

[86.03/66.25] Dispositivos Semiconductores

1er Cuatrimestre de 2020

# Cálculo de disipador

¿Cómo modelamos el calor en los dispositivos?

↳ En un dispositivo por el cual circula una corriente  $I$  a una tensión  $V$ , se genera calor debido al efecto Joule.  
¿Cómo se transfiere ese calor?

## ¿Cómo modelamos el calor en los dispositivos?

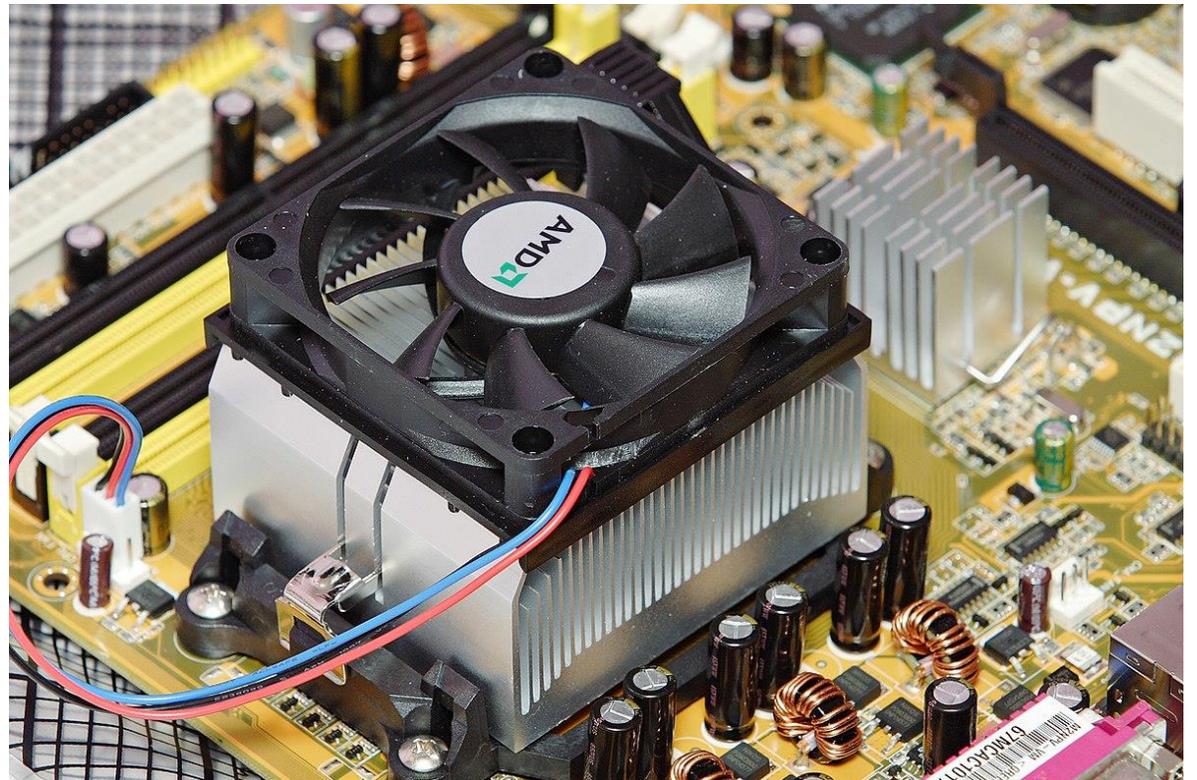
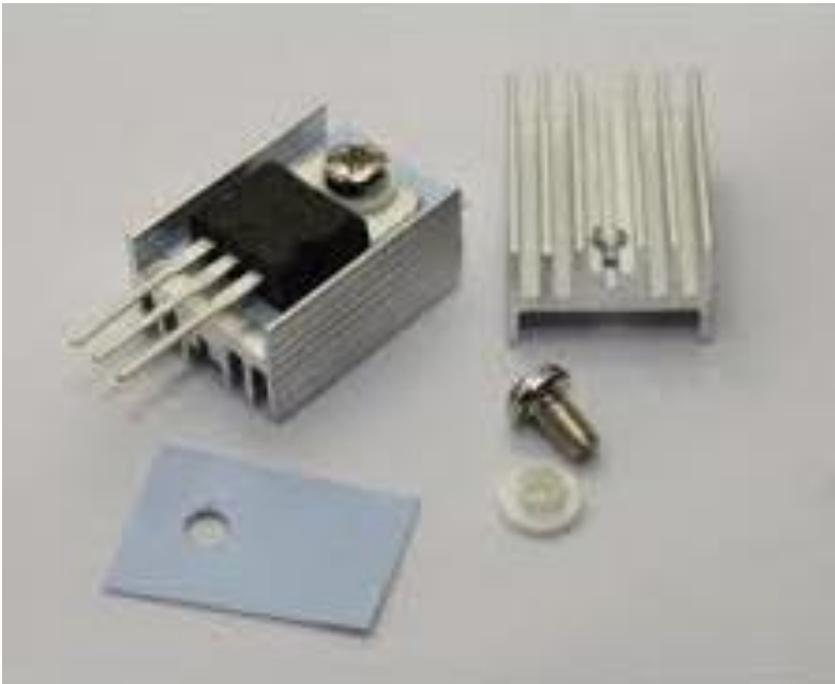
↳ En un dispositivo por el cual circula una corriente  $I$  a una tensión  $V$ , se genera calor debido al efecto Joule.  
¿Cómo se transfiere ese calor?

- Juntura (silicio): Conducción.
- Carcasa (o capsula o *case*): Conducción.
- Disipador: Conducción → Previene que se eleve mucho la temperatura de juntura.
- Ambiente: Convección y radiación → Queremos que sea un sumidero térmico.

## ¿Cómo modelamos el calor en los dispositivos?

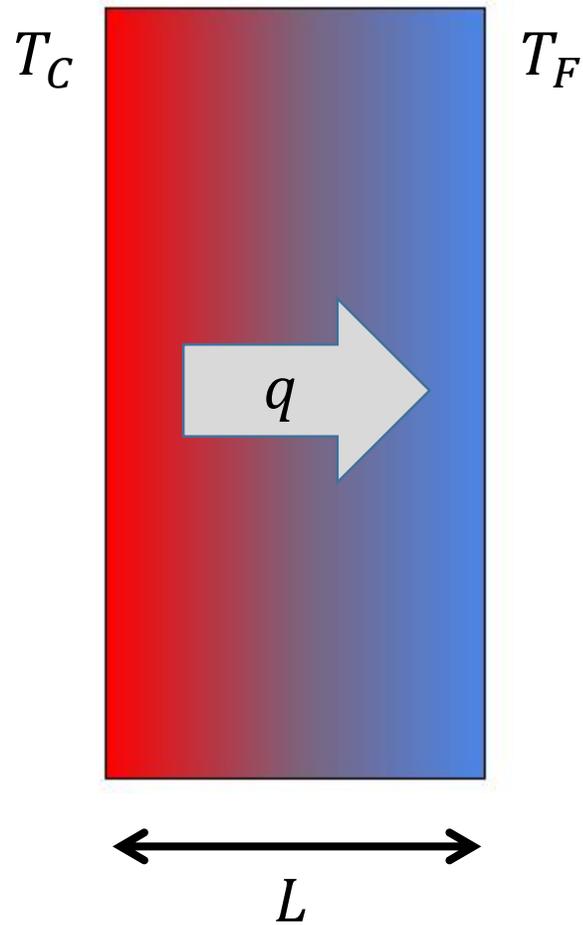
↳ En un dispositivo por el cual circula una corriente  $I$  a una tensión  $V$ , se genera calor debido al efecto Joule.  
¿Cómo se transfiere ese calor?

- Juntura (silicio): Conducción.
- Carcasa (o capsula o *case*): Conducción.
- Disipador: Conducción → Previene que se eleve mucho la temperatura de juntura.
- Ambiente: Convección y radiación → Queremos que sea un sumidero térmico.



# Resolviendo el problema de la conducción

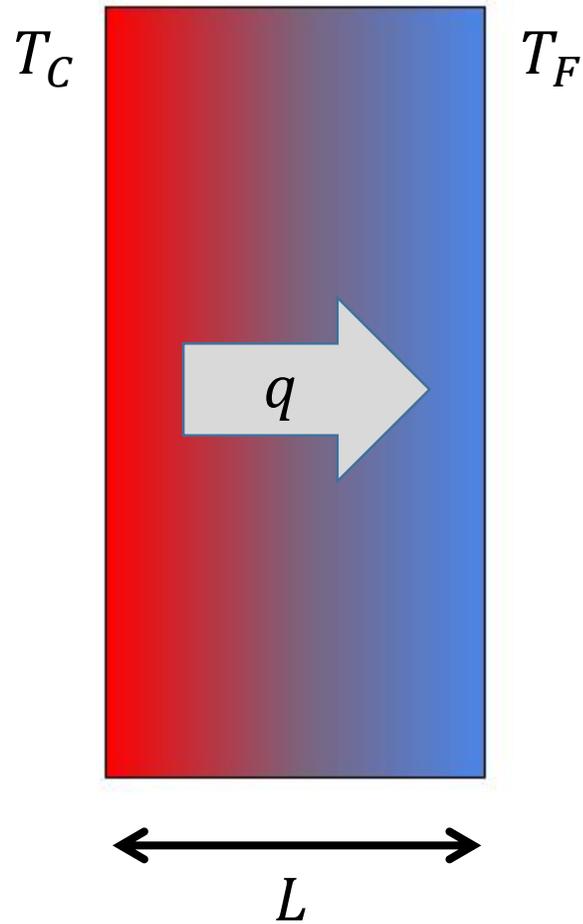
↳ Si modelamos como el caso simple de conducción 1D en un sólido.



↳ Ley de Fourier  $q = k \cdot A \frac{dT}{dX}$

## Resolviendo el problema de la conducción

↳ Si modelamos como el caso simple de conducción 1D en un sólido.

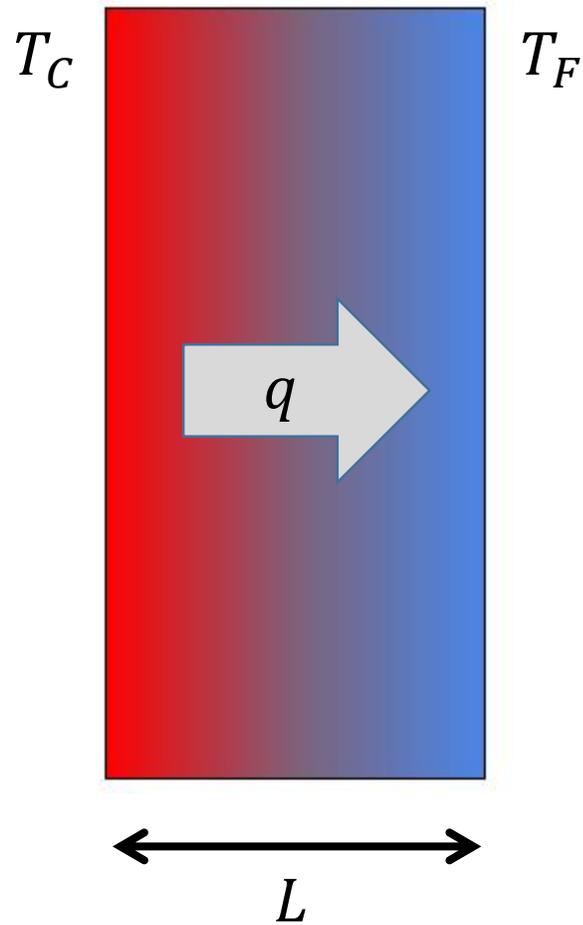


↳ Ley de Fourier  $q = k \cdot A \frac{dT}{dX}$

↳  $q = k \cdot A \cdot \frac{T_C - T_F}{L}$

## Resolviendo el problema de la conducción

↳ Si modelamos como el caso simple de conducción 1D en un sólido.



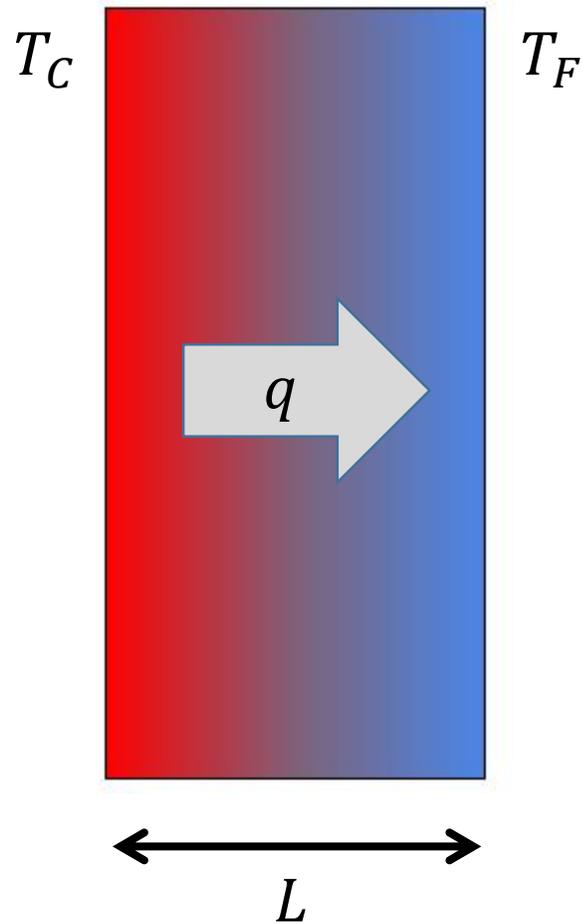
↳ Ley de Fourier  $q = k \cdot A \frac{dT}{dX}$

↳  $q = k \cdot A \cdot \frac{T_C - T_F}{L}$

↳ Defino la resistencia térmica:  $\theta = \frac{L}{A \cdot k}$

## Resolviendo el problema de la conducción

↳ Si modelamos como el caso simple de conducción 1D en un sólido.



