



TECNICA
ELECTRONICA

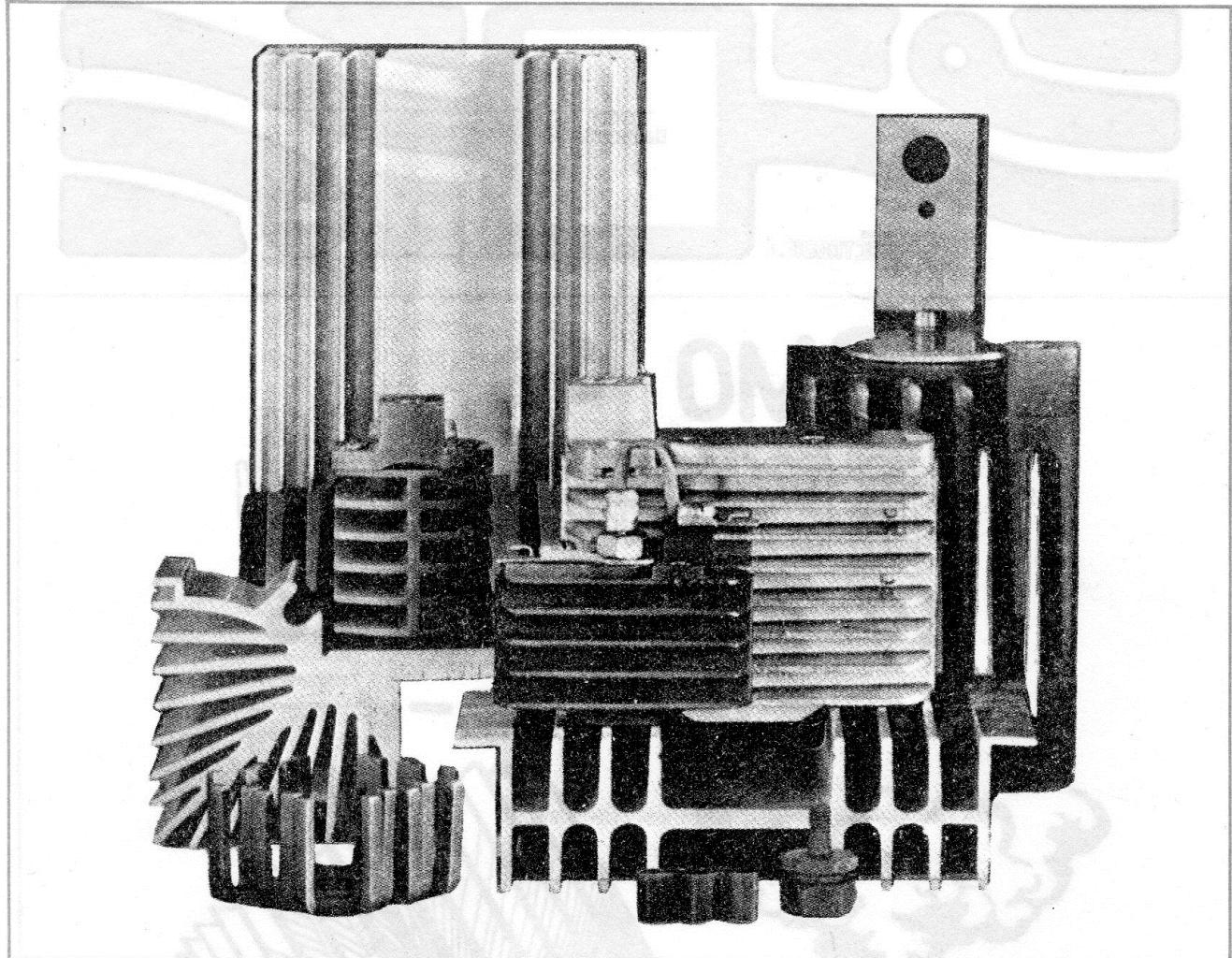
NUEVA
ELECTRONICA

COMO SE REFRIGERAN LOS TRANSISTORES

- 1^a PARTE -



Determinar la superficie de refrigeración más idónea para que un transistor disipe el calor generado es un problema que no todos los lectores saben resolver, ya que la documentación técnica al respecto es escasa y con frecuencia discordante o incomprendible. Por ello hoy trataremos de explicarlos, de modo sencillo y claro, el procedimiento para calcular las exactas dimensiones de una aleta de refrigeración.



DE todos es sabido que cualquier transistor genera calor durante su funcionamiento y que éste debe ser rápidamente disipado a fin de evitar que la temperatura interna llegue al máximo límite permitido, más allá del cual tiene lugar inevitablemente la fusión de la «unión» y la consiguiente destrucción del semiconductor.

Los transistores que trabajan con pequeñas corrientes generan poco calor, por lo cual éste se puede disipar mediante el contenedor, no siendo necesario intervenir desde el exterior.

Por el contrario, en transistores de potencia, sólo el cuerpo metálico del transistor no basta para disipar todo el calor generado y es necesario aplicar externamente algo que «absorba» este calor y facilite la disipación; es decir, hay que aplicarle una aleta de refrigeración de dimensiones adecuadas a la potencia a disipar.

Hemos dicho «una aleta de dimensiones adecuadas» y probablemente ahora os estéis preguntando si existe realmente un **método válido** para determinar con precisión tales dimensiones.

Tal interrogante es más que lógica, por cuanto las fórmulas y consejos que se encuentran acá y allá en los distintos manuales no sólo son difíciles de interpretar, sino que a veces se contradicen entre sí.

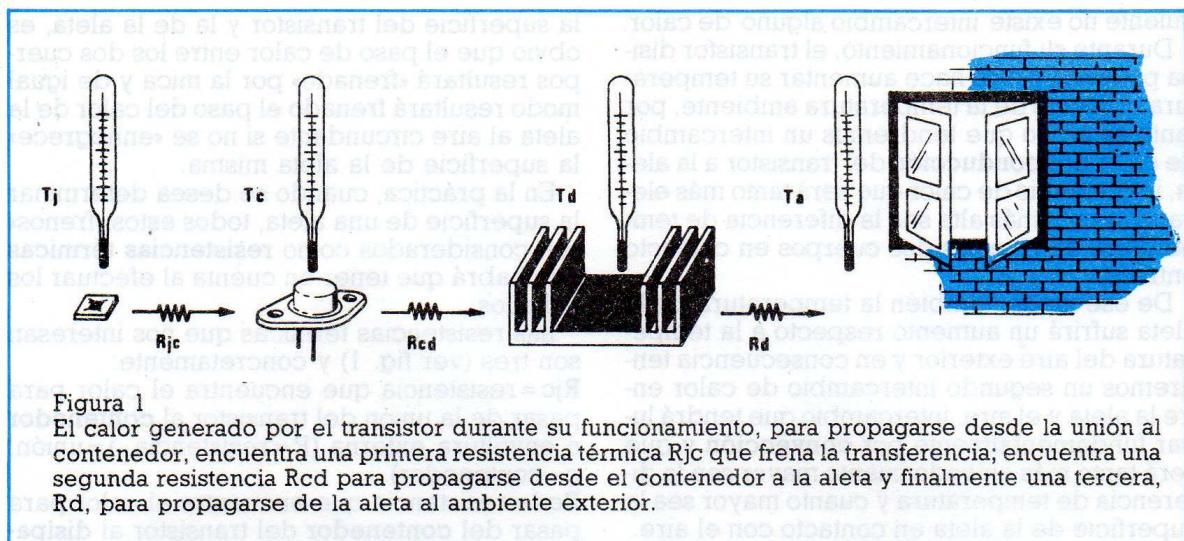
Así ocurre que el lector, tomando al pie de

la letra una de esas fórmulas, efectúe sus cálculos y acabe encontrándose con una aleta mastodóntica allí donde hubiera bastado una de reducidas dimensiones o, viceversa, una aleta diminuta donde era necesaria una enorme, para evitar que el transistor eche humo.

Todo ello como consecuencia de que nadie se ha propuesto hasta ahora explicar el asunto en un lenguaje comprensible aún para los más inexpertos y, sobre todo, porque nadie ha tratado de simplificar las fórmulas, de manera que todo el mundo pueda utilizarlas sin necesidad de ser «genios» matemáticos.

Conociendo todas estas dificultades, hoy hemos decidido disipar no sólo el calor generado por los transistores, sino también todas las dudas existentes respecto a la superficie que debe tener una aleta refrigeradora destinada a un determinado circuito. Así pues, os proporcionamos un texto muy válido y a un tiempo muy fácil de consultar cada vez que tengáis que resolver un problema al respecto.

En otras palabras, leyendo este artículo os daréis cuenta de que calcular la superficie necesaria para una aleta refrigeradora es algo muy sencillo y al alcance de todos y aprenderéis una serie de cosas que tal vez hasta ahora no habíais sospechado; por ejemplo, que, superado un cierto límite, es inútil seguir aumentando la superficie de la aleta porque la disi-



pación permanece inalterada, que a paridad de dimensiones una aleta negra disipa más calor que una blanca, que la «mica» interpuesta entre el cuerpo del transistor y la aleta «frena» el paso del calor, limitando así la disipación, que una aleta radial permite disipar la misma cantidad de calor que una plana el doble de grande...

Propagación del calor

Uno de los principios fundamentales de la Física afirma que en la naturaleza puede darse una entrega espontánea de calor única y exclusivamente de un cuerpo **más caliente** a un cuerpo **menos caliente**, es decir, a temperatura menor que el primero, y que tal intercambio de calor puede ocurrir de tres maneras distintas: por **conducción**, por **convección** o por **irradiación**.

Se habla de **conducción** cuando la propagación del calor tiene lugar en el interior de un cuerpo sólido, por ejemplo un metal, o bien entre dos cuerpos sólidos puestos en contacto directo entre sí, por ejemplo la envoltura del transistor y la aleta sobre la que está sujeto.

Se habla de **convección** cuando la propagación del calor ocurre en el interior de un fluido (aire, agua, aceite, etc.), es decir, cuando se producen desplazamientos de materia debidos a las diferencias de densidad creadas en las distintas zonas de la materia, a causa de las diferencias de temperatura (todos saben, por ejemplo, que el aire caliente tiende a subir hacia arriba porque es más ligero que el aire frío).

Por último, se habla de **irradiación** cuando el intercambio de calor tiene lugar entre dos cuerpos sólidos situados a una cierta distancia uno de otro, incluso si entre esos dos cuerpos existe el vacío (por ejemplo, el sol y la tierra).

Este último intercambio depende en gran medida del color y de la forma de las dos superficies situadas una frente a otra (por ejemplo, una

superficie negra y opaca consigue intercambiar mucho más calor por irradiación que una superficie blanca y brillante).

Hemos dicho que la propagación del calor se da espontáneamente de un cuerpo a temperatura **más elevada** a otro de temperatura **más baja**; dado que si un cuerpo cede calor su temperatura tiende a bajar, mientras la temperatura del cuerpo que recibe este calor tiende a subir, podemos afirmar que el intercambio de calor entre estos dos cuerpos finalizará en un determinado momento, y concretamente cuando las dos temperaturas resulten idénticas.

Ello debe llevarnos a entender algo mucho más importante: que dos cuerpos a distinta temperatura se intercambian tanto más calor cuanto mayor sea la diferencia de temperatura existente entre ellos. En efecto, cuando las dos temperaturas se «aproximan» una a la otra, el intercambio de calor resulta mínimo.

Por ejemplo, si tomamos un trozo de metal calentado a 200 grados y lo sumergimos en un recipiente con agua fría, el metal transferirá su calor al agua de manera muy rápida al principio, luego en cantidad cada vez menor hasta que, alcanzada la igualdad de las dos temperaturas, el intercambio cesará.

De nuevo repetimos que el intercambio de calor finaliza automáticamente cuando se igualan las temperaturas de los dos cuerpos en contacto y ello, en el ejemplo anterior, puede ocurrir indistintamente a 30, 60, 75, 90 grados, ya que el nivel de temperatura final depende de una infinidad de factores (volumen del metal, volumen del agua, temperatura inicial del agua, etc.), que obviamente no se pueden prever en una descripción teórica.

En el caso de un transistor, que es el que mayormente nos interesa, tenemos el transistor aplicado en la aleta refrigeradora y ésta en contacto con el aire.

Inicialmente tanto el transistor como la aleta se encuentran a la misma **temperatura del ambiente externo**, es decir del aire, por consi-

guiente no existe intercambio alguno de calor.

Durante su funcionamiento, el transistor disipa potencia y esto hace aumentar su temperatura respecto de la temperatura ambiente, por tanto es obvio que tendremos un intercambio de calor por **conducción** del transistor a la aleta, intercambio de calor que será tanto más elevado cuanto más alta sea la diferencia de temperatura entre estos dos cuerpos en contacto entre sí.

De ese modo, también la temperatura de la aleta sufrirá un aumento respecto a la temperatura del aire exterior y en consecuencia tendremos un segundo intercambio de calor entre la aleta y el aire, intercambio que tendrá lugar fundamentalmente por **convección** y que será tanto más elevado cuanto mayor sea la diferencia de temperatura y cuanto mayor sea la superficie de la aleta en contacto con el aire.

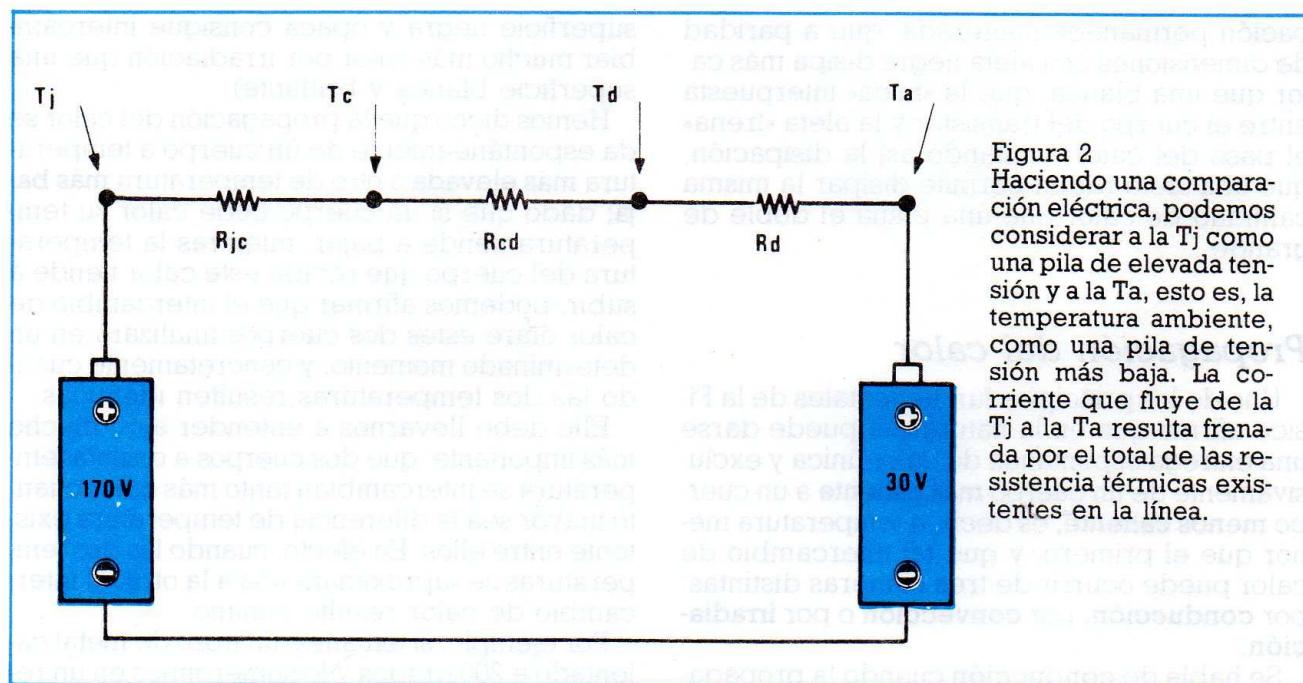
la superficie del transistor y la de la aleta, es obvio que el paso de calor entre los dos cuerpos resultará «frenado» por la mica y de igual modo resultará frenado el paso del calor de la aleta al aire circundante si no se «ennegrece» la superficie de la aleta misma.

En la práctica, cuando se desea determinar la superficie de una aleta, todos estos «frenos» son considerados como **resistencias térmicas** que habrá que tener en cuenta al efectuar los cálculos.

Las resistencias térmicas que nos interesan son tres (ver fig. 1) y concretamente:

R_{jc} = resistencia que encuentra el calor para pasar de la unión del transistor al **contenedor** o envoltura externa (R = resistencia, j = unión, c = contenedor).

R_{cd} = resistencia que encuentra el calor para pasar del **contenedor** del transistor al **disipador**.



Igualmente es obvio que si a través de las laminillas de la aleta circula aire frío, la aleta logrará intercambiar con el exterior una mayor cantidad de calor y dado que este calor se toma del transistor, también este último se refrigerará en mayor medida.

Por el contrario, si la aleta se sitúa en el interior de un mueble cerrado, se producirá el intercambio de calor sólo con el aire recluido en la caja y por consiguiente tal intercambio será mínimo, ya que la temperatura del aire circundante tenderá a subir rápidamente, reduciendo cada vez más las posibilidades de intercambio desde el momento en que se reduce el salto térmico entre aleta y ambiente exterior.

Finalmente recordaremos que no todos los cuerpos dejan pasar el calor con la misma facilidad (por ejemplo, los materiales aislantes presentan, por lo general, una conductividad térmica inferior respecto de los metales); por tanto, si interponemos una mica aislante entre

dor, es decir, a la aleta refrigeradora (R = resistencia, c = contenedor, d = dissipador o aleta).

R_d = resistencia que encuentra el calor para pasar del **dissipador** al **ambiente externo** (R = resistencia, d = dissipador).

Obviamente, cuanto más altas son estas resistencias, mayor será la dificultad del calor para transferirse de la unión del transistor a la aleta y de ésta al aire exterior. De todos modos, para mejor comprender este argumento, nos serviremos de una analogía eléctrica aprovechando la ley de Ohm (ver fig. 2).

En esta analogía consideraremos las temperaturas como tensiones, las resistencias térmicas como resistencias óhmicas y el flujo de calor como una corriente eléctrica. Suponiendo entonces que la temperatura del transistor es de 170 grados y la temperatura ambiente de 30 grados, tendremos que V_1 es igual a 170 volt. y V_2 igual a 30 volt.

Con estos valores, veamos cuál será la co-

rriente (es decir, el flujo de calor) que lograremos obtener suponiendo que:

Rjc 1 ohm. Rcd=5 ohm. Rd=3 ohm.

Pues bien, resultando la diferencia de tensión entre los dos extremos igual a:

$$170 - 30 = 140 \text{ volt.}$$

y la resistencia total igual a:

$$1+5+3=9 \text{ ohm.}$$

es obvio que la corriente que fluirá por las resistencias será de:

$$\text{volt. : ohm.} = 140 : 9 = 15,5 \text{ amperios.}$$

Si en cambio lográsemos reducir de algún modo la resistencia térmica Rcd a 2 ohm., por ejemplo, la corriente obtenida sería de:

$$140 : (1+2+3)=23,3 \text{ amperios,}$$

es decir, tendríamos una corriente (en la práctica un flujo de calor) mucho mayor que en el caso precedente y el transistor podría refrigerarse mucho mejor. De modo análogo se puede demostrar que cuanto más elevada sea la temperatura ambiente, menor será el intercambio de calor; en efecto, suponiendo que la temperatura ambiente sea de 70 grados en lugar de 30 grados, con los datos del último ejemplo obtendríamos:

$$170 - 70 = 100 \text{ volt.}$$

$$100 : (1+2+3)=16,6 \text{ amperios,}$$

esto es, una corriente más baja respecto a los 23,3 amperios precedentes.

En la práctica, para calcular la superficie exacta de una aleta refrigeradora, será necesario conocer, además de los valores de **Rjc**, **Rcd**, **Rd**, también el valor de la temperatura máxima que puede alcanzar la unión del transistor sin averiarse.

Este valor, que obviamente representa un límite máximo al que no es conveniente llegar si no se quiere arriesgar el transistor, se indicará en nuestras fórmulas con el símbolo **T_j**, donde T alude a «temperatura» y ja «unión», o «junction» en inglés.

Una analogía hidráulica

Si lo dicho hasta ahora no ha resultado suficientemente comprensible, utilizaremos otra analogía para tratar de hacer más asimilables aquellos parámetros que deberán utilizarse a la hora de calcular las aletas.

