

Tecnología Electrónica

Ingeniería en Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

Disipación de Energía

OBJETIVOS

- Tener en consideración los efectos de la temperatura en dispositivos que manejan y disipan potencia.
- El aumento de la potencia a disipar trae como consecuencia la disminución de la vida útil del dispositivo si el mismo no puede transmitir ésta al ambiente.

MODOS de Disipación

RADIACION

- El cuerpo emite radiación electromagnética debido a su temperatura.
- La longitud de onda está entre $0,1\mu\text{m}$ a $1000\mu\text{m}$ (espectro infrarrojo).

CONDUCCION

- Define la capacidad de los cuerpos a conducir calor.
- Se puede establecer la Resistencia Térmica, que es la oposición al paso de calor.

CONVECCION

- Se produce transferencia de calor debido a la interacción de un fluido que transporta el calor entre zonas de diferente temperatura.

RADIACION

$$q = \varepsilon * \sigma * A * T^4$$

ε = coeficiente de emisividad del cuerpo \rightarrow 1 para cuerpo negro

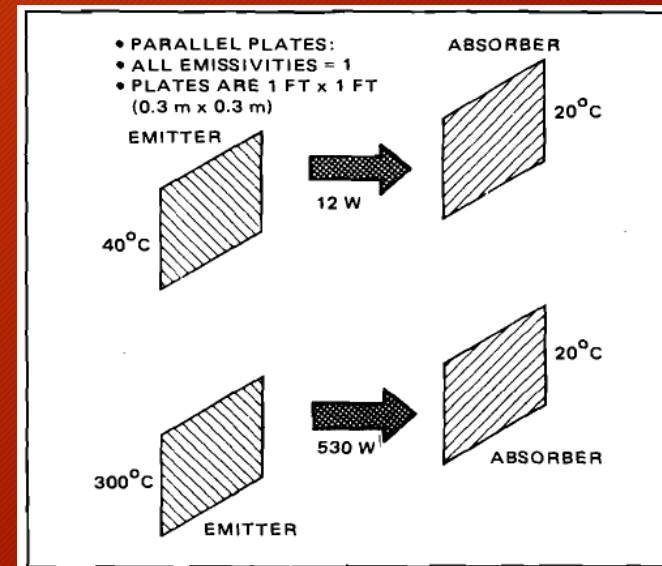
$$\sigma = 5.667 \times 10^{-8} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \right]$$

A = area efectiva de transferencia de calor $[\text{m}^2]$

T = temperatura del medio sólido $[\text{K}]$

RADIACION

- Única forma de transmisión en el vacío.
- La cantidad de energía absorbida o reflejada depende de la superficie.
- Superficie negra absorbe toda la energía.
- Superficie perfectamente pulida refleja toda la energía.
- Emisividad = 1 → Perfecta Absorción
- Emisividad = 0 → Perfecta Reflexión
- Condiciones Optimas
 - Alta Emisividad
 - Línea de Vista Optima
 - Grandes Áreas



CONDUCCION

$$q = -kA \frac{\Delta t}{\Delta x}$$

k = conductividad termica del medio $\left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$

A = area efectiva de transferencia de calor $[\text{m}^2]$

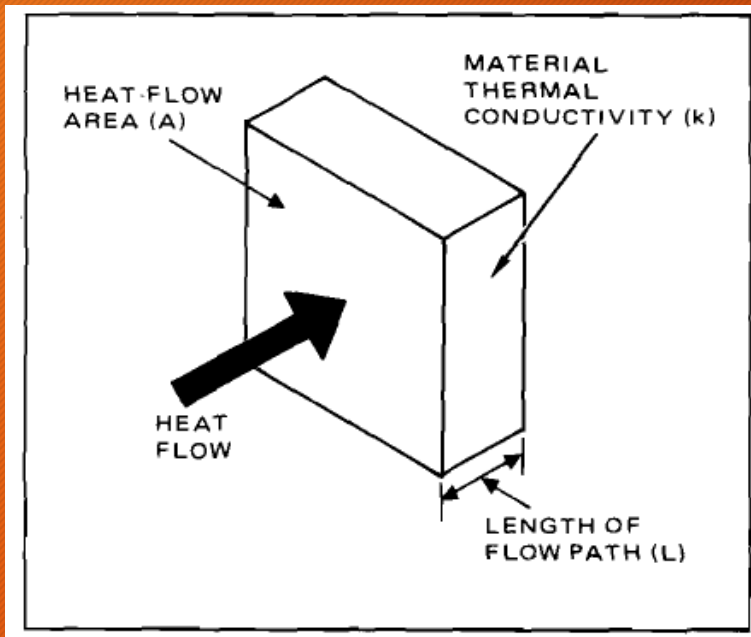
Δt = diferencia de temperatura entre dos puntos $[^\circ\text{C}]$

Δx = distancia del camino térmico $[\text{m}]$

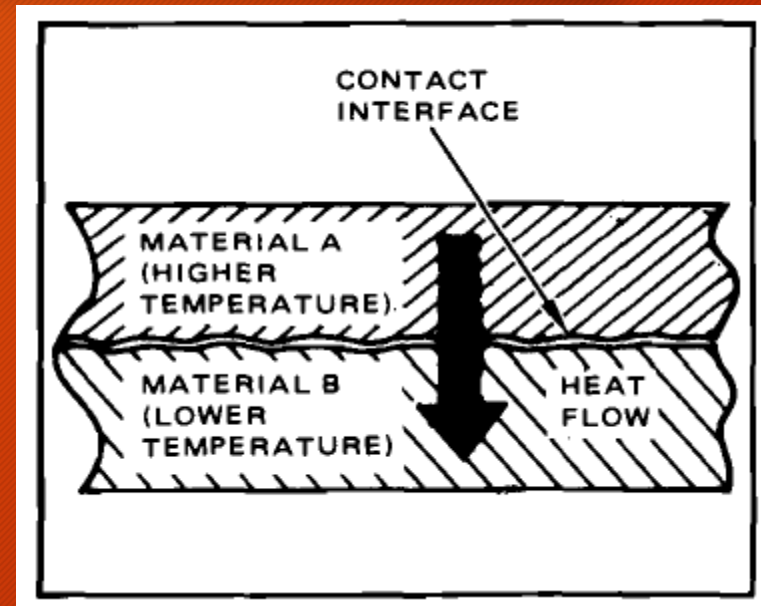
CONDUCCION

- Se produce por la transmisión entre moléculas.
- Se produce en solidos, líquidos y gases.
- Forma mas importante de transmisión en equipos electrónicos.
- La tarea mas importante es conocer la resistencia térmica del sistema.

CONDUCCION



- Condiciones Optimas
 - Alta Conductividad
 - Camino Corto
 - Grandes Áreas



- Condiciones Optimas
 - Gran Área de contacto
 - Alta presión de Contacto
 - Relleno Conductivo en la Interfaz

CONVECCION

- Transferencia entre un sólido y un fluido.
- La transferencia se produce cuando el fluido entra en contacto con la superficie del sólido.

- Modos de Convección

- Convección Libre o Natural
 - Convección Forzada

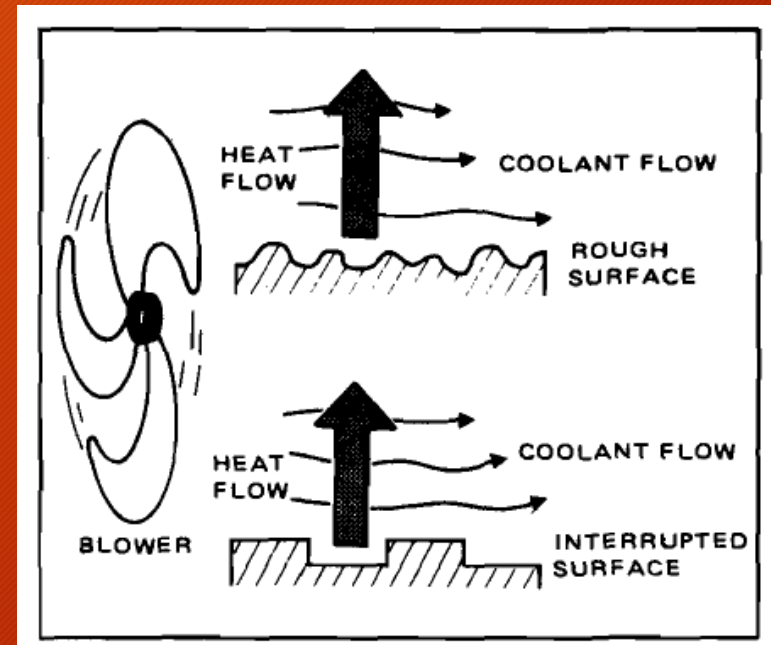
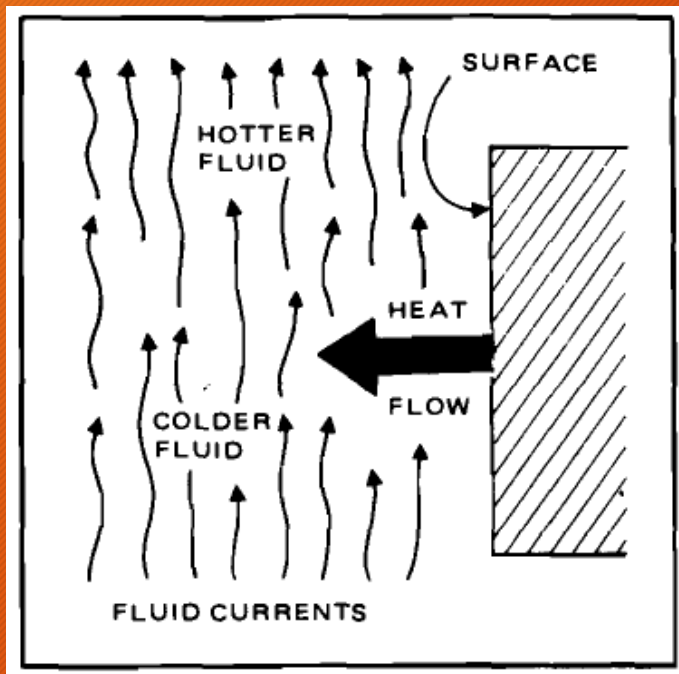
- Condiciones Optimas - NATURAL

- Corriente de fluido sin restricciones
- Superficie vertical preferible a horizontal
- Superficie orientada hacia arriba (si sup. horizontal)
- Área grande

