

Lección 8

Dispositivos Semiconductores de Potencia

8.1 Introducción.

8.2 Diodos.

8.3 Transistores.

8.4 Tiristores.

❖ Apéndice: Disipadores de calor

8.1 Introducción

DIODOS

- Estados ON y OFF controlados por el circuito de potencia.

TRANSISTORES

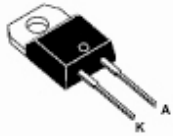
- Conmutan entre ON y OFF mediante una señal de control aplicada al terminal de control.
- BJT, MOSTET, IGBT

TIRISTORES

- Pasan a ON mediante una señal de control aplicada al terminal de control.
- El circuito de potencia les hace pasar a OFF.
- SCR, GTO, MCT, etc.

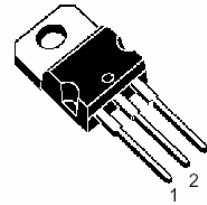
Encapsulados

Diodos

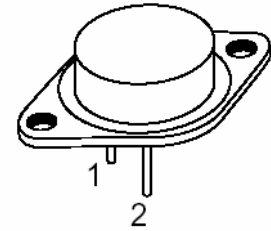


Fast
1500V
168A
1.8V

Transistores



TO-220



TO-3

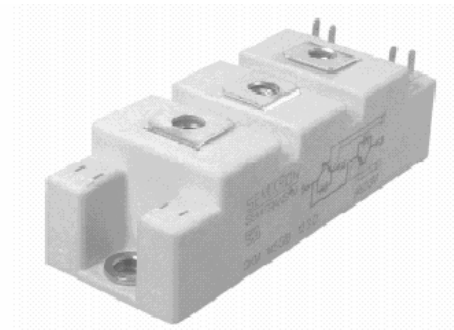
Tiristores



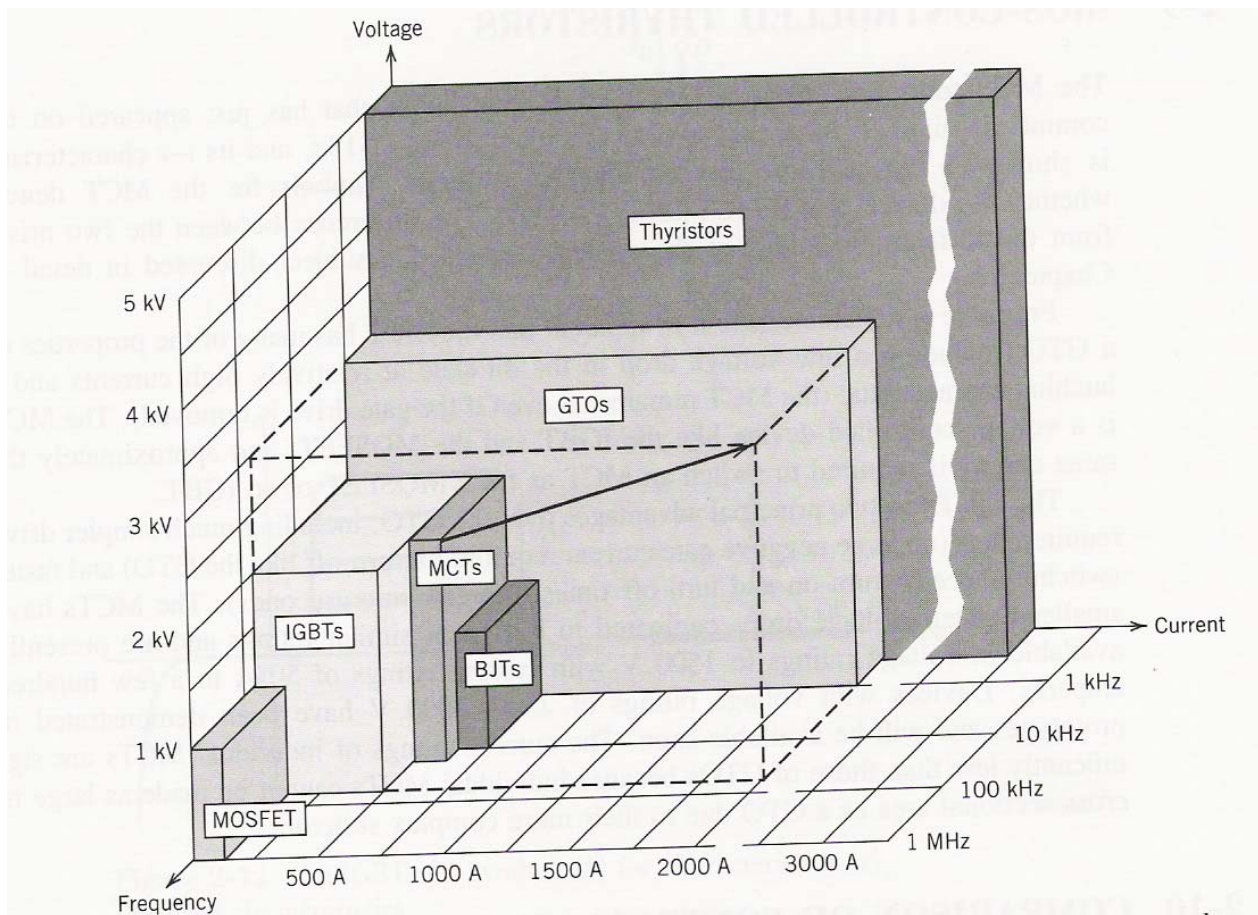
1300 V/1800A



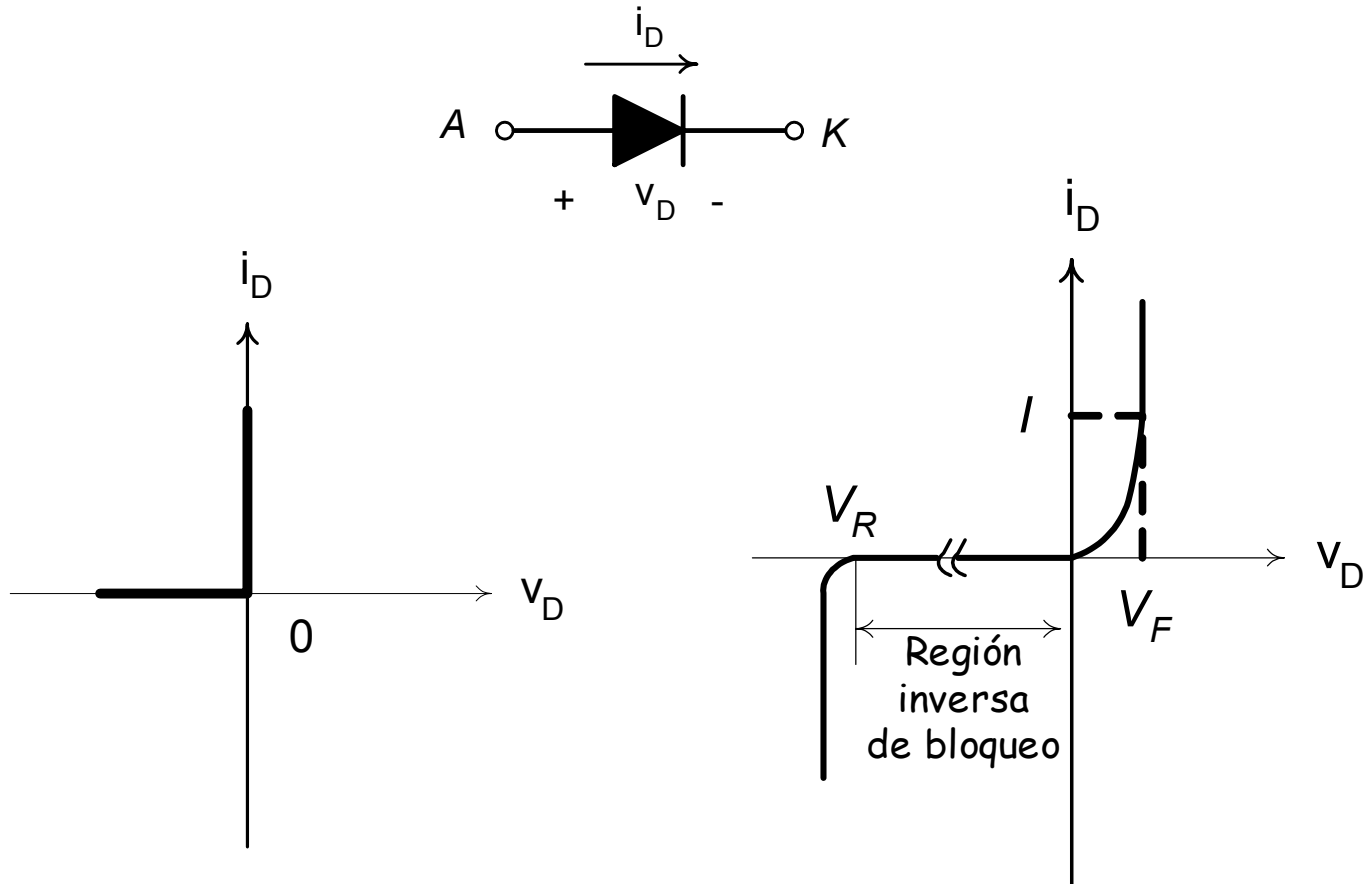
500 V/24A



Comparación de dispositivos



8.2 Diodos de potencia



V_F = tensión de codo; V_R = tensión de ruptura

Características estáticas

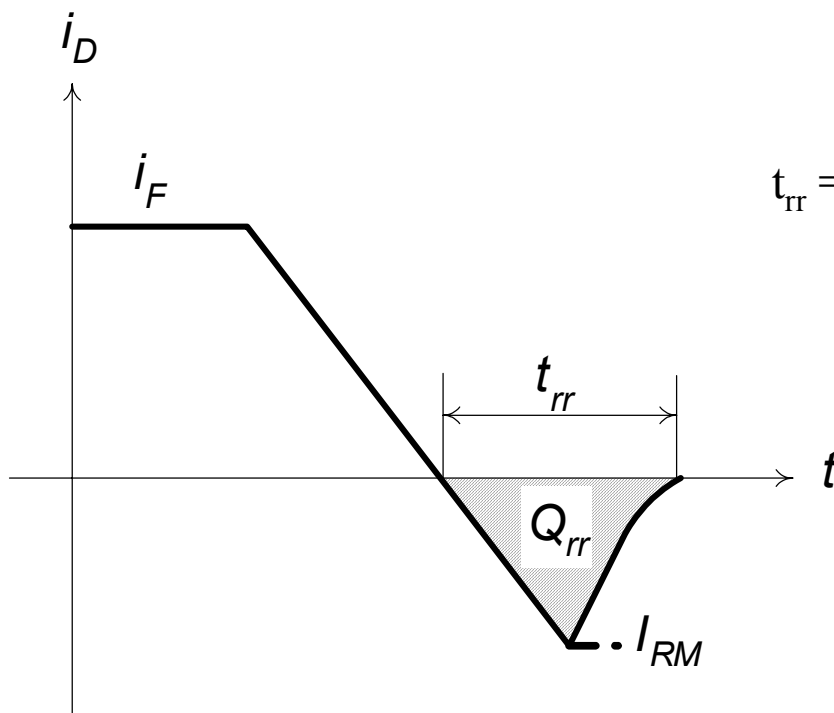
- Ejemplo: 1N400X

Maximum Ratings and Electrical Characteristics @ TA = 25°C unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Unit
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC Blocking Voltage	V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum Average Forward Rectified Current at $T_A = 75^\circ\text{C}$ (Note 3)	$I_{(AV)}$	1.0							A
Peak Forward Surge current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	I_{FSM}	30							A