Dicha analogía puede hacer sonreír a algún experto ingeniero acostumbrado a resolver los problemas utilizando única y exclusivamente fórmulas, pero no nos preocupan las críticas que pueda suscitar tan sencillo ejemplo, ya que sólo nos interesa que todos comprendáis la importancia que asume una **resistencia térmica** en el proceso de refrigeración de un transistor.

La analogía que nos ha parecido más idónea para clarificar el problema, está basada en el principio de los «vasos comunicantes».

Todos sabemos que tomando dos recipientes cualquiera conectados entre sí y llenando de líquido el primero, al final el nivel de líquido

del segundo contenedor resultará exactamente igual al del primero.

Supongamos ahora que nuestro transistor es un contenedor cilíndrico capaz de contener agua hasta una altura de 150 cm. y consideremos dicha altura como la **temperatura máxima** que puede alcanzar la unión del transistor sin averiarse. Supongamos también que la **potencia a disipar** en wats. es un cilindro de corcho o de polistireno, que flota completamente sobre el agua del contenedor y cuyo extremo no puede sobresalir del contenedor a menos que el transistor se desintegre. La altura de este cilindro de corcho representa a los **wats. disipados**, por consiguiente cuanto más alto sea el cilindro que logremos insertar en el contenedor, mayor será la potencia que el transistor puede disipar.

Un cilindro de **2 cm.** de alto es equivalente a **2 wat.**, uno de **50 cm.** de alto equivale a **50 wat.** y uno de **100 cm.** de alto equivale a **100 wat.**

Consideremos las «resistencias térmicas» como la altura a la cual resultaba aplicado en el contenedor el tubo de descarga del agua o bien el tubo de conexión con el segundo contenedor. Cuanto más alto es el valor de la resistencia térmica, a mayor altura desde la base tendremos que colocar el tubo de descarga o de conexión (ver fig. 3).

En condiciones normales de funcionamiento, es decir, cuando no se aplica al transistor ninguna aleta de refrigeración, sus posibilidades de disipar el calor están muy limitadas ya que la resistencia térmica entre el cuerpo del transistor y el ambiente externo es elevada (ver tabla 1), por consiguiente es como si el tubo de descarga del contenedor estuviese situado muy arriba (ver fig. 4).

En estas condiciones es obvio que podremos disipar una potencia de 2 wat. (efectivamente, el cilindro de corcho de 2 cm. de alto flota sin sobresalir del contenedor); pero si quisieramos hacer que el transistor disipe 10-20-30 wat., lógicamente tendríamos que disminuir proporcionalmente el nivel del agua para dejar libre el espacio requerido por el cilindro de corcho, que en este caso resulta más largo, y para ello la única solución consiste en situar más abajo el tubo de descarga, es decir, en reducir la resistencia térmica del transistor. Llegados a este punto, queremos precisar que la resistencia térmica de un transistor **se disminuye** notablemente cuando aplicamos en su cuerpo una aleta de refrigeración, como veremos más adelante. Por tanto, si aplicamos una aleta a nuestro transistor, la altura del tubo de descarga disminuirá sensiblemente (ver fig. 5), es decir, éste se encontrará situado mucho más cerca de la base que en el ejemplo precedente.

El agua que irá a parar al segundo contenedor, que representa a la **aleta**, podrá salir a su vez a través de un tubo de descarga situado a una altura de la base proporcional a la resis-

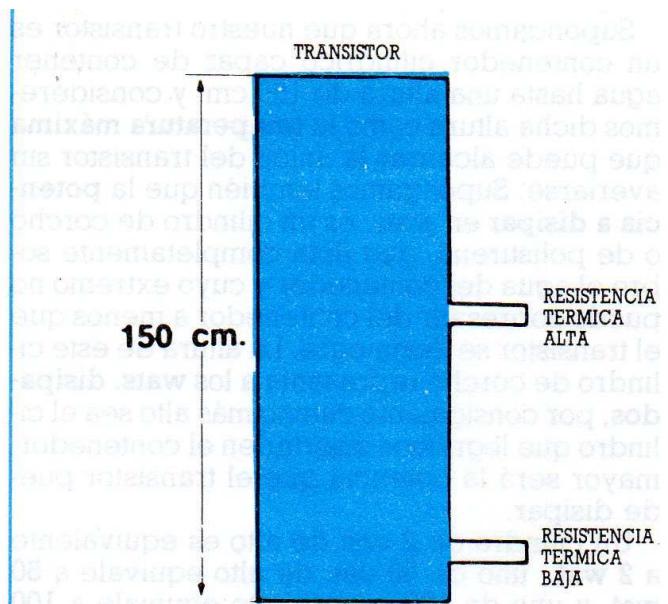


Figura 3
Haciendo un símil hidráulico, el transistor puede ser considerado como un cilindro lleno de agua y dotado de un desagüe lateral y la potencia a disipar como un cilindro de corcho a introducir en el interior de tal contenedor. Cuanto más potencia queramos hacer disipar al transistor, más agua tendremos que retirar del cilindro y para ello es necesario aplicar el tubo de descarga lo más bajo posible.

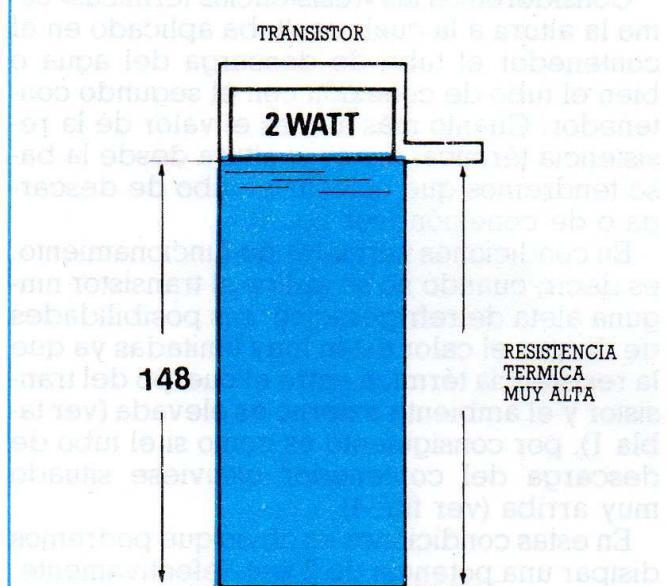


Figura 4
Si las resistencias térmicas totales son muy elevadas, como en el caso de la figura, en el interior del cilindro podremos introducir como máximo un corcho de 2 cm. de alto (2 wat.), ya que uno de mayor altura no conseguiría entrar.

Utilizando una aleta de refrigeración, la resistencia térmica entre la unión y el ambiente exterior se reduce considerablemente.

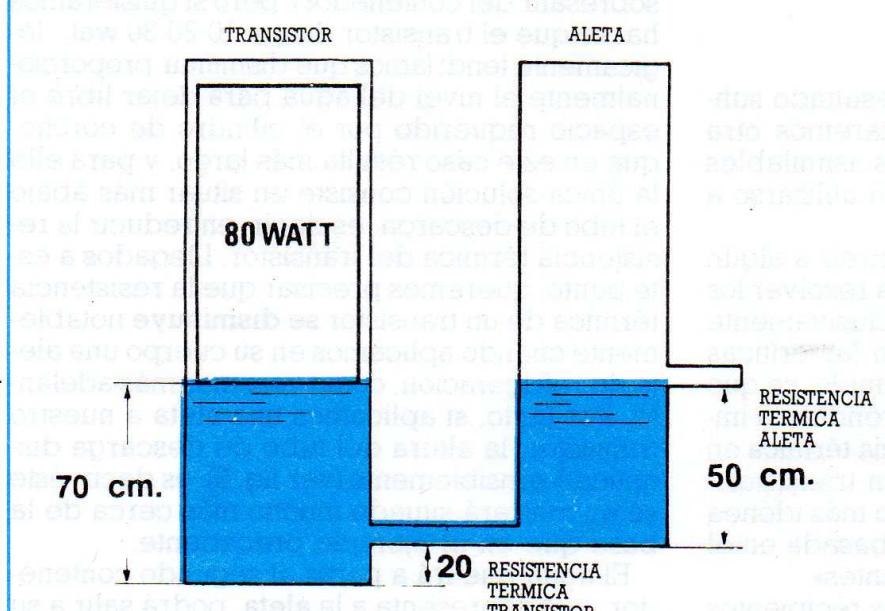


Figura 5
Queriendo hacer disipar al transistor una potencia de 80 wat. (corcho de 80 cm. de alto), habrá que hacerlo de manera que el nivel de agua baje a 70 cm. y ello se logra utilizando una aleta de refrigeración con una resistencia térmica de 50 cm. que añadida a la resistencia térmica del transistor, igual a 20 cm. proporciona precisamente un total de $50 + 20 = 70$ cm.

TRANSISTORES

tencia térmica entre el cuerpo de la aleta misma y el ambiente.

En nuestro ejemplo hemos considerado la resistencia térmica entre el cuerpo del transistor y la aleta igual a 20 cm. (ver altura desde tierra del tubo de conexión entre los dos recipientes), y la resistencia térmica de la aleta (ver altura del tubo de descarga desde la base del segundo contenedor), igual a 50 cm.

Por tanto en la práctica tenemos una descarga total de $20+50=70$ cm. de alta; por consiguiente es obvio que dentro del transistor —esto es, dentro del contenedor principal—, no podremos bajar nunca por debajo de este nivel, lo que quiere decir que dentro de este primer contenedor podremos introducir como máximo un corcho de $150-70=80$ cm. de largo.

Notaréis que la suma de las alturas de los tubos de descarga resulta en este caso más baja respecto a la de la fig. 4 (esto es, el transistor sin aleta), por tanto el nivel del líquido puede bajarse en mayor medida y en consecuencia podremos introducir un cilindro de corcho más alto. En la práctica, esto significa que el transistor dotado de aleta puede disipar una potencia mayor que si no la tuviera.

De otro lado resulta obvio que los dos únicos parámetros sobre los que podemos jugar para permitir que el transistor disipe una potencia mayor, son la resistencia térmica **contenedor-disipador Rcd** y la resistencia **dissipador-ambiente Rd**. Es decir, para hacer que el transistor disipe una potencia mayor, tendremos que tratar de disminuir la altura de estos dos tubos de manera que logremos bajar en mayor medida el nivel del agua en el contenedor principal, que representa a la unión.

En efecto, si aplicásemos al transistor una aleta con una resistencia térmica más baja, por ejemplo de 30 cm. en lugar de 50 (ver fig. 7), lograriamos introducir en el contenedor principal un cilindro de corcho de 100 cm. de largo, por tanto el transistor podría disipar una potencia de 100 wats.

En resumen, cuanto más elevada sea la potencia que queremos hacer disipar al transistor, mayor será la cantidad de agua que tendremos que expulsar del contenedor principal y para ello habrá que reducir el valor de las «resistencias térmicas».

Estas reducciones se obtienen adoptando aletas más grandes, eliminando la eventual mica interpuesta entre transistor y aleta, apretando bien los tornillos de sujeción y extendiendo pasta de silicona entre el transistor y la aleta para favorecer la transferencia de calor entre una y otra superficie.

Nota: En esta analogía hemos ignorado a propósito la resistencia térmica unión-contenedor **Rjc**, por cuanto ésta es un valor constante suministrado por la casa fabricante y sobre el cual no se puede actuar para modificarlo, por tanto sólo habríamos complicado inútilmente la representación gráfica.

Los términos del problema

En la práctica, el problema de la disipación del calor generado por un transistor durante su funcionamiento se puede representar esquemáticamente como en la fig. 1, en la cual hemos indicado por separado todos los términos que intervienen en el cálculo.

A la izquierda de este dibujo tenemos la «unión» que, al disipar potencia, genera un calor que debe ser liberado necesariamente y ello se obtiene haciendo de modo que dicho calor pueda propagarse lo más rápidamente posible, en primer lugar al contenedor, luego a la aleta y finalmente al ambiente exterior.

Para pasar de la unión al contenedor, el calor encuentra una primera resistencia, indicada como **Rjc**; luego halla una segunda resistencia, indicada como **Rcd**, para pasar del contenedor a la aleta y por último una tercera resistencia, indicada como **Rd**, para propagarse en el aire.

Todo este fenómeno se puede estudiar en la práctica con fórmulas muy similares a las utilizadas para estudiar los circuitos eléctricos. Aun así, antes de presentaros estas fórmulas, queremos enumerar los símbolos que en ellas aparecen, explicando uno por uno a qué se refieren en la práctica.

Estos símbolos son:

Wat = potencia que queremos hacer disipar al transistor.

Wat máx = potencia máxima que el transistor puede disipar con una temperatura del contenedor igual a 25 grados.

T_j = temperatura alcanzada por la unión del transistor durante su funcionamiento.

T_{j máx} = temperatura máxima que puede soportar la unión del transistor sin fundirse.

Rjc = resistencia unión-contenedor del transistor.

Rcd = resistencia contenedor-aleta refrigeradora.

Rd = resistencia térmica de la aleta.

Rdv = resistencia térmica de la aleta, con ventilador.

F = factor de corrección si se utiliza un ventilador.

K = factor de corrección para fijar el valor de la **T_j** conociendo la **T_{j máx}**.

T_c = temperatura del cuerpo del transistor.

T_d = temperatura de la aleta de refrigeración.

T_a = temperatura ambiente.

Las siglas apenas enunciadas son fáciles de recordar, por cuanto hemos tratado de presentarlas de modo que resulten memorísticamente muy asimilables.

Por ejemplo, la letra **T** indica siempre una **temperatura** y la letra minúscula que sigue, al objeto a que se refiere esta temperatura; es de-

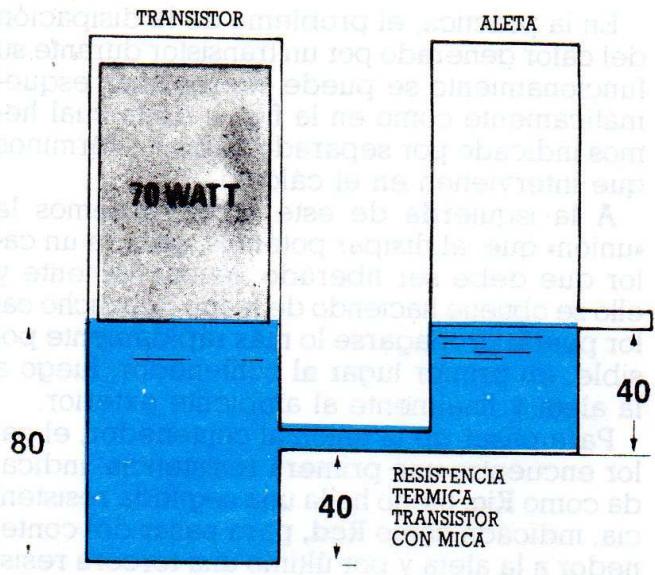


Figura 7

Por tanto, si deseamos tomar la máxima potencia del transistor, en primer lugar tendremos que tratar de reducir la resistencia térmica transistor-aleta, retirando la mica y extendiendo pasta de silicona entre las dos superficies en contacto. Además tendremos que adoptar una aleta con una resistencia térmica lo más baja posible, de manera de hacer descender ulteriormente el nivel del líquido para poder introducir en el contenedor un cilindro más largo.

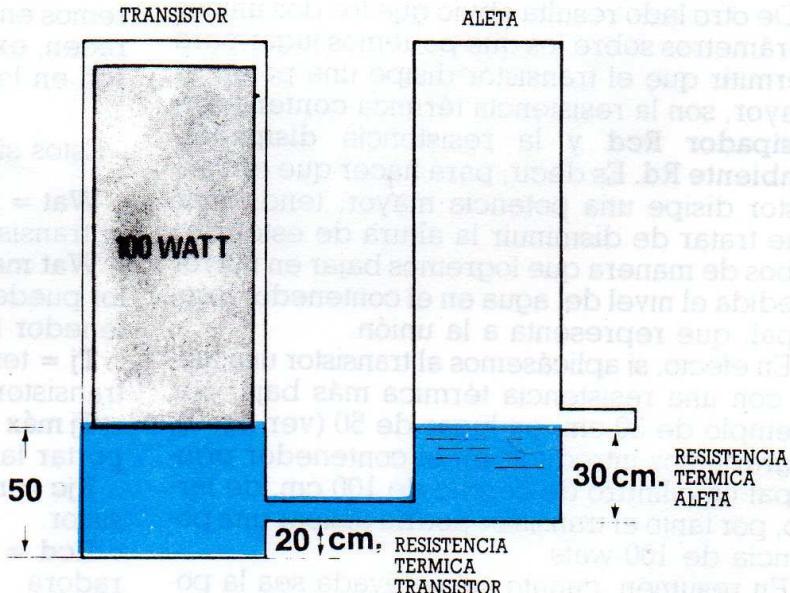


Figura 6
 Recordamos al lector que interponiendo una mica aislante entre transistor y aleta, aumenta la resistencia térmica R_{cd} . Por consiguiente, incluso aplicando al transistor una aleta con una resistencia térmica más baja —40 cm. contra los 50 precedentes— siempre disiparemos una potencia menor (70 wat. en vez de 80). En efecto, en este caso la resistencia de la mica añadida a la de la aleta no nos permite disminuir el nivel del líquido por debajo de los 80 cm.

La temperatura de unión T_j máx

Por lo general este dato nos lo proporcionan los manuales en correspondencia con cada tipo de transistor y suele indicarse como T_j o $T_{j\max}$.

Sin embargo, en ocasiones, en lugar de la temperatura de unión se nos da la «**operating temperature range**» (por ejemplo, si se lee «operating temperature range = $-65 + 200^{\circ}\text{C}$ », significa que el transistor se ha fabricado para funcionar en una temperatura mínima de -65° a un máximo de 200°C).

En caso de que no se os suministre la T_j máxima, os aconsejamos adoptar los siguientes valores:

T_j máx = 135° C para los transistores de silicio.

T_j max = 90° C para los transistores de germanio, que seguramente son inferiores al valor real pero por motivos de seguridad es conveniente considerarlos más bajos, para tener la certeza de que el transistor no se averiará.

La temperatura de unión T_j

Como ya hemos mencionado, los manuales reproducen la **T_j máx**, es decir, el límite superior de temperatura que nunca deberemos hacer traspasar a la unión del transistor si queremos evitar su inmediata destrucción.

En cambio la **T_j**, esto es, la temperatura efectiva que alcanzará la unión durante el funcionamiento, no se encuentra en los manuales por cuanto es obvio que dependerá del modo en que refrigeraremos el transistor y la potencia que le hagamos disipar.

Desde ahora os anticipamos que para calcular la superficie de aleta necesaria para la refrigeración, tendremos que partir fijando a priori el valor que deseamos asumir la **T_j**. ¿Pero cómo determinamos ese valor?

Pues bien, no existe un método matemático, pero podemos recomendaros un sistema práctico que os permitirá alcanzar el objetivo en cada caso, con resultados más que válidos.

Dicho método consiste en efectuar:

$$T_j = T_{j \text{ máx}} \times K$$

donde K es un factor multiplicativo que puede asumir los siguientes valores:

K = 0,5 si deseamos que el transistor permanezca «poco caliente» o bien si recluimos la aleta en un contenedor con poca circulación de aire, en ese caso tendremos necesidad de una aleta de dimensiones mayores de lo normal.

K = 0,6 si deseamos economizar en las dimensiones de la aleta sin preocuparnos de que el transistor se caliente.

K = 0,7 en los casos en que haya necesidad de tomar del transistor la máxima potencia, a condición de que la aleta se coloque exteriormente, en posición donde exista libre circulación de aire.

Suponiendo, por ejemplo, que tenemos un transistor de 70 wats. con una **T_j máx** igual a 200° C y que queremos hacerle disipar 20 wat.—es decir, menos de la mitad de los 70 wat. para los que está preparado—, podremos poner:

$$T_j = T_{j \text{ máx}} \times 0,5 = 200 \times 0,5 = 100^\circ \text{C}.$$

De ese modo lograremos calcular una aleta que se calienta poco durante el funcionamiento, es decir, que se puede tocar con un dedo sin quemarse. De otro lado, si a alguien no le interesa la temperatura que alcanza la aleta, si no economizar en la superficie de esta última, siempre podrá adoptar un **K = 0,6** o bien un **K = 0,7** en el cálculo de la **T_j** con la certeza de mantener un buen margen de seguridad, como demostraríamos más adelante con ejemplos

concretos. Desaconsejamos en cambio adoptar para K valores superiores al 0,7, porque en ese caso, si la potencia es elevada y se efectúan mal los cálculos de las resistencias térmicas, o bien si se coloca el circuito en un ambiente a temperatura más elevada que la reflejada en los cálculos, se puede correr el riesgo de «quemar» la unión.

