

# BLOQUE 4

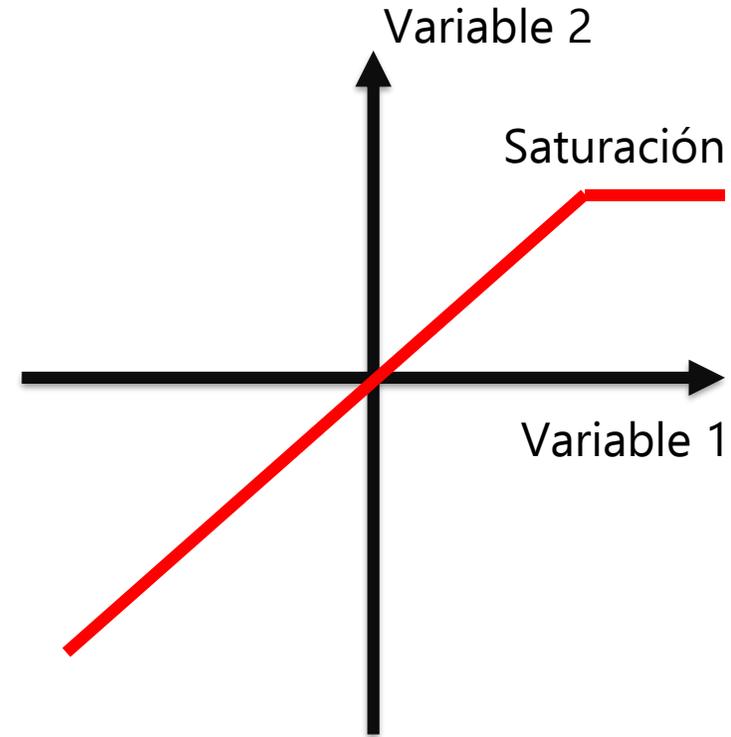
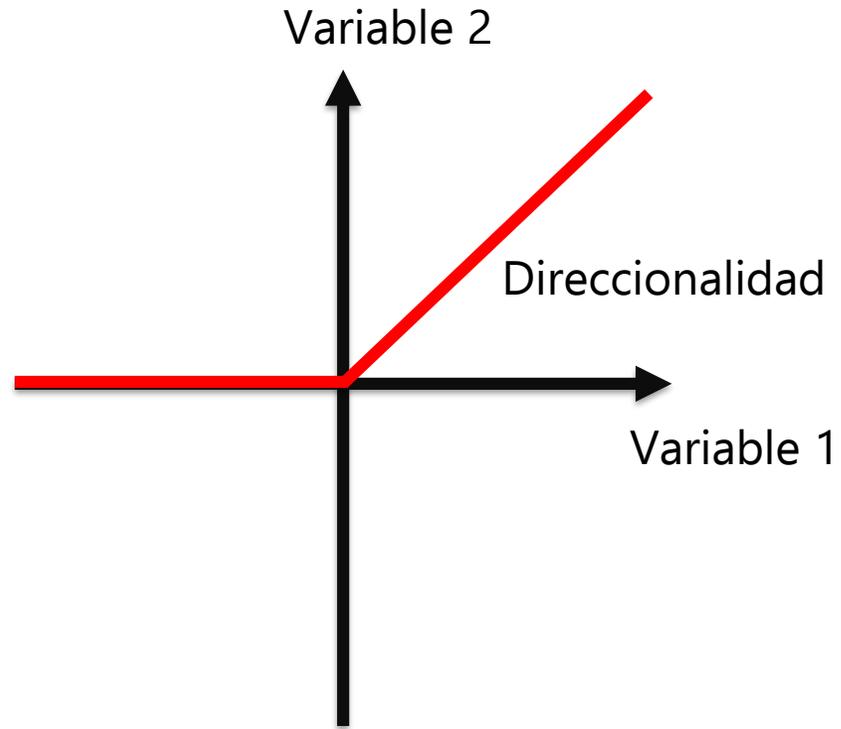
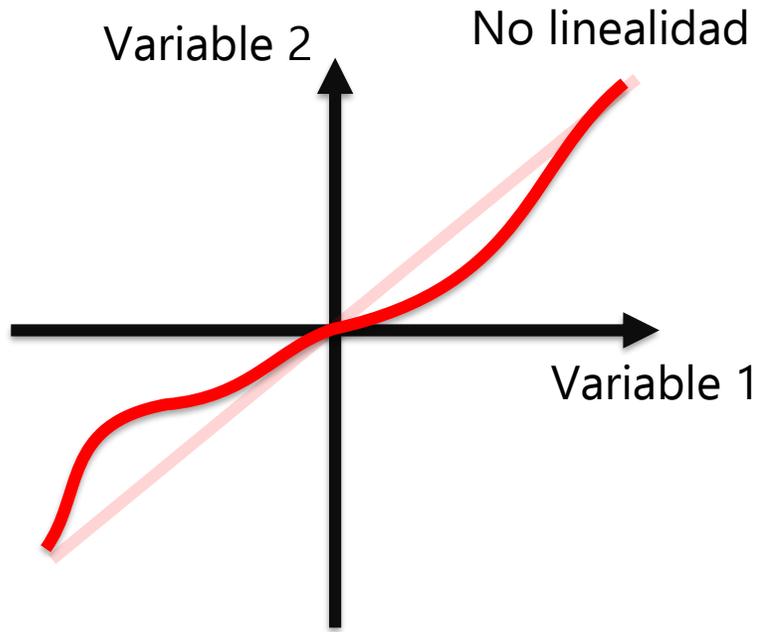
## ELEMENTOS NO LINEALES



LABORATORIO 3  
1er cuatrimestre 2025

Los elementos no lineales  
dan lugar a otro tipo de dinámica.

# Elementos no lineales # Posibilidades



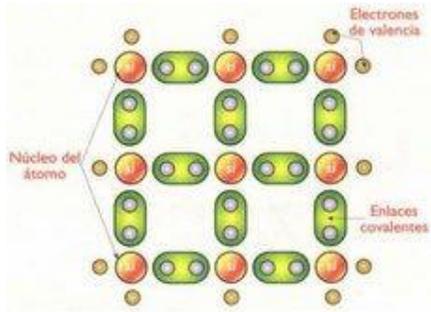


# Diodo semiconductor: principio de funcionamiento

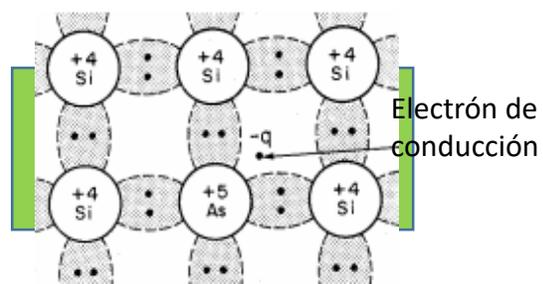
- Semiconductores de Si extrínsecos tipo **p** y tipo **n**



Dopantes

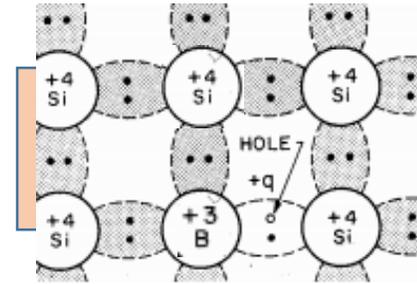


Silicio



Tipo **N**

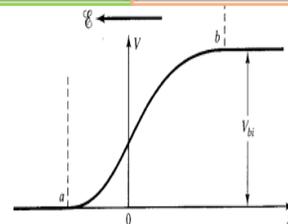
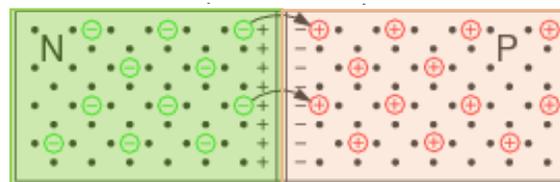
El material es neutro



Tipo **P**

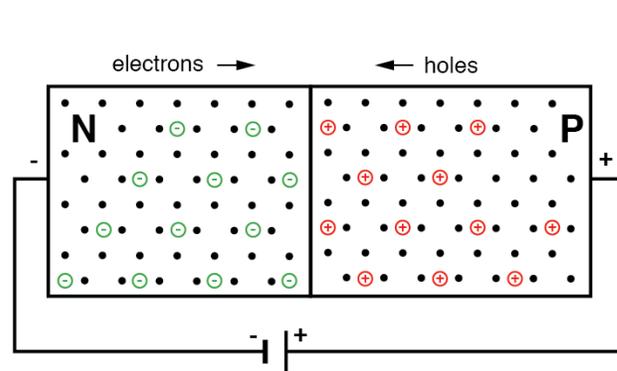
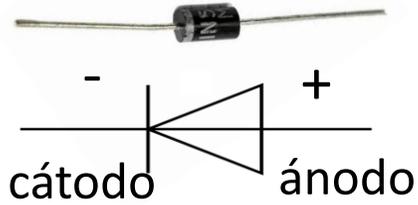
- Juntura PN

Zona de agotamiento o depleción

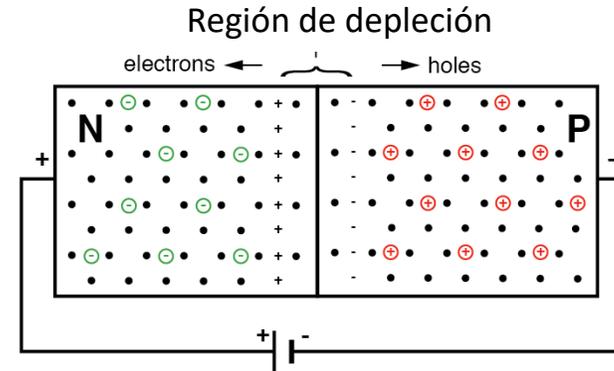


1	2											18	19	20			
H	He											Ar	Kr	Xe			
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar		
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt									
												p		n			

