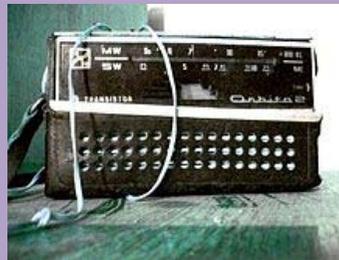




electrónica general

EL TRANSISTOR

tema 2



1. Introducción
2. Símbolos y sentidos de las tensiones y corrientes
3. Zonas de funcionamiento
4. Componentes de corriente
 - 4.1. *Componentes de la corriente en la zona activa*
 - 4.2. *Ecuación generalizada del transistor*
5. Configuraciones del Transistor
6. Características de entrada y de salida
 - 6.1. *Características de entrada – Base común*
 - 6.2. *Características de salida – Base Común*
 - 6.3. *Características de entrada – Emisor común*
 - 6.4. *Características de salida – Emisor Común*
7. Punto de funcionamiento
8. Modelos del transistor ideal
9. Polarización del transistor
10. Circuitos de polarización
11. Resolución de circuitos con BJT
12. El transistor como amplificador
13. En transistor como interruptor

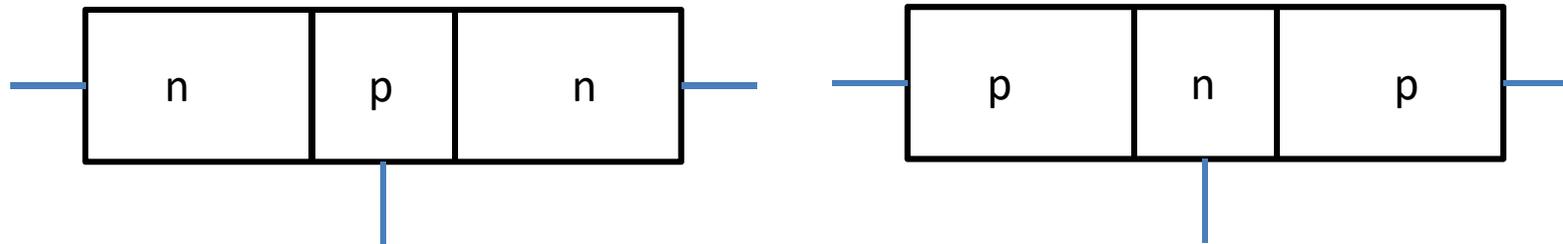
1.- Introducción

¿Qué es un transistor de Unión Bipolar?

Dispositivo electrónico con tres zonas distintas, dando lugar a dos uniones pn. Cada zona dispone de un terminal, por lo que se trata de un dispositivo con tres terminales.

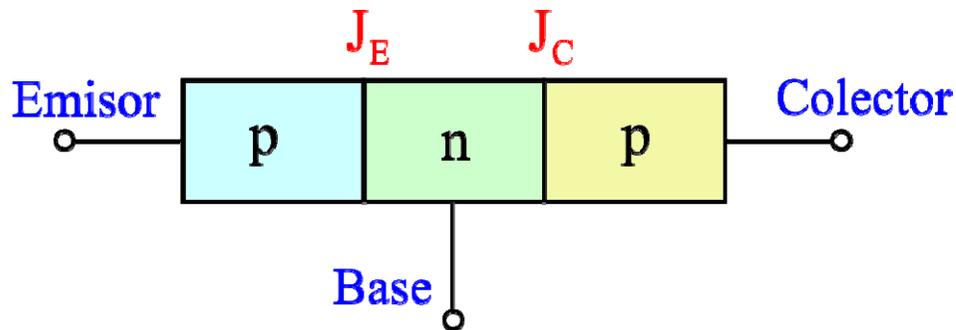
Habitualmente se le conoce por las siglas de su nombre en inglés:

BJT = Bipolar Junction Transistor



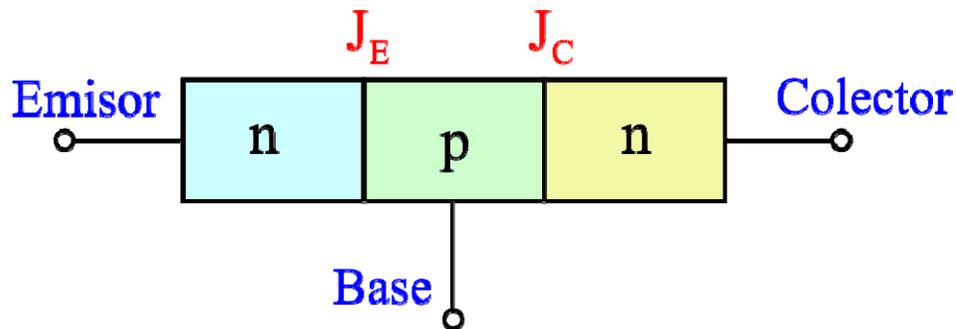
1.- Introducción

Transistor pnp



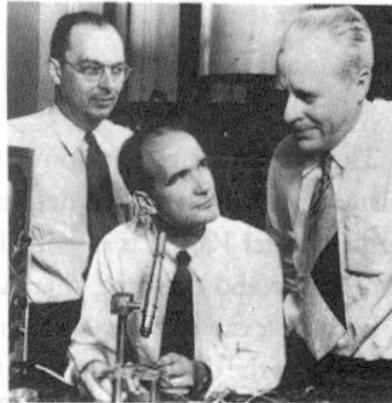
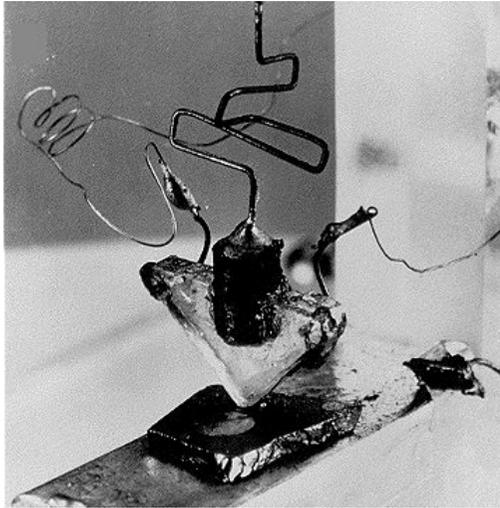
Emisor = Zona que emite portadores mayoritarios e^- en un npn y h^+ en un pnp.
Es la zona más dopada

Transistor npn

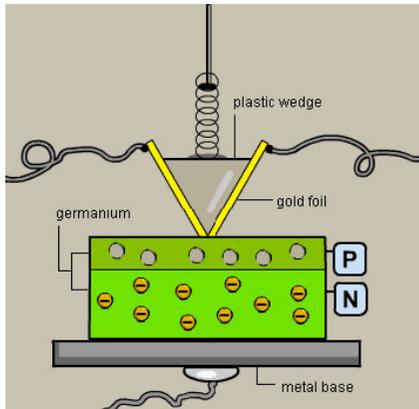
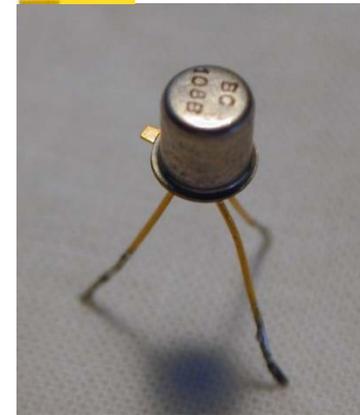
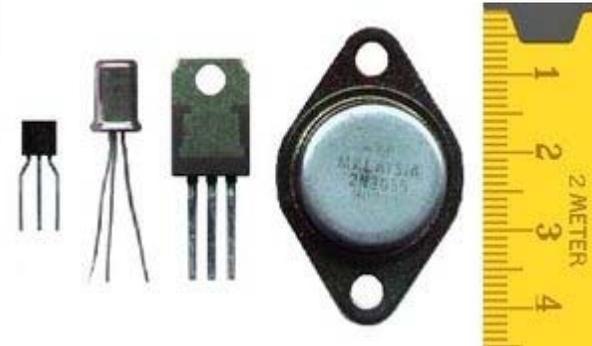


Colector = Zona encargada de recoger los portadores que inyectados por el emisor han atravesado la base.
Es la zona menos dopada.

1.- Introducción



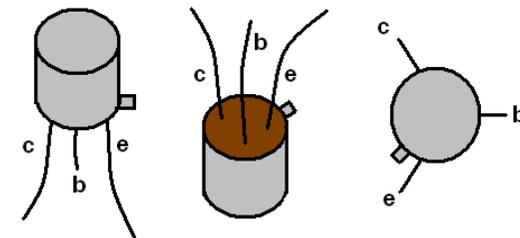
In 1956 John Bardeen, William Shockley and Walter Brattain shared the Nobel Prize in Physics for their discovery of the transistor.



Üblicher Kleintransistor

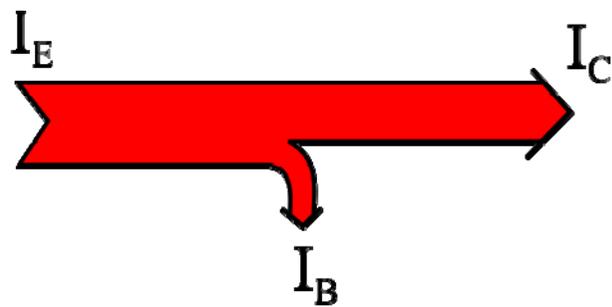
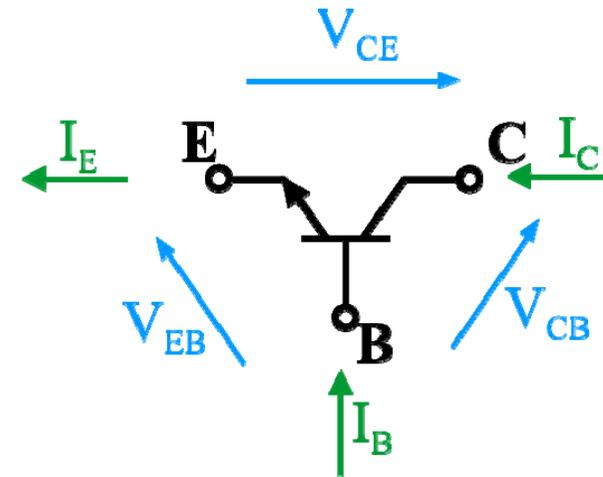
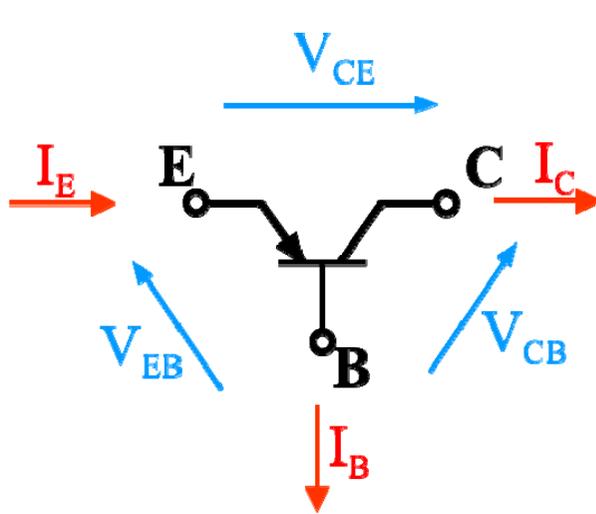


