

## Introducción a los disipadores de calor (Recopilado de Internet)

### Indice

- Introducción.
- Propagación del calor.
- Formas de transmisión del calor.
- Parámetros que intervienen en el cálculo.
- Resistencias térmicas.
- Temperaturas.
- Potencia disipada.

### Introducción

El estudio térmico de los dispositivos de potencia es fundamental para un rendimiento óptimo de los mismos. Esto es debido a que en todo semiconductor, el flujo de la corriente eléctrica produce una pérdida de energía que se transforma en calor.

El calor produce un incremento de la temperatura del dispositivo. Si este incremento es excesivo e incontrolado, inicialmente provocará una reducción de la vida útil del elemento y en el peor de los casos lo destruirá.

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

En todo semiconductor el flujo de la corriente eléctrica produce una pérdida de energía que se transforma en calor. Esto es debido al movimiento desordenado en la estructura interna de la unión. El calor elevará la energía cinética de las moléculas dando lugar a un aumento de temperatura en el dispositivo; si este aumento es excesivo e incontrolado provocará una reducción de la vida útil del dispositivo y en el peor de los casos su destrucción.

Es por ello que la evacuación del calor generado en el semiconductor es una cuestión de gran importancia para asegurar el correcto funcionamiento y duración del dispositivo.

La capacidad de evacuación del calor al medio ambiente podrá variar según el tipo de cápsula pero en cualquier caso será demasiado pequeña, por lo que necesita una ayuda adicional para transferir el calor disipado mediante un dispositivo de mayor volumen y superficie conocido como disipador de calor, el cual hace de puente para evacuar el calor de la cápsula al medio ambiente.

### Formas de transmisión del calor

La experiencia demuestra que el calor producido por un foco calorífico se propaga por todo el espacio que lo rodea. Esta transmisión del calor puede producirse de tres formas:

#### 1.- CONDUCCIÓN:

Es el principal medio de transferencia de calor. Se realiza por la transferencia de energía cinética entre moléculas, es decir, se transmite por el interior del cuerpo estableciéndose una circulación de calor. La máxima cantidad de calor que atravesará dicho cuerpo será aquella para la cual se consigue una temperatura estable en todos los puntos del cuerpo.

En este tipo de transmisión se debe tener en cuenta la conductividad térmica de las sustancias (cantidad de calor transmitido por unidad de tiempo, superficie, gradiente de temperatura).

#### 2.- CONVECCIÓN:

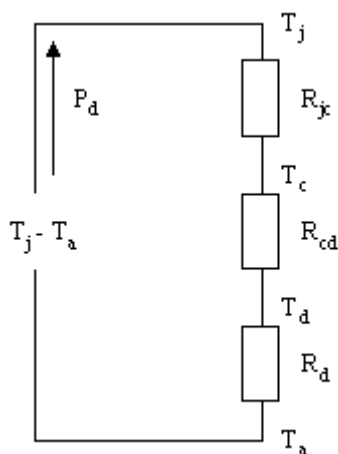
El calor de un sólido se transmite mediante la circulación de un fluido que le rodea y este lo transporta a otro lugar, a este proceso se le llama convección natural. Si la circulación del fluido está provocada por un medio externo se denomina convección forzada.

#### 3.- RADIACIÓN:

El calor se transfiere mediante emisiones electromagnéticas que son irradiadas por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor a cero grados Kelvin. El estado de la superficie influye en gran medida en la cantidad de calor radiado. Las superficies mates son más favorables que las pulidas y los cuerpos negros son los de mayor poder de radiación, por este motivo se efectúa un ennegrecimiento de la superficie radiante. La transferencia de calor por radiación no se tiene en cuenta puesto que a las temperaturas a que se trabaja ésta es despreciable.

## Parámetros que intervienen en el cálculo

Para que un semiconductor disipe la potencia adecuada, hay que mantener la temperatura de la unión por debajo del máximo indicado por el fabricante.



El paso de la corriente eléctrica produce un aumento de la temperatura de la unión ( $T_j$ ). Si ésta se quiere mantener a un nivel seguro, debemos evacuar al exterior la energía calorífica generada por la unión. Para que se produzca un flujo de energía calorífica de un punto a otro, debe existir una diferencia de temperatura. El calor pasará del punto más caliente al más frío, pero aparecen factores que dificultan este paso. A estos factores se les denomina resistencias térmicas.