↳ Ley de Fourier  $q = k \cdot A \frac{dT}{dX}$

↳  $q = k \cdot A \cdot \frac{T_C - T_F}{L}$

↳ Defino la resistencia térmica:  $\theta = \frac{L}{A \cdot k}$

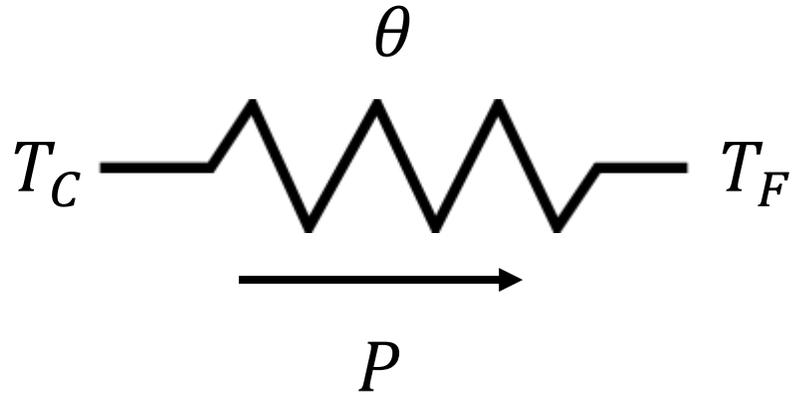
↳ Obtenemos una “Ley de Ohm” térmica:

↳  $T_C - T_F = \theta \cdot q$

Nota: Para la convección se obtiene un resultado similar

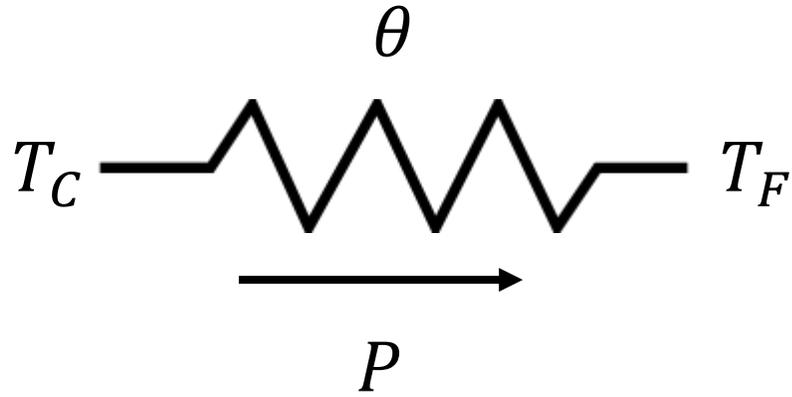
→ Nos permite hacer un circuito térmico, análogo a un circuito eléctrico:

→ Nos permite hacer un circuito térmico, análogo a un circuito eléctrico:



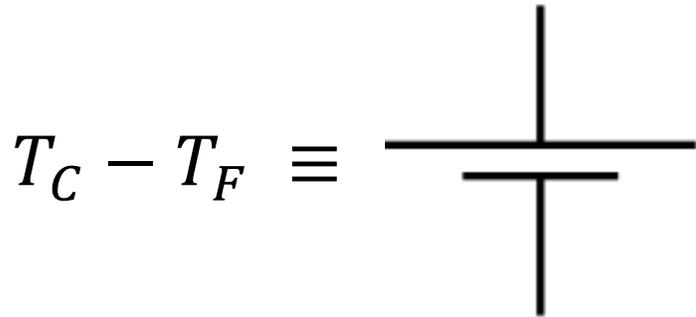
Ley de Ohm equivalente:  $T_C - T_F = \theta \cdot P$

→ Nos permite hacer un circuito térmico, análogo a un circuito eléctrico:

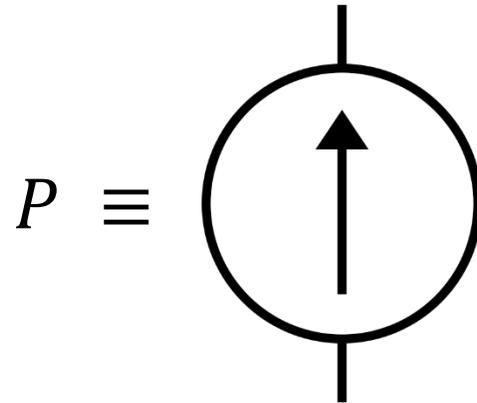


Ley de Ohm equivalente:  $T_C - T_F = \theta \cdot P$

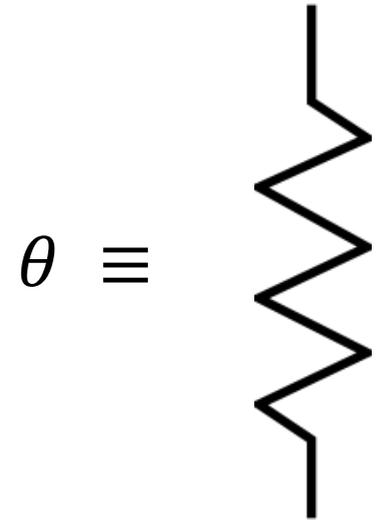
→ Equivalencias:



$$[T] = ^\circ C$$



$$[P] = W$$

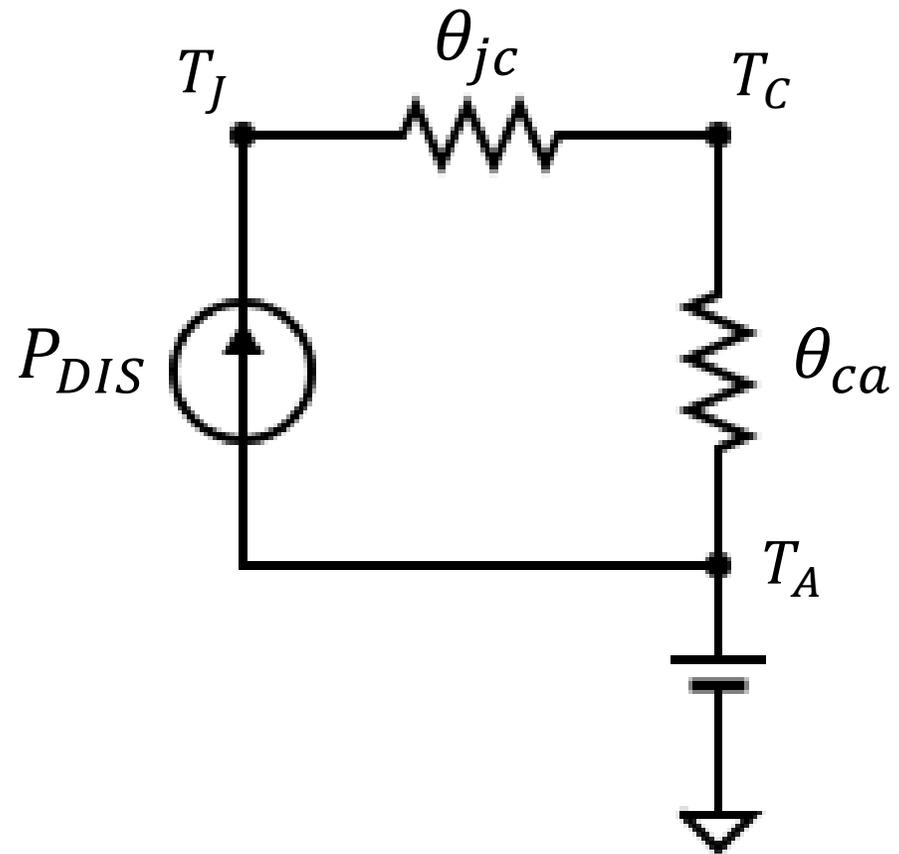


$$[\theta] = \frac{^\circ C}{W}$$

Para un dispositivo tomaremos el siguiente modelo...

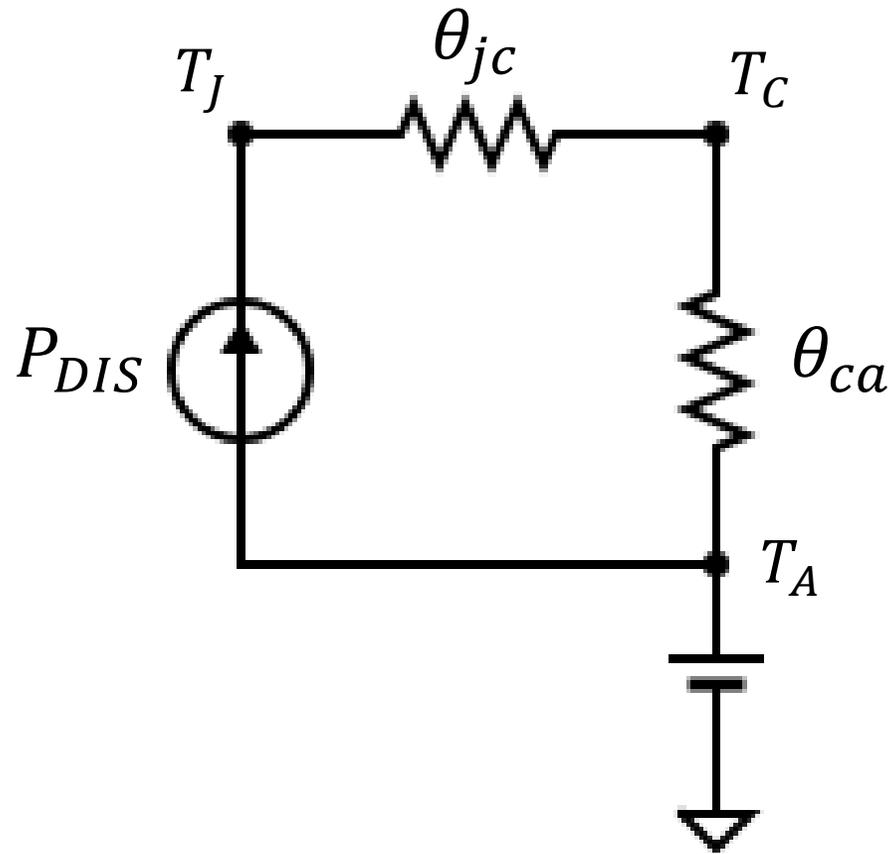
Para un dispositivo tomaremos el siguiente modelo...

Sin disipador...

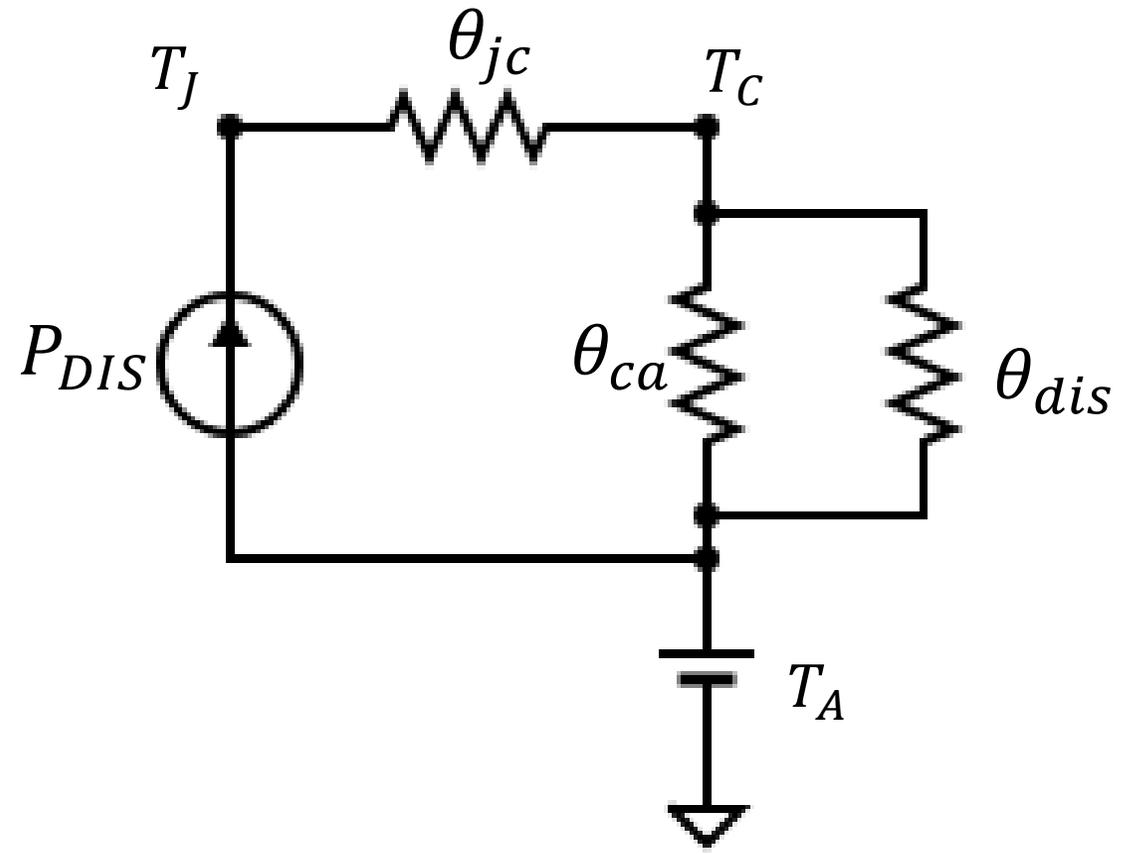


Para un dispositivo tomaremos el siguiente modelo...

