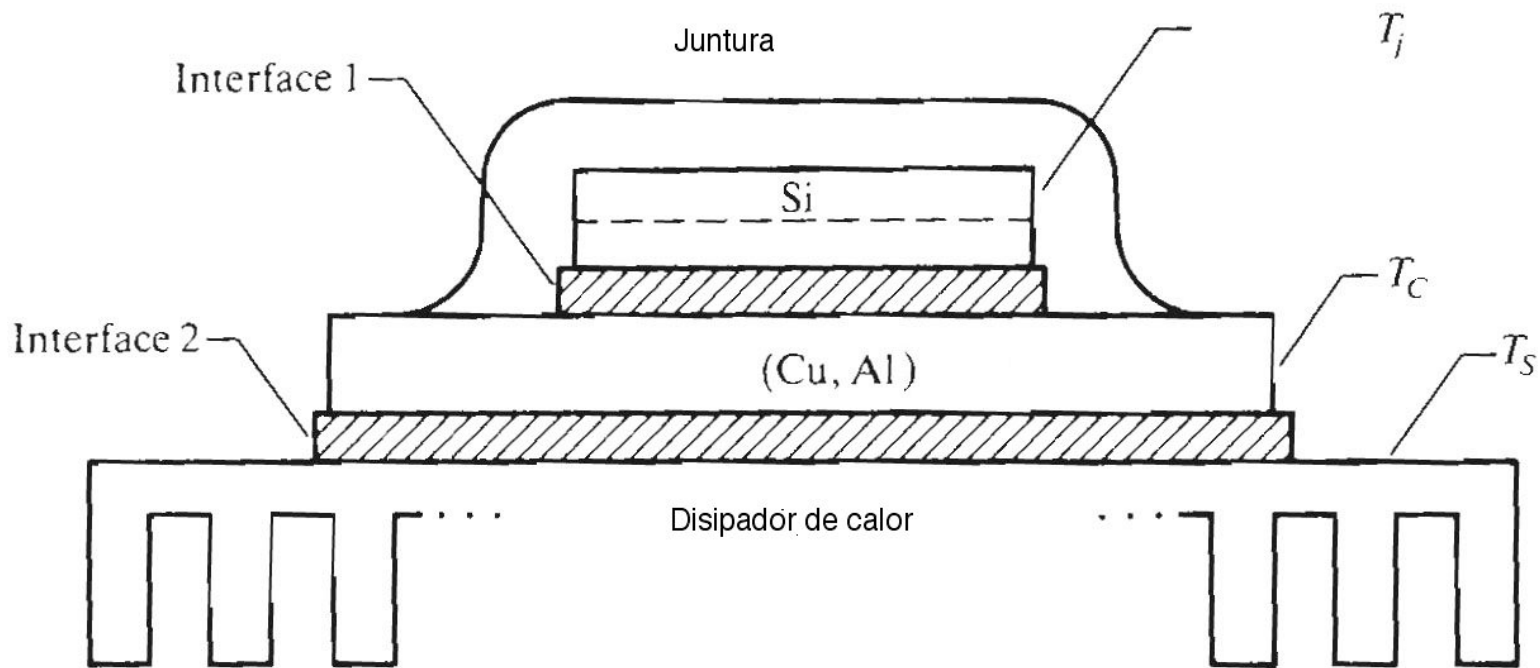


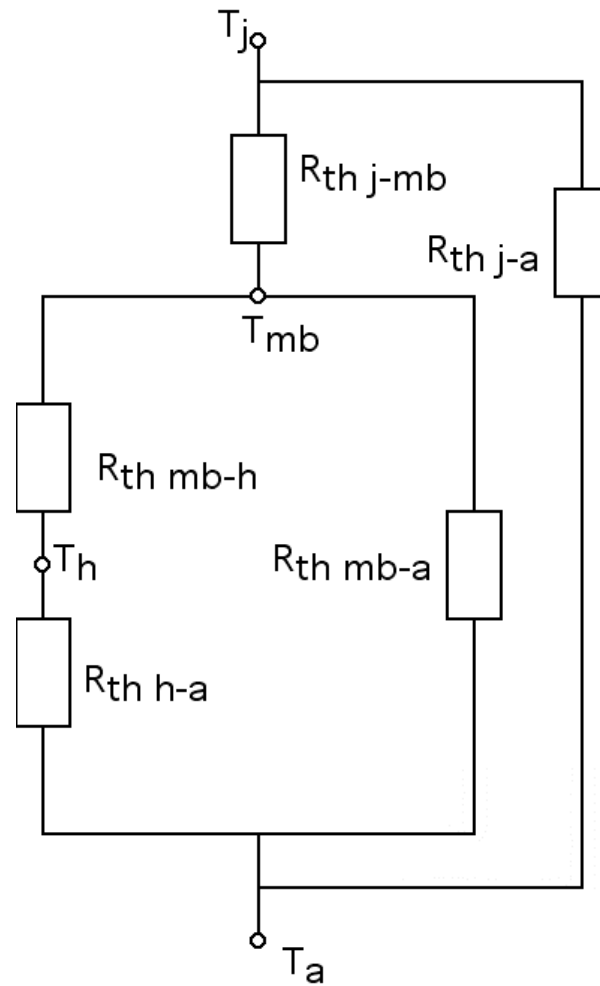
Cálculo del sistema de disipación de calor.

