



Tecnología Electrónica

Capítulo 7: Circuitos de Potencia.

Análisis Térmico.





1. Introducción

1.1 Circuitos y sistemas de potencia

2. Consideraciones térmicas

2.1. Régimen estático.

Límites de funcionamiento en potencia.

2.2. Disipación de calor. Curva de degradación.

2.3. Radiadores

2.4. Zonas de operación segura.

2.5. Régimen dinámico.

Cte. de tiempo térmica.



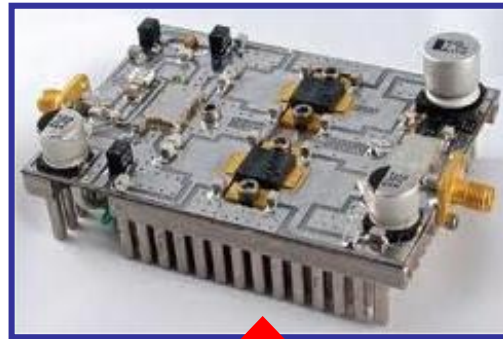
1. Introducción



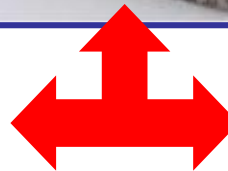
- ❑ Gestión eficiente de los recursos energéticos
 - Una de las áreas más importantes en los Sistemas Electrónicos
- ❑ Campos de acción
 - Desde la generación hasta la aplicación
 - Criterios de eficiencia: disminuir las **pérdidas** en todo el proceso



Control Electrónico



Generación



Aplicación



1.1 Amplificación de potencia



- ❑ Primer contacto con los sistemas de potencia
 - Caso concreto: amplificación de señal
 - Requisito principal de diseño: **potencia requerida en la carga**
 - *Condicionado por la aplicación final*
 - Algunos **ejemplos** sobre amplificadores de **audio**:
 - Teléfono móvil: (10-100) mW
 - TV doméstica: (1-10) W
 - Equipo musical: (10-100) W
 - Actuaciones públicas: (1-10) kW
 - Otros requisitos: soluciones en etapas previas o con otras técnicas
 - *Linealidad, respuesta en frecuencia, ganancia, etc.* ➔ **Realimentación**
- ❑ Elementos centrales de estudio en este tema:
 - **Configuraciones** típicas en amplificadores de potencia
 - Estimación de las **potencias** útiles y disipadas
 - **Protección** de los dispositivos activos



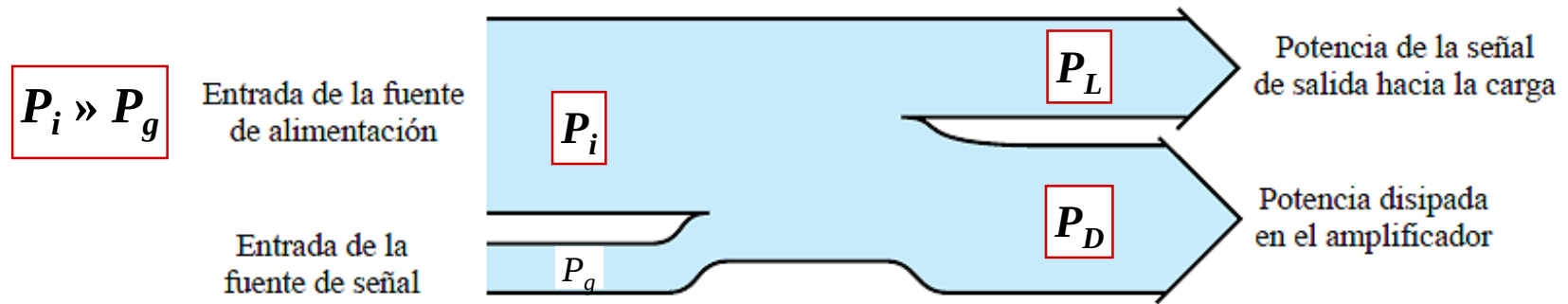


1.2. Rendimiento



❑ Flujo de energía

- Fuentes de energía primaria (f. de al.): baterías, red eléctrica...
 - *El generador de señal en sí no aporta una energía significativa*
- El circuito de potencia convierte esta energía en potencia de señal sobre la carga
 - *Pero sólo una parte llega a la carga, el resto se pierde en forma de calor*



❑ Definición de rendimiento η :

$$\eta = \frac{\text{Potencia útil en la carga}}{\text{Potencia entrada al circuito}} = \frac{P_L}{P_i + P_g} \bigg|_{P_i \gg P_g} \approx \frac{P_L}{P_i}$$



1.2. Rendimiento



- ❑ Es un factor de mérito en los circuitos de potencia
 - Interesan configuraciones o circuitos con rendimientos altos
- ❑ Dato de diseño: Potencia necesaria en la carga, P_L
 - El rendimiento de una configuración determina:
 - Las **pérdidas** previstas, normalmente en forma de **calor**
 - La **energía de entrada necesaria**, aportada por la f. de alimentación
- ❑ En el estudio aplicaremos la idea de *balance de potencias*:

$$P_{\text{entrada}} = P_{\text{salida}} \Leftrightarrow P_i = P_L + P_D$$



$$P_D = P_i - P_L = \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) P_L$$



1.2. Rendimiento



❑ Las pérdidas son un problema importante...

❑ Ejemplo 1:

- El transmisor de radio de una emisora comercial tiene un rendimiento del **80%**. Determine qué potencia tiene que disipar éste si la potencia de salida en antena es de **500kW**. ¿Qué hacer con el calor generado?



❑ Ejemplo 2:

- Para un reproductor de música portátil se dispone de una batería cuya energía máxima almacenable es de **2Wh**. Para el amplificador, se estudian dos chips, A y B, con los siguientes rendimientos: $\eta_A = 70\%$ y $\eta_B = 90\%$. En las pruebas, se entrega a los auriculares una potencia media de **100mW**.

- 1-¿Qué tiempo máximo aguantará la batería?
- 2-¿Cuántas horas más durará la batería del modelo B respecto al modelo A?



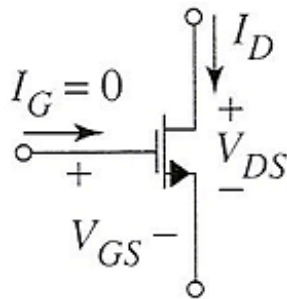
Soluciones. 1: $P_d = 125kW$; calefacción del edificio en invierno. 2.1: 18 horas; 2.2: 4 horas.



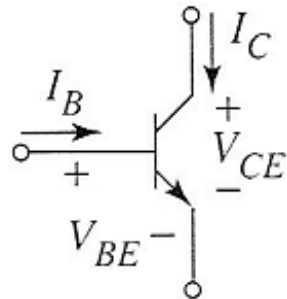
2. Consideraciones térmicas. Introducción.



- ❑ La potencia disipada en los elementos activos (P_D) se transforma en calor y su temperatura crece.
 - El dispositivo puede **destruirse** si la temperatura es excesiva
 - Por otro lado, la **vida útil** del dispositivo disminuye de forma aprox. exponencial con la temperatura: *mayor $T \rightarrow$ menor t_{vida}*
- ❑ Determinación de P_D
 - **Introducción** al problema: **estudio en continua de disp. activos**



$$P_{D-FET} = I_D \cdot V_{DS}$$



$$P_{D-BJT} = I_B \cdot V_{BE} + I_C \cdot V_{CE}$$

$$P_{D-BJT} \approx I_C \cdot V_{CE}$$



2. Consideraciones térmicas. Introducción.



- ❑ Procesos de transferencia del calor en dispositivos electrónicos
 - **Radiación.** Emisión electromagnética que no necesita de un medio material para propagarse (infrarrojos).
 - **Convección.** Transmisión del calor entre un sólido y el fluido que lo rodea (por ejemplo: el aire; líquido refrigerante; etc.)
 - **Convección natural:** *flujo sin intervención externa.*
 - **Convección forzada:** *se aumenta el flujo → ventiladores o bombas.*
 - **Conducción.** Entre sólidos, el flujo de calor va de los materiales más calientes a los más fríos.
- ❑ En los sistemas electrónicos estos efectos se **combinan** en diferentes grados. En función de la precisión deseada se tienen:
 - **Estudios detallados:** modelos complicados → diseño CAD
 - **Estudios simplificados** → análisis manual aproximado
 - *Estudio estático: condiciones estables, con pocas variaciones*
 - *Estudio dinámico: ciertas variaciones en el tiempo (t).*