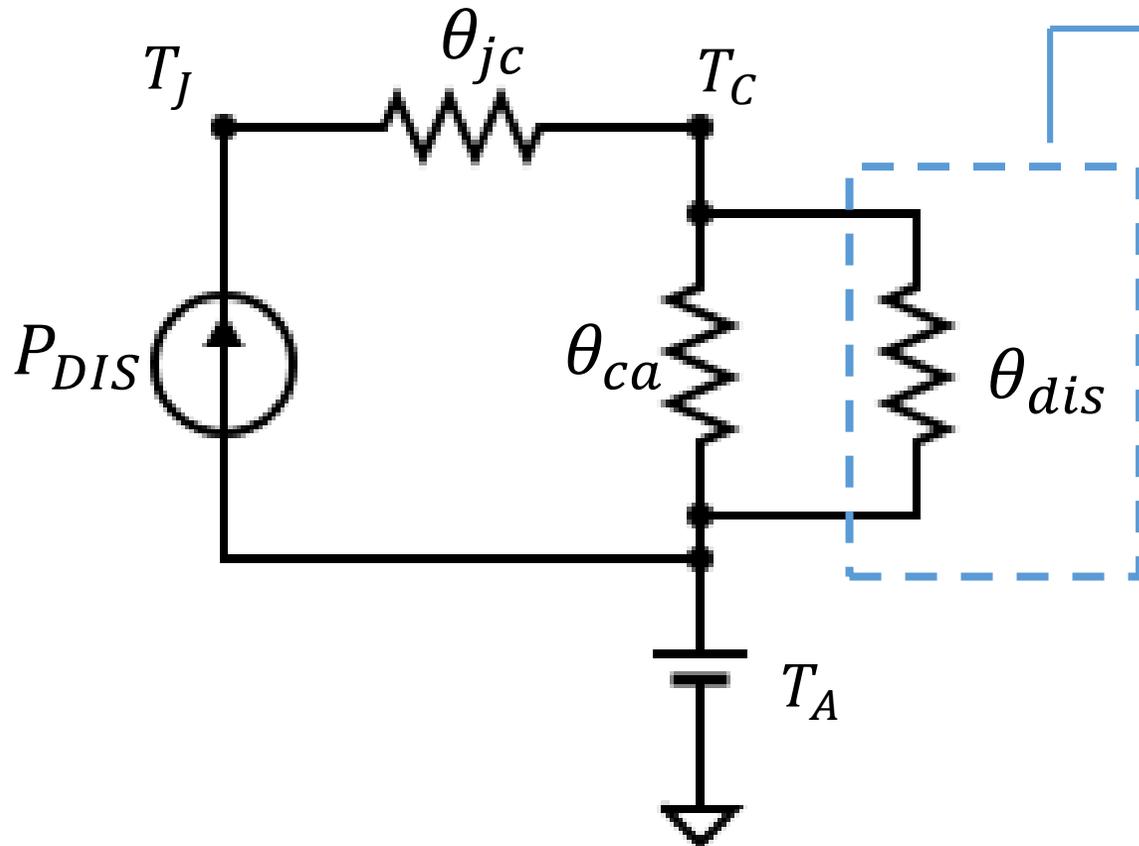
Sin disipador...



Al incluir disipador...



# El disipador...



Me incrementa el área de la carcasa, disminuyendo su resistencia térmica.

Evita que se eleve demasiado la temperatura de la junta.

Decimos que silicio se "arruina" a los 200°C.

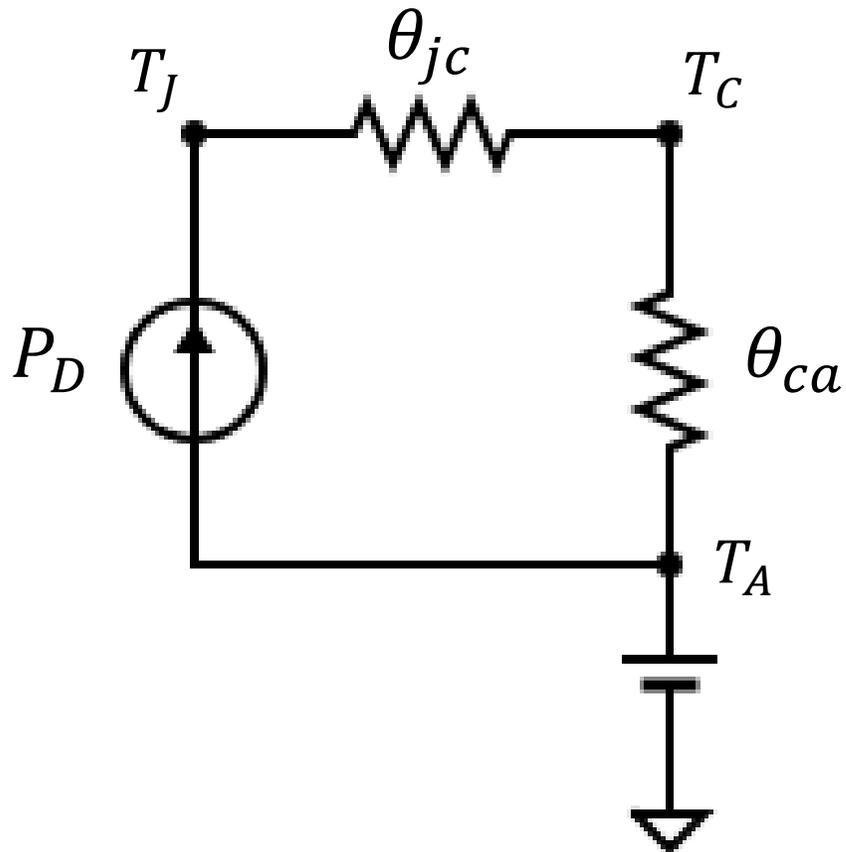
Por lo general queremos evitar que supere los 125°C o 150°C

(Final 16/07/19) Un transistor MOSFET de potencia es utilizado en un circuito regulador de tensión. En funcionamiento continuo, la corriente sobre el transistor es 3 A y la tensión es  $V_{DS} = 10 \text{ V}$ . La temperatura en el ambiente donde debe funcionar es  $50^\circ\text{C}$ . Las características térmicas del dispositivo son  $T_{j,max} = 125^\circ\text{C}$ ,  $\theta_{jc} = 1,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$  y  $P_{max}(@T_A = 25^\circ\text{C}) = 20\text{W}$ .

Determinar si es necesario el uso de un disipador y en caso afirmativo dar el valor de la resistencia térmica.

(Final 16/07/19) Un transistor MOSFET de potencia es utilizado en un circuito regulador de tensión. En funcionamiento continuo, la corriente sobre el transistor es 3 A y la tensión es  $V_{DS} = 10\text{ V}$ . La temperatura en el ambiente donde debe funcionar es  $50^\circ\text{C}$ . Las características térmicas del dispositivo son  $T_{j,max} = 125^\circ\text{C}$ ,  $\theta_{jc} = 1,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$  y  $P_{max}(@T_A = 25^\circ\text{C}) = 20\text{ W}$ .

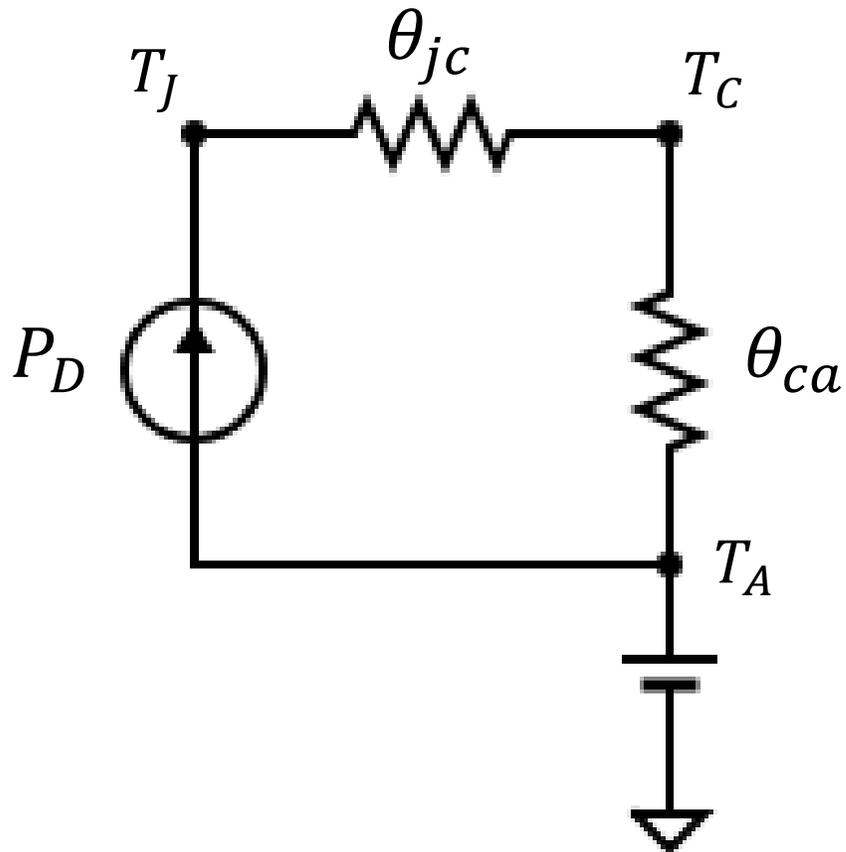
Determinar si es necesario el uso de un disipador y en caso afirmativo dar el valor de la resistencia térmica.



→ Tenemos que encontrar los parámetros del modelo

(Final 16/07/19) Un transistor MOSFET de potencia es utilizado en un circuito regulador de tensión. En funcionamiento continuo, la corriente sobre el transistor es 3 A y la tensión es  $V_{DS} = 10\text{ V}$ . La temperatura en el ambiente donde debe funcionar es  $50^\circ\text{C}$ . Las características térmicas del dispositivo son  $T_{j,max} = 125^\circ\text{C}$ ,  $\theta_{jc} = 1,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$  y  $P_{max}(@T_A = 25^\circ\text{C}) = 20\text{ W}$ .

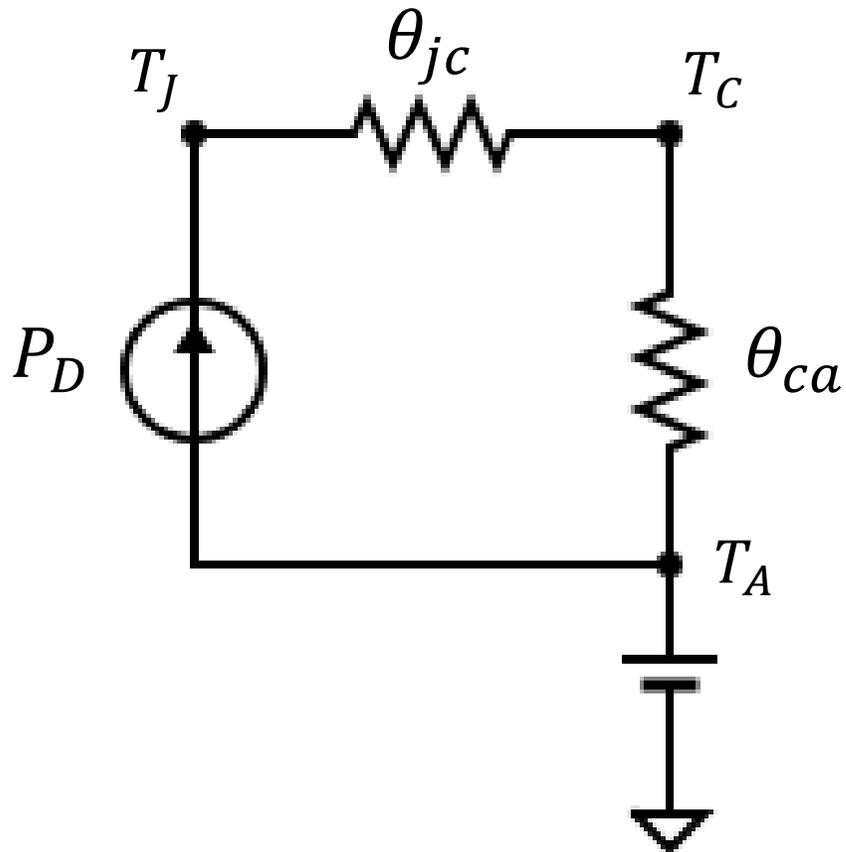
Determinar si es necesario el uso de un disipador y en caso afirmativo dar el valor de la resistencia térmica.



→ Tenemos que encontrar los parámetros del modelo  
↳  $\theta_{jc} = 1,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$

(Final 16/07/19) Un transistor MOSFET de potencia es utilizado en un circuito regulador de tensión. En funcionamiento continuo, la corriente sobre el transistor es 3 A y la tensión es  $V_{DS} = 10\text{ V}$ . La temperatura en el ambiente donde debe funcionar es  $50^\circ\text{C}$ . Las características térmicas del dispositivo son  $T_{j,max} = 125^\circ\text{C}$ ,  $\theta_{jc} = 1,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$  y  $P_{max}(@T_A = 25^\circ\text{C}) = 20\text{ W}$ .

Determinar si es necesario el uso de un disipador y en caso afirmativo dar el valor de la resistencia térmica.