Los cálculos presentados a continuación se basan en el modelo eléctrico unidimensional del flujo térmico originado por la energía disipada en la juntura de un dispositivo electrónico de potencia que se asume es la única fuente de calor en la zona de interés, por lo que los resultados son aproximaciones de primer orden y deben ser usados incluyendo márgenes de seguridad adecuados.

Si se desean resultados más precisos debe emplearse un método de cálculo más exacto, que use un modelo de flujo de calor tridimensional calculado por el método de elementos finitos. Así mismo, en el caso de circuitos complejos, con múltiples componentes disipando calor, debe tomarse en cuenta la influencia de todas las fuentes de calor que existen en las proximidades de cada uno de los dispositivos.



Corte esquemático de un dispositivo electrónico de control de potencia encapsulado para operar con disipación de calor en un solo lado.



Modelo térmico resistivo equivalente unidimensional del arreglo dispositivo-disipador-medio ambiente.

Especificaciones térmicas

$R_{th\ j-a}$ = Resistencia térmica junta-ambiente

$R_{th\ j-mb}$ = Resistencia térmica junta-carcasa

$R_{th\ mb-h}$ = Resistencia térmica de contacto carcasa-disipador

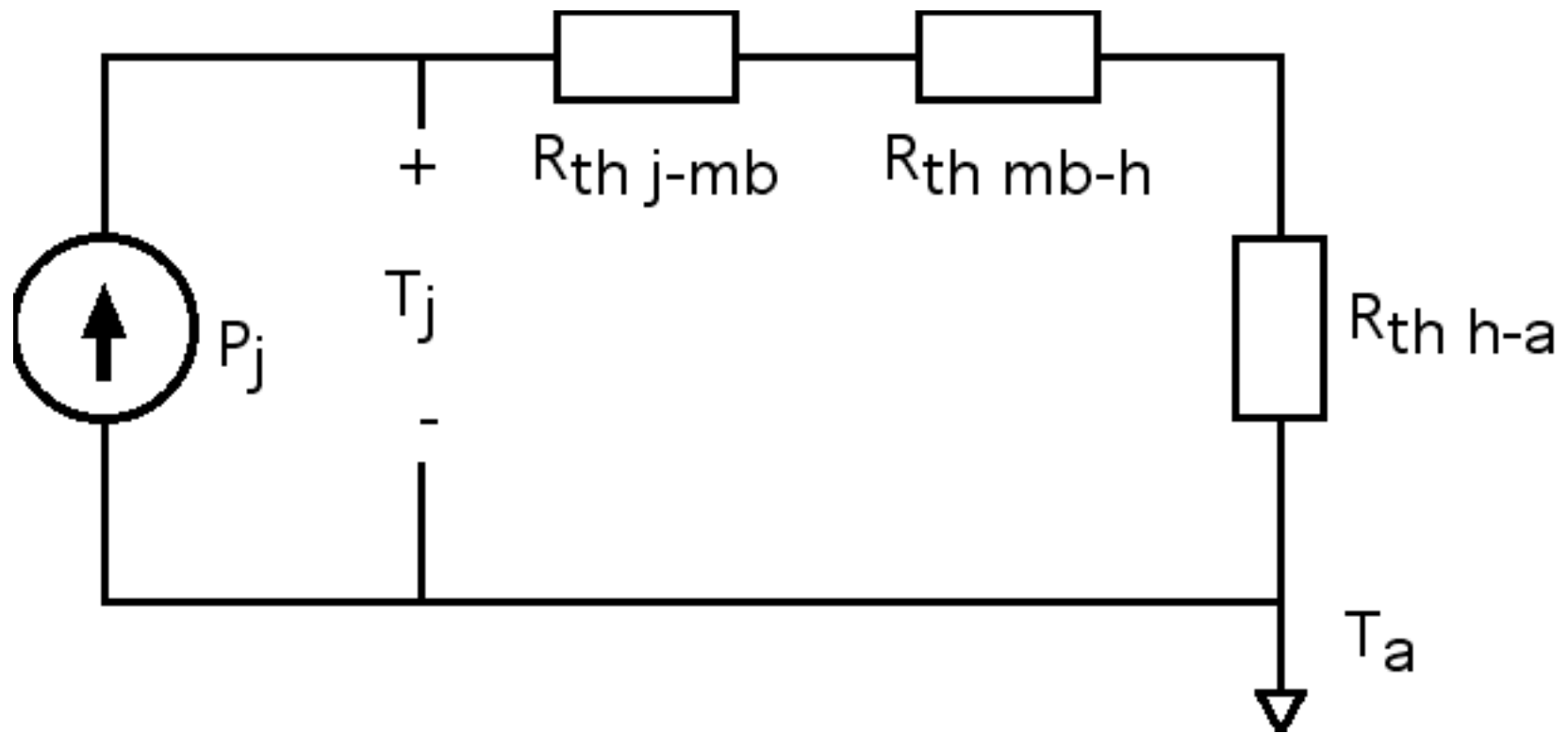
$R_{th\ mb-a}$ = Resistencia térmica carcasa-ambiente