Maximum Forward Voltage at $I_F = 1\text{ A}$	V_F	1.1							V
Maximum DC Reverse Current at Rated DC Blocking Voltage $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 105^\circ\text{C}$	I_R	5.0 50							μA
Typical Thermal Resistance (Note 1)	$R_{\theta JA}$	45							$^\circ\text{C/W}$
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C_J	15							pF
Storage and Operating Temperature Range	T_J, T_{STG}	-65 to +175							$^\circ\text{C}$

El diodo en conmutación

- Cuando el diodo pasa al estado OFF circula una corriente inversa durante un cierto tiempo, t_{rr} .



t_{rr} = tiempo de recuperación inversa

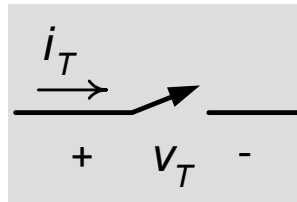
Tipos de diodos de potencia

➤ Se clasifican en función de la rapidez (t_{rr})

	V_{RRM}	I_F	t_{rr}
Estándar	100 V – 600V	1 A- 50 A	$> 1\mu s$
Fast	100 V- 1000 V	1 A – 50 A	100 ns – 500 ns
Ultra Fast	200 V- 800 V	1 A- 50 A	20 ns – 100 ns
Schottky	15 V- 150 V	1A- 150 A	$< 2\text{ ns}$

8.3 Transistores

➤ *En E. P. su comportamiento es el un interruptor controlado.*



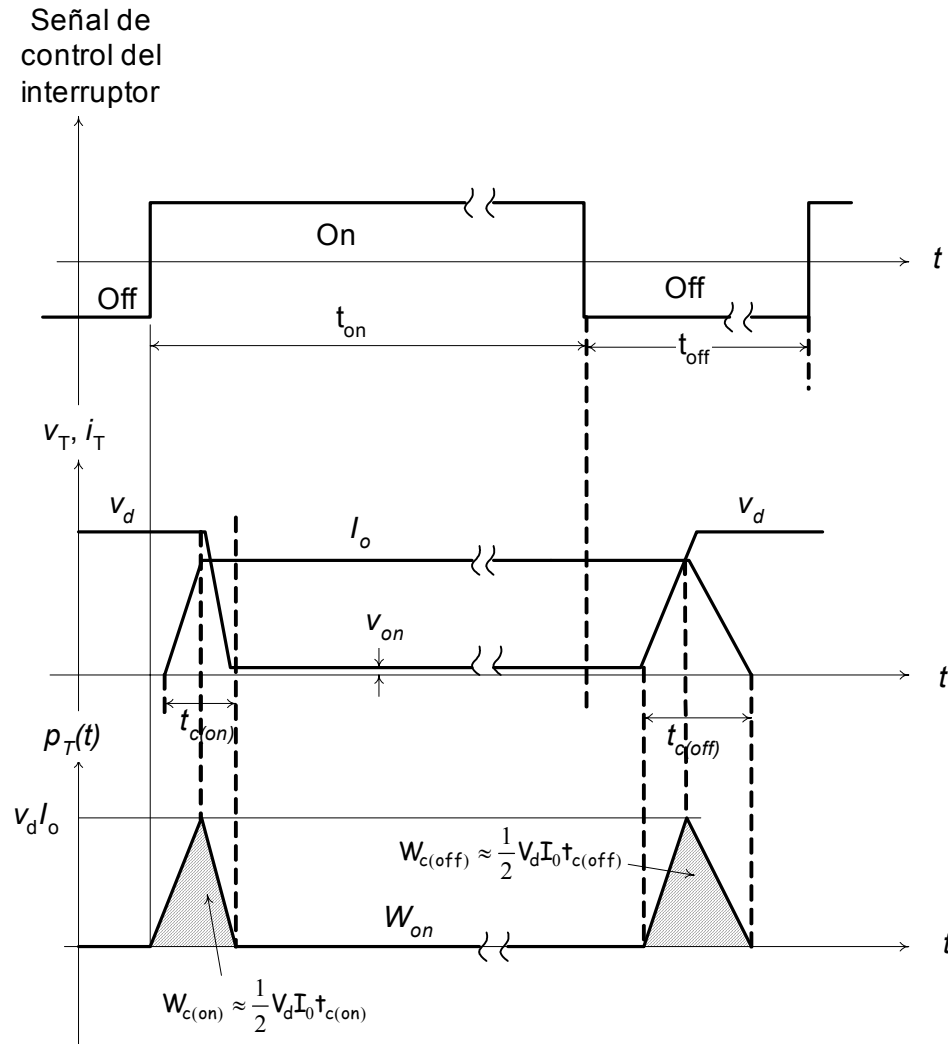
Cerrado = “ON”

Abierto = “OFF”

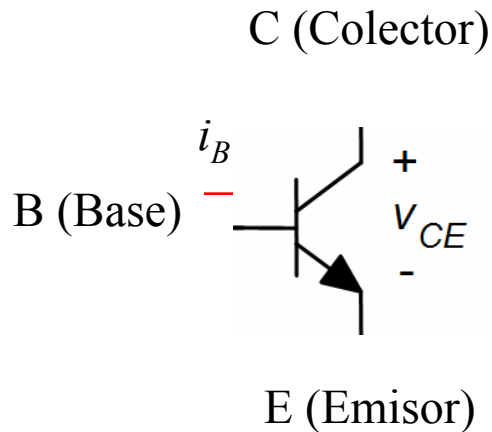
➤ Un interruptor ideal...

- Estado OFF \Rightarrow bloquear tensiones directas e inversas muy elevadas.
- Estado ON \Rightarrow conducir corrientes elevadas con caída de tensión nula.
- Conmutar entre ON y OFF de forma instantáneamente cuando se dispare.
- Disparar el interruptor con un consumo de potencia despreciable.

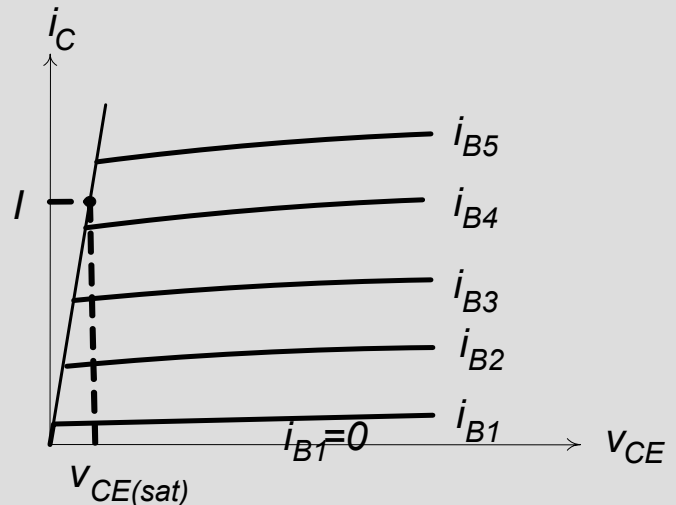
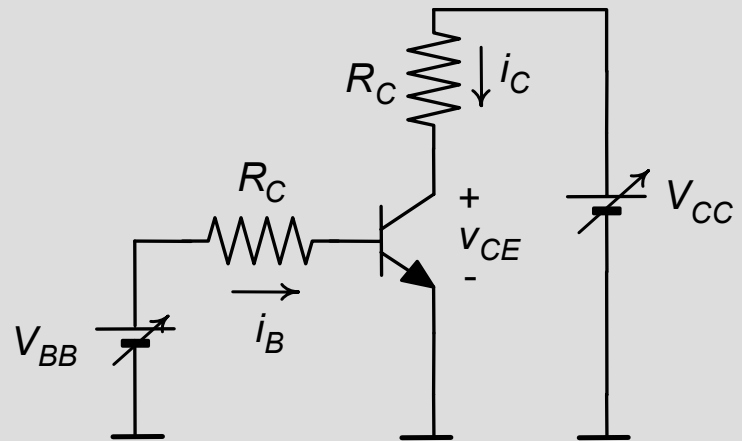
Disipación de potencia