roboternetz.de

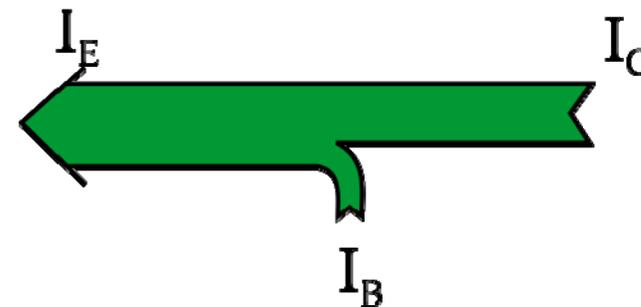


three views of the BC109C transistor

2.- Símbolos y sentido de las tensiones y corrientes



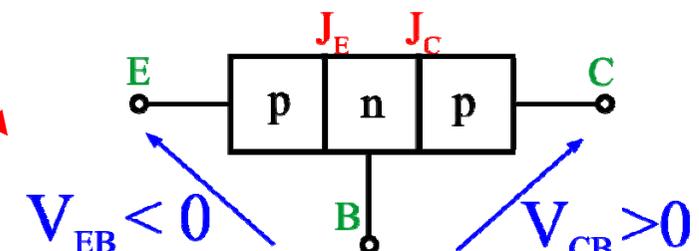
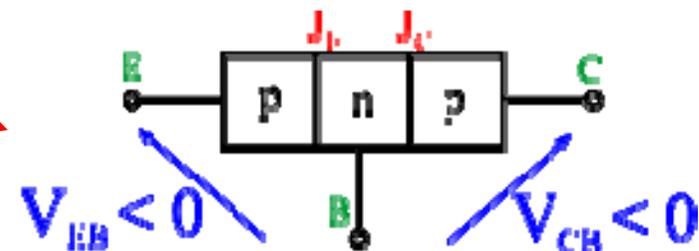
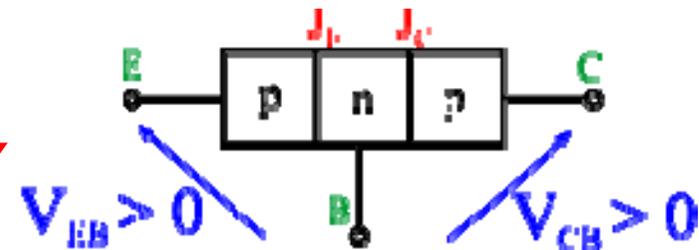
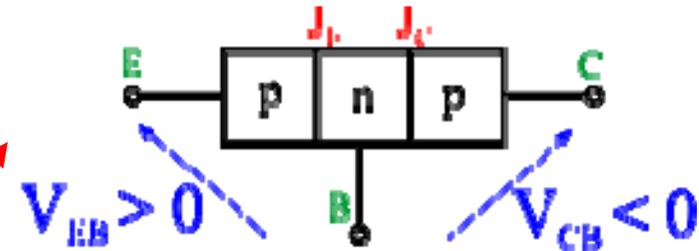
pnp



npn

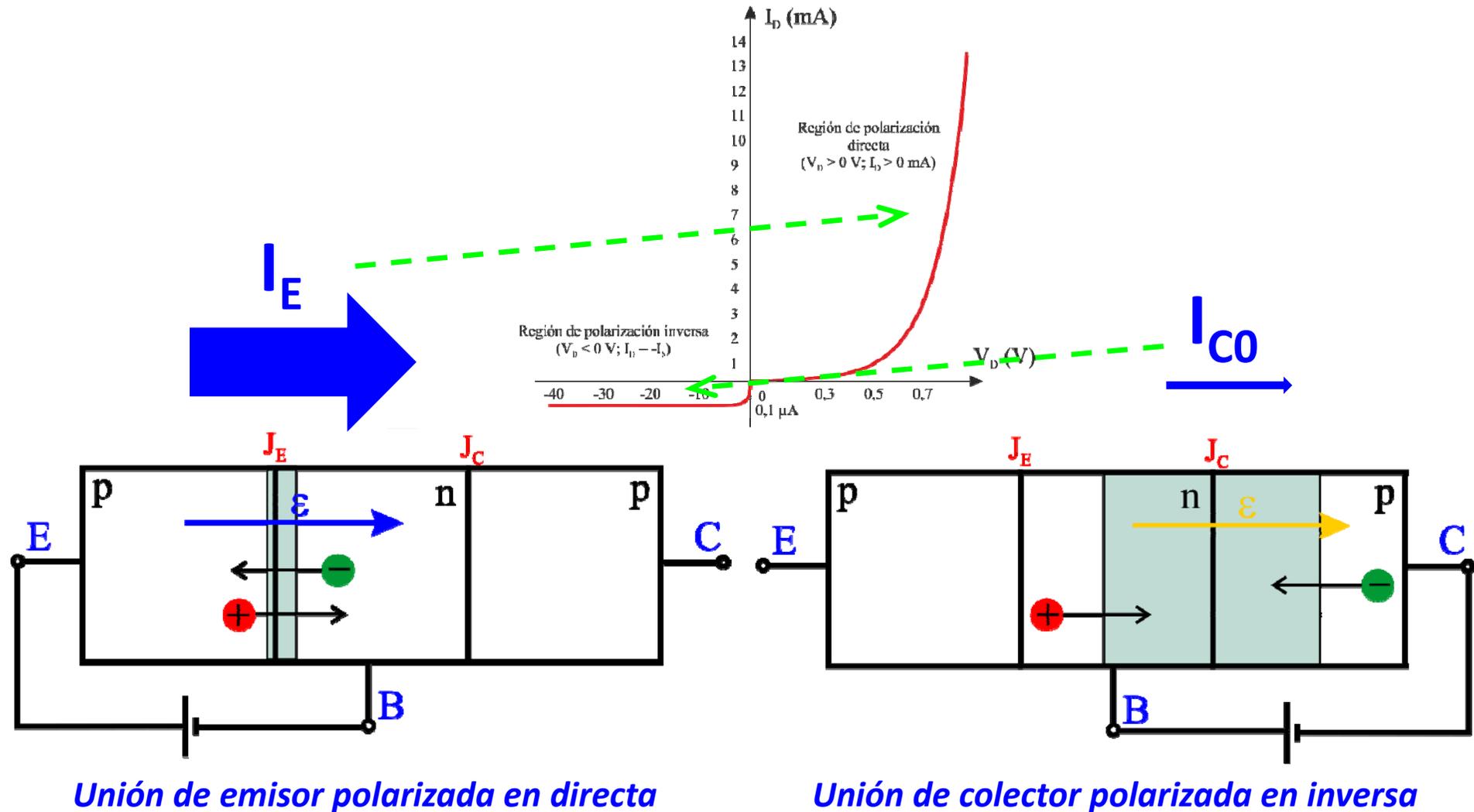
3.- Zonas de funcionamiento

J_E	J_C	Zona de trabajo
Directa	Inversa	Activa
Directa	Directa	Saturación
Inversa	Inversa	Corte
Inversa	Directa	Activa inversa



4.- Componentes de las corrientes

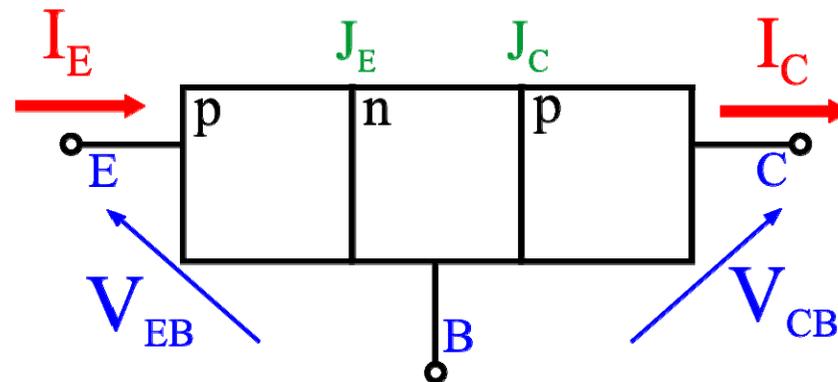
4.1.- Componentes de las corrientes en la zona activa.



4.- Componentes de las corrientes

4.2.- Ecuación generalizada del transistor.

$$I_C = \alpha_F \cdot I_E - I_{CO} \left(\exp \frac{V_{CB}}{V_T} - 1 \right)$$

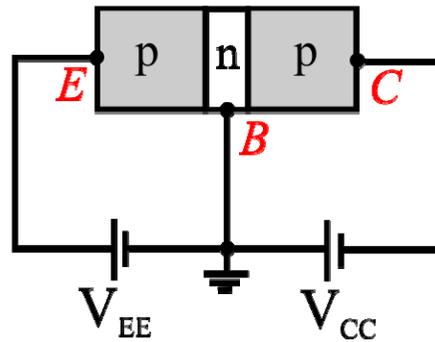


$$I_C = \alpha_F \cdot I_{EO} \left(\exp \frac{V_{EB}}{V_T} - 1 \right) - I_{CO} \left(\exp \frac{V_{CB}}{V_T} - 1 \right)$$

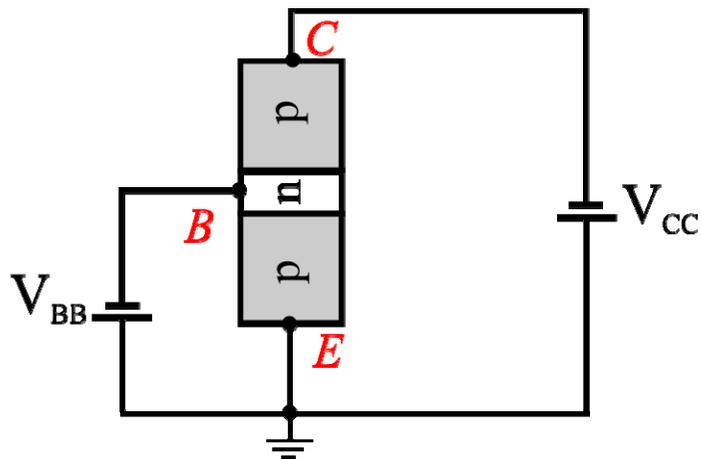
5.- Configuraciones

Se necesitan dos circuitos de polarización para polarizar las dos uniones

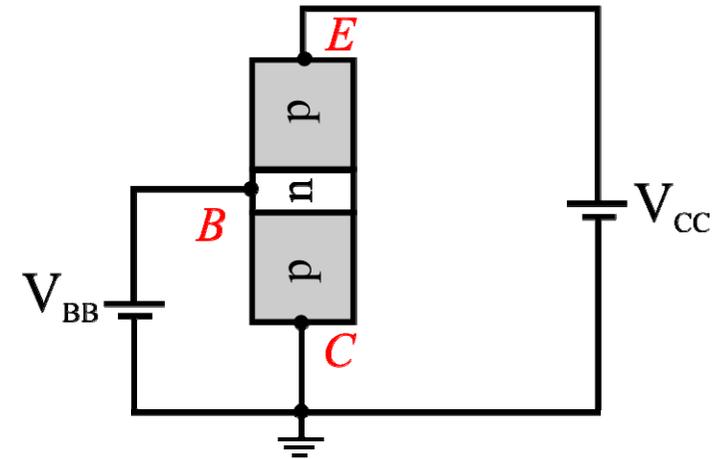
En función del terminal común a los dos circuitos surgen las distintas configuraciones