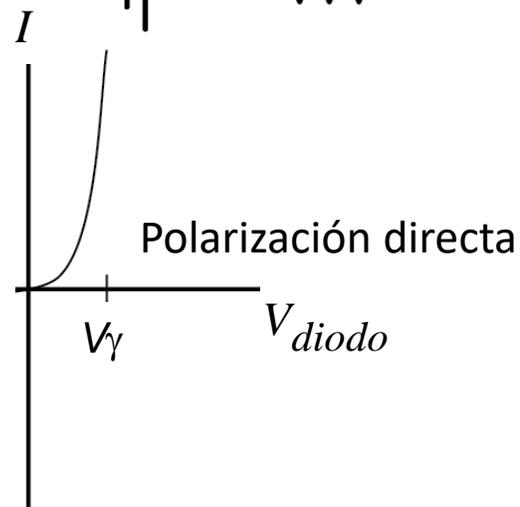
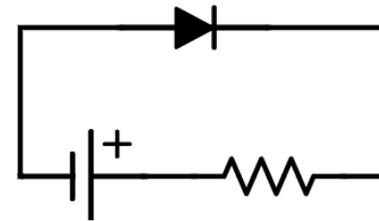
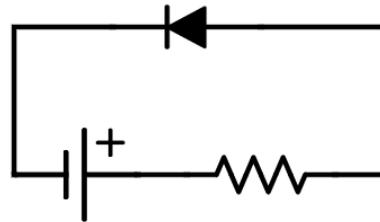
# Diodo semiconductor: principio de funcionamiento



Polarización directa



Polarización inversa



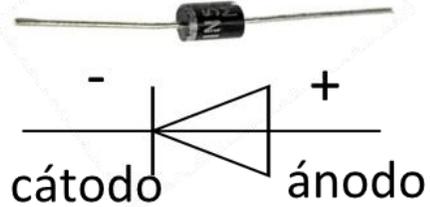
$V_\gamma$  **tensión umbral o de codo**

Tensión a partir de la cual la corriente empieza a incrementarse rápidamente.

Diodo de silicio  $V_\gamma \sim 0.7 \text{ V}$

# Diodo semiconductor: principio de funcionamiento

Diodo rectificador



$$I = I_0 * (e^{V/\eta V_T} - 1)$$

**Ecuación del diodo de Schockley**

$$I_0 \sim 10^{-12} \text{ A}$$

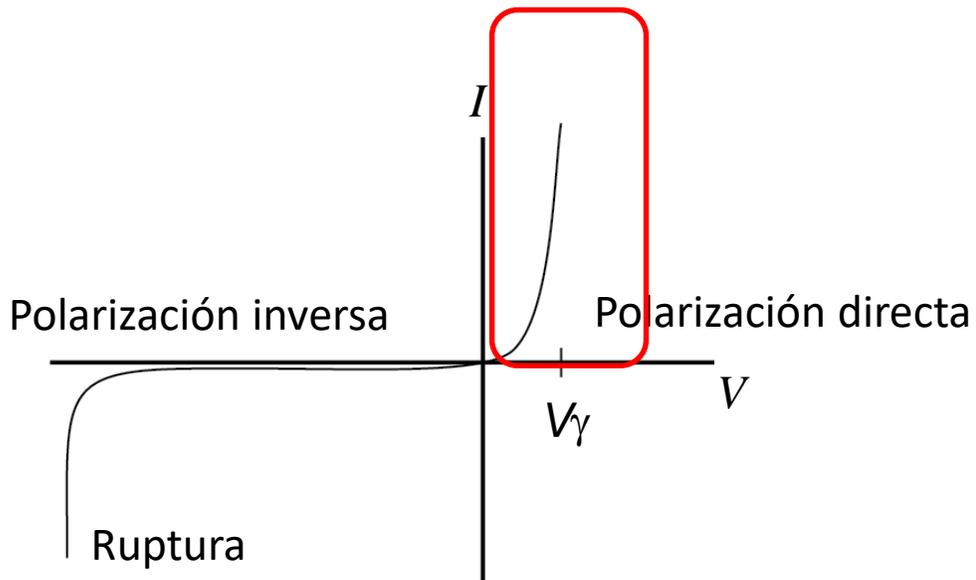
Corriente de saturación

$$V_T \sim 25 \text{ mV}$$

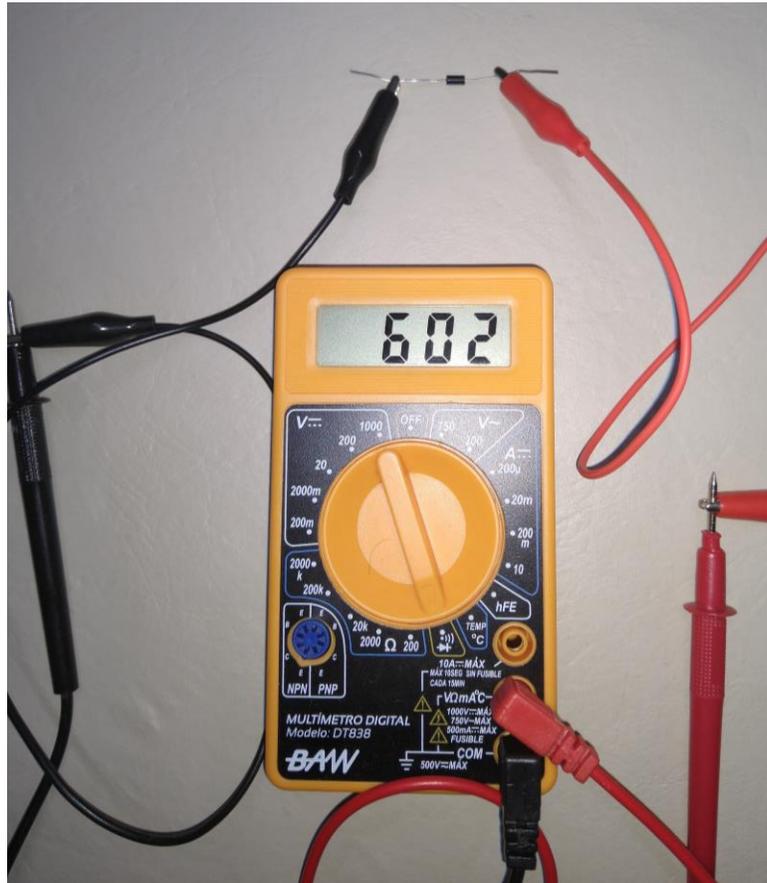
Tensión térmica  $\propto T$

$$\eta = 1 \text{ (Ge) o } 2 \text{ (Si)}$$

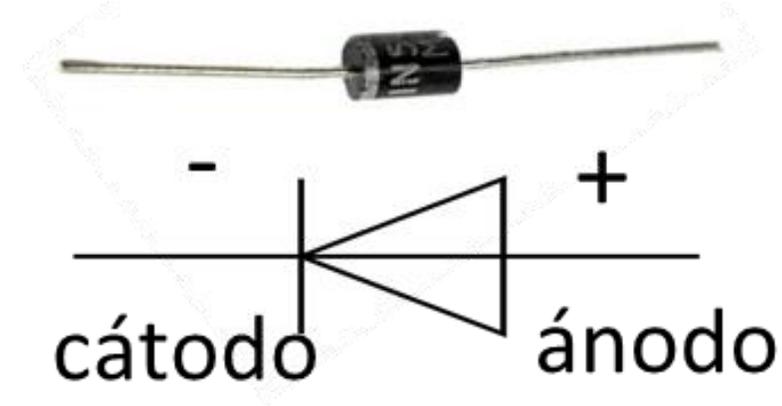
Coefficiente dependiente del material



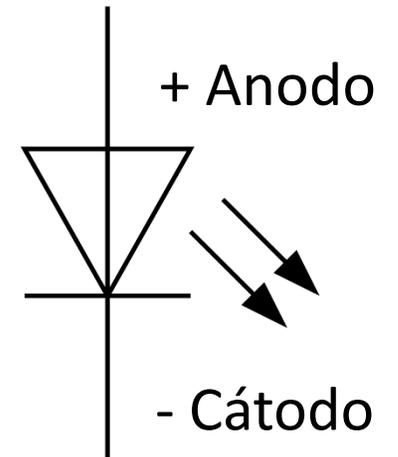
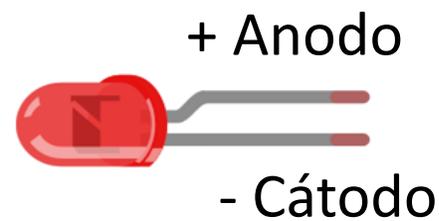
# ¿Cómo determinar el cátodo y el ánodo de un diodo?



