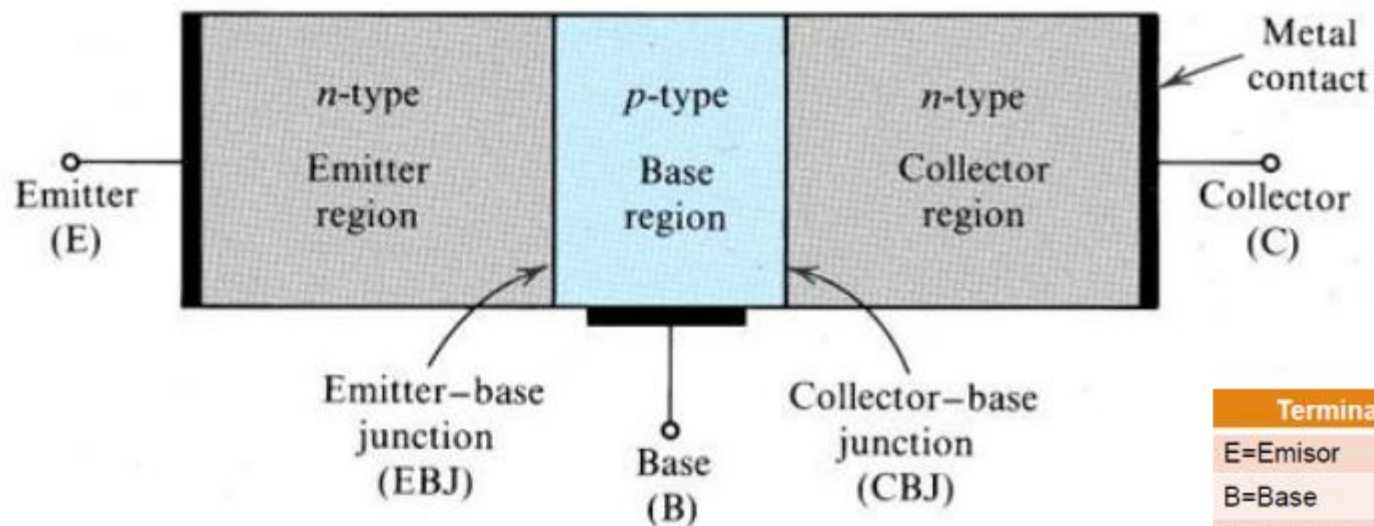
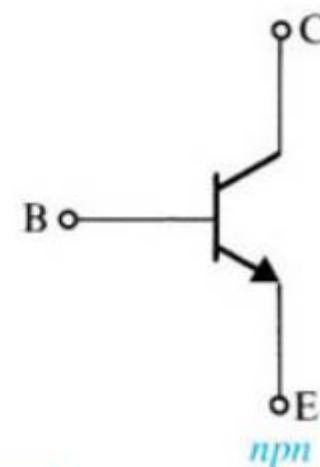
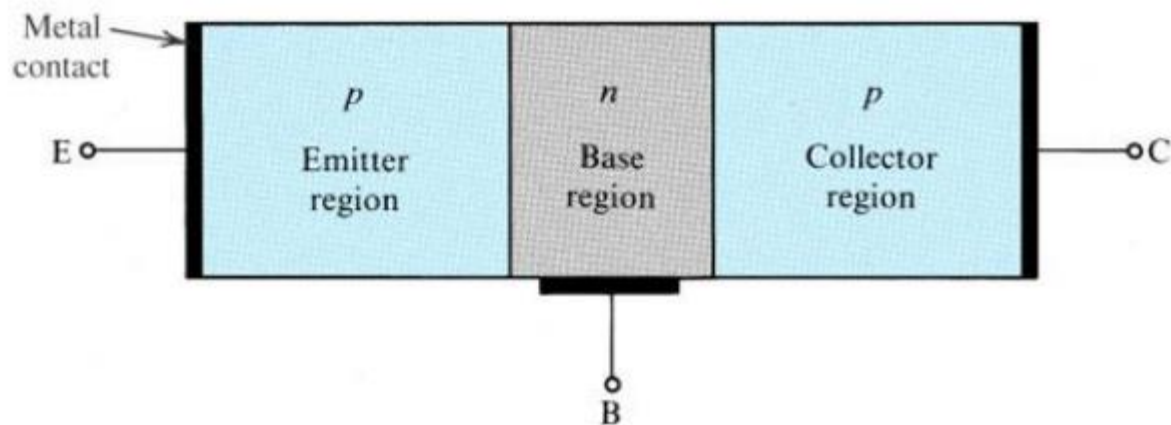