Base Común



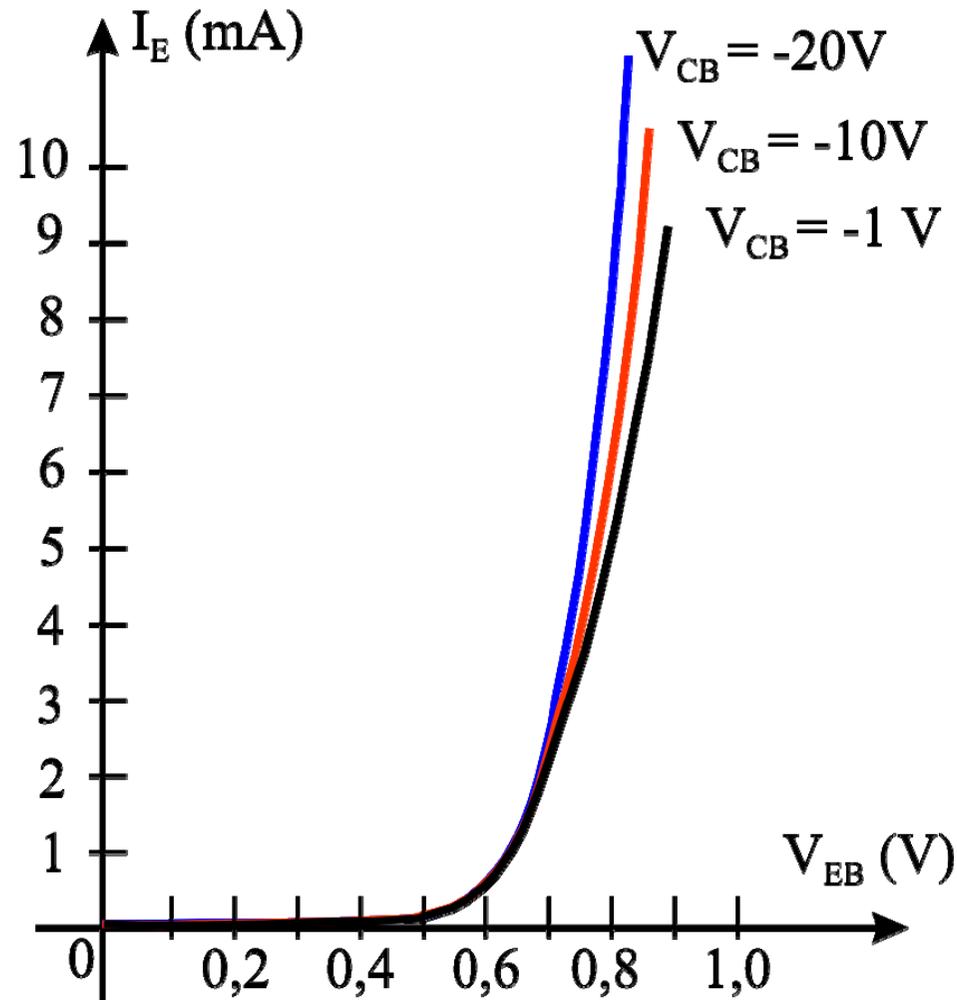
Emisor Común



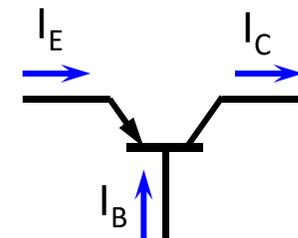
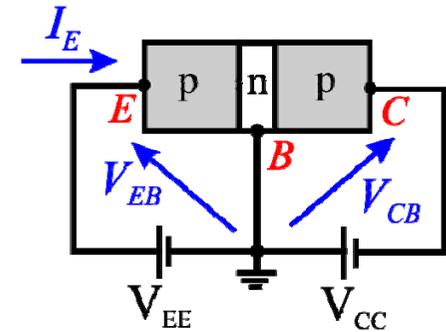
Colector Común

6.- Características de entrada y de salida

6.1.- Característica de entrada – Base Común

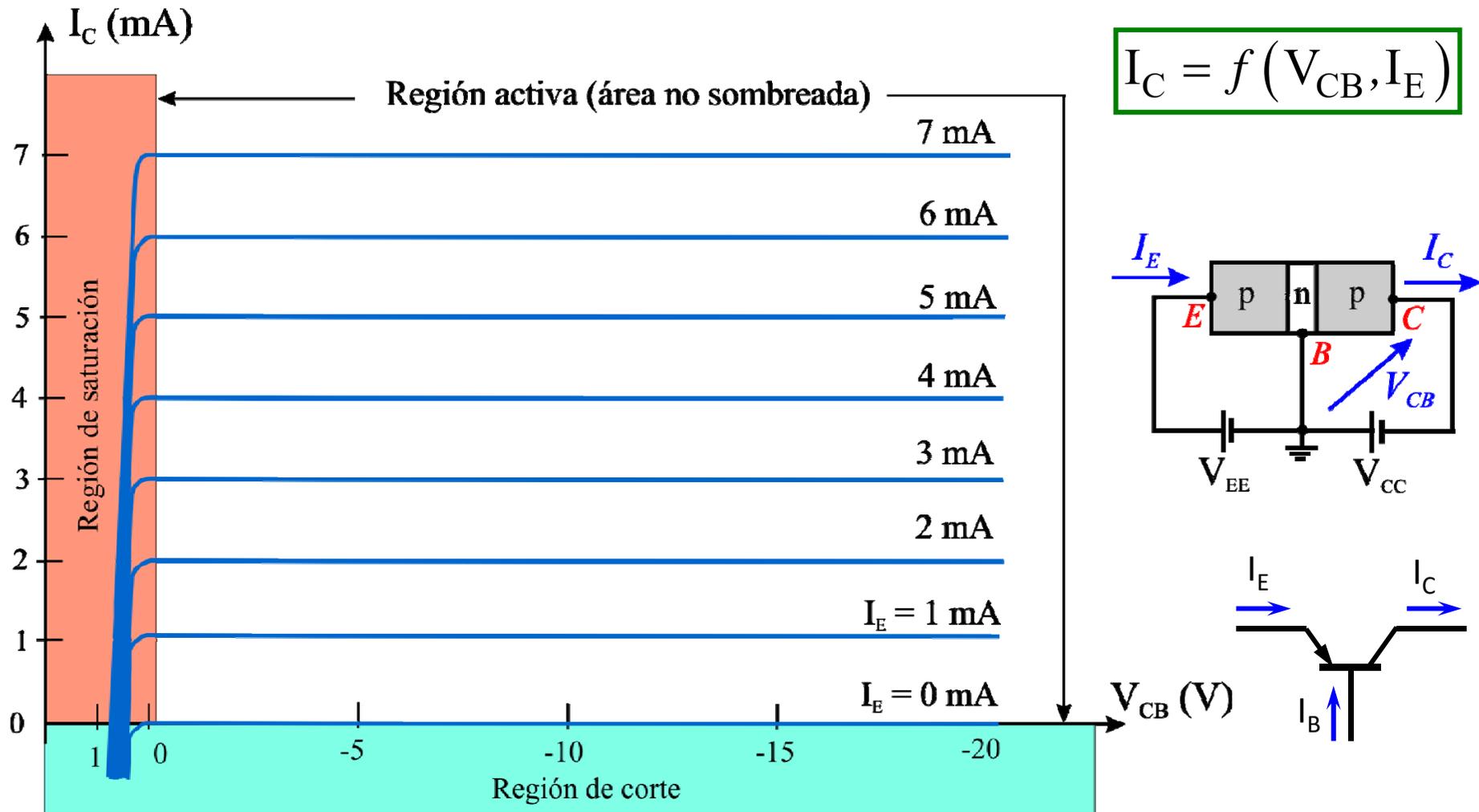


$$I_E = f(V_{EB}, V_{CB})$$



6.- Características de entrada y de salida

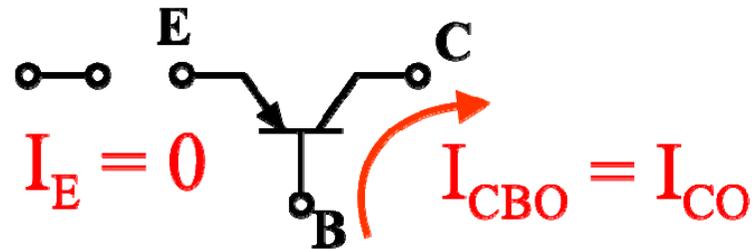
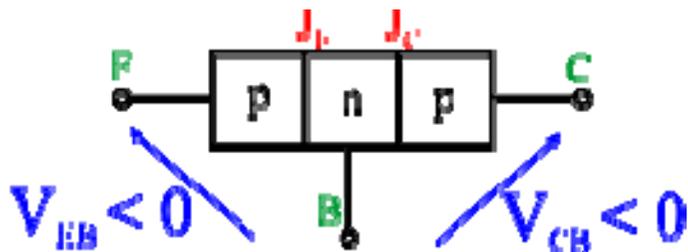
6.2.- Característica de salida – Base Común



6.- Características de entrada y de salida

6.2.- Característica de salida – Base Común

Región de Corte



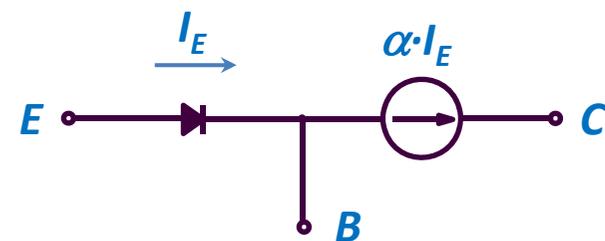
I_{CBO} = Corriente entre la base y el colector con el emisor en circuito abierto

