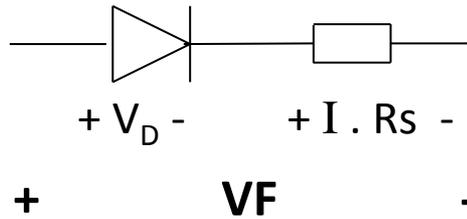
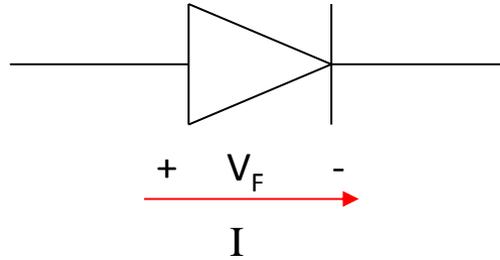
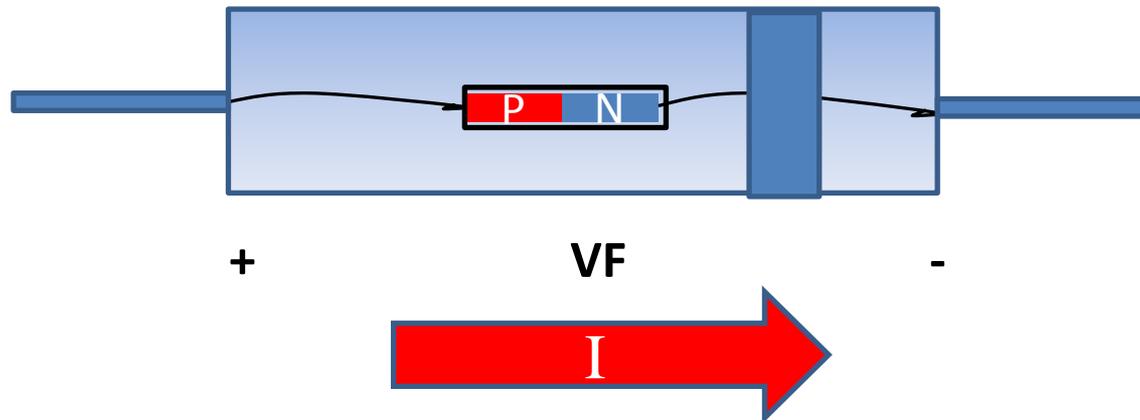


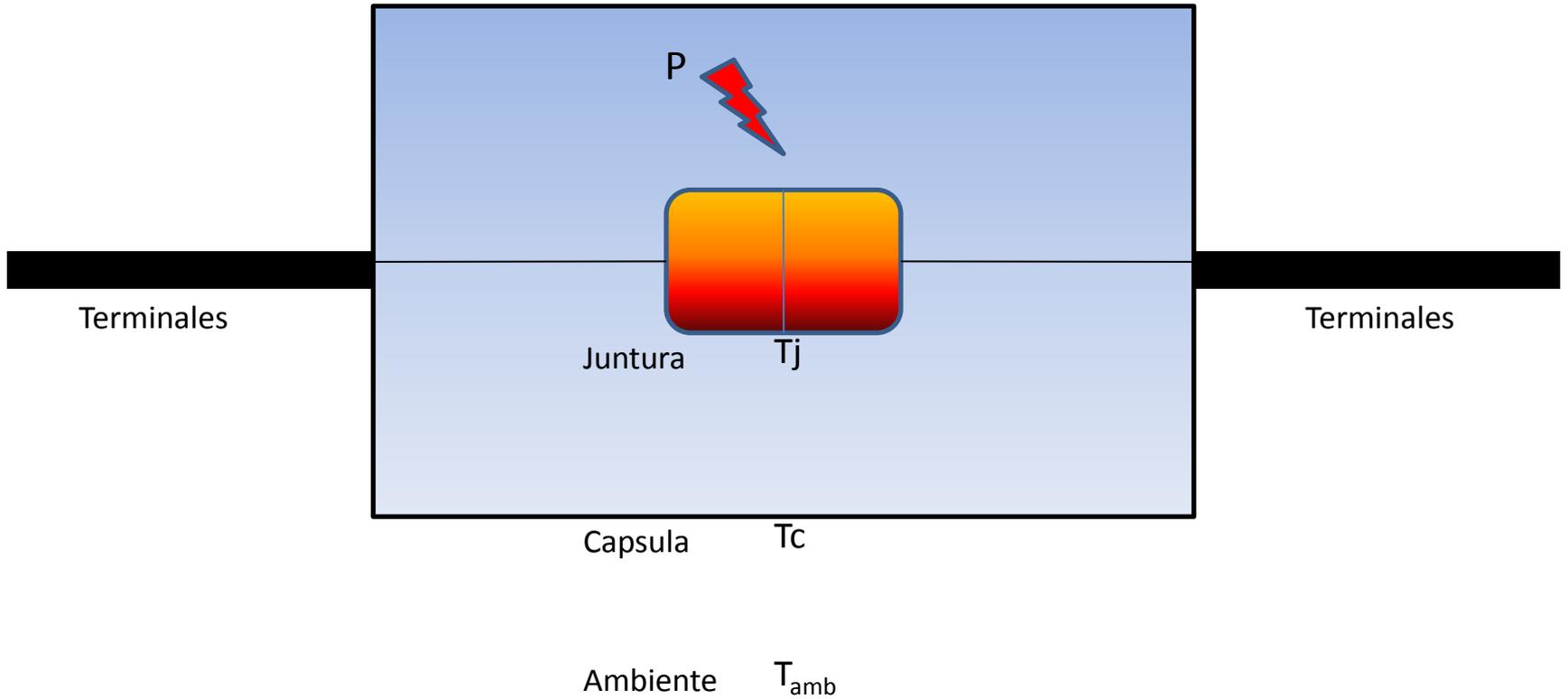
FACTORES TERMICOS



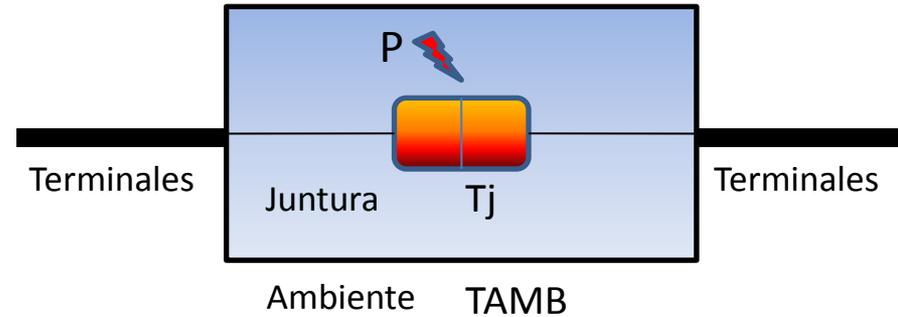
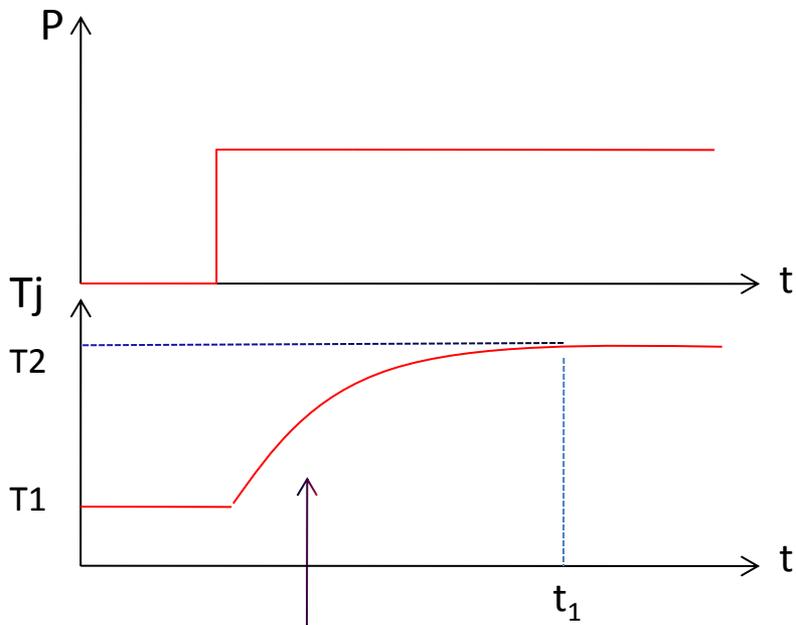
$$V_F = V_D + I \cdot R_s$$

$$P = V_F I = V_D I + I^2 R_s$$





La juntura no debe superar $T_{intrinsic}$ ($\approx 200\text{ }^\circ\text{C}$ para Si)