T_j = Temperatura de junta

T_{mb} = Temperatura de la carcasa (externa)

T_h = Temperatura del disipador de calor (cara de contacto con el dispositivo)

T_a = Temperatura ambiente de referencia (en las cercanías del disipador)

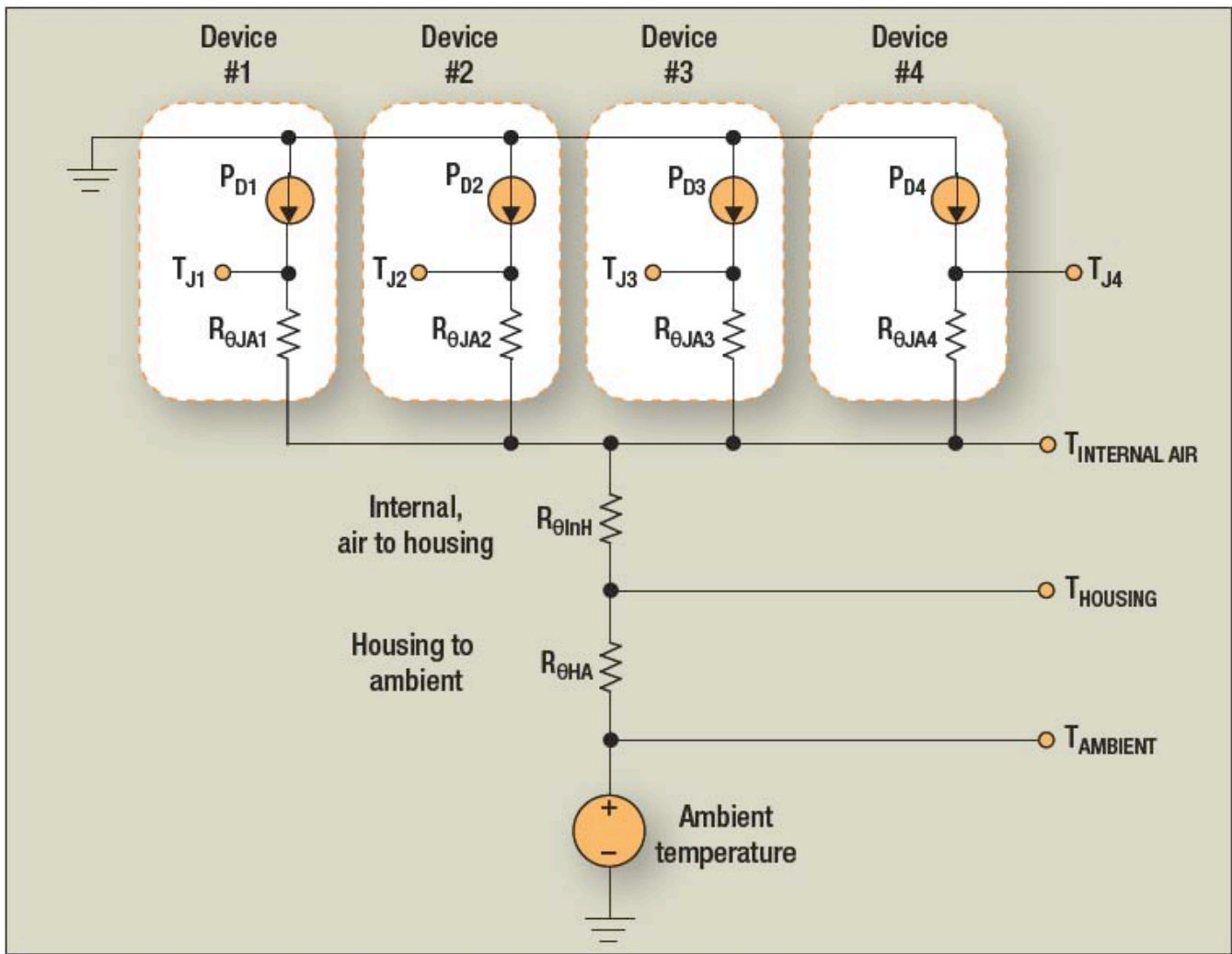


Modelo térmico unidimensional estacionario simplificado para calcular la temperatura de junta en primera aproximación.

El valor de la resistencia térmica de contacto carcasa-disipador ($R_{th\ mb-h}$) en el caso ideal de contacto perfecto entre ambos cuerpos metálicos debería de ser cero. Este valor no se alcanza en la práctica debido a las imperfecciones inevitables en el acabado de las superficies, por lo que es práctica usual aplicar una "grasa térmica" (pasta conductora del calor) entre ambas superficies para que al apretarlas entre si la grasa rellene todos los espacios vacíos que puedan existir.

Adicionalmente en muchos casos no es aceptable que exista contacto eléctrico entre la carcasa metálica del dispositivo y el disipador de calor, lo que obliga a insertar un una pieza de aislante eléctrico entre ambos, lo que incrementa adicionalmente la resistencia térmica $R_{th\ mb-h}$.