- Condiciones Optimas - FORZADA

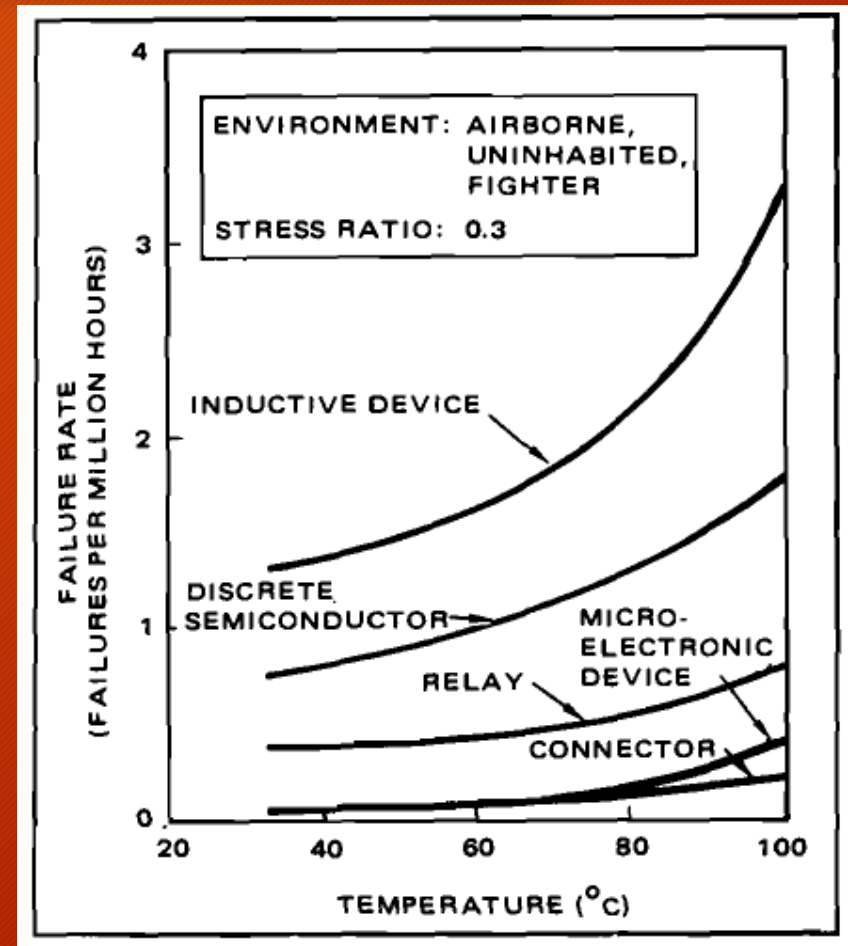
- Líquido preferible al gas
- Alta velocidad de flujo
- Superficie rugosa o interrumpida
- Área grande

CONVECCION

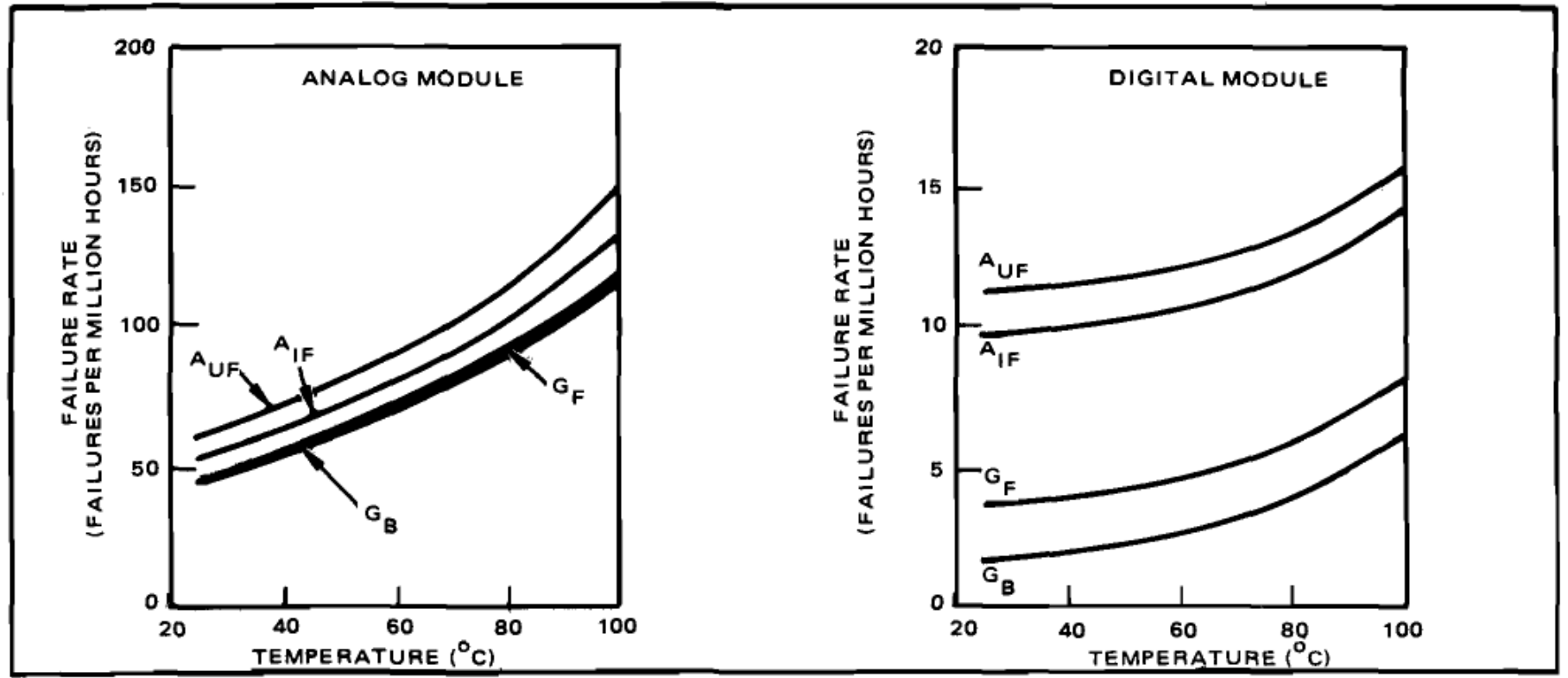


Tasa de Falla Vs Temperatura

- El stress Térmico provoca un deterioro de los componentes, aumentando la probabilidad de falla.



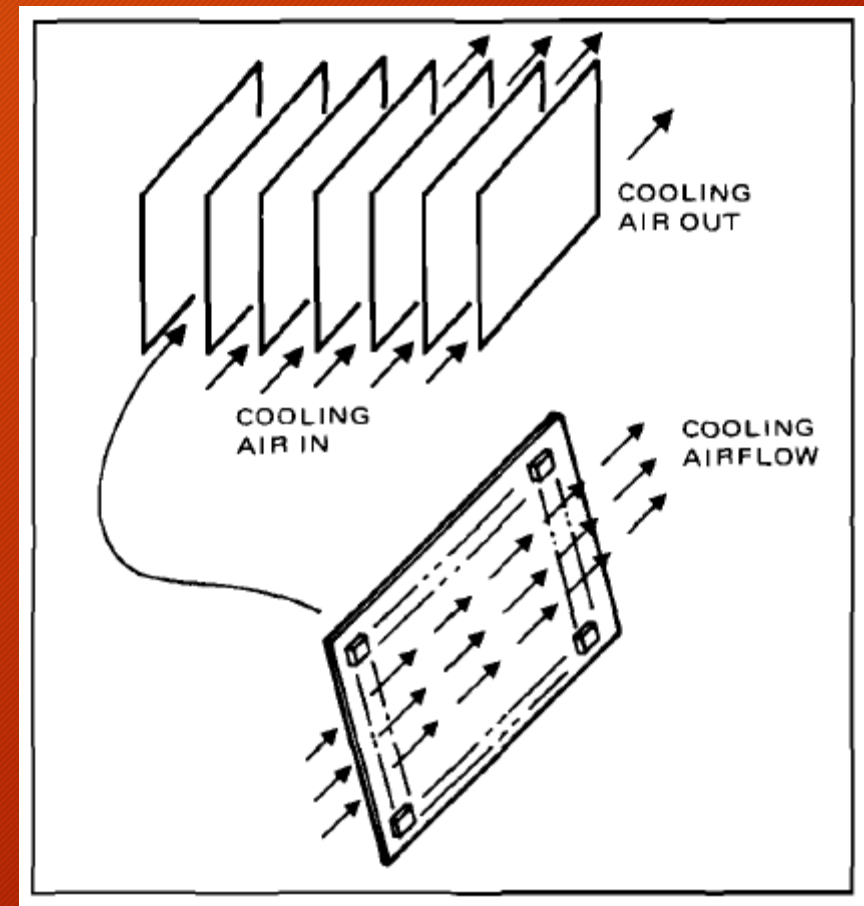
Tasa de Falla Vs Temperatura



- $A_{UF} / A_{IF} \rightarrow$ Aplicación Aviónica
- $G_B / G_F \rightarrow$ Electrónica en Tierra

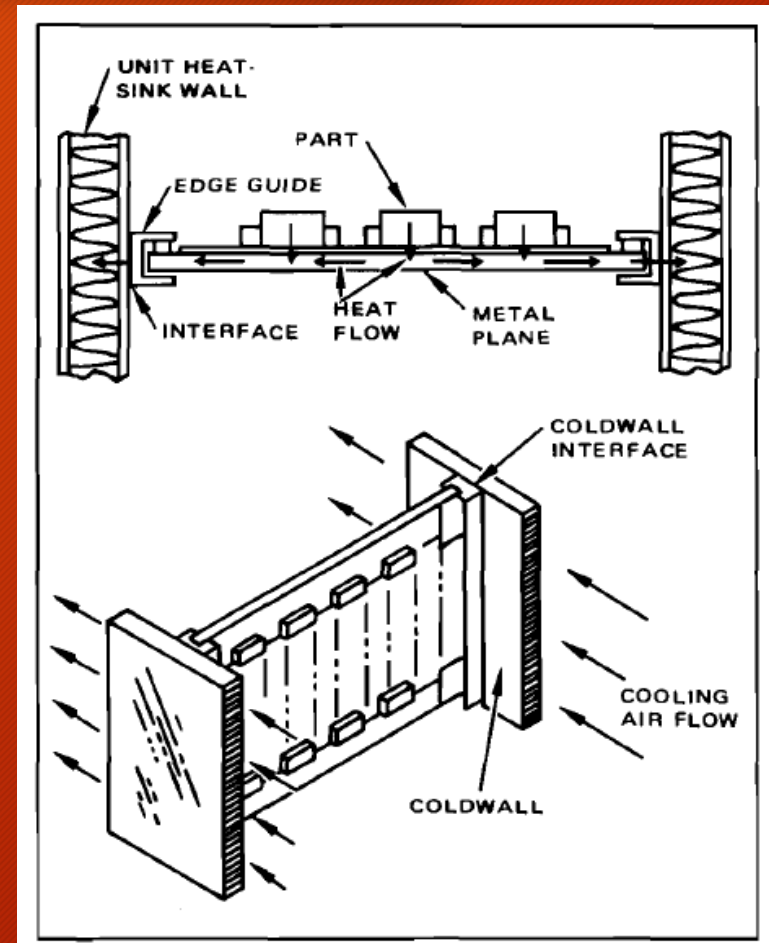
Método de Extracción de Calor

- Contacto Directo con las Partes.
- Usar el PCB en el Circuito Térmico.
 - Se pone el flujo de fluido en contacto con el PCB.
- Impingement - Aire Forzado



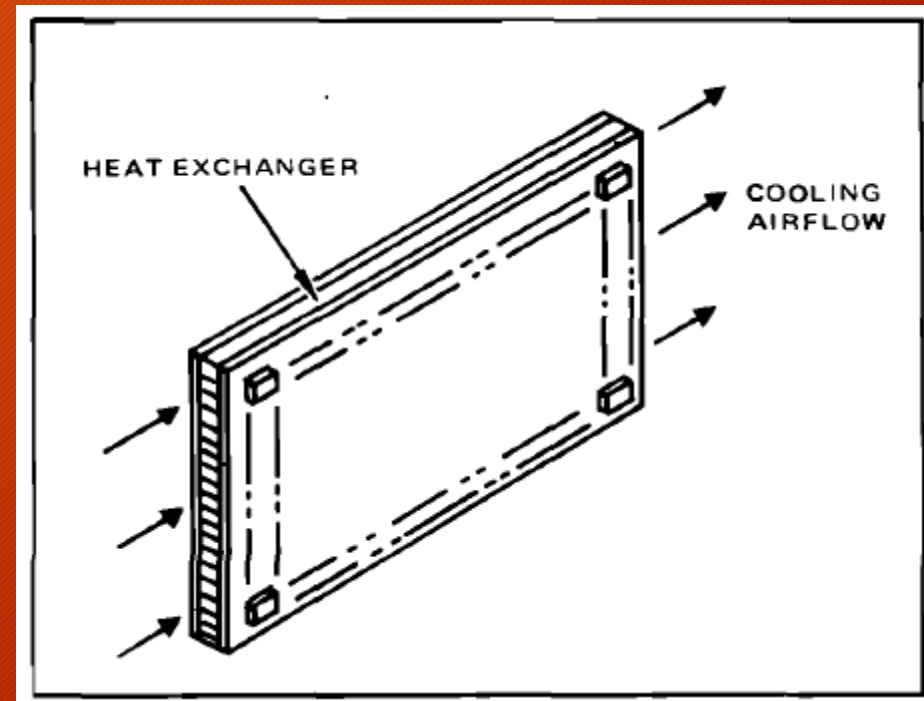
Método de Extracción de Calor

- Pared Fría en Contacto con el PCB
- Es mas Eficiente que el Impringement.