Por lo tanto, aprovechando la ley de ohm realizamos la siguiente comparación eléctrica mostrada en la figura adjunta. Asemajaremos las temperaturas a tensiones, las resistencias térmicas a las resistencias óhmicas y el flujo de calor a una corriente eléctrica.

Al igual que en un circuito eléctrico, se puede decir que:

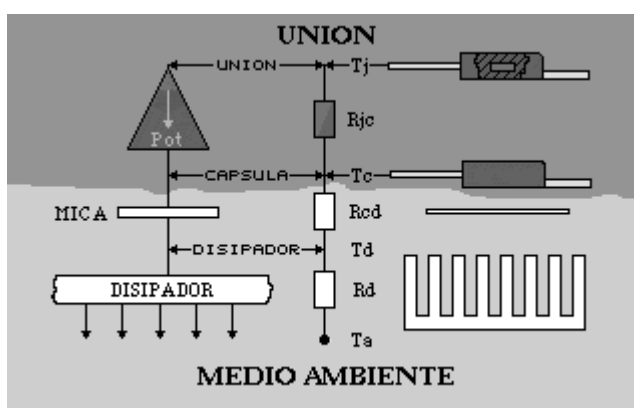
$$T_j - T_a = P \times R_{je}$$

De la figura se obtiene la expresión:

$$P_d = \frac{T_j - T_a}{R_{jc} + R_{cd} + R_d}$$

## Resistencias térmicas

En la siguiente figura se muestra la igualdad entre el circuito equivalente de resistencias térmicas y los elementos en un montaje real:



$R_{jc}$  = Resistencia unión - contenedor

$R_{cd}$  = Resistencia contenedor - disipador

$R_d$  = Resistencia del disipador

$T_j$  = Temperatura de la unión

$T_c$  = Temperatura del contenedor

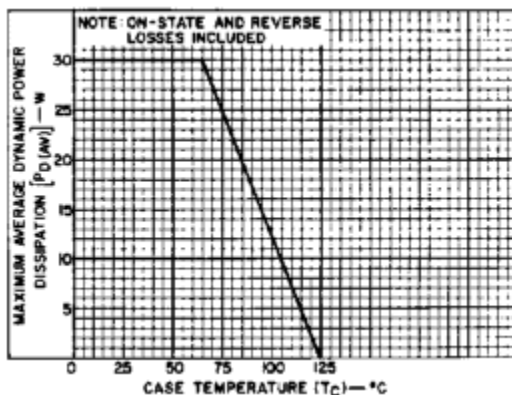
$T_d$  = Temperatura del disipador

$T_a$  = Temperatura ambiente

### Resistencia Unión - Contenedor ( $R_{jc}$ )

En este caso el foco calorífico se genera en la unión del propio cristal semiconductor, de tal forma que el calor debe pasar desde este punto al exterior del encapsulado.

Generalmente este dato lo suministra el fabricante, y dependerá del tipo de cápsula del dispositivo. Aparecerá bien directamente o indirectamente en forma de curva de reducción de potencia. En la figura siguiente se muestra este tipo de curva.



Esta muestra la potencia en función de la temperatura del contenedor. En ella la pendiente de la recta dada es la resistencia unión contenedor. La fórmula que se utiliza para el cálculo de esta resistencia es:

$$R_{jc} = \frac{T_{jmax} - T_c}{P_d}$$

Donde estos datos se obtienen de la curva de reducción de potencia, que será propia de cada dispositivo. Debemos de tener en cuenta que P<sub>d</sub> es la dada por el fabricante y no la que disipará el dispositivo en el circuito. Normalmente T<sub>c</sub> vale 25 °C.

Si tomamos de un manual los datos correspondientes a un 2N3055 serán:

P<sub>d</sub>máx = 115 W  
T<sub>j</sub>máx = 200 °C

Sustituyendo estos valores en la siguiente ecuación, se obtiene el valor de la R<sub>jc</sub>:

$$R_{jc} = \frac{T_{jmax} - 25}{P_{dmax}} = \frac{200 - 25}{115} = 1,52^\circ C / W$$

y ésta es, precisamente, la R<sub>jc</sub> indicada en los manuales para el 2N3055.