Si existen múltiples dispositivos disipando energía térmica en un ambiente común, es preciso definir el camino por el cual la emisión combinada puede llegar al medio ambiente de referencia, estableciendo el valor de las resistencias térmicas que son comunes a los diferentes flujos, para poder calcular efectivamente cual será la temperatura de juntura de cada dispositivo.



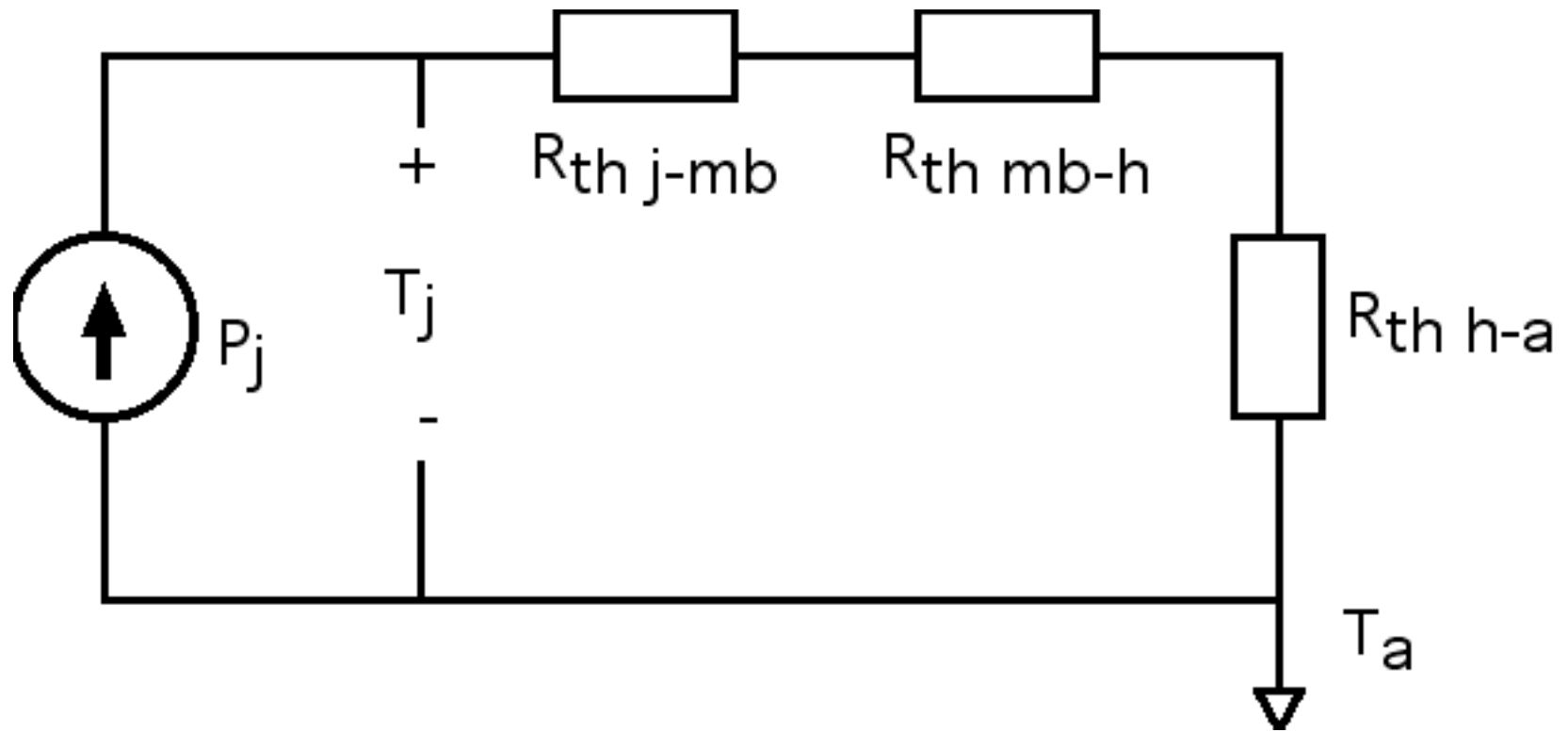
Sistema con múltiples fuentes de calor en un gabinete común.

El primer punto de referencia común a los cuatro es la temperatura del aire en el gabinete cerrado, que es común a los cuatro dispositivos una vez que se alcanza equilibrio térmico.

El camino común en el flujo térmico esta formado por la resistencia de transferencia de calor aire interno-paredes del gabinete, $R_{\Theta InH}$, en serie con la resistencia térmica de transferencia paredes del gabinete-medio ambiente externo, $R_{\Theta HA}$.

Nótese que en primera aproximación se ha ignorado la resistencia térmica de transferencia del calor a través de la pared del gabinete, dado que al ser metálico se asume que será despreciable en comparación con las de transferencia aire-metal.

Cálculo de la resistencia térmica máxima posible del disipador de calor para asegurar que no se supere la temperatura máxima en la junta, caso simple con un solo dispositivo.



Modelo térmico unidimensional estacionario simplificado para calcular la temperatura de junta en primera aproximación.

