo.

Aquí se ven algunos ejemplos:



1. Soporte típico para soldadores de poca potencia. Tiene esponja.
2. Soporte JBC que permite colocar el soldador de dos formas distintas. Tiene esponja
3. El soporte más sencillo. Puede construirse con un trozo de chapa y una tabla de madera.
4. Soldador con todas las puntas que se le pueden acoplar: punta fina, punta gruesa, punta para desoldar circuitos integrados e incluso accesorio para desoldar, con pera de goma incluida.
5. Punta fina, ideal para la soldadura en Electrónica.



El estaño

En realidad, el término "estaño" se emplea de forma impropia porque no se trata de estaño sólo, sino de una aleación de este metal con plomo, generalmente con una proporción respectiva del 60% y del 40%, que resulta ser la más indicada para las soldaduras en Electrónica.

Para realizar una buena soldadura, además del soldador y de la aleación descrita, se necesita una sustancia adicional, llamada *pasta de soldar*, cuya misión es la de facilitar la distribución uniforme del estaño sobre las superficies a unir evitando, al mismo tiempo, la oxidación producida por la temperatura demasiado elevada del soldador.

La composición de esta pasta es a base de colofonia (normalmente llamada "resina") y que en el caso del estaño que utilizaremos, está contenida dentro de las cavidades del hilo, en una proporción del 2~2.5%.



Aquí se observan las 3 cavidades que forman el "alma" de resina del estaño.



La resina resulta de una gran ayuda durante la soldadura.

La otra fotografía presenta un rollo de estaño típico de 500 gr., aunque hay rollos más pequeños, ya que no suele resultar muy cómodo sujetar un peso de medio kilo mientras hacemos soldaduras.

Proceso para soldar

Antes de iniciar una soldadura hay que asegurarse de que:

- La punta del soldador esté limpia. En ningún caso se raspará con una lima, tijeras o similar, ya que puede dañarse el recubrimiento de cromo que tiene (el

recubrimiento proporciona una mayor vida a la punta).

- Las piezas a soldar deben estar totalmente limpias y de ser posible preestañadas.
- Se esté utilizando un soldador de la potencia adecuada. En Electrónica, lo mejor es usar soldadores de 15~30 W., nunca superiores, pues los componentes del circuito se pueden dañar si se les aplica un calor excesivo.

Los pasos para soldar son éstos:

Asegurarse de que las zonas a soldar están **bien limpias**, sin grasa ni suciedad.

Para las placas de circuito impreso se puede utilizar una goma de borrar bolígrafo, tal como vemos aquí.

Si se trata de hilos de cobre, se pueden raspar con unas tijeras o una cuchilla para limpiar el hilo.



Limpiar la punta del soldador de vez en cuando.

Para ello la frotaremos suavemente en una esponja húmeda, como la del soporte de la figura.

Alternativamente podemos restregarla con un cepillo de alambres suave, como los que suelen venir incluidos en el soporte.



Acercar los elementos a unir hasta que se toquen.

Si es necesario, utilizar unos alicates para sujetar bien las partes.

Aplicar el soldador a las partes a soldar, de forma que se calienten ambas partes.

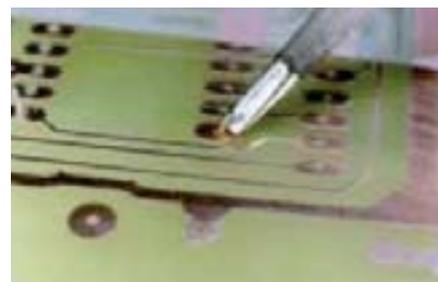
Tener en cuenta que los alicates o pinzas absorben parte del calor del soldador.



Las piezas empiezan a calentarse hasta que alcanzan la temperatura del soldador.

Si la punta está limpia, esto suele tardar menos de 3 segundos.

Este tiempo dependerá de si se usan alicates y de la masa de las piezas a calentar.



Sin quitar el soldador, **aplicar el estaño** (unos pocos milímetros) a la zona de la soldadura, evitando tocar directamente la punta.



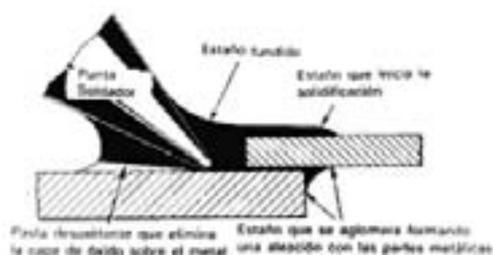
Cuando la zona a soldar es grande, se puede mover el punto de aplicación del estaño por la zona para ayudar a distribuirlo.