### Resistencia Contenedor - Disipador (R<sub>cd</sub>)

Es la resistencia térmica entre el semiconductor y el disipador.

Este valor depende del sistema de fijación del disipador y el componente, y del estado de planitud y paralelismo de las superficies de contacto, puesto que a nivel microscópico, solo contactan por unos puntos, quedando huecos de aire que entorpecen la transmisión del calor.

También depende del tipo de material que se interponga entre ambas superficies de contacto. Los elementos que se sitúan entre la cápsula y el disipador pueden ser de dos tipos:

- Pastas conductoras de calor, que pueden ser o no ser conductoras de la electricidad.
- Láminas aislantes eléctricas que se pueden emplear conjuntamente con siliconas conductoras de calor como mica, kelafilm, etc. También las hay conductoras de calor que no precisan pasta de silicona.

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<sub>cd</sub> menor será la longitud y superficie de la aleta requerida.

Por ejemplo, para una cápsula TO.3 se tiene que con contacto directo más pasta de silicona la  $R_{cd} = 0,12$  °C/W, que con contacto directo  $R_{cd} = 0,25$  °C/W, que con contacto directo más mica y más pasta de silicona  $R_{cd} = 0,4$  °C/W, y que 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 solo con mica. Por ello podemos obtener la siguiente conclusión: La mica aumenta la  $R_{cd}$  mientras que la pasta de silicona la disminuye y como se ha dicho cuanto más pequeña sea la  $R_{cd}$  menor superficie de aleta refrigeradora.

### Resistencia del disipador (Rd)

Representa el paso por convección al aire del flujo calorífico a través del elemento disipador. Este dato será, en la práctica, la incógnita principal de nuestro problema, puesto que según el valor que nos de el cálculo, así será el tipo de aleta a emplear. Depende de muchos factores: potencia a disipar, condiciones de la superficie, posición de montaje y en el caso de disipadores planos factores como el grosor del material y el tipo de encapsulado. Para el cálculo de la resistencia se pueden utilizar las siguientes fórmulas:

$$R_d = \frac{T_j - T_a}{P_d} - (R_{jc} + R_{cd})$$

$$R_d = \frac{T_d - T_a}{P_d}$$

$$R_d = R_{ja} - (R_{jc} + R_{cd})$$

Este valor de  $R_{ja}$  no es el que da el fabricante ya que éste la suministra sin disipador, y la que hay que utilizar es con disipador. El fabricante la facilita como suma de  $R_{jc}$  y  $R_{ca}$  puesto que ignora el tipo de disipador que utilizaremos.

Una vez calculada la  $R_d$  se pasa a elegir la aleta refrigeradora. Para la elección de la aleta, habrá que tener en cuenta que el tipo de encapsulado del dispositivo a refrigerar sea el adecuado para su montaje en la aleta disipadora que se haya elegido.

Después de cumplir la condición anterior hay que calcular la longitud o la superficie del disipador elegido. Para ello es necesario disponer de uno de los dos tipos de gráficas que ofrecen los fabricantes de disipadores, la  $R_d$  - longitud y la  $R_d$  - superficie.

Según la gráfica de que se disponga se obtendrá un valor de longitud o un valor de superficie de disipador que hay que montar para refrigerar adecuadamente el dispositivo semiconductor.

### Resistencia Unión - Ambiente (Rja)

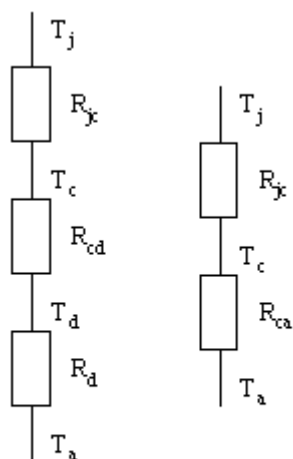


Fig. a

Fig. b

Como su nombre indica es la resistencia que existe entre la unión del semiconductor y el ambiente. Con esta resistencia deberemos de distinguir dos casos, el de resistencia unión ambiente con disipador y sin disipador. Cuando se habla de resistencia unión ambiente sin disipador, nos referimos a la resistencia unión contenedor junto con la contenedor ambiente:

$$R_{ja} = R_{jc} + R_{ca} \text{ (fig. b)}$$

Este valor lo suministra el fabricante en función del tipo de contenedor.