# TRANSISTOR DE UNION BIPOLAR BJT

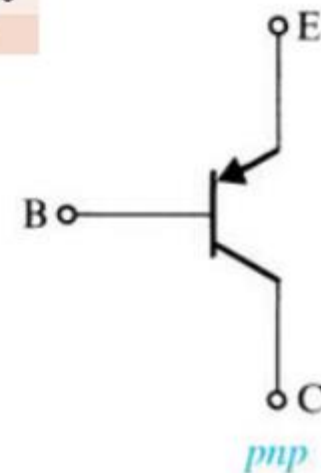
# Estructura Transistor npn y pnp



Terminal	Ancho	Dopado
E=Emisor	Normal	Muy dopado
B=Base	1:150	Levemente dopado
C=Colector	Normal	Poco dopado

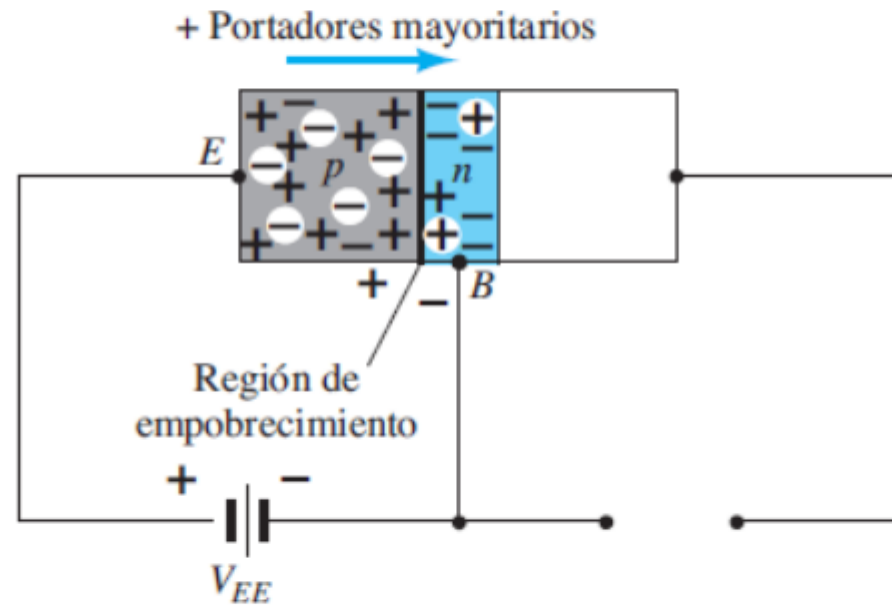


(a)

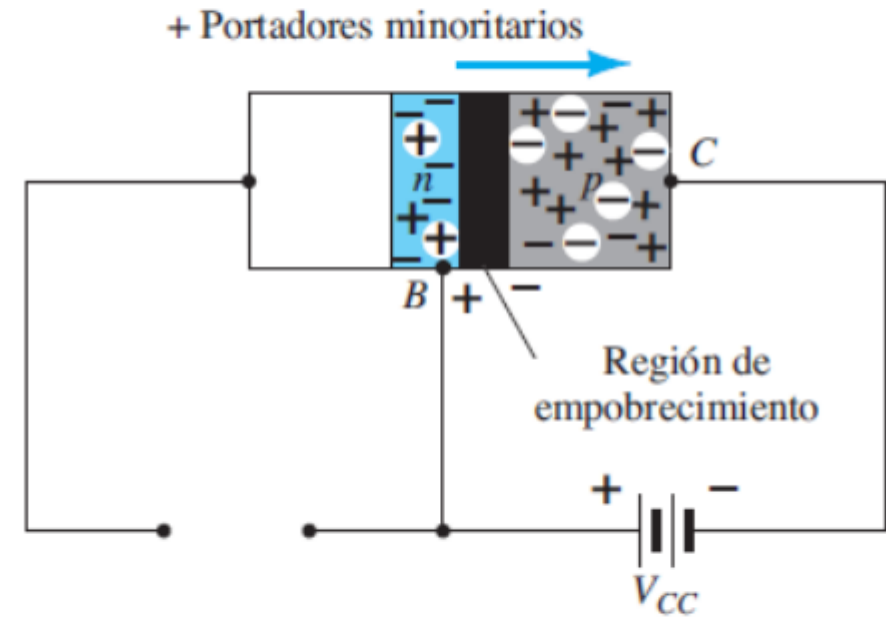


(b)