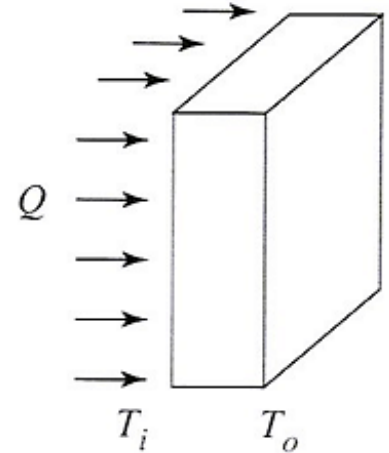
2.1. Transferencia de calor: modelo estático



□ Estudio inicial: condiciones estáticas [$\neq f(t)$]

- Conducción: La transferencia de calor entre dos elementos a diferentes temperaturas es proporcional a la diferencia de temperaturas:

$$Q = \frac{1}{k} (T_i - T_o) \quad \frac{\text{Julios}}{\text{s} \cdot \text{m}^2}$$



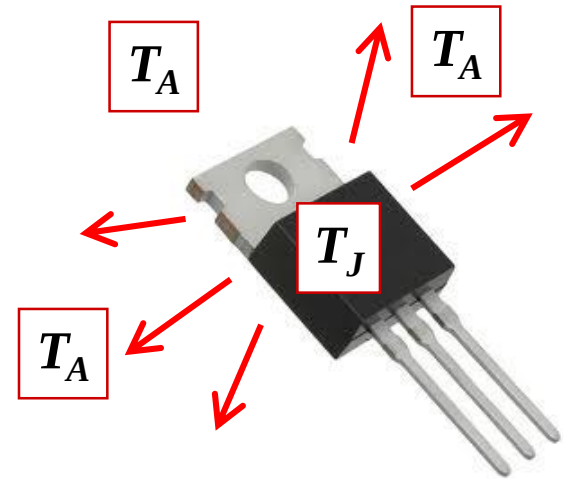
- Aplicado a los transistores en régimen continuo, se tiene:

$$P_D = \frac{1}{\theta_{JA}} (T_J - T_A) \quad \frac{\text{Julios}}{\text{s}}$$

J = unión (*junction*)

A = ambiente

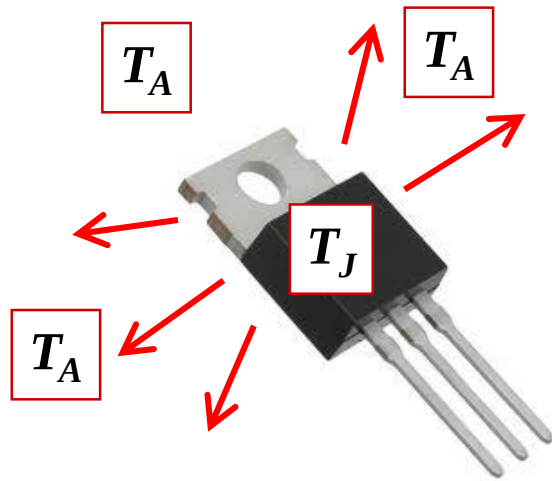
θ_{JA} = resistencia térmica, de J a A
dada en $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ (ó en K/W)





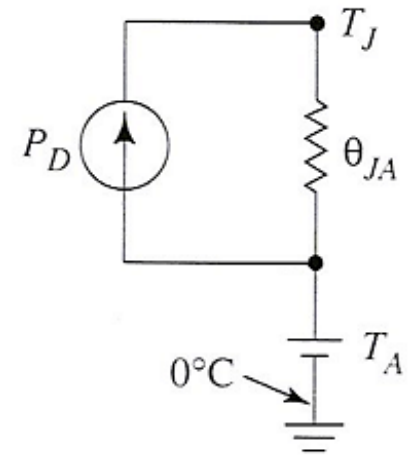
2.1. Transferencia de calor: circuito térmico

- ❑ Es útil establecer una analogía con un “circuito térmico”
 - La forma de la ecuación es similar a la Ley de Ohm (*térmica*)



$$P_D = \frac{1}{\theta_{JA}} (T_J - T_A) \quad \frac{\text{Julios}}{\text{s}} \quad (\text{f1})$$

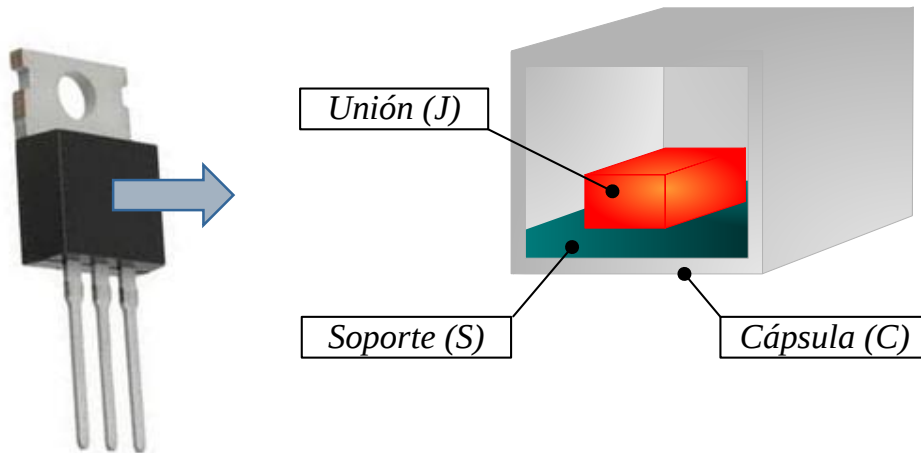
$$\begin{aligned} P &\leftrightarrow I \\ T &\leftrightarrow V \\ \theta &\leftrightarrow R \end{aligned}$$



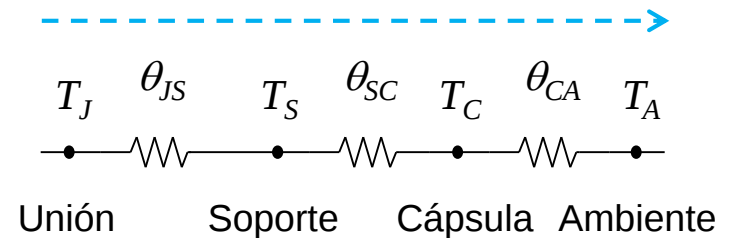
- ❑ La analogía eléctrica (f1) facilita el análisis
 - Estudiando los elementos que forman el *circuito térmico* podemos estimar los valores de temperatura en los diversos puntos de interés.

2.1.1. Circuitos térmicos en dispositivos

- ❑ El **circuito térmico** identifica cada elemento del proceso de transferencia del calor en los dispositivos electrónicos
 - La **resistencia térmica** puede modelar efectos combinados de transferencia de calor → el fabricante proporciona este valor.
 - Conocidos los detalles constructivos del dispositivo, podemos **evaluar** las condiciones de trabajo del semiconductor conociendo las características térmicas de cada elemento.
- ❑ De donde se genera el calor (unión) al ambiente, se tiene:



Sentido de la transferencia del calor



$$R_{th} = \theta_{JA} = \theta_{JS} + \theta_{SC} + \theta_{CA}$$



2.1.1. Circuitos térmicos en dispositivos



- ❑ Usando la analogía de los ***circuitos térmicos*** obtendremos resultados fiables con un esfuerzo de cálculo reducido.
- ❑ **Ejercicio:** un cierto componente conectado en un circuito, está disipando una potencia de 5W.
Se sabe que $\theta_{JS} = 5^{\circ}\text{C/W}$, $\theta_{SC} = 1^{\circ}\text{C/W}$ y $\theta_{CA} = 3^{\circ}\text{C/W}$
 - a) Halle la temperatura en la cápsula, en el soporte y en la unión del componente, si la temperatura ambiente es de 25°C .
 - b) Supóngase ahora que, con las mismas resistencias térmicas y a la misma temperatura ambiente, se mide en la cápsula una temperatura de 55°C :
 - *¿Qué potencia estará disipando el componente?*
 - *¿A qué temperatura estará ahora la unión?*

Soluciones. (a) $T_J = 70^{\circ}\text{C}$; $T_S = 45^{\circ}\text{C}$; $T_C = 40^{\circ}\text{C}$. (b) $P_D = 10\text{W}$; $T_J = 115^{\circ}\text{C}$