Método de Extracción de Calor

- Flujo a través del disipador en Contacto con el PCB



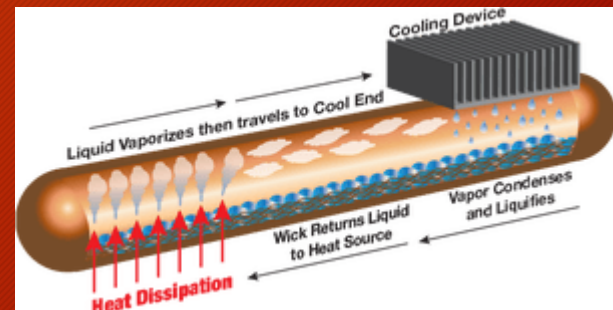
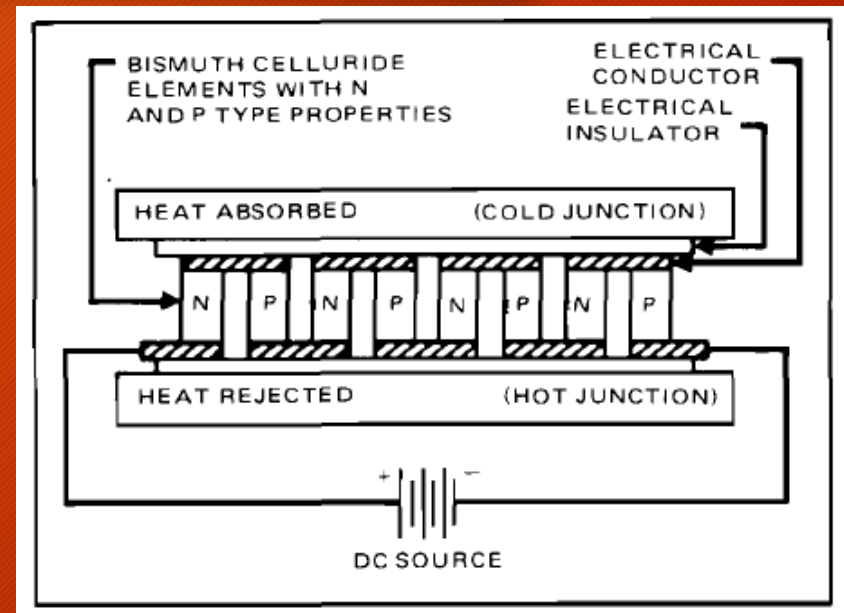
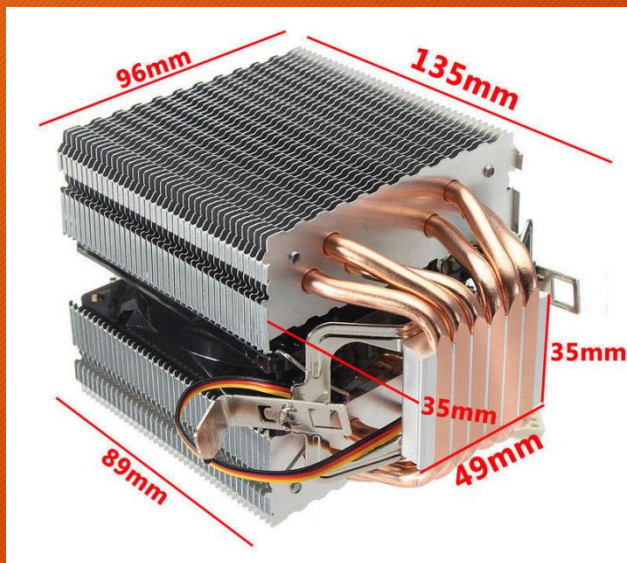
Método de Extracción de Calor

- Resumen

Module Cooling Method	Maximum Cooling Capacity	
	W/m ²	W/in ²
Impingement	800	0.5
Coldwall	1,500	1
Flow-through	3,400	2
Above comparison based on:		
Junction temperature:	120°C	
Air inlet temperature:	30°C	
Air exit temperature:	60°C	
Junction-to-case thermal resistance:	50°C/W	

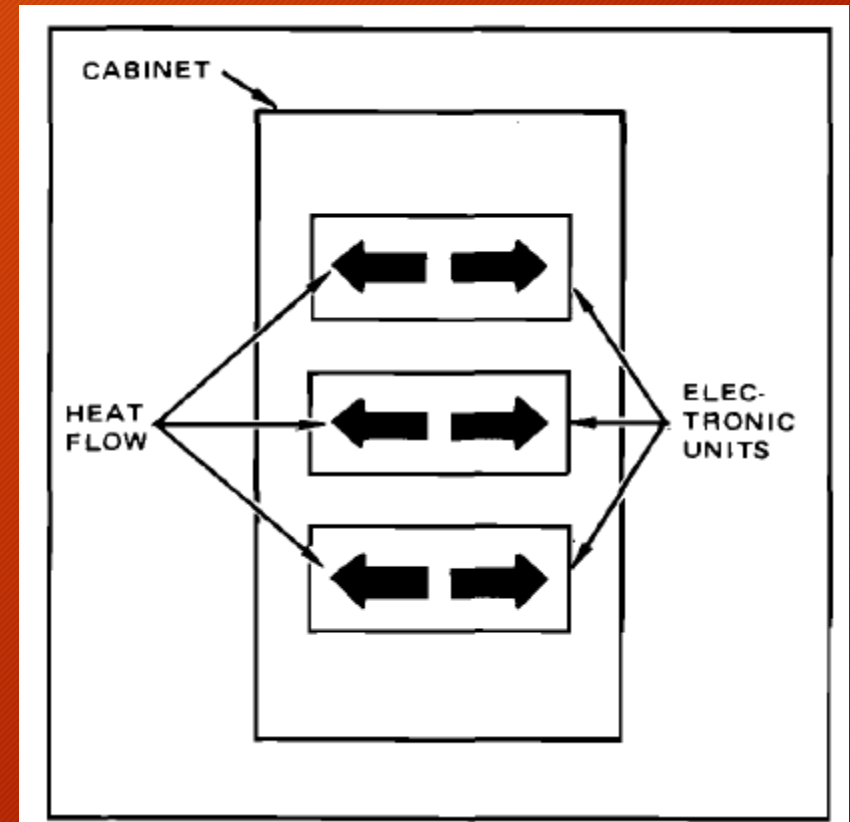
Método de Extracción de Calor

- Heat PIPE
- Celdas Peltier



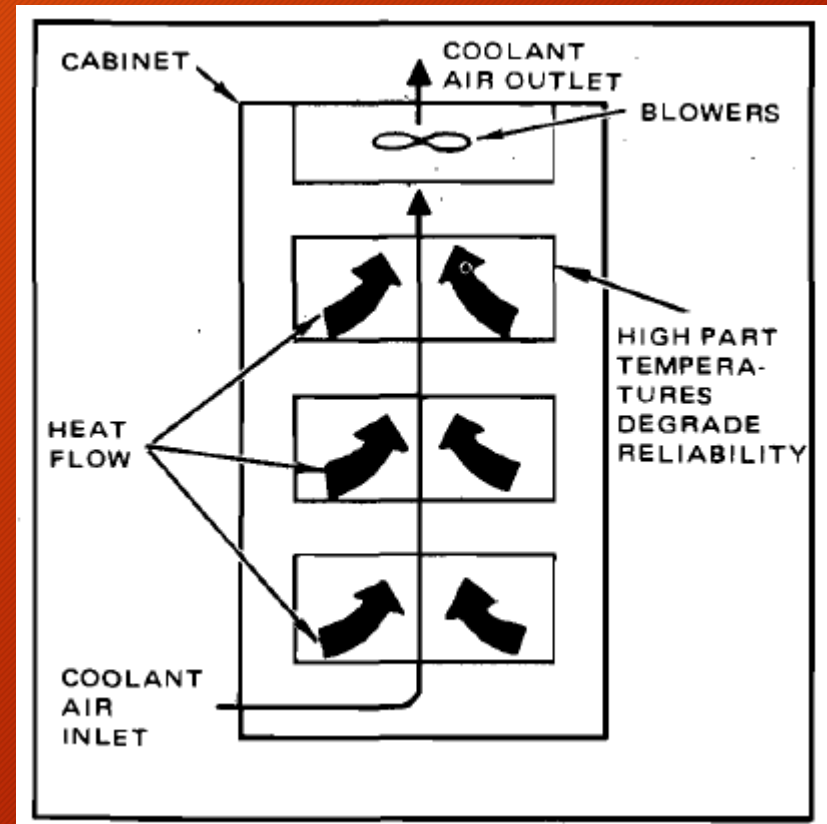
Consideraciones de Diseño

- Diseño de Sistema sin Refrigeración Activa
 - Módulos Independientes Trabajan OK.
 - Cuando son montados en el Gabinete Fallan.



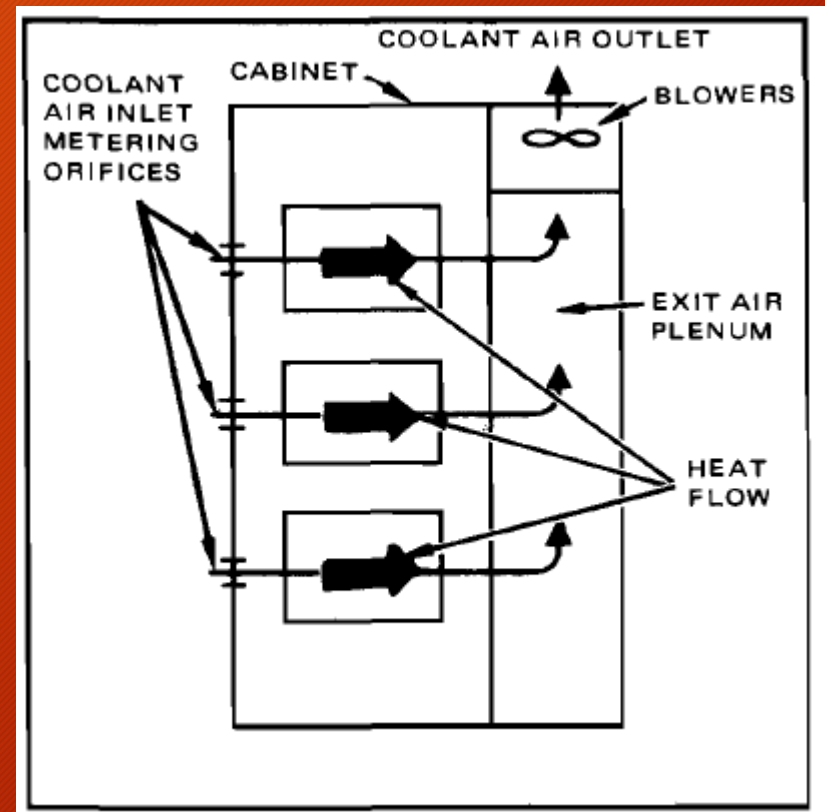
Consideraciones de Diseño

- Se agrega Refrigeración Activa.
 - El módulo Superior degrada su confiabilidad por la elevada temperatura.