$$I_C = \alpha \cdot I_E + I_{CO} \quad 0,9 \leq \alpha \leq 0,998$$

$$I_C \approx \alpha \cdot I_E$$

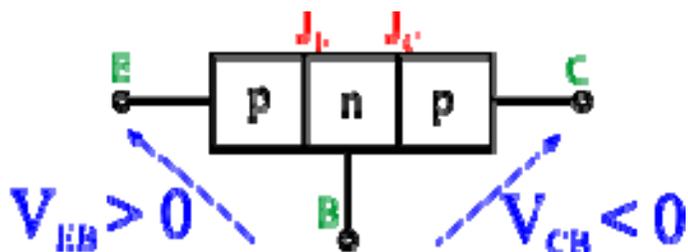
$$I_C \approx I_E$$

I_C No depende de V_{CB}



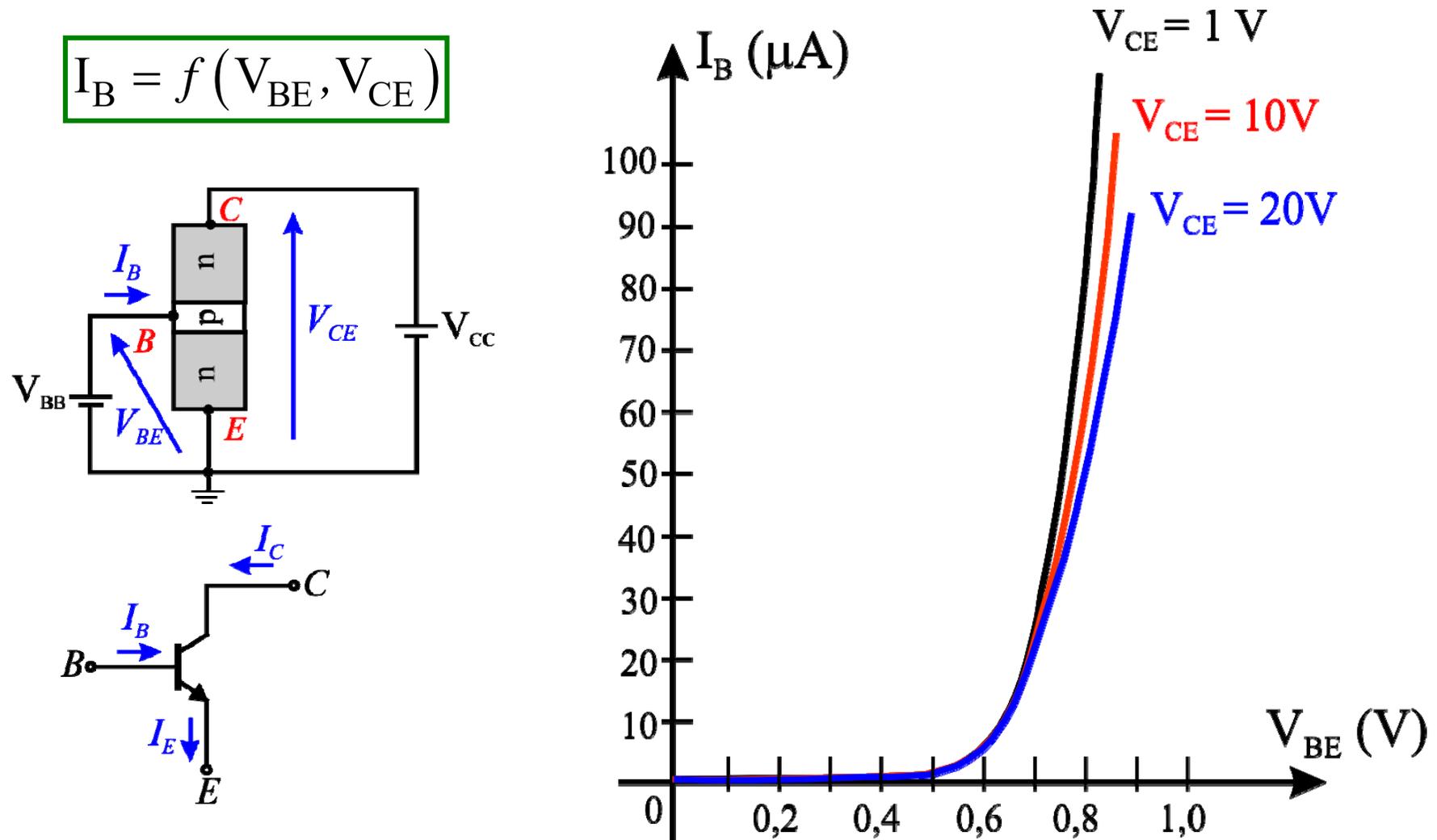
Circuito equivalente en activa

Región activa



6.- Características de entrada y de salida

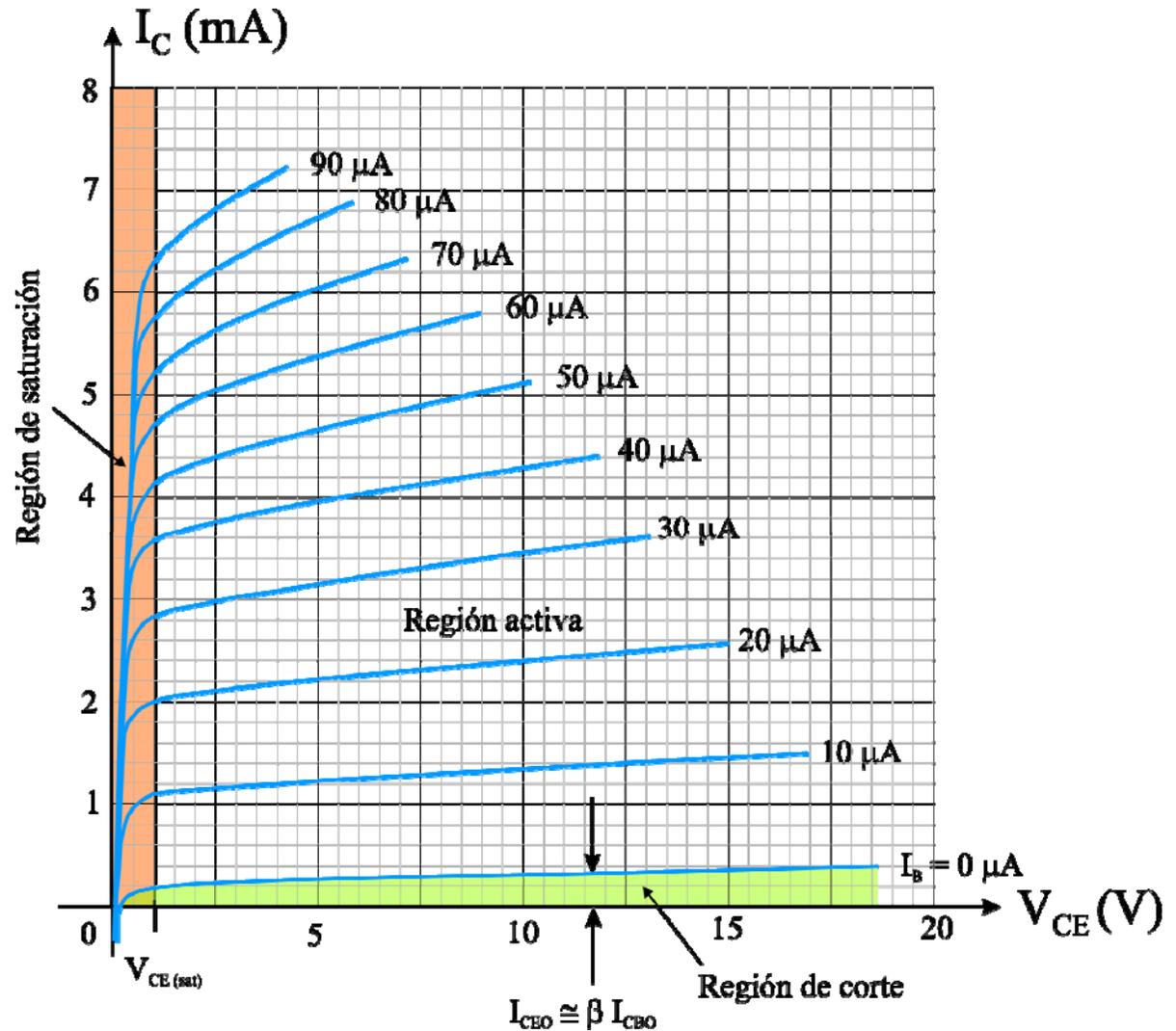
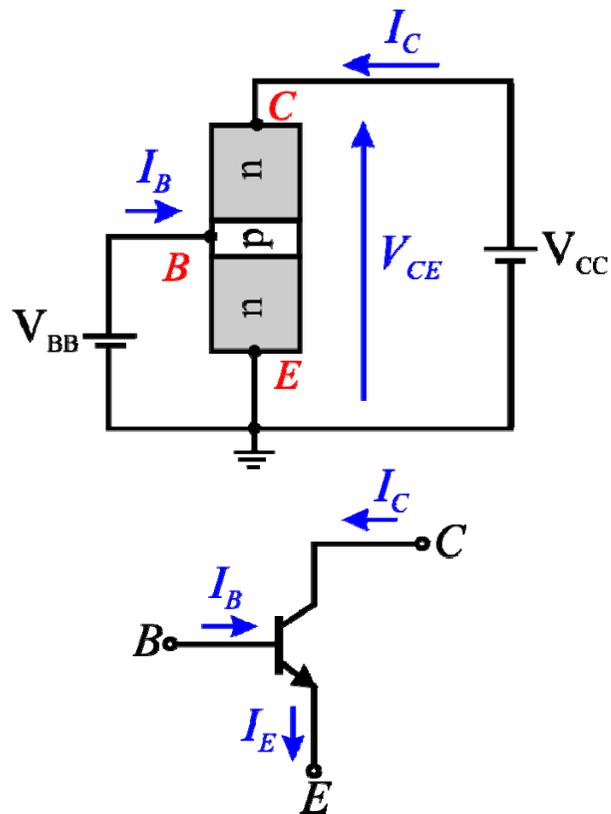
6.3.- Característica de entrada – Emisor Común



6.- Características de entrada y de salida

6.4.- Característica de salida – Emisor Común

$$I_C = f(V_{CE}, I_B)$$



6.- Características de entrada y de salida

6.4.- Característica de salida – Emisor Común

Región activa

$$\left. \begin{array}{l} I_C = \alpha \cdot I_E + I_{CO} \\ I_E = I_B + I_C \end{array} \right\} \quad I_C = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_B + \frac{1}{1-\alpha} I_{CO}$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

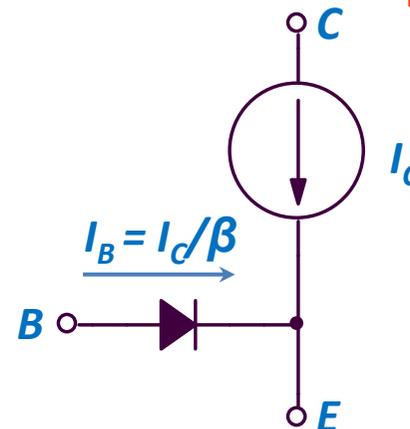
$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CO}$$

$$\beta = \frac{I_C - I_{CO}}{I_B + I_{CO}}$$

Despreciando I_{CO} :

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

No depende de V_{CE}

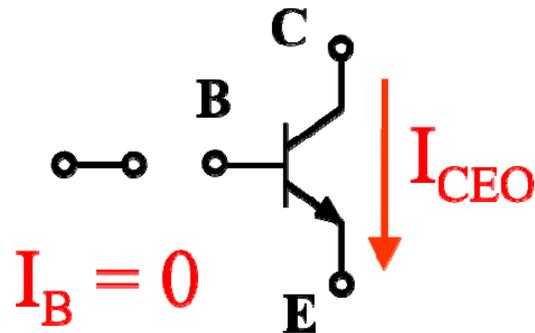


Circuito equivalente en activa

6.- Características de entrada y de salida

6.4.- Característica de salida – Emisor Común

Región de Corte

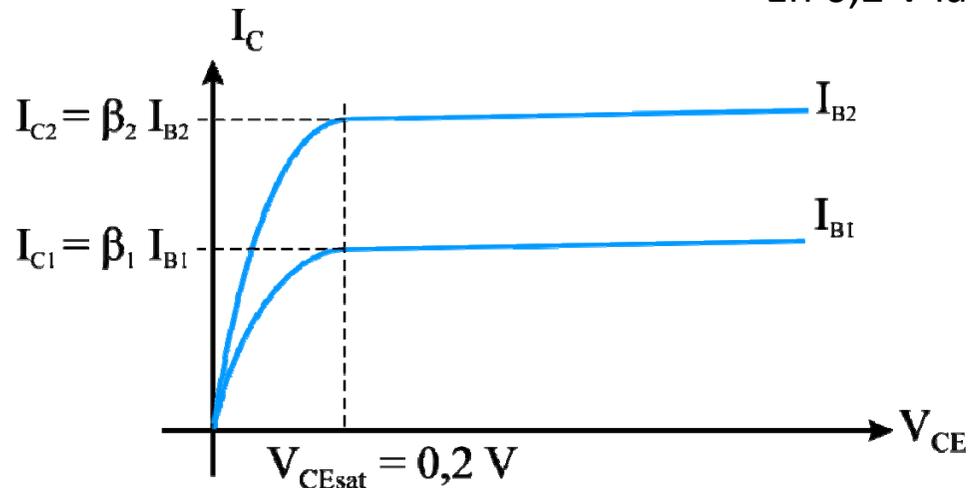


No hay corrientes por el transistor

$$I_C = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_B + \frac{1}{1-\alpha} I_{CO} \left\{ \begin{array}{l} I_C = \frac{1}{1-\alpha} I_{CO} = (\beta + 1) I_{CO} = I_{CEO} \\ I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CO} \end{array} \right.$$