De modo análogo, tampoco es aconsejable adoptar un K inferior a 0,5 porque en ese caso, si la potencia a disipar es un poco alta, podemos encontrarnos con que tenemos que adoptar una aleta mastodóntica cuando en la práctica basta con una mucho más pequeña.

En cualquier caso, todo lo explicado hasta ahora quedará más claro con los ejemplos que pondremos al final del artículo.

La resistencia unión-contenedor R_{jc}

Este valor de resistencia viene dado, por lo general, en los manuales. Aun así, en el supuesto de que no consigamos averiguarlo, ¿cómo podríamos obtenerlo?

Si conocemos la **potencia máxima disipable por el transistor** (a no confundir con la potencia de trabajo) y la **temperatura máxima de unión**, podremos obtener este dato con la siguiente fórmula:

$$R_{jc} = (T_{j \text{ máx}} - 25) : W_{at \text{ máx.}}$$

Si ahora tomamos de un manual los datos correspondientes a un 2N3055, recogeremos lo siguiente:

$$W_{at \text{ máx.}} = 115 \text{ wat.}$$

$$T_{j \text{ máx.}} = 200^\circ \text{C.}$$

Pues bien, sustituyendo estos valores en la fórmula precedente, se obtiene:

$R_{jc} = (200 - 25) : 115 = 1.52^\circ \text{C/W,}$ y ésta es precisamente la **R_{jc}** indicada en los manuales para el 2N3055.

De cualquier modo, para que también puedan calcular sus propias aletas refrigeradoras quienes no disponen de manuales, hemos reproducido en la tabla 1 valores indicativos de la **R_{jc}** para cada tipo de contenedor, dejando expresamente un cierto margen de seguridad de modo que del cálculo se obtenga una aleta más grande, nunca más pequeña.

La resistencia contenedor-disipador R_{cd}

Dicha resistencia es la que encuentra el calor para propagarse del contenedor del transistor a la aleta de refrigeración, es decir, al dissipador.

Los manuales no reflejan nunca este dato, pero nosotros lo podremos obtener igualmente en la tabla 2, en la cual hemos indicado los valores que asume esta resistencia en base al tipo de contenedor, en las cuatro posibles condiciones que se dan en la práctica:

1. con el metal del contenedor del transistor

directamente apoyado en la aleta de refrigeración, sin interponer mica aislante ni pasta de silicona;

2. con el cuerpo del transistor apoyado en la aleta, sin utilizar mica pero sí pasta de silicona;
3. con mica aislante y sin pasta de silicona;
4. con mica aislante y pasta de silicona.

El valor de esta resistencia térmica notablemente en el cálculo de la superficie de que debe disponer la aleta que aplicaremos al transistor. En efecto, como veremos a continuación, cuanto más baja es la **R_{cd}**, menor será la superficie de aleta requerida.

La resistencia térmica del disipador **R_d**

Esta es, en la práctica, la incógnita principal de nuestro problema, ya que en base a la **R_d** que obtengamos de los cálculos elegiremos luego el tipo de aleta a adoptar.

La fórmula que nos permite determinar la resistencia térmica de que deben disponer la aleta refrigeradora a aplicar al transistor, es la siguiente:

$$R_d = (T_j - T_a) : \text{wats.} - (R_{jc} + R_{cd})$$

Supongamos ahora que tenemos un transistor 2N3055 y que queremos hacerle disipar una potencia de 20 wat.

Deseamos calcular la resistencia térmica de que debe disponer la aleta sin interponer mica, o bien interponiendo mica.

Sabemos ya los siguientes datos de este transistor:

$$\text{Wat máx} = 115$$

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

$$R_{jc} = 1,52^\circ \text{ C/W}$$

El contenedor es un TO.3, así pues de la tabla 2 obtendremos:

$$R_{cd} = 0,25^\circ \text{ C/W sin mica.}$$

$$R_{cd} = 0,8^\circ \text{ C/W con mica.}$$

Respecto a **T_j**, a título indicativo podremos utilizar el factor de corrección **K** intermedio, es decir, 0,6. Por consiguiente:

$$T_j = T_j \text{ máx} \times 0,6 = 200 \times 0,6 = 120^\circ$$

En la práctica, estos 120° son los que nosotros queremos que alcancen la unión durante el funcionamiento. Finalmente pondremos que la temperatura ambiente **T_a** es igual a 25° C, porque aunque ésta fuera más elevada, ya hemos tomado precauciones al adoptar el factor multiplicativo **K** para la **T_j** y no correremos riesgo alguno de quemar la unión.

Ya en posesión de todos estos datos, podemos calcular la **R_d** que, si no interponemos mica entre el transistor y la aleta, será de:

$$R_d = (120 - 25) : 20 - (1,52 + 0,25) = 2,98^\circ \text{ C/W.}$$

Si utilizamos la mica, obtendremos en cambio:

$$R_d = (120 - 25) : 20 - (1,52 + 0,8) = 2,43^\circ \text{ C/W.}$$

La potencia máxima disipable por el transistor

Respecto a la potencia máxima disipable por un transistor, es necesario hacer unas pequeñas aclaraciones, ya que de otro modo se correría el riesgo de cometer errores de bulto.

Supongamos, por ejemplo, que hemos tomado de un manual las siguientes características:

$$\text{potencia máxima disipable} = 115 \text{ wat.}$$

$$\text{resistencia térmica unión-contenedor} = 1,5^\circ \text{ C/W.}$$

$$\text{temperatura máx. de unión} = 200^\circ$$

Ahora algunos podrían sacar la conclusión de que se puede hacer disipar a dicho transistor una potencia de 90 wat. sin aleta, por cuanto se mantiene aún un buen margen de seguridad. Sin embargo, ello sería un grave error. En efecto, si comprobamos detenidamente las características, veremos que efectivamente confirman los 115 wat., pero con una **temperatura del contenedor de 25° C**, esto es, una situación prácticamente imposible de obtener, como se puede fácilmente demostrar con un ejemplo.

En efecto, si miramos la tabla 1, que reseña las resistencias térmicas unión-ambiente (sin aleta) para cada tipo de contenedor, veremos que la del 2N3055 (contenedor TO.3) es de 30-40° C/W.

Pues bien, incluso tomando el valor más bajo —es decir, 30° C/W—, y sustituyéndolo en la fórmula que nos proporciona la potencia disipable por el transistor, esto es:

$$\text{Wat.} = (T_j - T_a) : R_{ja}$$

donde **R_{ja}** es precisamente la resistencia térmica unión-ambiente y asumiendo para **T_a** el valor más bajo posible, por ejemplo 20 grados, obtendremos:

$$\text{wat.} = (200 - 20) : 30 = 6.$$

Y no sólo eso, sino que ni siquiera es posible hacer disipar al transistor sin aleta los 6 wat. obtenidos de estos cálculos, porque hay que tener en cuenta que nuestra hipótesis contaba con una temperatura de unión de 200° a una temperatura ambiente de 20°.

Ahora bien, si la temperatura ambiente aumentase 2°, también la temperatura de unión se elevará 2°; es decir, subiría a 202° y ello podría tener como consecuencia la inmediata destrucción del transistor.

Llegados a este punto, sería interesante ver cuántos de esos 115 wat. declarados es posible, en la práctica, hacer disipar al transistor en un ambiente normal, en que la temperatura se aproxime, por ejemplo, a 30° y aplicándole una aleta de refrigeración mastodóntica con una **R_d** igual a 0,6° C/W.

Para ello utilizaremos la fórmula:

$$\text{Wat. máx} = (T_j \text{ máx} - T_a) : (R_{jc} + R_{cd} + R_d),$$

sustituyendo en dicha fórmula los valores obtenidos en el manual para el 2N3055, es decir:

TRANSISTORES

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

$$T_j \text{ máx} = 200^\circ$$

y añadiendo además:

$$Ta = 30^\circ$$

$$R_{CD} = 0,12^\circ C/W$$

$$Rd = 0,6^\circ C/W$$

donde para R_{CD} y Rd se han utilizado los valores más bajos posibles.

De ese modo obtendremos:

$$(200 - 30) : (1,5 + 0,12 + 0,6) = 76,5 \text{ wat. máx.}$$

es decir, un valor considerablemente más bajo de lo que a primera vista se hubiera podido pensar observando las características del transistor.

Pero no basta, ya que lo que hemos calculado es aún un valor máximo, del cual conviene mantenerse distante si no se quiere correr el riesgo de quemar la unión.

Para darse cuenta de esto basta hacer notar que en la fórmula precedente hemos utilizado como temperatura de la unión T_j el valor de 200° , esto es, el **valor máximo permitido**. Por consiguiente, si extendiésemos mal la pasta de silicona o no apretásemos perfectamente las tuercas de sujeción del transistor a la aleta o no situásemos correctamente la aleta, el leve aumento de la R_{CD} y la Rd que se produciría sería suficiente para que la T_j superase este límite superior, con las obvias consecuencias.

Supongamos, por ejemplo, que la R_{CD} pasa de $0,12$ a $0,15$ (un aumento que parece intrascendente) y que la Rd es de $0,65$ en lugar de $0,6$ y utilizando la fórmula:

$$T_j = \text{Wat.} \times (R_{JC} + R_{CD} + Rd) + Ta,$$

veamos cuánto sube la temperatura de la unión:

$$T_j = 76,5 \times (1,5 + 0,15 + 0,65) + 30 = 205,9^\circ.$$

Y no sólo eso, sino que aun admitiendo que los valores de R_{CD} y Rd utilizados sean exactos, bastaría un mínimo aumento de la temperatura ambiente —debido por ejemplo a un estancamiento de aire—, para llegar al mismo resultado, es decir, a **quemar la unión**.

¿Cómo se determina entonces la potencia máxima que se puede hacer disipar al transistor sin correr riesgos?

Pues bien, nosotros podemos aconsejaros un método práctico muy eficaz, que consiste en disminuir artificialmente la T_j máxima multiplicándola por el **factor corrector 0,7**, que es el más alto de los tres anteriormente indicados.

Haciéndolo así, obtendremos para nuestro 2N3055:

$$T_j \text{ máx} = 200 \times 0,7 = 140^\circ C.$$

En consecuencia, la potencia máxima disipable será de:

$$(140 - 30) : (1,5 + 0,12 + 0,6) = 49,5 \text{ wat.}$$

Así pues, con el 2N3055, aplicándolo directamente a la aleta, con pasta de silicona y utilizando una aleta con una resistencia térmica muy baja (esto es, igual a $0,6^\circ C/W$), podremos

disipar como máximo **49-50 wat.**, porque sobrepasando este límite corremos el riesgo de hacer superar a la unión la temperatura límite de $200^\circ C$.

Dicha potencia se reduce aún más si interponemos una mica aislante entre el transistor y la aleta sin extender pasta de silicona (en este caso, para un contenedor TO.3, vemos en la tabla 2 que $R_{CD} = 0,8^\circ C/W$) y si utilizamos una aleta que tenga, por ejemplo, una resistencia térmica de $2^\circ C/W$.

En efecto, sustituyendo estos valores en la fórmula que nos proporciona los **wat. máx**, manteniendo $Ta = 30^\circ$ y $Tj = 140^\circ$, obtendríamos:

$$\text{Wat máx} = (140 - 30) : (1,5 + 0,8 + 2) = 25,5 \text{ wat.}$$

La temperatura del contenedor T_c

Este dato no se suministra en los manuales, ya que depende de la potencia disipada y de la resistencia térmica de la aleta de refrigeración, así como de la temperatura ambiente. Por tanto sólo podremos calcularla una vez que conocamos todos estos datos, utilizando la fórmula:

$$T_c = \text{Wat.} \times (R_{CD} + Rd) + Ta.$$

Por ejemplo, suponiendo que de los cálculos hemos obtenido los siguientes datos:

$$\text{Wat.} = 20$$

$$R_{CD} = 0,25^\circ C/W \text{ (sin mica)}$$

$$Rd = 2,98^\circ C/W \text{ (sin mica)}$$

$$Ta = 25^\circ,$$

obtendremos:

$$T_c = 20 \times (0,25 + 2,98) + 25 = 89^\circ.$$

Nota: La temperatura efectiva del contenedor puede, en la práctica, desplazarse algún grado de este valor en caso de que la temperatura ambiente resulte ligeramente más baja o más alta de los 25 grados indicados por nosotros. Así pues, no os asombréis si al aplicar un termómetro sobre la envoltura del transistor encontráis una temperatura de, por ejemplo, 92 grados o bien de 84 grados, ya que ello entra dentro de los límites de la normalidad.

La temperatura de la aleta T_d

Tampoco este dato se encuentra en los manuales, pero se puede obtener conociendo la potencia disipada, la resistencia térmica de la aleta y la temperatura ambiente, con la siguiente fórmula:

$$T_d = (\text{Wat.} \times Rd) + Ta.$$

Tomando los mismos datos que en el ejemplo precedente, obtendremos por tanto:

$$T_d = (20 \times 2,98) + 25 = 84 \text{ grados.}$$

Como veréis, la temperatura de la aleta es bastante elevada, tanto que si la tocásemos con un dedo notaríamos que «quema». Aun así **no os asustéis**, ya que en todo caso la temperatura de la unión entrará con amplio margen dentro de los límites permitidos.

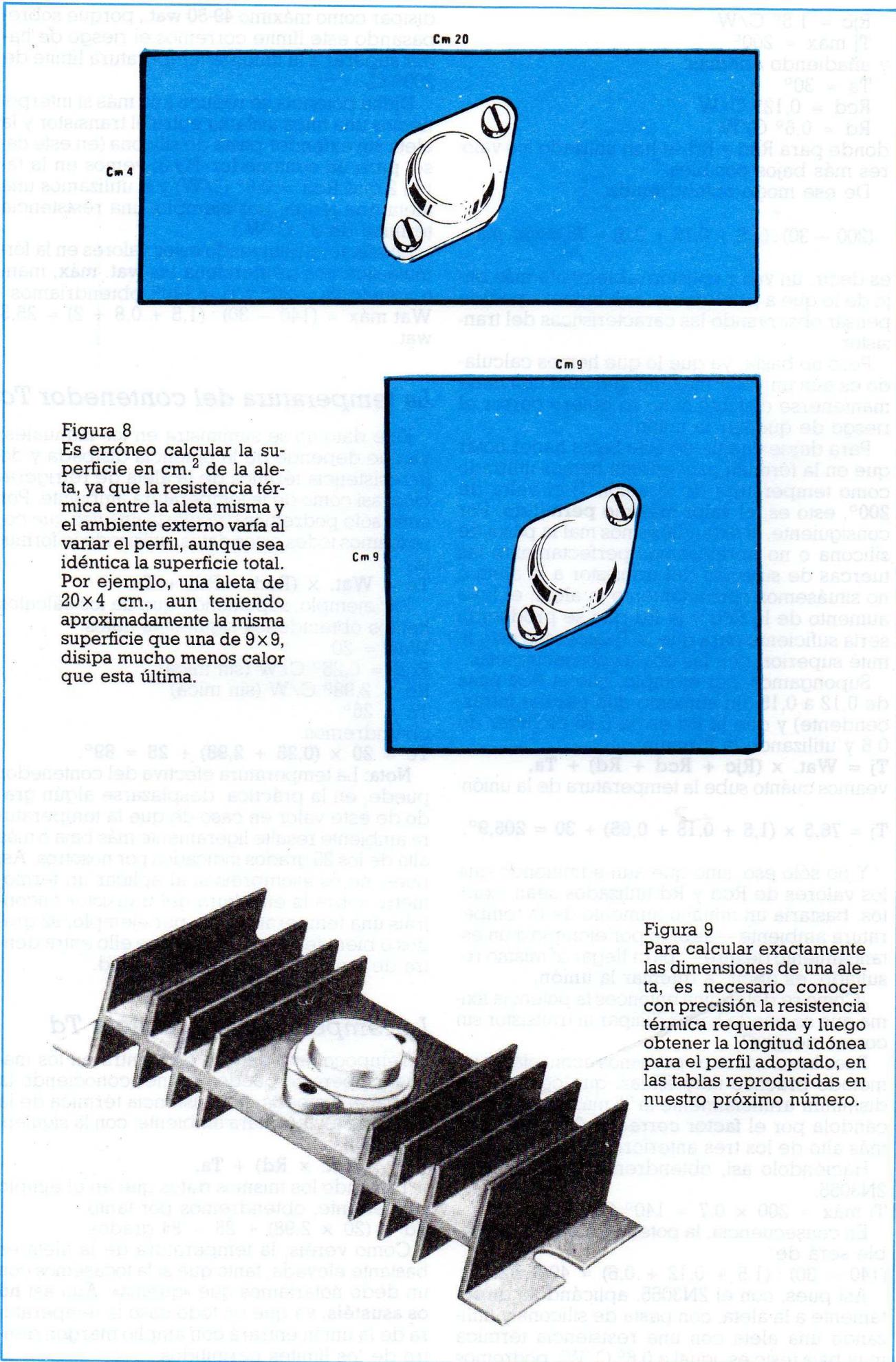


Figura 8

Es erróneo calcular la superficie en cm.² de la aleta, ya que la resistencia térmica entre la aleta misma y el ambiente externo varía al variar el perfil, aunque sea idéntica la superficie total. Por ejemplo, una aleta de 20×4 cm., aun teniendo aproximadamente la misma superficie que una de 9×9, disipa mucho menos calor que esta última.

Figura 9

Para calcular exactamente las dimensiones de una aleta, es necesario conocer con precisión la resistencia térmica requerida y luego obtener la longitud idónea para el perfil adoptado, en las tablas reproducidas en nuestro próximo número.

TRANSISTORES

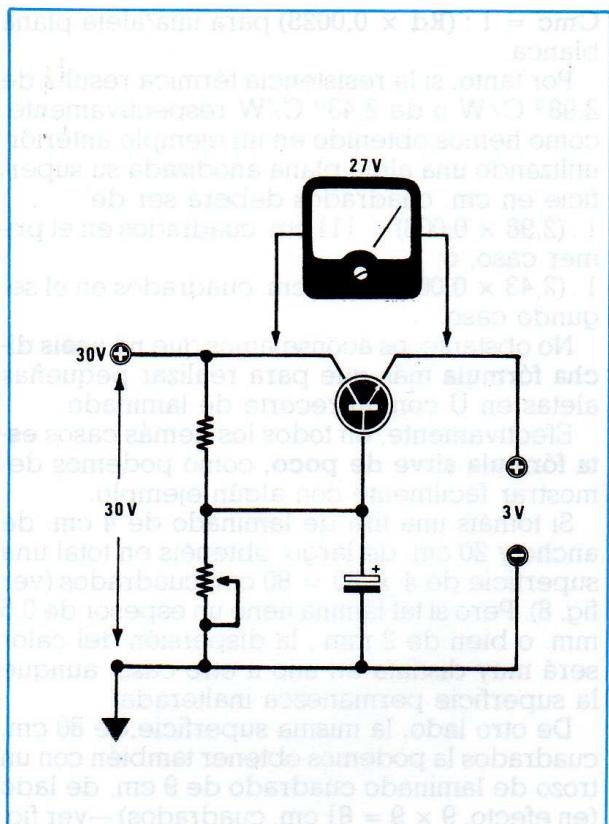


Figura 10

Para calcular la potencia disipada por un transistor utilizado en un alimentador estabilizado, no hay que tener en cuenta la tensión de salida, sino que es necesario medir la tensión existente entre colector y emisor y multiplicarla por la corriente máxima que éste debe entregar.

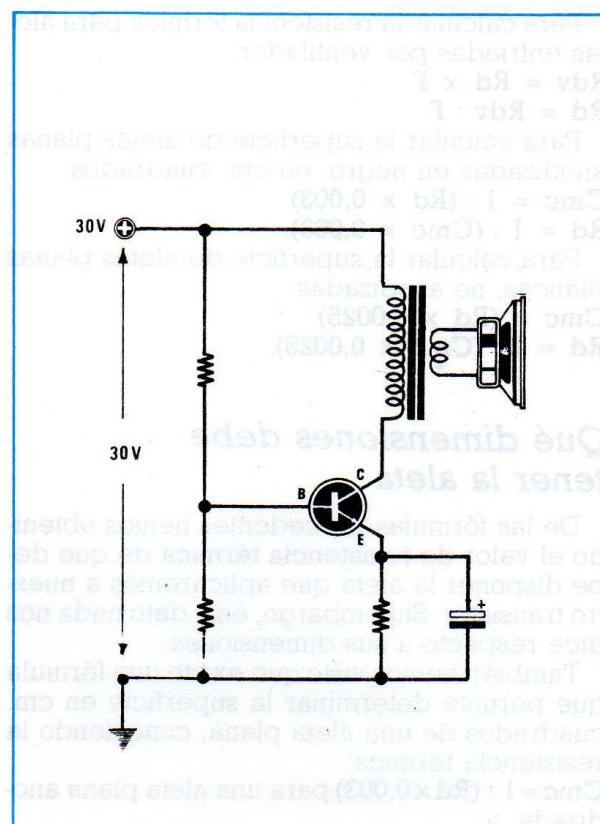


Figura 11

Respecto a los amplificadores en clase A, la potencia en wat. obtenida multiplicando la tensión de alimentación por la corriente consumida, se multiplica de nuevo por el «factor corrector 0,55» y ésta es la potencia que debemos considerar válida para calcular nuestra aleta refrigeradora.