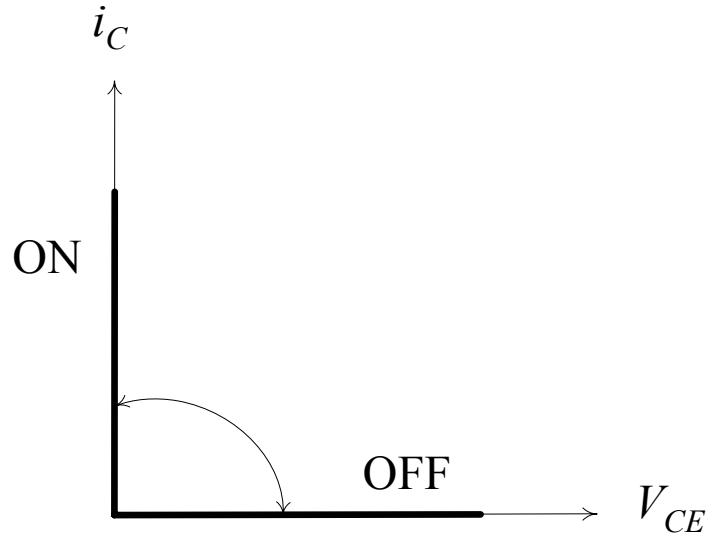
Transistor de unión bipolar (BJT)



➤ *Controlado por corriente de base: i_B*



El transistor en conmutación



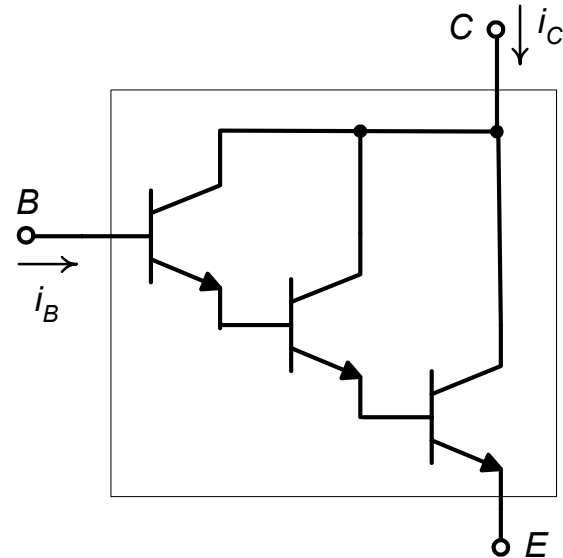
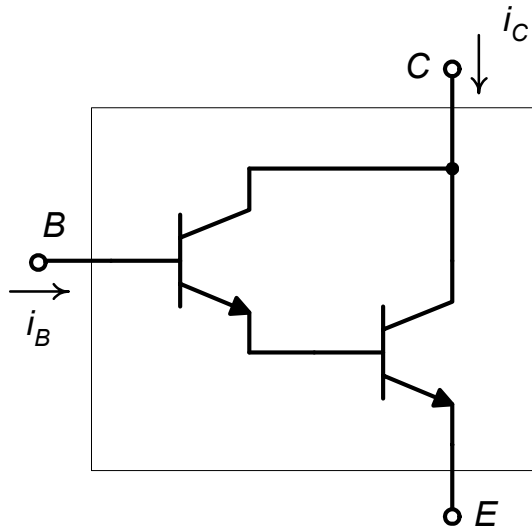
En el estado OFF $\Rightarrow I_B = 0$

En el estado ON $\Rightarrow V_{CE} = 0$

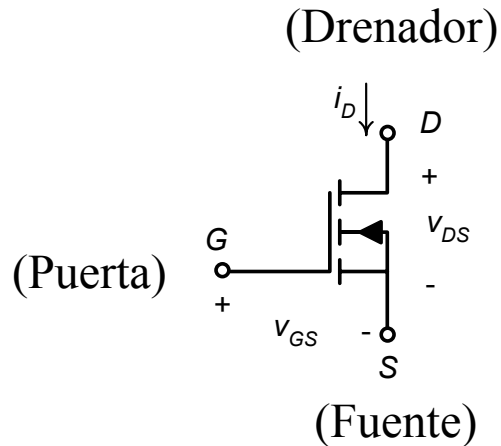
- Para llevar a ON el transistor: $I_B \succ \frac{I_C}{h_{FE}} \quad (h_{FE} = 5 \div 50)$

Configuraciones Darlington

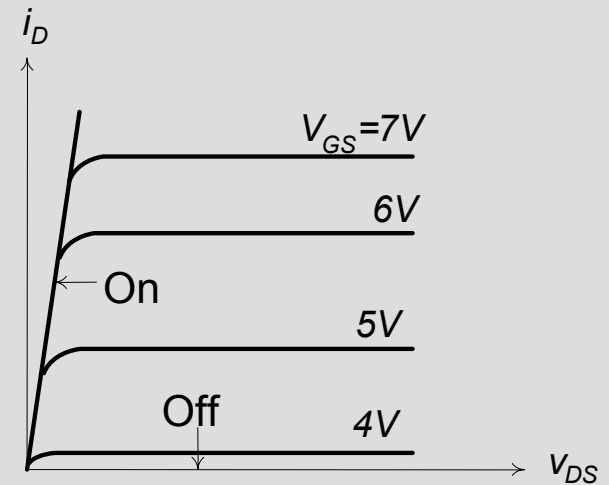
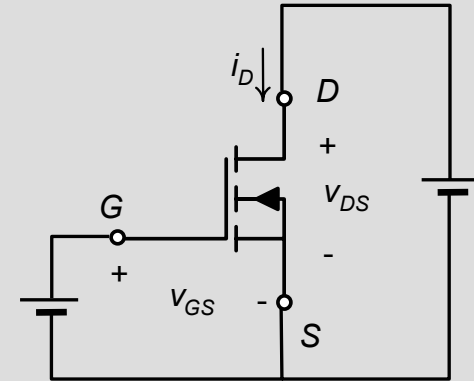
- h_{FE} mayor



MOSFET de potencia

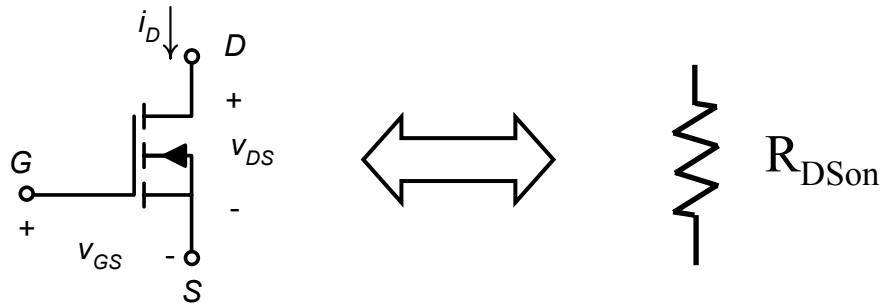


- **Controlado por tensión de puerta: v_{GS}**
- **Conduce si $v_{GS} > v_{GS \text{ (umbral)}}$**
(3 ÷ 5V)



Características de un MOSFET

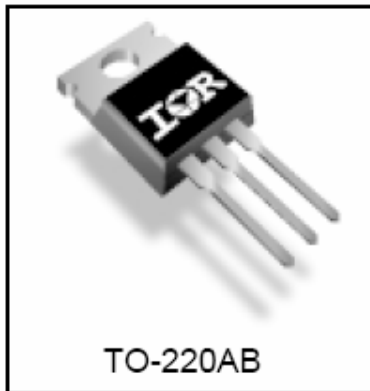
- Tensión de ruptura, V_{DS}
- Resistencia en conducción, R_{DSon}
- Corriente máxima, I_D



➤ *Cuanto menor es R_{DSon} mejor es el transistor*

Ejemplo de MOSFET de potencia

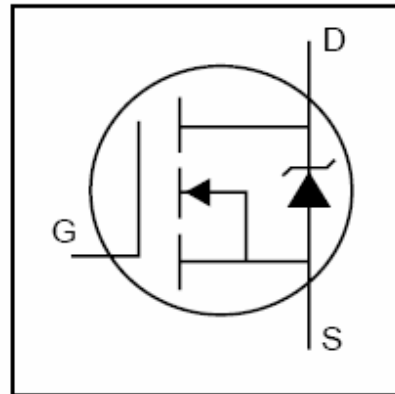
International
IR Rectifier



www.ir.com

IRF540N

HEXFET® Power MOSFET



$$V_{DSS} = 100V$$

$$R_{DS(on)} = 44m\Omega$$

$$I_D = 33A$$

Ejemplo de MOSFET de potencia

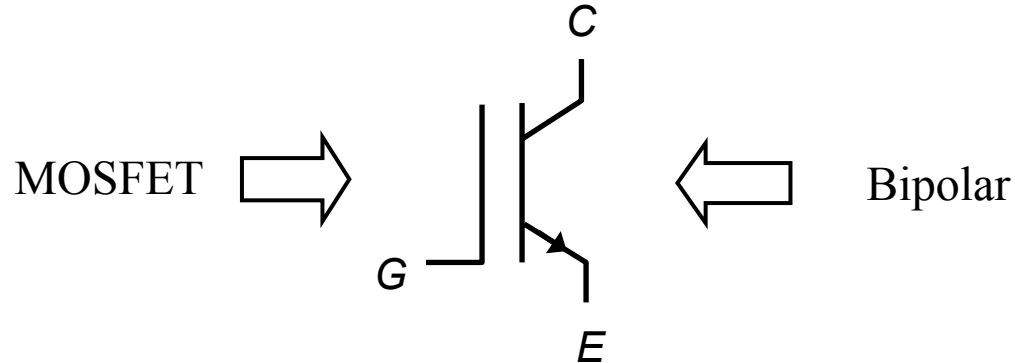
Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	33	A
$I_D @ T_C = 100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	23	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	110	
$P_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Power Dissipation	130	W
	Linear Derating Factor	0.87	W/ $^\circ\text{C}$
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
I_{AR}	Avalanche Current①	16	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy①	13	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	7.0	V/ns
T_J T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to + 175	$^\circ\text{C}$
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