La resina del estaño, al tocar las superficies calientes, alcanza el estado semilíquido y sale de las cavidades, distribuyéndose por la superficie de la soldadura.

Esto facilita que el estaño fundido cubra las zonas a soldar.

Retirar el hilo de estaño.

El estaño fundido, mientras sigue caliente, termina de distribuirse por las superficies.



Retirar el soldador, tratando de no mover las partes de la soldadura.

Dejar que la soldadura se **enfríe naturalmente**. Esto lleva un par de segundos.

El metal fundido se solidifica, quedando la soldadura finalizada, con aspecto brillante y con buena resistencia mecánica.

Como sucede con la mayoría de las cosas, a base de experimentar unas cuantas veces se conseguirá dominar este proceso, que por otro lado resultará sencillo.

Proceso para desoldar

Para desoldar hay varios métodos, aunque nosotros nos vamos a centrar sobre los que se basan en la succión del estaño.

Vamos a describir los desoldadores y los chupones.

El desoldador de pera

En lugar de la punta se le coloca el accesorio que se ve debajo y ya tenemos un desoldador, que suele recibir ese nombre.

Como se puede observar, el accesorio tiene una punta, un depósito donde se almacena el estaño absorbido, una espiga para adaptarlo al soldador y una pera de goma que sirve para hacer el vacío que absorberá el estaño.



Vemos en detalle la punta y el depósito del accesorio para **desoldar**. Ésta se calienta de la misma manera que la punta normal.

El modo de proceder es el siguiente:

- Presionar la pera con el dedo.
- Acercar la punta hasta la zona de donde se quiera quitar el estaño.
- Si la punta está limpia, el estaño de la zona se derretirá en unos pocos segundos. En ese momento, soltar la pera para que el vacío producido absorba el estaño hacia el depósito.
- Presionar la pera un par de veces apuntando hacia un papel o el soporte para vaciar el depósito con cuidado, ya que el estaño sale a 300°C.

Estos cuatro pasos se pueden repetir si fuera necesario.

El desoldador de vacío o chupón

Ahora vamos a describir el otro tipo de soldador, el denominado chupón.



Este desoldador de vacío es una bomba de succión que consta de un cilindro que tiene en su interior un émbolo accionado por un muelle.

Tiene una **punta** de *teflón* o *grilon*, que soporta perfectamente las temperaturas utilizadas.

El cuerpo principal (**depósito**) suele ser de aluminio.

Para manejarlo debemos cargarlo venciendo la fuerza del muelle y en el momento deseado pulsaremos el botón que lo libera y se produce el vacío en la punta.

Nos servirá para absorber estaño, que estaremos fundiendo simultáneamente con la punta del soldador.

El modo de proceder es el siguiente:

Cargar el desoldador, venciendo la fuerza del muelle.

Aplicar la punta del soldador a la zona de donde se quiera quitar el estaño.

Si la punta del soldador está limpia, el estaño se derretirá en unos pocos segundos.

Asegurarse de que el desoldador está listo.



En ese momento, sin retirar el soldador, acercar la punta del chupón a la zona y pulsar el botón de liberación del émbolo.

Éste se disparará, produciendo un gran vacío en la punta y absorbiendo el estaño hacia el depósito.

Si es necesario, repetir este último paso cargando previamente el desoldador.



Retirar el soldador y el chupón.

En la foto vemos el resultado de la desoldadura.

Si después del proceso aún queda algo de estaño sujetando el componente que queremos quitar, entonces será necesario repetir el proceso.



Este dispositivo tiene un depósito suficientemente grande como para no necesitar vaciarlo cada vez que se usa, como ocurre con el desoldador de pera.

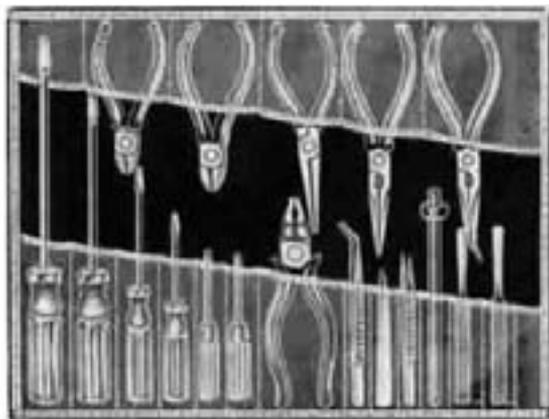
Para limpiarlo, generalmente hay que desmontarlo desenroscando sus partes.