Si, no obstante, queréis disminuir esta temperatura, sólo tendréis que calcular de nuevo la **resistencia térmica R_d** de la aleta, poniendo esta vez 0,5 para el factor multiplicador K , necesario para determinar la T_j .

Ello os llevará necesariamente a adoptar una aleta más grande, pero tanto la temperatura del contenedor como la de la aleta disminuirán como deseáis.

En efecto, pongámonos de nuevo en el caso del 2N3055 que tiene una T_j máx = 200°C, una R_{jc} = 1,52°C/W y una R_{cd} = 0,25 sin mica, y pongamos K = 0,5. Obtendremos:

$$T_j = T_j \text{ máx} \times 0,5 = 200 \times 0,5 = 100^\circ\text{C}$$

por tanto:

$$R_d = (100 - 25) : 20 - (1,52 + 0,25) = 1,98^\circ\text{C/W};$$

es decir, la R_d resulta en este caso más baja respecto a los 2,98°C/W que se obtenían poniendo K = 0,6. Por tanto, tendremos que adoptar una aleta de dimensiones mayores, pero en compensación se reducirán la temperatura del contenedor del transistor T_c y la temperatura de la aleta T_d , como resultado de las siguientes fórmulas:

$$T_c = 20 \times (0,25 + 1,98) + 25 = 69^\circ\text{C}$$

$$T_d = (20 \times 1,98) + 25 = 64^\circ\text{C}$$

Las fórmulas

Para calcular la temperatura de la unión T_j :

$$T_j = \text{Wat.} \times (R_{jc} + R_{cd} + R_d) + T_a$$

$$T_j = (\text{Wat.} \times R_{jc}) + T_c.$$

Para calcular la temperatura del contenedor del transistor:

$$T_c = \text{Wat.} \times (R_{cd} + R_d) + T_a$$

$$T_c = T_j - (\text{Wat.} \times R_{jc}).$$

Para calcular la temperatura de la aleta disipadora:

$$T_d = (\text{Wat.} \times R_d) + T_a$$

$$T_d = T_c - (\text{Wat.} \times R_{jc}).$$

Para calcular los Wat. disipables por el transistor:

$$\text{Wat.} = (T_j - T_a) : (R_{jc} + R_{cd} + R_d)$$

$$\text{Wat.} = (T_c - T_a) : (R_{cd} + R_d).$$

Para calcular la resistencia térmica unión-contenedor:

$$R_{jc} = (T_j \text{ máx} - 25) : \text{Wat. máx.}$$

Para calcular la resistencia térmica de la aleta disipadora:

$$R_d = (T_j - T_a) : \text{Wat.} - (R_{jc} + R_{cd})$$

$$R_d = 9T_d - T_a : \text{Wat.}$$

Para calcular la resistencia térmica para aletas enfriadas por ventilador:

$$R_{dv} = Rd \times F$$

$$Rd = R_{dv} : F.$$

Para calcular la superficie de aletas planas anodizadas en negro, en cm. cuadrados:

$$C_{mc} = 1 : (Rd \times 0,003)$$

$$Rd = 1 : (C_{mc} \times 0,003).$$

Para calcular la superficie de aletas planas blancas, no anodizadas:

$$C_{mc} = (Rd \times 0,0025)$$

$$Rd = 1 : (C_{mc} \times 0,0025).$$

Qué dimensiones debe tener la aleta

De las fórmulas precedentes hemos obtenido el valor de **resistencia térmica** de que debe disponer la aleta que aplicaremos a nuestro transistor. Sin embargo, este dato nada nos dice respecto a sus dimensiones.

También hemos visto que existe una fórmula que permite determinar la superficie en cm. cuadrados de una aleta plana, conociendo la resistencia térmica:

C_{mc} = 1 : (R_d × 0,003) para una aleta plana anodizada, y:

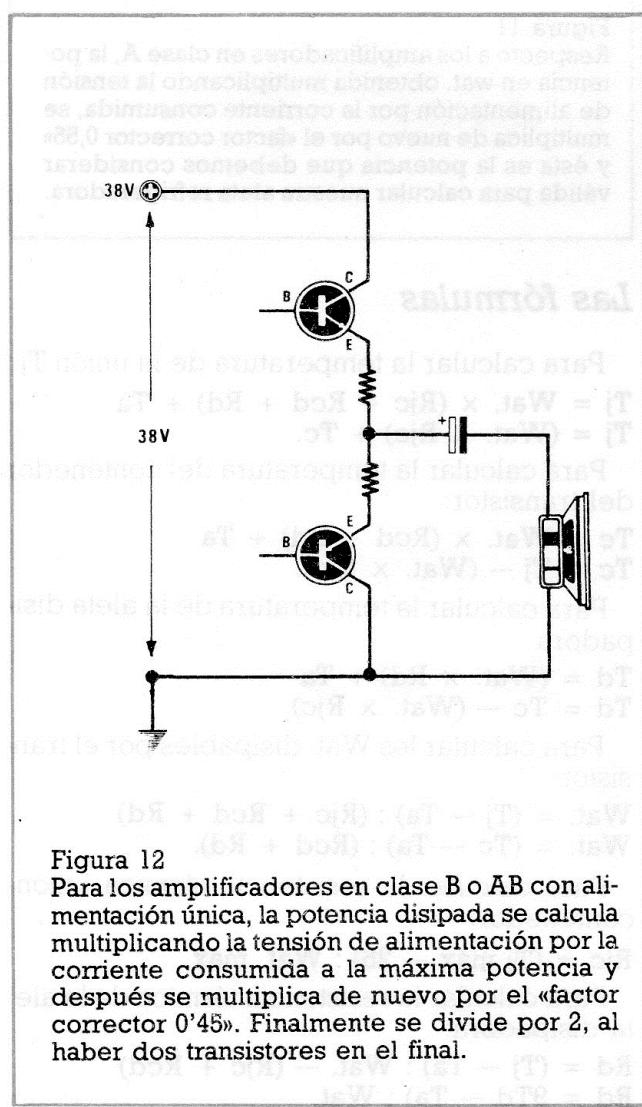


Figura 12

Para los amplificadores en clase B o AB con alimentación única, la potencia disipada se calcula multiplicando la tensión de alimentación por la corriente consumida a la máxima potencia y después se multiplica de nuevo por el «factor corrector 0'45». Finalmente se divide por 2, al haber dos transistores en el final.

C_{mc} = 1 : (R_d × 0,0025) para una aleta plana blanca.

Por tanto, si la resistencia térmica resulta de 2,98° C/W o de 2,43° C/W respectivamente, como hemos obtenido en un ejemplo anterior, utilizando una aleta plana anodizada su superficie en cm. cuadrados deberá ser de:

$$1 : (2,98 \times 0,003) = 111 \text{ cm. cuadrados en el primer caso, o:}$$

$$1 : (2,43 \times 0,003) = 137 \text{ cm. cuadrados en el segundo caso.}$$

No obstante, os aconsejamos que **no uséis dicha fórmula** más que para realizar pequeñas aletas en U con un recorte de laminado.

Efectivamente, en todos los demás casos **esta fórmula sirve de poco**, como podemos demostrar fácilmente con algún ejemplo.

Si tomáis una tira de laminado de 4 cm. de ancho y 20 cm. de largo, obtenéis en total una superficie de $4 \times 20 = 80$ cm. cuadrados (ver fig. 8). Pero si tal lámina tiene un espesor de 0,5 mm. o bien de 2 mm., la dispersión del calor será muy distinta en uno u otro caso, aunque la superficie permanezca inalterada.

De otro lado, la misma superficie de 80 cm. cuadrados la podemos obtener también con un trozo de laminado cuadrado de 9 cm. de lado (en efecto, $9 \times 9 = 81$ cm. cuadrados) —ver fig.

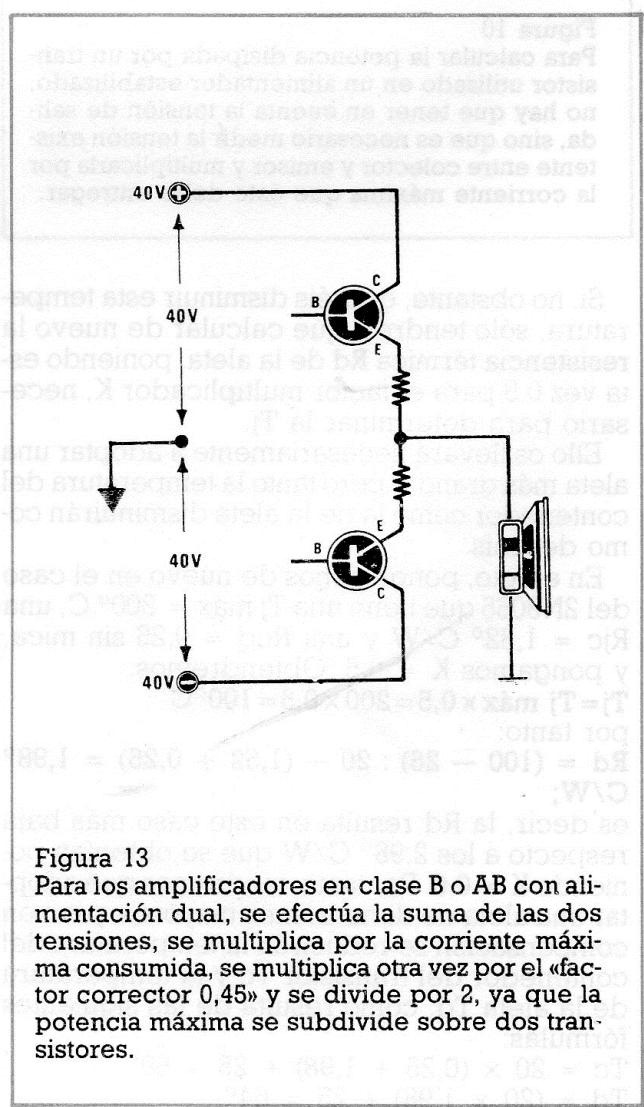


Figura 13

Para los amplificadores en clase B o AB con alimentación dual, se efectúa la suma de las dos tensiones, se multiplica por la corriente máxima consumida, se multiplica otra vez por el «factor corrector 0,45» y se divide por 2, ya que la potencia máxima se subdivide sobre dos transistores.

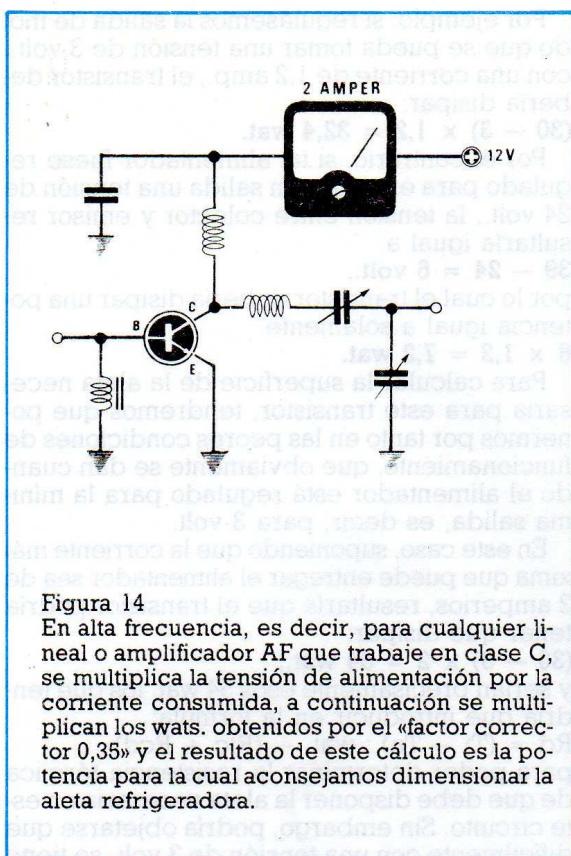


Figura 14

En alta frecuencia, es decir, para cualquier lineal o amplificador AF que trabaje en clase C, se multiplica la tensión de alimentación por la corriente consumida, a continuación se multiplican los wats obtenidos por el «factor corrector 0,35» y el resultado de este cálculo es la potencia para la cual aconsejamos dimensionar la aleta refrigeradora.

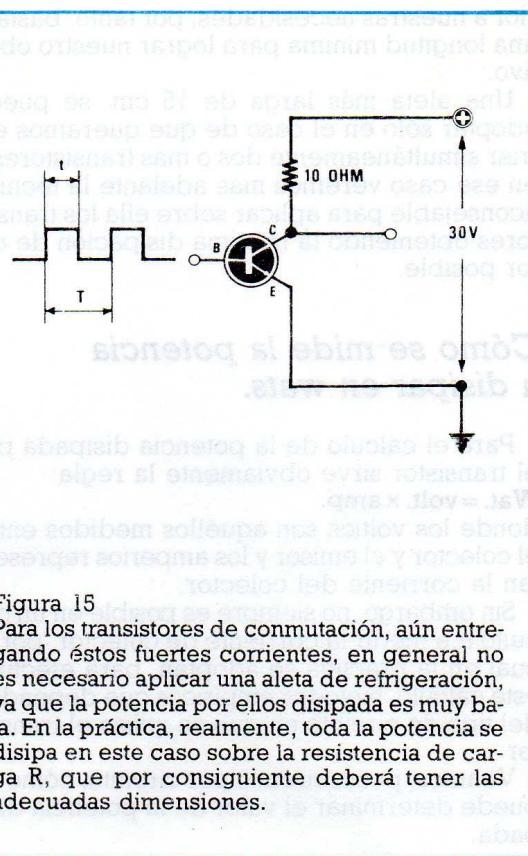


Figura 15

Para los transistores de commutación, aún entregando éstos fuertes corrientes, en general no es necesario aplicar una aleta de refrigeración, ya que la potencia por ellos disipada es muy baja. En la práctica, realmente, toda la potencia se disipa en este caso sobre la resistencia de carga R, que por consiguiente deberá tener las adecuadas dimensiones.

9—, pero esta segunda aleta de forma cuadrada tiene una dispersión del calor mucho mayor que la anterior de forma rectangular.

Si además utilizásemos —en lugar de una lámina horizontal—, un perfil en forma de L, o bien de U, el poder disipador sería de nuevo distinto. Por consiguiente, comprenderéis que no hay que fijarse demasiado de la fórmula arriba mencionada.

Precisamente por esto, una vez concodida la R_d , para determinar la superficie de una aleta, es aconsejable mirar las tablas que publicaremos en el siguiente número de la revista donde se reproducen los perfiles de aletas más usuales, dotados cada uno de un gráfico mediante el cual es posible obtener la resistencia térmica en grados C/W en función de la longitud. Por ejemplo, anteriormente habíamos averiguado que para enfriar nuestro transistor necesitábamos una aleta con una resistencia térmica de $2,98^\circ \text{C}/\text{W}$ o bien de $2,43^\circ \text{C}/\text{W}$.

Pues bien, observando nuestras tablas podemos establecer de inmediato la longitud de la aleta previamente elegida. Efectivamente, bastará localizar —en el eje vertical del gráfico reproducido bajo cada perfil—, la resistencia térmica que se quiere obtener y mirar el punto en que la línea horizontal que parte de ese valor corta la curva. En correspondencia con ese punto, en el eje horizontal del gráfico, leeremos la longitud en mm. de que debe disponer la aleta. Pongamos un ejemplo:

Resistencia térmica = $2,98^\circ \text{C}/\text{W}$.

Aleta n.º 24 = 80 mm., igual a 8 cm.

Aleta n.º 22 = 140 mm., igual a 14 cm.

Aleta n.º 50 = 90 mm, igual a 9 cm.

Aleta n.º 78 = menos de 50 mm.

Aleta n.º 19 = no utilizable.

Resistencia térmica = $2,43^\circ \text{C}/\text{W}$.

Aleta n.º 24 = 110 mm. aproximadamente.

Aleta n.º 22 = no utilizable.

Aleta n.º 50 = 120 mm. aproximadamente.

Aleta n.º 78 = menos de 50 mm.

Aleta n.º 19 = no utilizable.

Notaréis que los gráficos de las resistencias térmicas parten siempre de una longitud mínima de 30 mm. aproximadamente (esto es, el espacio indispensable para poder colocar el transistor sobre la aleta) y se detienen en 150 mm.

En efecto, hay que tener presente que cuando una aleta **superá los 150 mm. de longitud**, su resistencia térmica ya no varía de manera apreciable (basta observar que en este punto todos los gráficos se aplanan). Es decir, tanto si aplicamos al transistor una aleta de 250 mm. de largo (igual a 25 cm.), como si le aplicamos una de 150 mm. (igual a 15 cm.), la refrigeración tendrá lugar siempre de igual manera.

Así se explica por qué la aleta n.º 19 no puede ser utilizada en nuestro ejemplo. En efecto, incluso cortándola con una longitud mayor de 15 cm., obtendremos siempre una resistencia térmica de $6^\circ \text{C}/\text{W}$ aproximadamente, esto es, no adecuada para nuestras necesidades.

Por el contrario, la aleta n.º 78 ya con un largo de 4 cm. tiene una resistencia térmica infe-

rior a nuestras necesidades; por tanto, bastará una longitud mínima para lograr nuestro objetivo.

Una aleta más larga de 15 cm. se puede adoptar sólo en el caso de que queramos enfriar simultáneamente dos o más transistores y en ese caso veremos más adelante la técnica aconsejable para aplicar sobre ella los transistores obteniendo la máxima disipación de calor posible.

Cómo se mide la potencia a disipar en wats.

Para el cálculo de la potencia disipada por el transistor sirve obviamente la regla:

$$\text{Wat.} = \text{volt.} \times \text{amp.}$$

donde los voltios son aquéllos medidos entre el colector y el emisor y los amperios representan la corriente del colector.

Sin embargo, no siempre es posible en un circuito ir a medir la corriente de colector, por lo cual en la práctica se adoptan, para efectuar este cálculo, métodos empíricos que dependen del tipo de circuito en que se utiliza el transistor.

Veamos, pues, circuito por circuito, cómo se puede determinar el valor de la potencia disipada.

Alimentadores estabilizados

Muchos lectores no consiguen comprender cómo es posible que en un alimentador con tensión de salida regulable, por ejemplo de 3 a 25 volt., tomando una tensión de 5 volt., con una corriente de 1,2 amp., por tanto una potencia total de $5 \times 1,2 = 6$ wat., el transistor se calienta mucho más que cuando se toman 24 volt. 1,2 amp., es decir, 28 wat. En efecto, esto puede parecer un absurdo, pero si seguís nuestro razonamiento tendréis que convenir que la cosa es más que lógica.

Consideremos la fig. 10, en la cual puede verse nuestro **alimentador estabilizado**, y supongamos que el mismo ha sido regulado para entregar en salida 5 volt. 1,2 amp.; vamos a calcular la potencia disipada por el transistor, que no es, como a primera vista podría parecer, de $5 \times 1,2 = 6$ wat., sino mucho más elevada.

Baste pensar que en el colector del transistor nosotros aplicamos una tensión de 30 volt., mientras que en la salida tomamos 5 volt., por tanto entre colector y emisor podremos medir: $30 - 5 = 25$ volt.

y como hemos supuesto que el transistor entrega una corriente de 1,2 amp., la potencia que éste debe disipar nos vendrá dada por:

$$25 = 1,2 = 30 \text{ wat.}$$

Por consiguiente, cuanto más baja es la tensión que tomamos en salida de dicho alimentador, más se calienta el transistor.

Por ejemplo, si regulásemos la salida de modo que se pueda tomar una tensión de 3 volt., con una corriente de 1,2 amp., el transistor debería disipar:

$$(30 - 3) \times 1,2 = 32,4 \text{ wat.}$$

Por el contrario, si tal alimentador fuese regulado para entregar en salida una tensión de 24 volt., la tensión entre colector y emisor resultaría igual a:

$$39 - 24 = 6 \text{ volt.}$$

por lo cual el transistor debería disipar una potencia igual a solamente:

$$6 \times 1,2 = 7,2 \text{ wat.}$$

Para calcular la superficie de la aleta necesaria para este transistor, tendremos que ponernos por tanto en las peores condiciones de funcionamiento, que obviamente se dan cuando el alimentador está regulado para la mínima salida, es decir, para 3 volt.