Constante de tiempo \propto Masa y Calor específico

-Cuando se establece la condición de equilibrio: $t > t_1$

• $T_j \rightarrow f(\text{Potencia})$

$\rightarrow f(T_1)$

$\rightarrow f(\text{Camino entre juntura y ambiente})$

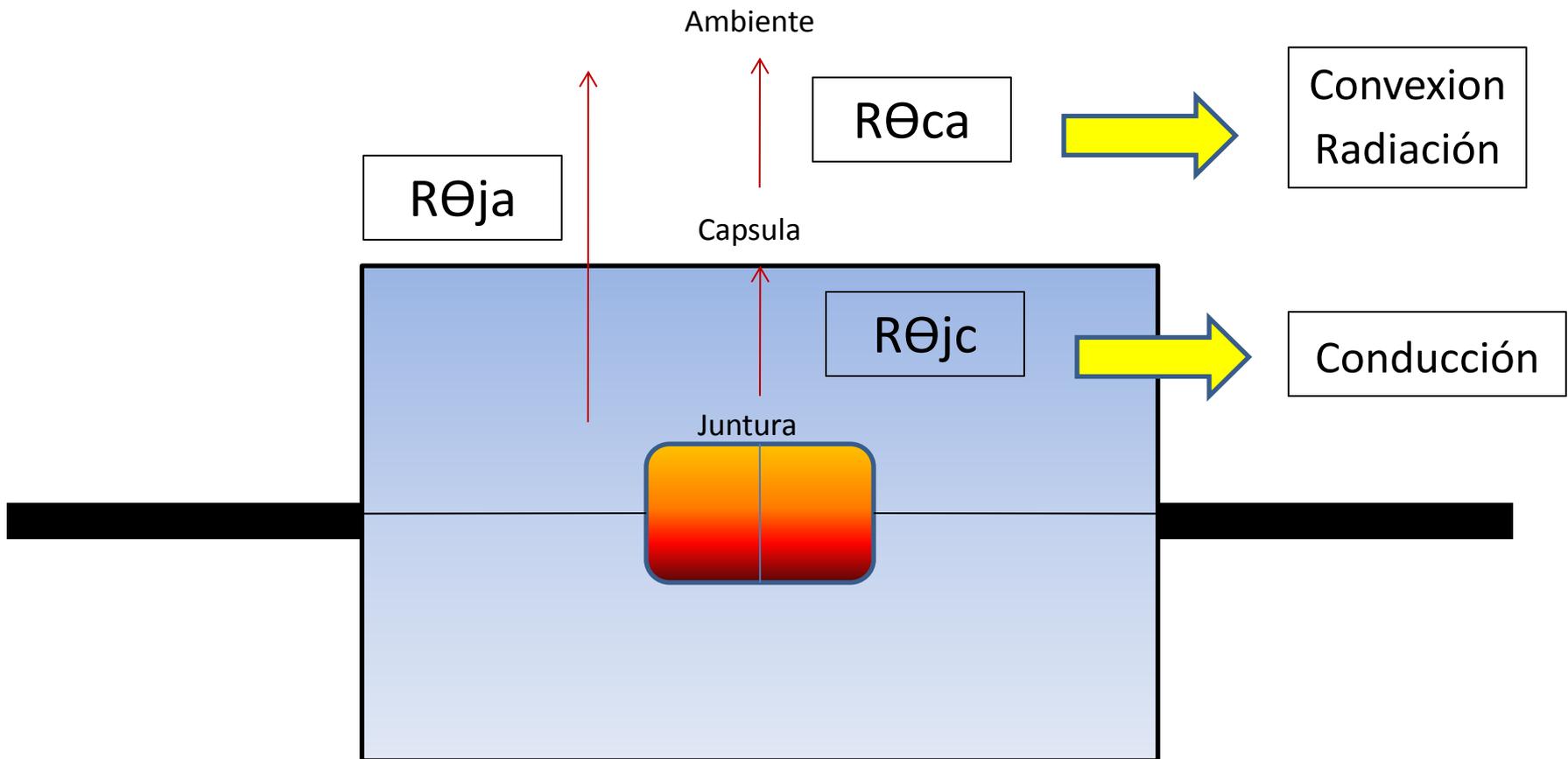
Geometría

Material

- $\Delta T = T_j - T_{amb} \propto P$

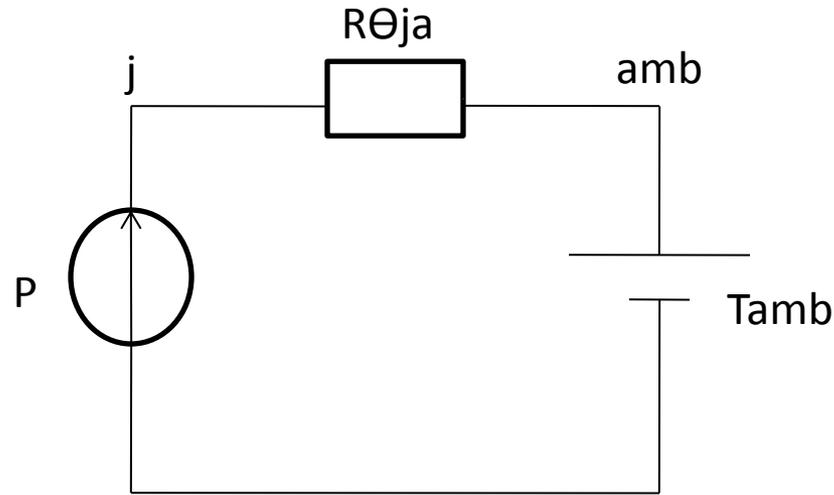
- $\Delta T = K P$

- $K = R\Theta_{j-a}$ (Resistencia térmica junta – Ambiente)



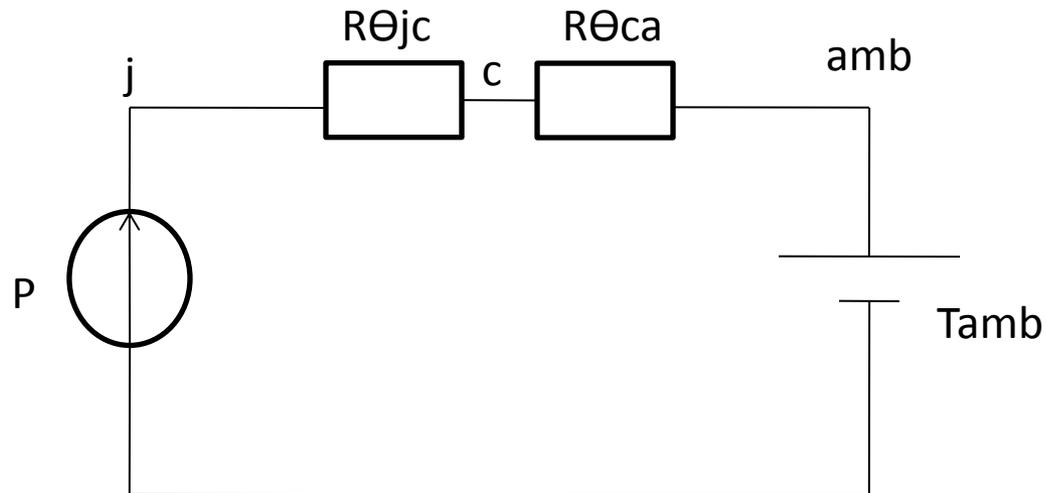
$$\Delta T = T_j - T_{amb}$$

$$\Delta T = R_{\theta ja} P$$



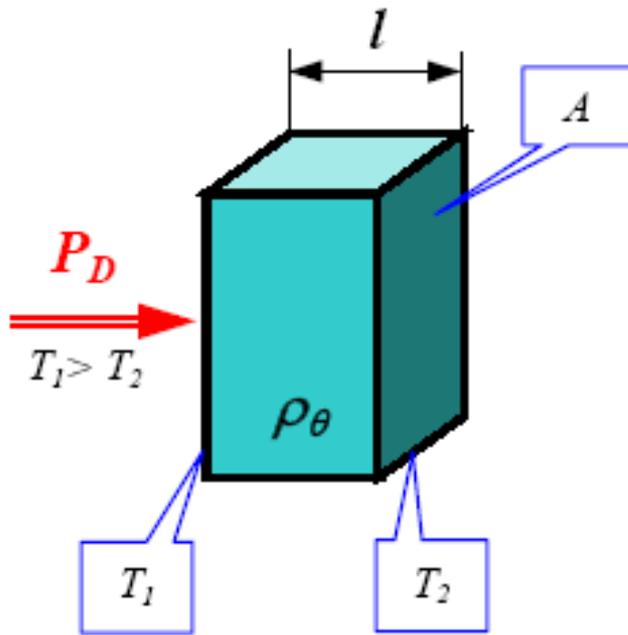
$$\Delta T = T_j - T_{amb}$$

$$\Delta T = (R_{\theta jc} + R_{\theta ca}) P$$



CONDUCCION

En un material conductor del calor, **el flujo de calor va desde los puntos más calientes del material hacia los más fríos.**