Diodo rectificador de Si

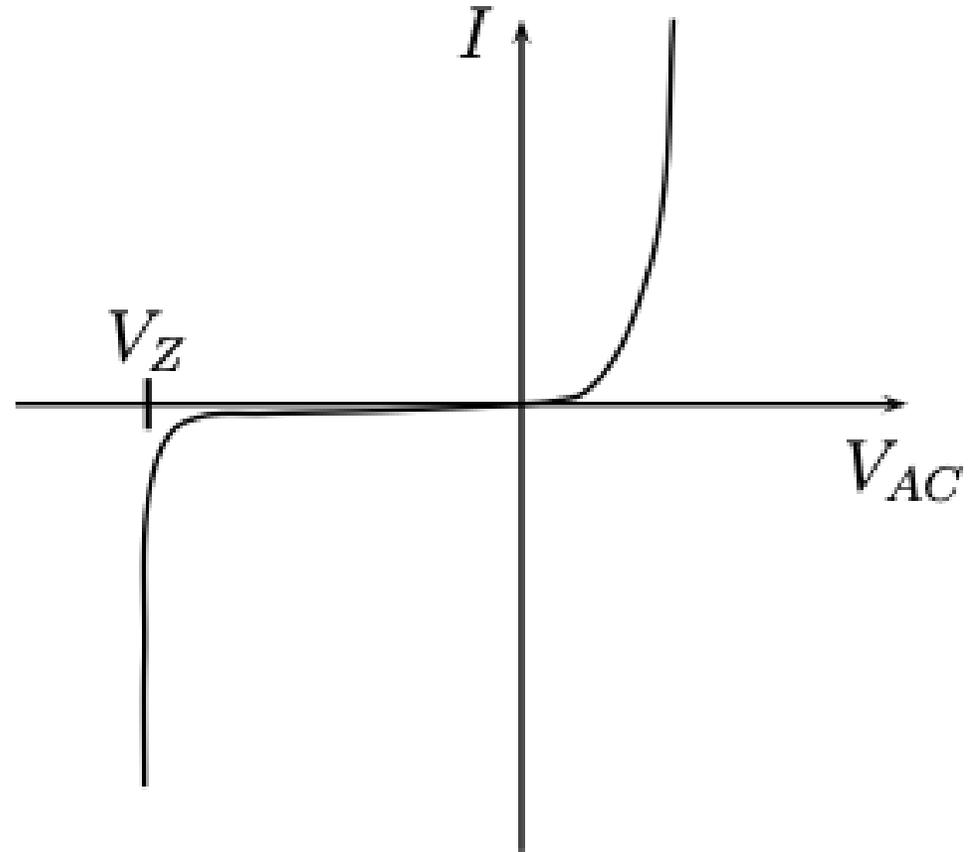
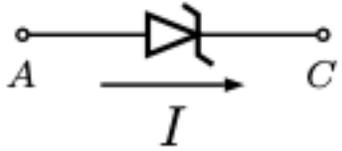


Light Emitting Diode (LED)



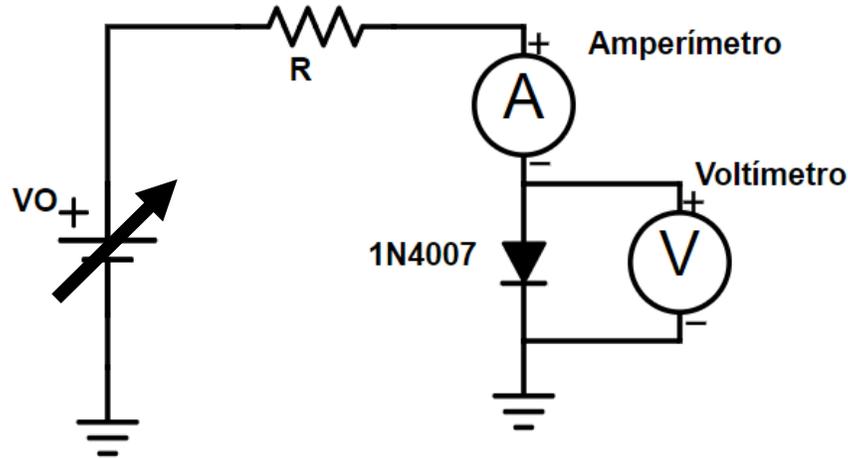
# Diodo Zenner #

Elementos eléctricos no lineales

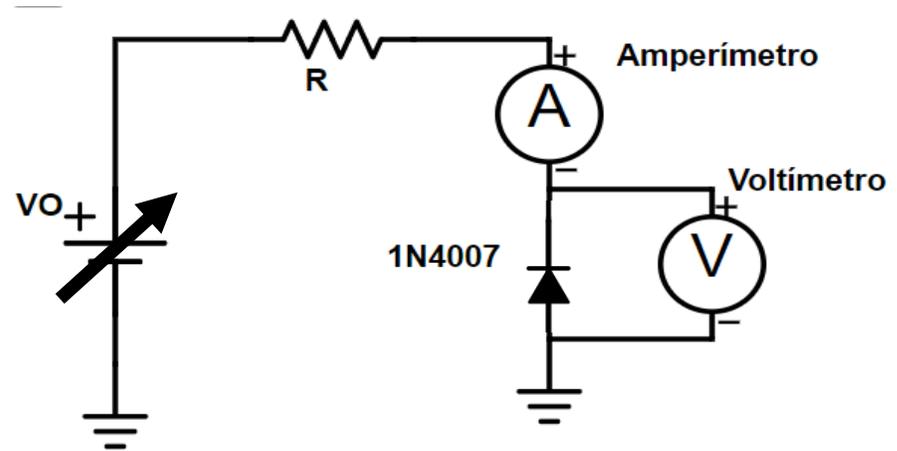


# Estudio de la curva $I$ vs $V$ de elementos no lineales:

## ❖ Diodos rectificadores



Medición con el diodo en directa



Medición con el diodo en inversa

Corriente máxima del diodo en directa  $I_{md} = 1 \text{ A}$

¿Cuál es el valor de  $R$ ?

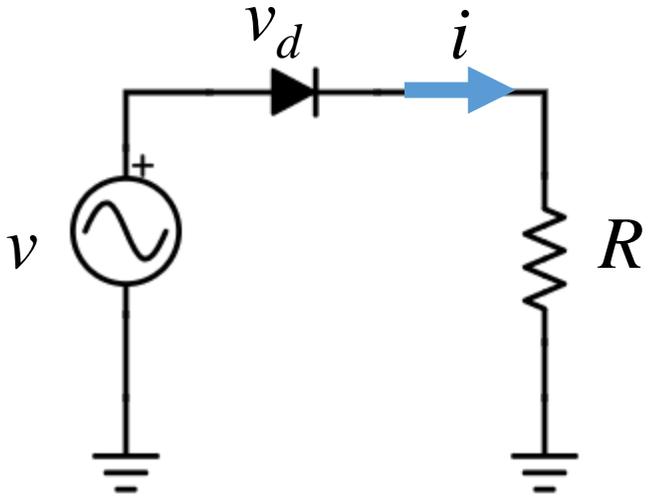
¿Cuál es la potencia máxima de  $R$ ?

¿Se puede medir con un generador y un osciloscopio?

# Actividades propuestas

- 1. Leer la hoja de datos de los elementos a utilizar**
- 2. Medir las curvas IV de alguno de los elementos**
- 3. Comparar la curva IV con los datos de la hoja de datos**  
(cuando esté disponible)

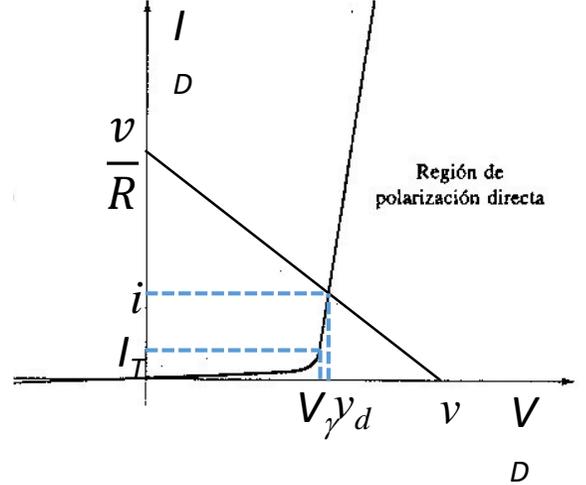
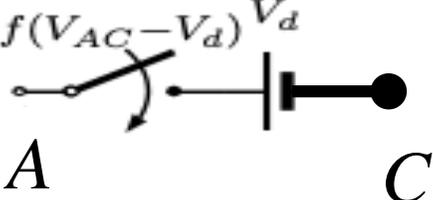
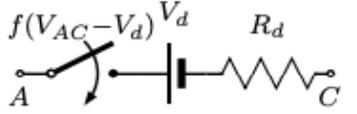
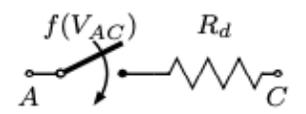
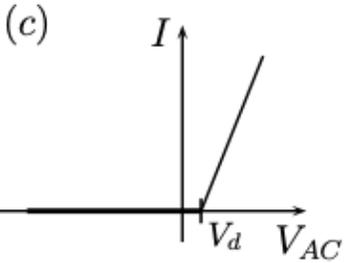
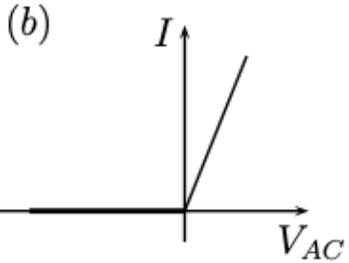
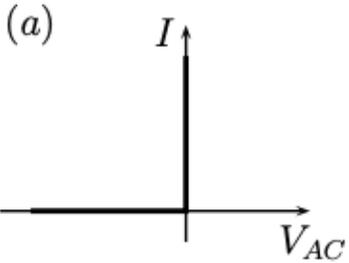
# Diodo en circuitos AC