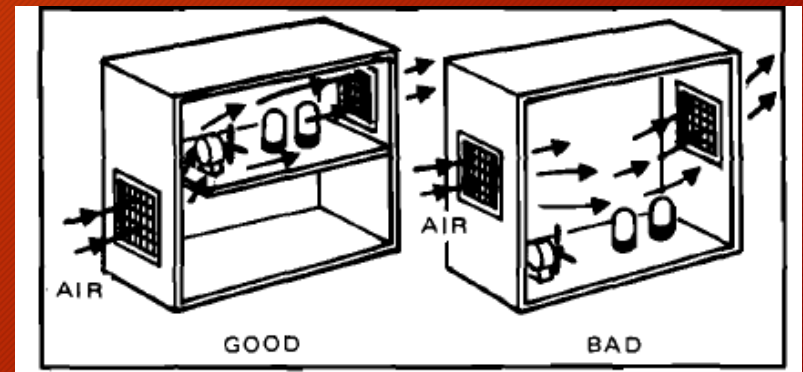
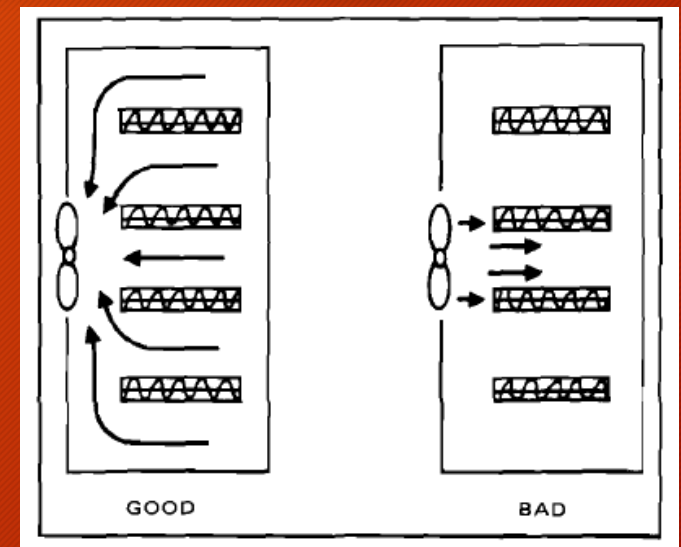
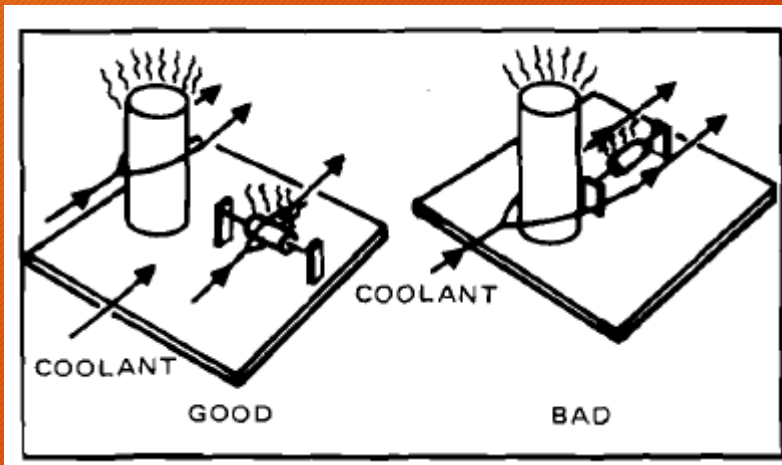
Consideraciones de Diseño

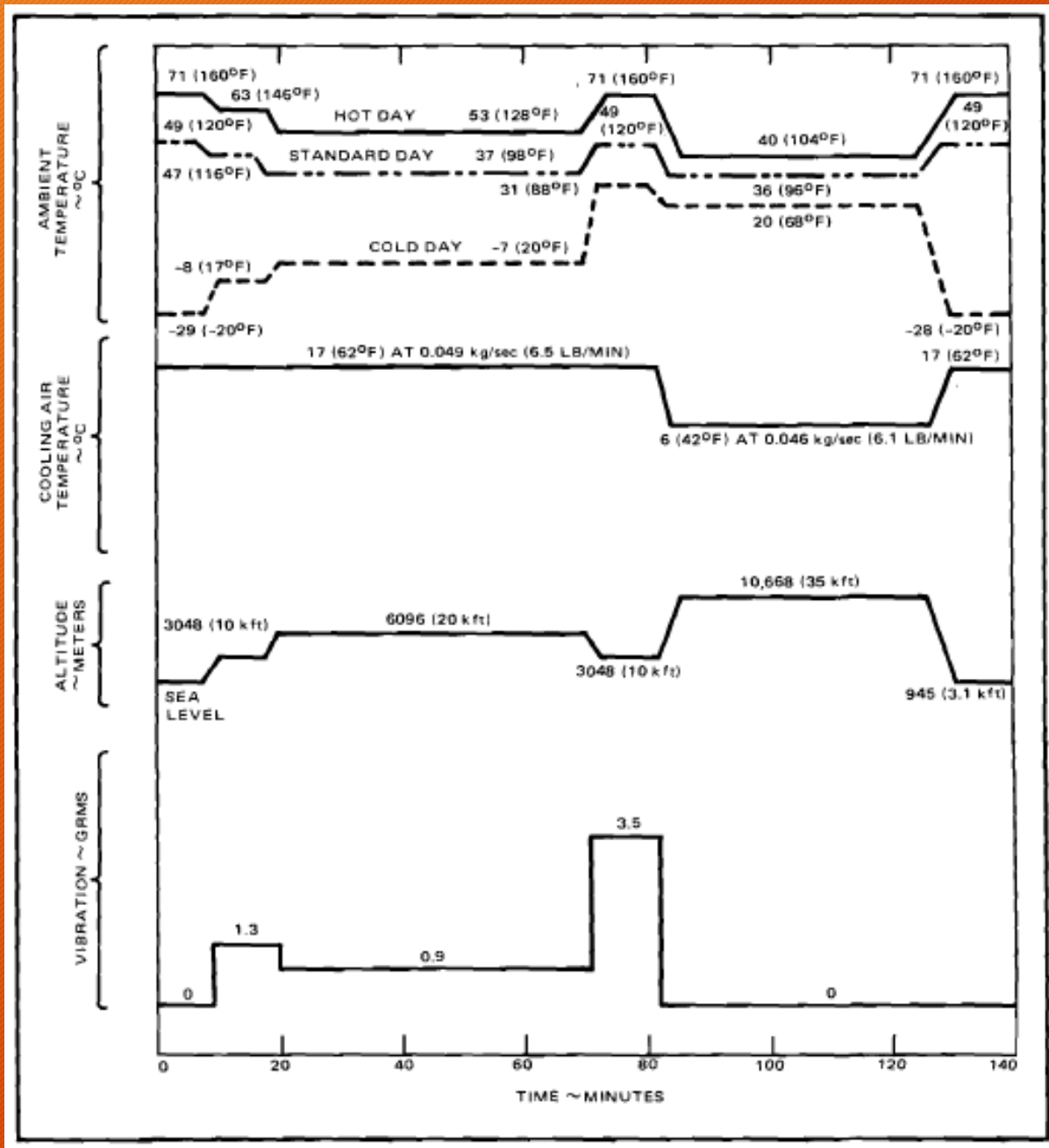
- Se modifica tipo de Refrigeración Activa.
 - Los orificios de Entrada de Aire Fresco son inadecuados, el equipo presenta elevadas temperaturas.
- Se DEBE considerar el Ambiente EXTERNO al Gabinete.
 - Aire Húmedo, con partículas de aceite, de humo, etc.



Consideraciones de Diseño

- Dirección del Flujo de Aire

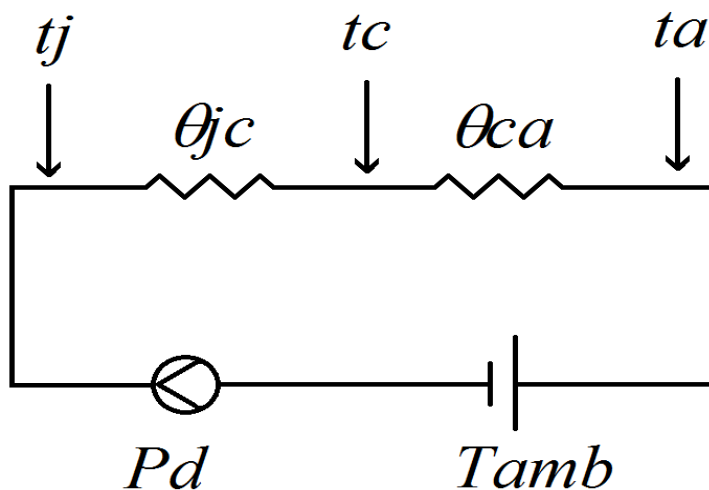




- Considerar el perfil térmico

Modelo Térmico Simplificado

- SIN DISIPADOR



$t_j \rightarrow$ temperatura juntura

$t_c \rightarrow$ temperatura carcasa

$t_a \rightarrow$ temperatura ambiente

$P_d \rightarrow$ potencia a disipar

$T_{amb} \rightarrow$ temperatura ambiente

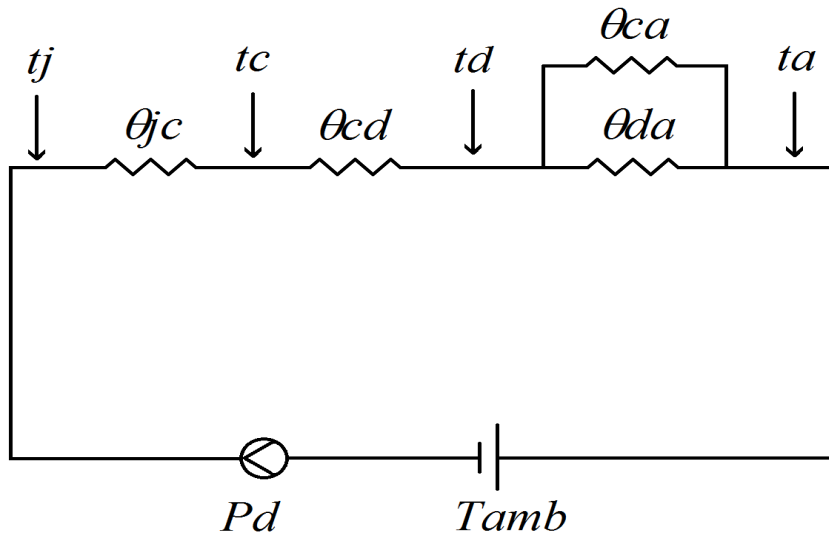
$\theta_{jc} \rightarrow$ resistencia térmica juntura carcasa

$\theta_{ca} \rightarrow$ resistencia térmica carcasa ambiente

$$t_j = P_d(\theta_{jc} + \theta_{ca}) + t_a$$

Modelo Térmico Simplificado

• CON DISIPADOR



$t_j \rightarrow$ temperatura juntura
 $t_c \rightarrow$ temperatura carcasa
 $t_d \rightarrow$ temperatura disipador
 $t_a \rightarrow$ temperatura ambiente
 $P_d \rightarrow$ potencia a disipar
 $T_{amb} \rightarrow$ temperatura ambiente