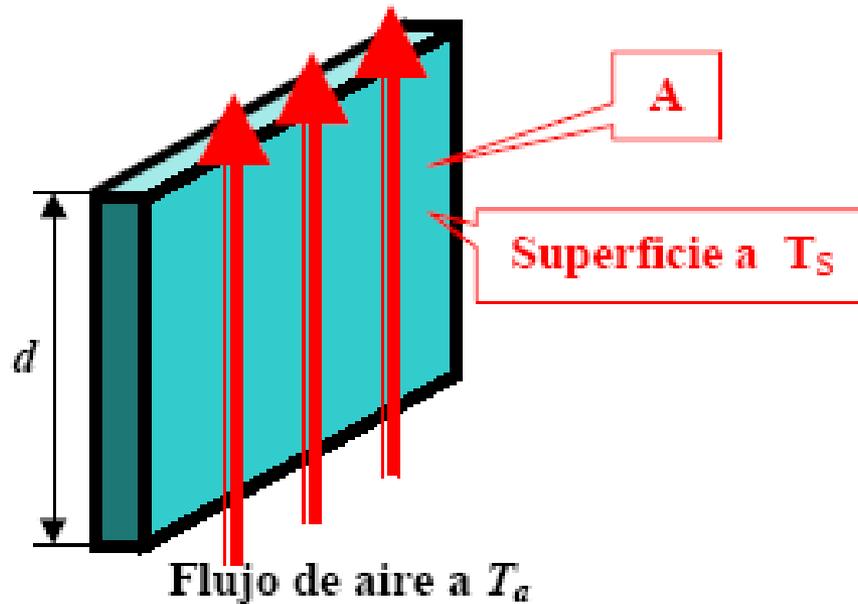
$$R_\theta = \frac{\Delta T}{P_D}$$

$$\Delta T = T_1 - T_2$$

$$R_\theta = \frac{\rho_\theta l}{A}$$

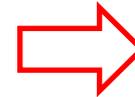
Material	ρ_θ ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{cm}/\text{W}$)
Diamante	0.02 - 0.1
Cobre	0.3
Aluminio	0.5
Estaño	2.0
Grasa térmica	130
Mica	150
Mylar	400
Aire en calma	3000

CONVECCION



$$R_{\theta_{sa}} = \frac{1}{1.34 A} \left(\frac{d}{\Delta T} \right)^{1/4}$$

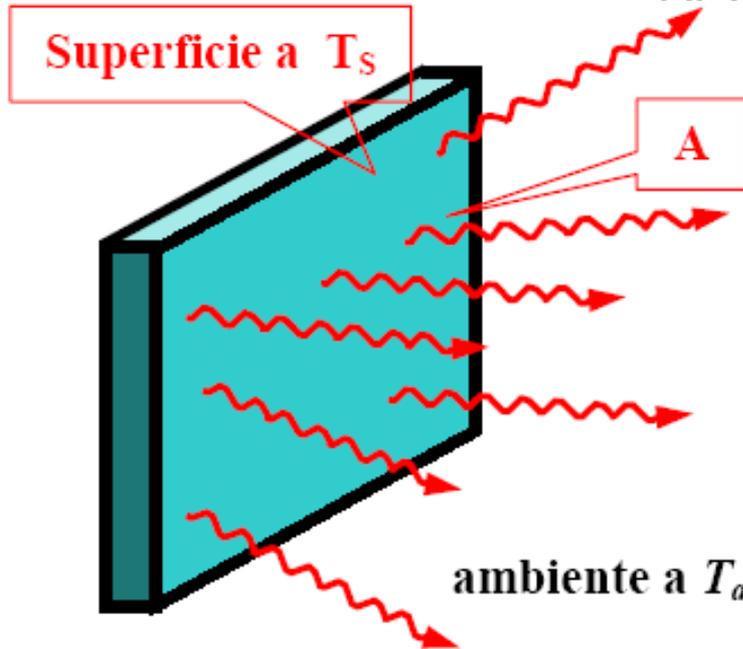
Se puede aproximar



$$R_{\theta_{sa}} = \frac{1}{h A}$$

Sistema Empleado		h ($W m^{-2} \text{ } ^\circ K^{-1}$)
Convección Natural	Gases	2-25
	Líquidos	50-1.000
Convección Forzada	Gases	25-250
	Líquidos	50-20.000

RADIACION



El mecanismo de radiación consiste en la emisión por una superficie de energía en forma de radiación electromagnética (infrarrojos), por tanto no necesita un medio material para producirse.

$$P_{rad} = \sigma EA(T_s^4 - T_a^4)$$

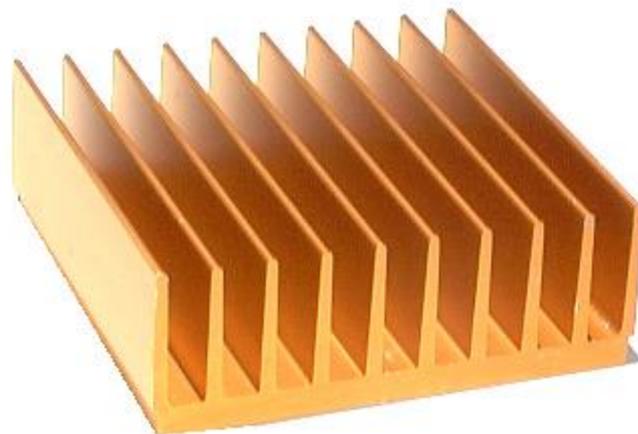
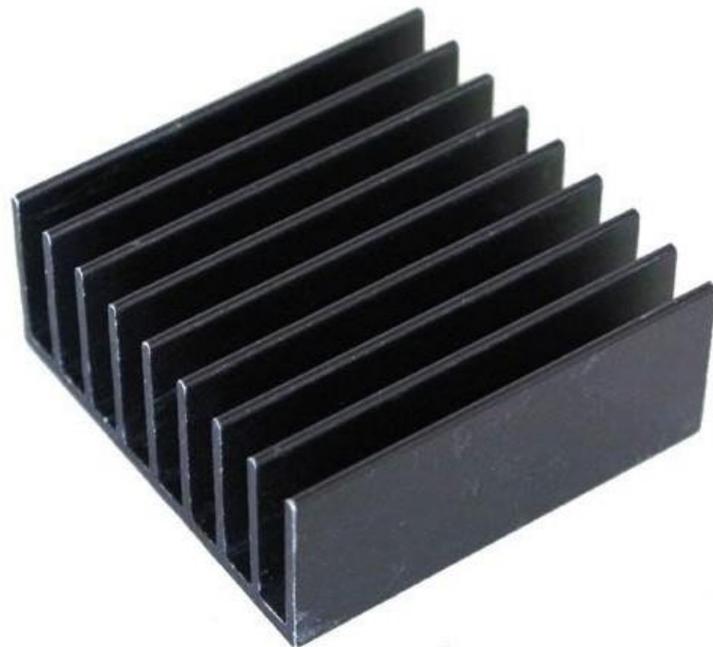
La transferencia de calor por **Radiación** se rige por la **ley de Stefan Boltzmann**:

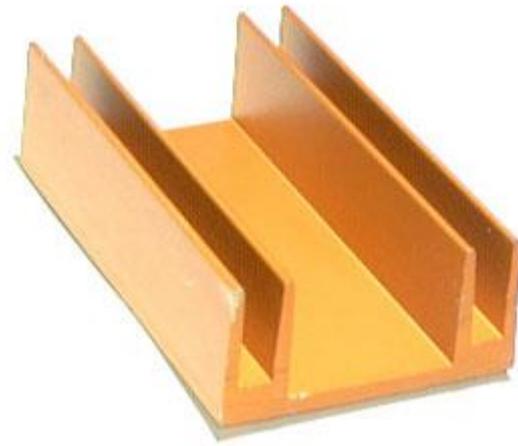
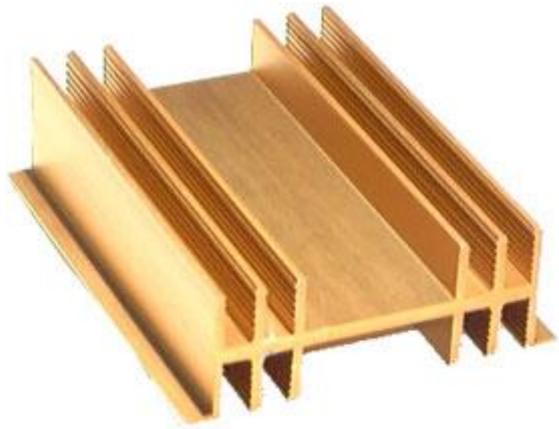
- $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{K}^{-4}$ es la constante de Stefan Boltzmann
- E es la emisividad de la superficie del disipador. Esta constante depende del tipo de material. Para objetos oscuros, como el aluminio pintado de negro utilizado en radiadores es 0.9.