$$v(t) = V_0 \sin \omega t$$

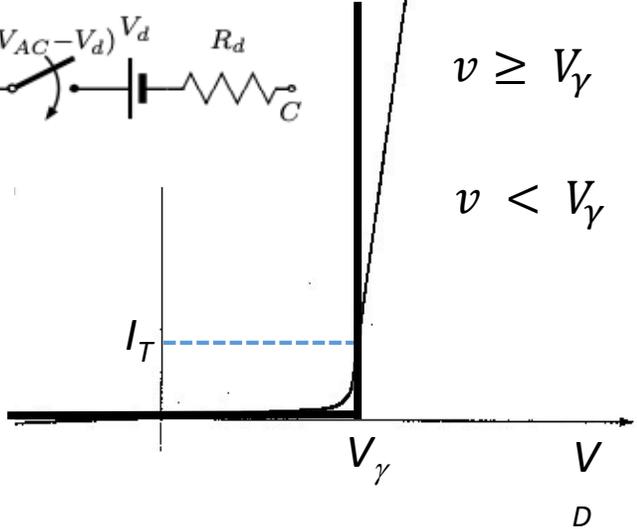
$$v = v_d + iR$$

$$v_d = v - iR$$

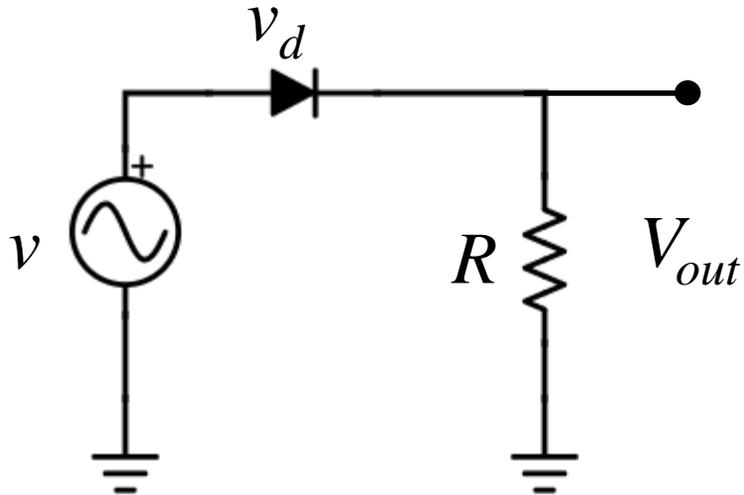


$v \geq V_\gamma$        $v_d = V_\gamma$

$v < V_\gamma$        $i_d = 0$   
Circuito abierto



# Diodo en circuitos AC

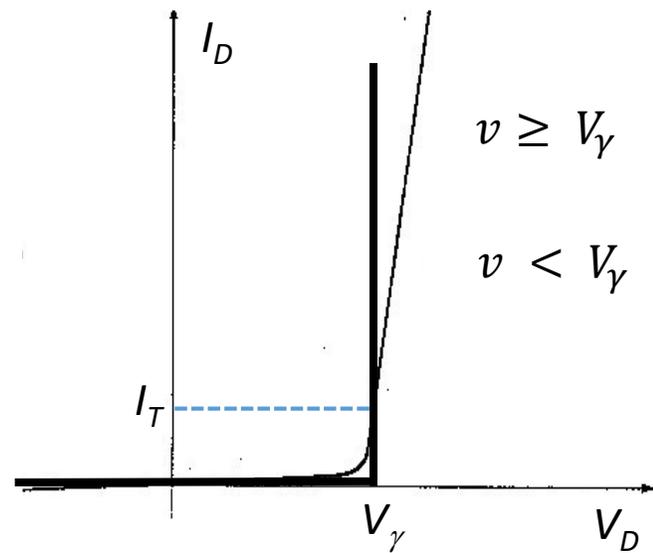


$$v(t) = V_0 \sin \omega t$$

$$v = v_d + iR$$

$$V_{out} = iR = v - v_d$$

$$v \geq V_\gamma \quad V_{out} = v - V_\gamma \quad v < V_\gamma \quad V_{out} = 0$$

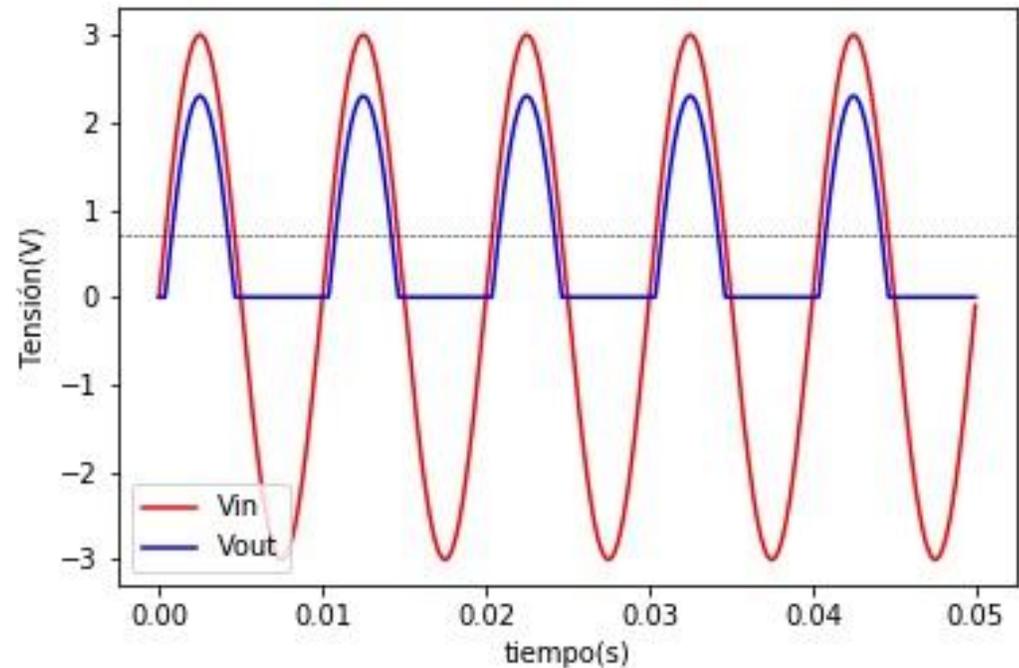


$$v \geq V_\gamma$$

$$v_d = V_\gamma$$

$$v < V_\gamma$$

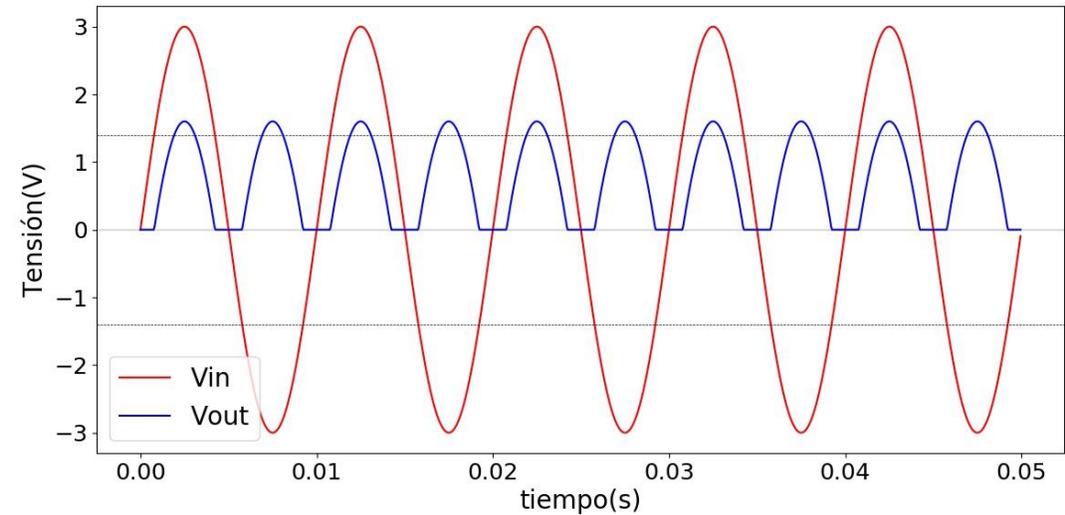
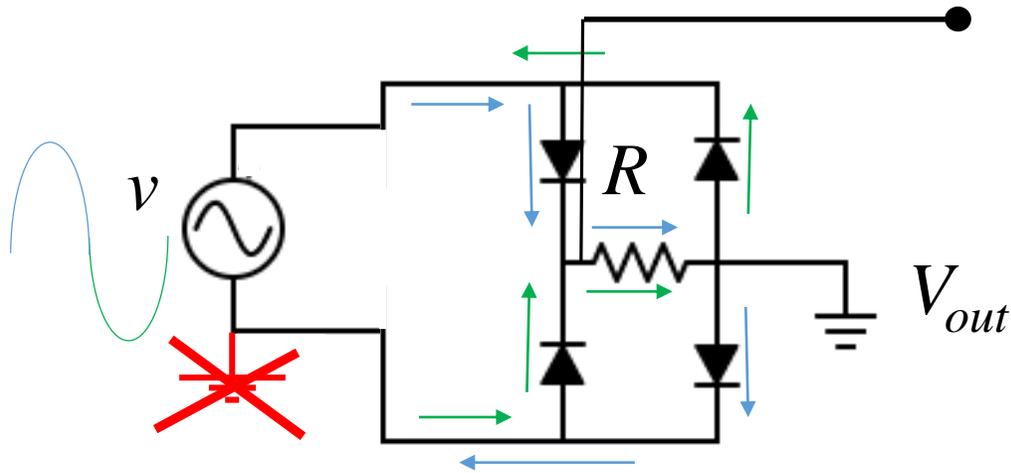
$$i_d = 0$$



# Rectificador de onda completa

Circuito puente de diodos

$$\begin{aligned} v \geq 2V_\gamma & \quad V_{out} = v - 2V_\gamma \\ -2V_\gamma \leq v \leq 2V_\gamma & \quad V_{out} = 0 \\ v \leq -2V_\gamma & \quad V_{out} = -(v + 2V_\gamma) \end{aligned}$$