$\theta_{jc} \rightarrow$ resistencia térmica
juntura carcasa

$\theta_{cd} \rightarrow$ resistencia térmica
carcasa disipador

$\theta_{ca} \rightarrow$ resistencia térmica
carcasa ambiente

$\theta_{da} \rightarrow$ resistencia térmica
disipador ambiente

$$t_j = P_d \left(\theta_{jc} + \theta_{cd} + \left(\frac{\theta_{ca} * \theta_{da}}{\theta_{ca} + \theta_{da}} \right) \right) + t_a$$

Valores Típicos

MONTAJE	RESISTENCIA TÉRMICA θ_{cd}
DIRECTO SOBRE DISIPADOR	0.5 - 1 °C/W
AISLANTE MICA SIN GRASA	1.5 - 2 °C/W
AISLANTE MICA CON GRASA SILICONADA	1 - 1.5 °C/W







Valores Típicos TO-3



MONTAJE	RESISTENCIA TÉRMICA θ_{cd}
DIRECTO	0.25 °C/W
DIRECTO + GRASA	0.12 °C/W
DIRECTO + MICA	0.8 °C/W
DIRECTO + MICA + GRASA	0.4 °C/W

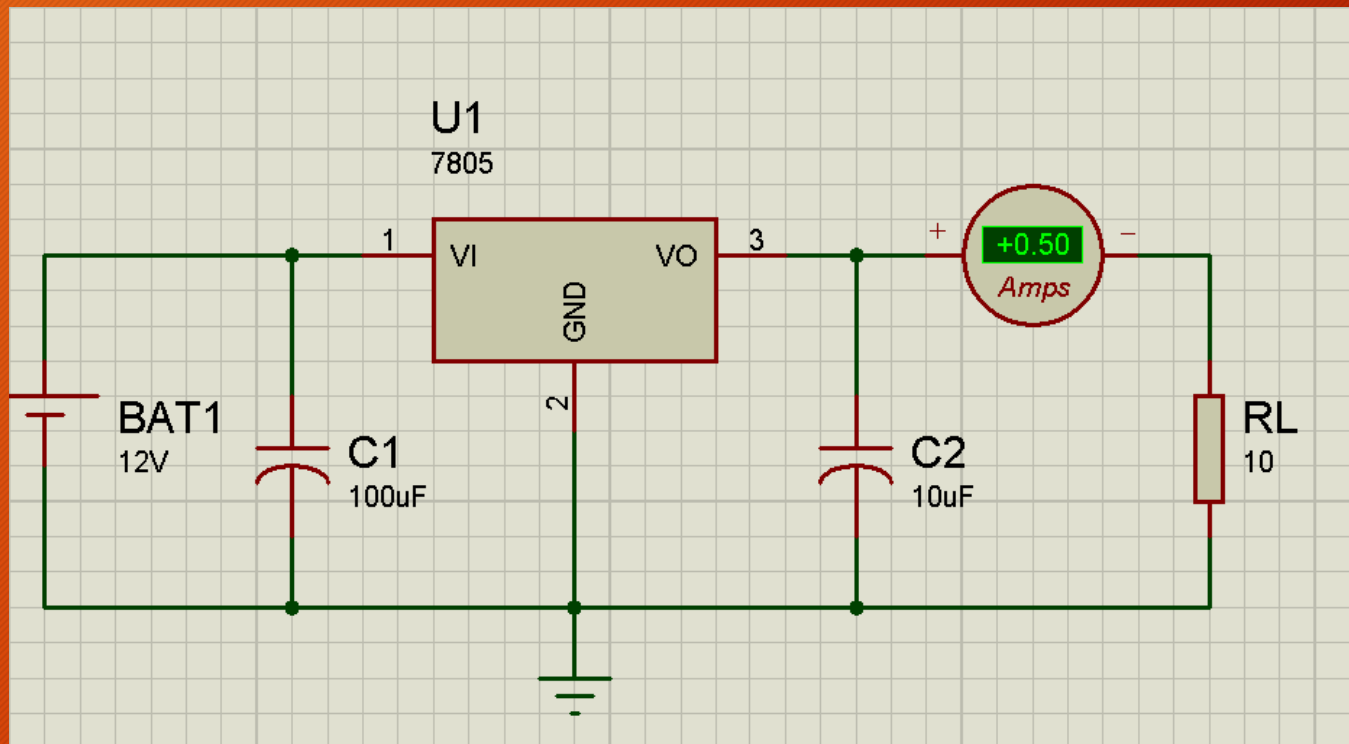
EL EMPLEO DE GRASA SILICONADA MEJORA LA CONDICIONES AL USAR MICA AISLANTE

Valores Típicos Disipadores

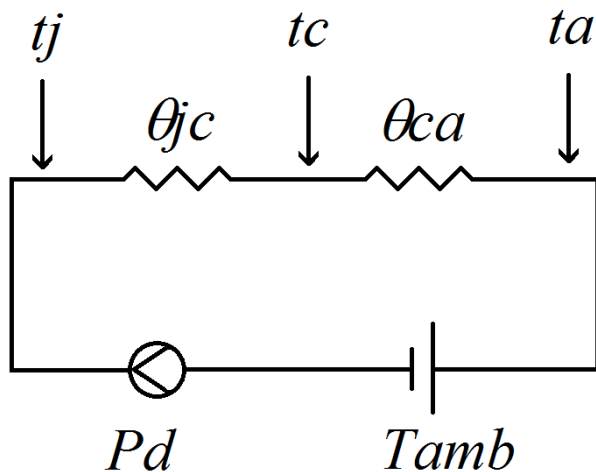
 www.disipadores.com/baja_potencia.htm		1 - 2 - 3	
<ul style="list-style-type: none">Disipadores RegularesAlta PotenciaMedia PotenciaBaja PotenciaDiscosAletasAletas 2DiodosRelayArañasAccesoriosGabinetsCircularesLED NuevoBañadores de pared NuevoTabla genérica	FOTO		CARACTERISTICAS
			Artículo: 2125D Perfil U: 29x29x29 1.5mm espesor Altura: 40mm Resistencia Térmica: 10° c/w
			Artículo: 2125D1 Perfil U: 12x28x12 1.5mm espesor Altura: 40mm Resistencia Térmica: 13° c/w
			Artículo: 2225D Perfil U: 12x28x12 1.5mm espesor Altura: 40mm Resistencia Térmica: 13° c/w
			Artículo: 2725D Perfil U: 29x29x29 1.5mm espesor Altura: 40mm Resistencia Térmica: 10° c/w
			Artículo: 5235FD Perfil U: 20x20x20 1.5mm espesor Altura: 20mm Resistencia Térmica: 21° c/w

Ejemplo de Cálculo

- Determinar t_j del LM7805 si no se usa disipador.



Ejemplo de Cálculo



VIN : 12V
VOUT : 5V
IOUT : 0,5A

Especificaciones del LM7805

$\theta_{jc} \rightarrow 5^\circ\text{C/W}$

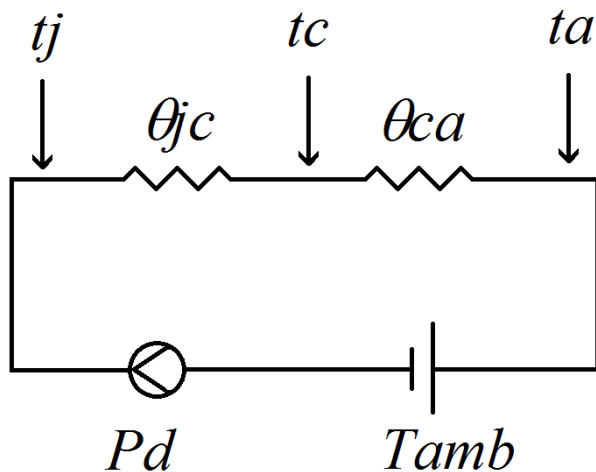
$\theta_{ja} \rightarrow 65^\circ\text{C/W}$

Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter		Value	Unit
V_I	Input Voltage	$V_O = 5\text{ V to }18\text{ V}$	35	V
		$V_O = 24\text{ V}$	40	
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction-Case (TO-220)		5	$^\circ\text{C/W}$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction-Air (TO-220)		65	$^\circ\text{C/W}$
T_{OPR}	Operating Temperature Range	LM78xx	-40 to +125	$^\circ\text{C}$
		LM78xxA	0 to +125	
T_{STG}	Storage Temperature Range		- 65 to +150	$^\circ\text{C}$

Ejemplo de Cálculo



$$t_j = P_d * (\theta_{jc} + \theta_{ca}) + t_a$$

$$t_j = P_d * \theta_{ja} + t_a$$

$$t_j = V_d * I_l * \theta_{ja} + t_a$$

$$t_j = 7V * 0,5A * 65 \frac{^{\circ}C}{W} + 25^{\circ}C$$

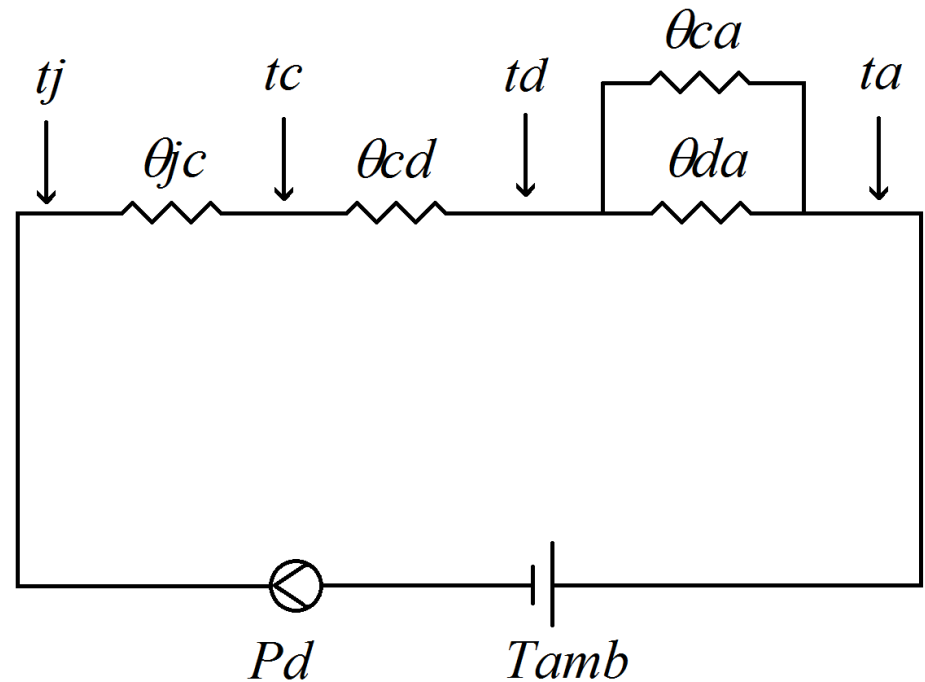
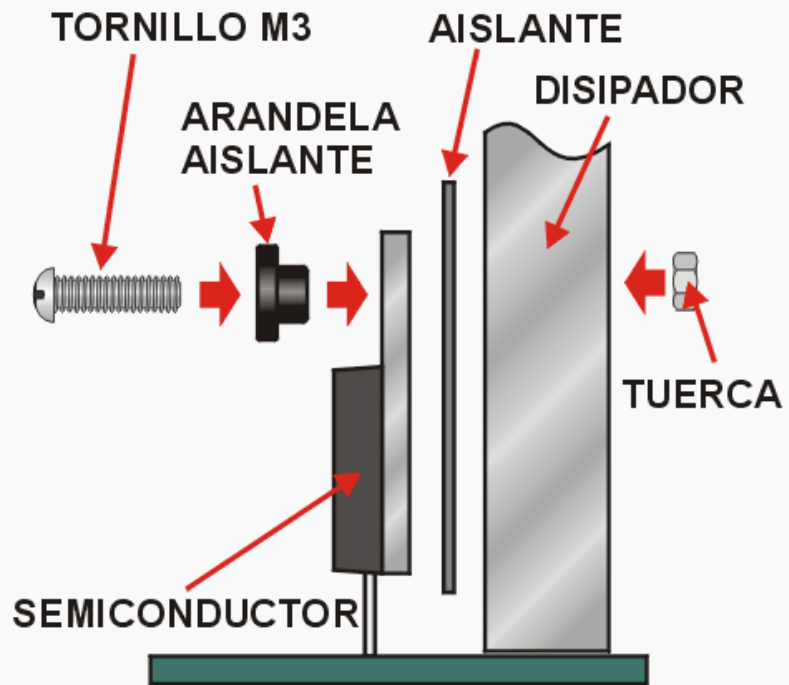
$$t_j = 3,5W * 65 \frac{^{\circ}C}{W} + 25^{\circ}C = 252,5^{\circ}C$$