# Polarización directa e inversa transistor pnp

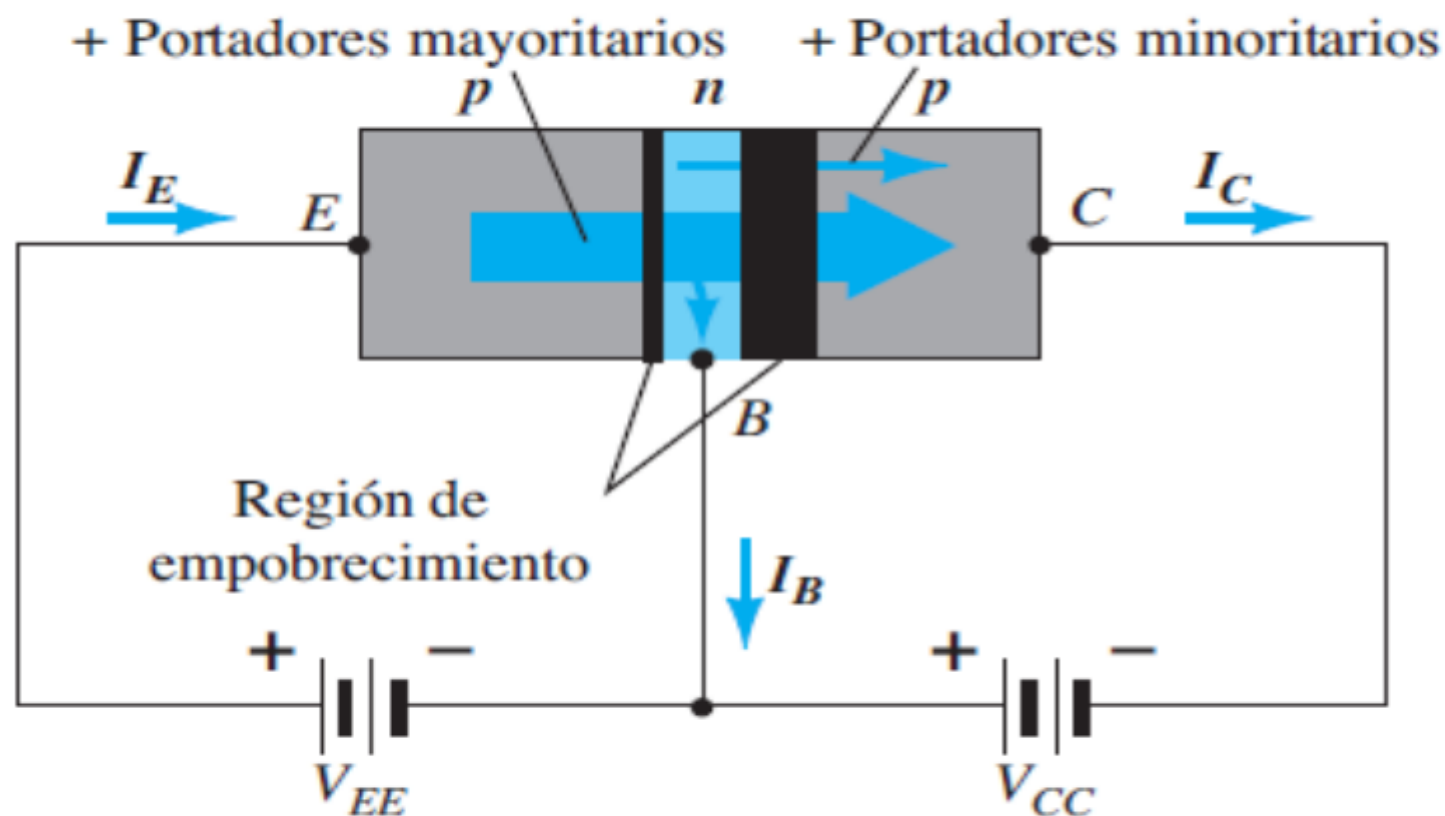


*Unión polarizada en directa de un transistor pnp.*