$I_{CEO} =$ puede ser hasta $500 \cdot I_{CO}$

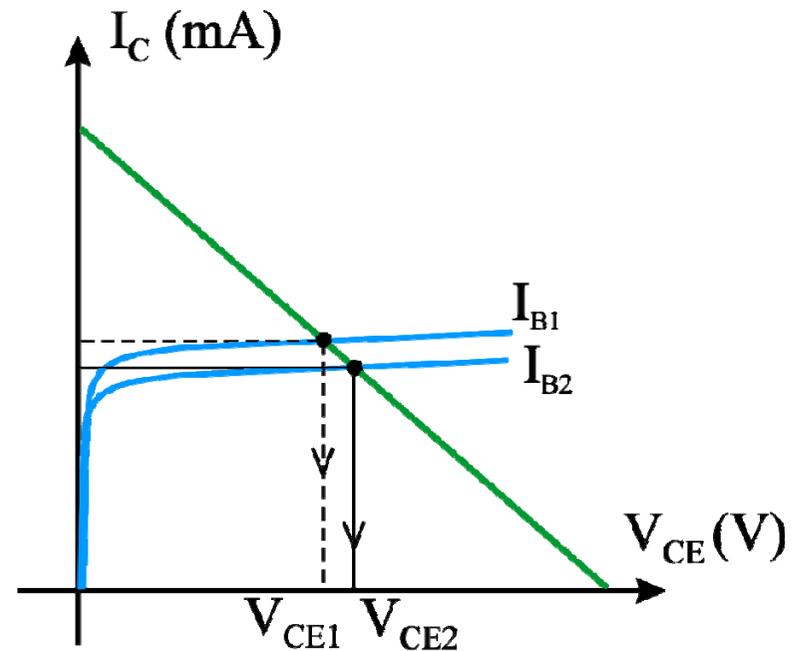
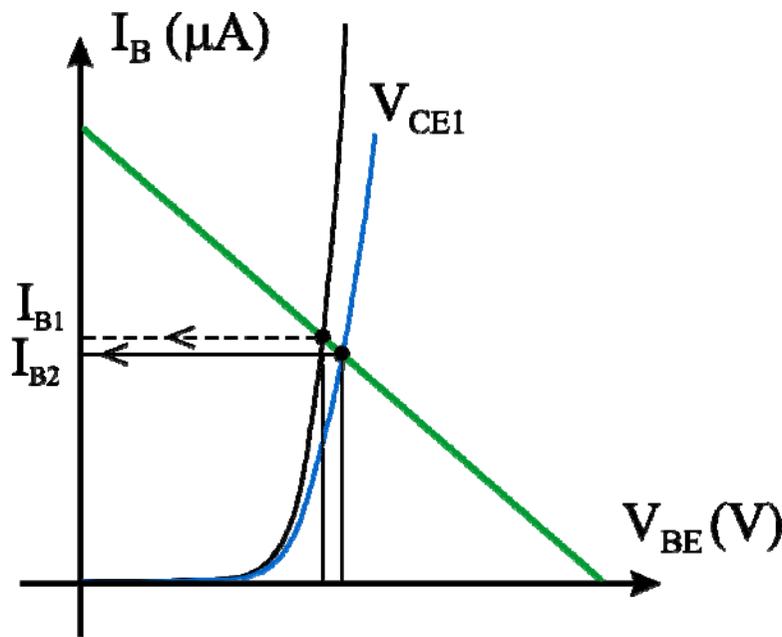
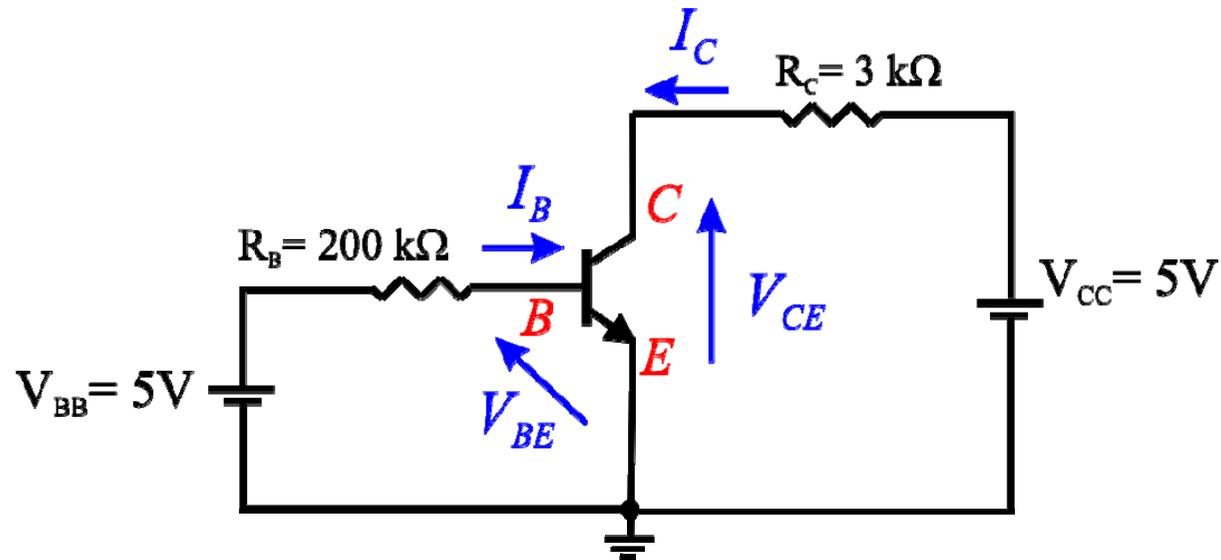
Región de saturación



En 0,2 V las corrientes de colector se anulan

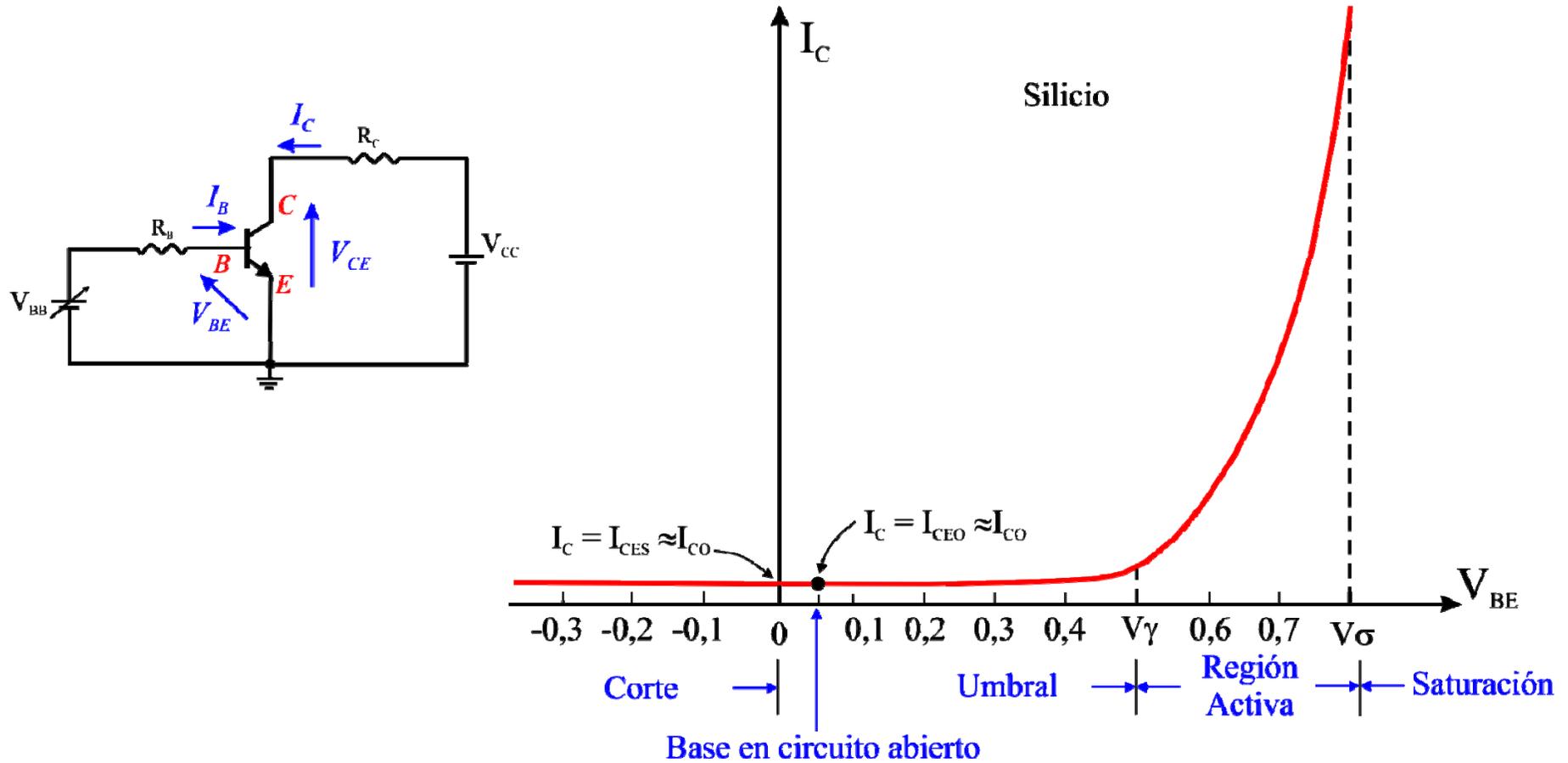
$$I_{Csat} < \beta \cdot I_B$$

7.- Punto de funcionamiento.



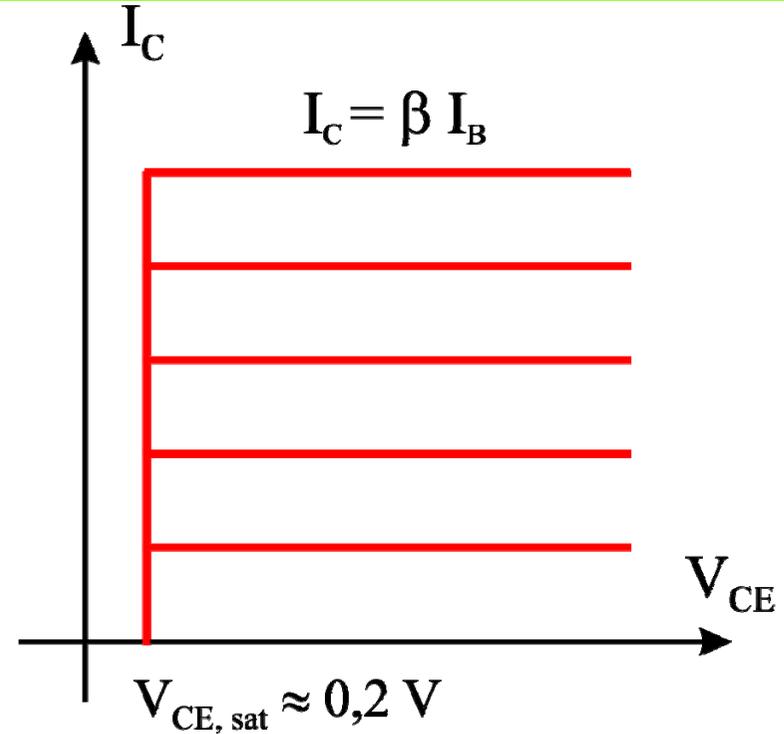
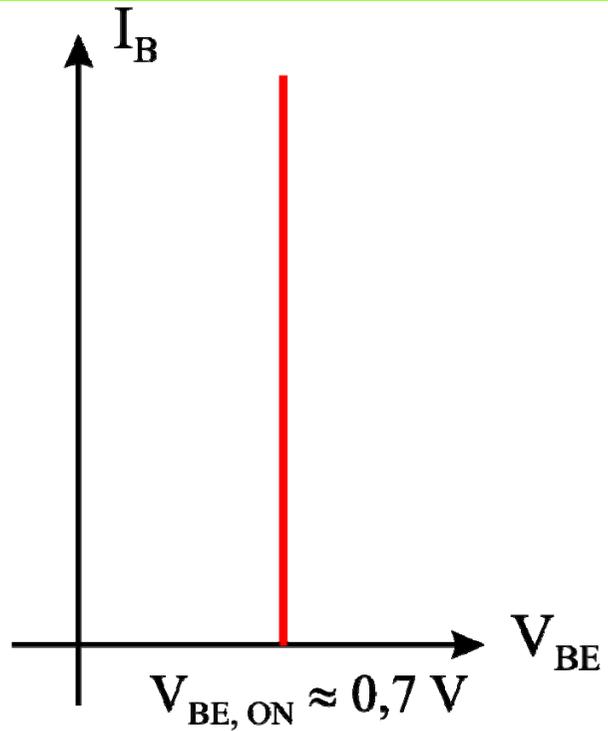
7.- Punto de funcionamiento.