En este caso, suponiendo que la corriente máxima que puede entregar el alimentador sea de 2 amperios, resultaría que el transistor podría tener que disipar:

$$(30 - 3) \times 2 = 54 \text{ wat.}$$

y serían precisamente esos 54 wat. los que tendría que introducir en la fórmula:

$$Rd = (Tj - Ta) : \text{wat.} - (Rjc + Rcd)$$

para poder determinar la resistencia térmica de que debe disponer la aleta necesaria en este circuito. Sin embargo, podría objetarse que difícilmente con una tensión de 3 volt. se tiene necesidad de una corriente de 2 amp., por tanto, si quisieramos economizar en la superficie de la aleta, podríamos calcularla para una potencia más baja que la recién obtenida.

Amplificadores

Para el cálculo de la potencia disipada por un transistor utilizado como final en un amplificador, habría que seguir la siguiente regla: «la potencia disipada por el transistor puede considerarse igual a la potencia entregada por el alimentador menos la potencia consumida por la carga», es decir, por el altavoz si se trata de un amplificador de BF, o bien la potencia irradiada en antena si se trata de un amplificador de AF.

En otras palabras, la norma debería ser:

$$\text{Wat. transistor} = \text{Wat. alim.} - \text{Wat. carga.}$$

En la práctica, sin embargo, no siempre es posible determinar la potencia efectivamente consumida por la carga, porque si ésta no viene expresamente indicada en las características, para calcularla es necesario saber el «rendimiento» del amplificador, un número éste que depende de una infinidad de parámetros.

Por consiguiente la fórmula que aconsejamos utilizar es la siguiente:

$$\text{Wat. trans.} = \text{Wat. alim.} \times \text{coeficiente corrector},$$

donde el coeficiente corrector asume valores muy distintos, ya se trate de un amplificador en clase A, B ó C.

TRANSISTORES

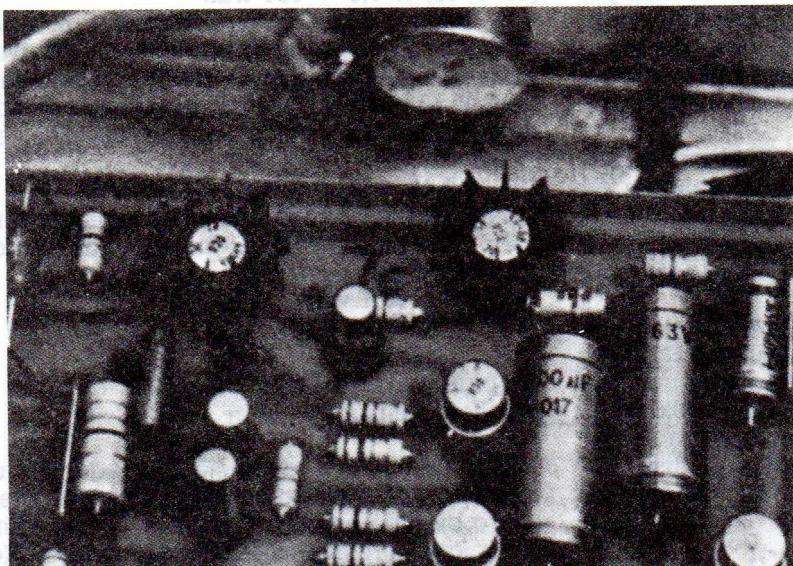


Figura 16
Al aplicar una aleta normal de presión en un transistor con cápsula TO-5 debemos tener cuidado de no estirarla demasiado, porque si no hace buen contacto con el transistor no estará en condiciones de disipar el calor generado y el transistor se quemará.

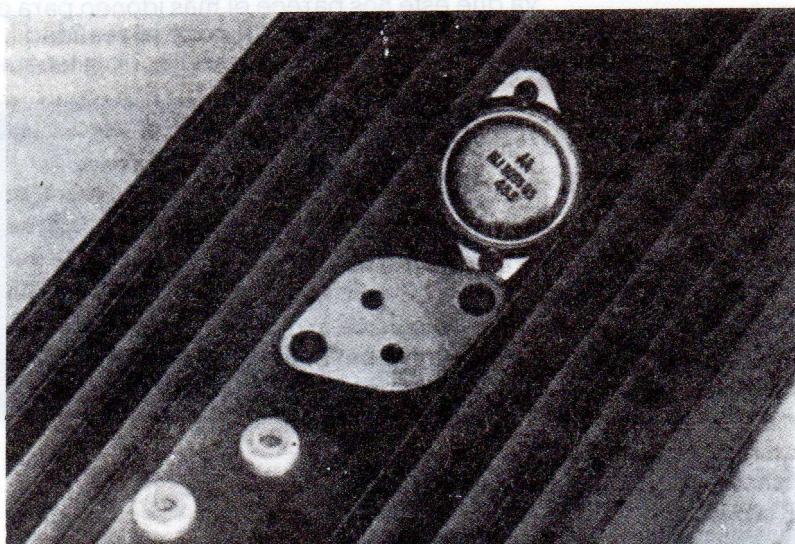


Figura 17
Con frecuencia se acostumbra a aislar el transistor de la aleta por medio de una mica y arandelas de plástico. Tal solución es cómoda para evitar cortocircuitos, pero conviene tener presente que la «mica» es una «resistencia térmica» adicional que impide que el calor se transfiera fácilmente del transistor a la aleta.

Amplificadores en clase A (coeficiente 0,55)

En los amplificadores en clase A, la corriente entregada por el alimentador se mantiene casi constante tanto en reposo (esto es, sin señal de entrada), como a la máxima potencia. Por tanto, suponiendo que tenemos un amplificador con un solo transistor (ver fig. 11), alimentado a 30 volt., que consume en reposo una corriente de 1,2 amperios, la **potencia entregada por el alimentador** vendrá dada por:

$$30 \times 1,2 = 36 \text{ wat.}$$

Ahora, considerando que el coeficiente corrector que debemos adoptar para el cálculo de la potencia disipada por el transistor es en este caso igual a 0,55, obtendremos:

$\text{Wat. trans.} = 36 \times 0,55 = 19,8 \text{ wat.}$, y es precisamente ésta la potencia para la cual tendremos que calcular nuestra aleta refrigeradora.

Nota: Si los transistores finales, en vez de uno, son dos en push-pull, obviamente habrá que **dividir por dos** la potencia calculada.

Amplificadores en clase B o AB (coeficiente 0,45)

Para los amplificadores de BF que utilizan dos transistores como finales (ver fig. 12-13) cada uno de los cuales amplifica una sola semionda (funcionamiento en clase B o AB), es necesario hacer una distinción y concretamente distinguir el caso en que se tiene alimentación única —es

decir, se tiene por ejemplo una sola tensión positiva de 38 volt.— del caso en que el circuito es alimentado con tensión dual, es decir, tenemos por ejemplo una rama positiva de +40 volt. y una rama negativa de -40 volt., respecto a masa.

En el primer caso, esto es con **alimentación única** (ver fig. 12), tendremos que calcular en primer lugar la potencia entregada por el alimentador, multiplicando la tensión de alimentación por la corriente consumida a la máxima potencia.

Suponiendo, por ejemplo, que tenemos una tensión de 38 volt., con un consumo a la máxima potencia de 0,7 amperios, obtendremos: **potencia alimentador = $38 \times 0,7 = 26,6$ wat.**

Ahora, dado que el coeficiente corrector es en este caso igual a 0,45, la potencia disipada conjuntamente por los dos transistores vendrá dada por:

$$26,6 \times 0,45 = 11,97 \text{ wat.}$$

y puesto que los transistores son dos y se reparten por igual el trabajo, es obvio que cada uno de ellos disipará la mitad de esta potencia, es decir:

$$11,97 : 2 = 5,98 \text{ wat.}$$

En el segundo caso, en cambio, esto es con **alimentación dual** (ver fig. 13), para calcular la potencia entregada por el alimentador habrá que multiplicar la corriente consumida a la máxima potencia en cada una de las dos ramas por la suma de las dos tensiones, la positiva y la negativa.

Por ejemplo, suponiendo que las tensiones utilizadas sean de +40 y -40 volt., respectivamente y que la corriente consumida en **una** de las dos ramas, a la máxima potencia, sera de 1,3 amperios, la potencia entregada por el alimentador será de:

$$(40 + 40) \times 1,3 = 104 \text{ wat.}$$

De estos 104 wat. una parte será transferida al altavoz y una parte disipada por los dos transistores y concretamente, siendo en este caso de 0,45 el factor corrector, la potencia disipada conjuntamente por los dos transistores vendrá dada por:

$$104 \times 0,45 = 46,8 \text{ wat.}$$

y dado que tales transistores se reparten también el trabajo a partes iguales, cada uno de ellos disipará:

$$46,8 : 2 = 23,4 \text{ wat.}$$

Amplificador de AF en clase C (coeficiente 0,35)

Para calcular la potencia disipada por un transistor utilizado como «excitador de potencia» o bien como «lineal AM-FM» en un transmisor, que normalmente funciona en clase C (es decir, amplifica menos de la mitad de la semionda de la señal aplicada de entrada), recomendamos utilizar el coeficiente corrector 0,35, ya que éste nos parece el más idóneo para obtener resultados acordes con la realidad.

Por tanto, como se ve en la fig. 14, si tenemos

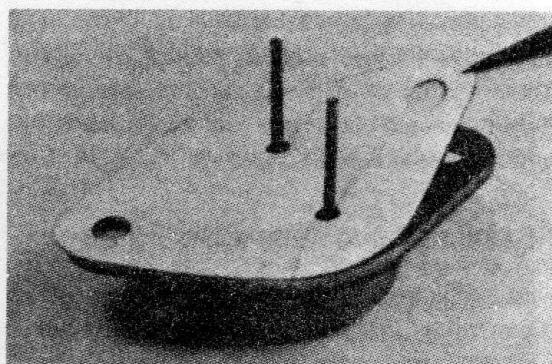
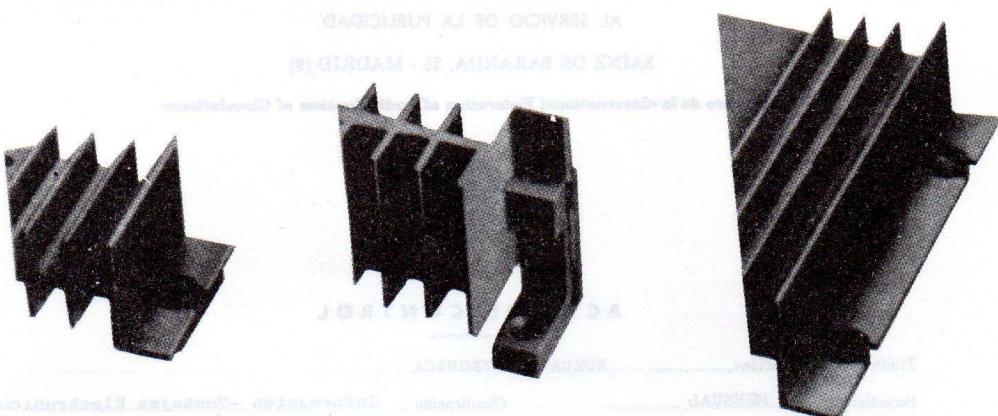


Figura 18

Si en vuestro montaje es absolutamente necesario emplear una mica aislante, se debe reducir esta resistencia térmica aplicando entre el transistor y la mica y entre la mica y la aleta pasata de silicona. En la tabla n.º 2, en la segunda parte del artículo, viene indicada la resistencia térmica Rcd que presenta un contenedor usando o no la pasta de silicona.

Figura 19

Para hacer disipar más potencia al transistor es muy aconsejable fijar directamente el transistor sobre la aleta reduciendo así la resistencia térmica R_{cd} ; para aislar la aleta del metal de la caja utilizar los elementos separadores y arandelas de plástico. Eliminando la mica, el calor del cuerpo del transistor se transferirá con menor resistencia a la superficie de la aleta.



un transistor final alimentado a 12 volt., que consume una corriente de 2 amperios, esto es:

$$\text{Wat. alim.} = 12 \times 2 = 24 \text{ wat.}$$

la potencia para la cual aconsejamos calcular la aleta es la siguiente:

$$\text{Wat. trans} = 24 \times 0,35 = 8,4 \text{ wat.}, \text{ donde el } 0,35 \text{ es precisamente el factor corrector utilizado por nosotros.}$$

Transistor de conmutación

Finalmente, tenemos un último caso a tomar en consideración, aunque por lo general no requiere la utilización de aleta refrigeradora, y concretamente el caso de los transistores utilizados en los circuitos de conmutación, los cuales, aun entregando usualmente fuertes corrientes, en la práctica disipan una potencia irrisoria por cuanto se les hace trabajar en régimen discontinuo.

Tomemos como ejemplo un transistor de conmutación (ver fig. 15), sobre cuya base se aplican impulsos con una duración $T = 0,01$ segundos en una frecuencia de 50 hz., es decir, un impulso cada $T = 0,02$ segundos como demuestra la fórmula:

$$T = 1 : \text{Frecuencia} = 1 : 50 = 0,02 \text{ segundos.}$$

Si el transistor es alimentado a 30 volt., y la carga aplicada en el colector —esto es, R —, es igual a 10 ohm., para valorar la potencia disipada es necesario distinguir entre el período de tiempo en que el transistor se encuentra interrumpido, es decir, T_t .

Cuando el transistor resulta interrumpido, es decir, cuando falta el impulso positivo en la base, obviamente no disipa potencia alguna.

En cambio el transistor conduce (presencia de impulso), la tensión colector-emisor no es nunca superior a 0,3-0,35 volt., mientras que la corriente de colector se puede obtener de la siguiente fórmula:

$$\text{Amperios} = \text{volt. alim.} : R = 30 : 10 = 3 \text{ amperios.}$$

Por consiguiente, suponiendo que el transistor estuviese siempre en conducción, la potencia disipada por él sería igual a:

$\text{Wat} = \text{volt} \times \text{amper} = 0,35 \times 3 = 1,05 \text{ wat.}$, es decir, que incluso en la peor de las hipótesis este transistor no disipa nunca más de 1,05 wat., por lo cual no es necesario aplicarle una aleta de refrigeración. Además esa potencia se reduce considerablemente si calculamos el valor medio, es decir, si tenemos presente también el período de tiempo en que el transistor está interrumpido.

Para ello podemos utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Wat medios} = \text{Watt} \times (t : T),$$

cuyo resultado sería:

$$\text{Wat medios} = 1,05 \times (10 : 20) = 0,5, \text{ es decir, este transistor disipa una media de medio wat., potencia que incluso un TO.5 consigue disipar sin aleta.}$$

En efecto, en este circuito quien disipa la mayor potencia en la práctica es la resistencia R , la cual debería ser al menos de 25-30 wat., como puede calcularse fácilmente utilizando la Ley de Ohm.

ELECTRONICA LUVI

ORDENADORES PERSONALES

GRAN SURTIDO DE KITS ELECTRONICOS

Tfno. 230 44 84
C/ VIZCAYA, 6 - MADRID-7

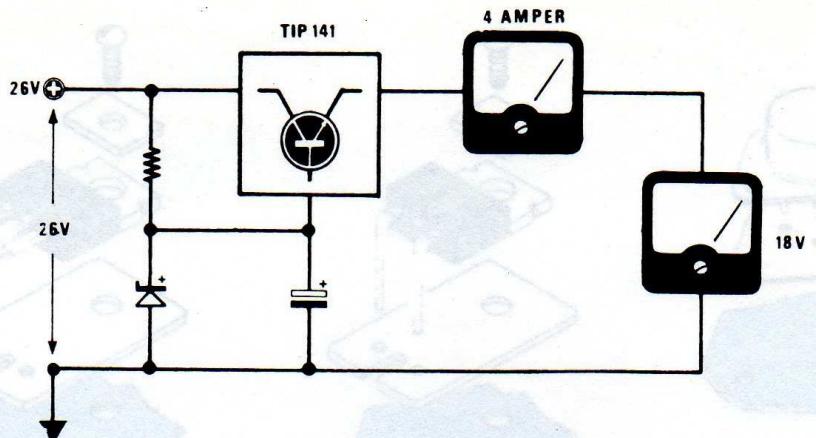


Figura 1
Esquema eléctrico relativo al ejemplo n.º 1 utilizado por nosotros para calcular las dimensiones que debe asumir una aleta de refrigeración.

1.º Ejemplo: queremos realizar un alimentador estabilizado con un transistor darlington TIP141, capaz de entregar en salida una tensión de 18 volt. con una corriente de 4 amperios (ver fig. 1). Sabiendo que la tensión aplicada en el colector es de 26 volt., queremos calcular las dimensiones de la aleta refrigeradora más idónea para este diseño.

Mirando en un manual las características de este transistor, encontramos:
potencia máx. para $T_c = 25^\circ\text{C}$: 125 wat.
máx. tensión colector-emisor: 80 volt.
máx. temperatura de unión: 150°C .

Como véis, en este cuadro falta un dato fundamental y precisamente la R_{jc} , que no obstante podremos obtener con la siguiente fórmula: $R_{jc} = (T_j \text{ máx} - 25) : \text{wats. máx}$, es decir: $R_{jc} = (150 - 125) : 125 = 1^\circ\text{C/W}$.

Ahora tenemos que establecer cuantos wat. debe disipar el transistor.

Ahora bien, si le aplicamos 26 volt. y retiramos 18, la tensión colector-emisor resultará igual a:
 $26 - 18 = 8$ volt.

y dado que tomamos del transistor una corriente de 4 amperios, la potencia a disipar será igual a:

$$8 \times 4 = 32 \text{ wats.}$$

Por razones de montaje debemos aplicar necesariamente una mica aislante entre aleta y transistor, pero extendiendo pasta de silicona entre las dos superficies para favorecer el paso del calor. Por ello, sabiendo que el TIP141 dispone de un contenedor T03 plástico, por la tabla nº 2 averiguaremos que la resistencia térmica contenedor-disipador con mica y pasta de silicona, tiene el valor siguiente:

$$R_{cd} = 0,7 \text{ }^\circ\text{C/W.}$$

Disponiendo ya de todos estos datos, podemos ver ahora qué resistencia térmica debe po-

ser la aleta refrigeradora, sirviéndonos para ello de la siguiente fórmula:
 $R_d = (T_j - T_a) : \text{wat.} - (R_{jc} + R_{cd})$.

Suponiendo que queremos una aleta lo más pequeña posible sin la preocupación de que el contenedor del transistor se caliente excesivamente, utilizaremos el más alto (es decir, 0,7) de los tres factores correctores que habíamos indicado, obteniendo así:

$$T_j = T_j \text{ máx.} \times 0,7 = 150 \times 0,7 = 105 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Además pondremos $T_a = 25$ grados, ya que aunque esta temperatura resultase algo distinta no correremos ningún riesgo, por cuanto hemos fijado T_j en un valor mucho más bajo que el valor máximo permitido.

Sustituyendo en la fórmula estos valores, tendremos:

$$R_d = (105 - 25) : 32 - (1 + 0,7) = 0,8 \text{ }^\circ\text{C/W.}$$

Llegados a este punto, mirando la tabla de los perfiles podemos ver que las aletas que disponen de una resistencia térmica tan baja no son muchas, pero aún así hay donde elegir.

Por ejemplo, disponiendo de un perfil con una sección similar al de la fig. 70, tendremos que cortarlo con una longitud de 100 mm. (igual a 10 cm.) para obtener la resistencia térmica deseada.