*Unión polarizada en inversa de un transistor pnp.*

# Flujo de portadores en el transistor pnp

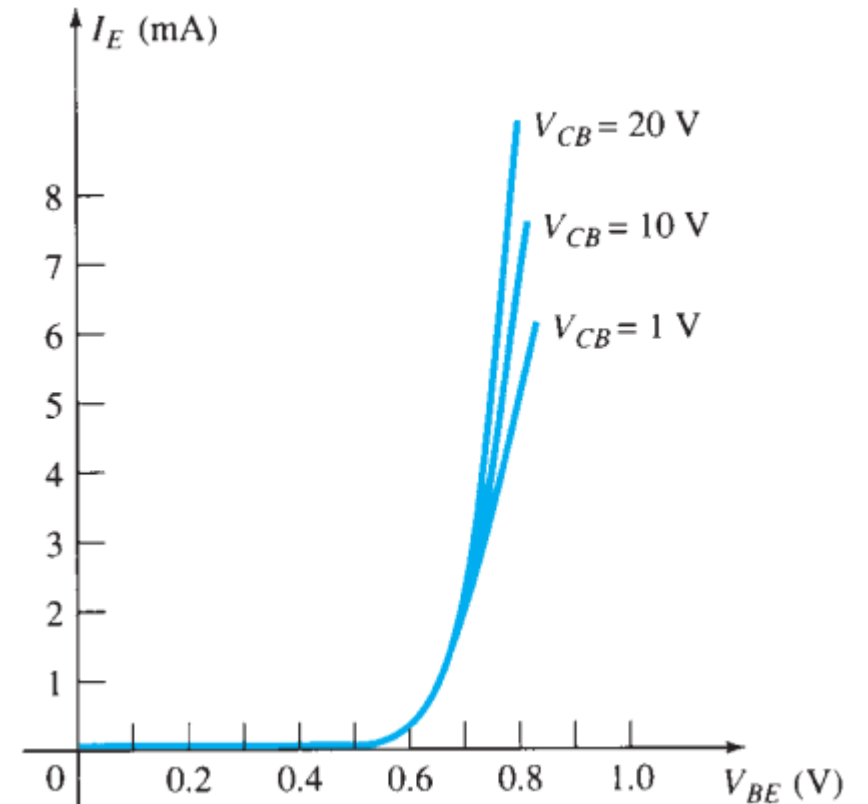
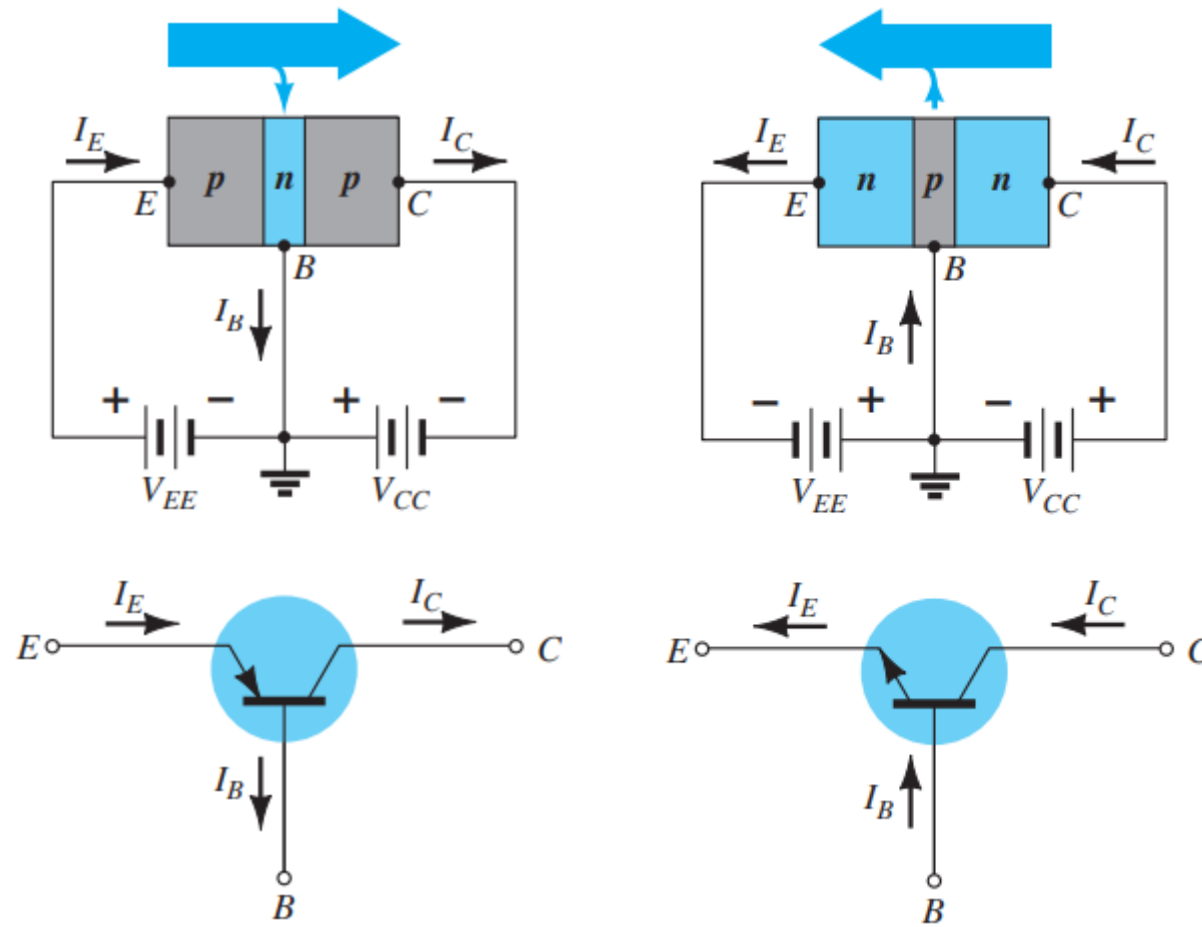