Curva de puntos característicos



	$V_{CE, sat}$	$V_{BE, sat} \equiv V_{\sigma}$	$V_{BE, activa}$	$V_{BE, umbral} \equiv V_{\gamma}$	$V_{BE, corte}$
Si	0,2	0,8	0,7	0,5	0,0
Ge	0,1	0,3	0,2	0,1	-0,1

8.- Modelos del transistor ideal



$$V_{BE} < V_{BE,ON} \Rightarrow I_C = 0$$

Corte

$$V_{BE} = V_{BE,ON} \begin{cases} V_{CE} > V_{CE,sat} \Rightarrow I_C = \beta \cdot I_B \\ V_{CE} < V_{CE,sat} \Rightarrow I_C < \beta \cdot I_B \end{cases}$$

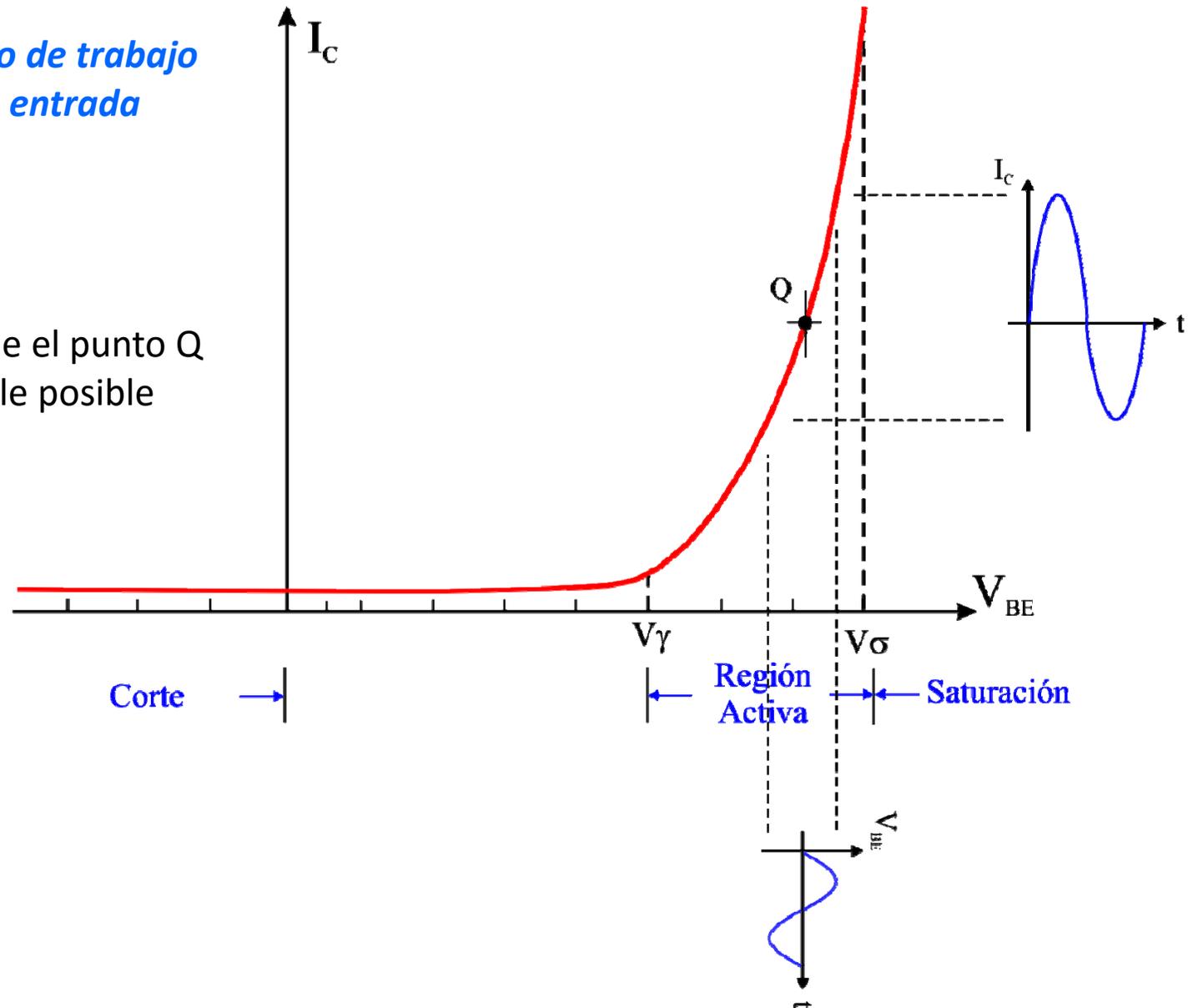
Activa

Saturación

9.- Polarización del transistor

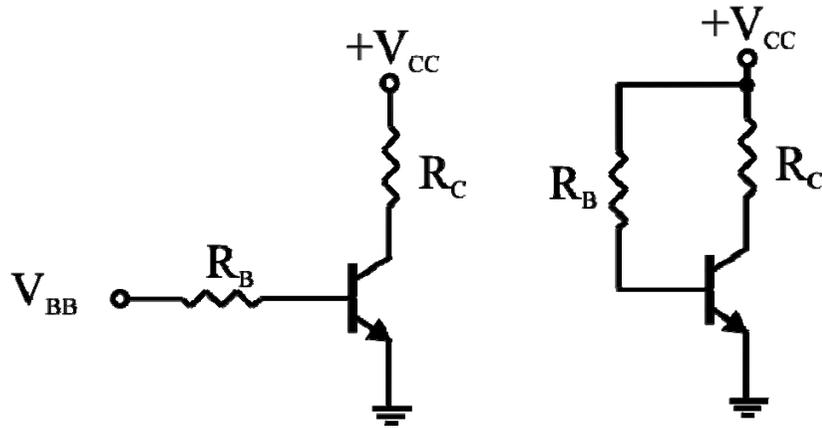
Consiste en fijar el punto de trabajo en ausencia de señal de entrada

Hay que procurar que el punto Q sea lo más estable posible

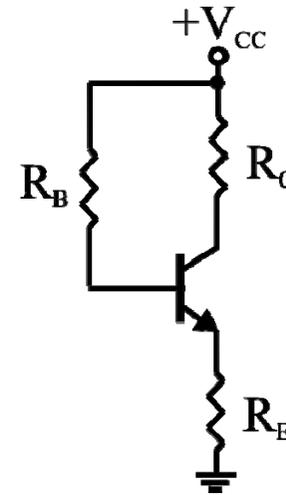


10.- Circuitos de polarización

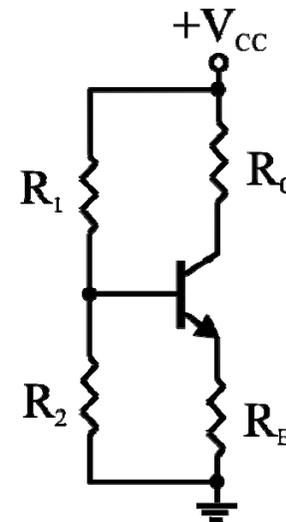
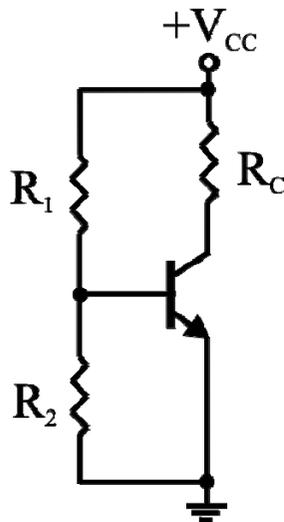
Polarización de base



Con R_E

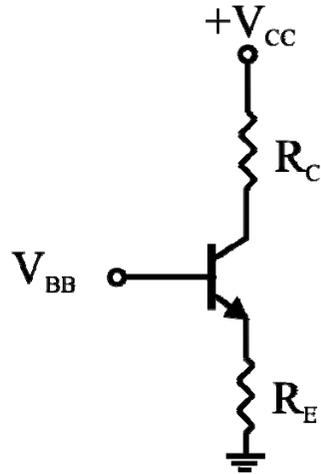


Polarización por divisor de tensión

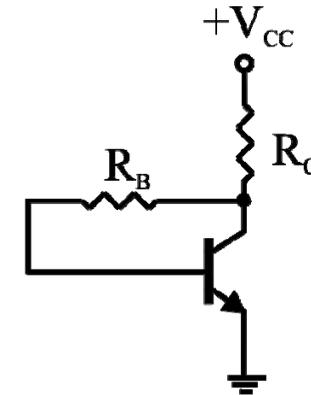


10.- Circuitos de polarización

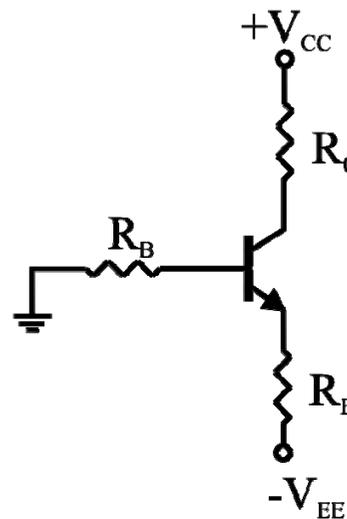
Polarización por realimentación de emisor