LAS HERRAMIENTAS ÚTILES EN ELECTRÓNICA

Aparte del soldador y el desoldador, vamos a necesitar una serie de herramientas que nos harán más fácil el trabajo.

Lo ideal sería poder disponer de todas estas herramientas que se ven, aunque sólo con unas pocas nos podremos arreglar la mayoría de las veces.



Aparecen diferentes tipos de destornilladores, alicates, pinzas y limas.

Vamos a describir aquéllas cuyas características son las más adecuadas a las necesidades del aficionado electrónico.

Los Alicates

Los alicates para usos electrónicos los elegiremos de tal forma que nos sean lo más manejables posible.



Aquí vemos tres tipos de alicates de los más corrientes para el trabajo del electrónico.

El de puntas redondas es particularmente útil para hacer anillos en los extremos de

los hilos de conexión, el de puntas curvas sirve para alcanzar lugares de difícil acceso y el de corte sirve para cortar conductores.

Las Pinzas

Finalmente, las llamadas pinzas de muelle, del todo similares a las que usan los coleccionistas de sellos, son muy útiles para sostener los extremos de los hilos de conexión en la posición adecuada durante la soldadura con estaño.



Son las típicas pinzas, muy útiles para la realización de conexiones y para la colocación de pequeños componentes.

Existe un modelo que tiene las puntas recubiertas con una capa de plástico o goma, o incluso que están hechas íntegramente con plástico.

Las Tijeras

Las tijeras también tienen una notable utilidad.



En electrónica se emplea un tipo bastante robusto y corto, el que se corresponde con las tijeras de electricista.

Una muesca adecuada también las hace útiles para cortar hilos delgados.

Sirven para pelar los conductores aislados cuando no se dispone de un utensilio más adecuado.

La muesca de corte se observa mejor aquí:



CÓMO DESOLDAR Y SOLDAR COMPONENTES SMD SIN HERRAMIENTAS PROFESIONALES

Prácticamente todos los circuitos electrónicos comerciales poseen componentes de montaje superficial que son difíciles de reemplazar si no se cuenta con herramientas adecuadas, lo que suele dificultar el trabajo del técnico reparador.

Vamos a exponer una forma de cambiar componentes de montaje superficial con herramientas comunes que están presentes en el banco de trabajo de todo especialista.

Desarrollo

Los dispositivos de montaje superficial SMD o SMT (Surface Mount Technology) se encuentran en mayor proporción en todos los aparatos electrónicos y gracias a esto la mayoría de los procesos involucrados en el funcionamiento de los diferentes equipos se ha agilizado considerablemente, trayendo como consecuencia grandes ventajas para los fabricantes, que pueden ofrecer equipos más compactos sin sacrificar sus prestaciones.

Sin embargo, todas estas ventajas pueden invertirse en un momento dado, cuando en la prestación de sus servicios, el técnico tenga que reemplazar algunos de estos componentes.

Gracias al avance de la industria química, hoy es posible conseguir diferentes productos que son capaces de combinarse con el estaño para bajar la temperatura de fusión y así no poner en riesgo la vida de un microprocesador (por ejemplo), cuando se debe quitar de una placa de circuito impreso.

Se han probado diferentes productos y, en su mayoría, permiten desoldar un componente sin que exista el mínimo riesgo de levantar una pista de circuito impreso.

El problema es que a veces suele ser difícil conseguir estos productos químicos y debemos recurrir a métodos alternativos.

Para extraer componentes SMD de una placa de circuito impreso, para el método que vamos a describir, precisamos los siguientes elementos:

- Soldador de 20W con punta electrolítica de 1mm de diámetro.
- Soldador de gas para electrónica.
- Flux líquido.
- Estaño de 1 a 2 mm con alma de resina.
- Malla metálica para desoldar con flux.
- Unos metros de alambre esmaltado de menos de 0,8mm de diámetro.

El flux es una sustancia que se aplica a una pieza de metal para que se caliente uniformemente dando lugar a soldaduras parejas y de mayor calidad.