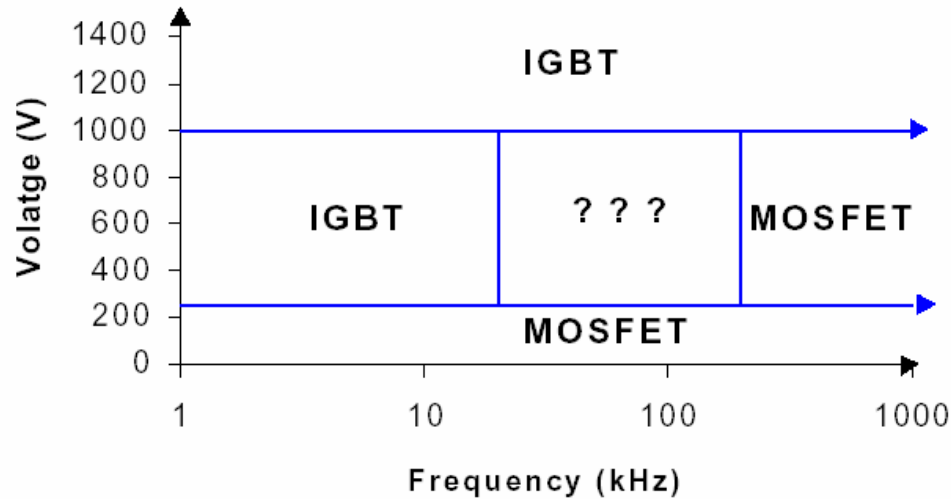
	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.15	$^\circ\text{C/W}$
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

Transistor bipolar de puerta aislada (IGBT)



- Se controlan por v_{GE} (como los MOSFET).
- Alta capacidad de manejar corriente (como los bipolares).
- En estado ON la tensión $V_{CE(ON)}$ es pequeña: $2 \div 3V$.
- Más rápidos que los BJT y menos que los MOSFET.

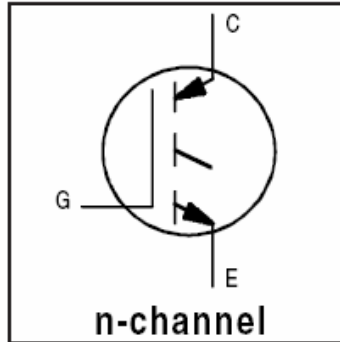
IGBT frente a MOSFET



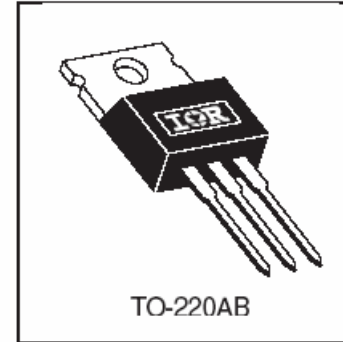
Aplicaciones típicas del IGBT

- Control de motores
- Sistemas de alimentación ininterrumpida
- Sistemas de soldadura
- Iluminación de baja potencia (<100 kHz)

Ejemplo: IRG4BC



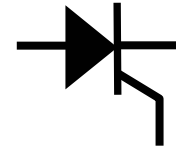
$V_{CES} = 600V$
 $V_{CE(on)} \text{ typ.} = 2.39V$
@ $V_{GE} = 15V, I_C = 5.0A$



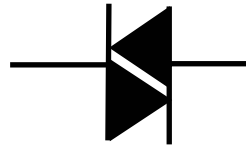
Parameter	Value
Package	TO-220AB
Circuit	DISCRETE
Switching Speed	ULTRAFAST 8-25 kHz
V_{CES} (V)	600
$V_{CE(ON)}$ (V)	2.62
I_C @ 25C (A)	9.0
I_C @ 100C (A)	5.0
P_D @25C	38
PbF - IGBT	PbF Option

8.4 Tiristores

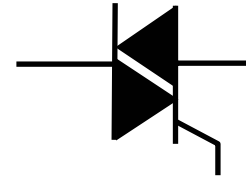
SCR (Silicon Controlled Rectifier)



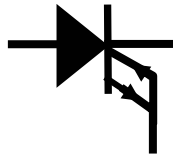
DIAC



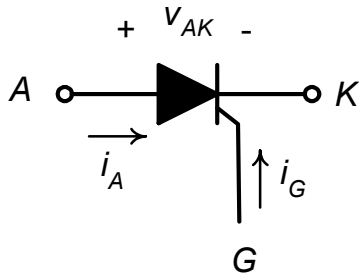
TRIAC



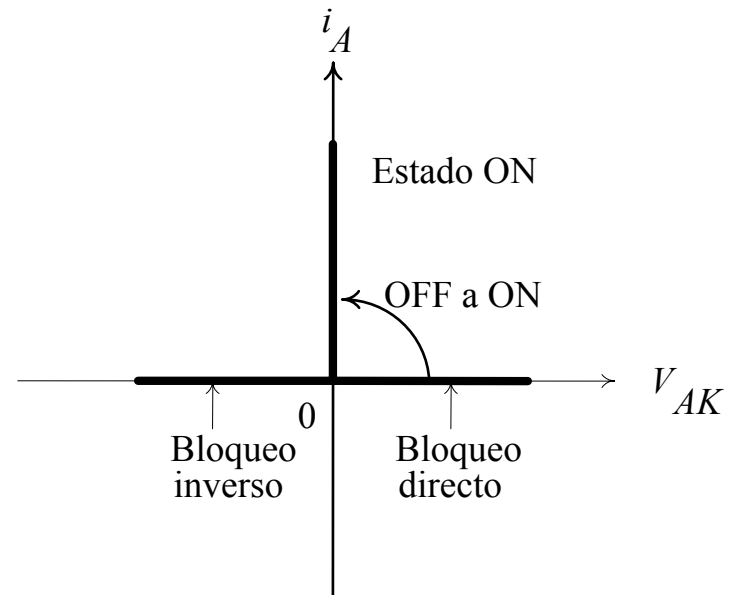
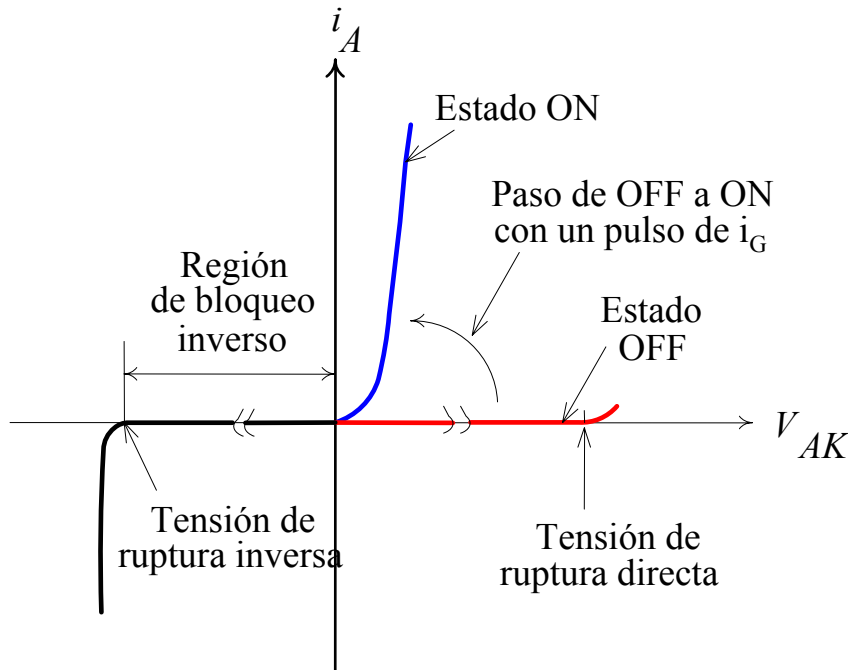
GTO



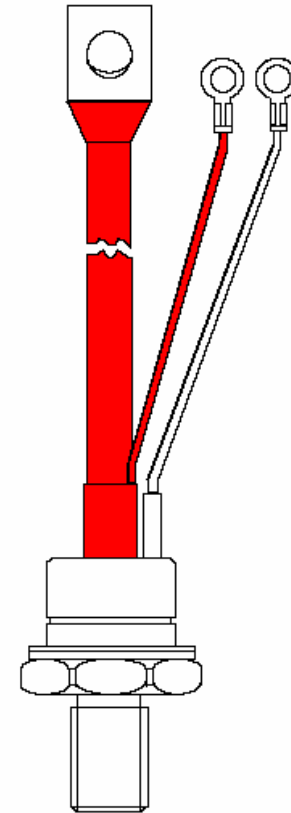
SCR



- Entra en conducción (ON) aplicando un pulso positivo de corriente de corta duración, i_G .
- Una vez que entra en conducción puede quitarse i_G
- Deja de conducir (OFF) cuando i_A se hace negativa



Encapsulados

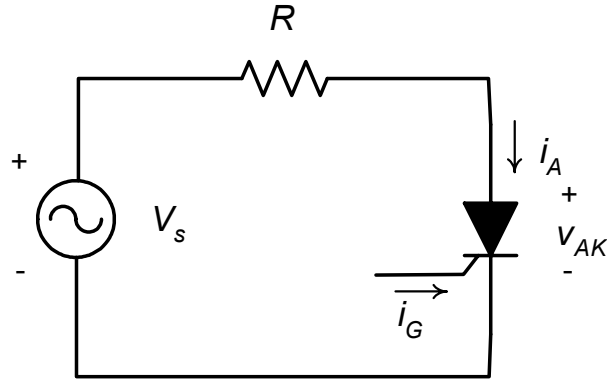


case style
TO-209AC (TO-94)