Del circuito equivalente térmico:

$$T_{jM} = T_{aM} + P_{avM} (R_{thj-mb} + R_{thmb-h} + R_{thh-aM})$$

$$R_{thh-aM} = \frac{T_{jM} - T_{aM}}{P_{avM}} - (R_{thj-mb} + R_{thmb-h})$$

Donde:

T_{jM} es la máxima temperatura en la junta aceptada en el diseño, valor que debe ser menor o igual al indicado en las especificaciones técnicas del dispositivo tomando en cuenta el factor de seguridad que se desee incluir en el diseño.

T_{aM} es la máxima temperatura ambiente esperada en el diseño, incluyendo el factor de seguridad.

P_{avM} es la máxima potencia promedio considerada en el diseño, incluyendo el factor de seguridad.

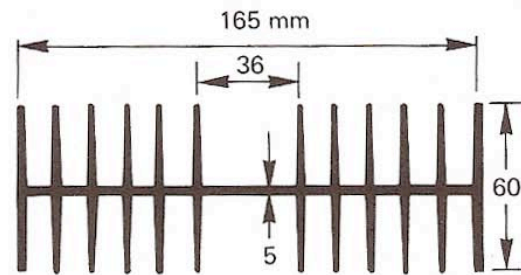
La ecuación anterior considera que el ciclo de trabajo del dispositivo es lo suficientemente corto en relación con la inercia térmica del sistema físico como para esta actúe como un filtro pasa-bajo, de forma que la temperatura del sistema no pueda responder a los cambios rápidos en la potencia disipada en la junta que se producen en los diferentes intervalos de conducción (encendido, apagado, conmutación de encendido y conmutación de apagado) y sea en todo tiempo prácticamente igual a la calculada en base al valor promedio de la energía disipada.

Selección del disipador de calor.

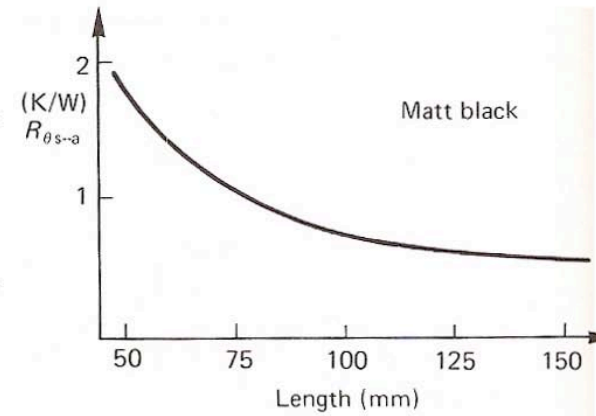
Una vez calculado el valor de la resistencia térmica máxima, R_{thh-aM} , se pueden presentar dos situaciones:

- I.- $R_{thh-aM} > 0$: El diseño con un disipador pasivo es factible en principio, si se encuentra o construye un disipador con esta característica térmica, lo que no siempre es económica o técnicamente posible.

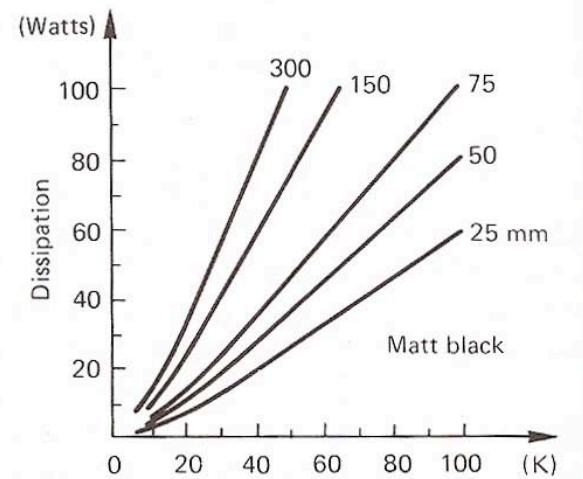
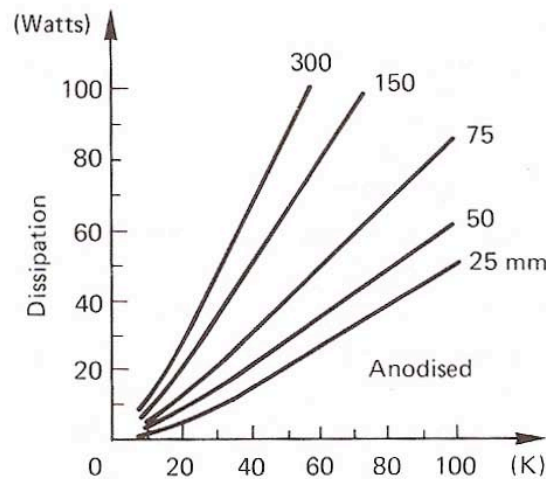
II.- $R_{thh-aM} \leq 0$: El diseño no es factible dentro de las condiciones consideradas y requiere del uso de un sistema de enfriamiento activo que opere con una temperatura de referencia inferior a la del ambiente.