$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_C = I_{C_{\text{mayoritarios}}} + I_{C_{\text{O minoritarios}}}$$

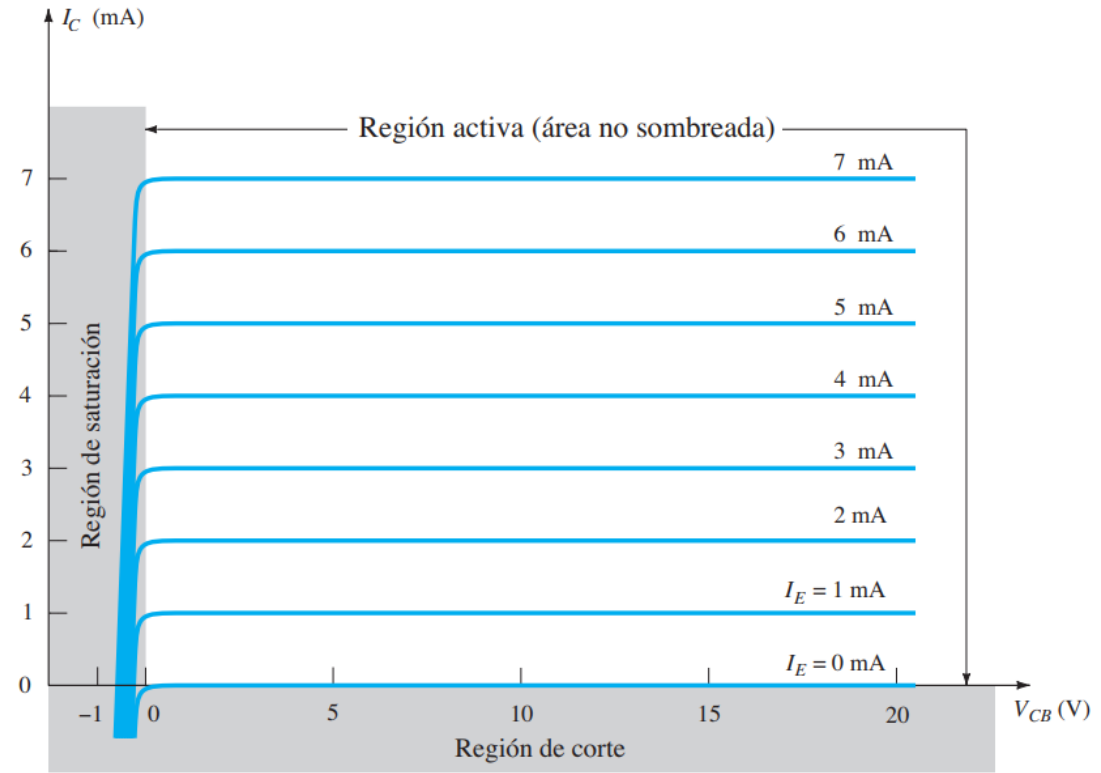
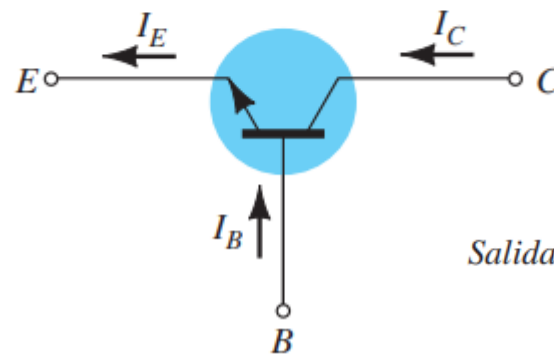
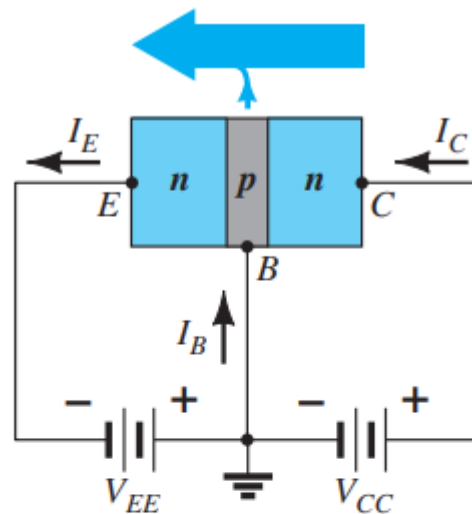
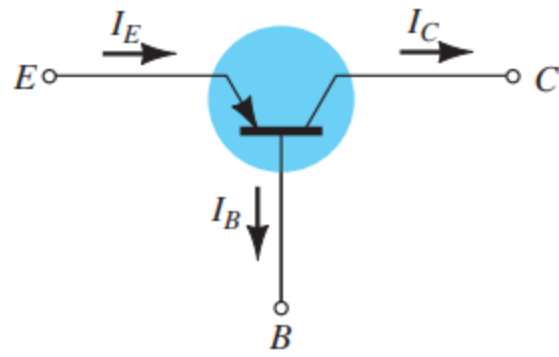
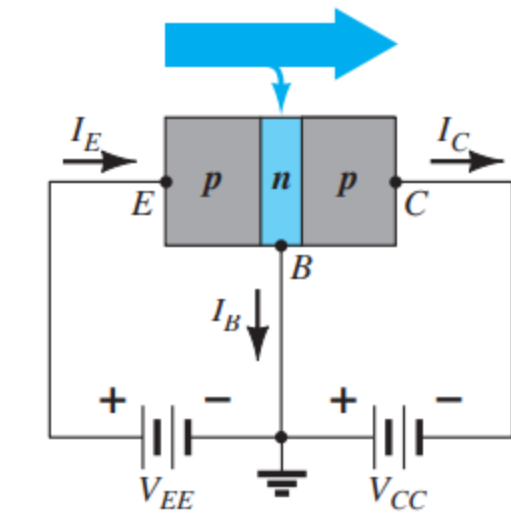
*Flujo de portadores mayoritarios y minoritarios de un transistor pnp.*

# Configuración en base común



*Características de entrada para un amplificador de transistor de silicio en configuración en base común.*