Cuando se habla de la resistencia unión ambiente con disipador nos referimos a la suma de la resistencia unión contenedor ( $R_{jc}$ ), la resistencia contenedor disipador ( $R_{cd}$ ) y la resistencia disipador ambiente ( $R_d$ ):

$$R_{ja} = R_{jc} + R_{cd} + R_d \text{ (fig. a)}$$

Este valor no es conocido ya que varía según el tipo de disipador que se utilice. El valor de  $R_{ja}$  dependerá de los valores de  $R_d$  y de  $R_{cd}$ . Como no es un valor fijo, no existe una tabla de valores típicos.

## Temperaturas

### Temperatura de la unión (Tj)

La temperatura máxima de la unión es el límite superior de temperatura a la que no se debe llegar y menos sobrepasar si queremos evitar la destrucción de la unión. Este dato es un valor que se suele suministrar, normalmente, en los manuales de los fabricantes de semiconductores.

Si este valor no se refleja en dichos manuales o, simplemente, no se encuentra, podremos adoptar unos valores típicos en función del dispositivo a refrigerar como los mostrados en la tabla que se expone a continuación:

DISPOSITIVO	RANGO DE Tj <sub>máx</sub>
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

Se debe distinguir entre la temperatura máxima de la unión permitida para un dispositivo y la temperatura real de la unión a la que se pretende que trabaje dicho elemento o dispositivo que, lógicamente, siempre será menor que la máxima permitida. El objetivo del que diseña será mantener la temperatura de la unión por debajo de la máxima. Para ello se utiliza un coeficiente ( K ) de seguridad cuyo valor dará una temperatura de la unión comprendida entre el 50% y el 70% de la máxima. Por lo tanto k estará comprendido entre 0,5 y 0,7. Le asignamos el valor según el margen de seguridad que queremos que tenga el dispositivo. La temperatura de la unión que se utilizará en los cálculos será:

$$T_j = T_{j\text{máx}} \times k$$

Las condiciones de funcionamiento en función de k serán:

- Para valores de k=0,5. Dispositivo poco caliente. Máximo margen de seguridad, pero el tamaño de la aleta refrigeradora será mayor.
- Para valores de k=0,6. Dimensión menor de la aleta refrigeradora sin que el dispositivo se caliente demasiado.
- Para valores de k=0,7. Máximo riesgo para el dispositivo, máxima economía en el tamaño de la aleta refrigeradora. Este coeficiente de seguridad exige que la aleta se sitúe en el exterior.

### Temperatura de la Cápsula (Tc)

Este dato no se suministra en los manuales ya que depende del valor de la potencia que disipa el dispositivo, de la resistencia del disipador y de la temperatura ambiente. Por lo tanto solo podemos calcularla cuando conozcamos todos los datos reflejados en alguna de las siguientes expresiones:

$$T_c = P_d \times (R_{ca} + R_d) + T_a$$

$$T_c = T_j - (P_d \times R_{jc})$$

### Temperatura del disipador (Td)

Este valor se obtiene a partir de la potencia disipada Pd, de la resistencia térmica de la aleta Rd y finalmente de la temperatura ambiente Ta. Se calculará con cualquiera de estas expresiones:

$$T_d = (P_d \times R_d) + T_a$$

$$T_d = T_c - (P_d \times R_{cd})$$

La temperatura obtenida será siempre inferior a la temperatura de la cápsula aunque será lo suficientemente alta en la mayoría de los casos como para no poder tocar el disipador con las manos.

Esto no es motivo de preocupación ya que se han tomado las medidas necesarias como para que la temperatura de la unión disponga de un margen de seguridad dentro de los márgenes ya explicados.