(a)



(b)

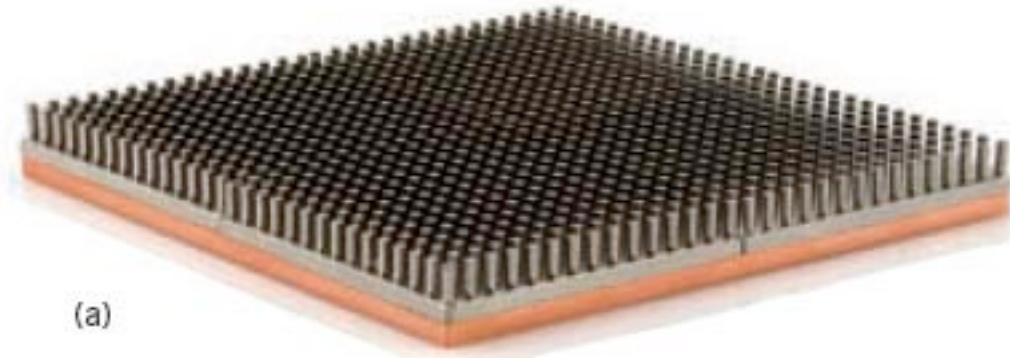


Curvas características de un disipador de calor típico de baja potencia.

Idealmente el disipador debería construirse en cobre, el metal común que ofrece la mejor conductancia; por razones de precio esto no es usualmente posible en las aplicaciones industriales comunes, por lo que el material más ofertado es el aluminio.

Algunos proveedores ofrecen disipadores híbridos, en los que la placa base de contacto es de cobre, y el resto del cuerpo y las aletas son de aluminio, para tratar de optimizar la relación costo/rendimiento térmico.

Estos disipadores se usan especialmente para aplicaciones de enfriamiento de dispositivos de montaje superficial en encapsulado plano conectados en circuitos impresos de alta densidad.



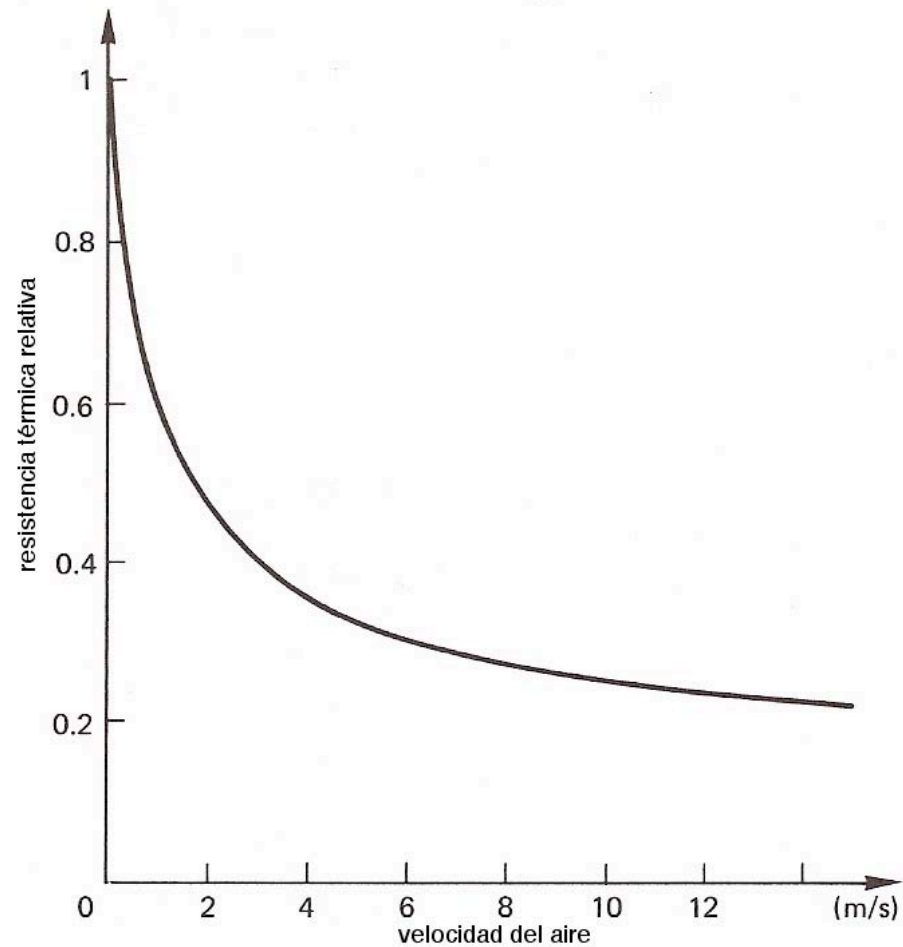
Disipador bimetálico. Base de contacto con el componente de cobre (color rojizo), cuerpo y aletas de aluminio (color gris).

Disipador para enfriamiento de dispositivos de montaje superficial en encapsulado plano.

La placa de cobre hace contacto con la parte superior del dispositivo.