2.1.2. Límites de funcionamiento prácticos

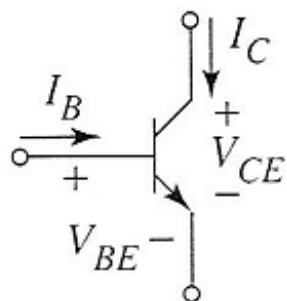


- ❑ En sistemas de potencia, se somete a los dispositivos a condiciones límite
 - Tensiones y corrientes altas, **potencias altas** → **temperaturas altas**
 - Es necesario prevenir la rotura de los mismos
- ❑ Límites del dispositivo en potencia
 - **Potencias y temperaturas** están ligadas
 - La **rotura por temperatura** (quema) marca un máximo: **T_{Jmax}**
 - *Este límite varía entre **125°** y **200°***
 - La potencia disipada o disipable por el dispositivo dependerá también de la temperatura ambiente: **T_A**
 - *Esta es la que rodea al dispositivo en sí: el **crystal semiconductor***
 - *Encapsulados, cajas, ventilaciones, etc. afectan mucho a este valor.*
- ❑ El fabricante indica unos límites de funcionamiento
 - Hay que saber identificarlos y respetarlos adecuadamente

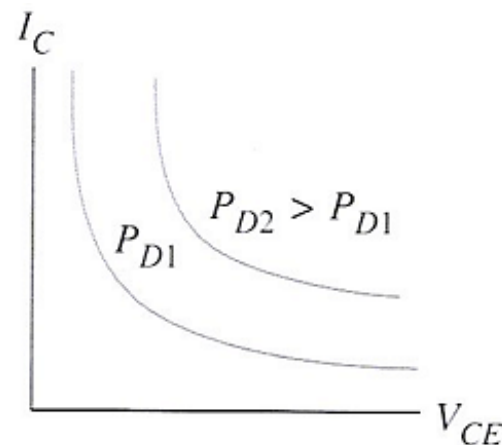


2.2. Hipérbolas de disipación de potencia

- Reflejan sobre las curvas de salida el límite de P_D



$$P_D = I_C \cdot V_{CE}$$

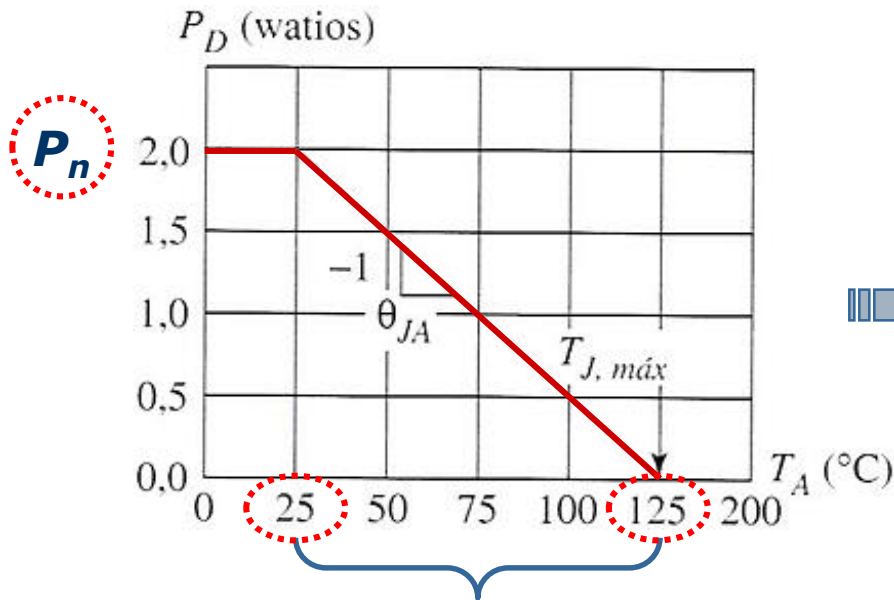


- El punto de trabajo del transistor debe estar bajo la hipérbola correspondiente a P_{Dmax}
- El valor de P_{Dmax} se obtiene de la llamada **curva de degradación**, con los datos de los límites proporcionados por el fabricante:
 - Temperatura máxima de la unión: T_{Jmax}
 - Potencia disipable máxima, respecto a una T de referencia: P_{tot}
a este valor se le conoce además como **Potencia Nominal**, P_n
 - Resistencia térmica del dispositivo: θ_{JA} o θ_{JC} ($C = \text{case, cápsula}$)



2.2. Curva de degradación

- Refleja la disminución de la P_D conforme aumenta T_A
 - En todo caso, se limita P_D a su valor a una T_{ref} dada.
 - Otros nombres: "curva de desvataje" o "derating curve"



Datos que se pueden extraer de la curva ejemplo:

$$T_{J\text{max}} = 125^\circ$$

$$P_n = 2 \text{ W} \quad (P_{D\text{max}} \text{ a } T_{ref} = 25^\circ)$$

$$\theta_{JA} = (\Delta T / \Delta P) = 50^\circ/\text{W}$$

$$P_D = \frac{1}{\theta_{JA}} (T_J - T_A)$$

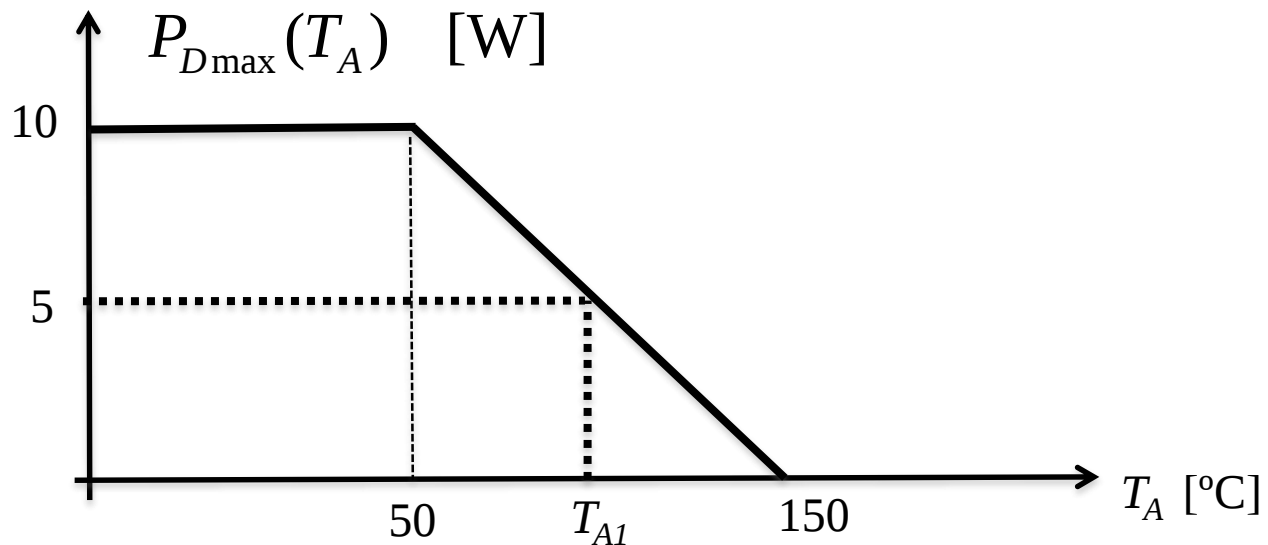
La zona de caída de P_D se corresponde con la *Ley de Ohm térmica* entre las temperaturas: T_{ref} y $T_{J\text{max}}$



2.2. Curva de degradación. Ejercicio



- En la figura se ha representado la curva de desvataje de un componente dado.
- a) Obténgase la P_n , la T_{Jmax} y la R_{th} .
 - b) ¿A qué temperatura se puede disipar el 50% de la P_n como máximo?
 - c) En todas las condiciones de trabajo en que la temperatura ambiente es de 60°C se quiere disipar el 100% de P_n . Analícese qué posibilidades hay para conseguirlo.