Puede suceder que la temperatura de la aleta es bastante elevada, tanto que si se toca con un dedo notaríamos que quema. Pero en todo momento la temperatura de la unión entrará con amplio margen dentro de los límites permitidos. No obstante, si se quiere disminuir esta temperatura, solo hay que calcular de nuevo la resistencia térmica  $R_d$  de la aleta, poniendo esta vez 0,5 como factor (k) necesario para determinar  $T_j$ . Ello llevará a adoptar una aleta más grande, pero tanto la  $T_c$ , como la  $T_d$  disminuirán como se desea.

### Temperatura ambiente ( $T_a$ )

En la interpretación de este dato puede haber alguna confusión ya que se puede tomar su valor como la temperatura del medio ambiente cuando en realidad es la temperatura existente en el entorno donde está ubicado el disipador.

### Potencia disipada

La potencia máxima es un dato que nos dará el fabricante. Este dato es para las mejores condiciones de funcionamiento del dispositivo, es decir, para una temperatura del contenedor de 25 °C y un disipador adecuado. Por ejemplo, si de un determinado transistor nos dice el fabricante que puede disipar un máximo de 116 Watios, a primera vista se puede pensar que disipando 90 Watios no se corre ningún riesgo puesto que hay un margen con respecto al máximo y no se necesita disipador. Si conocemos la temperatura de la unión es de 200 °C y  $R_{ja}$  de 35 °C/W se tiene:

$$P_{dmax(SD)} = \frac{T_{jmax} - T_a}{R_{ja}} = \frac{(200 - 25)^\circ C}{35^\circ C / W} = 5W$$

Esta es la máxima potencia disipable sin disipador. Se puede ver que este valor se queda muy por debajo del indicado por el fabricante. Si consideramos una aleta con una buena resistencia térmica como puede ser una de 0,6 °C/W y unas resistencias térmicas contenedor - disipador  $R_{cd}$  y unión - contenedor  $R_{jc}$  de 0,12 °C/W y de 1,5 °C/W respectivamente, ambos valores también bastante adecuados, se tendrá:

$$P_{dmax} = \frac{T_{jmax} - T_a}{R_{jc} + R_{cd} + R_d} = \frac{200 - 25}{1,5 + 0,12 + 0,6} = 78,8W$$

Si hiciéramos disipar 90 W como pretendíamos se destruiría la unión. Como se puede observar la potencia obtenida es superior a la disipable sin disipador e inferior a la que nos suministra el fabricante. Ello es debido a que el fabricante ha calculado la  $P_{dmax}$  manteniendo la temperatura del contenedor a 25 °C, cosa que en la práctica es imposible:

$$P_{dmax} = \frac{T_{jmax} - T_c}{R_{jc}} = \frac{(200 - 25)^\circ C}{1,5^\circ C / W} = 116W$$

Como se ha dicho este dato de 116 W es para las mejores condiciones de funcionamiento y el fabricante debe indicar en cuales se realizó esa medida.

Resumiendo, es importante saber interpretar adecuadamente los datos suministrados por el fabricante, de lo contrario pueden aparecer sorpresas desagradables.

Sabemos que la máxima potencia que se puede hacer disipar a un semiconductor sin disipador viene dada por el cociente entre el incremento de la temperatura y la resistencia térmica unión ambiente:

$$P_{dmax} = \frac{T_{jmax} - T_a}{R_{ja}}$$

Donde  $R_{ja}$  es la que nos suministra el fabricante que no incluye  $R_d$ . Cuando se utiliza un disipador, la resistencia térmica se divide en tres parámetros: la resistencia entre la unión y el contenedor ( $R_{jc}$ ), entre el

contenedor y el disipador ( $R_{cd}$ ) y entre el disipador y el ambiente ( $R_d$ ):

$$P_{dmax} = \frac{T_{jmax} - T_a}{R_{jc} + R_{cd} + R_d}$$

---

Este documento es un extracto del libro: "Disipadores de calor para semiconductores de potencia"

de J.D. Aguilar Peña, J. de la Cruz Molina Salido, J. Nieto Pulido y P. López Muñoz

Publicado por la Cámara de Comercio e Industria de Jaén

Este documento es con el permiso de J.D. Aguilar Peña

J. Domingo Aguilar Peña: [jaguilar@ujaen.es](mailto:jaguilar@ujaen.es)

Miguel Ángel Montejo Ráez: [radastan@swin.net](mailto:radastan@swin.net)