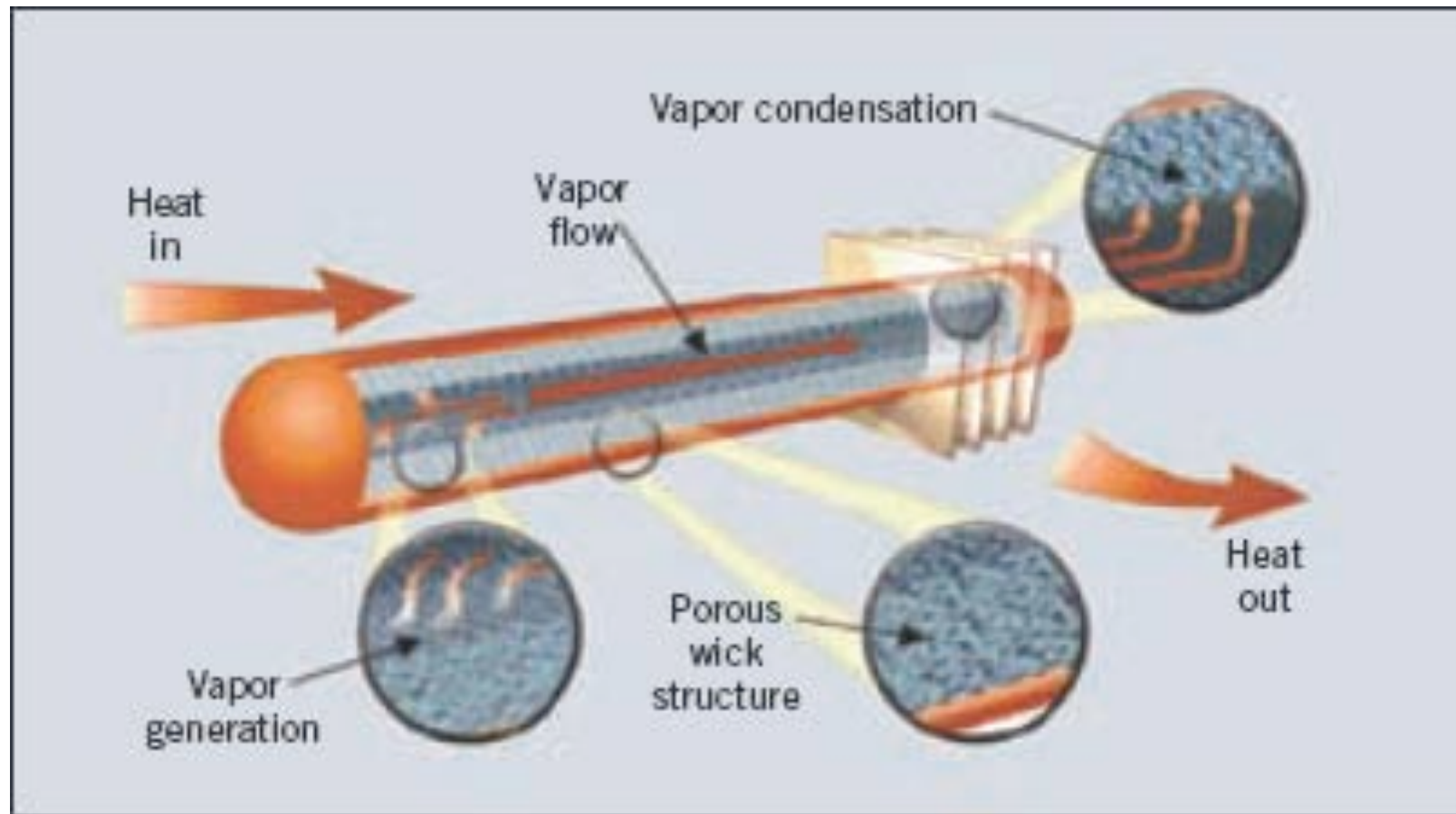
Si no se encuentra un disipador de calor cuya resistencia térmica en "aire quieto" sea la adecuada para el diseño considerado, se puede intentar resolver el problema aplicando ventilación forzada, lo que reduce la resistencia térmica del disipador por debajo de los valores calculados para el caso de "aire quieto", pero por supuesto aumenta el costo del equipo e introduce una nueva posibilidad de falla: el equipo se sobrecalentará si falla el ventilador, o si el flujo de aire que este emite queda bloqueado por alguna obstrucción accidental.

Como se observa en la curva, la reducción en la resistencia térmica aumenta con la velocidad del aire, pero la reducción es asintótica a un valor límite que usualmente es del orden del 20% del valor en aire quieto.



Disipación forzada: Variación de la resistencia térmica de un disipador de calor en función de la velocidad de soplo del aire.

Enfriamiento por cambio de fase líquido/gas con tubo de calor ("heat pipe").



En esta alternativa el dispositivo esta conectado a un tubo de calor (heat pipe) en cuyo interior hay un líquido cuyo punto de ebullición se calcula para que se evapore a la temperatura que existe en el "lado caliente", extremo del tubo en contacto con el dispositivo, lo que remueve de ese lado el "calor de evaporación".

El vapor sube por conductos internos en el tubo, trasladando el calor hasta el lado frío, el extremo del tubo conectado a un conjunto de aletas para disipar calor, donde se enfría y condensa.