Hacemos notar que aunque cortásemos el perfil 5 mm. más corto de lo requerido, es decir, de 95 mm., aun obteniendo una resistencia térmica ligeramente más elevada no correríamos ningún riesgo de quemar el transistor, ya que el coeficiente 0,7 por el que hemos multiplicado la T_j max. evita este problema. Podremos, pues, calcular la temperatura que alcanzará la aleta en régimen de funcionamiento, utilizando para ello la siguiente fórmula:
 $T_d = (\text{wat.} \times R_d) + T_a = (32 \times 0,8) + 25 = 50 \text{ }^\circ\text{C.}$

El contenedor del transistor alcanzará en cambio la siguiente temperatura:

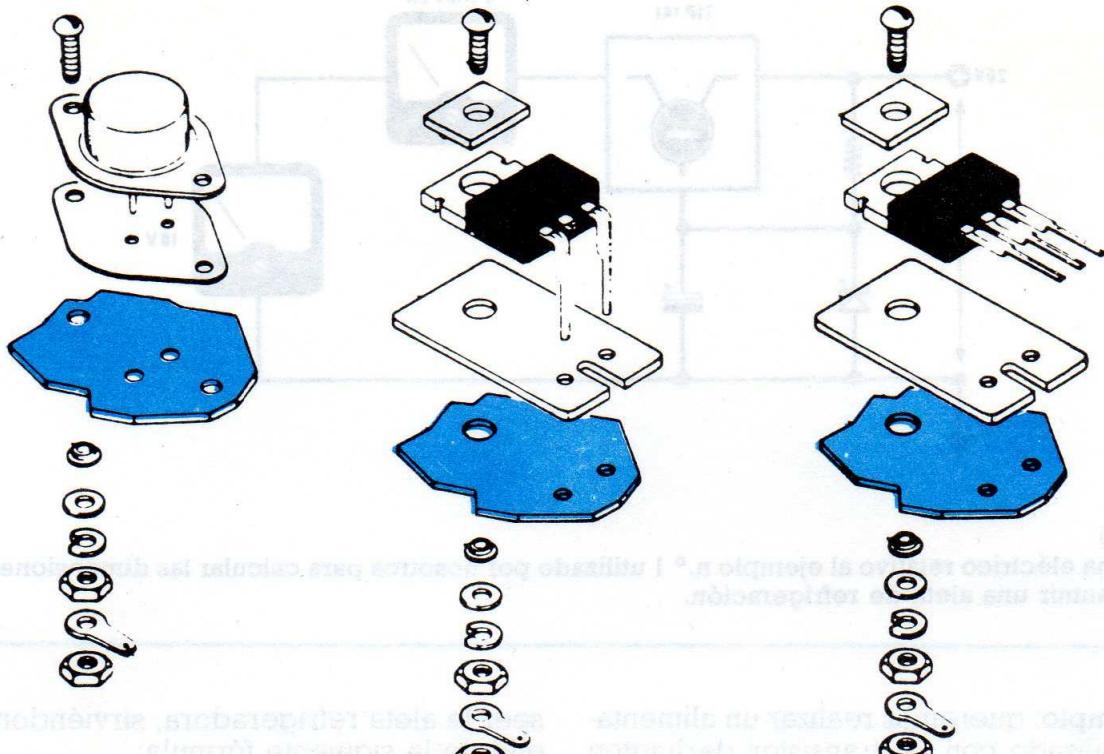


Figura 2

Procedimiento a seguir para aplicar la mica, las arandelas aislantes y los tornillos de fijación del transistor a la aleta para los tipos más corrientes de contenedor plástico y metálico.

$$T_c = \text{wat.} \times (R_{cd} + R_d) + T_a$$

$$T_c = 32 \times (0,7 + 0,8) + 25 = 73 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Por último la temperatura de la unión será de:

$$T_j = \text{wat.} \times (R_{jc} + R_{cd} + R_d) + T_a$$

$$T_j = 32 \times (1 + 0,7 + 0,8) + 25 = 105 \text{ } ^\circ\text{C}$$

como de otro lado era obvio, ya que hemos partido de este valor para calcular la R_d .

El factor corrector 0,7 que hemos utilizado, aun siendo el valor máximo aconsejado, podemos aseguraros que protege de todas las incidencias negativas que pudieran verificarse durante el funcionamiento y podemos demostrarlo con las cifras en la mano.

En efecto, supongamos que inadvertidamente situáis el montaje en un ambiente en que la temperatura no es de 25 °C sino bastante más elevada, por ejemplo de 40 °C.

En ese caso la temperatura de unión T_j resultará igual a:

$$T_j = \text{wat.} \times (R_{jc} + R_{cd} + R_d) + T_a$$

$$T_j = 32 \times (1 + 0,7 + 0,8) + 40 = 120 \text{ } ^\circ\text{C}$$

es decir, siempre por debajo de los 150 °C permitidos.

Supongamos también que hemos olvidado extender la pasta de silicona al sujetar el transistor a la aleta, de modo que la R_{cd} se convierte, como se ve en la tabla n.º 2, en 1 °C/W. Pues bien, también en este caso T_j será inferior a 150 °C; en efecto:

$$T_j = 32 \times (1 + 1 + 0,8) + 40 = 129 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Por consiguiente, efectuando el cálculo de la superficie de la aleta con el método que os hemos indicado, tendréis la seguridad de que la unión del transistor trabaja siempre a una temperatura notablemente inferior al límite máximo indicado en el manual, sin peligro de que se queme por una nadería cualquiera.

2.º Ejemplo: tenemos tres aletas de refrigeración, una de 5 cm. de longitud, una de 10 cm. y otra de 15 cm., con un perfil idéntico al de la fig. 40, de la cual se deduce que la resistencia térmica es igual a:

$$R_d = 2,7 \text{ para una longitud de 50 mm.}$$

$$R_d = 1,8 \text{ para una longitud de 100 mm.}$$

$$R_d = 1,5 \text{ para una longitud de 150 mm.}$$

y queremos aplicar una de estas tres aletas al transistor final de un transmisor que trabaja a 12 volt. y consume 0,8 amperios; es decir, que disipa $12 \times 0,8 = 9,6 \text{ wat.}$

Las características de tal transistor son las siguientes:

contenedor...TO.66

T_j máx...200 °C

R_{jc} ...5 °C/W.

Desaríamos además, por problemas de espacio, que la aleta fuese lo más pequeña posible y para ello eliminaremos la mica, exten-

diendo pasta de silicona entre transistor y aleta.

En este caso, como puede ver por la tabla n.º 2, la R_{cd} resulta igual a $0,65 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$.

Respecto a la T_j , utilizaremos de nuevo el coeficiente corrector máximo 0,7, obteniendo así: $T_j = T_j \text{ máx} \times 0,7 = 200 \times 0,7 = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Sustituyendo estos valores en la fórmula que nos proporciona la R_d , es decir:

$$R_d = (T_j - T_a) : \text{wat.} - (R_{jc} + R_{cd}),$$

obtendremos:

$$R_d = (140 - 25) : 9,6 - (5 + 0,65) = 6,32 \text{ }^{\circ}\text{C/W}.$$

Por consiguiente, las tres aletas, al tener una resistencia térmica menor que la que resulta de

n.º 4, es decir, con una $R_d = 45 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$. Queremos calcular la potencia máxima que es posible hacer disipar a dicho transistor.

Mirando en un manual los datos relativos a un 2N1711, encontramos lo que sigue:

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

wat. máx para una temperatura de $25 \text{ }^{\circ}\text{C} = 3 \text{ wat.}$

$$R_{jc} = 58 \text{ }^{\circ}\text{C/W}.$$

contenedor = TO.5.

La R_{cd} , para un contenedor TO/5, con aleta aplicada directamente en el contenedor, sin pasta de silicona, es igual a $1 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$, como se puede deducir de la tabla n.º 2.

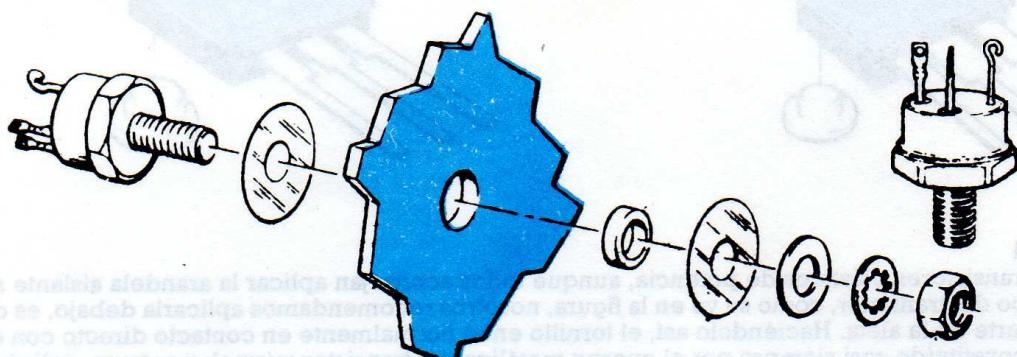


Figura 3

En los transistores o SCR con contenedor TO.59 y TO.60 es necesario aplicar una mica sobre la aleta y otra bajo ésta y utilizar además una arandela aislante que entre totalmente en el grosor de la aleta refrigeradora, de manera que el perno central del transistor quede aislado de ésta.

los cálculos, pueden ser indistintamente utilizadas y dado que nos interesa ocupar poco espacio, emplearemos la más pequeña, es decir, la de 5 cm. de longitud.

Veámos ahora de calcular qué temperatura alcanzarán la aleta, el contenedor del transistor y la unión.

$$T_d = (\text{wat.} \times R_d) + T_a$$

$$T_d = (9,6 \times 2,7) + 25 = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_c = \text{wat.} \times (R_{cd} + R_d) + T_a =$$

$$T_c = 9,6 = (0,65 + 2,7) + 25 = 57 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_j = \text{wat.} \times (R_{jc} + R_{cd} + R_d) + T_a$$

$$T_j = 9,6 \times (5 + 0,65 + 2,7) + 25 = 105 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Hay que hacer notar que en este caso la temperatura de la unión, al contrario que en el ejemplo precedente, resulta más baja que la que nosotros hemos utilizado para calcular la R_d (es decir, $140 \text{ }^{\circ}\text{C}$) y esto se explica por el hecho de que hemos empleado una aleta que tiene una resistencia térmica más baja que la estrictamente indispensable; es decir, una aleta más grande de lo necesario. Por consiguiente, ésta consigue disipar una cantidad de calor más elevada respecto a los cálculos y, en consecuencia, hace disminuir la temperatura interna del transistor.

3.º Ejemplo: tenemos un transistor 2N1711 al cual le hemos aplicado una aleta similar a la

Por lo que respecta a la T_j , asumimos una vez más el factor corrector más alto, 0,7 por tanto tendremos:

$$T_j = T_j \text{ máx} \times 0,7 = 200 \times 0,7 = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Ahora, sustituyendo valores en la fórmula: $\text{wat.} = (T_j - T_a) : (R_{jc} + R_{cd} + R_d)$, obtendremos:

$$\text{wat.} = (140 - 25) : (58 + 1 + 45) = 1,10 \text{ wat.}$$

Ésta, obviamente, no es la potencia máxima que podremos hacer disipar al transistor, por cuanto hay que tener en cuenta el factor de corrección que hemos utilizado para la T_j . Aun así es la potencia máxima que podremos hacerle disipar manteniendo el necesario margen de seguridad.

Por ejemplo, alguno podría hacer disipar al transistor así refrigerado una potencia de 1,5 wat., pero en ese caso la temperatura de la unión podría acercarse demasiado al límite superior y en esas condiciones cualquier aumento de temperatura sería suficiente para que se fundiese la unión.

En efecto, suponiendo por ejemplo que el circuito se introduzca en el interior de una caja en que no circula el aire, la temperatura ambiente puede subir fácilmente a $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y en ese caso, haciendo disipar al transistor 1,1 wat., obtendríamos:

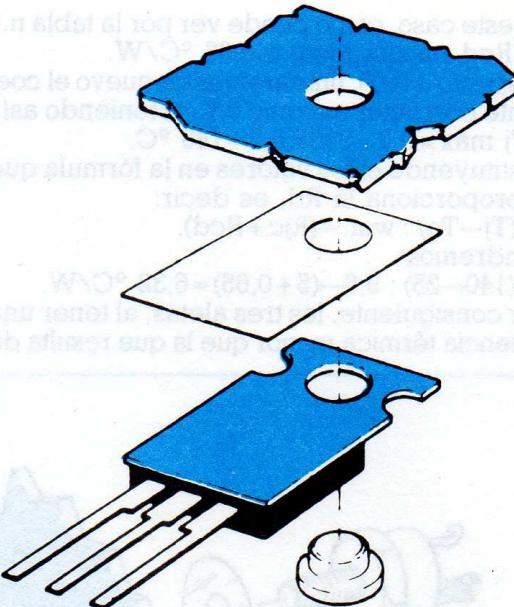
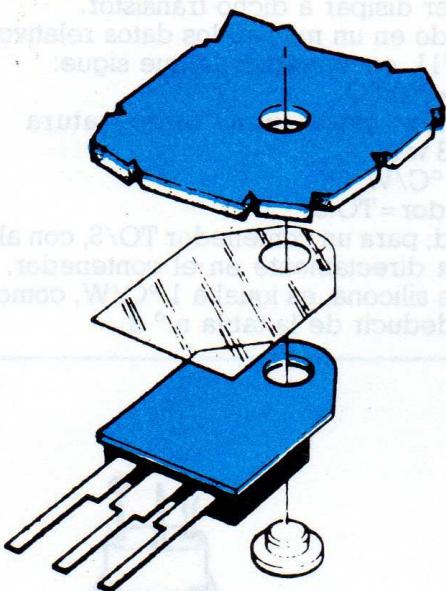


Figura 4

En los transistores plásticos de potencia, aunque todos aconsejan aplicar la arandela aislante sobre el cuerpo del transistor, como se ve en la figura, nosotros recomendamos aplicarla debajo, es decir, por la parte de la aleta. Haciéndolo así, el tornillo entra normalmente en contacto directo con el colector (constituido casi siempre por el cuerpo metálico del transistor mismo); por tanto, aplicándole una varilla, dispondremos de un terminal sobre el cual soldar directamente el cable de conexión.

$$T_j = \text{wat.} \times (R_{jc} + R_{cd} + R_d + T_a)$$

$$T_j = 1,1 \times (58 + 1 + 45) + 50 = 164 \text{ } ^\circ\text{C},$$

mientras que haciéndole disipar 1,5 wat. obtendríamos:

$$T_j = 1,5 \times (58 + 1 + 45) + 50 = 206 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Es decir, en este último caso la temperatura de la unión podría superar el límite máximo, que es de 200 °C, con las obvias consecuencias.

4.º Ejemplo: tenemos un transistor en TO.3 al cual queremos hacer disipar una potencia de 30 wats. A este transistor le hemos aplicado una aleta refrigeradora con una resistencia térmica igual a 2 °C/W con una mica interpuesta.

Conociendo todos los datos de dicho transistor, es decir:

$$\text{wat. máx.} = 100 \text{ wat.}$$

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

$$R_{jc} = 1,75 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$R_{cd} = 0,8 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W} \text{ (ver tabla n.º 2)}$$

$$R_d = 2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W},$$

queremos determinar si dicha aleta es suficiente para mantener la temperatura de la unión por debajo de los 200 °C y suponiendo que esto se verifique, queremos calcular también la temperatura que asumirán el contenedor y la aleta.

En primer lugar calcularemos la R_d necesaria para mantener la temperatura de la unión por debajo de 120 °C y para ello emplearemos la fórmula siguiente:

$$R_d = (T_j - T_a) : \text{wat.} - (R_{jc} + R_{cd}); \text{ poniendo en esta fórmula}$$

$$T_j = 120 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ y } T_a = 25 \text{ } ^\circ\text{C}, \text{ tendremos:}$$

$$R_d = (120 - 25) : 30 - (1,75 + 0,8) = 0,61 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}.$$

Como notaréis, del cálculo resulta que nuestra aleta es totalmente insuficiente para alcanzar el objetivo que nos habíamos propuesto. En efecto, efectuando el cálculo inverso, es decir el que nos proporciona la temperatura de la unión T_j en función de la R_d , R_{cd} , R_{jc} , etc., podremos constatar lo que sigue:

$$T_j = \text{wat.} \times (R_{jc} + R_{cd} + R_d) + T_a$$

$$T_j = 30 \times (1,75 + 0,8 + 2) + 25 = 161,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

En otras palabras, utilizando esta aleta la temperatura de la unión subirá muy por encima de los 120 °C en que desearíamos que se estabilizase durante el funcionamiento, aunque se mantiene todavía bastante por debajo de los 200 °C, máximo tolerable por este transistor.

5.º Ejemplo: tenemos un amplificador de BF que funciona en clase AB y que puede entregar una potencia de 60 wat. eficaces aproximadamente. Queremos enfriar los dos transistores finales (que son darlington de tipo MJ3001 y MJ2501) con dos aletas n.º 64 de 75 mm. de longitud cada una.

Sabiendo que el amplificador es alimentado con una tensión dual de 40 + 40 volt. y que a la máxima potencia consume una corriente de 1,37 amperios, queremos determinar si las dos aletas son adecuadas, considerando que entre

los transistores y la aleta tendremos que interponer una mica y que no disponemos de pasta de silicona.

En primer lugar por la tabla de las resistencias térmicas podemos deducir que nuestra aleta dispone de una R_d igual a $2,2 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$.

De otro lado, por la tabla n.º 2 sabemos que la resistencia térmica contenedor-disipador R_{cd} , para un contenedor TO.3 como el de nuestros dos darlington e interponiendo la mica sin pasta de silicona, es igual a $0,8 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$.

Finalmente el manual del transistor nos proporciona los siguientes datos sobre el MJ3001 y el MJ2501:

$$R_{jc} = 1,17 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

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

Ahora, para poder emitir un juicio sobre la aleta, no queda sino calcular la potencia disipada por cada transistor.

Para ello calcularemos en primer lugar la potencia entregada por el alimentador, que nos viene dada por:

$$\text{wat. alim.} = (40 + 40) \times 1,37 = 109 \text{ wat.}$$

Tratándose de un amplificador en clase AB, sabemos que el coeficiente corrector resulta igual a **0,45**. Por tanto, multiplicando la potencia entregada por el alimentador por tal coeficiente, obtendremos la potencia disipada conjuntamente por los dos transistores; es decir: $109 \times 0,45 = 49 \text{ wat.}$

En otras palabras, cada transistor deberá disipar una potencia máxima de:

$$49 : 2 = 24,5 \text{ wat.}$$

A causa del coeficiente corrector que hemos adoptado, esta potencia podrá resultar quizás un poco más alta que la efectiva; no obstante esto nos llevará como mucho a calcular una aleta más grande de lo necesario, pero nunca más pequeña.

Ahora podemos calcular la temperatura máxima que alcanzará la unión del transistor haciendo funcionar al amplificador durante algún tiempo a la máxima potencia:

$$T_j = T_a + \text{wat} \times (R_{jc} + R_{cd} + R_d)$$

$$T_j = 25 + 24,5 \times (1,17 + 0,8 + 2,2) = 127 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Por consiguiente, nuestra aleta puede considerarse idónea, ya que incluso a la máxima potencia permite mantener la temperatura de la unión notablemente por debajo de los $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$, que representan el límite máximo permitido.

De otro lado hay que tener en cuenta que difícilmente se hará funcionar un amplificador a la máxima potencia durante horas y horas. Antes bien, se tiende a utilizarlo a $3/4$ de la potencia máxima y también en este caso, al variar de continuo el nivel de la señal en entrada, la potencia eficaz resultará considerablemente más baja, de modo que el transistor final se calentará menos de lo previsto.

En efecto, suponiendo que regulamos el volumen de modo que hagamos consumir al amplificador una corriente de 1,1 amperios, cada transistor final tendrá que disipar una potencia igual a:

$$(40 + 40) \times 1,1 \times 0,45 : 2 = 19,8 \text{ wat.}$$

y en consecuencia, la temperatura máxima que alcance la unión del transistor será de:

$$T_j = 25 + 19,8 \times (1,17 + 0,8 + 2,2) = 107 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

6.º Ejemplo: tenemos un lineal de potencia conectado a un transmisor de FM que, alimentado con una tensión de 24 volt., consume en total 2,4 amperios. A este lineal queremos aplicarle una aleta del tipo 37 y queremos que la temperatura de la unión sea de unos $140 \text{ }^{\circ}\text{C}$ como máximo.

Sabiendo que:

$$R_{jc} = 2,9 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$R_{cd} = 1,8 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W},$$



Figura 5

En este dibujo se ve de modo más claro cómo y dónde es necesario aplicar la mica y la correspondiente arandela aislante. Os recordamos que no es aconsejable aplicar dos micas entre transistor y aleta, creyendo que así se aisla mejor el transistor, porque con dos micas sólo obtendremos un mayor calentamiento del transistor y una aleta más «fría» debido a que el calor encuentra una mayor resistencia.