2.3. Disipación del calor: radiadores

❑ Límite de funcionamiento: T_{Jmax}

$$P_{Dmax} = \frac{1}{\theta_{JA}} (T_{Jmax} - T_A)$$

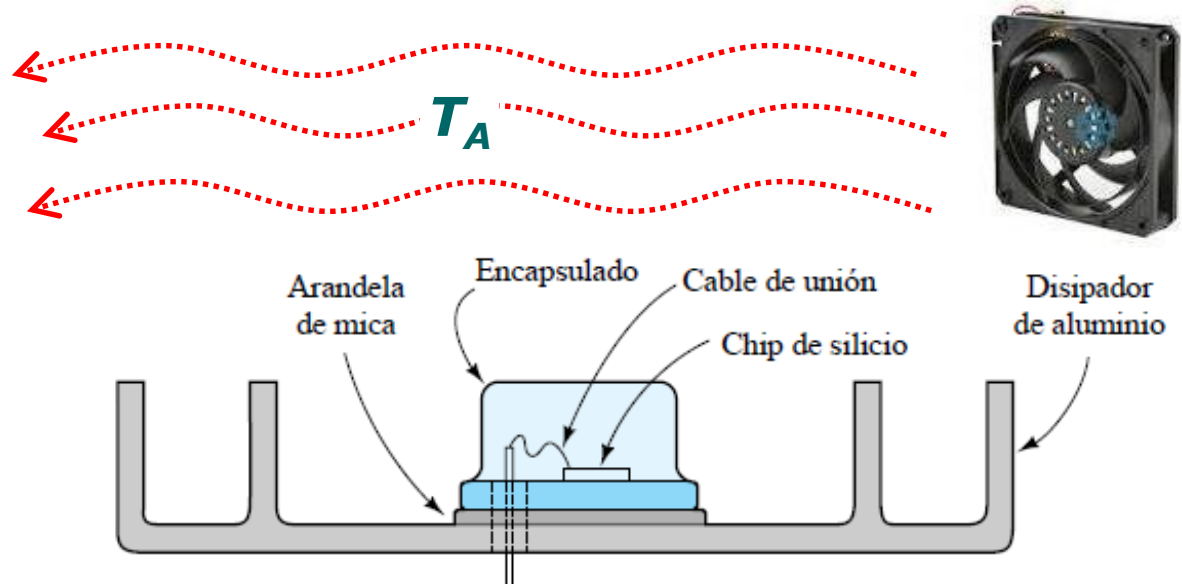
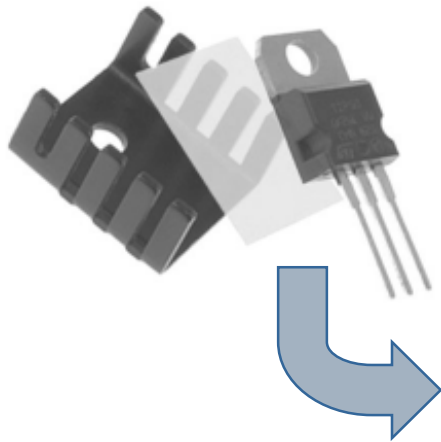
❑ ¡Podemos aumentar P_{Dmax} !

■ Disminuyendo T_A ← *recuérdese que es la **inmediata** al dispositivo*

■ Líquidos de refrigeración, convección forzada (ventiladores), etc...

■ Aumentando la capacidad de transferir calor al ambiente

■ Encapsulados apropiados (p.e. metálicos) + **Radiadores**

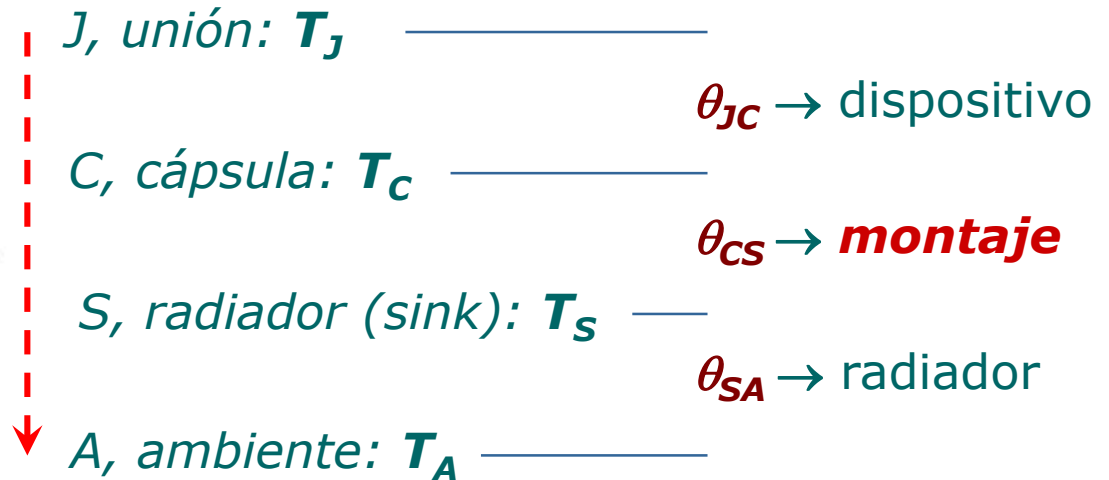
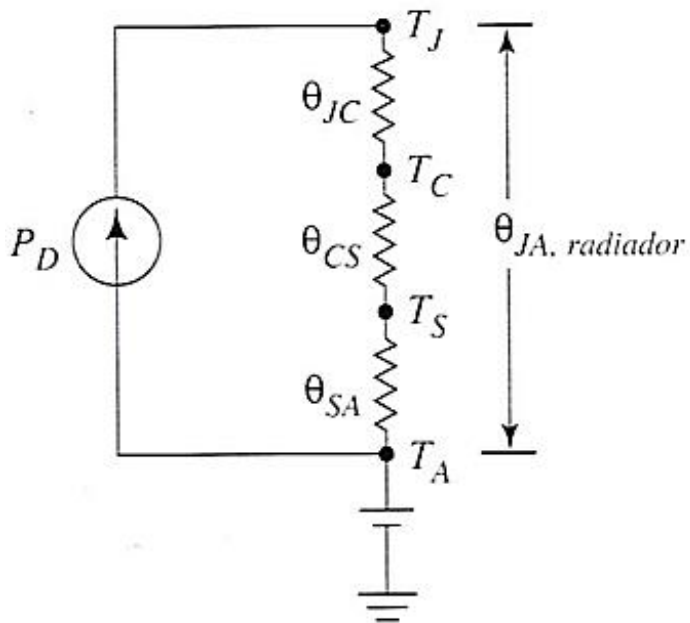




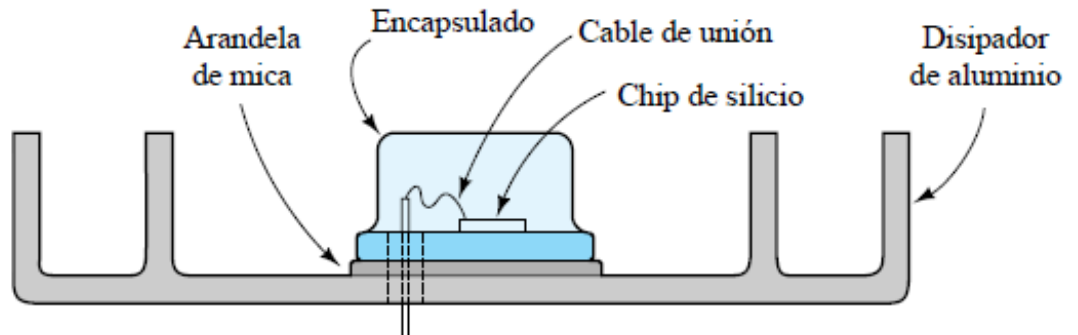
2.3. Circuito térmico con radiadores



- ❑ El circuito térmico ha de tener en cuenta todos los elementos por donde se realiza la transferencia de calor:



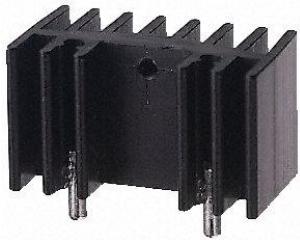
El **montaje** del radiador es vital para tener un θ_{CS} bajo: *aislante + grasa + tornillos*



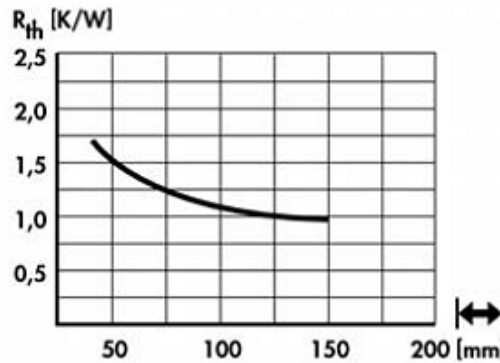


2.3. Radiadores y disipadores

- ❑ Elementos diseñados para favorecer la evacuación de calor en los dispositivos electrónicos
 - Metálicos. En su caso, pintados en color radiante apropiado (negro)
 - Perfilados y mecanizados en función del tipo de componente
 - Disponibles para convección natural, forzada, por líquidos o por aire.