El líquido frío, más pesado, cae por gravedad hasta el lado caliente, cerrando el ciclo que opera de manera continua mientras exista una diferencia de temperatura adecuada entre el lado caliente y el ambiente (lado frío).

El sistema de transporte de calor es eficiente, ofreciendo resistencias térmicas equivalentes muy bajas, pero por supuesto su capacidad de transporte de energía depende de las características termodinámicas y de la cantidad del líquido presente en el tubo de calor, y de que la diferencia de temperatura de operación entre los lados caliente (esencialmente a la temperatura de carcasa del dispositivo a enfriar) y frío (esencialmente a la temperatura ambiente) sea adecuada para la aplicación considerada.

Enfriamiento por circulación de líquido refrigerante.

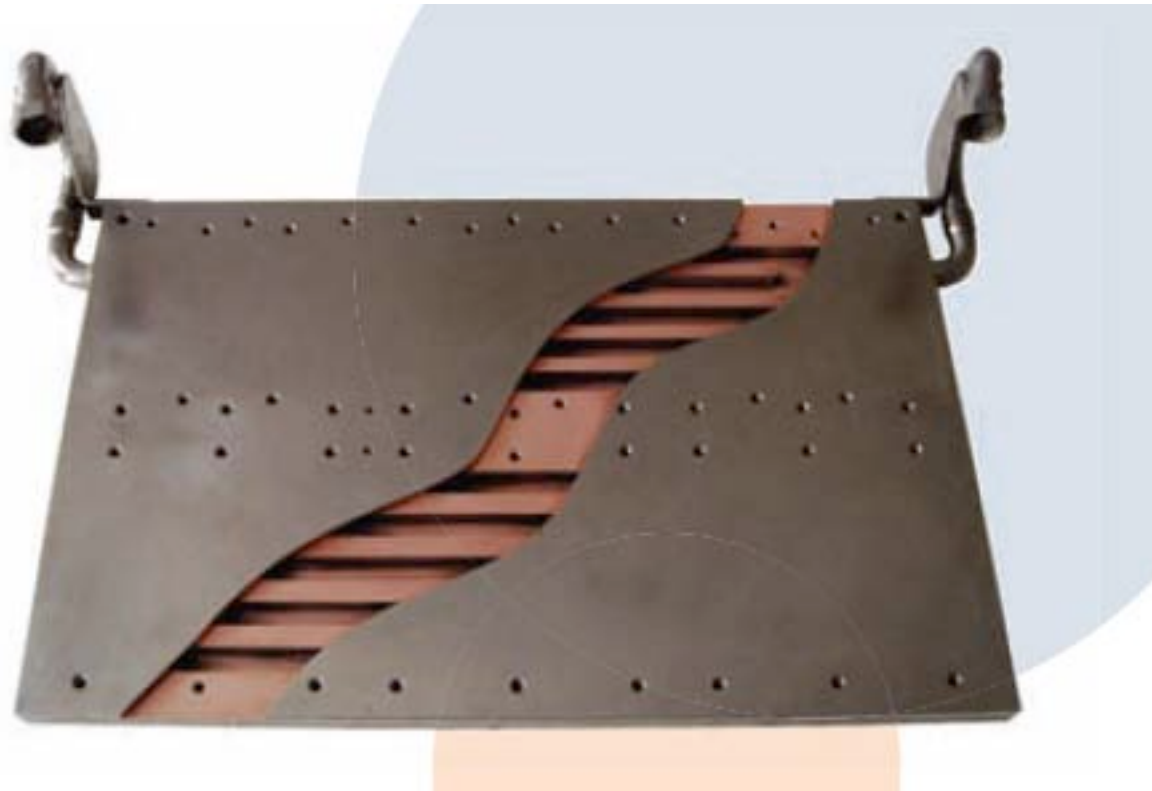
Si se dispone del caudal de líquido refrigerante necesario, este método permite disipar grandes cantidades de energía térmica, pero tiene la inconveniencia del coste, de requerir de un sistema de tuberías en lazo cerrado para que el líquido fluya del dispositivo a enfriar hasta un intercambiador de calor con el medio ambiente ("radiador") y, una vez enfriado, del radiador al dispositivo. Si la cantidad de energía térmica a disipar es considerable, el flujo del líquido enfriador suele ser forzado mediante una bomba mecánica, y el enfriamiento del radiador requiere ventilación forzada, lo que incluye por lo menos dos motores en el sistema, aumentando adicionalmente el costo, la complejidad y la posibilidad de fallas.

Si la potencia a disipar justifica esta solución, lo más aconsejable es dejar el diseño del sistema térmico en manos de un experto.



Placas de base para colocar los dispositivos a enfriar en un sistema de enfriamiento por circulación de líquido refrigerante.

Las dos de la izquierda son para montar dispositivos encapsulados en módulos planos enfriados por la base, las dos de la derecha para dispositivos encapsulados en encapsulado tipo "hokey pucks". Aquí el enfriamiento puede ser bilateral, con el dispositivo colocado entre dos placas de base.



Corte de una placa de montaje de dispositivos para enfriamiento por circulación de líquido refrigerante mostrando los canales internos de circulación del líquido refrigerante y las conexiones al sistema de tuberías de transporte del líquido.