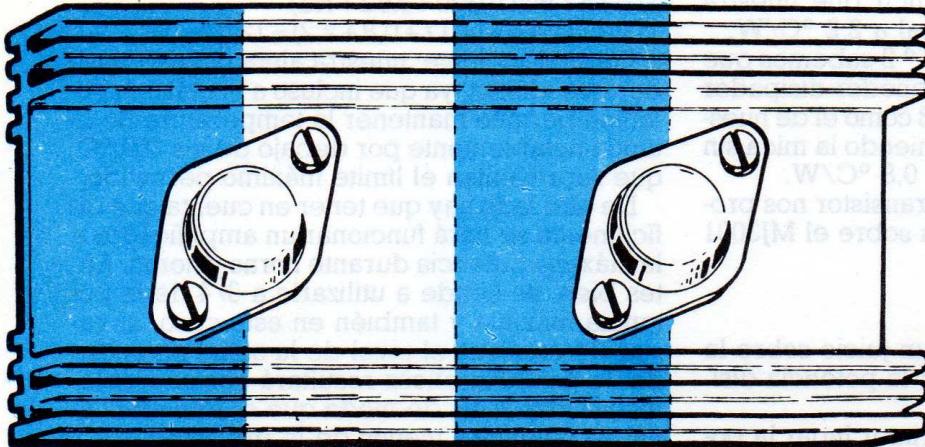


Figura 6

Si aplicáis dos transistores sobre una misma aleta, acordaros de dividir la longitud en cuatro partes iguales de modo que cada transistor disponga de la misma superficie a cada lado, como si en la práctica adosásemos dos aletas separadas.

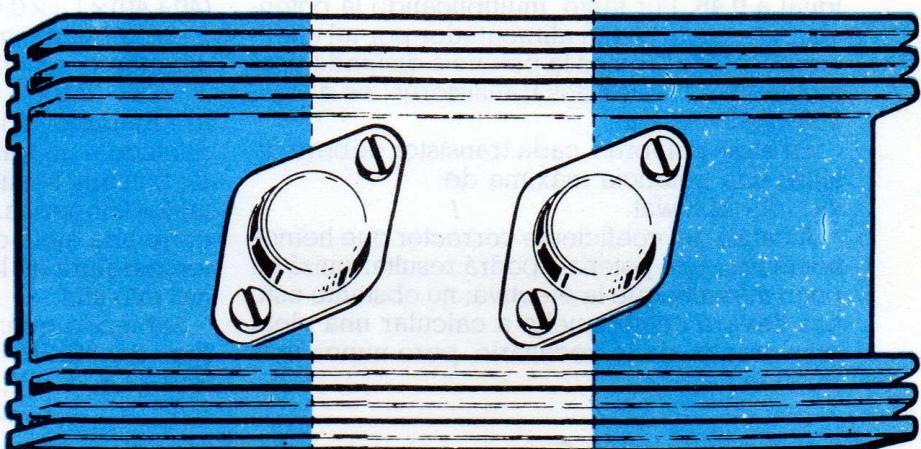


Figura 7
Se equivocan quienes dividen la longitud en tres partes, como se ve en la figura, ya que en el centro de ambos transistores hay una superficie menor que la existente a los lados. Por tanto, en la práctica, es como si empleásemos una aleta más corta.

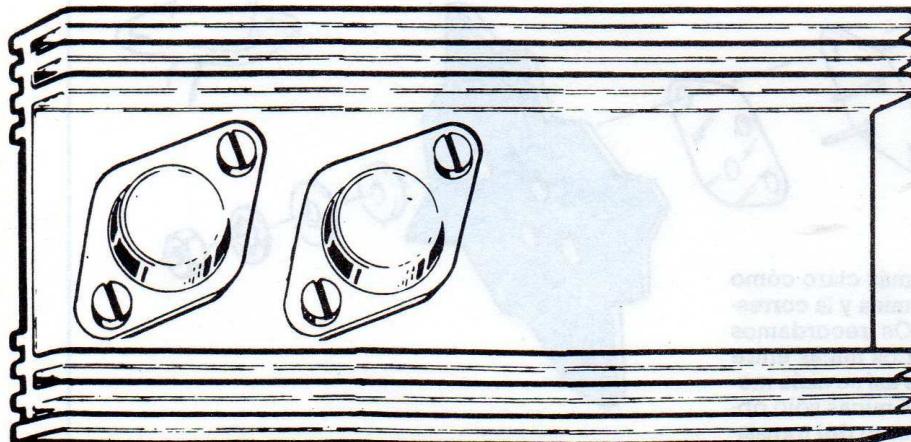


Figura 8

Si queréis quemar vuestros transistores, aplicadlos totalmente a un lado de la aleta, como se ve en la figura. Con semejante montaje la superficie útil de la aleta se reduce a la mitad, y en consecuencia aumenta considerablemente la resistencia térmica, como se puede comprobar en las tablas que os proporcionamos al final del artículo.

queremos determinar la longitud de la aleta necesaria para ello.

En primer lugar, calcularemos la potencia entregada por el alimentador, que viene dada por:

$$24 \times 2,4 = 57,6 \text{ wat.}$$

A continuación multiplicaremos esta potencia por el factor corrector 0,35 (ya que se trata de un amplificador en clase C) para determinar la potencia disipada por el transistor:

$$\text{wat. trans.} = 57,6 \times 0,35 = 20,16 \text{ wat.}$$

La resistencia térmica de que debe disponer nuestra aleta nos vendrá dada por:

$$Rd = (Tj - Ta) : \text{wat.} - (Rjc + Rcd)$$

$$Rd = (140 - 25) : 20,16 - (2,9 + 1,8) = 1 \text{ }^{\circ}\text{C/W.}$$

Llegados a este punto, por el gráfico situado bajo la aleta n.º 37 podemos deducir que la resistencia térmica mínima de que dispone dicha aleta es 1,4 °C/W. Por tanto, si queremos obtener las condiciones que nos habíamos propuesto —es decir, mantener la temperatura de

nos consejos respecto al montaje del transistor sobre la aleta y de la aleta en el interior o en el exterior de la caja contenedora, ya que si se efectuan estas operaciones sin seguir unos criterios muy precisos, puede que la superficie de la aleta obtenida mediante los cálculos resulte insuficiente para tal objeto.

Dichos consejos se reducen a lo que sigue:

1. Colocad la aleta preferiblemente en el exterior de la caja contenedora.

Siempre es preferible colocar la aleta refrigeradora en el exterior del contenedor, de modo que el aire pueda circular libremente sobre ella eliminando el exceso de calor.

Sin embargo, a veces no es posible situar la aleta en el exterior y en ese caso habrá que hacer de manera que el calor logre disiparse siempre. Es decir, deberéis obrar de modo que el aire consiga circular también en el interior de la caja contenedora, «lamiendo» la superficie de la aleta.

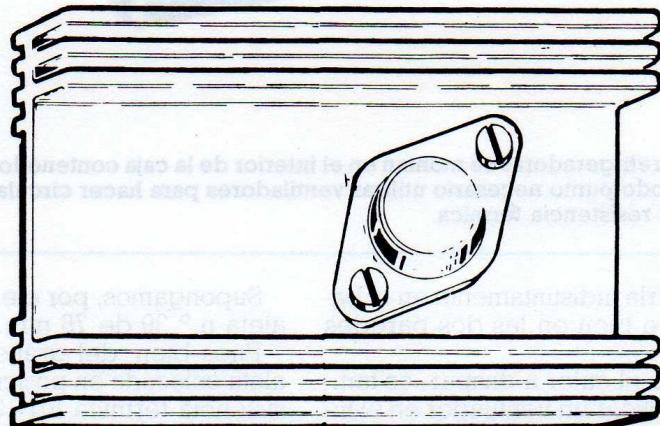


Figura 9

Aplicando un solo transistor en una aleta, siempre habrá que tratar de fijarlo en el centro y no a un lado como se ve en el dibujo, ya que haciéndolo así la superficie eficaz es mucho menor que la realmente existente.

la unión por debajo de los 140 °C—, debemos recurrir a una estrategia que consiste en adoptar la máxima longitud para la aleta (14-15 cm.) y enfriarla con un ventilador para así disminuir, como veremos, la resistencia térmica.

Si no adoptamos el ventilador, la temperatura de la unión subirá en cambio a:

$$Tj = \text{wat.} \times (Rjc + Rcd + Rd) + Ta$$

$$Tj = 20,16 \times (2,9 + 1,8 + 1,4) + 25 = 147 \text{ C.}$$

Consejos prácticos

Llegados a este punto y antes de concluir el artículo, nos sentimos obligados a daros algu-

Para obtener esto es necesario que el contenedor disponga de aberturas al menos en dos paredes contrapuestas, de manera que el aire pueda entrar por una parte y salir por la otra llevando consigo el calor.

Naturalmente, la aleta deberá estar situada en el centro de ese flujo de aire, evitando interponer obstáculos, como por ejemplo un transformador o un blindaje que no harían sino bloquear el paso de aire, impidiéndole llegar a la aleta.

Dado que el aire caliente tiende a subir, será conveniente que la pared superior de la caja contenedora disponga de orificios que permitan la salida del aire una vez recogido el calor. Respecto a la «toma de entrada», en cam-

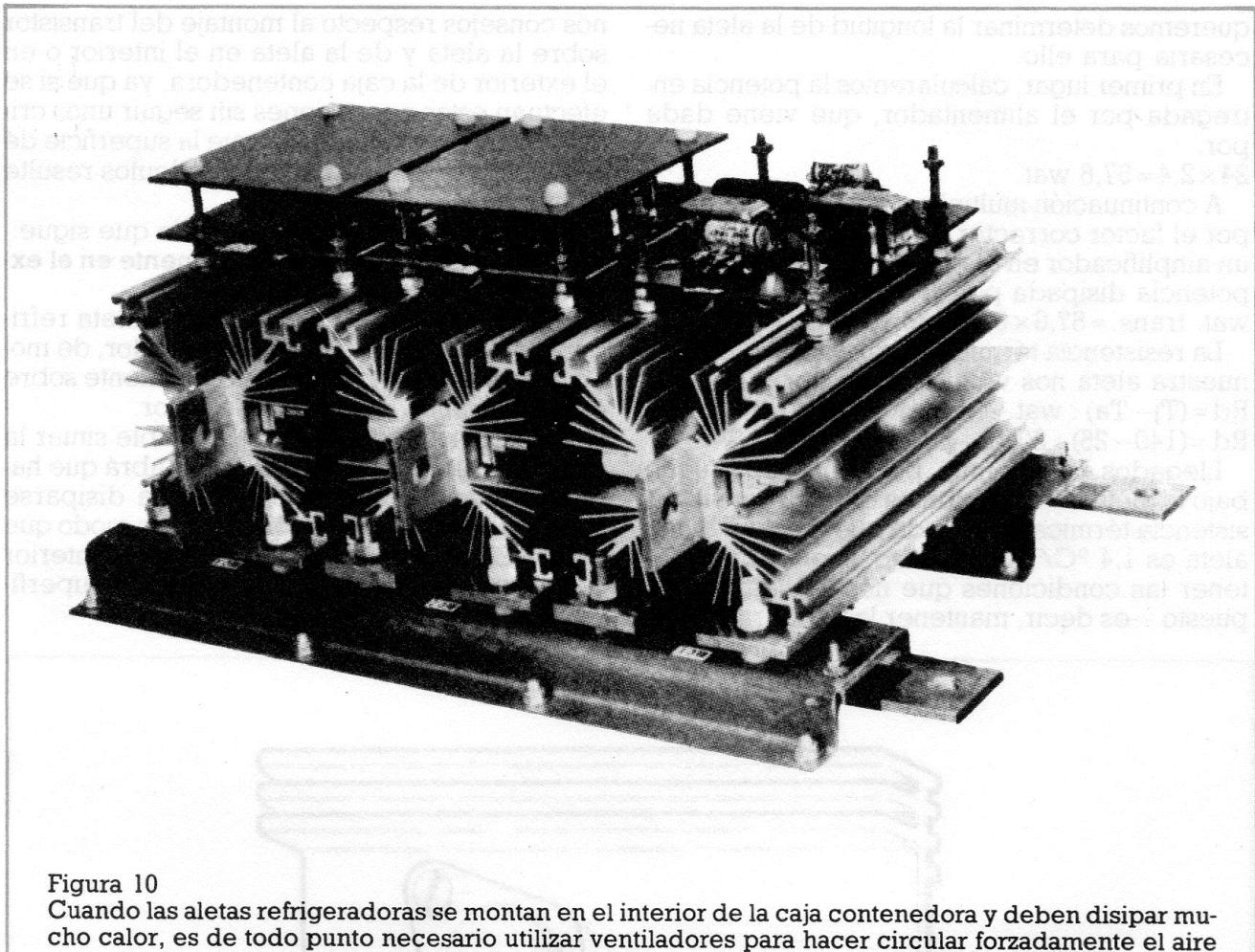


Figura 10

Cuando las aletas refrigeradoras se montan en el interior de la caja contenedora y deben disipar mucho calor, es de todo punto necesario utilizar ventiladores para hacer circular forzadamente el aire y disminuir así su resistencia térmica.

bio, podréis efectuarla indistintamente en la base del contenedor o bien en las dos paredes laterales.

Cuando es mucho el calor a disipar, es también aconsejable aplicar un ventilador en el interior de la caja contenedora de modo que aumente el flujo de aire y en consecuencia aumente también el intercambio de calor entre aleta y ambiente externo.

2. La aleta se coloca en posición vertical.

Mucha gente piensa que el hecho de colocar la aleta en posición horizontal o vertical carece de importancia. Sin embargo, en la práctica si las laminillas de la aleta están dispuestas verticalmente, como los elementos de un radiador, el aire puede circular mejor de abajo arriba, eliminando así una mayor cantidad de calor.

Esto significa que, a igualdad de dimensiones, una aleta colocada verticalmente presenta una resistencia térmica menor que la misma aleta colocada horizontalmente, por tanto en el primer caso el transistor se calentará menos que en el segundo.

Podemos incluso anticiparos que si tomáis la decisión de colocar la aleta horizontalmente, la resistencia térmica que obtendréis del gráfico situado bajo el respectivo perfil se multiplicará por el **coeficiente corrector 1,25**.

Supongamos, por ejemplo, que tenemos una aleta n.º 39 de 75 mm. de longitud.

Pues bien, del gráfico se deduce que esta aleta colocada en posición vertical tiene una resistencia térmica $R_d = 3 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$.

Si en cambio la colocásemos horizontalmente, tal resistencia térmica se convertiría aproximadamente en:

$$3 \times 1,25 = 3,75 \text{ }^{\circ}\text{C/W}.$$

3. Es mejor que la aleta sea anodizada negra.

Ya habíamos mencionado al comienzo del artículo que una aleta anodizada negra permite disipar una cantidad de calor más elevada que una aleta de iguales dimensiones pero de aluminio blanco.

Ahora podemos precisar que si la aleta es blanca, el valor de resistencia obtenido del gráfico representando bajo el respectivo perfil hay que multiplicarlo por el **coeficiente corrector 1,1**, por consiguiente se obtiene una resistencia térmica más elevada.

Supongamos de nuevo que tenemos una aleta n.º 39 de 75 mm. de longitud, que anodizada en negro presenta una R_d de $3 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$ y vamos a calcular cuánto aumenta la R_d si la aleta fuese blanca en vez de negra:

$$R_d = 3 \times 1,1 = 3,3 \text{ }^{\circ}\text{C/W}.$$

Si además dicha aleta fuese colocada en posición horizontal, en lugar de verticalmente, su



Figura 11
Foto de un ventilador axial utilizado en el campo de la electrónica para refrigerar aletas.



Figura 12
Foto de un ventilador a centrifugo.

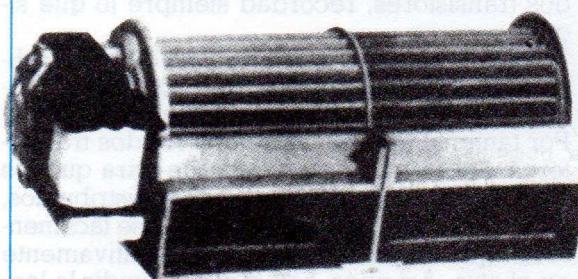


Figura 13
Foto de un ventilador tangencial.

resistencia térmica aumentaría de nuevo ya que tendríamos que multiplicarla por el factor corrector 1,25 del que anteriormente hablábamos, obteniendo así:

$$Rd = 3,3 \times 1,25 = 4,12 \text{ } ^\circ\text{C/W}.$$

Por tanto, no penséis que habéis acabado la tarea una vez calculada sobre el papel la resistencia térmica de que debe disponer la aleta, porque si ésta no se elige y se coloca luego con criterios correctos, podríais tener la sorpresa de ver que el transistor se calienta mucho más de lo que habíais previsto teóricamente.

4. Usad siempre la pasta de silicona.

Como se puede constatar fácilmente por la tabla n.º 2, la resistencia térmica contenedor-disipador R_{cd} disminuye notablemente si extendemos pasta de silicona entre el cuerpo del transistor y la aleta.

Por poner un ejemplo, si tenemos un transistor con contenedor T03, utilizando esta pasta la resistencia térmica se reduce a la mitad. En efecto, tenemos:

$$R_{cd} = 0,25 \text{ sin pasta}$$

$$R_{cd} = 0,12 \text{ con pasta.}$$

Esto significa que podrá fluir una mayor cantidad de calor del transistor hacia la aleta y en consecuencia, para transistores de elevada potencia, podremos hacer de modo que el cuerpo del transistor se mantenga más frío durante el funcionamiento.

5. Eliminad la mica en los transistores de potencia.

Respecto a los transistores de elevada potencia no es aconsejable interponer mica aislante entre el cuerpo del transistor y la aleta, ya que ésta no hace sino aumentar la resistencia térmica contenedor-disipador R_{cd} , es decir, frenar el flujo del calor hacia el ambiente exterior.

Os preguntaréis entonces cómo aislar el colector del transistor, que normalmente se alimenta con tensión positiva, de la aleta que en cambio está conectada a masa.

A ello os responderemos que siempre es posible, e incluso más conveniente, aislar la aleta del metal de la caja contenedora aplicando arandelas de plástico bajo aquélla.

En caso de tener dos transistores, uno alimentado con tensión positiva y el otro con tensión negativa, es obvio que no podremos montarlos sobre la misma aleta porque de lo contrario crearíamos un cortocircuito. Habrá que resolver el problema utilizando dos aletas separadas, que naturalmente aislaríamos de la masa y entre sí.

Así mismo, queríramos hacer notar a los lectores que suelen aplicar dos micas en vez de una sola, creyendo que aislan mejor el transistor, que ésta es una operación muy arriesgada para el transistor.

En efecto, con dos micas la resistencia térmica aumenta considerablemente, hasta el punto de que para un T03 se puede pasar de una $R_{dc} = 0,8 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ con una sola mica, a una $R_{dc} = 2,5 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ con dos micas. Por consiguiente,

te tendremos una mayor salto térmico entre el contenedor del transistor y la aleta; es decir, la aleta permanecerá a la misma temperatura mientras que la temperatura del transistor subirá notablemente.

Por ejemplo, supongamos que tenemos un transistor en T03 con una $R_{JC} = 1,4 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$ que disipa una potencia de 22 wat. y que le aplicamos una aleta con una resistencia térmica $R_d = 1,8 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$. Veámos ahora qué temperaturas alcanzan la unión, el contenedor y la aleta respectivamente, utilizando una sola mica o bien dos micas.

Con **una sola mica** tenemos:

$$T_j = \text{wat.} \times (R_{JC} + R_{CD} + R_d) + Ta$$

$$T_j = 22 \times (1,4 + 0,8 + 1,8) + 25 = 113 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_c = \text{wat.} \times (R_{CD} + R_d) + Ta$$

$$T_c = 22 \times (0,8 + 1,8) + 25 = 82 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_d = \text{wat.} \times R_d + Ta = 22 \times 1,8 + 25 = 64 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Con **dos micas** tenemos, en cambio:

$$T_j = 22 \times (1,4 + 2,5 + 1,8) + 25 = 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_c = 22 \times (2,5 + 1,8) + 25 = 119 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_d = 22 \times 1,8 + 25 = 64 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Como se puede ver, con dos micas la aleta se mantiene más fría pero la unión del transistor alcanza una temperatura más elevada: 150 °C en vez de los 113 °C que se obtienen utilizando una sola mica.

6. Un cartoncito no equivale a una mica.

Con frecuencia nos llegan para reparar amplificadores en los cuales el lector, no disponiendo acaso de micas, había introducido un cartoncito entre el transistor y la aleta y, obviamente, los finales habían «saltado».

En efecto, hay que tener presente que aplicando un cartoncito en lugar de una mica, la resistencia térmica R_{CD} asume valores astronómicos (por ejemplo, se puede pasar tranquilamente de una $R_{CD} = 0,8 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$ con la mica, a una $R_{CD} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$ con el cartoncito); en consecuencia, la temperatura alcanzada por la unión puede superar fácilmente el límite máximo permitido.

Para mejor darnos cuenta de esto, tomemos de nuevo el ejemplo anterior y calculemos la temperatura de la unión con una mica y con un cartoncito respectivamente, suponiendo que el transistor que utilizamos tenga una $R_{JC} = 1,8 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$.