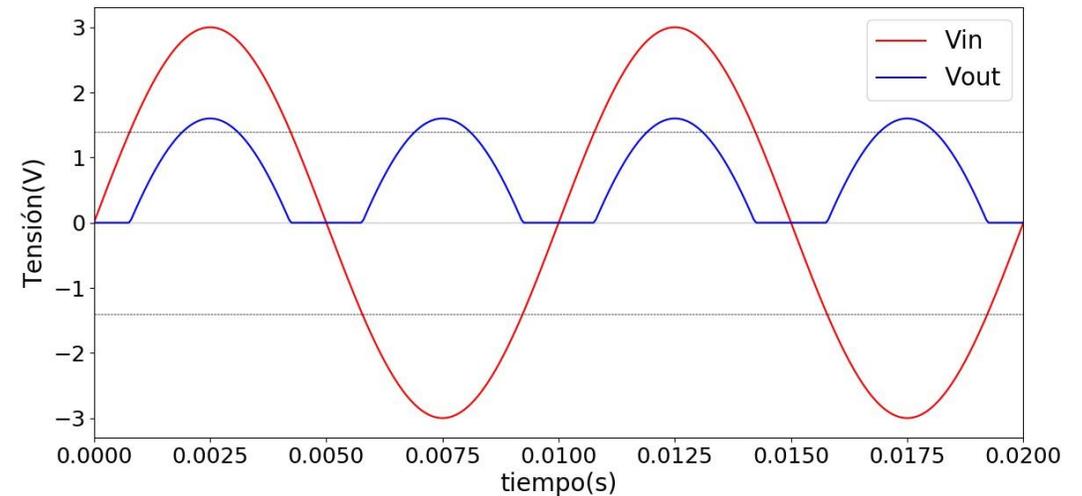
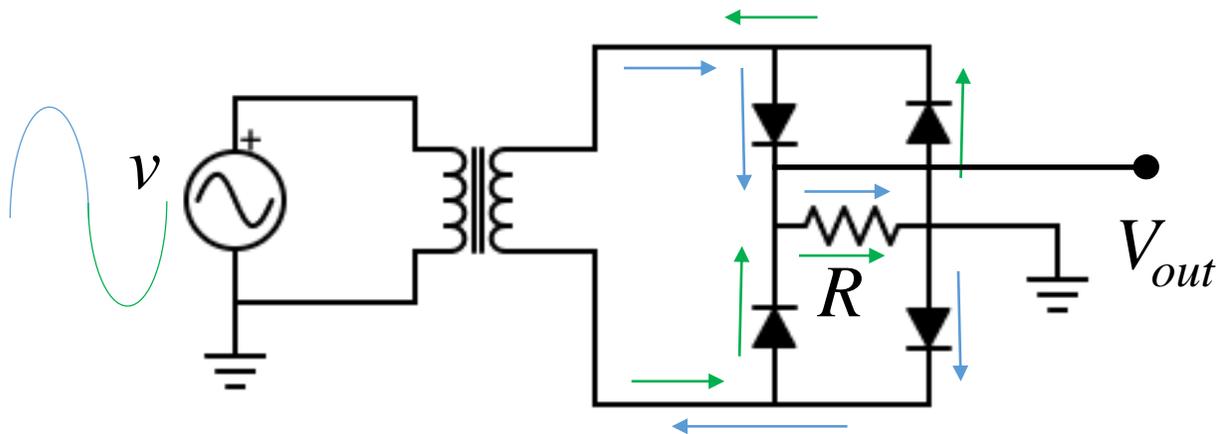


¿¿Conexión a tierra de la fuente??

# Rectificador de onda completa

$$\begin{aligned} v &\geq 2V_\gamma & V_{out} &= v - 2V_\gamma \\ -2V_\gamma &\leq v \leq 2V_\gamma & V_{out} &= 0 \\ v &\leq -2V_\gamma & V_{out} &= -(v + 2V_\gamma) \end{aligned}$$

Circuito puente de diodos



Transformador

Separa las conexiones de tierra

Permite ajustar la tensión

# Factor de ripple (rizado)

$$V_{med} = \frac{1}{T} \int_0^T v_R(t) dt$$

Componente  
debida a los  
armónicos

$$v_R(t) = V_{med} + v_{ripple}(t)$$

$$FR = \frac{V_{rip\ RMS}}{V_{med}}$$

$$V_{rip\ RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (v_R(t) - V_{med})^2 dt} = \sqrt{V_{RMS}^2 - V_{med}^2}$$

## Rectificador media onda

$$V_{med} = \frac{V_{R0}}{\pi} \quad V_{RMS} = \frac{V_{R0}}{2}$$

$$FR \sim 1,2 \rightarrow 120\%$$

## Rectificador onda completa

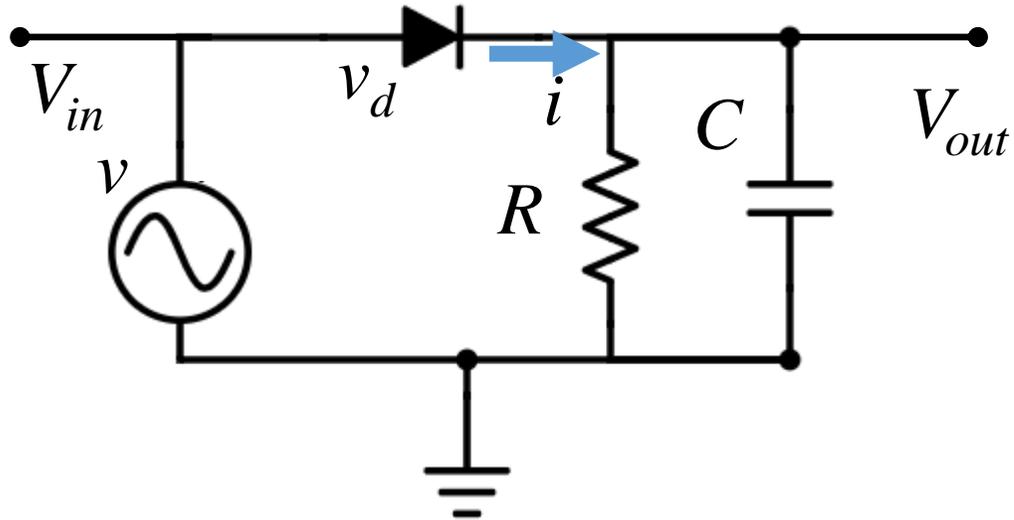
$$V_{med} = \frac{2V_{R0}}{\pi} \quad V_{RMS} = \frac{V_{R0}}{\sqrt{2}}$$

$$FR \sim 0,5 \rightarrow 50\%$$

# ¿Cómo disminuir el ripple?

## Rectificador de media onda

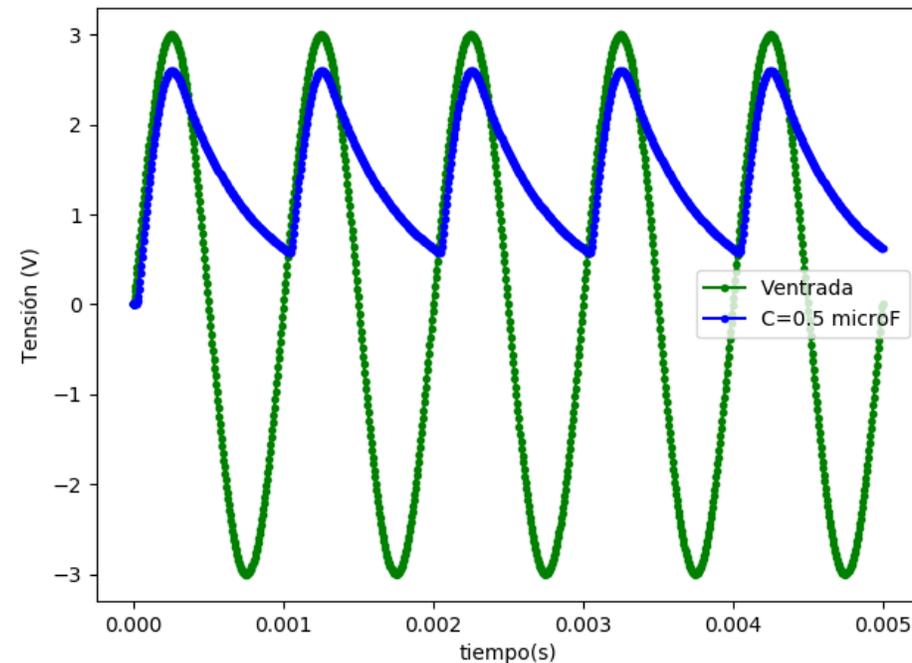
➤ Agregar un capacitor en paralelo



$$v(t) = V_0 \sin \omega t$$

$v \geq V_\gamma$      $V_{out}$  → Carga el capacitor

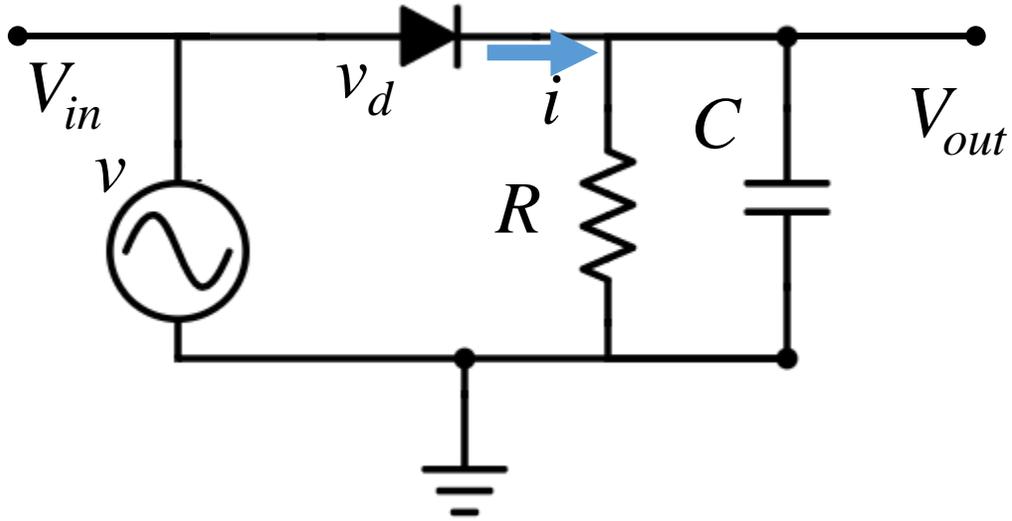
$v < V_\gamma$      $V_{out}$  → Descarga el capacitor sobre R