→ Supera máxima temperatura de juntura

→ $t_j \leq 125^{\circ}C$

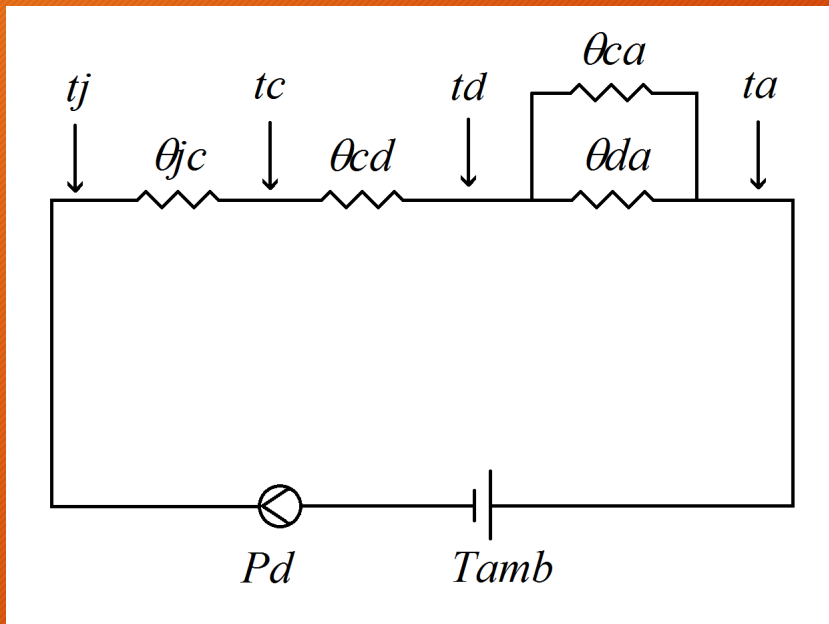
→ HACE FALTA USAR DISIPADOR

Ejemplo de Montaje



Ejemplo de Cálculo

- CON DISIPADOR



$t_j \rightarrow$ temperatura junta
 $t_c \rightarrow$ temperatura carcasa
 $t_d \rightarrow$ temperatura disipador
 $t_a \rightarrow$ temperatura ambiente
 $P_d \rightarrow$ potencia a disipar
 $T_{amb} \rightarrow$ temperatura ambiente

$\theta_{jc} \rightarrow$ resistencia térmica junta carcasa

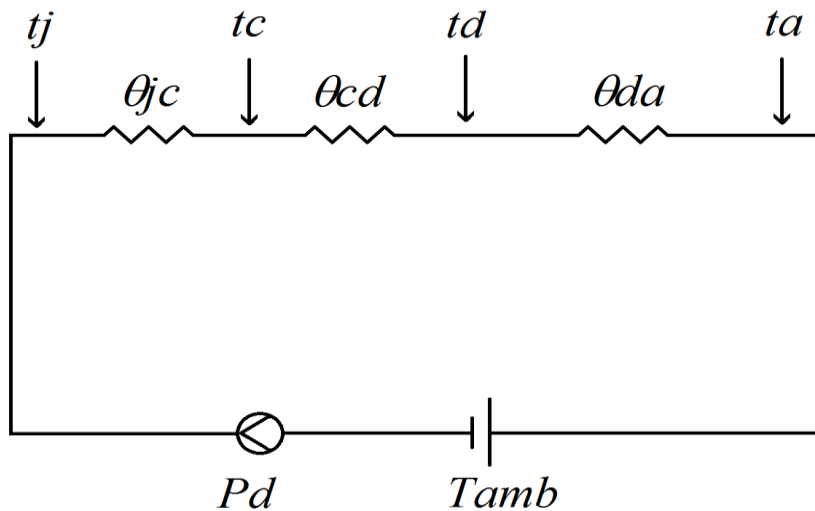
$\theta_{cd} \rightarrow$ resistencia térmica carcasa disipador

$\theta_{ca} \rightarrow$ resistencia térmica carcasa ambiente

$\theta_{da} \rightarrow$ resistencia térmica disipador ambiente

$$t_j = P_d \left(\theta_{jc} + \theta_{cd} + \left(\frac{\theta_{ca} * \theta_{da}}{\theta_{ca} + \theta_{da}} \right) \right) + t_a$$

Ejemplo de Cálculo



$t_j \rightarrow$ temperatura juntura
 $t_c \rightarrow$ temperatura carcasa
 $t_d \rightarrow$ temperatura disipador
 $t_a \rightarrow$ temperatura ambiente
 $P_d \rightarrow$ potencia a disipar
 $T_{amb} \rightarrow$ temperatura ambiente

$\theta_{jc} \rightarrow$ resistencia térmica juntura carcasa

$\theta_{cd} \rightarrow$ resistencia térmica carcasa disipador

$\theta_{da} \rightarrow$ resistencia térmica disipador ambiente

$$t_j = P_d(\theta_{jc} + \theta_{cd} + \theta_{da}) + t_a$$

→ Desprecio la resistencia Carcasa Ambiente

Ejemplo de Cálculo

• CON DISIPADOR

$$t_j = P_d * (\theta_{jc} + \theta_{cd} + \theta_{da}) + t_a$$

$$\theta_{da} = \frac{t_j - t_a}{P_d} - \theta_{jc} - \theta_{cd}$$

$$\theta_{da} = \frac{125^{\circ}C - 25^{\circ}C}{3,5W} - 5 \frac{^{\circ}C}{W} - 1 \frac{^{\circ}C}{W}$$

$$\theta_{da} \leq 22,57 \frac{^{\circ}C}{W}$$



Artículo: 5235FD
Perfil U: 20x20x20 1.5mm espesor
Altura: 20mm
Resistencia Térmica: 21° c/w

► CON DISIPADOR+MICA

$$t_j = P_d * [\theta_{jc} + (\theta_{cd} + \theta_{ad}) + \theta_{da}] + t_a$$

$$\theta_{da} = \frac{t_j - t_a}{P_d} - \theta_{jc} - (\theta_{cd} + \theta_{ad})$$

$$\theta_{da} = \frac{125^{\circ}C - 25^{\circ}C}{3,5W} - 5 \frac{^{\circ}C}{W} - 2 \frac{^{\circ}C}{W}$$

$$\theta_{da} \leq 21,57 \frac{^{\circ}C}{W}$$

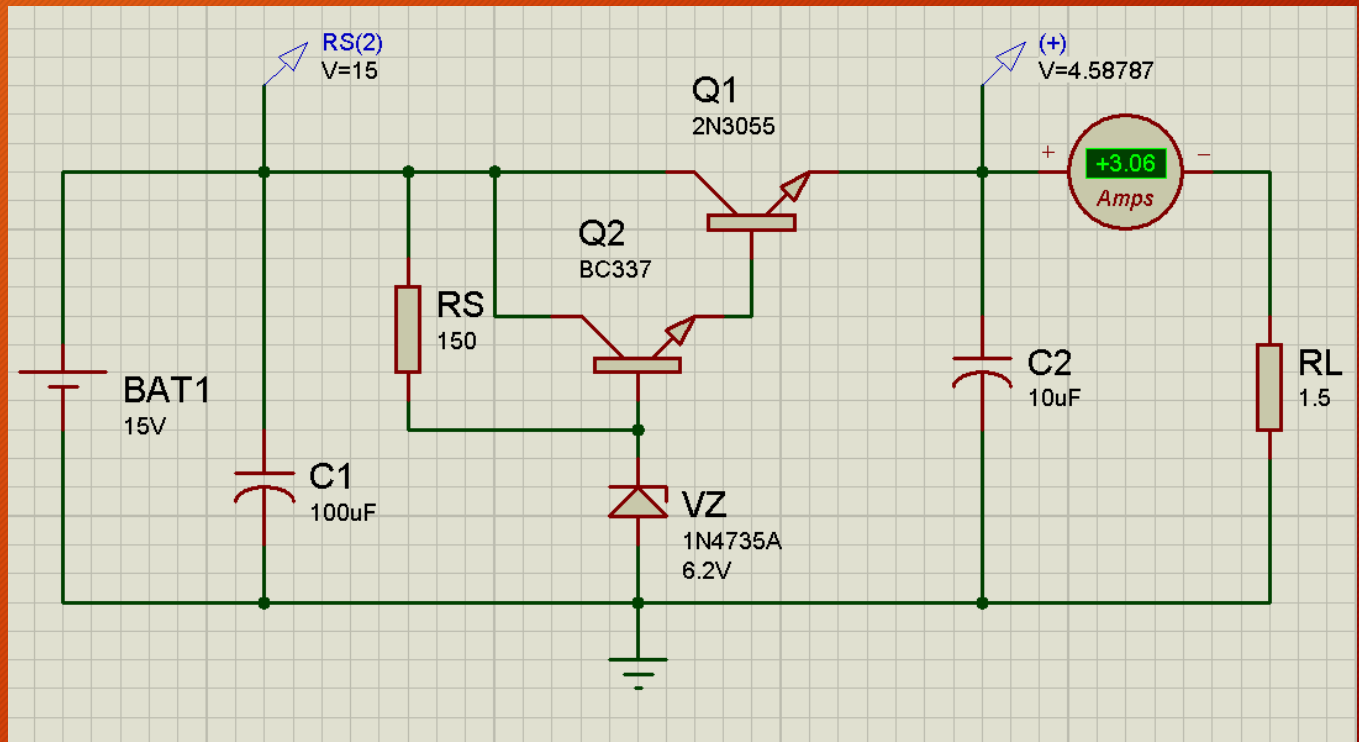
disipador de mayor tamaño



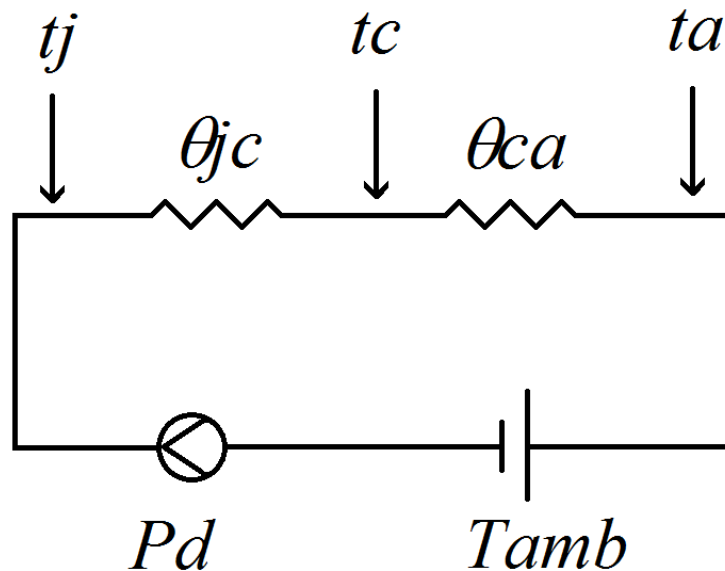
Artículo: 2725D
Perfil U: 29x29x29 1.5mm espesor
Altura: 40mm
Resistencia Térmica: 10° c/w