La fórmula a utilizar en este caso, como recordaréis, es la siguiente:

$$T_j = \text{wat.} \times (R_{JC} + R_{CD} + R_d) + Ta.$$

Por consiguiente, con la mica obtendremos:

$$T_j = 15 \times (1,8 + 0,8 + 2) + 25 = 94 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

mientras que con el cartoncito obtendremos:

$$T_j = 15 \times (1,8 + 15 + 2) + 25 = 307 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

es decir, una temperatura enormemente superior a la temperatura máxima tolerada por la unión, que obviamente provocará la inmediata destrucción del transistor.

Dos transistores en la misma aleta

Sobre una misma aleta es posible aplicar dos transistores simultáneamente, a condición de que se aislen con una mica en caso de que los colectores se alimenten con tensiones distintas.

Importante: cuando utilicéis una aleta para dos transistores, recordad siempre lo que sigue:

1.º Dado que utilizamos una aleta de dobles dimensiones, considerarla como dos aletas totalmente idénticas, colocadas una junto a la otra. Por tanto, al aplicar sobre ella los dos transistores, habrá que poner atención para que los espacios resulten equitativamente distribuidos, de modo que el calor pueda disiparse fácilmente sin que un transistor influya negativamente en el otro. Así pues, hay que subdividir la longitud de la aleta en dos partes iguales y colocar los transistores en el centro de cada una de estas dos partes, como se ve en la fig. 6.

2.º Se equivocan quienes, dividiendo la longi-

FACTOR DE CORRECCIÓN EN FUNCIÓN DEL RÉGIMEN DEL VENTILADOR		
RÉGIMEN DE FUNCIONAMIENTO		FACTOR CORRECTOR
litros/seg.	Metros cúbicos/hora	F
8	30	0,79
11	40	0,72
14	50	0,66
17	60	0,60
19	70	0,55
22	80	0,51
25	90	0,49
28	100	0,47
30	110	0,45
33	120	0,43
36	130	0,41
39	140	0,39
42	150	0,37
44	160	0,36
47	170	0,35
50	180	0,34
53	190	0,33
56	200	0,32
58	210	0,31
61	220	0,30
64	230	0,29
67	240	0,28
70	250	0,27
72	260	0,26
75	270	0,25
78	280	0,24
81	290	0,23
84	300	0,22
86	310	0,22
89	320	0,21
92	330	0,21

tud por tres, colocan los transistores como se ve en la fig. 7, porque en ese caso tendremos una acumulación de calor más elevada en el centro que en los extremos. En la práctica es como si aplicásemos un transistor totalmente a un lado de una aleta (ver fig. 9) y en ese caso es obvio que este lado resultaría más caliente respecto al otro, es decir, la aleta no sería aprovechada al máximo de sus posibilidades y su resistencia térmica aumentaría.

3.º Se equivocan también quienes aplican los transistores totalmente a un lado, porque de ese modo es como si disminuyésemos la superficie de la aleta y en consecuencia podrían quemarse los transistores (ver fig. 8).

Funcionamiento con aire forzado

Por los diagramas situados bajo el perfil de cada aleta hemos visto que son pocas las aletas que pueden disponer de una resistencia térmica inferior a $1\text{ }^{\circ}\text{C/W}$, pero también hemos visto en los ejemplos que en ocasiones, al realizar montajes de elevada potencia, se necesitan disipadores con una resistencia térmica de $0,5\text{--}0,6\text{ }^{\circ}\text{C/W}$. Por ello, a veces podríamos encontrarnos en la situación de no saber qué hacer para enfriar nuestro transistor.

Pues bien, en estos casos la única solución posible consiste en aplicar enfrente de la aleta un **ventilador** que al mover el aire sobre su superficie, permita una mayor disipación del calor por convención y por tanto, la mantenga más fría.

En otras palabras, situando un ventilador frente a la aleta, **se reduce sus resistencia térmica** y en consecuencia el transistor podrá disipar una potencia mayor. Ahora, dando por descontado que la resistencia térmica de la aleta se reduce aplicando un ventilador, pensamos que el lector estará interesado en saber cuánto se reduce en la práctica dicha resistencia.

Recordaremos entonces que para poder valorar en términos numéricos tal reducción, es absolutamente necesario conocer un dato que siempre se proporciona con el ventilador, esto es, **cuantos metros cúbicos de aire** es capaz de desplazar tal ventilador **en una hora** o lo que es lo mismo, **cuantos litros por segundo**.

En la tabla abajo reproducida encontraréis, en correspondencia con la cantidad de aire desplazado en la unidad de tiempo (es decir, metros cúbicos/hora o litros/segundo), un **factor de corrección** indicado con la letra **F**.

Pues bien, multiplicando la resistencia térmica de la aleta por este factor de corrección, hallaréis automáticamente la resistencia térmica de la aleta una vez aplicado el ventilador.

Tomemos como ejemplo la aleta n.º 8.

De su diagrama podemos deducir que para una longitud de 15 cm. presenta una resistencia térmica de $R_d = 1,4\text{ }^{\circ}\text{C/W}$.

Para determinar cual será su resistencia térmica una vez aplicado un ventilador, nos serviremos, como ya hemos mencionado, de la siguiente fórmula:

$$R_{dv} = R_d \times F$$

Supongamos ahora que disponemos de dos ventiladores, uno que desplaza 80 metros cúbicos por hora y otro más grande que desplaza en cambio 180 metros cúbicos por hora.

En la tabla averiguaremos que el factor correctivo F es igual a **0,51** para el primer ventilador y **0,34** para el segundo. Así pues en el primer caso, es decir utilizando el ventilador más pequeño, la resistencia térmica de la aleta con aire forzado será igual a:

$$R_{dv} = 1,4 \times 0,51 = 0,714\text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

En el segundo caso, en cambio, con un ventilador más grande, tendremos:

$$R_{dv} = 1,4 \times 0,34 = 0,5\text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

es decir, la resistencia térmica se ha reducido más de la mitad.

Llegados a este punto podemos ya calcular cuál es la potencia máxima que se puede hacer disipar a un transistor aplicándolo sobre esta aleta, en las tres condiciones recién analizadas; es decir, sin ventilador, con un ventilador de 80 metros cúbicos por hora y con uno de 180 metros cúbicos por hora.

Supongamos que se trata de un transistor 2N4398, cuyas características principales son las siguientes:

$$W_{at. máx.} = 200$$

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

$$R_{jc} = 0,875\text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$R_{cd} = 0,25\text{ }^{\circ}\text{C/W (sin mica)}$$

Supongamos también que la temperatura ambiente es de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y que deseamos que la temperatura de la unión no supere los $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, para prevenirnos contra eventuales pequeños errores en la valoración de los parámetros.

La fórmula que nos proporciona los wat. máximos es, como ya sabréis, la siguiente:

Wat. máx. = $(T_j \text{ máx.} - T_a) : (R_{jc} + R_{cd} + R_d)$, por tanto, en los tres casos a analizar obtendremos respectivamente:

$$\text{Wat. máx.} = (150 - 25) : (0,875 + 0,25 + 1,4) = 49,5 \text{ sin ventilador;}$$

$$\text{Wat. máx.} = (150 - 25) : (0,875 + 0,25 + 0,714) = 67,9 \text{ con el ventilador pequeño;}$$

$$\text{Wat. máx.} = (150 - 25) : (0,875 + 0,25 + 0,5) = 76,9 \text{ con el ventilador grande.}$$

Consejos prácticos si se utiliza un ventilador.

Hemos dicho que enfriando la aleta con un ventilador se consigue disminuir la resistencia térmica, pero nos sentimos obligados a precisar que esto es cierto sólo en el caso de que se adopten todas las medidas necesarias. De lo contrario las ventajas obtenidas podrían resultar mínimas en comparación con el resultado de los cálculos.

Por consiguiente, si queréis lograr efectivamente una mayor disipación de calor por par-

te de la aleta, no olvidéis seguir al pie de la letra los siguientes consejos:

1.º Tratar de situar el ventilador de manera que el aire por él provocado atraviese longitudinalmente la aleta, afectando a todos los espacios intermedios entre una laminilla y la inmediatamente adyacente.

En efecto, resulta lógico que si aplicáis el ventilador a un lado, el aire sólo pueda enfriar la primera laminilla (es decir, la que queda enfrente), mientras que el resto permanecerían calientes.

2.º También es necesario que existan orificios en la pared situada detrás del ventilador, para permitirle tomar aire del exterior, así como habrá que practicar orificios en la pared opuesta para permitir que salga el aire caliente. Si no existiesen dichos orificios o fuesen de diámetro insuficiente respecto a la cantidad de aire desplazada por el ventilador, en el interior del mueble sólo circularía aire caliente (o al menos tibio) y en consecuencia ya no podríamos considerar la T_a igual a 25°C , sino igual a $40\text{--}50^{\circ}\text{C}$.

3.º La boca de salida del ventilador debe situarse a escasa distancia de la aleta, de modo que todo el flujo de aire generado converja sobre esta última.

Si colocamos el ventilador a una distancia de 15-20 cm. de la aleta, una parte del aire circulará en otras direcciones y en consecuencia el factor correctivo F ya no sería el indicado en la tabla sino ligeramente más alto, como si utilizásemos un ventilador más pequeño.

4.º Al efectuar los cálculos no lleguéis nunca al límite máximo permitido, sino tratad de mantener siempre un margen de seguridad de al menos un 20 por 100, ya que si se bloquease el ventilador o disminuyese su régimen debido, por ejemplo, a una escasa lubricación, se podría correr el riesgo de quemar el transistor.

Ejemplo: tenemos un transistor de AF con contenedor SOT.48 al que queremos hacer disipar una potencia de 35 wat. con ventilación forzada, utilizando un ventilador que tiene un flujo de 140 metros cúbicos por hora (factor de corrección $F = 0,39$) pero queremos que la temperatura de la unión no supere los 155°C . Deseamos elegir la aleta más adecuada y los datos que poseemos son los siguientes:

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

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

$$\text{Wat. máx.} = 80$$

$$R_{cd} = 1,8^{\circ}\text{C/W}$$

Suponiendo que la temperatura ambiente sea de 25°C , tendremos:

$$R_{dv} = (T_j - T_a) : \text{wat.} - (R_{jc} + R_{cd})$$

$$R_{dv} = (150 - 25) : 35 - (1,5 + 1,8) = 0,27^{\circ}\text{C/W}$$

Esta es la resistencia térmica requerida, es decir, la resistencia térmica con ventilación forzada. Pero para obtener la resistencia térmica de la aleta sin ventilador, de modo que poda-

mos determinar el perfil y la superficie, es necesario utilizar la siguiente fórmula inversa:

$$R_d = R_{vd} : F = 0,27 : 0,39 = 0,69^{\circ}\text{C/W}$$

Ahora, mirando en la tabla de los perfiles, veremos que una aleta con una resistencia térmica de $0,69^{\circ}\text{C/W}$ es por ejemplo, la n.º 86 de 14-15 cm. de longitud, o la n.º 71 de 10 cm. de longitud.

Sin embargo, nosotros os hemos aconsejado que toméis precauciones con la aleta para el caso en que el ventilador tenga un régimen de funcionamiento más bajo del previsto. En consecuencia, nosotros elegiríamos la n.º 71, que no está «al límite» y la haríamos un poco más larga de lo necesario, por ejemplo de 13-14 cm.

Para finalizar

Llegados a este punto creemos sinceramente que os hemos dicho todo lo humanamente posible para ayudaros a resolver el problema de las aletas refrigeradoras, por tanto no queda sino esperar que las fórmulas y los ejemplos os resulten claros, como en un principio nos habíamos propuesto.

Antes de despedirnos queríamos volver a recordar que si algún lector no encuentra entre los dibujos un perfil idéntico al de su aleta, siempre podrá elegir el que más se asemeja como formato y dimensiones. Realmente una leve diferencia en la resistencia térmica de la aleta no perjudica en absoluto la vida de vuestro transistor, sobre todo teniendo en cuenta que en nuestros cálculos utilizamos siempre una temperatura de unión T_j **notablemente más baja** que la temperatura máxima permitida.

Lo que sí queremos señalar es la necesidad de aumentar algún centímetro la longitud de la aleta si ésta no es anodizada en negro o bien si se coloca en posición horizontal o en el interior del contenedor, ya que todos los cálculos efectuados se refieren a **aletas anodizadas en negro**, colocadas en posición vertical y en el exterior de la caja contenedora.

Con transistores de potencia utilizad siempre la pasta de silicona, eliminad la mica siempre que sea posible y no os preocupéis si después de seguir al pie de la letra nuestros consejos veis que la aleta se calienta, ya que debe calentarse para transmitir su calor al aire exterior.

Recordad que la fórmula que nos proporciona la temperatura de la aleta es la siguiente: $T_d = \text{wat.} \times R_d + T_a$, por tanto, a igualdad de temperatura ambiente, cuantos más sean los wat. a disipar, más se calentará la aleta y este fenómeno resultará tanto más pronunciado cuanto más elevada sea la resistencia térmica R_d de la aleta.

Por último, queríamos mencionar que a causa de los distintos factores correctores que hemos aconsejado, tanto para la T_j cuanto para

TABLA 1 - RESISTENCIA TÉRMICA UNIÓN-CONTENEDOR Y UNIÓN-AMBIENTE

Tipo contenedor	Resistencia térmica Rjc	Resistencia térmica sin aleta Rja
TO5-TO.39	de 10 a 60° C/W	de 175 a 220° C/W
TO.202	de 12 a 15° C/W	de 80 a 90° C/W
TO.126 - SOT.32	de 3 a 15° C/W	de 80 a 100° C/W
TO.220 TO.66 plástico	de 1,5 a 4,2° C/W	de 60 a 70° C/W
TO.3 plástico	de 1 a 2° C/W	de 35 a 45° C/W
TO.66 SOT.9	de 4 a 5° C/W	de 75 a 85° C/W
TO.59 TO.60	de 1,5 a 3° C/W	de 70 a 90° C/W
TO.3	de 0,8 a 3° C/W	de 30 a 40° C/W
TO.117	de 15 a 35° C/W	de 70 a 90° C/W
SOT.48 SOE.2	de 1,8 a 6° C/W	de 40 a 70° C/W
DIA.4L	de 1,25 a 5,6° C/W	de 40 a 70° C/W

determinar la potencia disipada por el transistor, podría suceder que en los cálculos —especialmente respecto a potencias elevadas— os resulte que tenéis que elegir una aleta con una **Rd menor de cero**.

Obviamente esto no tiene ningún sentido, porque ninguna aleta —ni siquiera refrigerada con un ventilador— puede tener una resistencia térmica menor de cero. Ello podría ocurrir si:

1.º Habéis establecido una T_j demasiado baja respecto a la potencia a disipar (por ejemplo, habéis usado el factor corrector más bajo, esto es, 0,5). Por consiguiente volved a hacer los cálculos con un factor corrector más elevado, es decir 0,6 ó 0,7, pero sin superar nunca el 0,7, porque de otro modo os saldréis de los límites de seguridad que nos habíamos impuestos.

2.º La R_{cd} es demasiado elevada, por tanto probad a rehacer los cálculos eliminando la mica y extendiendo pasta de silicona, para ver si resulta una R_d mayor de cero.

Si en ambos casos no lográis obtener una resistencia térmica R_d positiva, significa que vuestro transistor no es capaz de disipar la potencia requerida y en consecuencia tendréis que elegir otro transistor con una R_{jc} más baja.

Dicho esto, creemos que no queda nada por añadir. Esperamos haber sido exhaustivos al tratar este tema y no haber olvidado nada. Aun así no queremos dar el asunto por cerrado y

si recibimos consultas de los lectores, tened por seguro que las contestaremos en los próximos números.

Importante

Tratad de no perder este número de la revista, ya que las tablas son difíciles de conseguir y antes o después os serán de gran utilidad para calcular las dimensiones de la aleta requerida en vuestros montajes, o bien para comprobar si la aleta de que disponéis es la más adecuada para desarrollar su función en el mejor de los modos posibles.

Nota: En las páginas que siguen os presentamos los perfiles que se pueden conseguir más fácilmente en el mercado junto con el gráfico de la resistencia térmica que asume cada perfil en función de su longitud.

Recordamos que la resistencia térmica indicada en estos gráficos corresponde a una aleta anodizada en negro, colocada verticalmente en el exterior de la caja contenedora y con el transistor situado exactamente en la zona central. Por tanto, si la aleta no es anodizada (por ejemplo, si es de aluminio blanco), si deseáis colocarla en posición horizontal en el interior del contenedor, si el transistor se coloca en uno de los lados de la aleta y no en el centro o si utilizáis un ventilador, recordad que hay que multiplicar la resistencia térmica obtenida

TABLA 2 - RESISTENCIAS TÉRMICAS. CONTENEDOR-DISPADOR

Tipo contenedor	Contacto directo sin mica	Contacto directo más pasta de silicona	Contacto con mica	Contacto con mica más pasta de silicona
N. 1 TO.39 TO.5	1	0,7	—	—
N. 2 TO.126	1,4	1	2	1,5
N. 3 TO.220	0,8	0,5	1,4	1,2
N. 4 TO.202	0,8	0,5	1,4	1,2
N. 5 TO.152	0,8	0,5	1,4	1,2
N. 6 TO.90	0,5	0,3	1,2	0,9
N. 7 TO.3 plástico	0,4	0,2	1	0,7
N. 8-9 TO.59	1,2	0,7	2,1	1,5
N. 10 TO.117	2	1,7	—	—
N. 11 SOT.48	1,8	1,5	—	—
N. 12-13 DIA.4L	1,1	0,7	—	—
N. 14 TO.66	1,1	0,65	1,8	1,4
N. 15 TO.3	0,25	0,12	0,8	0,4

en el gráfico por los distintos factores correctores indicados a lo largo del artículo.

Finalmente, si disponéis de una aleta cuyo perfil no aparece en nuestras tablas, buscad el que más se asemeja como dibujo y como dimensiones. En efecto, pequeñas diferencias de algún milímetro no modifican de modo apreciable la resistencia térmica.

En la tabla arriba representada podréis hallar qué resistencia térmica R_{jc} puede presentar aproximadamente un determinado tipo de contenedor.

Decimos aproximadamente porque aunque en muchos manuales se afirma que un contenedor TO.3 tiene exactamente una R_{jc} de 1,5 °C/W, en la práctica esto no siempre es cierto. En efecto, si tomamos tres diferentes transistores, todos con contenedor TO.3, y calculamos la R_{jc} en función de la potencia máxima disipada, encontraremos que cada uno presenta una R_{jc} distinta.

Por consiguiente el contenedor no puede ser tomado como elemento indicativo para determinar con certeza la R_{jc} de un determinado transistor. Por tanto, los números indicados en esta tabla sólo pueden servir para establecer aproximadamente cuál puede ser el valor de dicha resistencia, sin conocer ningún dato concreto del transistor.

En efecto, para calcular la R_{jc} con exactitud, la solución más adecuada consiste en utilizar la fórmula que os hemos proporcionado a lo largo del artículo, es decir:

$$R_{jc} = (T_j \text{ máx.} - 25) : \text{wat. máx.},$$

donde los **wat. máx.** son los que teóricamente puede disipar el transistor, **no la potencia** a la que nosotros le hacemos trabajar.

En la misma tabla, a la derecha, representamos también la resistencia térmica del transistor **sin aleta refrigeradora**, es decir, la resistencia térmica que encuentra el calor para pasar de la unión al contenedor más la resistencia térmica para pasar del contenedor al aire exterior.

También hay que tomar en consideración este dato, ya que, como la R_{jc} , varía de un transistor a otro y puede ser muy útil para determinar la potencia que se puede hacer disipar al transistor sin aleta de refrigeración.

La fórmula a utilizar en este caso es la siguiente:

$$\text{Wat. máx.} = (T_j - T_a) : R_{ja},$$

donde con R_{ja} hemos indicado la resistencia térmica del transistor y con T_j la temperatura máxima que queremos hacer alcanzar a la unión (no superar jamás el 70 por 100 de la T_j máx. indicada en los manuales).

Ejemplo: tenemos un transistor en contenedor TO.126 con una T_j máxima de 150 °C.

Queremos saber cuál es la potencia máxima que podemos hacerle disipar sin aleta, estableciendo que la temperatura de la unión no debe superar nunca los 100 °C.

Mirando en la tabla veremos que este tipo de contenedor presenta una resistencia térmica R_{ja} sobre los 105 °C/W. Por tanto, poniendo la T_a igual a 25 °C, obtendremos:
 $\text{Wat. máx.} = (105 - 25) : 100 = 0,8 \text{ wat.}$

Así pues, si deseamos que este transistor disipe una potencia superior a 0,8 wat., tendremos que aplicarle necesariamente una aleta de refrigeración.