Principales parámetros

Parameters	ST083S	Units
$I_{T(AV)}$	85	A
@ T_C	85	°C
$I_{T(RMS)}$	135	A
I_{TSM} @ 50Hz	2450	A
@ 60Hz	2560	A
I^2t @ 50Hz	30	KA ² s
@ 60Hz	27	KA ² s
V_{DRM}/V_{RRM}	400 to 1200	V
t_q range (see table)	10 to 20	μs
T_J	- 40 to 125	°C

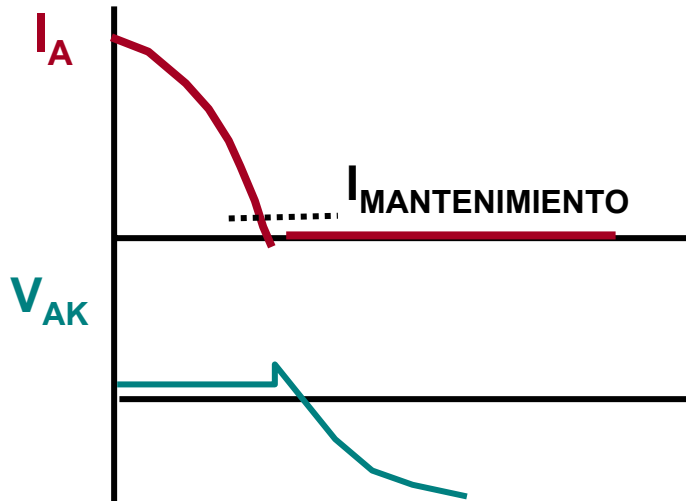
Disparo del tiristor



1. i_G superior a un cierto valor.
2. Hay que mantener el disparo hasta que i_A sobrepase un cierto valor (corriente de enclavameinto, *latching current*)
3. Un vez disparado, el SCR sigue conduciendo aunque no tenga i_G

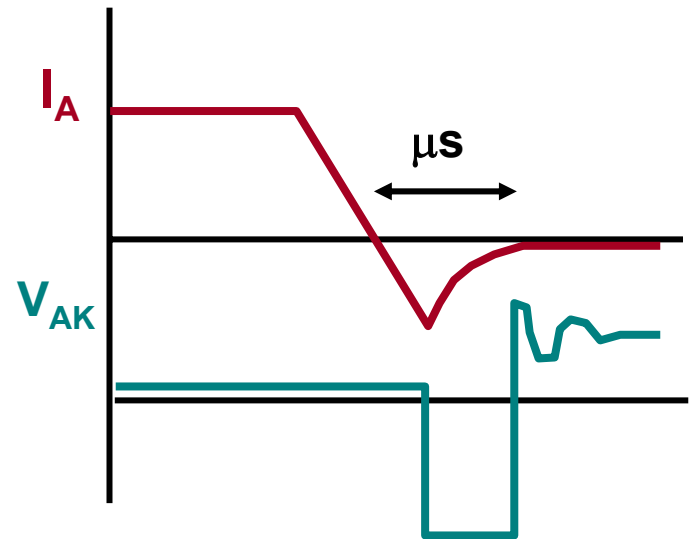
Apagado del tiristor

Apagado estático



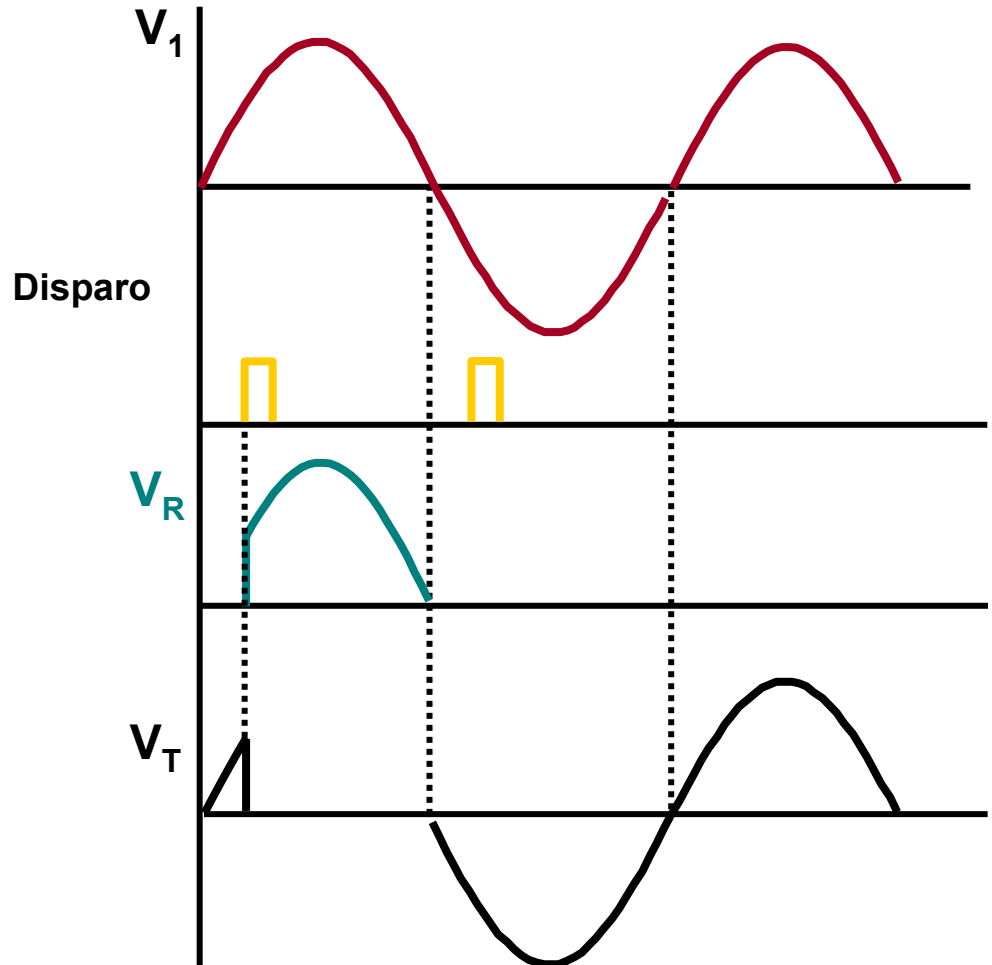
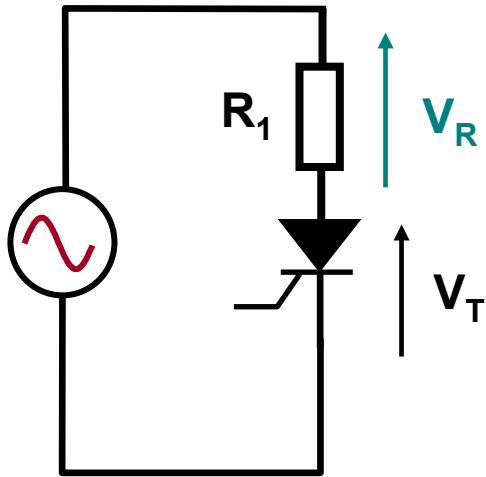
- Se apaga de forma natural cuando i_A baja por debajo de $I_{mantenimiento}$
- Aplicaciones de red (50 Hz)

Apagado dinámico

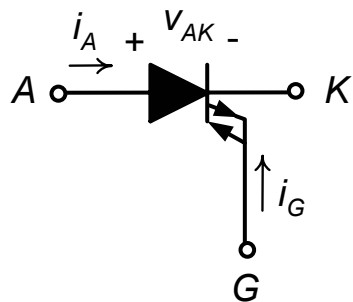


- El apagado se realiza de forma forzada por un circuito.
- Aplicaciones de f más alta (kHz)

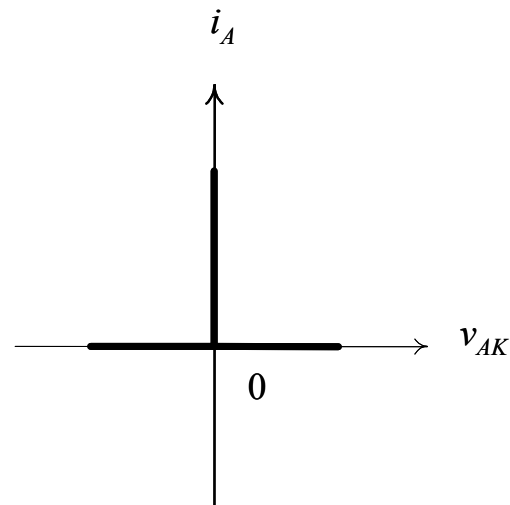
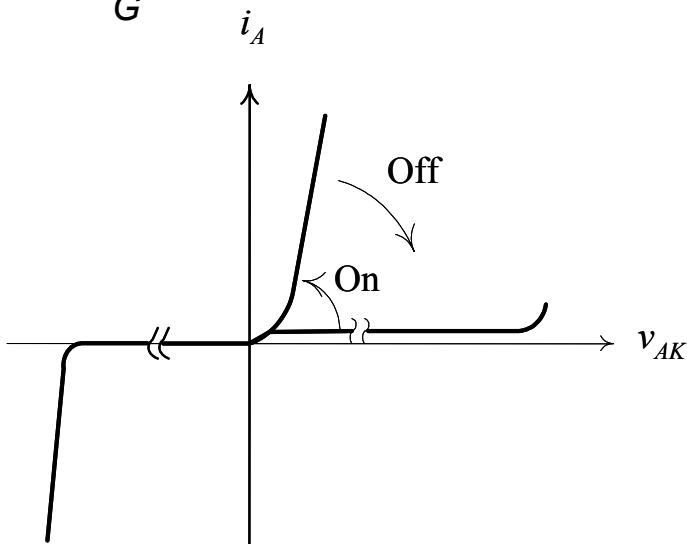
Ejemplo de aplicación



GTO (Tiristor de apagado por puerta)



- Se lleva a ON mediante un pulso de i_G de corta duración
- Se lleva a OFF aplicando una v_{GK} negativa