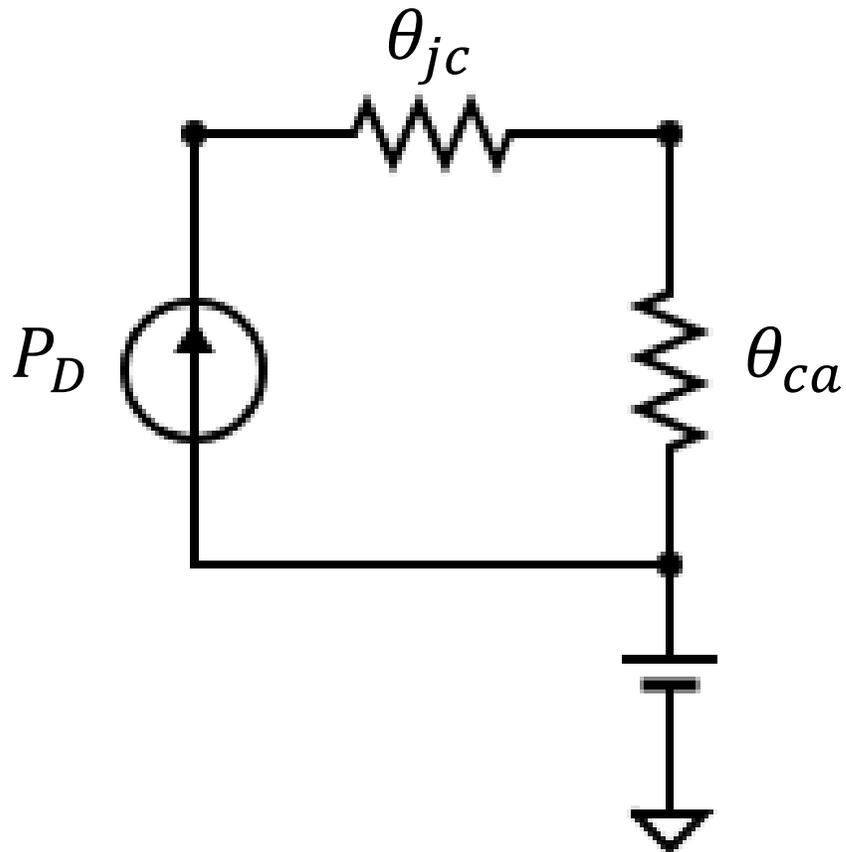
→ Tenemos que encontrar los parámetros del modelo

→  $\theta_{jc} = 1,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$

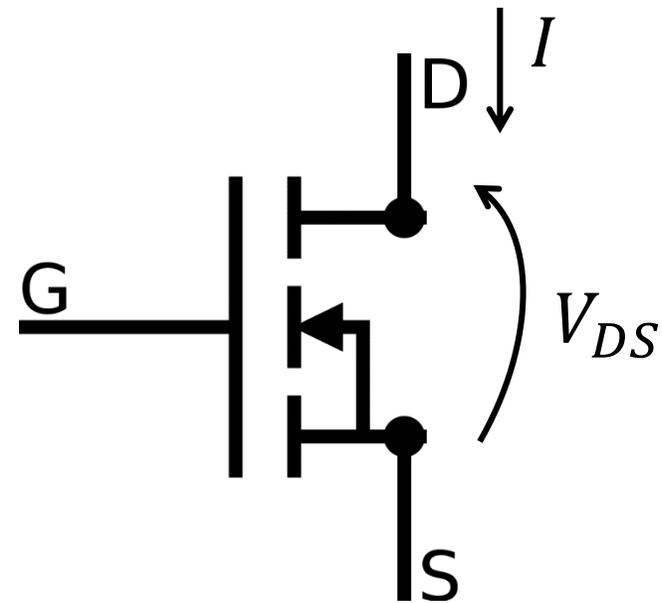
→  $P_{Dis} = ?$

(Final 16/07/19) Un transistor MOSFET de potencia es utilizado en un circuito regulador de tensión. En funcionamiento continuo, la corriente sobre el transistor es 3 A y la tensión es  $V_{DS} = 10\text{ V}$ . La temperatura en el ambiente donde debe funcionar es  $50^\circ\text{C}$ . Las características térmicas del dispositivo son  $T_{j,max} = 125^\circ\text{C}$ ,  $\theta_{jc} = 1,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$  y  $P_{max}(@T_A = 25^\circ\text{C}) = 20\text{ W}$ .

Determinar si es necesario el uso de un disipador y en caso afirmativo dar el valor de la resistencia térmica.



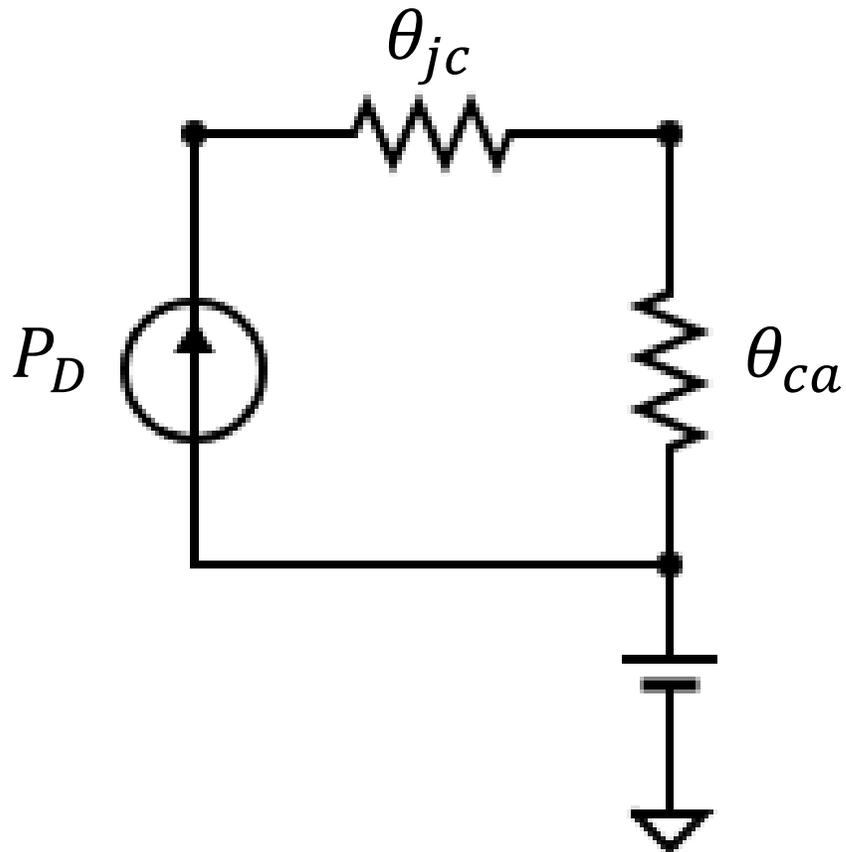
→ Tenemos que encontrar los parámetros del modelo  
↳  $\theta_{jc} = 1,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$



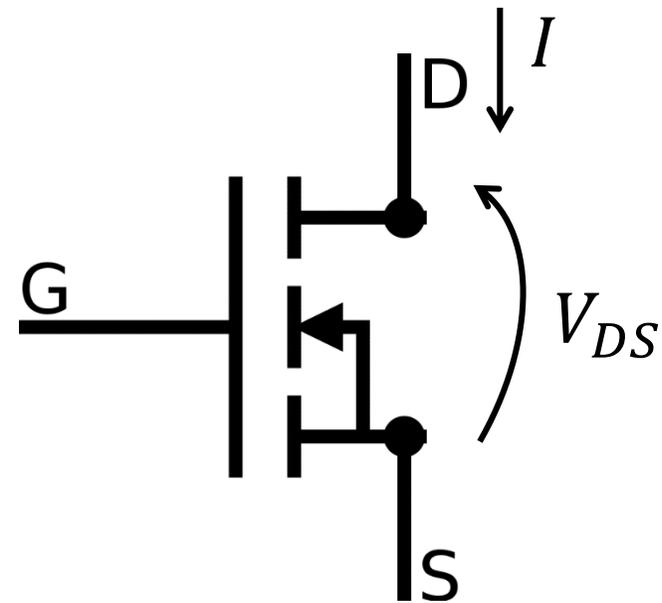
$$P_{Dis} = I \cdot V$$

(Final 16/07/19) Un transistor MOSFET de potencia es utilizado en un circuito regulador de tensión. En funcionamiento continuo, la corriente sobre el transistor es 3 A y la tensión es  $V_{DS} = 10\text{ V}$ . La temperatura en el ambiente donde debe funcionar es  $50^\circ\text{C}$ . Las características térmicas del dispositivo son  $T_{j,max} = 125^\circ\text{C}$ ,  $\theta_{jc} = 1,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$  y  $P_{max}(@T_A = 25^\circ\text{C}) = 20\text{ W}$ .

Determinar si es necesario el uso de un disipador y en caso afirmativo dar el valor de la resistencia térmica.



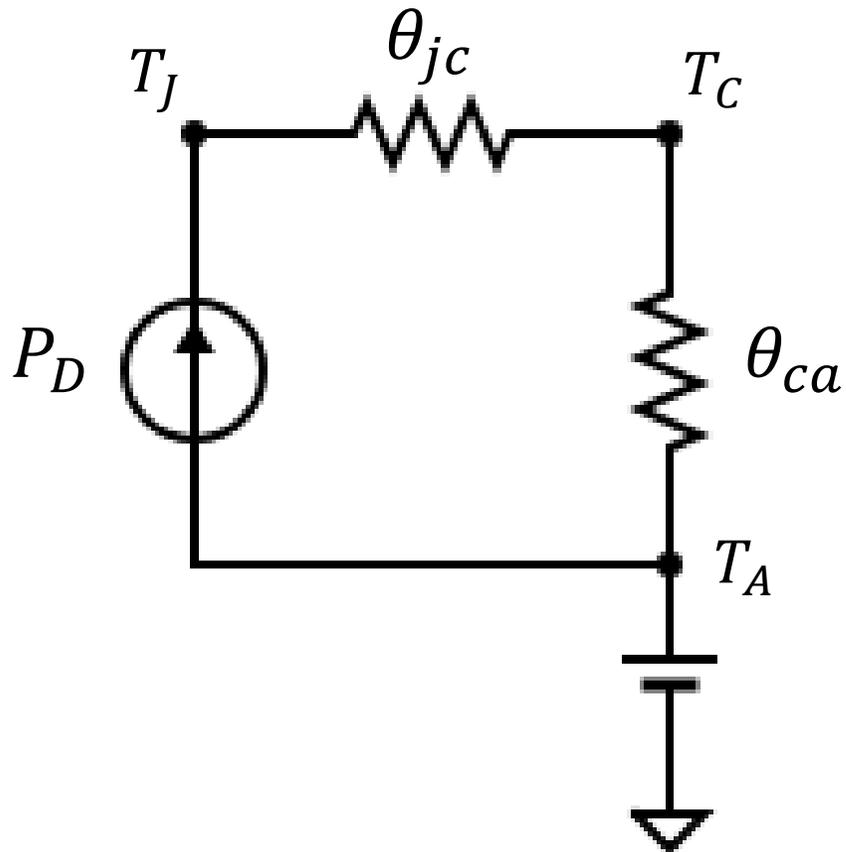
→ Tenemos que encontrar los parámetros del modelo  
 ↳  $\theta_{jc} = 1,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$



$$P_{Dis} = I \cdot V_{DS} = 30\text{ W}$$

(Final 16/07/19) Un transistor MOSFET de potencia es utilizado en un circuito regulador de tensión. En funcionamiento continuo, la corriente sobre el transistor es 3 A y la tensión es  $V_{DS} = 10\text{ V}$ . La temperatura en el ambiente donde debe funcionar es  $50^\circ\text{C}$ . Las características térmicas del dispositivo son  $T_{j,max} = 125^\circ\text{C}$ ,  $\theta_{jc} = 1,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$  y  $P_{max}(@T_A = 25^\circ\text{C}) = 20\text{ W}$ .

Determinar si es necesario el uso de un disipador y en caso afirmativo dar el valor de la resistencia térmica.



→ Tenemos que encontrar los parámetros del modelo

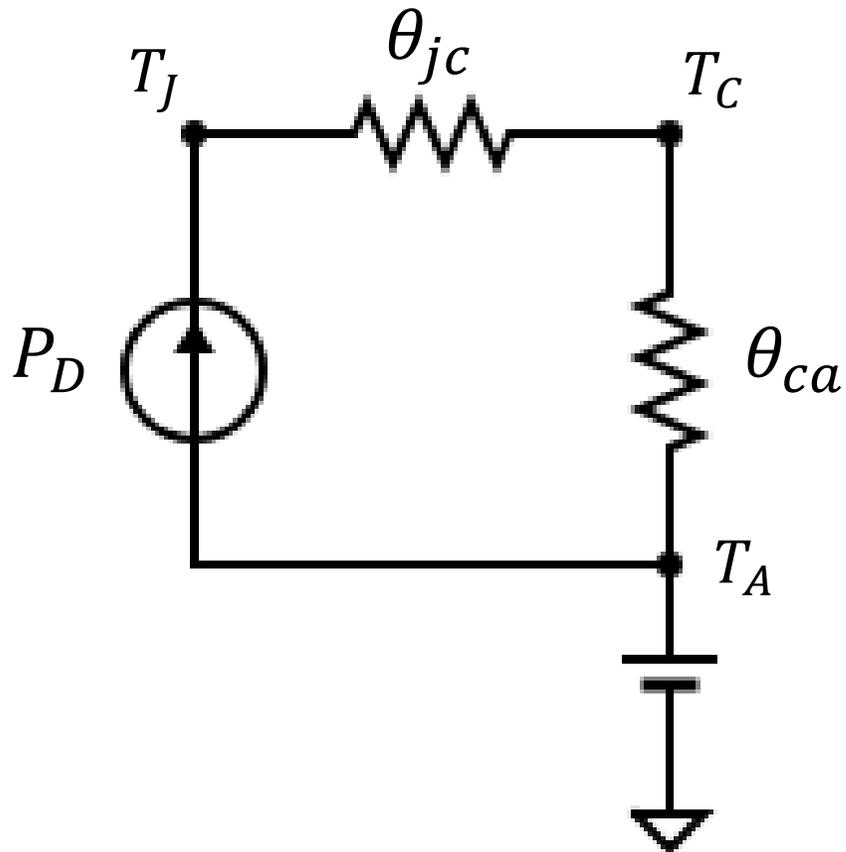
→  $\theta_{jc} = 1,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$

→  $P_{Dis} = 30\text{ W}$

→  $\theta_{ca} = ?$

(Final 16/07/19) Un transistor MOSFET de potencia es utilizado en un circuito regulador de tensión. En funcionamiento continuo, la corriente sobre el transistor es 3 A y la tensión es  $V_{DS} = 10\text{ V}$ . La temperatura en el ambiente donde debe funcionar es  $50^\circ\text{C}$ . Las características térmicas del dispositivo son  $T_{j,max} = 125^\circ\text{C}$ ,  $\theta_{jc} = 1,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$  y  $P_{max}(@T_A = 25^\circ\text{C}) = 20\text{ W}$ .

Determinar si es necesario el uso de un disipador y en caso afirmativo dar el valor de la resistencia térmica.