El flux se encuentra en casi todos los elementos de soldadura.

Si se corta un pedazo de estaño diametralmente y se pone bajo una lupa, se podrá observar en su centro (alma) una sustancia blanca amarillenta que corresponde a la resina o flux.



Esta sustancia química, al fundirse junto con el estaño, facilita que éste se adhiera a las partes metálicas que se van a soldar.

También podemos encontrar flux en las mallas metálicas de desoldadura de calidad, que permite que el estaño fundido se adhiera a los hilos de cobre rápidamente.



Vamos a explicar cómo desoldar un circuito integrado para montaje superficial tipo TQFP de 144 terminales, tal como se muestra en la figura.



En primer lugar, se debe tratar de eliminar todo el estaño posible de sus patas.

Para ello utilizamos malla desoldante fina con flux.

Colocamos la malla sobre las patas del integrado y aplicamos calor con el objeto de quitar la mayor cantidad de estaño.

Aconsejamos utilizar, para este paso, un soldador de gas, de los que se hicieron populares en la década del 90.

Funciona con butano, tienen control de flujo de gas y es recargable.

Puede funcionar como soldador normal, soplete o soldador por chorro de aire caliente dependiendo de la punta que utilizemos.

Para la soldadura en electrónica la punta más utilizada es la de chorro de aire caliente, esta punta es la indicada para calentar las patas del integrado con la malla desoldante para retirar la mayor cantidad de estaño posible.



El uso más común que se les da a estos soldadores en electrónica es el de soldar y desoldar pequeños circuitos integrados, resistencias, condensadores y bobinas SMD.

En la figura que sigue vemos el procedimiento para retirar la mayor cantidad de estaño mediante el uso de una malla.



Una vez quitado todo el estaño que haya sido posible debemos desoldar el integrado usando el soldador de 25W, provisto con una punta en perfectas condiciones que no tenga más de 2 mm de diámetro (es ideal una punta cerámica o electrolítica de 1 mm). Tomamos un trozo de alambre esmaltado al que le hemos quitado el esmalte en un extremo y lo pasamos por debajo de las patas (el alambre debe ser lo suficientemente fino como para que quepa debajo de las patas del integrado, según figura).



El extremo del cable pelado se suelda a cualquier parte del PCB.

Con uno de los extremos libres del alambre (el otro extremo está soldado a la placa y pasa por debajo de los pines del integrado) tiramos hacia arriba muy suavemente mientras calentamos las patas del integrado que están en contacto con él.

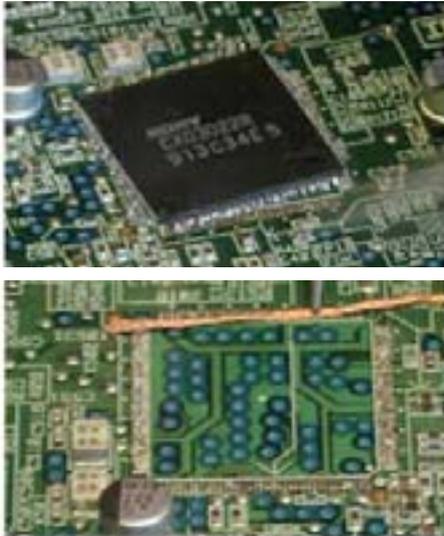
Este procedimiento debe hacerlo con paciencia y de uno en uno, ya que corremos el riesgo de arrancar una pista de la placa.



Repetimos este procedimiento en los cuatro lados del integrado asegurándonos de que se calientan las patas cerca de las que va a pasar el alambre de cobre para separarlas de los pads (islas).

Una vez quitado el circuito integrado por completo hay que limpiar los pads para quitarles el resto de estaño y para lograrlo

colocamos la malla de desoldadura sobre dichos pads apoyándola y pasando el soldador sobre ésta (aquí conviene volver a utilizar el soldador de gas).



No debe moverse la malla sobre las pistas bruscamente, ya que se puede dañar las pistas.

En el caso de que la malla se quede “pegada” a los pads, se debe calentar y separar cada zona, pero siempre con cuidado.

Nunca debe tirarse de ella, sepárese con cuidado.

Si se ha trabajado con herramientas apropiadas, los pads (lugares donde se conectan las patas del integrado) deberían estar limpios de estaño y listos para que se pueda soldar sobre ellos el nuevo componente.