➤ *Adecuado para manejar elevadas tensiones y corrientes con frecuencias de conmutación entre pocos cientos de Hz a 10 kHz*

Ejemplo

APPLICATIONS

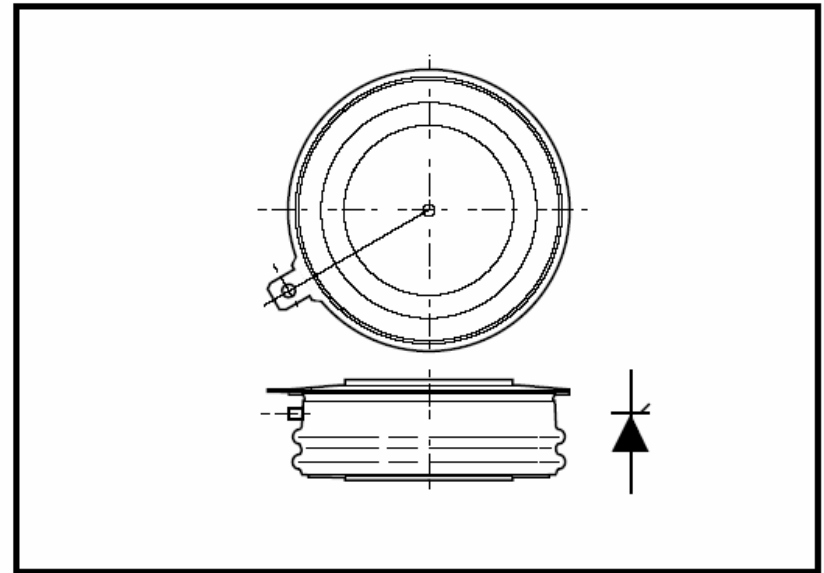
- Variable speed A.C. motor drive inverters (VSD-AC)
- Uninterruptable Power Supplies
- High Voltage Converters
- Choppers
- Welding
- Induction Heating
- DC/DC Converters

FEATURES

- Double Side Cooling
- High Reliability In Service
- High Voltage Capability
- Fault Protection Without Fuses
- High Surge Current Capability
- Turn-off Capability Allows Reduction In Equipment Size And Weight. Low Noise Emission Reduces Acoustic Cladding Necessary For Environmental Requirements

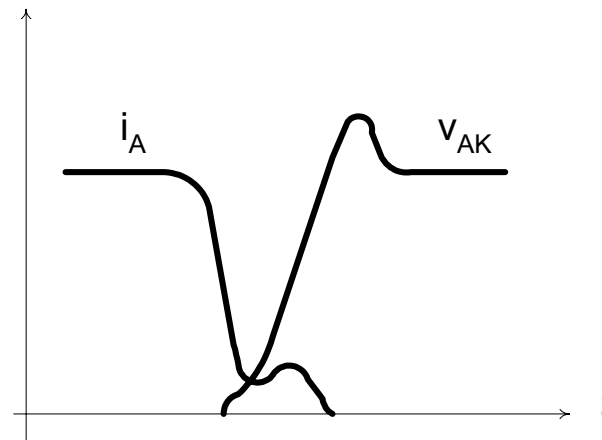
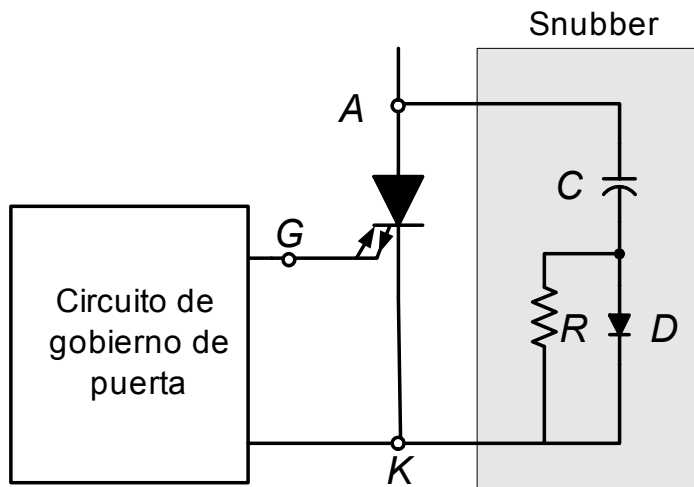
KEY PARAMETERS

I_{TCM}	700A
V_{DRM}	1300V
$I_{T(AV)}$	250A
dV_D/dt	500V/ μ s
di_T/dt	500A/ μ s

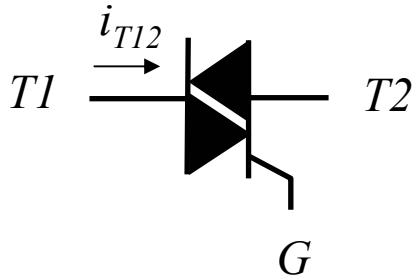


Conmutación a OFF de un GTO

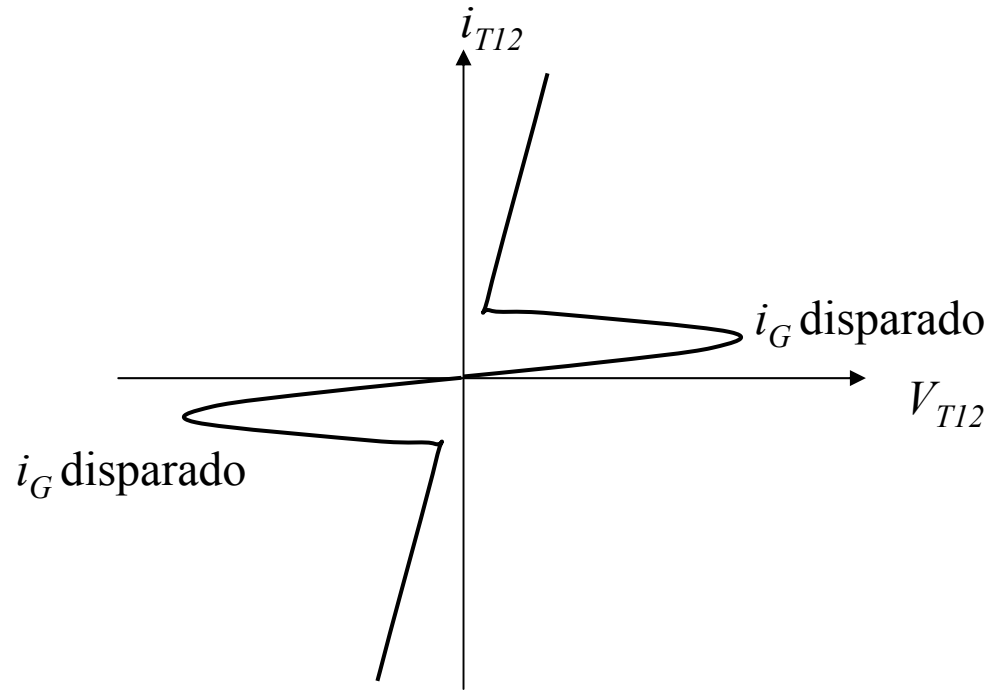
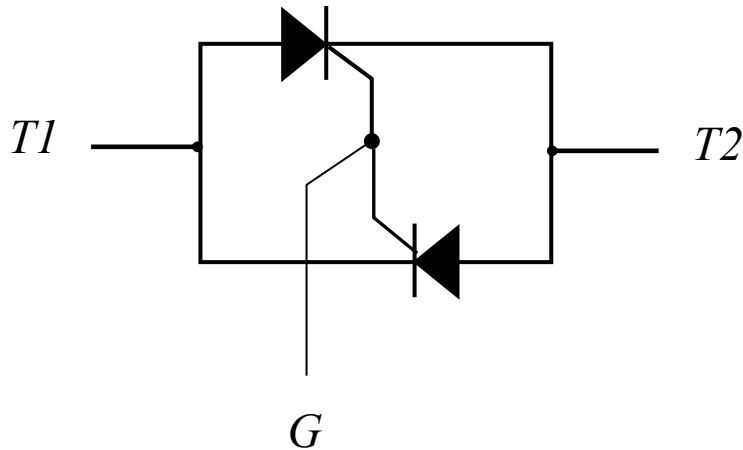
- Requieren un circuito (*snubber*) para reducir la dv/dt que se produce en el GTO en la conmutación a OFF.



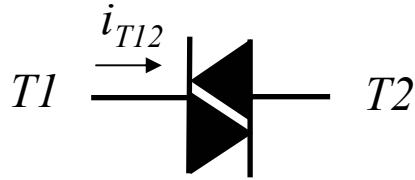
TRIAC



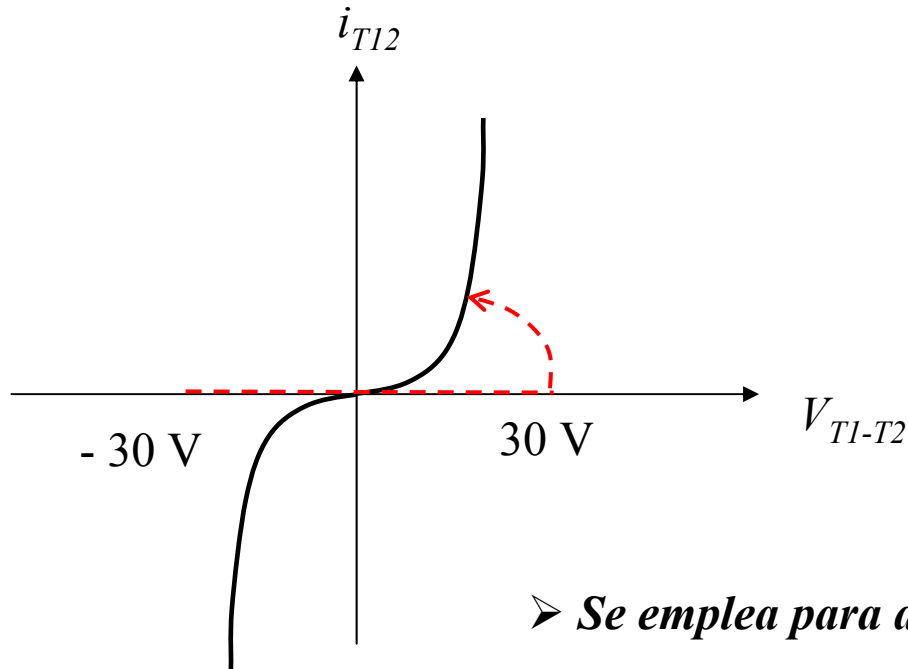
- Conduce en ambos sentidos (bidireccional).
- Se puede disparar con corrientes entrantes o salientes
- Aplicaciones de baja potencia