→ Tenemos que encontrar los parámetros del modelo

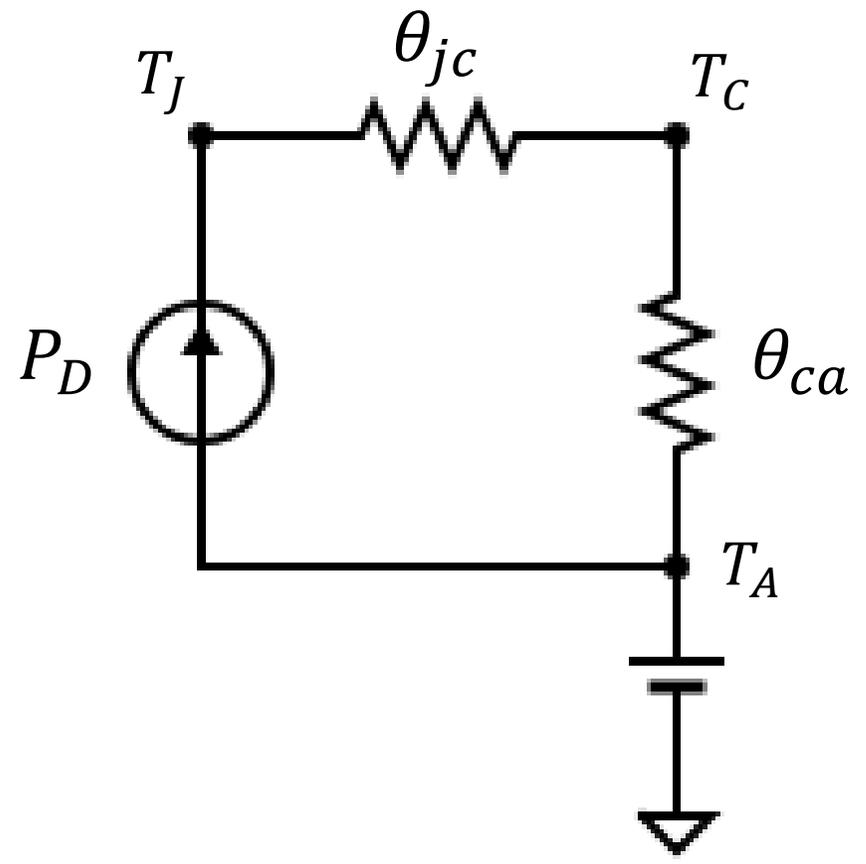
→  $\theta_{jc} = 1,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$

→  $P_{Dis} = 30\text{ W}$

→  $\theta_{ca} = ? \rightarrow P_{max}(@T_A = 25^\circ\text{C}) = 20\text{ W}$

(Final 16/07/19) Un transistor MOSFET de potencia es utilizado en un circuito regulador de tensión. En funcionamiento continuo, la corriente sobre el transistor es 3 A y la tensión es  $V_{DS} = 10\text{ V}$ . La temperatura en el ambiente donde debe funcionar es  $50^\circ\text{C}$ . Las características térmicas del dispositivo son  $T_{j,max} = 125^\circ\text{C}$ ,  $\theta_{jc} = 1,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$  y  $P_{max}(@T_A = 25^\circ\text{C}) = 20\text{ W}$ .

Determinar si es necesario el uso de un disipador y en caso afirmativo dar el valor de la resistencia térmica.



→ Tenemos que encontrar los parámetros del modelo

→  $\theta_{jc} = 1,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$

→  $P_{Dis} = 30\text{ W}$

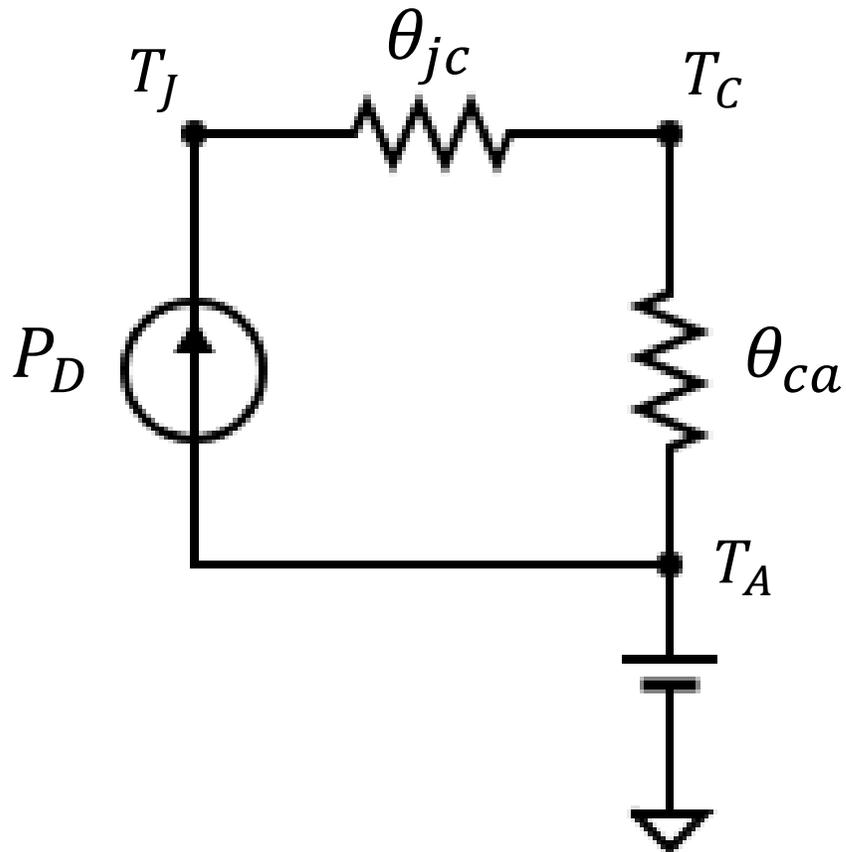
→  $\theta_{ca} = ? \rightarrow P_{max}(@T_A = 25^\circ\text{C}) = 20\text{ W}$

→ A que se refiere con  $P_{max}$ ?

→ Máxima potencia que puede disipar el dispositivo en esas condiciones.

(Final 16/07/19) Un transistor MOSFET de potencia es utilizado en un circuito regulador de tensión. En funcionamiento continuo, la corriente sobre el transistor es 3 A y la tensión es  $V_{DS} = 10\text{ V}$ . La temperatura en el ambiente donde debe funcionar es  $50^\circ\text{C}$ . Las características térmicas del dispositivo son  $T_{j,max} = 125^\circ\text{C}$ ,  $\theta_{jc} = 1,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$  y  $P_{max}(@T_A = 25^\circ\text{C}) = 20\text{ W}$ .

Determinar si es necesario el uso de un disipador y en caso afirmativo dar el valor de la resistencia térmica.



→ Tenemos que encontrar los parámetros del modelo

→  $\theta_{jc} = 1,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$

→  $P_{Dis} = 30\text{ W}$

→  $\theta_{ca} = ? \rightarrow P_{max}(@T_A = 25^\circ\text{C}) = 20\text{ W}$

→ A que se refiere con  $P_{max}$ ?

→ Máxima potencia que puede disipar el dispositivo en esas condiciones.

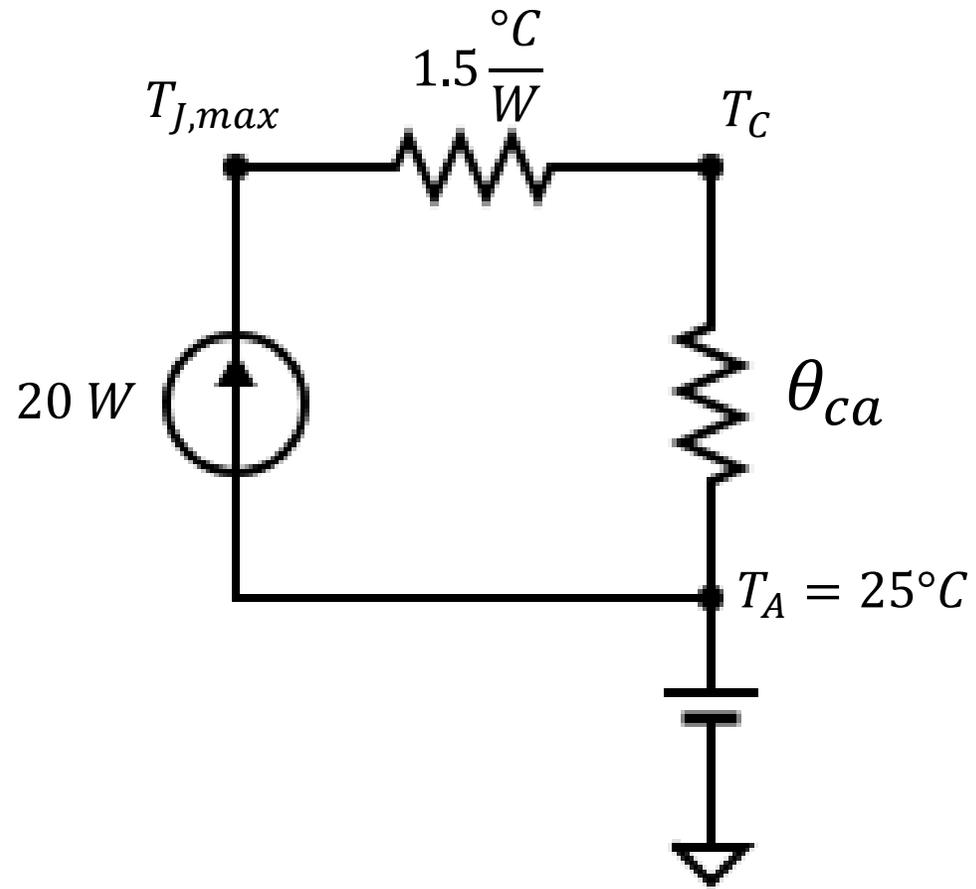
→ Que me limita?

→  $T_J$  llego a su máximo valor.

Si planteamos un circuito térmico podemos obtener  $\theta_{ca}$ ....

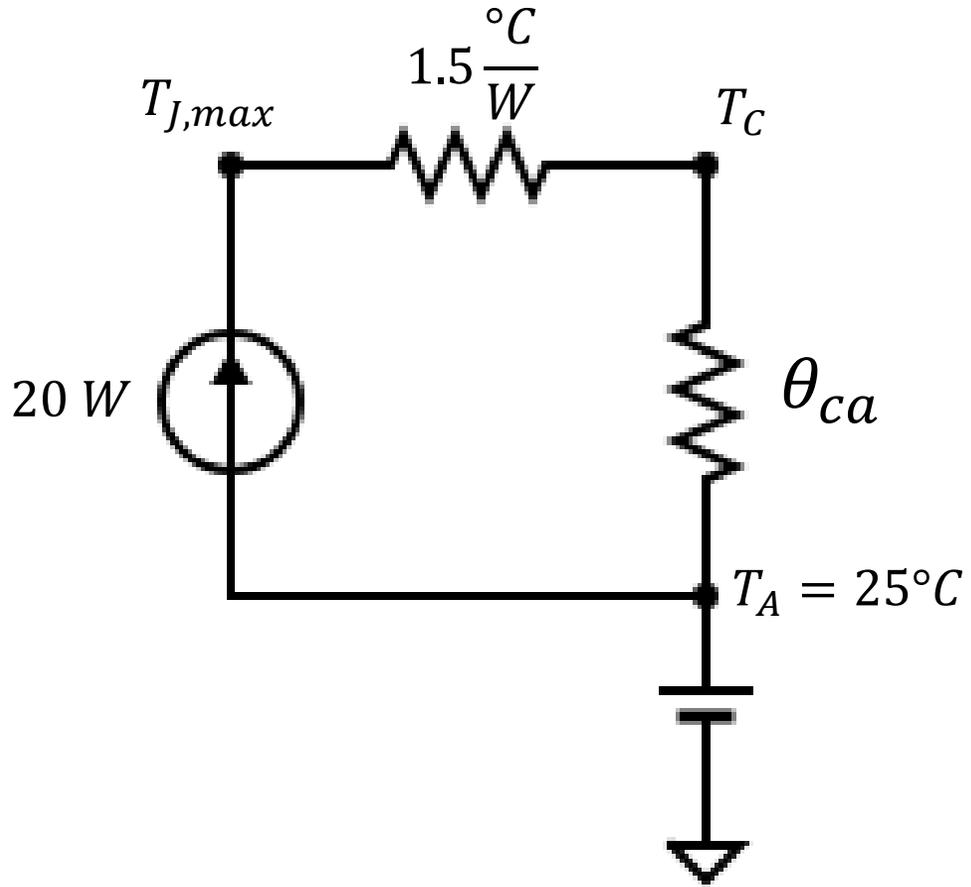
Si planteamos un circuito térmico podemos obtener  $\theta_{ca}$ ....

→  $P_{max}(@T_A = 25^\circ C) = 20W$



Si planteamos un circuito térmico podemos obtener  $\theta_{ca}$ ....

→  $P_{max}(@T_A = 25^\circ C) = 20W$

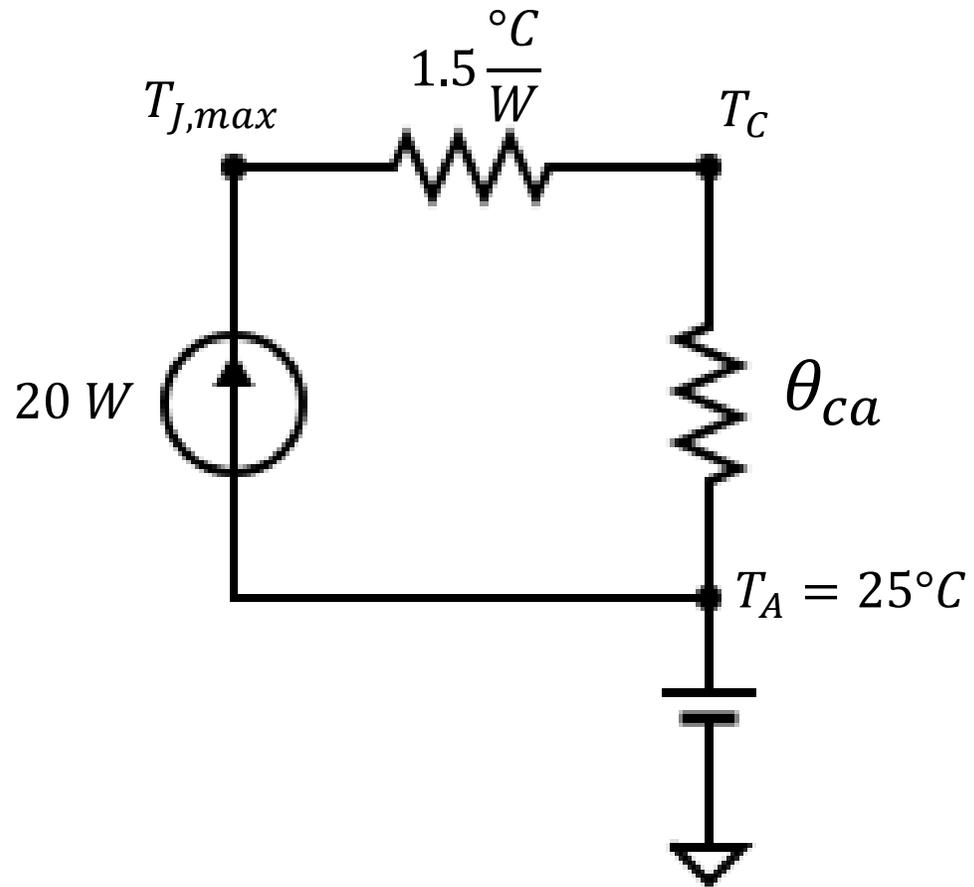


→ Defino:  $\theta_{ja} = \theta_{jc} + \theta_{ca}$

→ Aplico Ley de Ohm:  $T_c - T_f = \theta \cdot P$

Si planteamos un circuito térmico podemos obtener  $\theta_{ca}$ ....