Pero, antes de hacerlo, es conveniente aplicar flux sobre los pads.

No importa la cantidad de flux, ya que el excedente lo vamos a limpiar posteriormente. Cabe aclarar que hay diferentes productos químicos que realizan la limpieza de pistas de circuito impreso y lo hacen de forma excelente, para lograr después una buena soldadura.

Estos compuestos pueden ser líquidos (a base a alcohol isopropílico) que se aplica por medio de un hisopo (bastoncito) común, o en pasta y hasta en emulsión contenida en un aplicador.

Después colocaremos una pequeña cantidad de estaño sobre cada pad para que se suelde con el integrado en un paso posterior.



Una vez limpia la superficie, colocaremos el nuevo componente sobre los pads con mucho cuidado y prestando mucha atención de que cada pin esté sobre su pad correspondiente.

Una vez situado el componente en su lugar, acercaremos el soldador a un pin de una esquina del integrado hasta que el estaño se derrita y se adhiera a la pata o pin. Posteriormente repetiremos la operación con una pata del lado opuesto.

De esta manera el integrado queda inmóvil en el lugar donde deberá ser soldado definitivamente.

Aplicaremos nuevamente flux sobre las patas del integrado, para que al aplicar calor en cada pata, el estaño se funda sin inconvenientes, adhiriéndose cada pata con la pista del circuito impreso correspondiente y con buena conducción eléctrica.



Debe calentarse cada pata del integrado con el soldador de punta fina, comprobando que el estaño se funda entre las partes a unir.

Hagamos este proceso con cuidado ya que los pines son muy débiles y fáciles de doblar y romper.

Después de soldar todos los pines comprobaremos, con delicadeza, que todos los pines hacen buen contacto con la correspondiente pista de circuito impreso.

Es posible que se haya colocado una cantidad importante de flux y el sobrante genere una apariencia desagradable.

Para limpiarlo se utiliza un disolvente limpiador de flux que se aplica sobre la zona a limpiar.

Conclusión

Sugerimos trabajar en un área bien ventilada, limpia y despejada; y si es posible, que un extractor elimine los vapores emitidos.

También recomendamos el uso de una pulsera antiestática, un banco de trabajo, gafas protectoras y, para resultados más precisos, una lámpara con lupa.



Historia del circuito impreso.

El inventor del circuito impreso es probablemente el ingeniero austriaco Paul Eisler (1907-1995) quien, mientras trabajaba en Inglaterra, hizo uno, alrededor de 1936, como parte de una radio. Alrededor de 1943, los Estados Unidos comenzaron a usar esta tecnología en gran escala para fabricar radios que fuesen robustas, para la Segunda Guerra Mundial.

Después de la guerra, en 1948, EE.UU. liberó la invención para el uso comercial. Los circuitos impresos no se hicieron populares en la electrónica de consumo hasta mediados de 1950, cuando el proceso de auto-ensamblaje fue desarrollado por la Armada de los Estados Unidos.

Antes que los circuitos impresos (y aún después de su invención), la conexión punto a punto era la más usada.

Para prototipos, o producción de pequeñas cantidades, el método 'wire wrap' puede ser más eficiente.

Originalmente, cada componente electrónico tenía patas de alambre, y el circuito impreso tenía orificios taladrados para cada pata del componente.

Estas patas de los componentes atravesaban los orificios y eran soldadas a las pistas del circuito impreso.

Este método de ensamblaje es llamado *through-hole* ("a través del orificio", por su nombre en inglés).

En 1949, Moe Abramson y Stanilus F. Danko, de la United States Army Signal Corps desarrollaron el proceso de auto-ensamblaje, mediante el cual las patas de los componentes eran insertadas en una lámina de cobre con el patrón de interconexión, y luego eran soldadas.

Con el desarrollo de la laminación de tarjetas y técnicas de grabados, este concepto evolucionó en el proceso estándar de fabricación de circuitos impresos usado en la actualidad. La soldadura se puede hacer automáticamente pasando la tarjeta sobre un flujo de soldadura derretida, en una máquina de soldadura por ola.

Sin embargo, las patas y orificios representan un desperdicio de tiempo.

Es costoso perforar los orificios, y la eliminación del sobrante de las patas.

En vez de usar el método *through-hole*, a menudo se utilizan componentes de montaje superficial por el ahorro de tiempo y la facilidad de colocación en sistemas robotizados.