Cápsulas TO-220
 $\theta_{SA} = 18^{\circ}\text{C/W}$

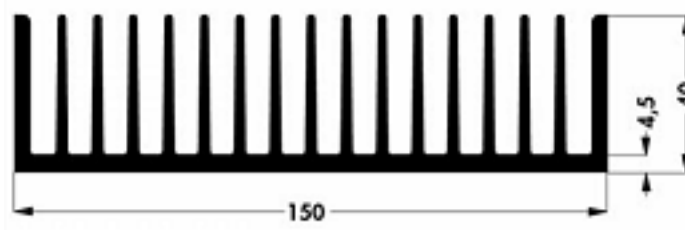


Convección
forzada CPU

Por aire:
 $\theta_{SA} = 0,5^{\circ}\text{C/W}$



Cápsulas TO-3
 $\theta_{SA} = 2,2^{\circ}\text{C/W}$

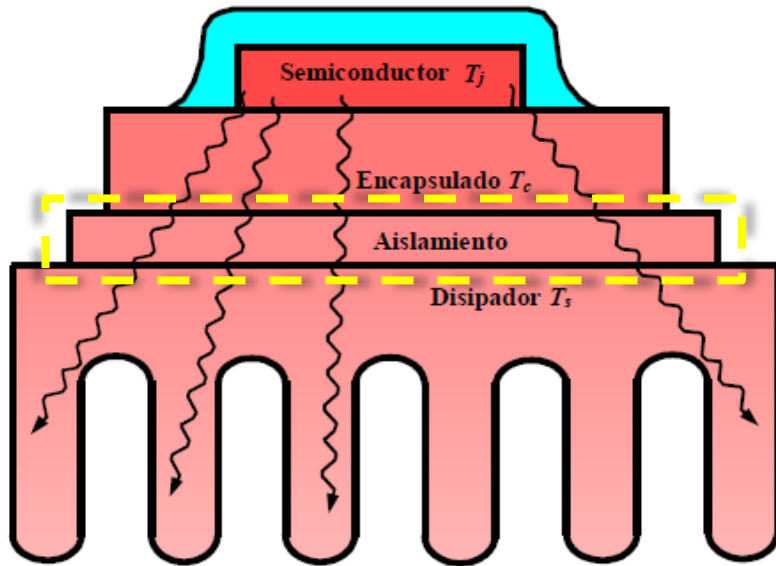


Perfil, "al corte".

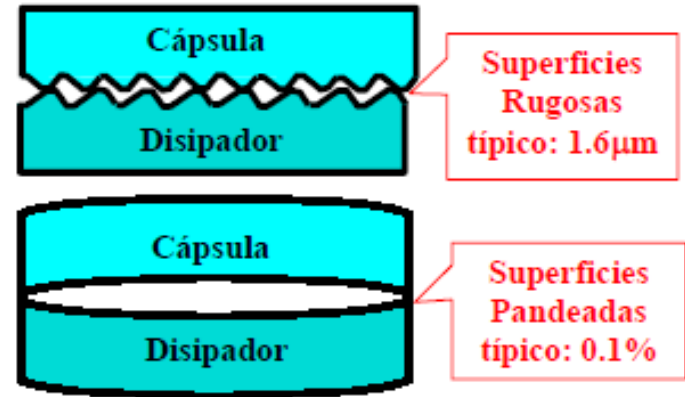
Por líquido:
"heat pipe"



2.3. Montaje de disipadores



Problemas típicos de montaje



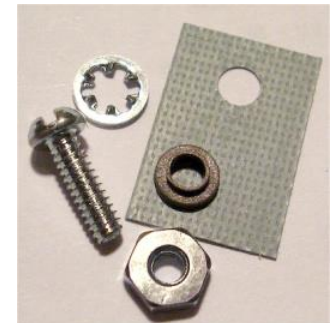
❑ Un mal montaje de los disipadores podría anular su efecto:

- Debe garantizarse un **contacto térmico perfecto**

- Con grasas de relleno especiales y tornillos y grapas de apriete

- Garantizando además (con frecuencia) el **aislamiento eléctrico**

- Con separadores no conductores: mica, plásticos especiales, ...



2.3. Componentes para su uso con radiador



Final data

SPW47N60S5

Cool MOS™ Power Transistor

Feature

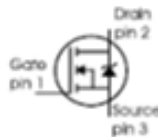
- New revolutionary high voltage technology
- Worldwide best $R_{DS(on)}$ in TO 247
- Ultra low gate charge
- Periodic avalanche rated
- Extreme dv/dt rated
- Ultra low effective capacitances
- Improved transconductance

V_{DS}	600	V
$R_{DS(on)}$	0.07	Ω
I_D	47	A

P-T0247



Type	Package	Ordering Code	Marking
SPW47N60S5	P-T0247	Q67040-S4240	47N60S5



Maximum Ratings

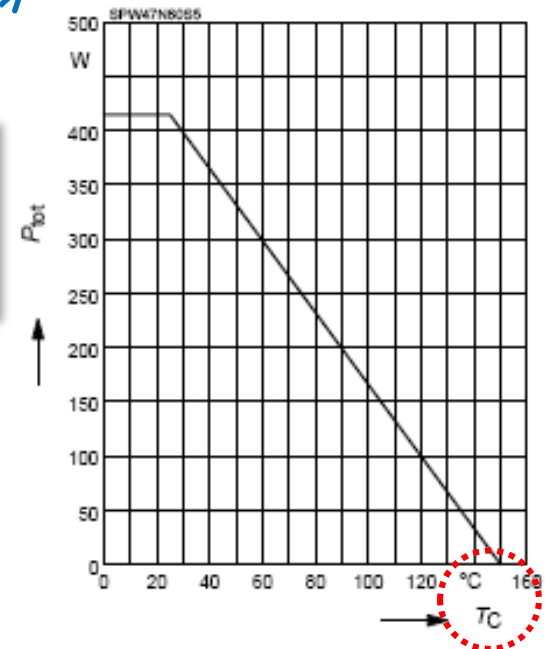
Parameter	Symbol	Value	Unit
Continuous drain current $T_C = 25^\circ\text{C}$	I_D	47	A
$T_C = 100^\circ\text{C}$		30	
Pulsed drain current, t_p limited by T_{jmax}	$I_{D,puls}$	94	
Avalanche energy, single pulse $I_D = 10\text{ A}$, $V_{DD} = 50\text{ V}$	E_{AS}	1800	mJ
Avalanche energy, repetitive t_{AR} limited by T_{jmax} ¹ $I_D = 20\text{ A}$, $V_{DD} = 50\text{ V}$	E_{AR}	1	
Avalanche current, repetitive t_{AR} limited by T_{jmax}	I_{AR}	20	A
Gate source voltage	V_{GS}	± 20	V
Gate source voltage AC ($f = 1\text{ Hz}$)	V_{GS}	± 30	
Power dissipation, $T_C = 25^\circ\text{C}$	P_{tot}	415	W
Operating and storage temperature	T_j, T_{sta}	-55... +150	$^\circ\text{C}$

Thermal Characteristics

Parameter	Symbol	Values			Unit
		min.	typ.	max.	
Thermal resistance, junction - case	R_{thJC}	-	-	0.3	K/W
Thermal resistance, junction - ambient, leaded	R_{thJA}	-	45	-	
Soldering temperature 1.6 mm (0.063 in.) from case for 10s	T_{sold}	-	-	260	$^\circ\text{C}$

1 Power dissipation

$$P_{tot} = f(T_C)$$



¡Datos referidos a la T de la Capsula, T_C !



2.3. Disipación del calor: radiadores



□ Ejemplo 1 (ejemplo 10.1 Malik):

- Un trt. de potencia con $\theta_{JA}=12^{\circ}\text{C/W}$ se polariza en $Q=(2\text{A}, 10\text{V})$ a 25°C de T_A . Si se sabe que $T_{Jmax}=180^{\circ}\text{C}$:
 1. *Demuestre que el transistor se quemará*
 2. *Si se enfriase el ambiente ¿hasta qué temperatura tendría que hacerse?*
 3. *Manteniendo $T_A=25^{\circ}\text{C}$ estime la nueva θ_{JA} que se necesitaría (cambiando el encapsulado, poniendo un radiador, etc.)*

□ Ejemplo 2 (ejercicio 10.1 Malik):

- Partiendo de los datos del apartado 3 anterior. Halle la resistencia térmica del radiador necesario si el fabricante indica para su transistor una $\theta_{JC}=1,3^{\circ}\text{C/W}$ y la resistencia de montaje (grasa + aislante) se estima en un valor de $\theta_{CS}=0,2^{\circ}\text{C/W}$. ¿Cree que el radiador se notaría caliente al tacto?

Soluciones. 1.1: se quema porque T_J sería de $265^{\circ}\text{C} > T_{Jmax}=180^{\circ}\text{C}$. 1.2: $T_A = -60^{\circ}\text{C}$. 1.3: debe ser de $7,75^{\circ}\text{C/W}$. 2: $6,25^{\circ}\text{C/W}$; está muy caliente, a unos 150°C .