→  $P_{max}(@T_A = 25^\circ C) = 20W$



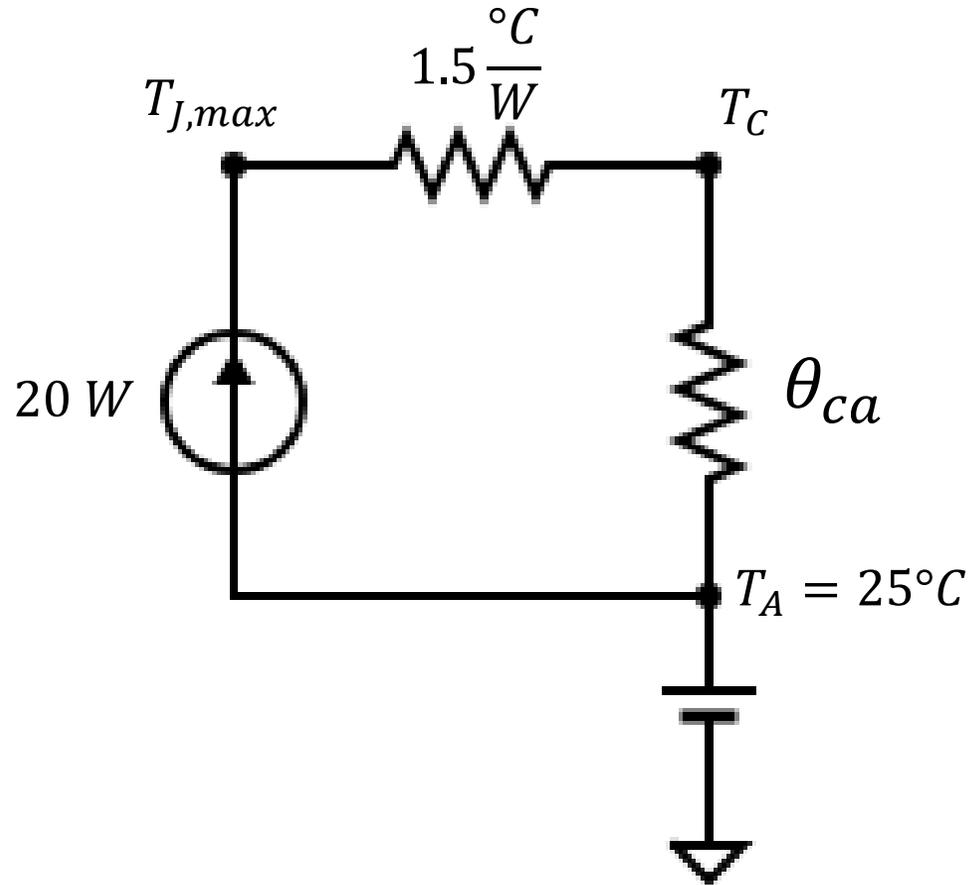
→ Defino:  $\theta_{ja} = \theta_{jc} + \theta_{ca}$

→ Aplico Ley de Ohm:  $T_c - T_f = \theta \cdot P$

→  $T_{J,max} - T_A = \theta_{ja} \cdot P_{max}$

Si planteamos un circuito térmico podemos obtener  $\theta_{ca}$ ....

→  $P_{max}(@T_A = 25^\circ C) = 20W$



→ Defino:  $\theta_{ja} = \theta_{jc} + \theta_{ca}$

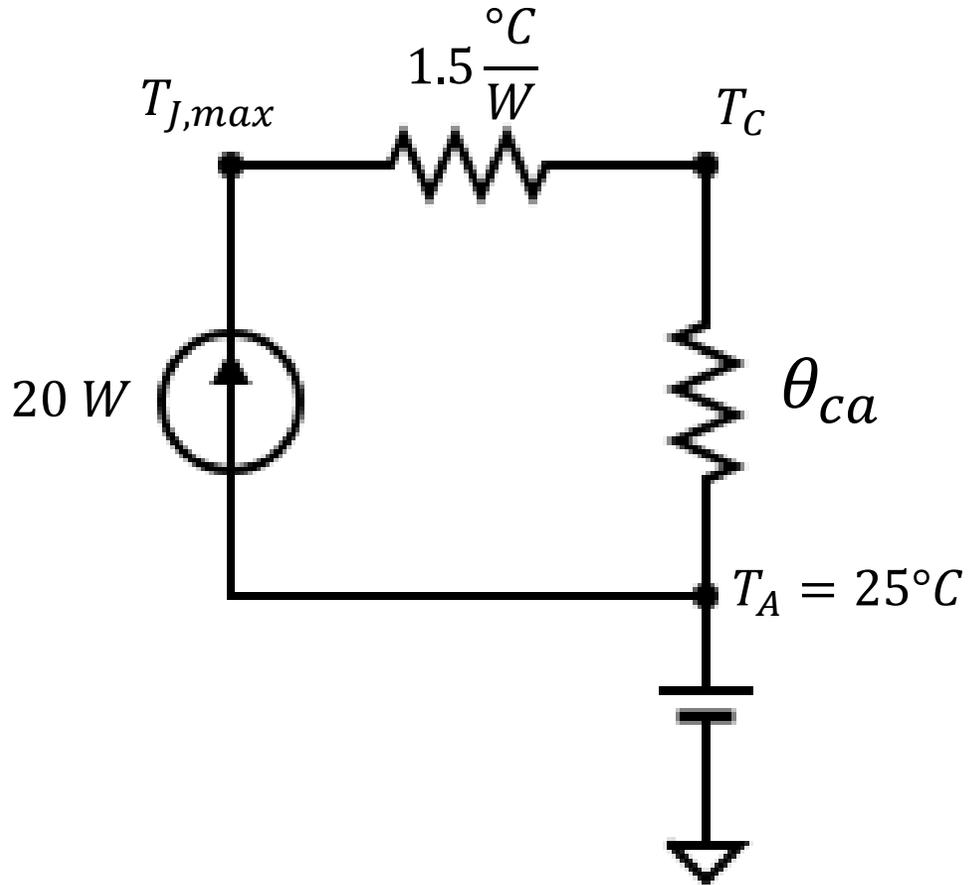
→ Aplico Ley de Ohm:  $T_c - T_f = \theta \cdot P$

→  $T_{J,max} - T_A = \theta_{ja} \cdot P_{max}$

→  $125^\circ C - 25^\circ C = \theta_{ja} \cdot 20 W$

Si planteamos un circuito térmico podemos obtener  $\theta_{ca}$ ....

→  $P_{max}(@T_A = 25^\circ C) = 20W$



→ Defino:  $\theta_{ja} = \theta_{jc} + \theta_{ca}$

→ Aplico Ley de Ohm:  $T_c - T_f = \theta \cdot P$

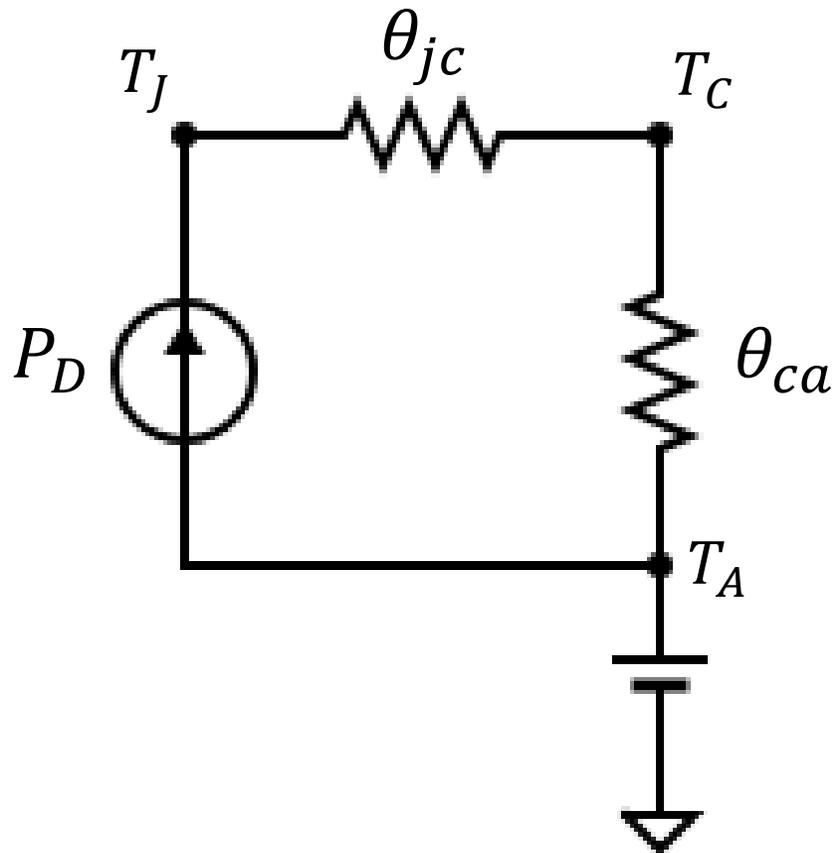
→  $T_{J,max} - T_A = \theta_{ja} \cdot P_{max}$

→  $125^\circ C - 25^\circ C = \theta_{ja} \cdot 20 W$

→  $\theta_{ja} = 5 \frac{^\circ C}{W} = \theta_{jc} + \theta_{ca}$

→  $\theta_{ca} = 3.5 \frac{^\circ C}{W}$

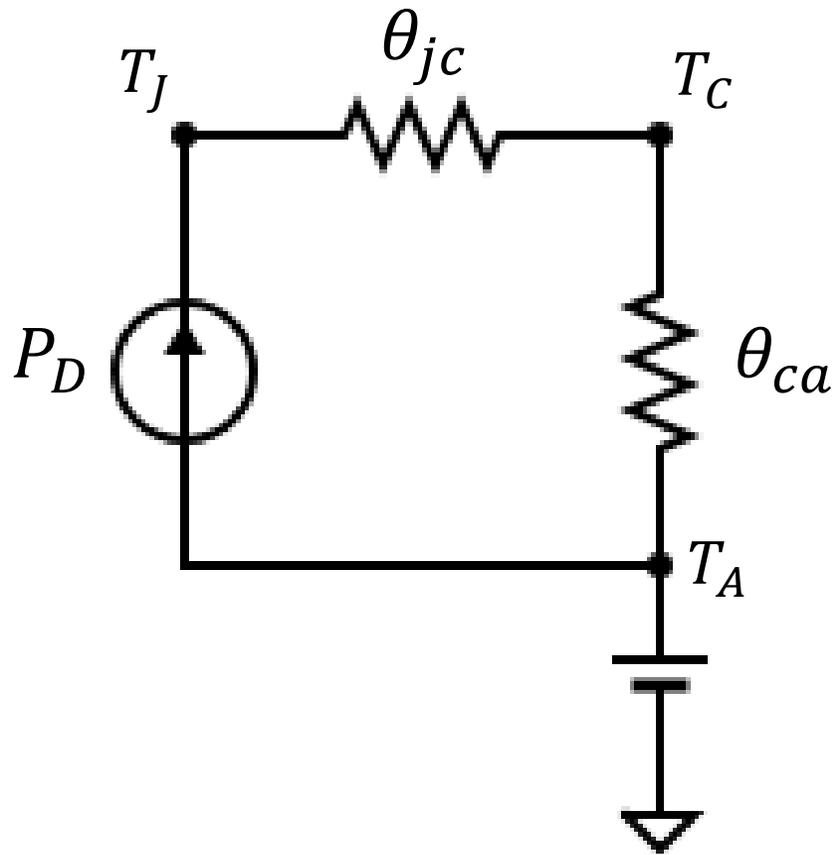
Podemos completar el modelo...



$\theta_{jc} = 1,5 \frac{^{\circ}C}{W}$   
 $P_{Dis} = 30 W$

$\theta_{ca} = 3.5 \frac{^{\circ}C}{W}$   
 $T_A = 50^{\circ}C$

Podemos completar el modelo...



$\theta_{jc} = 1,5 \frac{^{\circ}C}{W}$

$P_{Dis} = 30 W$

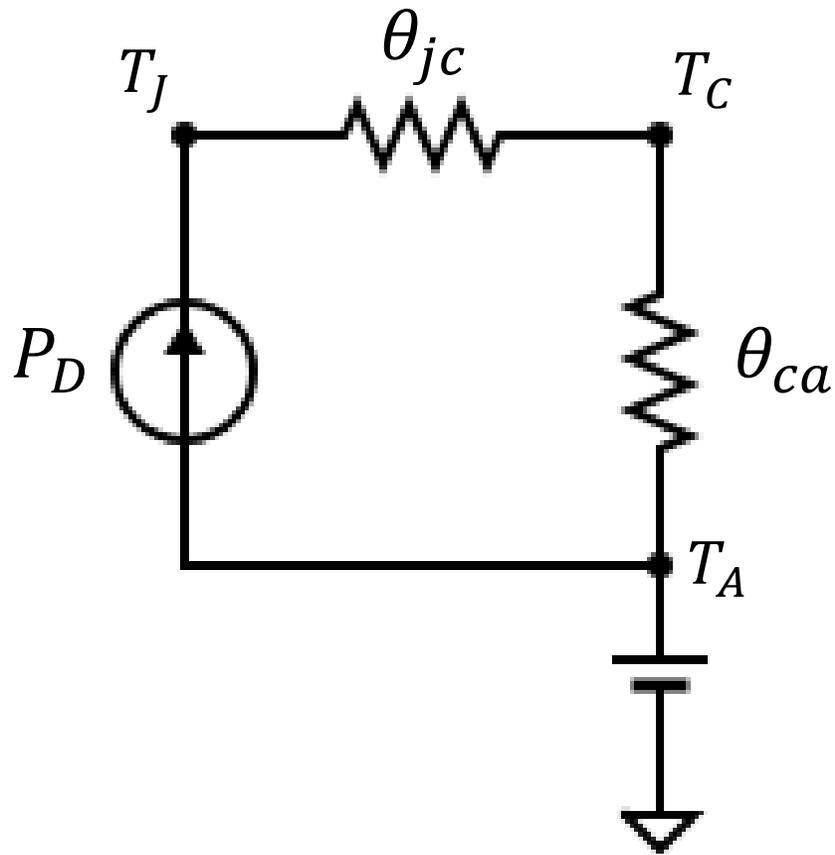
$\theta_{ca} = 3,5 \frac{^{\circ}C}{W}$

$T_A = 50^{\circ}C$

→ ¿Cómo se si necesito un disipador?