$$-RC < T$$

# ¿Cómo disminuir el ripple?

Rectificador de media onda



$R \approx 1 \text{ k}\Omega$

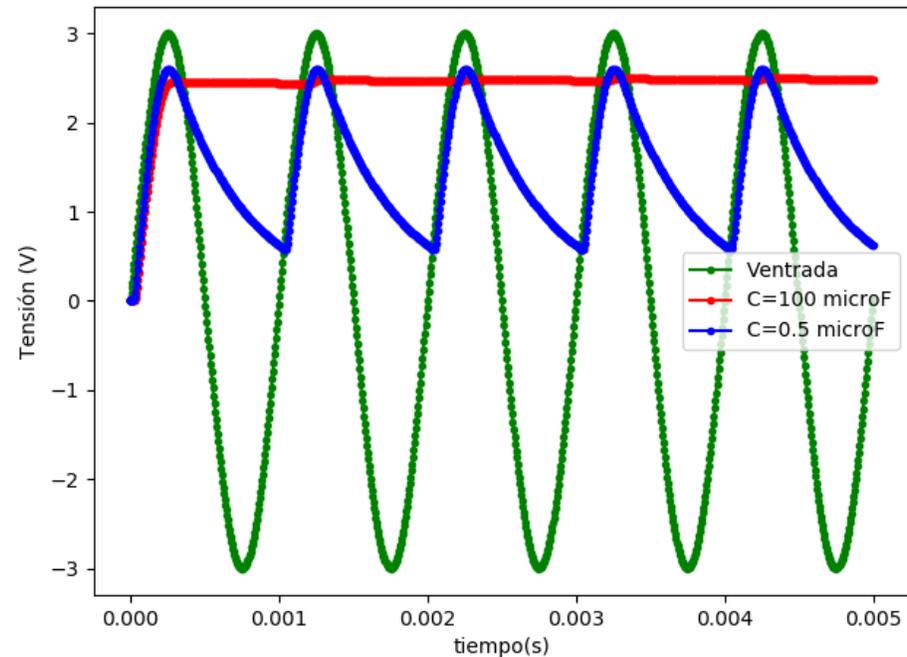
$C = 100 \text{ nF}, 100 \mu\text{F}$

Capacitor electrolítico!!!

$$v(t) = V_0 \sin \omega t$$

$v \geq V_\gamma$   $V_{out}$  → Carga el capacitor

$v < V_\gamma$   $V_{out}$  → Descarga el capacitor sobre R

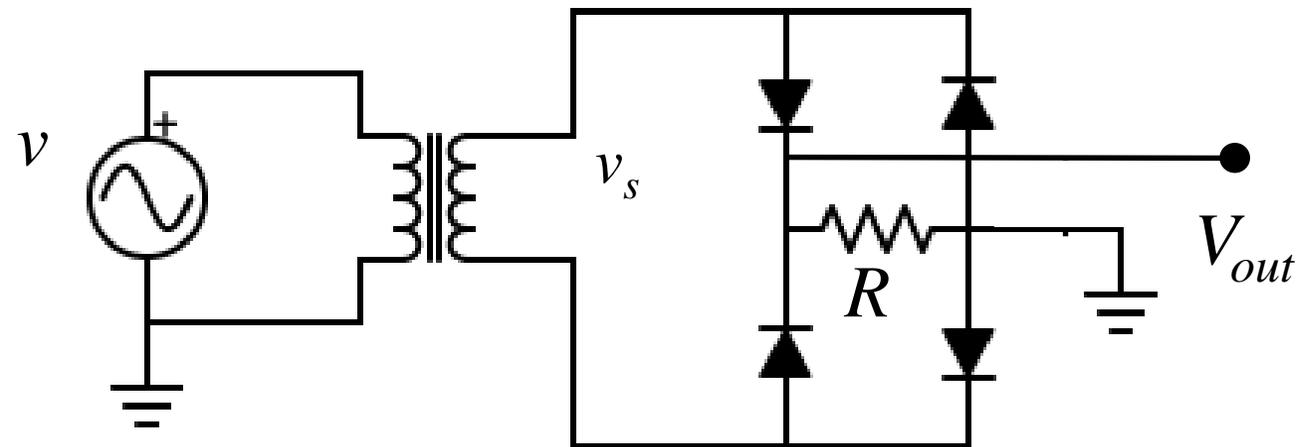


-  $RC \gg T$

-  $RC < T$

¿Cómo disminuir el ripple?

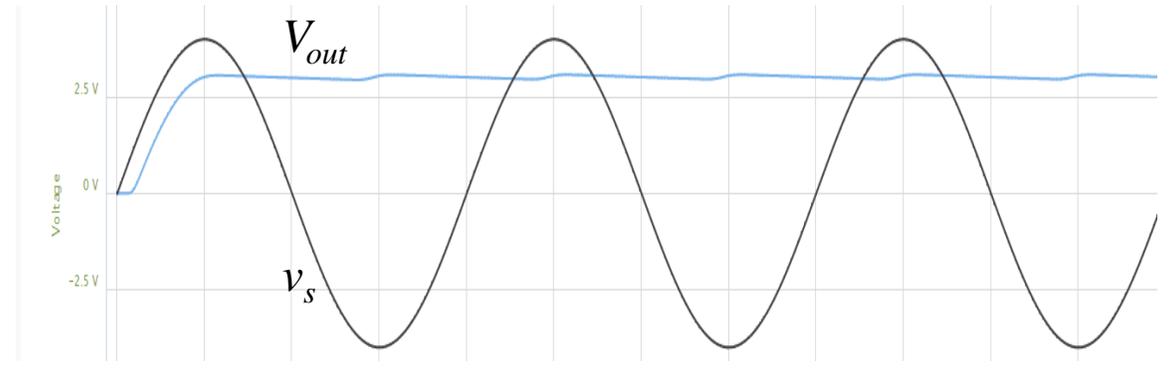
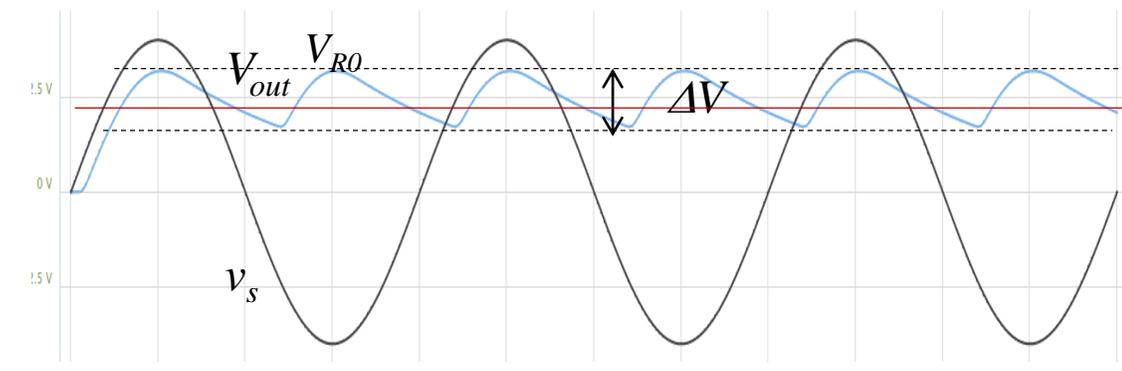
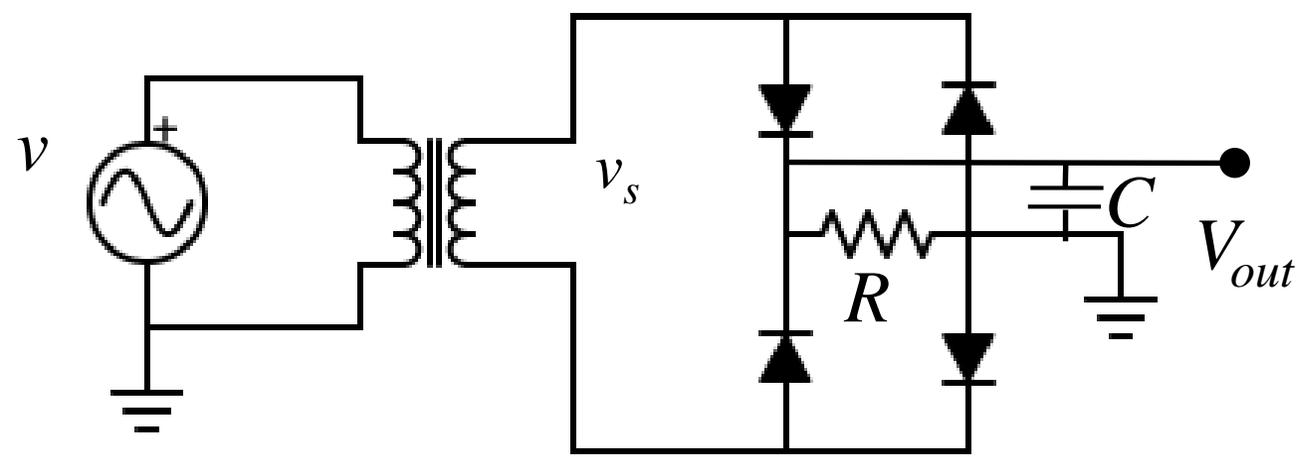
Rectificador onda completa



# ¿Cómo disminuir el ripple?

➤ Agregar un capacitor en paralelo

## Rectificador onda completa



$\tau \gg T$   $FR \approx \frac{\Delta V}{V_{medio}}$   $FR \approx \frac{T}{2RC}$