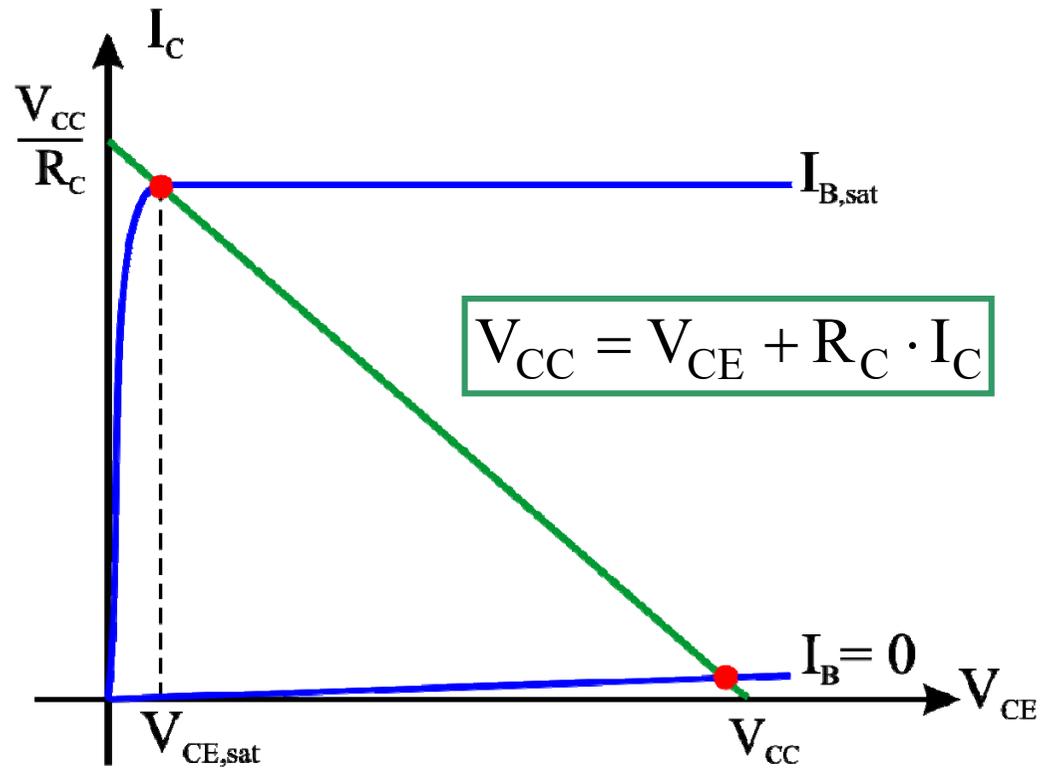
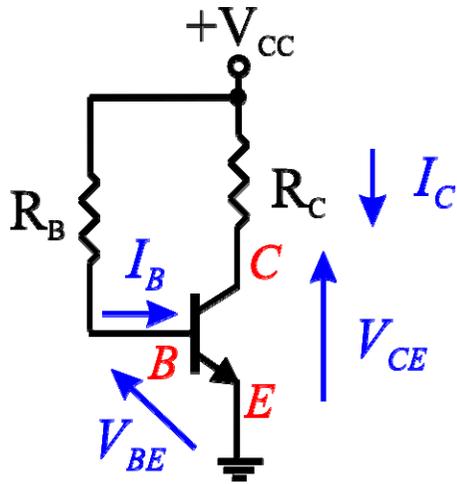
Polarización por realimentación de colector (autopolarización)



Polarización de emisor con dos fuentes de tensión



11.- Resolución de circuitos con BJT



De la malla de entrada

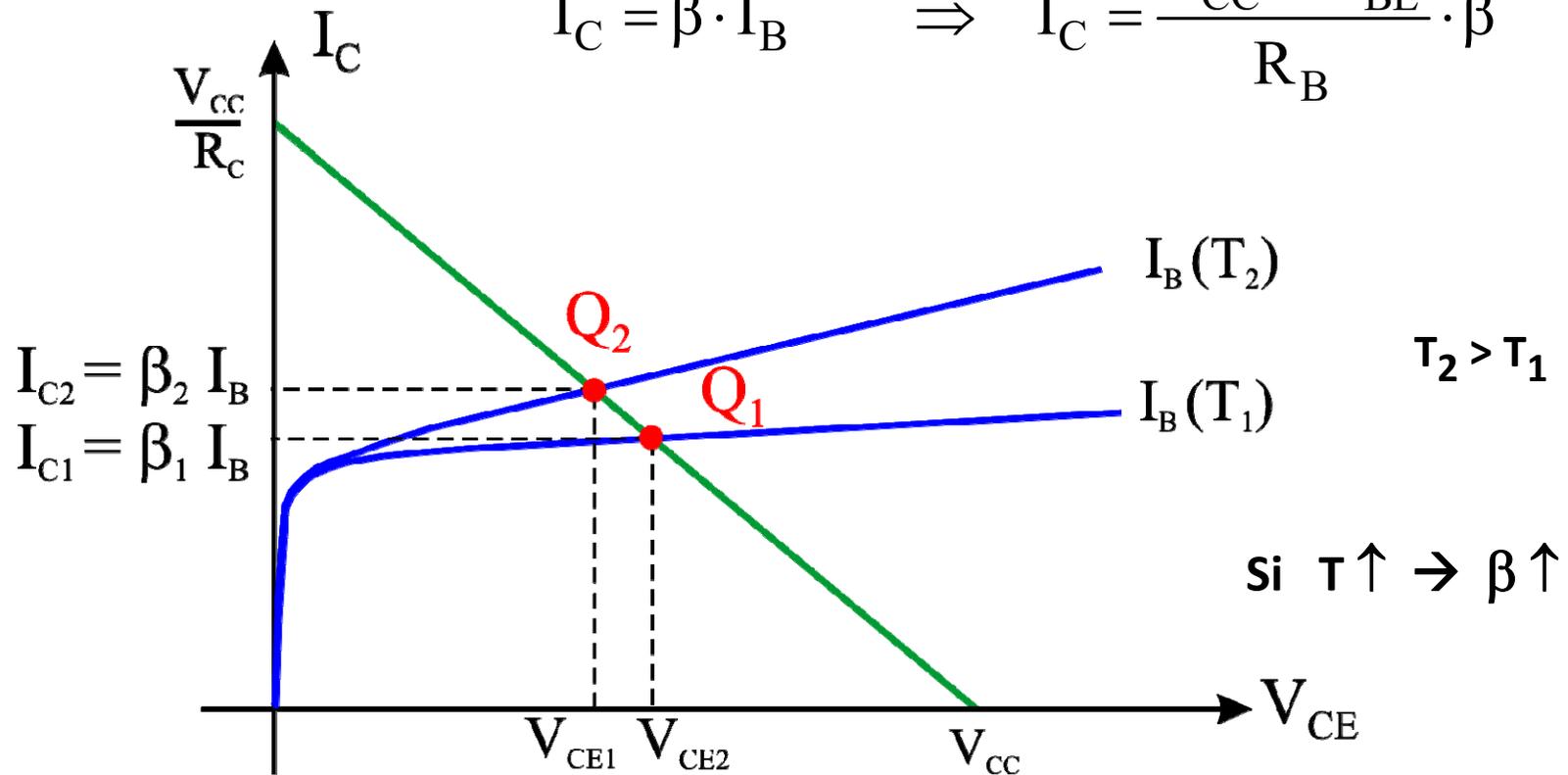
$$V_{CC} = V_{BE} + R_B \cdot I_B \quad \rightarrow \quad I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

11.- Resolución de circuitos con BJT

Dependencia con β .

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

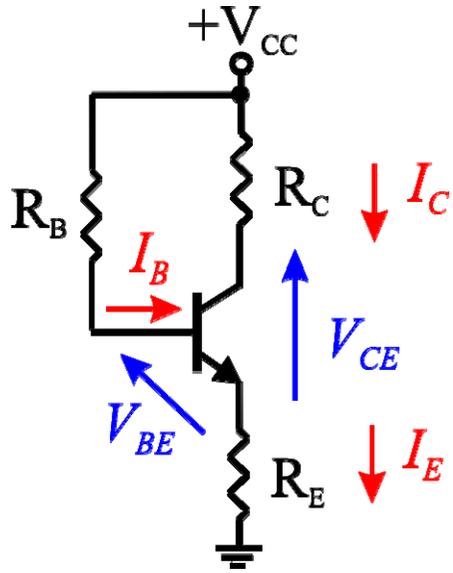
$$I_C = \beta \cdot I_B \Rightarrow I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \cdot \beta$$



si $\tau \uparrow \rightarrow \beta \uparrow$

El punto Q no es estable frente a las variaciones de β

11.- Resolución de circuitos con BJT



$$V_{CC} = R_E \cdot I_E + V_{BE} + R_B \cdot I_B = \text{cte.}$$

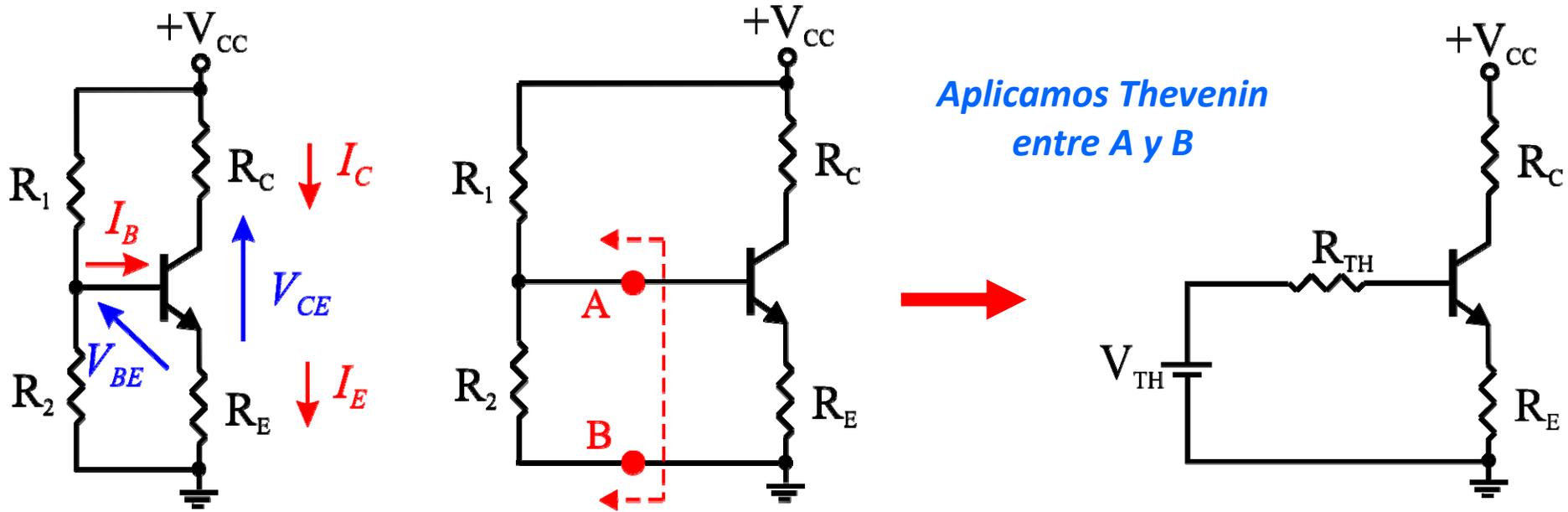
$$\left. \begin{array}{l} I_E = I_B + I_C \\ I_C = \beta \cdot I_B \end{array} \right\} I_E = \frac{\beta + 1}{\beta} \cdot I_C \Rightarrow I_E \approx I_C$$

$$\text{Si } \beta \uparrow \Rightarrow I_E \uparrow$$

$$\text{Si } R_E \cdot I_E \uparrow \Rightarrow R_B \cdot I_B \downarrow \Rightarrow I_C \downarrow$$

El circuito reacciona oponiéndose a la causa que ha originado la perturbación

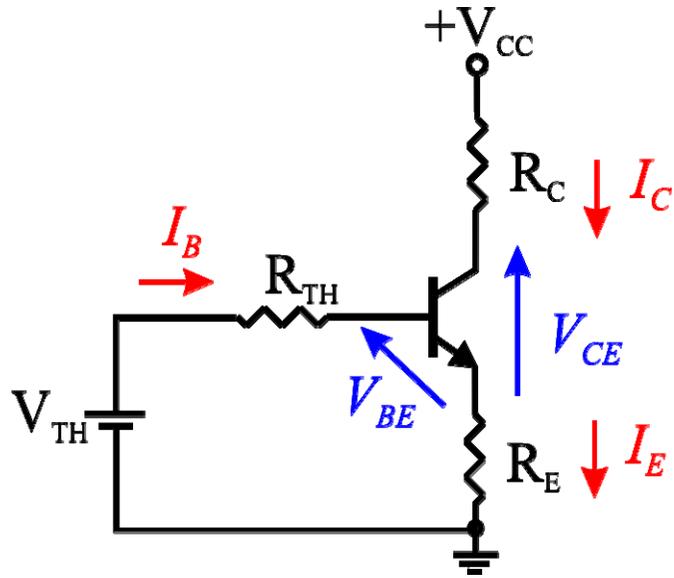
11.- Resolución de circuitos con BJT



$$R_{TH} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_{TH} = \frac{V_{CC} \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