→ Si  $T_J > T_{J,max}$

Podemos completar el modelo...



$$\begin{aligned} \theta_{jc} &= 1,5 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} & \theta_{ca} &= 3,5 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \\ P_{Dis} &= 30 \text{ W} & T_A &= 50^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

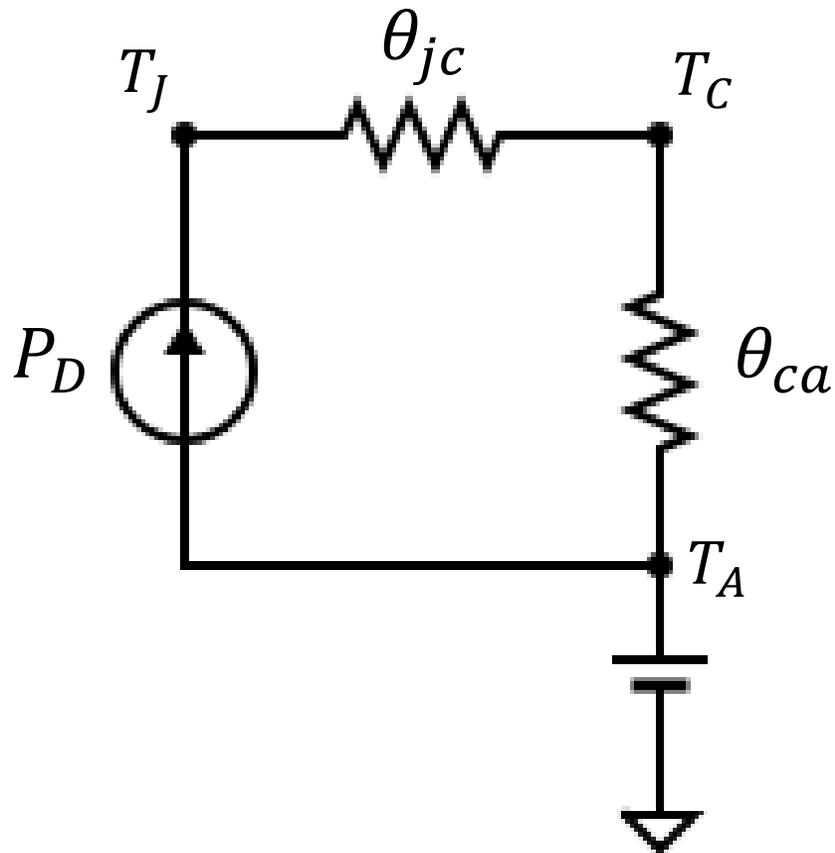
→ ¿Cómo se si necesito un disipador?

→ Si  $T_J > T_{J,max}$

→ Busco  $T_J$ :  $T_J - T_A = (\theta_{ja} + \theta_{ca}) \cdot P_D$

→  $T_J = 200^{\circ}\text{C} > T_{J,max} = 125^{\circ}\text{C}$

Podemos completar el modelo...



$$\begin{aligned} \theta_{jc} &= 1,5 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} & \theta_{ca} &= 3,5 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \\ P_{Dis} &= 30 \text{ W} & T_A &= 50^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

→ ¿Cómo se si necesito un disipador?

→ Si  $T_J > T_{J,max}$

→ Busco  $T_J$ :  $T_J - T_A = (\theta_{ja} + \theta_{ca}) \cdot P_D$

→  $T_J = 200^{\circ}\text{C} > T_{J,max} = 125^{\circ}\text{C}$

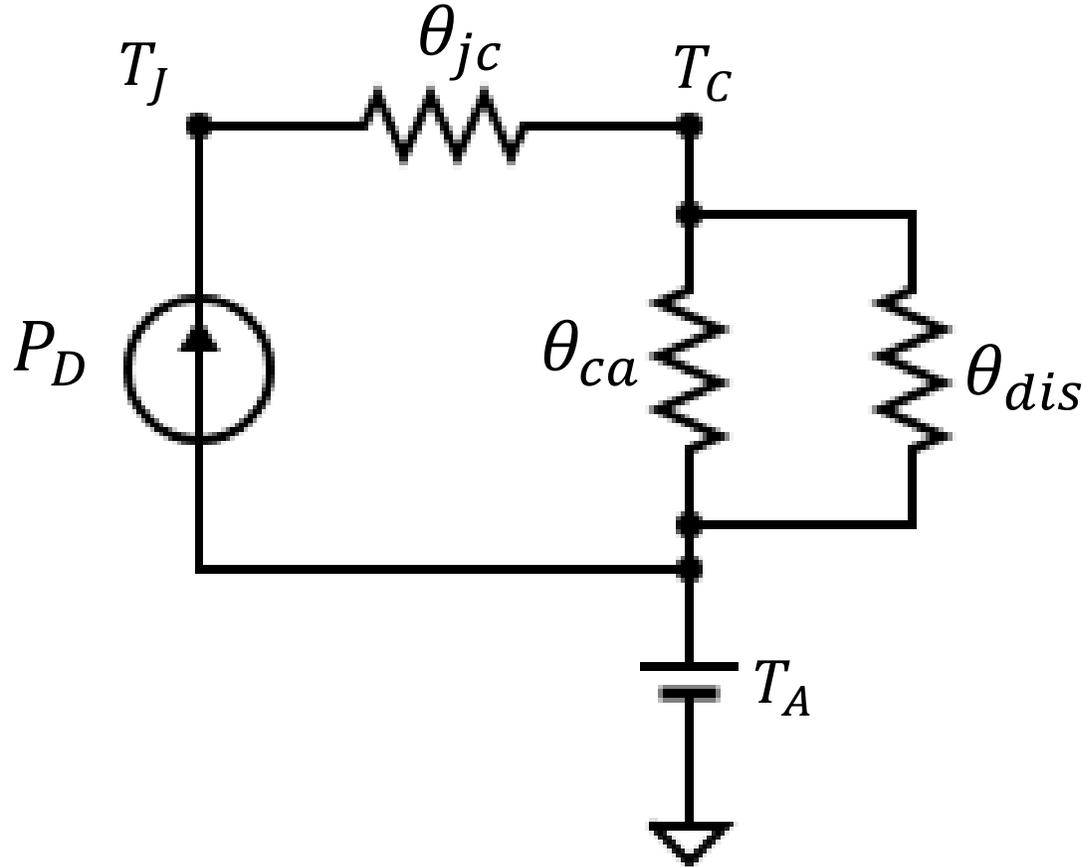


Podemos completar el modelo...



Necesitamos un disipador...

→ Queremos que  $T_J < T_{J,max}$

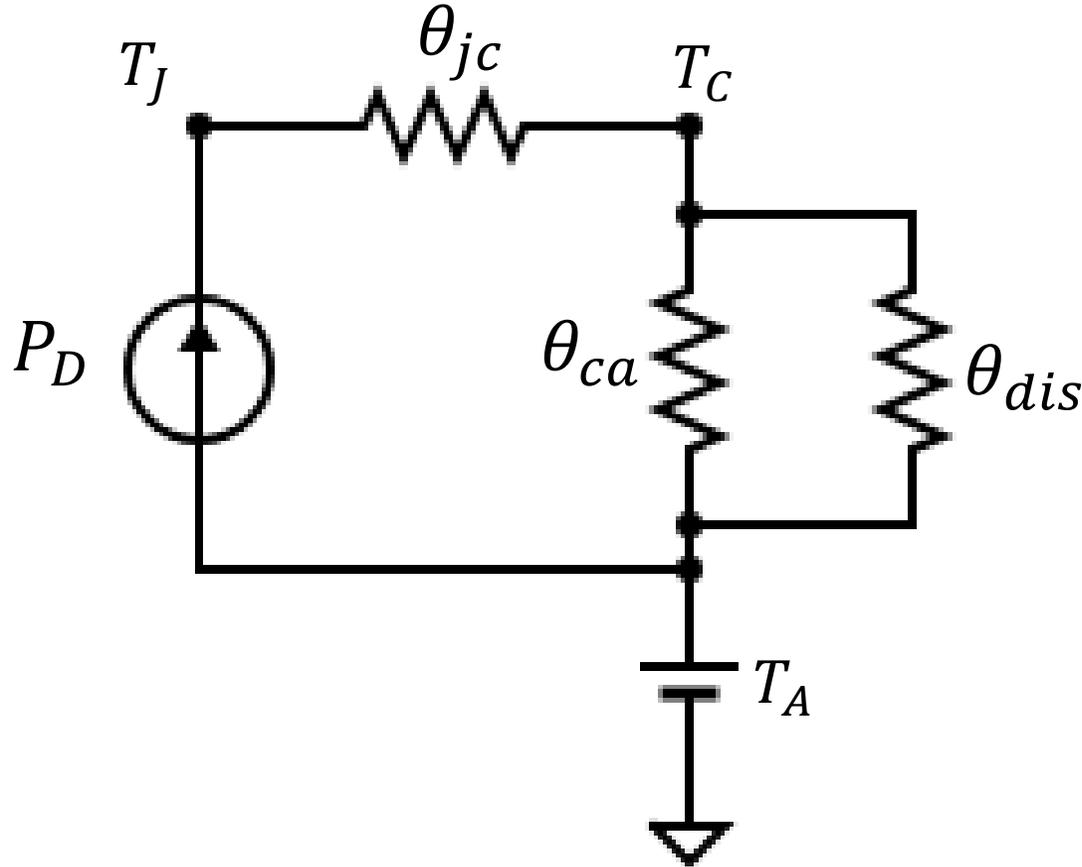


Necesitamos un disipador...

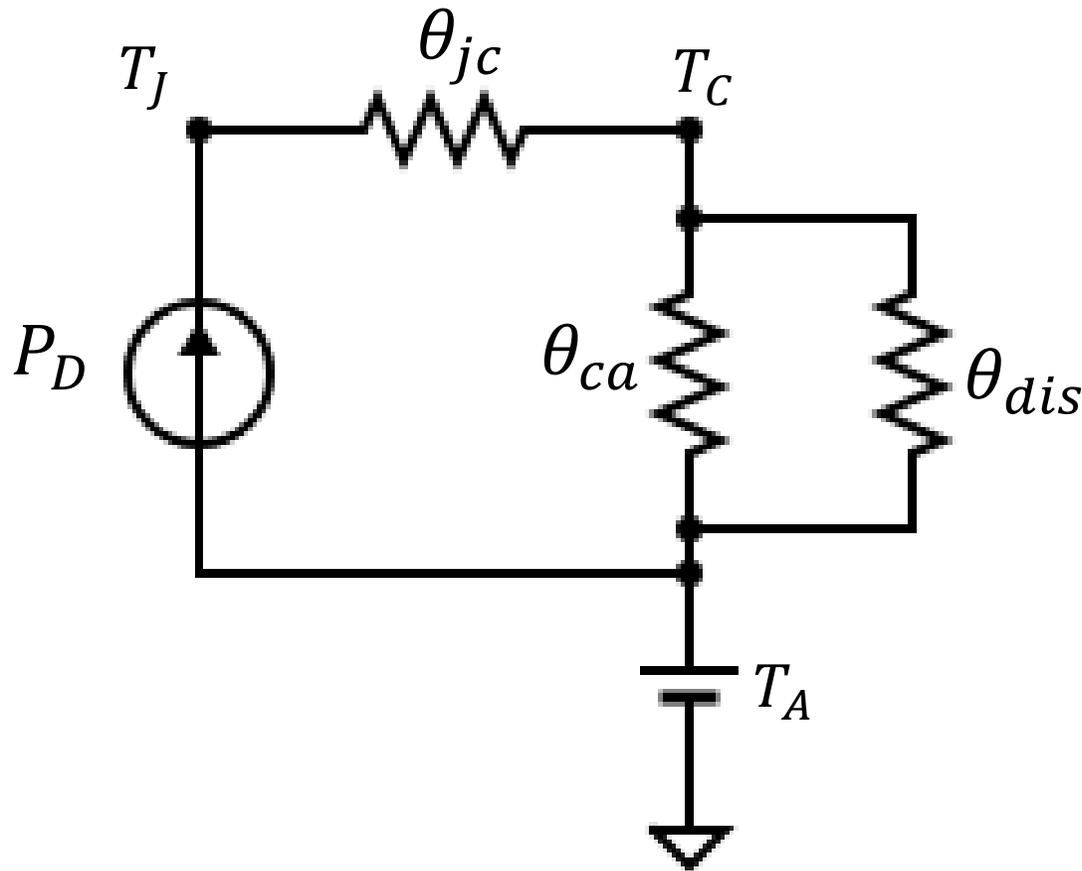
→ Queremos que  $T_J < T_{J,max}$

→ En el caso límite si  $T_J = T_{J,max}$

↳  $P_D \cdot \theta_{jc} = T_{J,max} - T_C \rightarrow T_C = 80 \frac{^{\circ}C}{W}$



Necesitamos un disipador...