La **resistencia térmica** equivalente será por tanto:

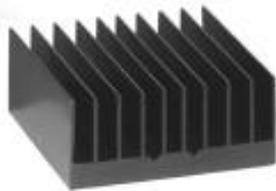
$$R_{\theta_{sa,rad}} = \frac{\Delta T}{5.7 \times 10^{-8} EA(T_s^4 - T_a^s)}$$

DISIPADORES





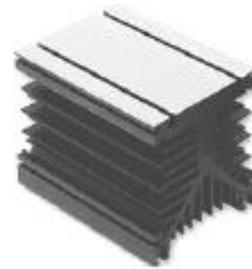
HS-1



HS-2



HS-3/HS-5



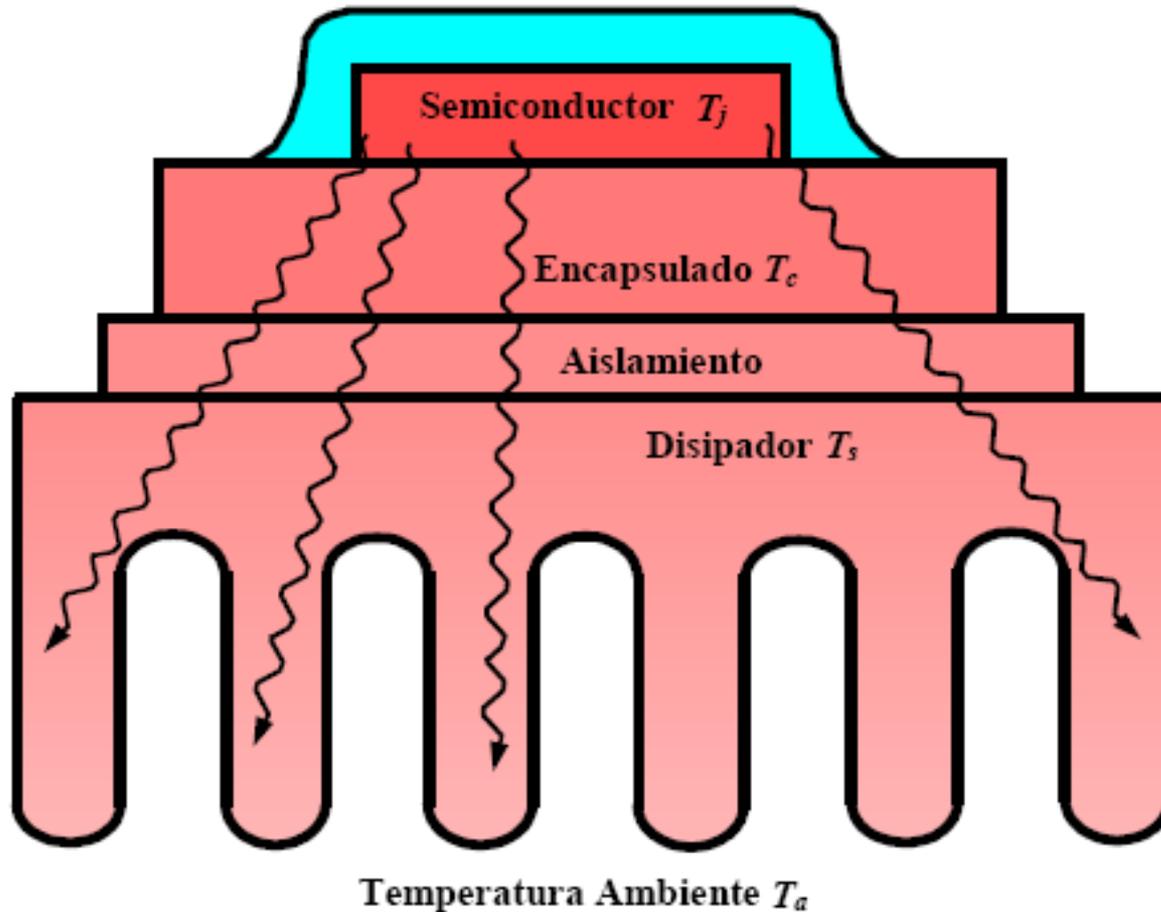
HS-4



HS-9

TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN.

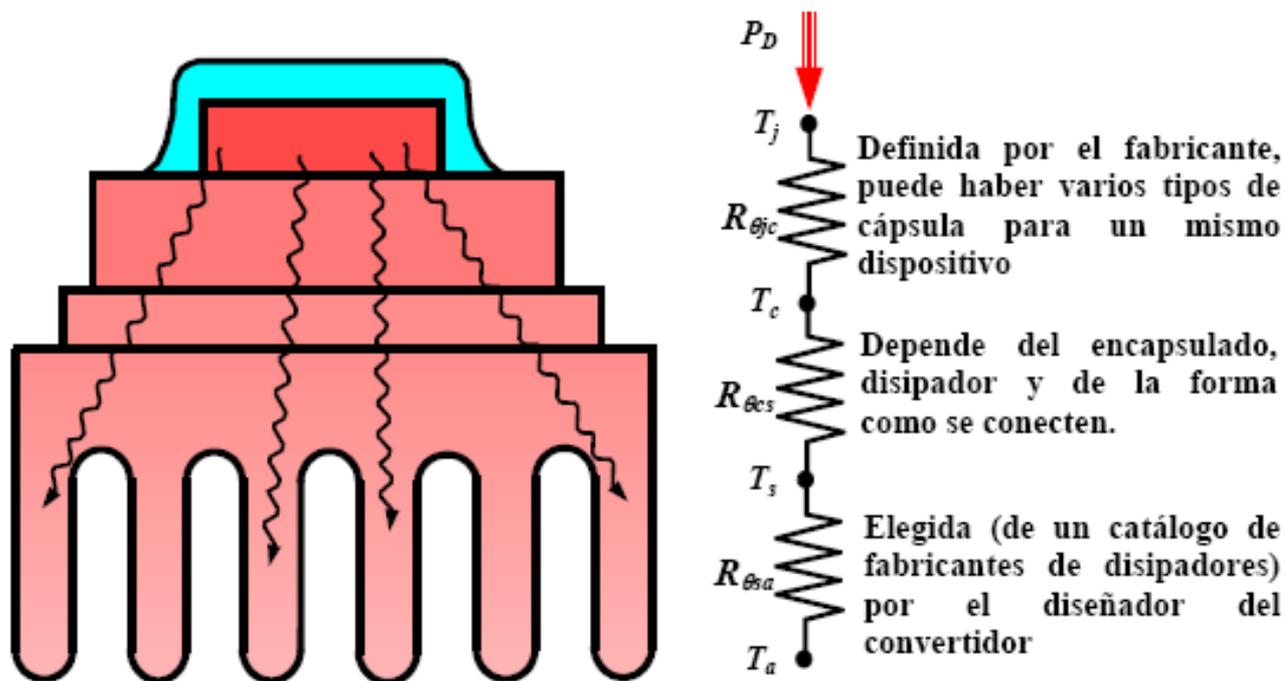
Modelo Térmico Estático



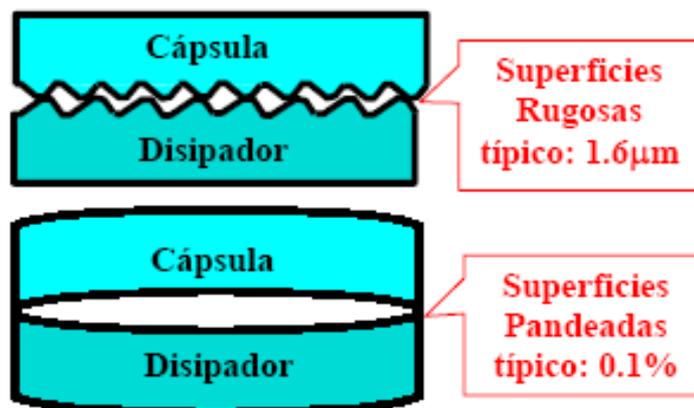
Modelo Multicapa de un Semiconductor Montado sobre un Disipador para analizar la Transferencia de Calor desde el Silicio hacia el Ambiente

$$R_{\theta ja} = R_{\theta jc} + R_{\theta cs} + R_{\theta sa}$$

DISIPADORES. ASPECTOS PRACTICOS. Radiadores



La resistencia $R_{\theta cs}$ depende mucho de la forma como se conecten la cápsula y el disipador, le afecta especialmente el acabado superficial de ambos:

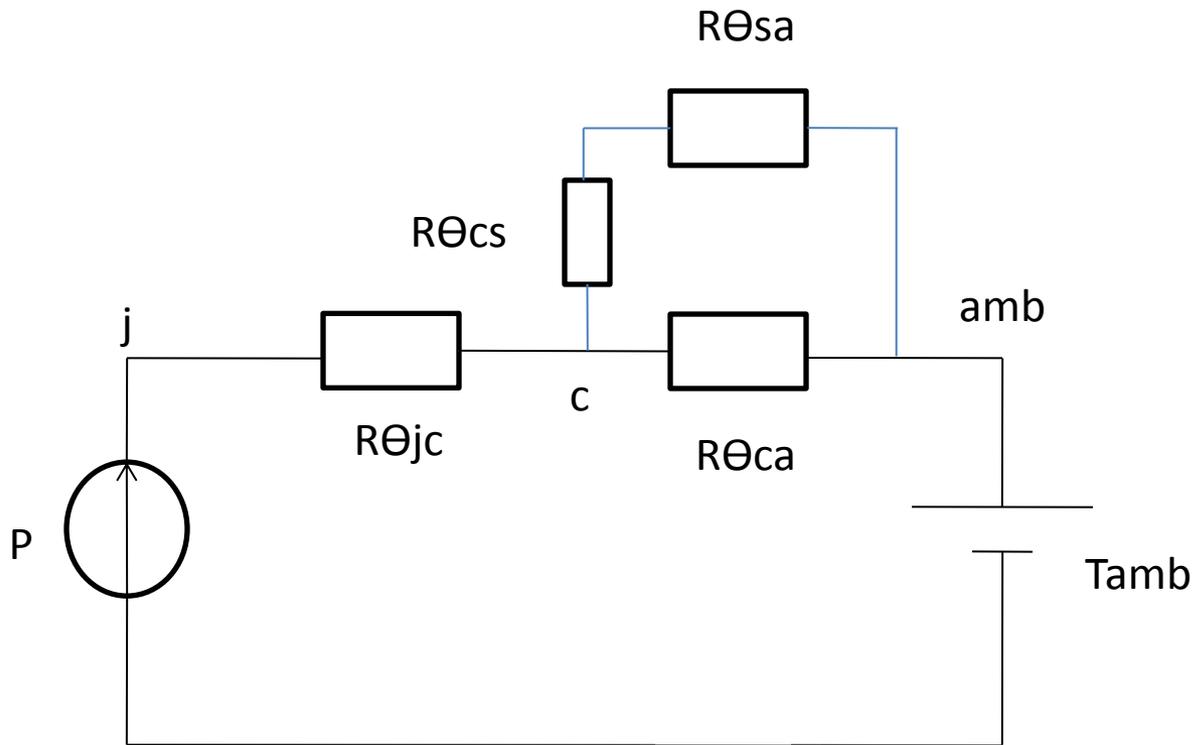


Uso de materiales intermedios “blandos” que llenen los huecos, por ejemplo:

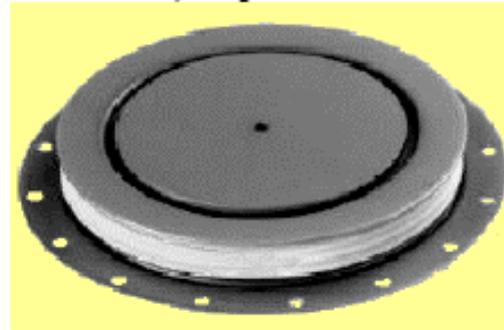
- Mica
- Grasa de Silicona

Uso de tornillos que acerquen las superficies por presión

$$R\theta_{ja} = R\theta_{jc} + [R\theta_{ca} // (R\theta_{cs} + R\theta_{sa})]$$

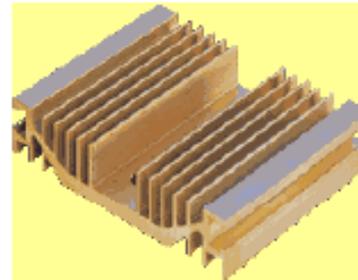


- Cápsulas adecuadas (Fabricante).



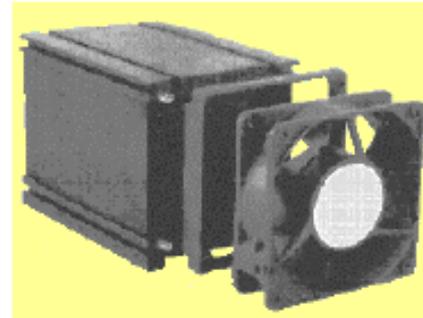
Ejemplo de Encapsulado: IGCT

- Radiadores.



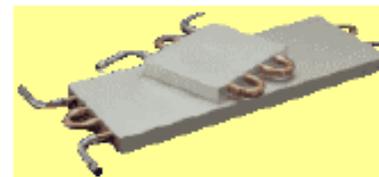
Disipador de Aluminio Extrusionado

- Radiadores con ventilación forzada.



Disipador de Aluminio con ventilador

- Refrigeración por líquidos. (con o sin evaporación)



Dos refrigeradores por agua



TO-218



TO-220



TO-247



TO-5



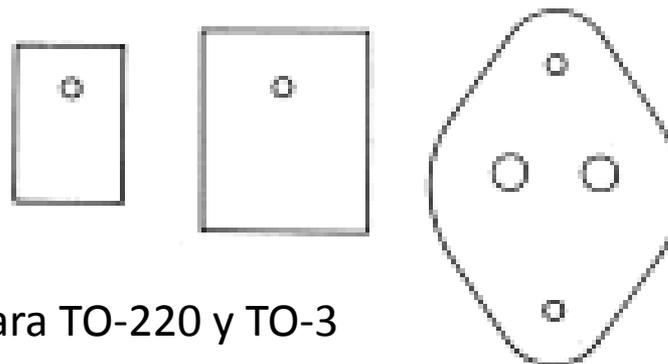
TO-92

RESISTENCIA TERMICA UNION -CONTENEDOR Y UNION-AMBIENTE

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

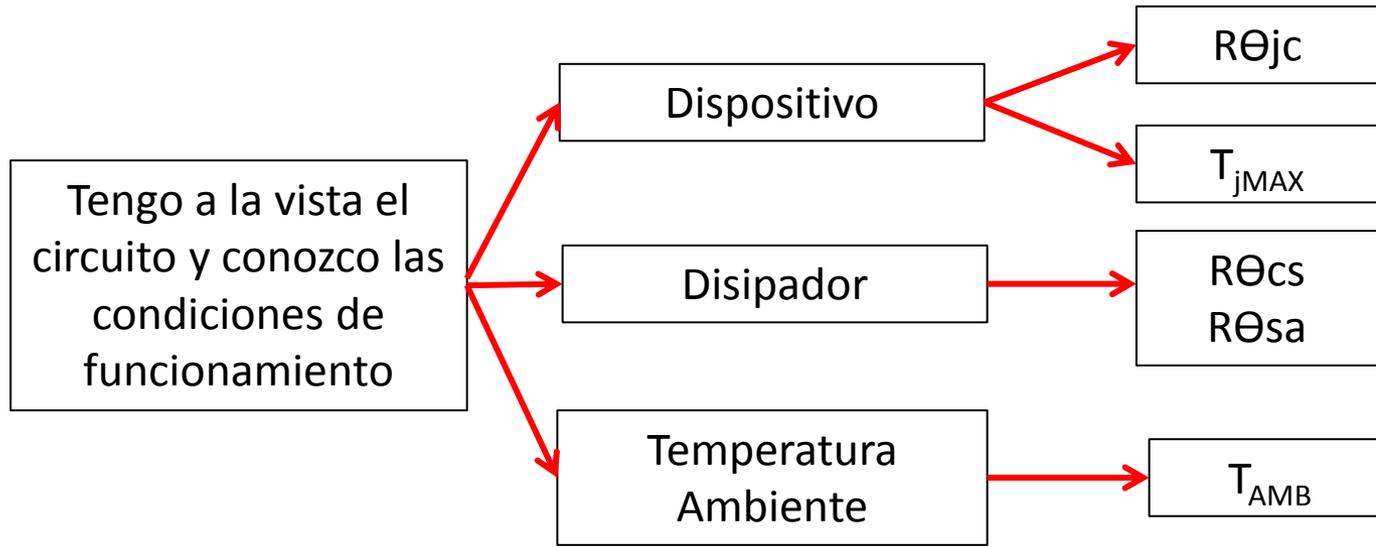
RESISTENCIA TERMICA CONTENEDOR -DISIPADOR