DIAC

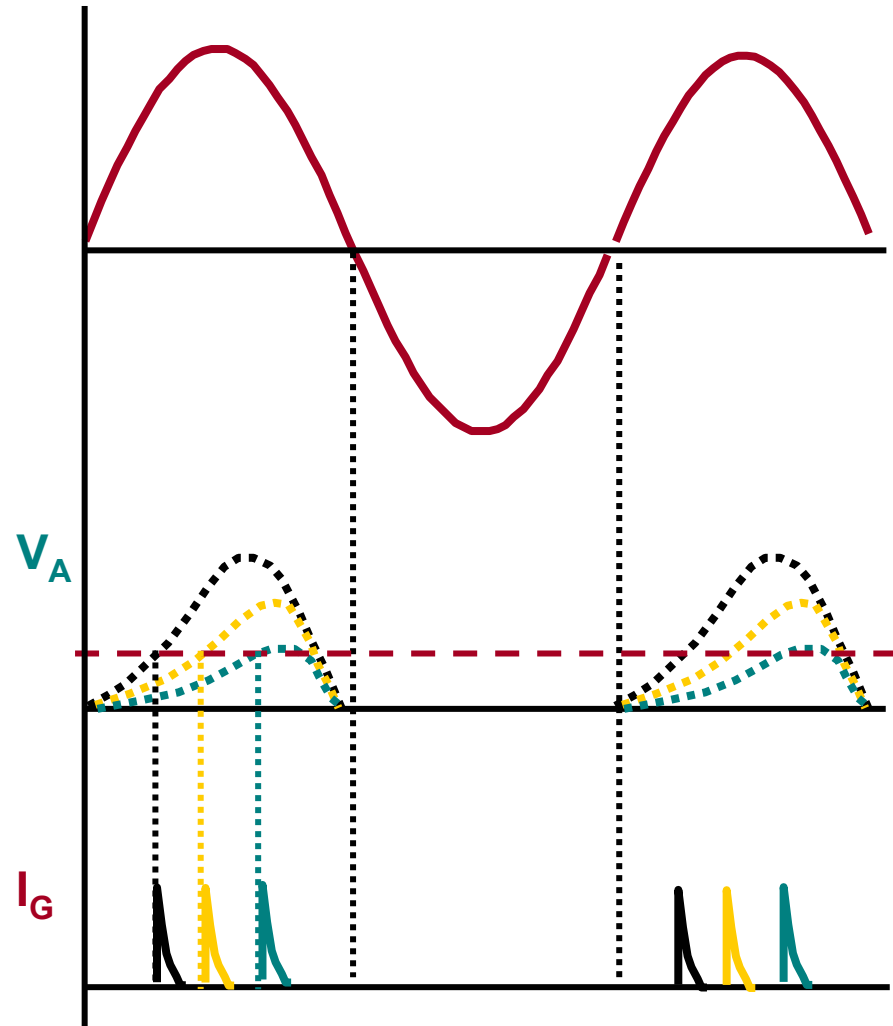
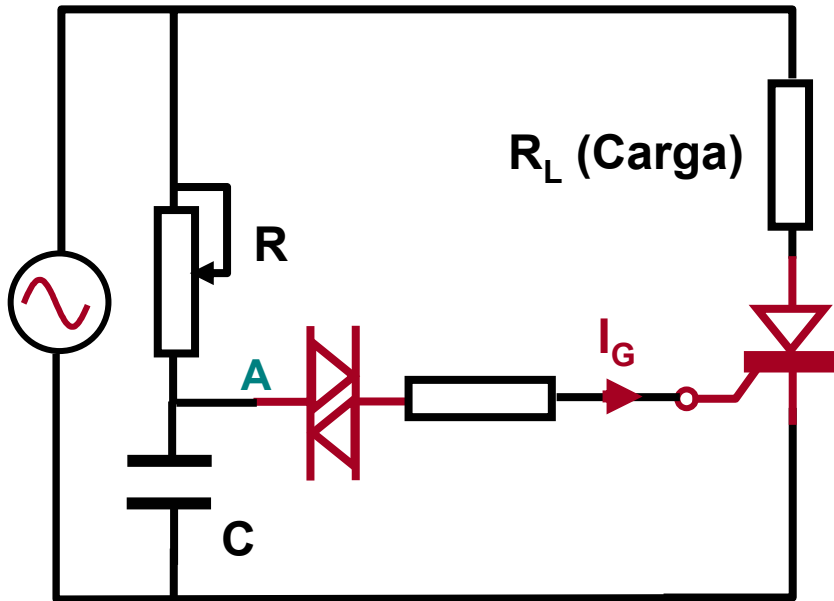


- No es un interruptor.
- Se dispara al sobrepasar una tensión característica.
- Se corta cuando la corriente pasa por cero.