11.- Resolución de circuitos con BJT



$$V_{TH} = R_E \cdot I_E + V_{BE} + R_{TH} \cdot I_B$$

$$\left. \begin{aligned} I_E &= I_B + I_C \\ I_C &= \beta \cdot I_B \end{aligned} \right\}$$

$$I_E = \frac{\beta + 1}{\beta} \cdot I_C \Rightarrow I_E \approx I_C$$

$$I_C = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_{TH}}{\beta}}$$

$$I_C = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_E}$$

Circuito Estable

Divisor firme

Si $R_E \gg \frac{R_{TH}}{\beta}$ $\left(R_E > 100 \frac{R_{TH}}{\beta} \right)$

$$R_{TH} < \frac{1}{100} \beta \cdot R_E$$

$$R_{TH} < \frac{1}{10} \beta \cdot R_E$$

11.- Resolución de circuitos con BJT

$$R_{TH} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_1 > R_2$$

$$R_{TH} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_2}{1 + \frac{R_2}{R_1}} \approx R_2$$

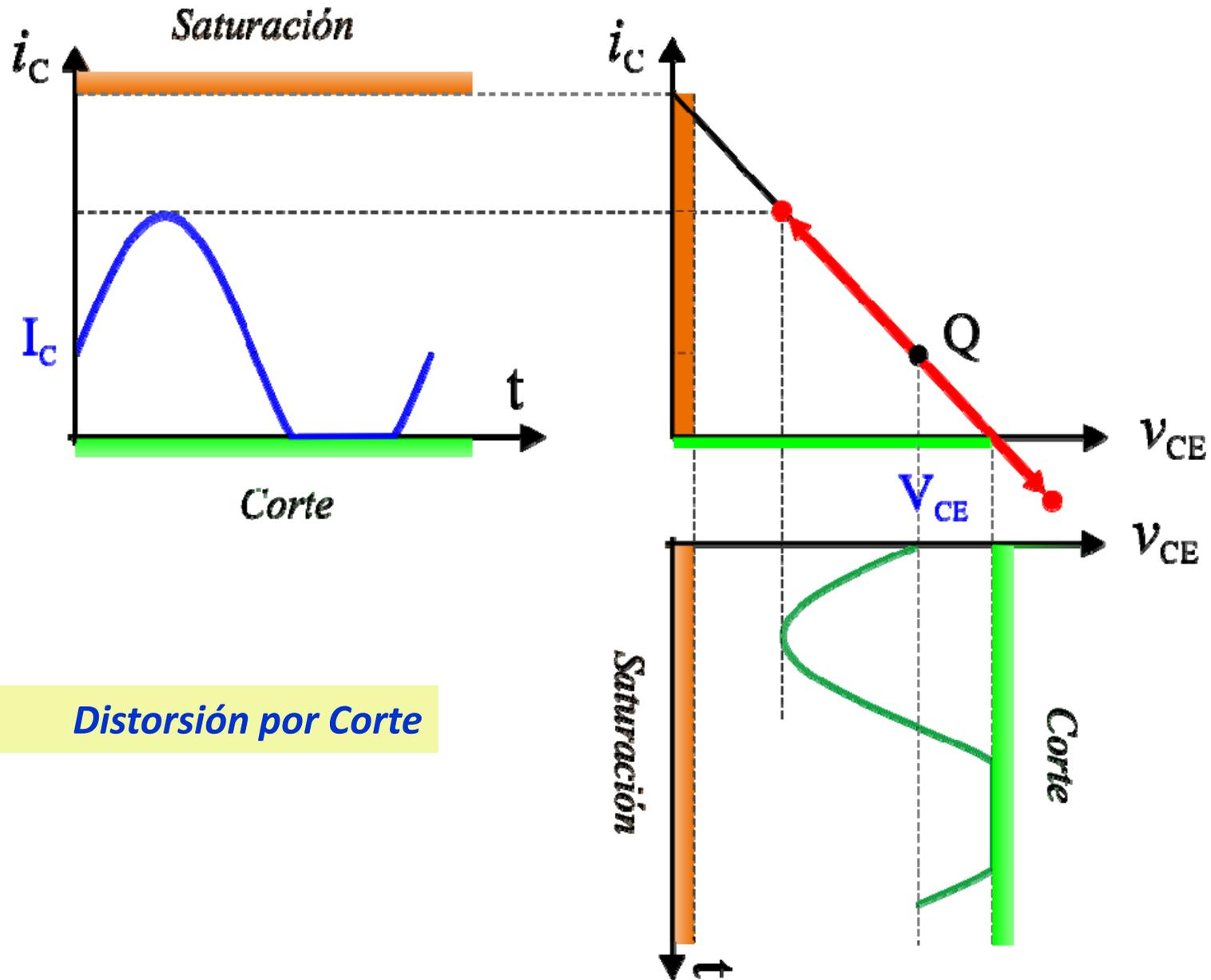
Circuito Estable

$$R_2 < \frac{1}{100} \beta \cdot R_E$$

Divisor firme

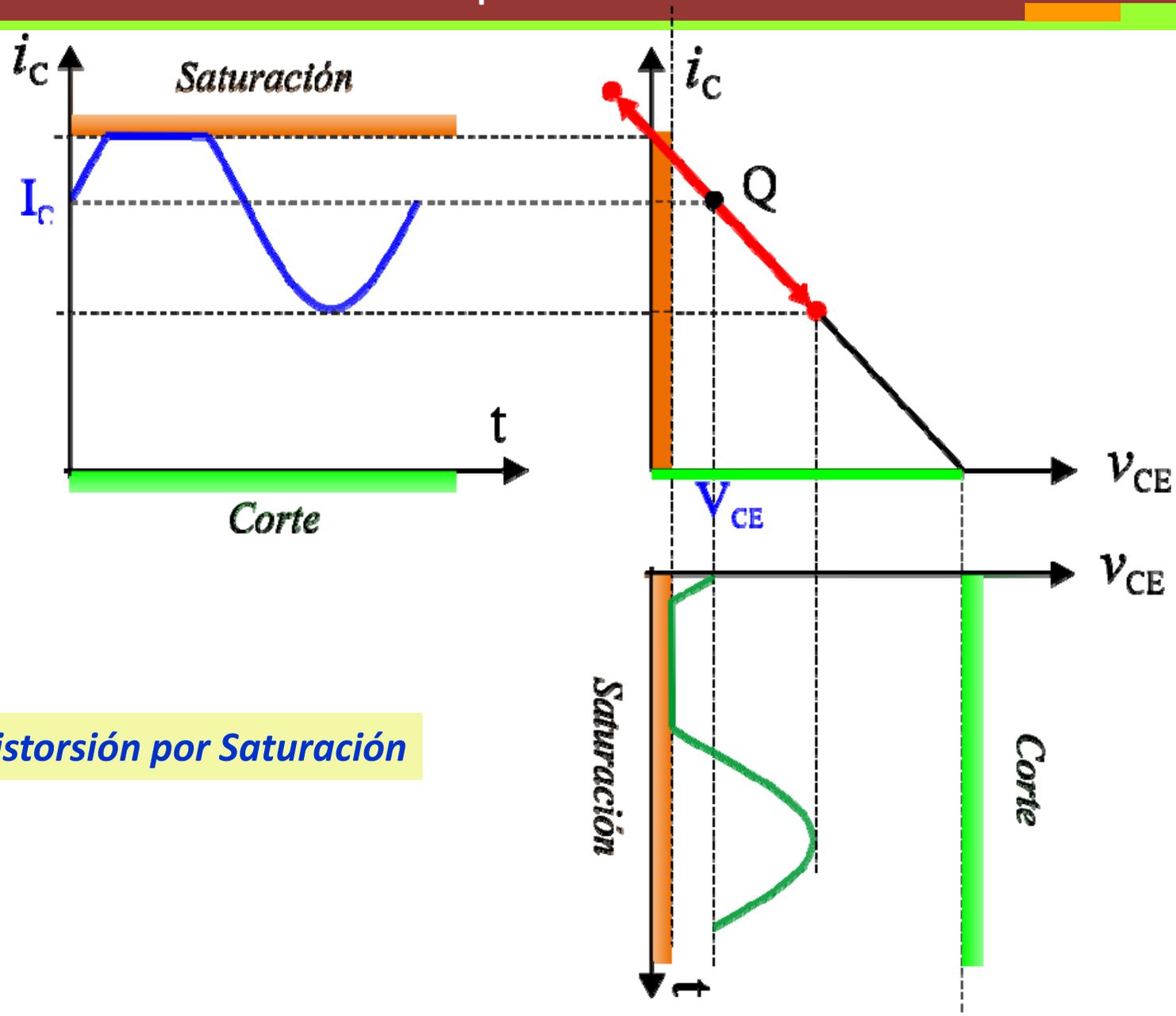
$$R_2 < \frac{1}{10} \beta \cdot R_E$$

12.- El transistor como amplificador



Distorsión por Corte

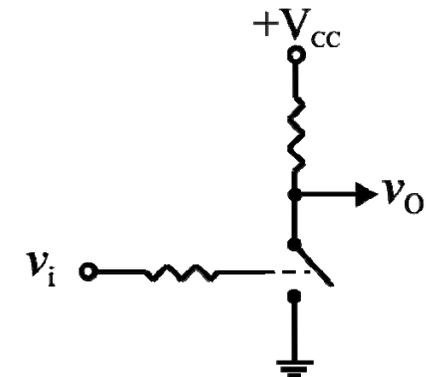
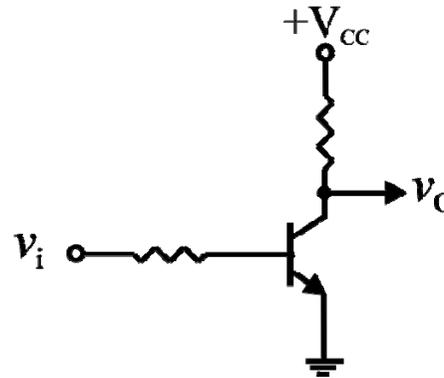
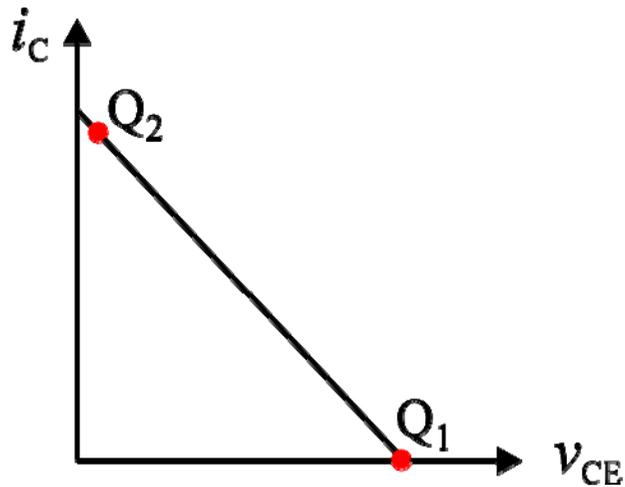
12.- El transistor como amplificador



Distorsión por Saturación

13.- El transistor como interruptor

Se trata de que el transistor trabaje en corte (Q_1) o en saturación (Q_2)



$$\text{Si } v_i = 0 \Rightarrow V_{BE} = 0 \Rightarrow I_B = 0 \Rightarrow I_C = 0 (Q_1) \Rightarrow V_O = V_{CC}$$

$$\text{Si } v_i = V_{CC} \Rightarrow I_B \uparrow \uparrow \Rightarrow \text{Saturación } (Q_2) \Rightarrow V_{CE} = 0,2 \text{ V} \approx 0 \text{ V}$$