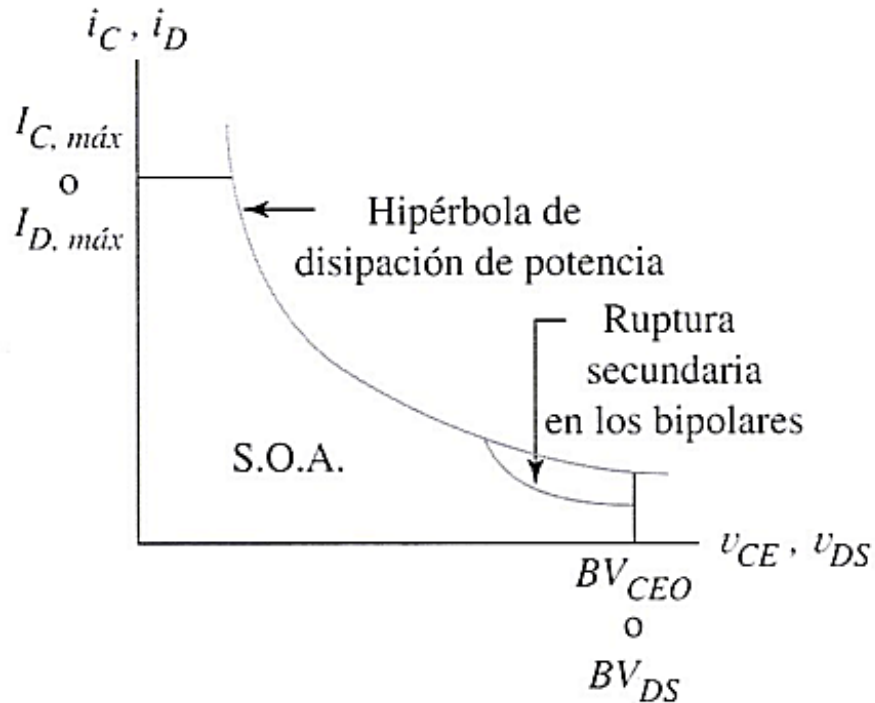


2.4. Zona de trabajo seguro (SOA)



□ **SOA** = Safe Operating Area

- Indica los límites de funcionamiento del dispositivo.
- V_{max} , I_{max} , P_{Dmax} junto a otros posibles efectos de ruptura
 - Hay que mantener al dispositivo funcionando dentro de la SOA



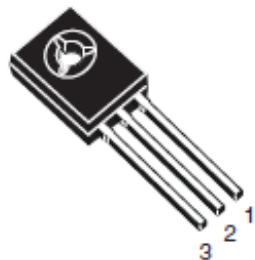
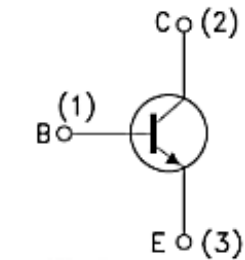
□ Otros efectos

- La SOA depende también de las características **temporales** de las señales de salida:
 - Conmutación o no
 - Ciclo de trabajo, etc.
- El fabricante de dispositivos de potencia da todos los detalles necesarios para su uso seguro.

2.4. Ejemplo: BD135/139 (NPN potencia media)

Table 2. Absolute maximum ratings

Symbol	Parameter	Value				Unit
		NPN		PNP		
		BD135	BD139	BD136	BD140	
V _{CBO}	Collector-base voltage (I _E = 0)	45	80	-45	-80	V
V _{CEO}	Collector-emitter voltage (I _B = 0)	45	80	-45	-80	V
V _{EBO}	Emitter-base voltage (I _C = 0)	5		-5		V
I _C	Collector current	1.5		-1.5		A
I _{CM}	Collector peak current	3		-3		A
I _B	Base current	0.5		-0.5		A
P _{TOT}	Total dissipation at T _c ≤ 25 °C	12.5				W
P _{TOT}	Total dissipation at T _{amb} ≤ 25 °C	1.25				W
T _{stg}	Storage temperature	-65 to 150				°C
T _j	Max. operating junction temperature	150				°C



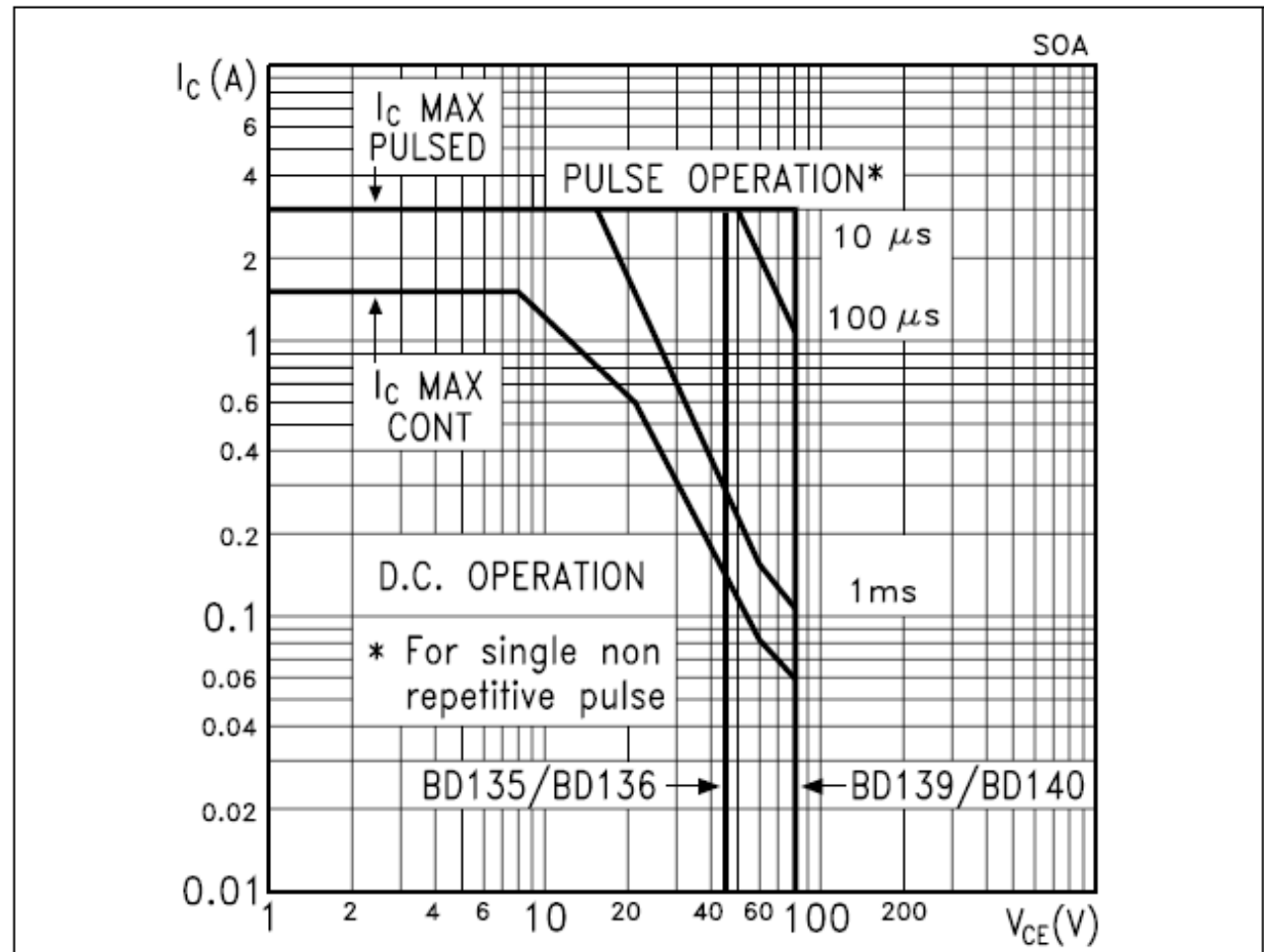
SOT-32

Table 3. Thermal data

Symbol	Parameter	Max value	Unit
$R_{thj-case}$	Thermal resistance junction-case	10	$^\circ\text{C/W}$
$R_{thj-amb}$	Thermal resistance junction-ambient	100	$^\circ\text{C/W}$