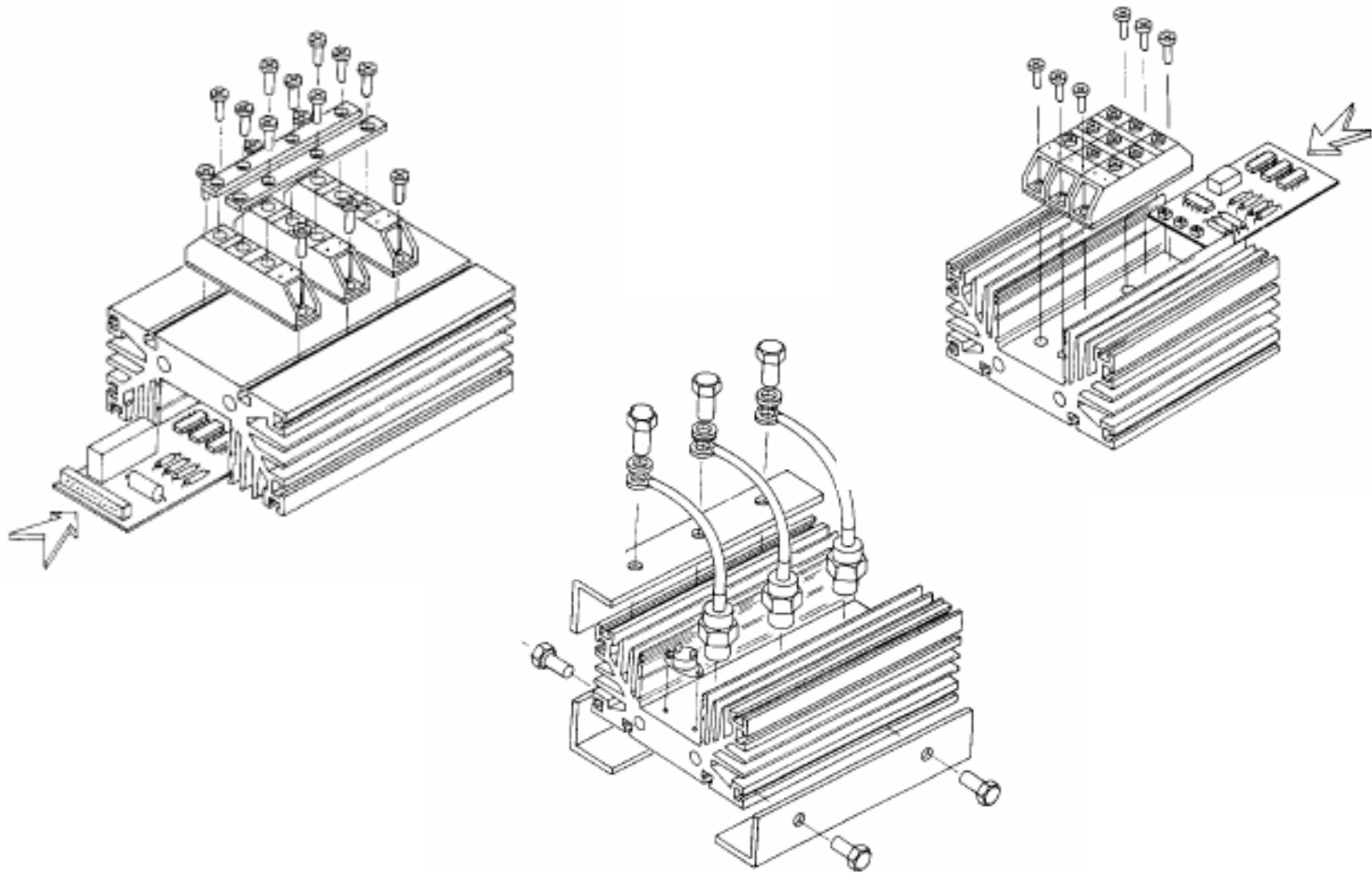


➤ *Se emplea para disparar tiristores*

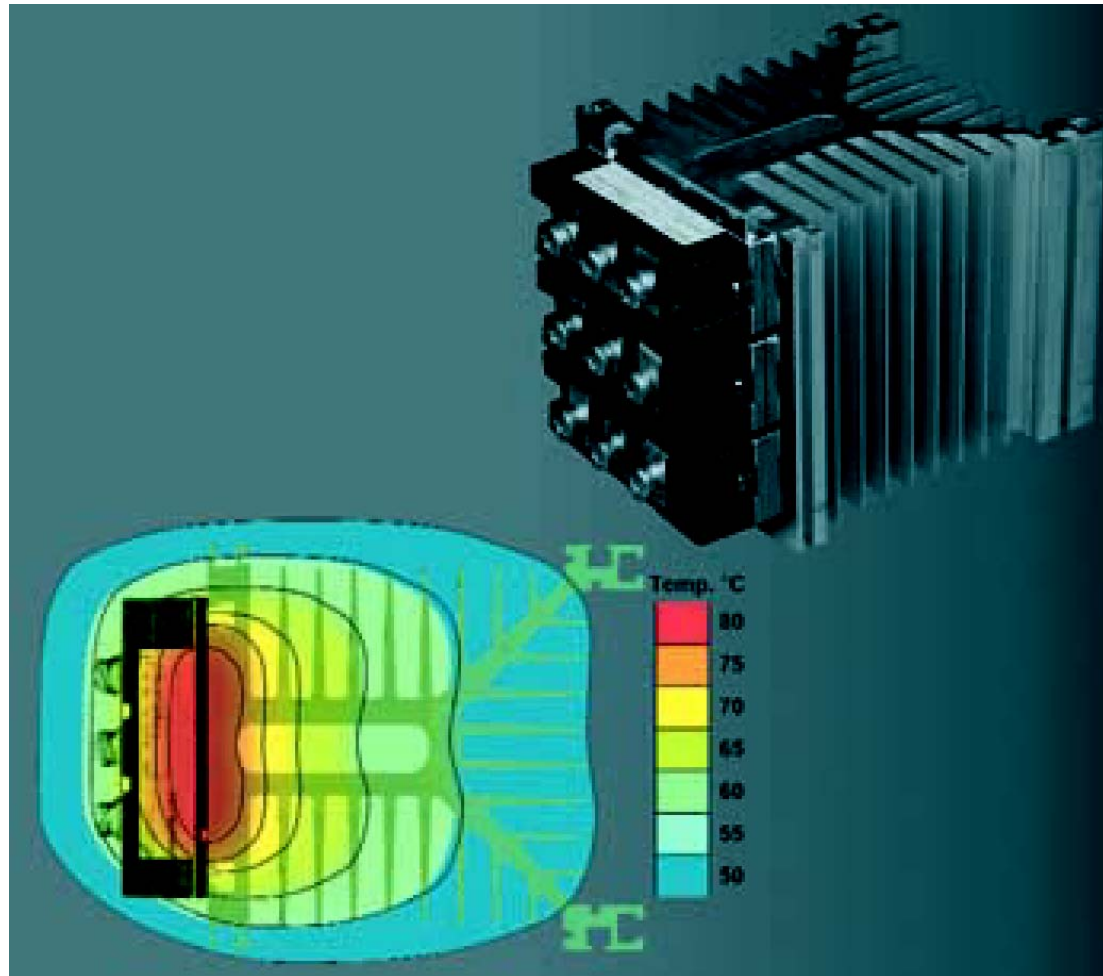
Disparo de tiristores



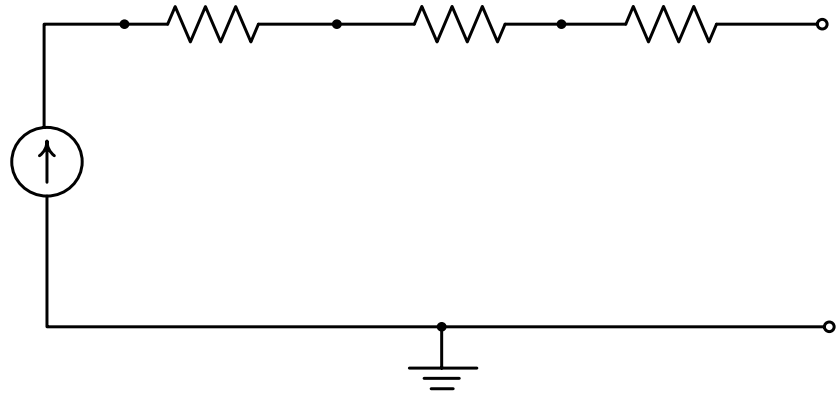
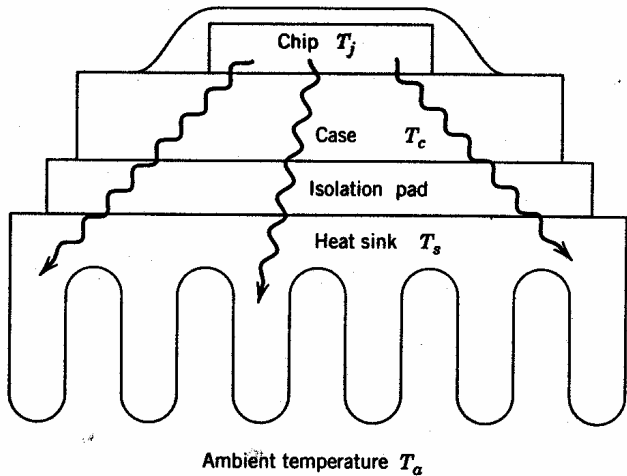
❖ Disipadores de calor



Importancia del diseño térmico



Transferencia de calor por conducción



$$T_j = T_a + P_d R_{\theta ja}$$

$$R_{\theta ja} = R_{\theta jc} + R_{\theta cd} + R_{\theta da}$$

T_j = Temperatura de la unión

T_a = Temperatura ambiente

P_d = Potencia media disipada por el dispositivo

$R_{\theta jc}$ = Resistencia térmica unión-carcasa, $^{\circ}\text{C}/\text{W}$

$R_{\theta cd}$ = Resistencia térmica carcasa-disipador

$R_{\theta da}$ = Resistencia térmica disipador-ambiente

Cálculo de disipadores de calor

▪ $R_{\theta ja}$ máxima:
$$R_{\theta ja} = \frac{T_{j,max} - T_{a,max}}{P_d}$$

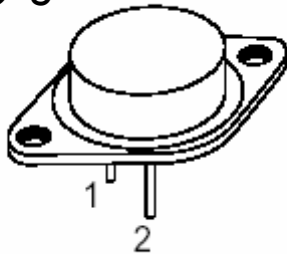
$$(R_{\theta jc} + R_{\theta cd} + R_{\theta da}) < R_{\theta ja} \Rightarrow R_{\theta da} < R_{\theta ja} - (R_{\theta jc} + R_{\theta cd})$$

Ejemplo

Transistor TO-3, $T_j = 125^\circ\text{C}$; $T_{a,max} = 55^\circ\text{C}$; $R_{\theta jc} = 0.9^\circ\text{C/W}$

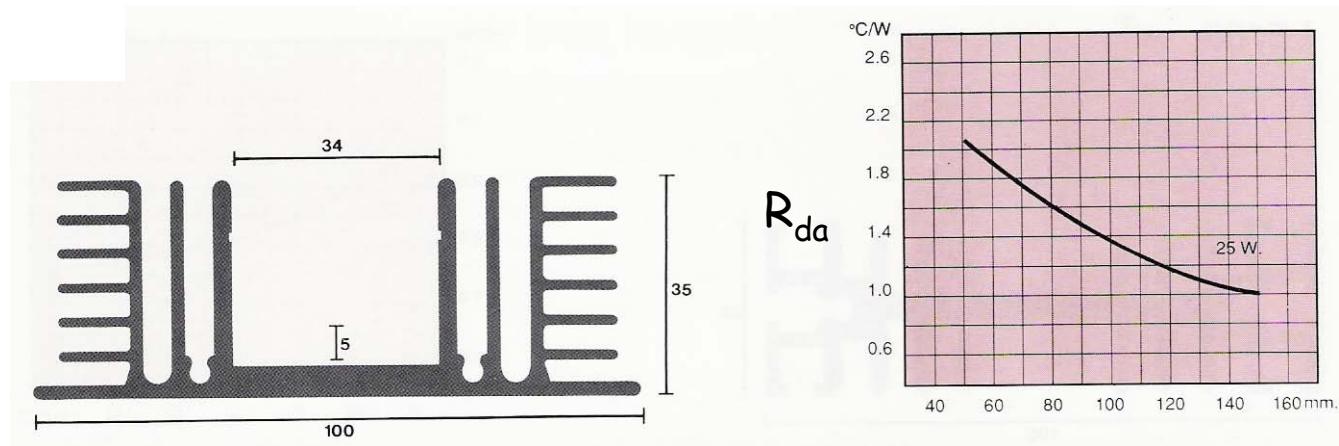
$R_{\theta cd} = 0.4^\circ\text{C/W}$ (lámina de mica)

TO-3



$$R_{\theta da} < \frac{125 - 55}{26} - (0.9 + 0.4) = 1.39^\circ\text{C/W}$$

Calculo de disipadores de calor



- Si no se puede alcanzar R_{da} se acude a un ventilador:

$$R_{da} \times F$$

F depende del régimen de funcionamiento m^3/h o $\text{l}/\text{seg.}$ de aire que desplaza

Factores de corrección

Tipo contenedor		Contacto directo sin mica	Contacto directo más pasta de silicona	Contacto con mica	Contacto con mica más pasta de silicona
N. 1	TO.39 TO.5	1	0,7	—	—
N. 2	TO.126	1,4	1	2	1,5
N. 3	TO.220	0,8	0,5	1,4	1,2
N. 4	TO.202	0,8	0,5	1,4	1,2
N. 5	TO.152	0,8	0,5	1,4	1,2
N. 6	TO.90	0,5	0,3	1,2	0,9
N. 7	TO.3 plástico	0,4	0,2	1	0,7
N. 8-9	TO.59	1,2	0,7	2,1	1,5
N. 10	TO.117	2	1,7	—	—
N. 11	SOT.48	1,8	1,5	—	—
N. 12-13	DIA.4L	1,1	0,7	—	—
N. 14	TO.66	1,1	0,65	1,8	1,4
N. 15	TO.3	0,25	0,12	0,8	0,4