Ejemplo de Cálculo

- Potencia que disipa 2N3055



Ejemplo de Cálculo



$V_{IN} : 15V$
 $V_{OUT} : 4,58V$
 $I_{OUT} : 3.06A$
 $T_a = 40^{\circ}C$
 $T_j = 200^{\circ}C$

Ejemplo de Especificaciones

MAXIMUM RATINGS

Ratings	Symbol	Value	Units
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	70	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	100	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	7.0	Vdc
Base Current	I_B	7.0	Adc
Collector Current	I_C	15	Adc
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ ⁽¹⁾	P_T	6.0	W
@ $T_C = 25^\circ\text{C}$ ⁽²⁾		117	W
Operating & Storage Temperature Range	T_{op}, T_{stg}	-65 to +200	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristics	Symbol	Max.	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	1.5	$^\circ\text{C/W}$

1) Derate linearly @ 34.2 mW/ $^\circ\text{C}$ for $T_A > +25^\circ\text{C}$

2) Derate linearly @ 668 mW/ $^\circ\text{C}$ for $T_C > +25^\circ\text{C}$



TO-3*
(TO-204AA)

2N3055(NPN), MJ2955(PNP)

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	1.52	$^\circ\text{C/W}$

Calculo sin Disipador

VIN : 15V
VOUT : 4,58V
IOUT : 3.06A
Ta = 40°C
Tjmax = 200°C
θjc → 1.52 °C/W

Ecuación General

$$tj = Pd(\theta_{jc} + \theta_{ca}) + ta$$
$$tj = Pd * \theta_{ja} + ta$$

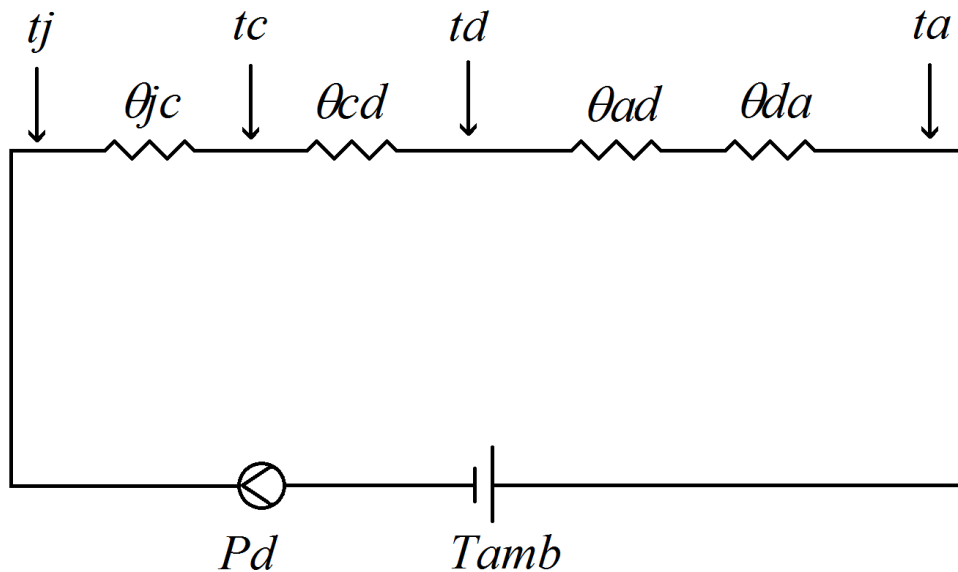
Determino Resistencia Cápsula Ambiente

$$\theta_{jc} = \frac{tj - ta}{P_{max}} = \frac{200^{\circ}C - 25^{\circ}C}{115W} = 1,52 \frac{^{\circ}C}{W}$$
$$\theta_{ja} = \frac{tj - ta}{P_{max}} = \frac{200^{\circ}C - 25^{\circ}C}{6W} = 29,17 \frac{^{\circ}C}{W}$$
$$\theta_{ca} = \theta_{ja} - \theta_{jc} = 29,17 \frac{^{\circ}C}{W} - 1,52 \frac{^{\circ}C}{W}$$
$$\theta_{ca} = 27,65 \frac{^{\circ}C}{W}$$

Determino Tj con datos de ejemplo

$$tj = Pd * \theta_{ja} + ta$$
$$tj = (Vin - V_l) * I_{out} * \theta_{ja} + ta$$
$$tj = (15V - 4,58V) * 3,06A * 29,17 \frac{^{\circ}C}{W} + 40^{\circ}C$$
$$tj = 970,09^{\circ}C$$

Con Disipador + Mica



$t_j \rightarrow$ temperatura junta
 $t_c \rightarrow$ temperatura carcasa
 $t_d \rightarrow$ temperatura disipador
 $t_a \rightarrow$ temperatura ambiente
 $P_d \rightarrow$ potencia a disipar
 $T_{amb} \rightarrow$ temperatura ambiente

$\theta_{jc} \rightarrow$ resistencia térmica junta carcasa
 $\theta_{cd} \rightarrow$ resistencia térmica carcasa disipador
 $\theta_{ad} \rightarrow$ resistencia térmica aislante disipador (MICA)
 $\theta_{da} \rightarrow$ resistencia térmica disipador ambiente

$$t_j = P_d(\theta_{jc} + \theta_{caislante} + \theta_{ad} + \theta_{da}) + t_a$$

Con Disipador + Mica

$$t_j = Pd(\theta_{jc} + \theta_{cd} + \theta_{da}) + t_a$$

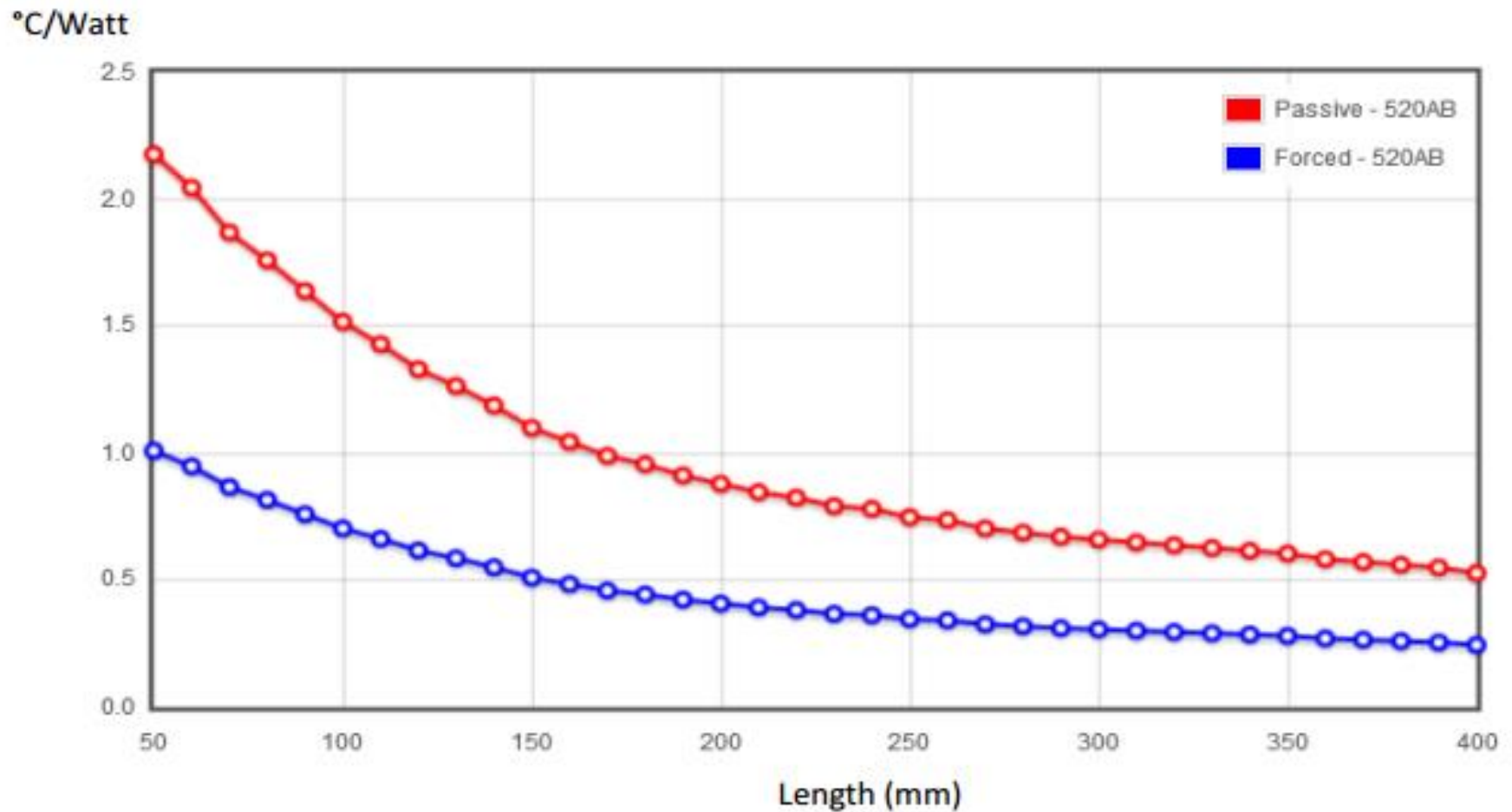
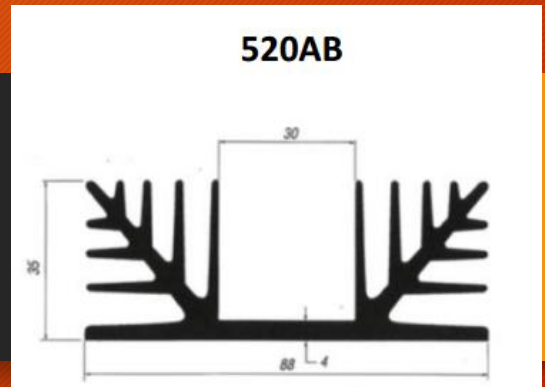
$$200^{\circ}C = 31,88W \left(1,52 \frac{^{\circ}C}{W} + 0,4 \frac{^{\circ}C}{W} + \theta_{da} \right) + 40^{\circ}C$$