# Fuentes de alimentación de CC

Muchos equipos eléctricos y electrónicos funcionan con CC



AC  $\longrightarrow$  CC

**Fuente CC:** Cambia el tipo de corriente y el valor de la tensión de salida



Transformador

+

Rectificador



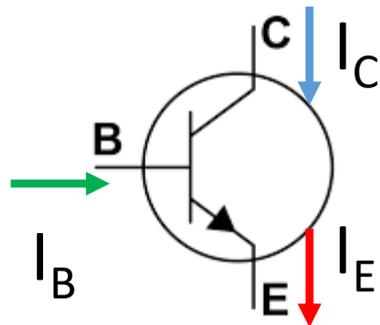
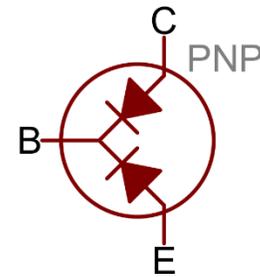
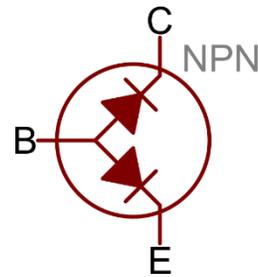
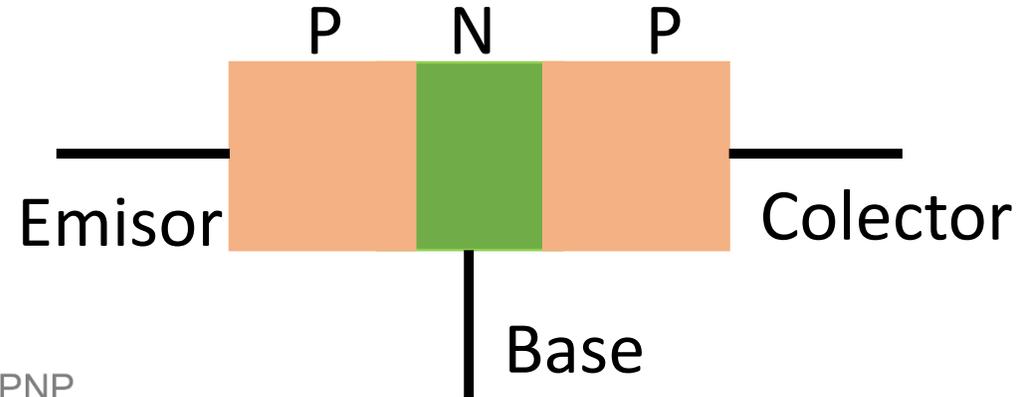
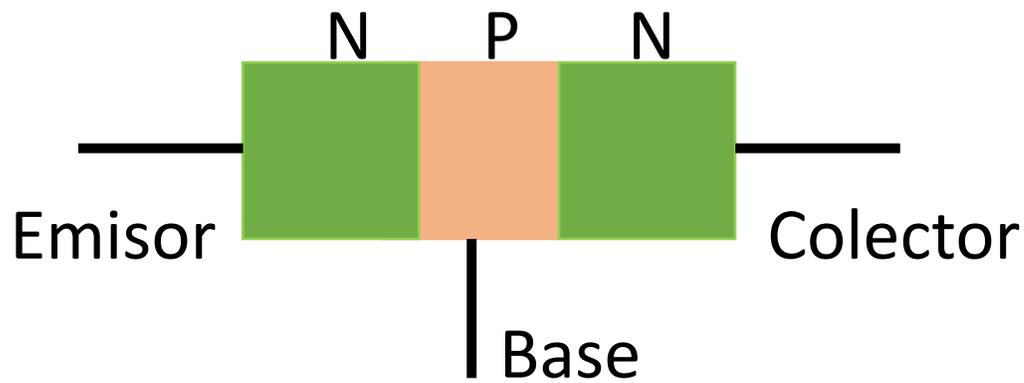
Diodos



# Actividades propuestas

- 1. Leer la hoja de datos de los elementos a utilizar**
- 2. Medir las curvas IV de alguno de los elementos**
- 3. Comparar la curva IV con los datos de la hoja de datos**  
(cuando esté disponible)
- 4. Armar los circuitos rectificadores de  $\frac{1}{2}$  onda y onda completa. Evaluar el Ripple al agregar los capacitores.**
- 5. Medir y simular los circuitos**

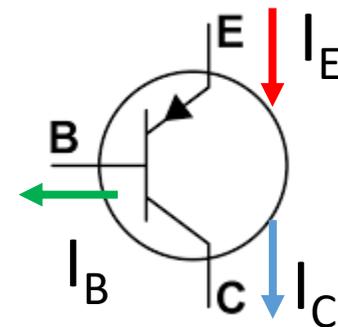
# Transistor de unión bipolar



$$I_E = I_B + I_C$$

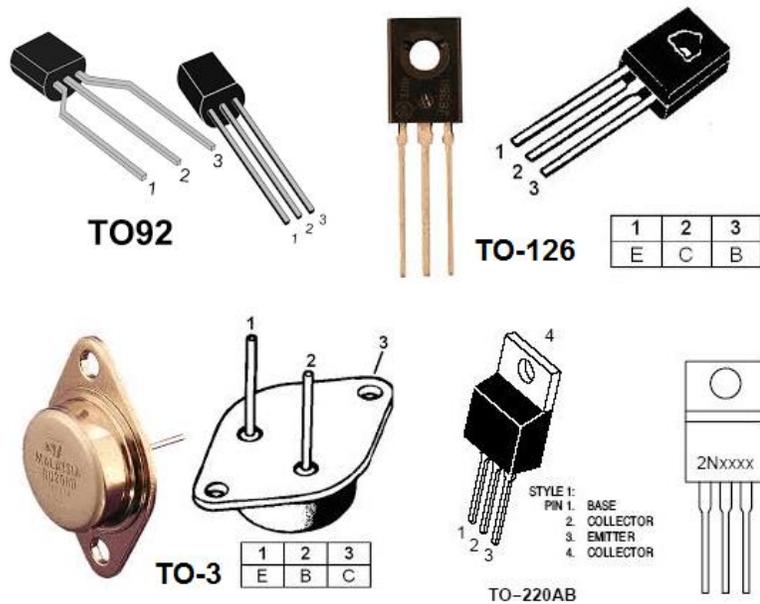
$$I_C = \beta I_B$$

$$\beta \approx 100$$

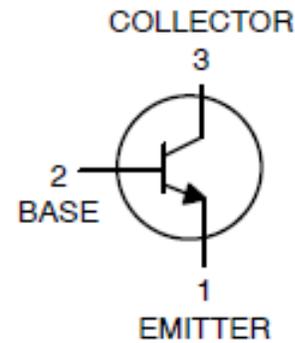


$$I_C = I_E - I_B$$

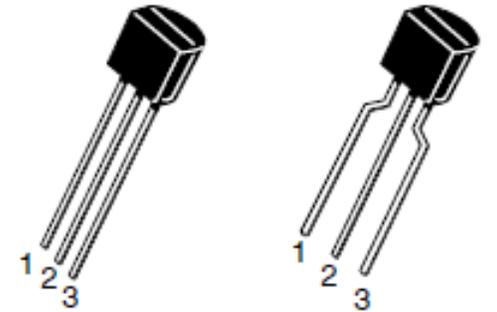
# Transistor de unión bipolar



## Transistor PN2222A (NPN)

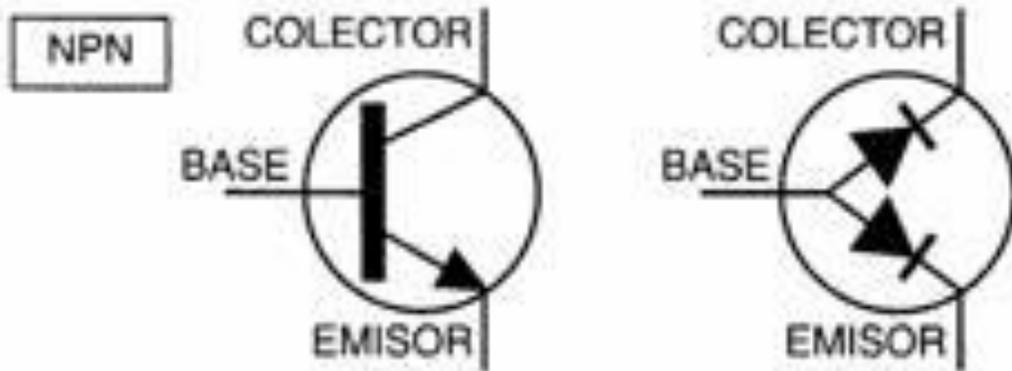


TO-92  
CASE 29  
STYLE 1



Distintos tipos de encapsulados de transistores de juntura bipolar

# Transistor de unión bipolar



- Medir los terminales BE y BC con un multímetro en la función diodo
- Medir entre los terminales EC
- Medir el  $\beta$  ( $h_{fe}$ ) del transistor con el multímetro

# Funcionamiento del Transistor NPN

1. Diodo BE debe estar conectado en directa ( $V_{BE} \sim 0.6 \text{ V}$ ) – Diodo BC debe estar conectado en inversa
2. El C debe estar a una tensión más positiva que el E
3. Las corrientes  $I_C$  e  $I_B$  y la tensión  $V_{CE}$  soportan un valor máximo, y una potencia máxima ( $I_C V_{CE}$ )