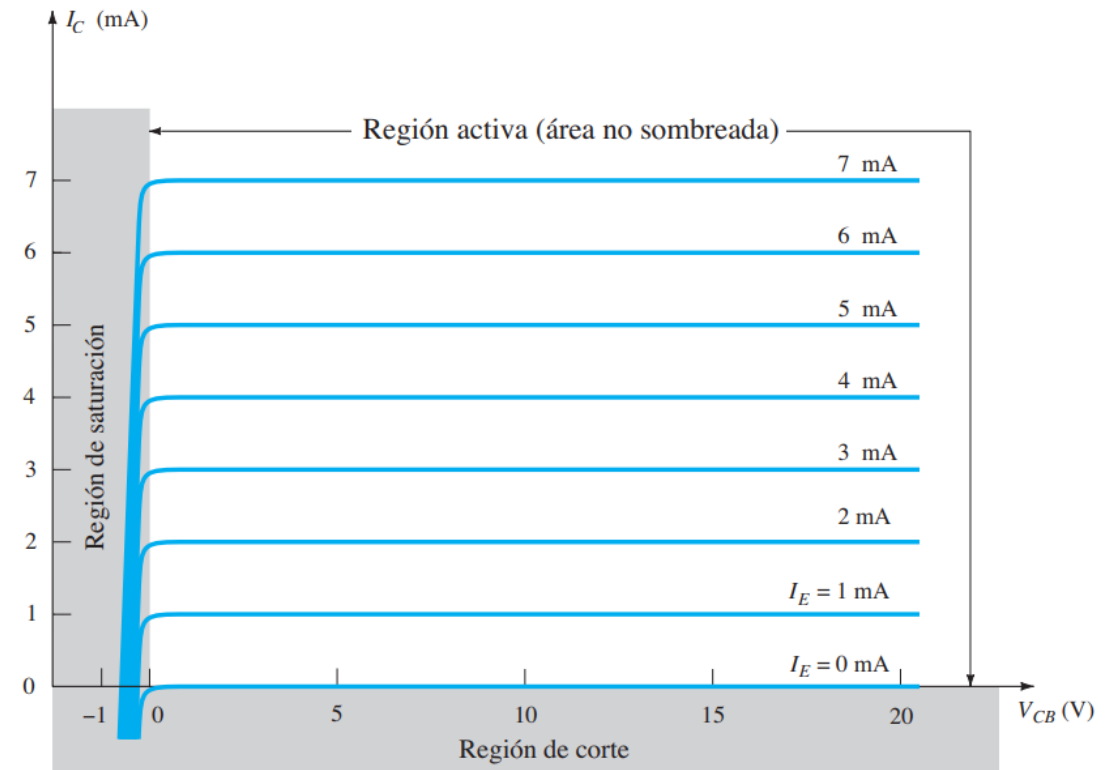
# Configuración en base común



Salida o características del colector de un amplificador de transistor en base común.