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



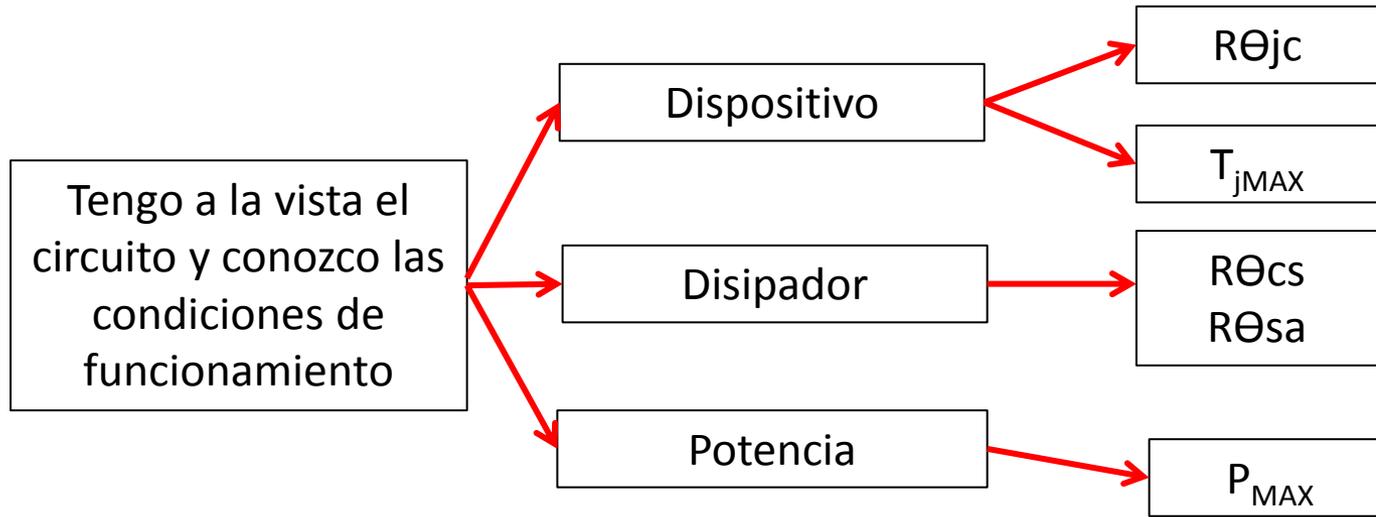
aisladores para TO-220 y TO-3

Ejemplo de Diseño



Cuanto vale la máxima corriente que puede manejar

Ejemplo de Diseño



Cuanto vale la máxima
Temperatura ambiente a la que
puede funcionar

Estado Térmico Transitorio

La temperatura que alcanza un material al que se aplica una cantidad de calor depende de su **calor específico** definido como:

La energía requerida para elevar la temperatura de un material un grado centígrado una unidad de masa de dicho material

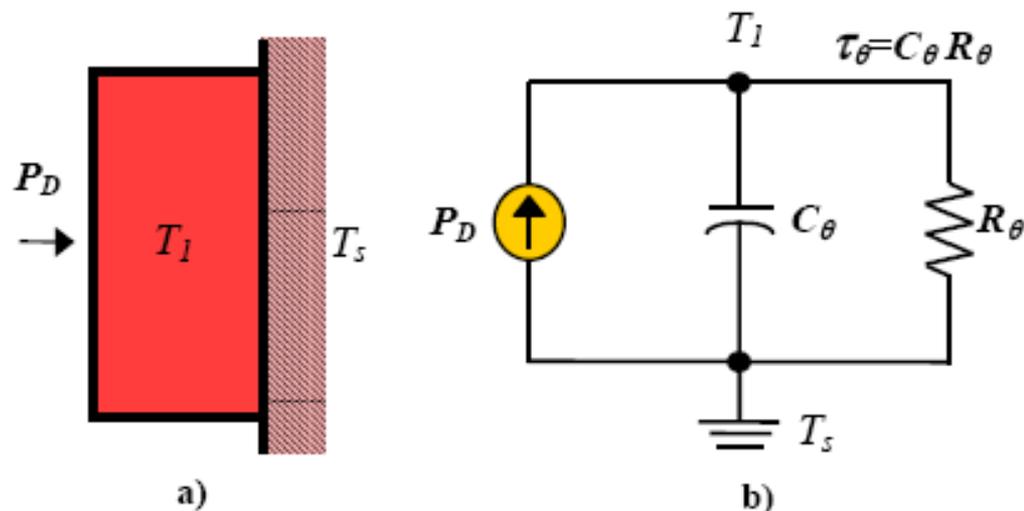
La masa del material hace de “almacenamiento” de energía, modificando la temperatura con una determinada dinámica.

En la analogía con los circuitos eléctricos el producto **masa x calor específico** sería la capacidad de un condensador, ya que:

$$\Delta T = (M \cdot C_e) \Delta Q = C_\theta \Delta Q$$
$$\frac{\partial T}{\partial t} = C_\theta \frac{\partial Q}{\partial t} = C_\theta P_D \Leftrightarrow \frac{\partial V}{\partial t} = C \cdot I_C$$

donde:

- **C_e** es el calor específico del material ($W \text{ } ^\circ C^{-1} \text{ Kg}^{-1}$)
- **M** es la masa del material (Kg)
- **C_θ** es la capacidad térmica equivalente ($W \text{ } ^\circ C^{-1}$)



- a) Sistema Térmico Simple Consistente en una Masa a Temperatura inicial T_S a la cual se le suministra un escalón de potencia P_D , estando en contacto con un Disipador a Temperatura T_S . La temperatura final alcanzada es T_1 .
- b) Modelo equivalente eléctrico utilizado para modelar comportamientos transitorios de un sistema térmico.

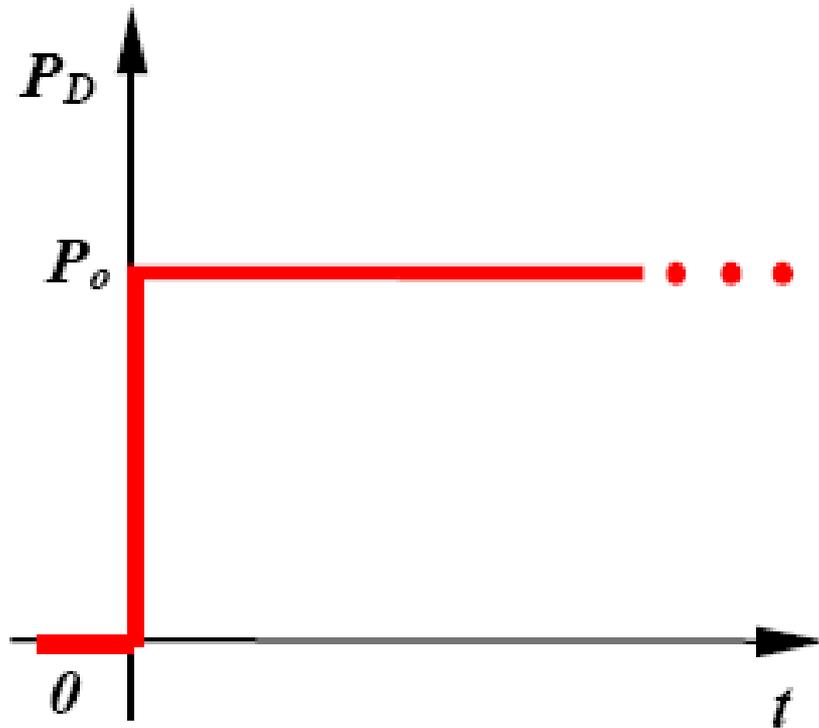
La evolución en el tiempo de la temperatura cuando se aplica un cambio brusco (escalón) de la potencia disipada será:

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

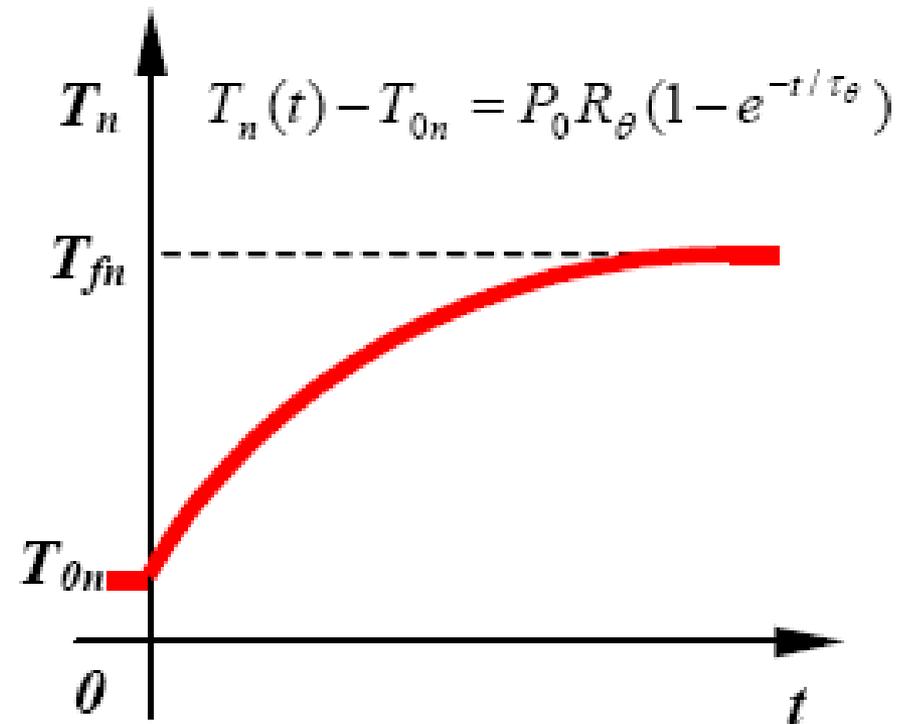
En régimen permanente coincide con lo estudiado anteriormente para el caso estático:

$$T_1(t = \infty) - T_S = P_D R_\theta$$

Estado Térmico Transitorio

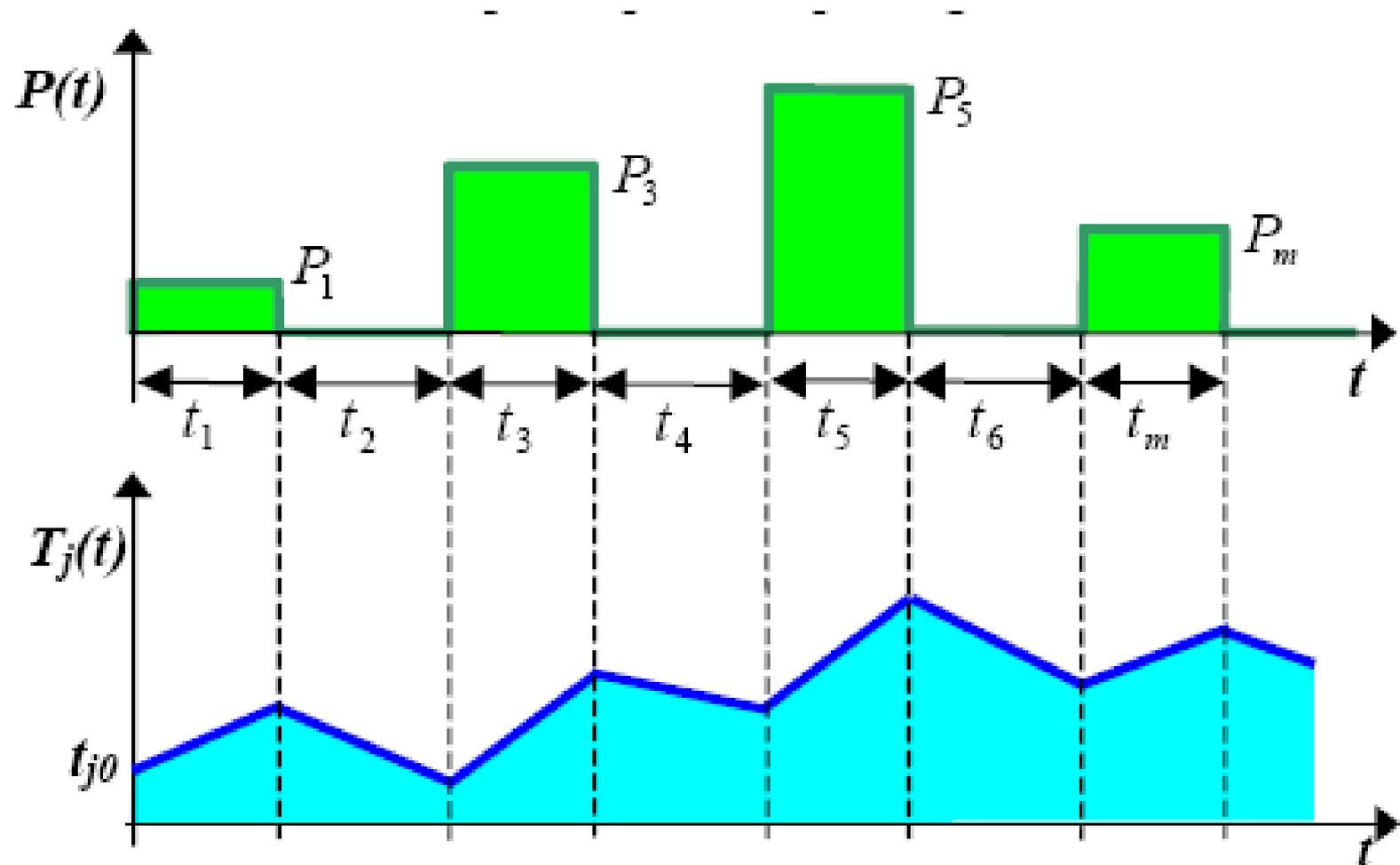


a) Escalón de Potencia



b) Evolución de la Temperatura en el trozo n

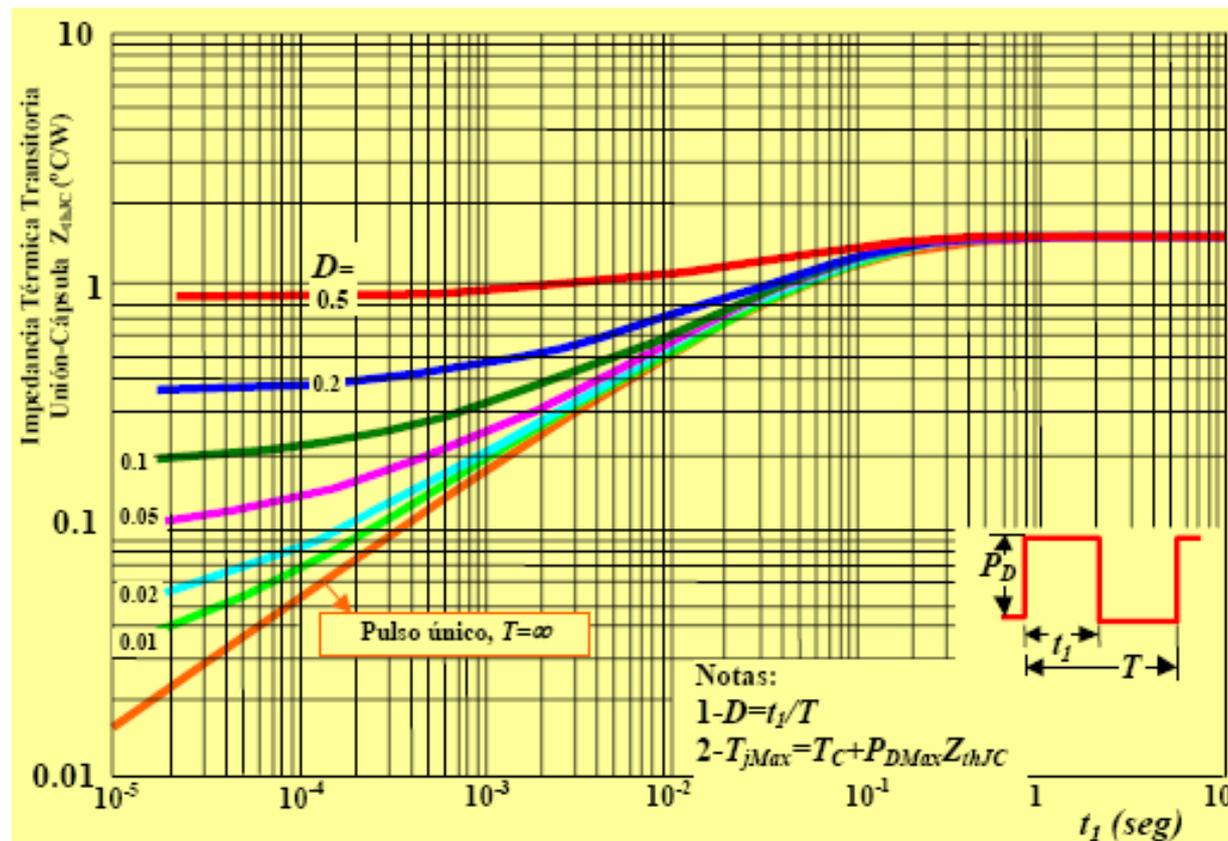
Estado Térmico Transitorio



Temperatura de la Unión con Pulsos de Potencia Rectangulares

Cálculo de la Temperatura de la Unión en Situaciones Transitorias

Los fabricantes suelen dar curvas en las que se representa la impedancia térmica transitoria para un dispositivo al que se aplica una potencia disipada tipo escalón o ondas cuadradas periódicas, por ejemplo:



Curvas de la **Impedancia Térmica Transitoria** del transistor *MOSFET* IRF 330 donde la Impedancia Térmica Transitoria está parametrizada en función del ciclo de trabajo del *MOSFET*

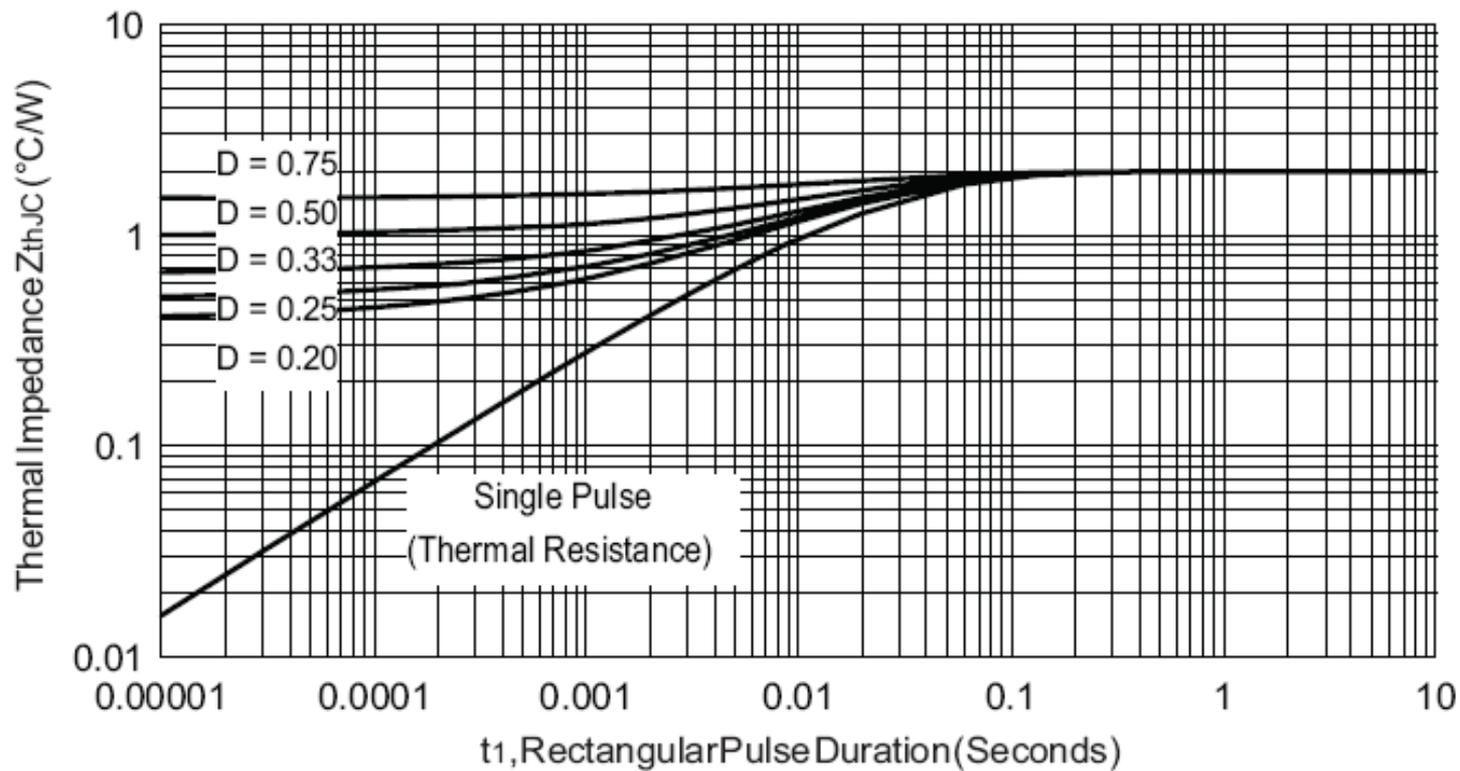
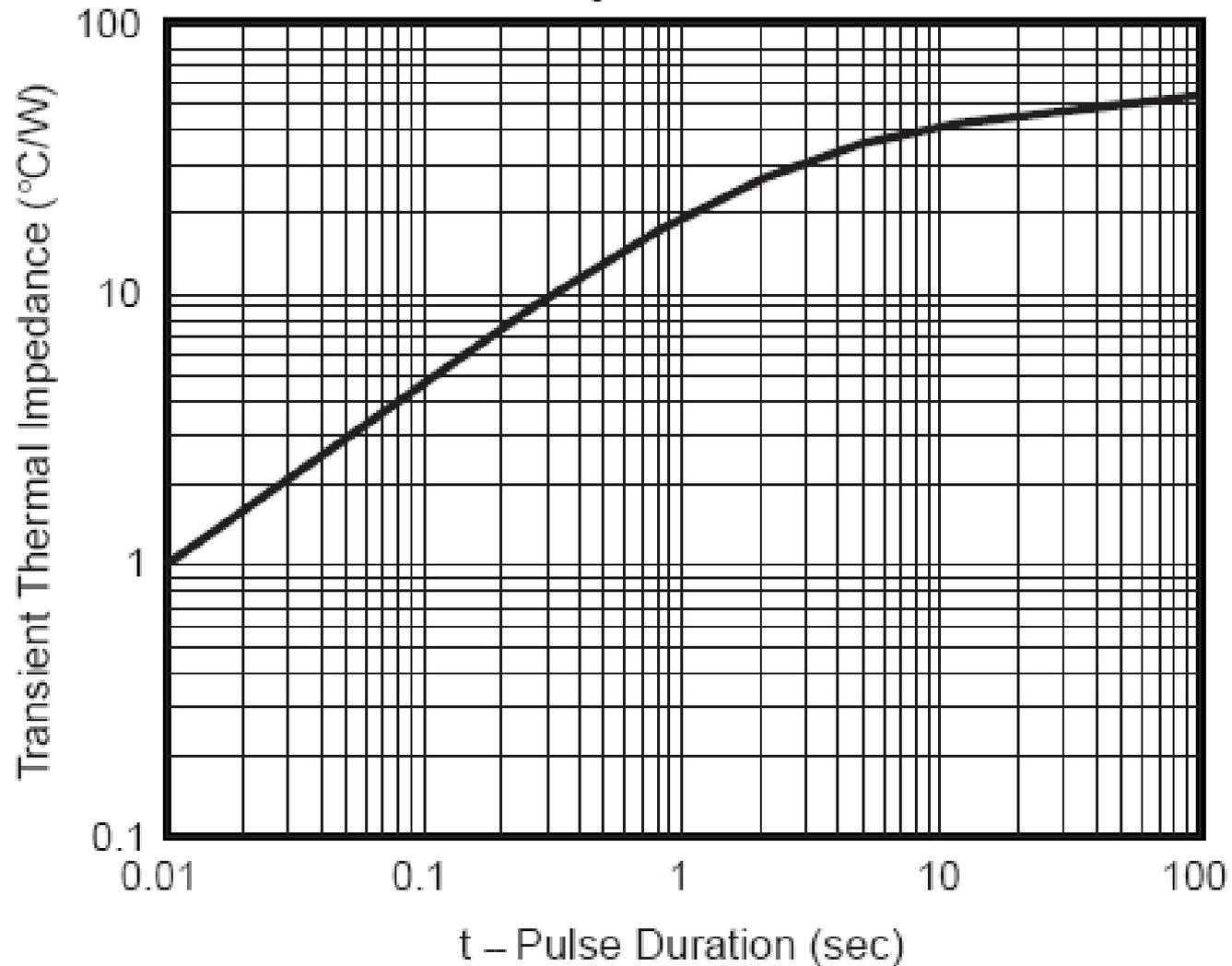


Fig. 4 - Maximum Thermal Impedance Z_{thJC} Characteristics

Fig. 6 – Typical Transient Thermal Impedance



Problemas típicos de Diseño de un circuito de
potencia
Transitorio y Permanente