Cuando se cumple de 1-3

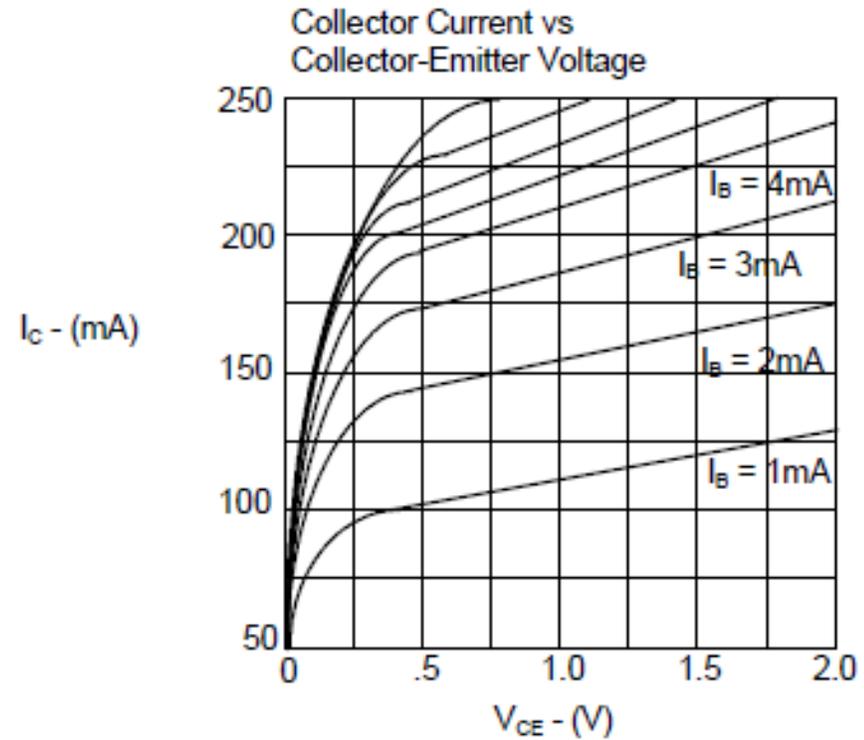
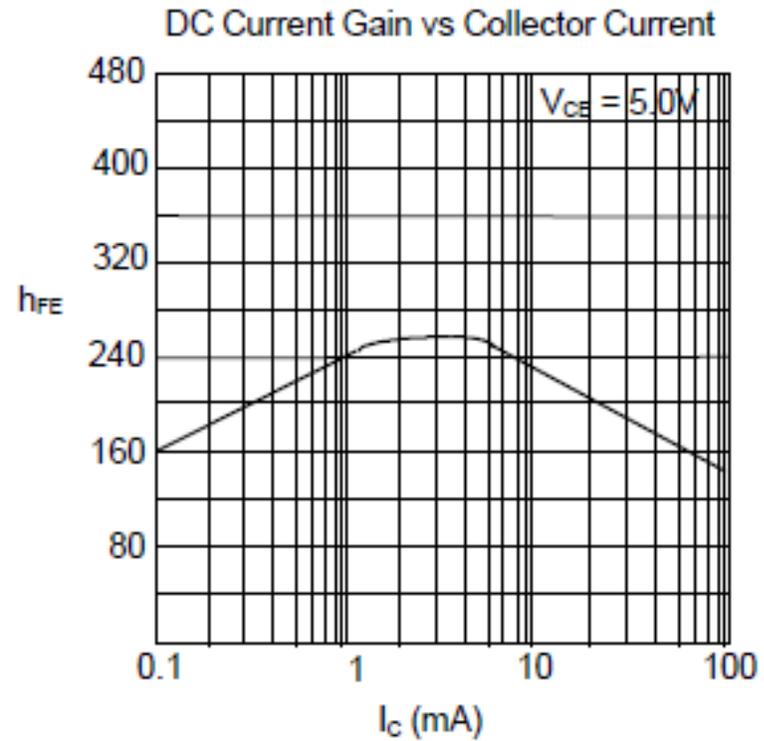
$$I_C = \beta I_B \qquad \beta \approx 100$$

$$I_E = I_C + I_B = (\beta + 1) I_B$$

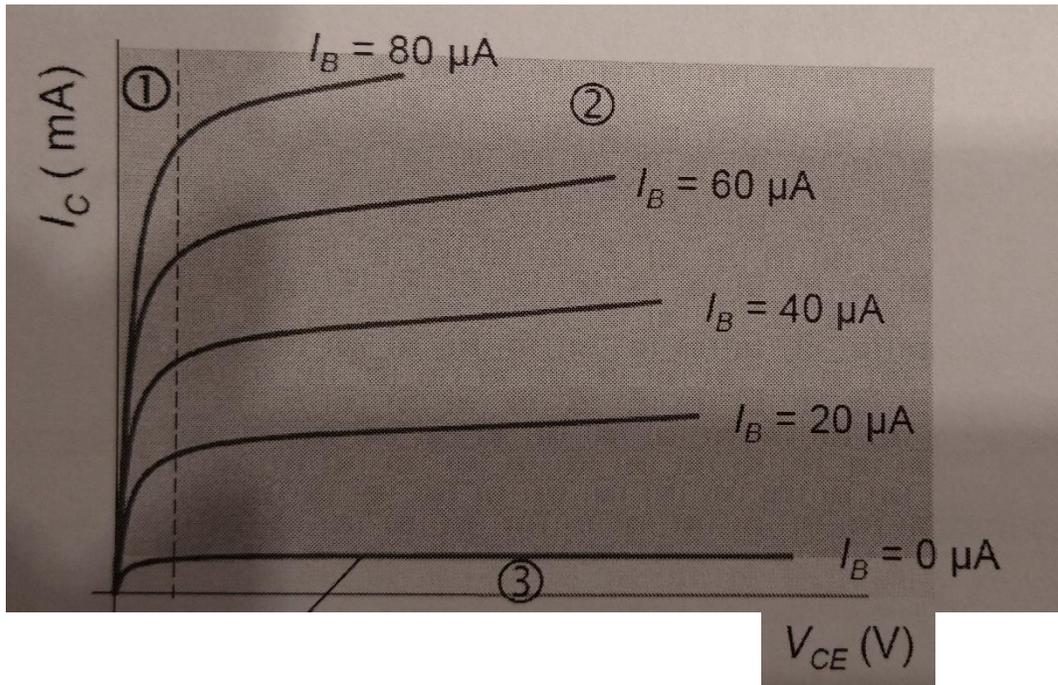
# Características del transistor PN2222A

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_{CBO}$	collector-base voltage	open emitter	–	75	V
$V_{CEO}$	collector-emitter voltage	open base	–	40	V
$V_{EBO}$	emitter-base voltage	open collector	–	6	V
$I_C$	collector current (DC)		–	600	mA
$I_{CM}$	peak collector current		–	800	mA
$I_{BM}$	peak base current		–	200	mA
$P_{tot}$	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25\text{ °C}$	–	500	mW

# Características del transistor PN2222A



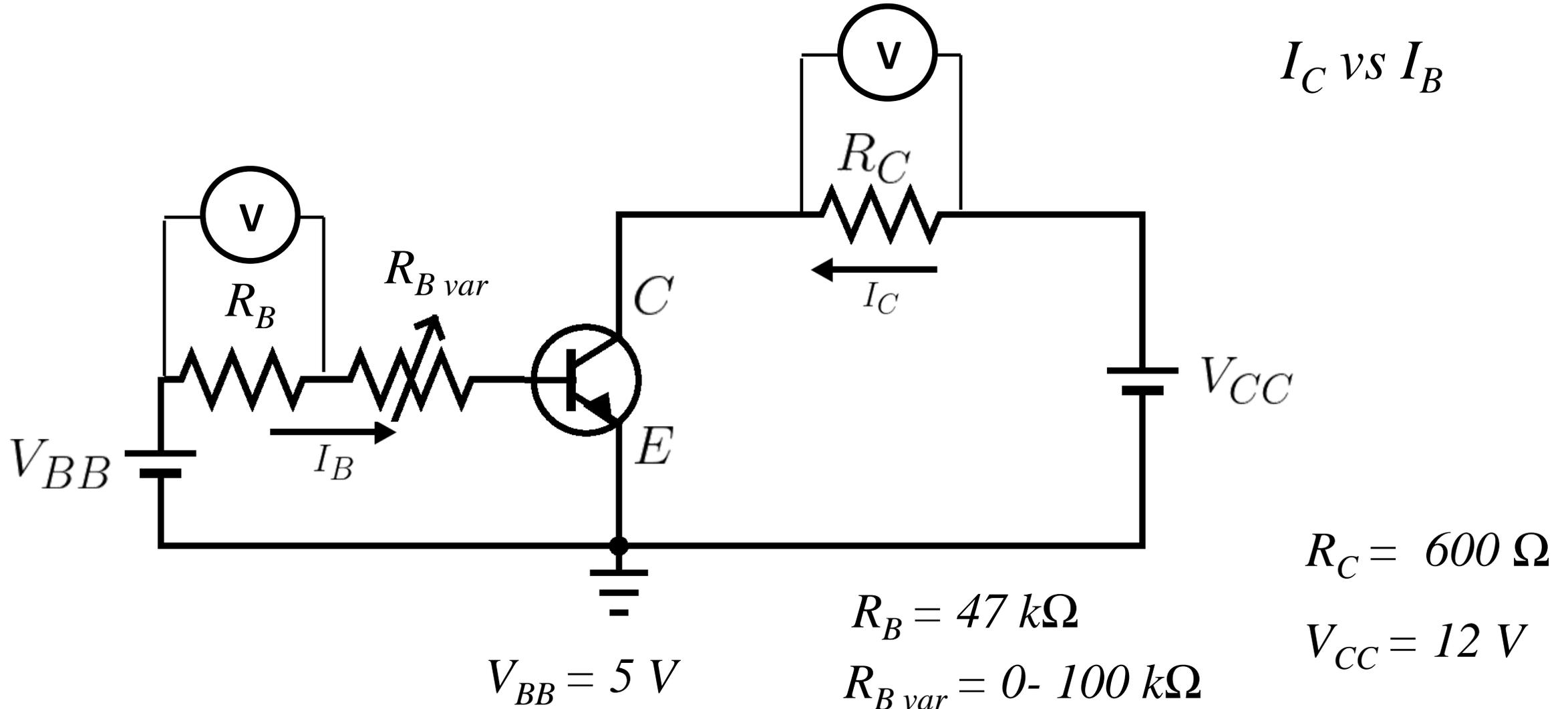
# Características del transistor PN2222A



Curva característica del transistor

ESTADO	CARACTERÍSTICAS	COMPORTAMIENTO
<i>CORTE</i> (3)	$I_B = I_C = I_E = 0$ $V_{CE} = V_{CC}$	Interruptor abierto
<i>ACTIVA</i> (2)	$I_C = \beta \cdot I_B$ $0,2 < V_{CE} < V_{CC}$	Amplificador
<i>SATURACIÓN</i> (1)	$V_{CE} \approx 0,2 V$ $I_C(\text{sat}) = V_{CC} / (R_C + R_E)$	Interruptor cerrado

# Circuito para caracterizar el transistor



# Actividades propuestas

- 1. Leer la hoja de datos de los elementos a utilizar**
- 2. Medir las curvas IV de alguno de los elementos**
- 3. Comparar la curva IV con los datos de la hoja de datos  
(cuando esté disponible)**
- 4. Armar los circuitos rectificadores de  $\frac{1}{2}$  onda y onda completa. Evaluar el Ripple al agregar los capacitores.**
- 5. Medir y simular los circuitos**
- 6. Medir  $\beta$ : usar el multímetro y midiendo  $I_C$  vs  $I_B$**
- 7. Buscar como hacer una llave con un transistor**
- 8. Armar y medir el circuito**