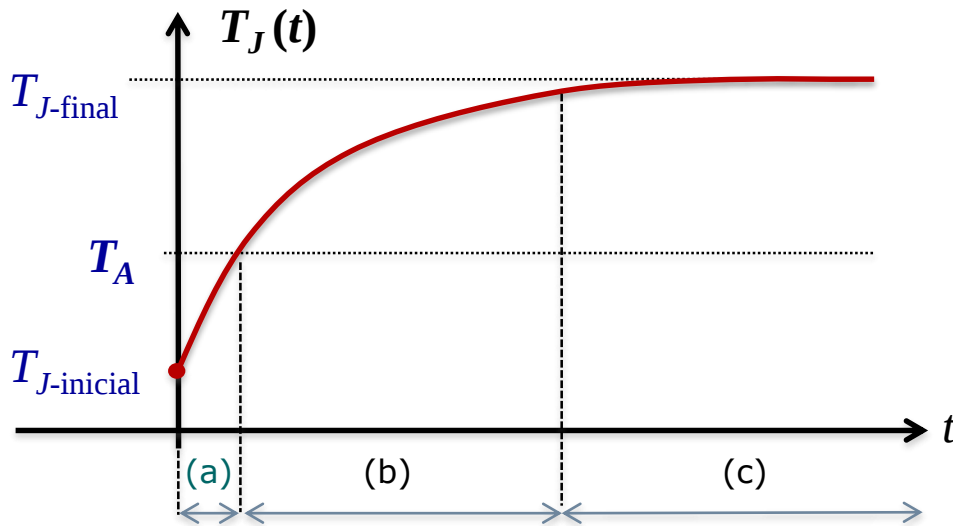
2.4. Ejemplo: BD135/139 (NPN potencia media)

Figure 2. Safe operating area

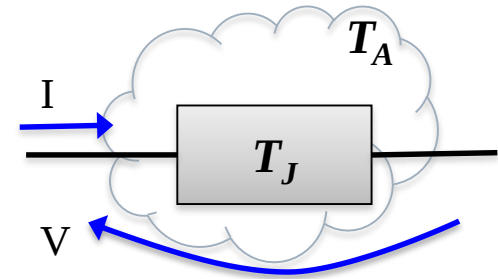


2.5. Régimen dinámico: introducción.

- ❑ El caso más general es el **régimen dinámico**
 - Potencias y temperaturas cambian con el tiempo
 - Se modelan los procesos de **generación** y **transferencia** de calor.



- (a) $T_J < T_A$ (en su caso): todo el calor generado es *almacenado*.
- (b) $T_J > T_A$ (transitorio): parte del calor se *transfiere* al exterior, el resto se *almacena*.
- (c) $T_J > T_A$ (caso estático $T_J = \text{cte.}$): todo el calor se *transfiere* al exterior.



$$P_D = \frac{T_J - T_A}{R_{th}} + C_{th} \frac{dT_J}{dt}$$

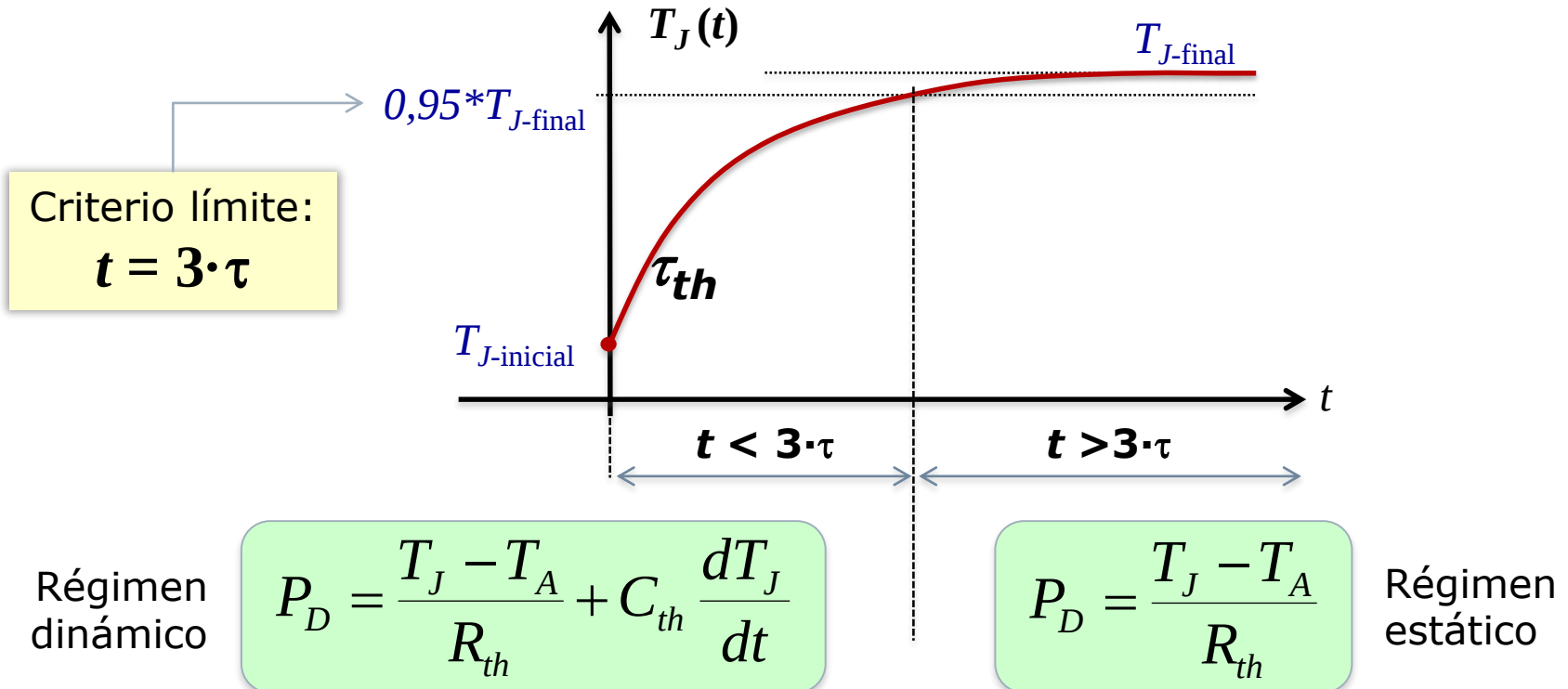
- (1) Calor transmitido desde el interior al ambiente: $f(R_{th})$
- (2) Cantidad de calor que el componente almacena: $f(C_{th})$



2.5.1. Régimen dinámico: R_{th} y C_{th}

□ Empleando la analogía de circuito térmico, podemos definir:

- R_{th} = Resistencia térmica [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]
 - C_{th} = Capacidad térmica [$\text{Ws}/^{\circ}\text{C}$]
 - $\tau_{th} = R_{th} \cdot C_{th}$ = Constante de tiempo térmica [s]
- Parámetros intrínsecos del componente. $f(\text{materiales, forma, ...})$

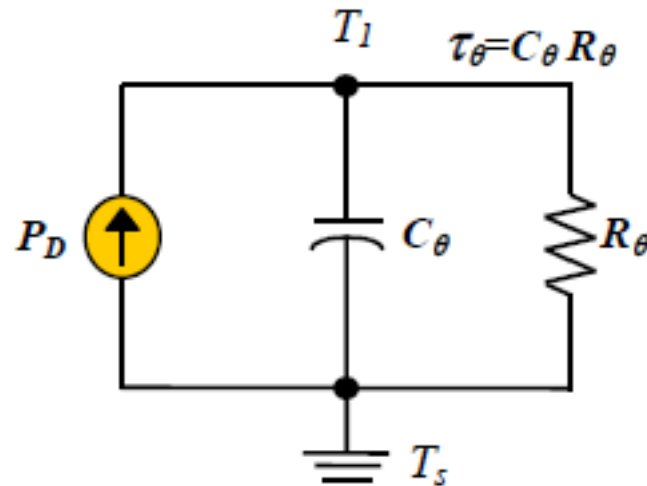




2.5.1. Régimen dinámico: R_{th} y C_{th}



- ❑ El estudio en régimen dinámico ha de incorporar los conceptos de Resistencia y Capacidad térmica.
- ❑ El equivalente eléctrico (circuito térmico) más simple en régimen dinámico quedaría:



$$T_1(t) - T_s = P_D R_\theta (1 - e^{-t/\tau_\theta})$$

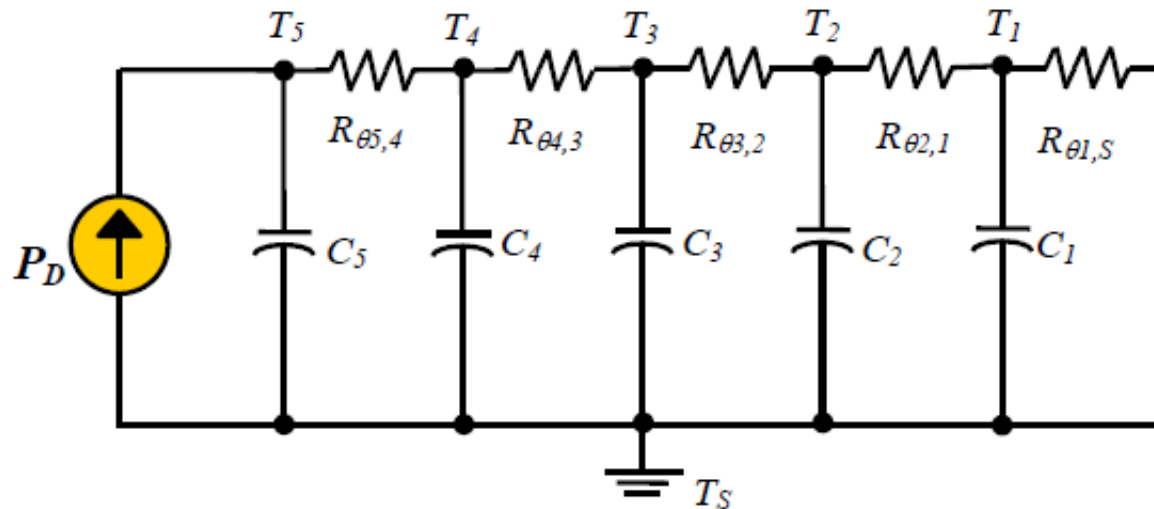
- La fase transitoria en la evolución de la temperatura se podría modelar de la misma forma que un proceso de carga-descarga de la capacidad C_{th} .
- El régimen estático se evalúa simplemente para $t \rightarrow \infty$.