→ Queremos que  $T_J < T_{J,max}$

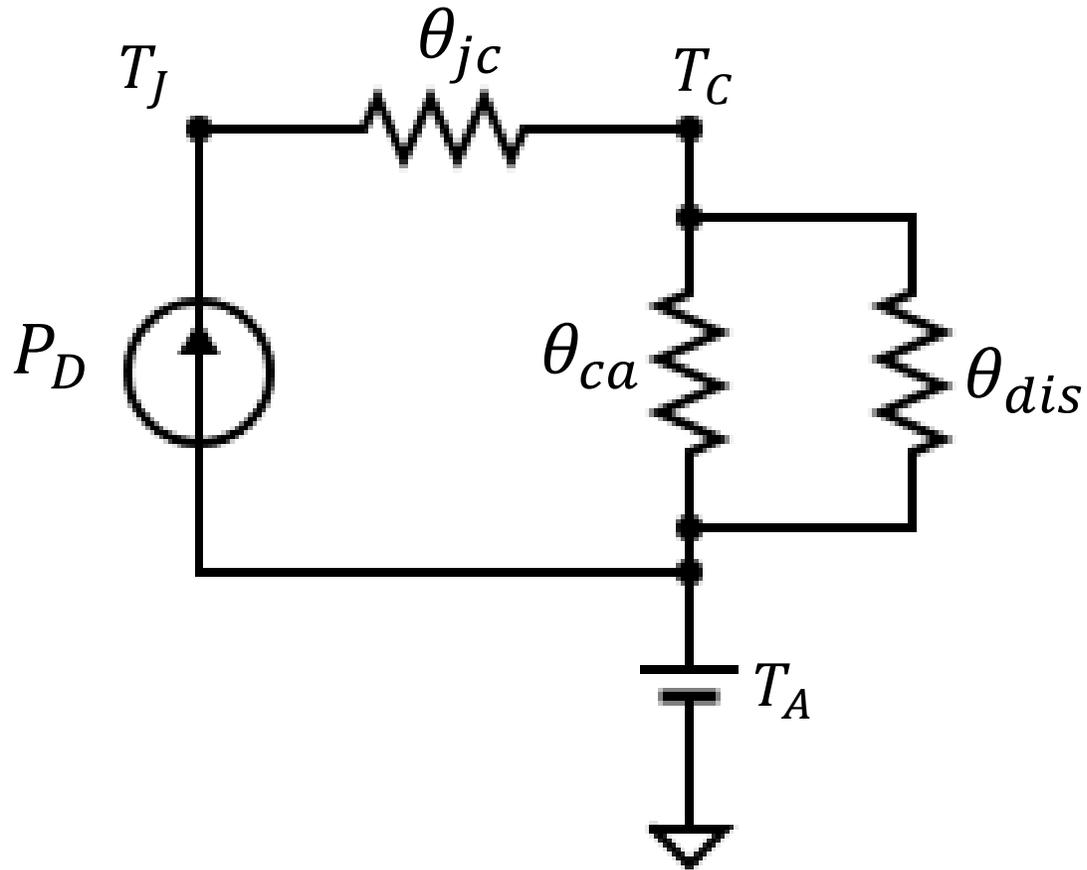
→ En el caso límite si  $T_J = T_{J,max}$

↳  $P_D \cdot \theta_{jc} = T_{J,max} - T_C \rightarrow T_C = 80 \frac{^\circ C}{W}$

→ Entre la carcasa y el ambiente

↳  $T_C - T_A = (\theta_{ca} // \theta_{dis}) \cdot P_D$

Necesitamos un disipador...



→ Queremos que  $T_J < T_{J,max}$

→ En el caso límite si  $T_J = T_{J,max}$

$$P_D \cdot \theta_{jc} = T_{J,max} - T_C \rightarrow T_C = 80 \frac{^{\circ}C}{W}$$

→ Entre la carcasa y el ambiente

$$T_C - T_A = (\theta_{ca} // \theta_{dis}) \cdot P_D$$

$$(\theta_{ca} // \theta_{dis}) = 1 \frac{^{\circ}C}{W}$$

$$\frac{1}{\theta_{ca}} + \frac{1}{\theta_{dis}} = \frac{1}{1 \frac{^{\circ}C}{W}} \rightarrow \theta_{dis} = 1,4 \frac{^{\circ}C}{W}$$



# Consideraciones practicas

- Como mejoro la conducción/convección?

# Consideraciones practicas

- Como mejoro la conducción/convección?

- Smooth interfaces
- Clean interfaces
- Thermal grease
- Increased surface area
- Pick a different material
- Shorten conduction paths
- Decrease ambient temperature

The diagram shows the equation  $q = \frac{kA(T_{hot} - T_{cold})}{L}$  with several variables circled and arrows pointing from the list items to them:  $k$  is circled in green,  $A$  is circled in blue,  $L$  is circled in red, and  $T_{cold}$  is circled in yellow. Arrows from the list items point to these circled variables: blue arrows from 'Smooth interfaces', 'Clean interfaces', and 'Thermal grease' point to  $A$ ; a green arrow from 'Pick a different material' points to  $k$ ; a red arrow from 'Shorten conduction paths' points to  $L$ ; and a yellow arrow from 'Decrease ambient temperature' points to  $T_{cold}$ .

$$q = \frac{kA(T_{hot} - T_{cold})}{L}$$

# Consideraciones practicas

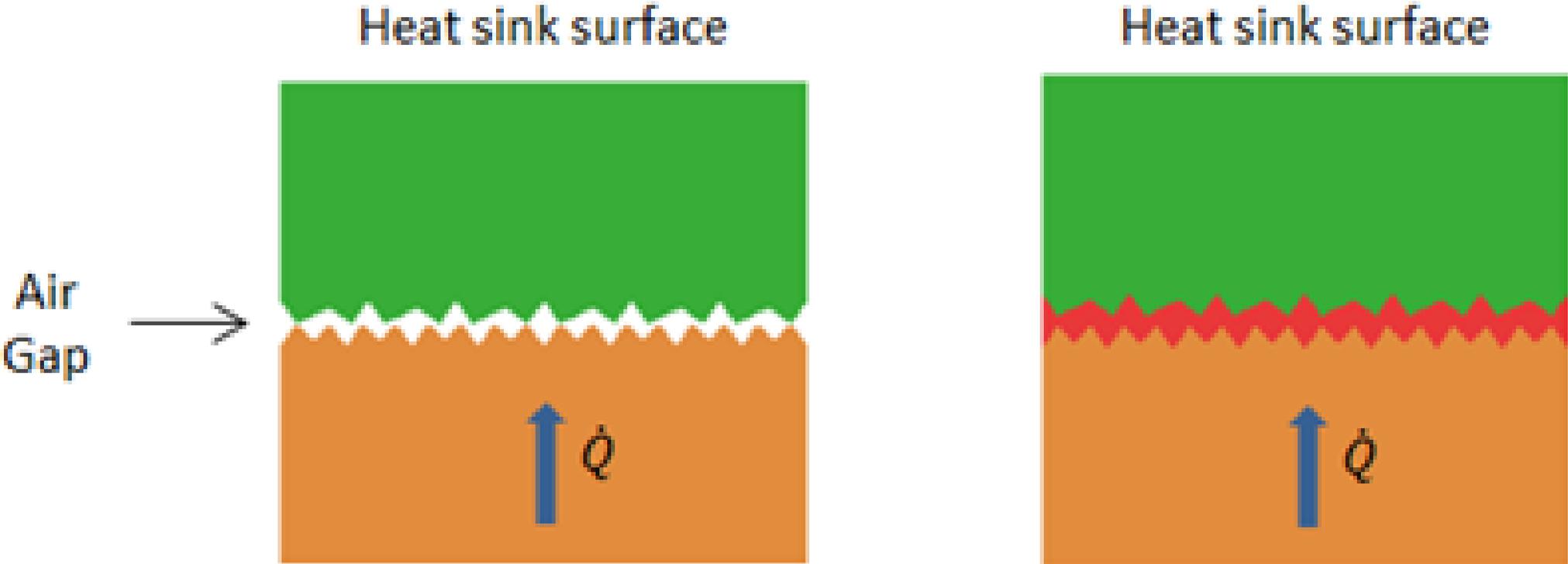
- Como mejoro la conducción/convección?
- El rol de la pasta térmica...

# Consideraciones practicas

- Como mejoro la
- El rol de la pasta



# Consideraciones practicas



# Consideraciones practicas

- Como mejoro la conducción/convección?
- El rol de la pasta térmica...
- ¿Donde obtengo parámetros térmicos del dispositivo?

# 2N6338, 2N6341

## High-Power NPN Silicon Transistors

### \*MAXIMUM RATINGS

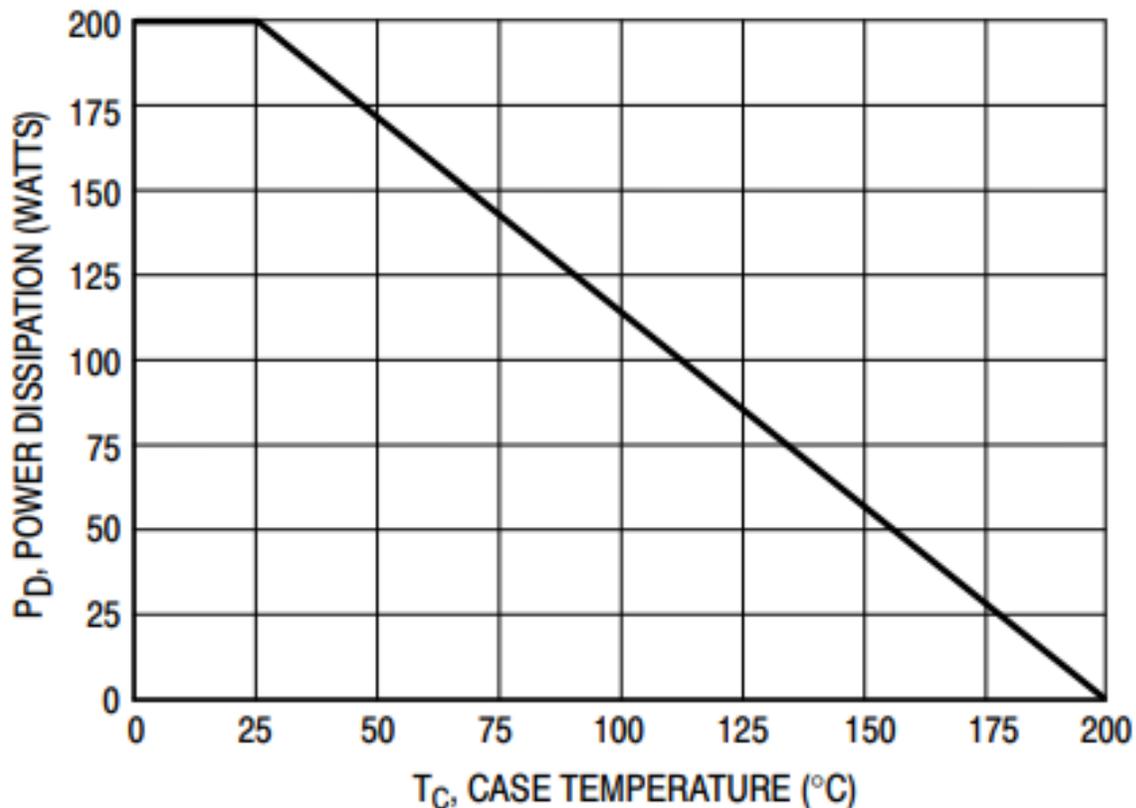
Rating	Symbol	2N6338	2N6341	Unit
Collector-Base Voltage	$V_{CB}$	120	180	Vdc
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	100	150	Vdc
Emitter-Base Voltage	$V_{EB}$	6.0		Vdc
Collector Current Continuous Peak	$I_C$	25 50		Adc
Base Current	$I_B$	10		Adc
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	200 1.14		W W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-65 to +200		$^\circ\text{C}$

### THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$\theta_{JC}$	0.875	$^\circ\text{C}/\text{W}$



TO-204AA  
CASE 1-07



# Consideraciones practicas

- Como mejoro la conducción/convección?
- El rol de la pasta térmica...
- ¿Donde obtengo parámetros térmicos del dispositivo?
- ¿Y de disipadores?

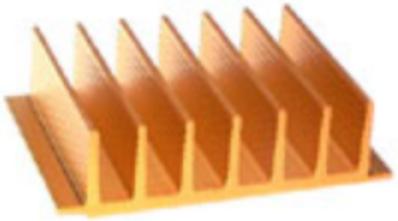
# Consideraciones prácticas

[www.disipadores.com](http://www.disipadores.com)



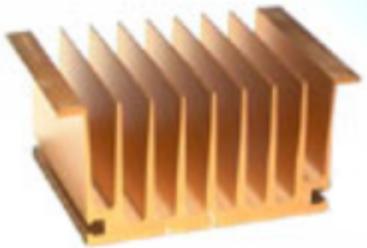
## **Artículo 6925 ZD-33**

Dimensiones: Base 64mm - Altura 69mm - Espesor núcleo central 12mm  
Resistencia térmica: 1.80° C/W para 75mm  
Superficie: 1730 mm<sup>2</sup>/mm  
Peso por Metro: 4,860 Kg.



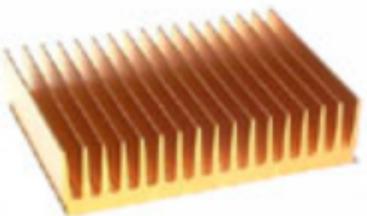
## **Artículo 6725 ZD-34**

Dimensiones: Base 150mm - Altura 35mm - Espesor núcleo central 6mm  
Resistencia térmica: 1.40° C/W para 75mm  
Superficie: 1860 mm<sup>2</sup>/mm  
Peso por Metro: 4,660 Kg.



## **Artículo 5055 ZD-20**

Dimensiones: Base 122mm - Altura 69mm - Espesor núcleo central 9mm  
Resistencia térmica: 0.90° C/W para 100mm  
Superficie: 2850,75 mm<sup>2</sup>/mm  
Peso por Metro: 7,80 Kg.



## **Artículo 7325 ZD-21**

Dimensiones: Base 136.50mm - Altura 33mm - Espesor núcleo central 8mm  
Resistencia térmica: 1.5° C/W para 75mm  
Superficie: 2141 mm<sup>2</sup>/mm  
Peso por Metro: 5,780 Kg.

positivo?