$$\theta_{da} = 3,09 \frac{^{\circ}C}{W} \rightarrow t_j = 200^{\circ}C$$

$$\theta_{da} = 1,53 \frac{^{\circ}C}{W} \rightarrow t_j = 150^{\circ}C$$

Podríamos usar un disipador
ABL 520AB de largo 100mm

Podría usar un disipador ABL
520AB de largo 100mm



Vías Térmicas

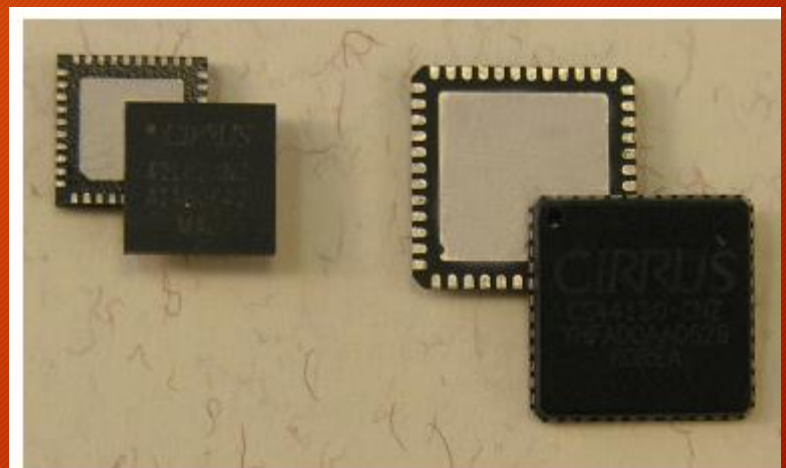
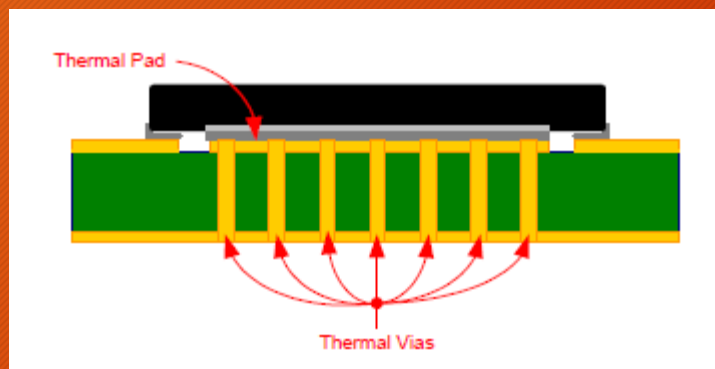
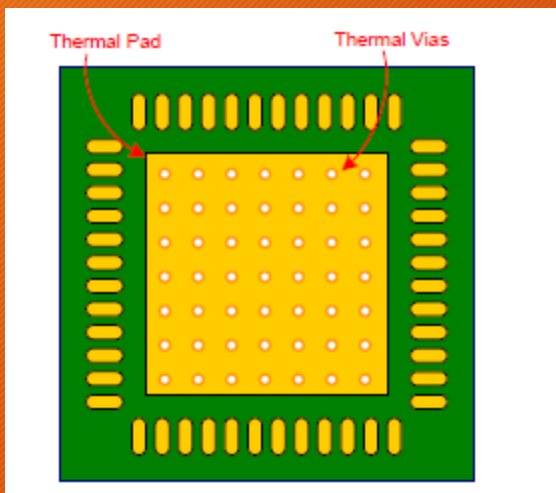
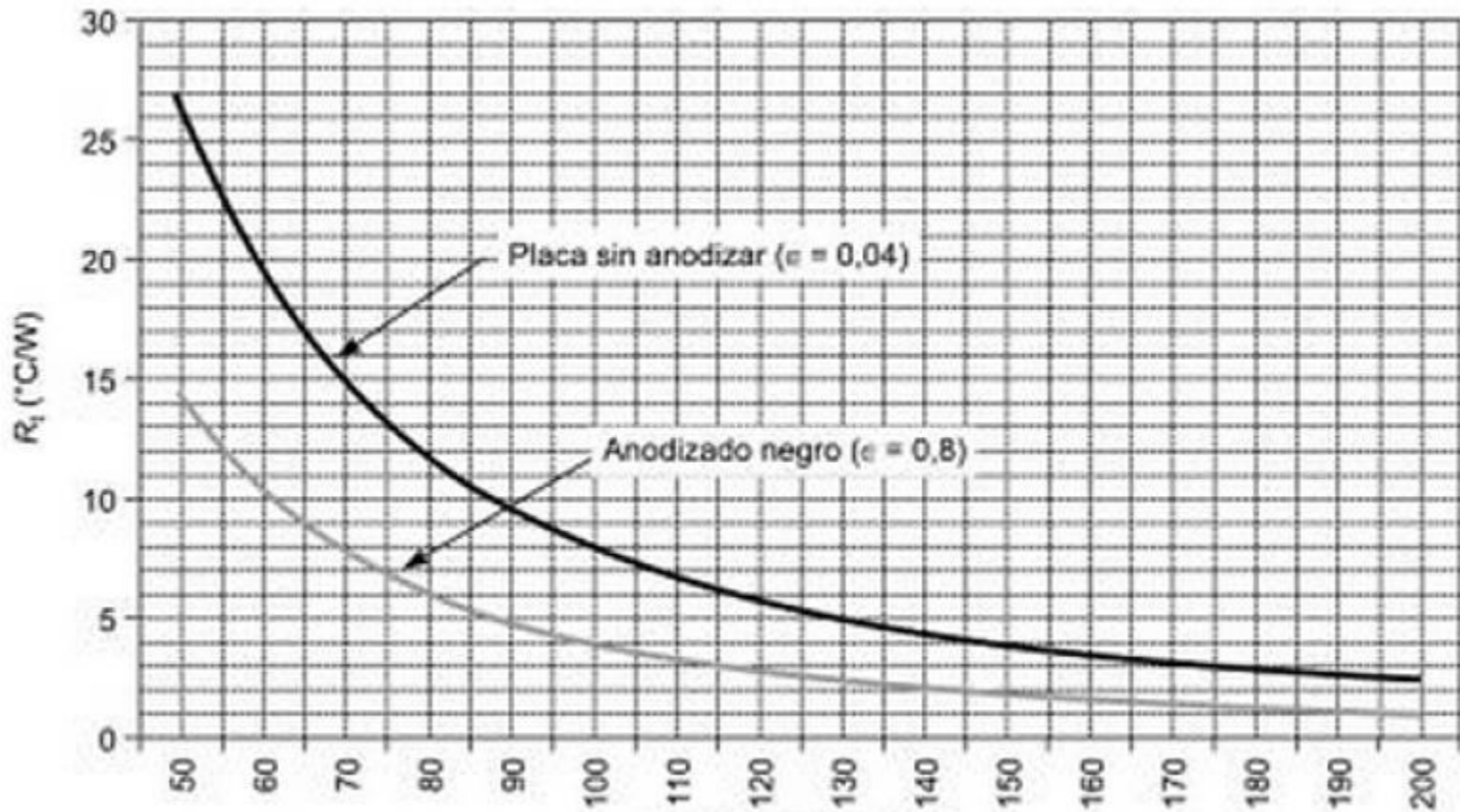
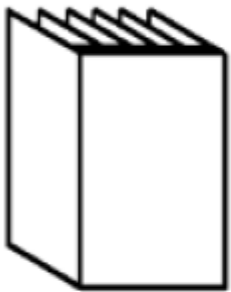


Figure 1. Quad Flat No-Lead QFN Packages

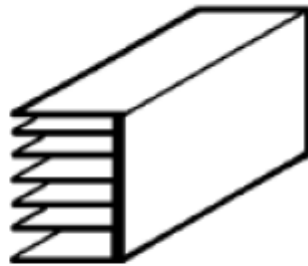
Influencia de la Terminación



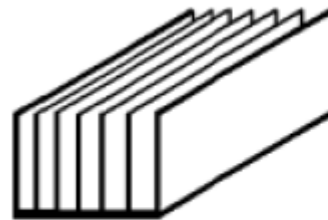
Variación según Posición



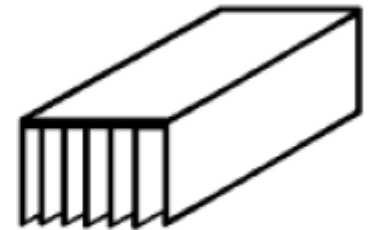
1,1



1

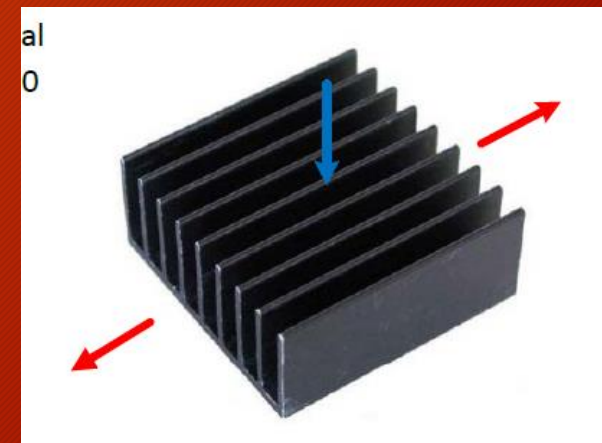
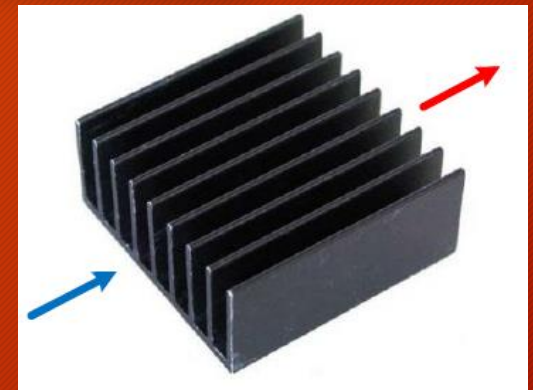
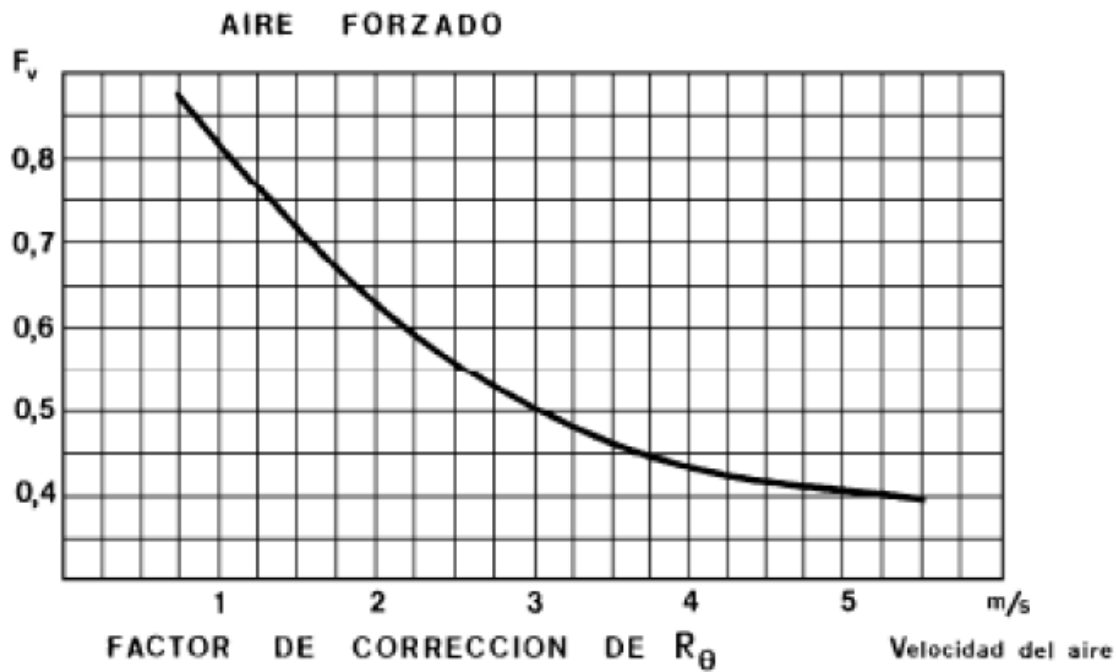


0,95



0,87

Variación con Aire Forzado



Bibliografía

<http://materias.fi.uba.ar/6625/Clases/Dispositivos%20de%20Potencia.pdf>

<http://www.farnell.com/datasheets/2034697.pdf>

http://www.fra.utn.edu.ar/download/carreras/ingenierias/electrica/materias/planes_tudio/quintonivel/electronica/hojas_datos/disipadores/catalogo.pdf

<http://www.wakefield-vette.com/products/catalog.aspx>

RAD Thermal Guide for Reliability Engineers