2.5.1. Circuitos térmicos dinámicos



- ❑ El modelo dinámico se complica cuando se pretende tener en cuenta ***todos los efectos*** en las diversas interfaces o zonas:
 - Unión-cápsula, cápsula-radiador, radiador-ambiente, etc.
- ❑ Usando un modelo simple R-C para cada interfaz resulta:



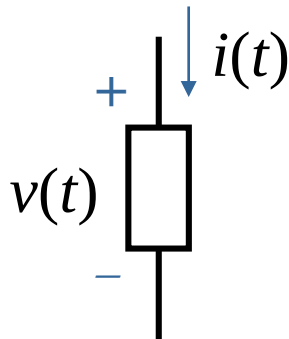
- ❑ Alternativas de análisis:
 - Modelo de ***impedancias térmicas*** → señales en ***conmutación***
 - Simulación por ***elementos finitos*** → simulación.



2.5.2. Régimen dinámico: señales variables



- ❑ Potencia disipada por señales variables en el tiempo
 - En el caso estático consideramos señales continuas (DC)
 - Con señales variables (AC) el calor generado (P_D) y su transferencia son función del tiempo → estamos en régimen dinámico.
- ❑ Simplificación del problema dinámico:
 - Usando las propiedades de: *potencia instantánea* y *potencia media*
 - Referenciando el *tiempo de las variaciones* con la τ térmica:



Potencia instantánea:

$$P_{di}(t) = i(t) \cdot v(t)$$

Potencia media:

$$P_{dm} = \frac{1}{T} \int_0^T P_{di}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) \cdot v(t) dt$$

En DC:

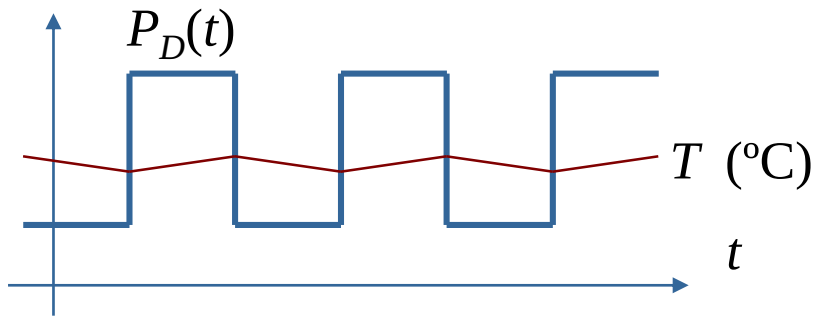
$$P_D = I \cdot V$$



2.5.2. Régimen dinámico: P_D y τ térmica

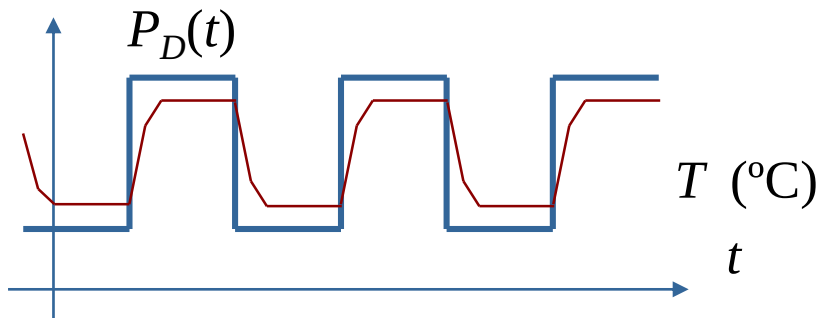


- Aproximación: considerar sólo efectos en *régimen permanente*
 - Si las señales son “**mucho más rápidas**” que el sistema térmico..
 - ...trabajaremos con la **POTENCIA MEDIA**. **Criterio:** $T \ll \tau_{th}$



Un ejemplo de variaciones de P_D más rápidas que la τ térmica. En estos casos trabajamos con P_{medias}

- Si las señales son “**mucho más lentas**” que el sistema térmico..
 - ...hay que trabajar con potencias instantáneas. **Criterio:** $T \gg \tau_{th}$



Un ejemplo de variaciones de P_D más lentas que la τ térmica. En estos casos trabajamos con la $P_{instantanea}$ al final de **cada tramo**, analizando cada uno de ellos por separado.



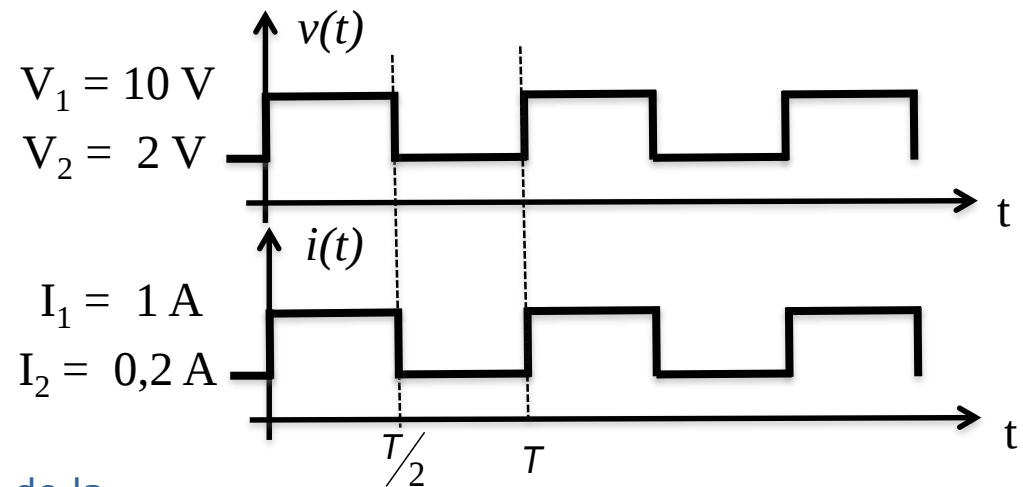
2.5.2. Régimen dinámico: ejercicio



- ❑ Un componente está sometido a una diferencia de potencial y por él pasa una corriente como la que se representa en la figura adjunta. Sus datos térmicos son:
 - Conductancia^(*) térmica (G_{th}) de $0,1 \text{ W/}^\circ\text{C}$; capacidad térmica (C_{th}) de $0,05 \text{ Ws/}^\circ\text{C}$; temperatura de unión máxima (T_{Jmax}) de 120°C .

Sabiendo que la temperatura ambiente es de 30°C , analícese si el componente soporta las condiciones impuestas en el circuito para los siguientes casos:

- a) Si $T=1 \text{ ms}$.
- b) Si $T=30 \text{ minutos}$.



(*) La **conductancia térmica** es la inversa de la resistencia térmica, esto es: $G_{th} = (1/R_{th})$



❑ Material de estudio:

- *“Electrónica de Potencia”, sección 2.4.*
 - *Varios autores. Servicio de Publicaciones UAH. ISBN 84-8138-332-5*
- **Malik,**
 - *capítulo 10, secciones 10.1 a 10.3. Teoría y ejercicios.*

❑ Material complementario

- **Sedra-Smith**
 - *capítulo 9, secciones 9.1 y 9.2.*
- **Hambley,**
 - *capítulo 10, secciones 10.1 y 10.3*

❑ Otros:

- **Gráficas extraídas de los textos detallados.**
- **Trabajos de documentación y elaboración de materiales:**
 - *Profesores del Dpto. de Electrónica de la UAH.*



Control de revisiones



- 2017-03-22: versión inicial (curso 16-17).
- 2017-04-04: corregido un error en la T del radiador en el ejemplo 2 de la trp. 23; la respuesta correcta es $T = 150\text{C}$.