# Ejemplo

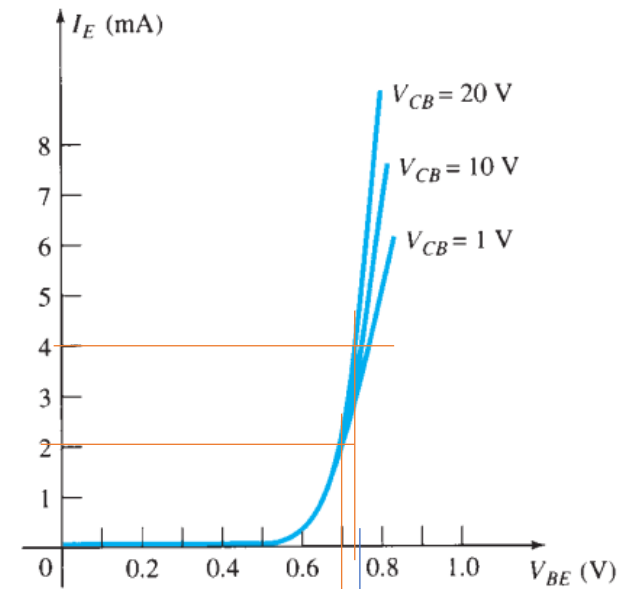
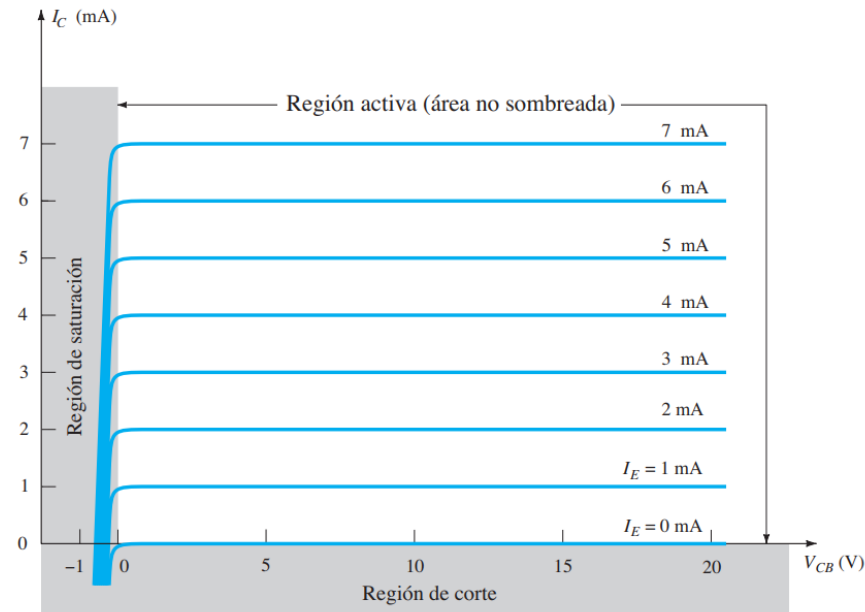
- A partir de las características de la figura, determine la corriente del colector si  $I_E = 3 \text{ mA}$  y  $V_{CB} = 10 \text{ V}$ .
- Utilizando las características de la figura, determine la corriente del colector si  $I_E$  permanece en  $3 \text{ mA}$  y  $V_{CB}$  se reduce a  $2 \text{ V}$



- $I_C$  es aproximadamente igual a  $I_E = 3 \text{ mA}$
- Al cambiar  $V_{CB}$  es insignificante e  $I_C$  sigue siendo  $3 \text{ mA}$

# Ejemplo

- Con las características de las figuras, determine  $V_{BE}$  si  $I_C = 4 \text{ mA}$  y  $V_{CB} = 20 \text{ V}$ .
- Si  $I_E$  permanece en  $3 \text{ mA}$  y  $V_{CB}$  se reduce a  $2 \text{ V}$ .Cuál es el  $V_{BE}$ ?

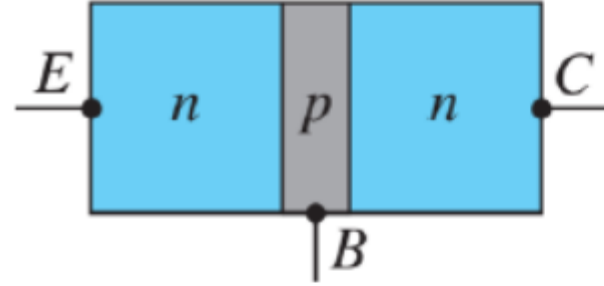
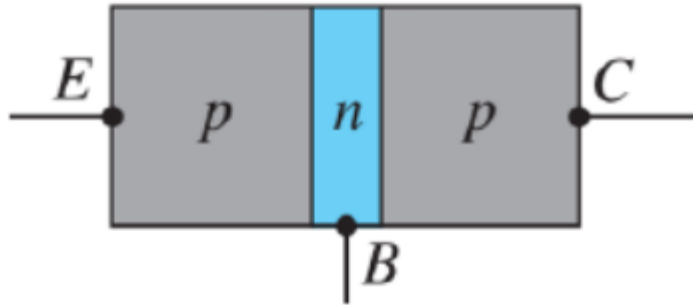


- $I_C$  es aproximadamente igual a  $I_E = 4 \text{ mA}$  y  $V_{BE} = 0,74 \text{ V}$ .
- Al cambiar  $V_{CB}$  es insignificante e  $I_C$  sigue siendo  $3 \text{ mA}$ .  $I_C$  es aproximadamente igual a  $I_E = 4 \text{ mA}$  y  $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$ .



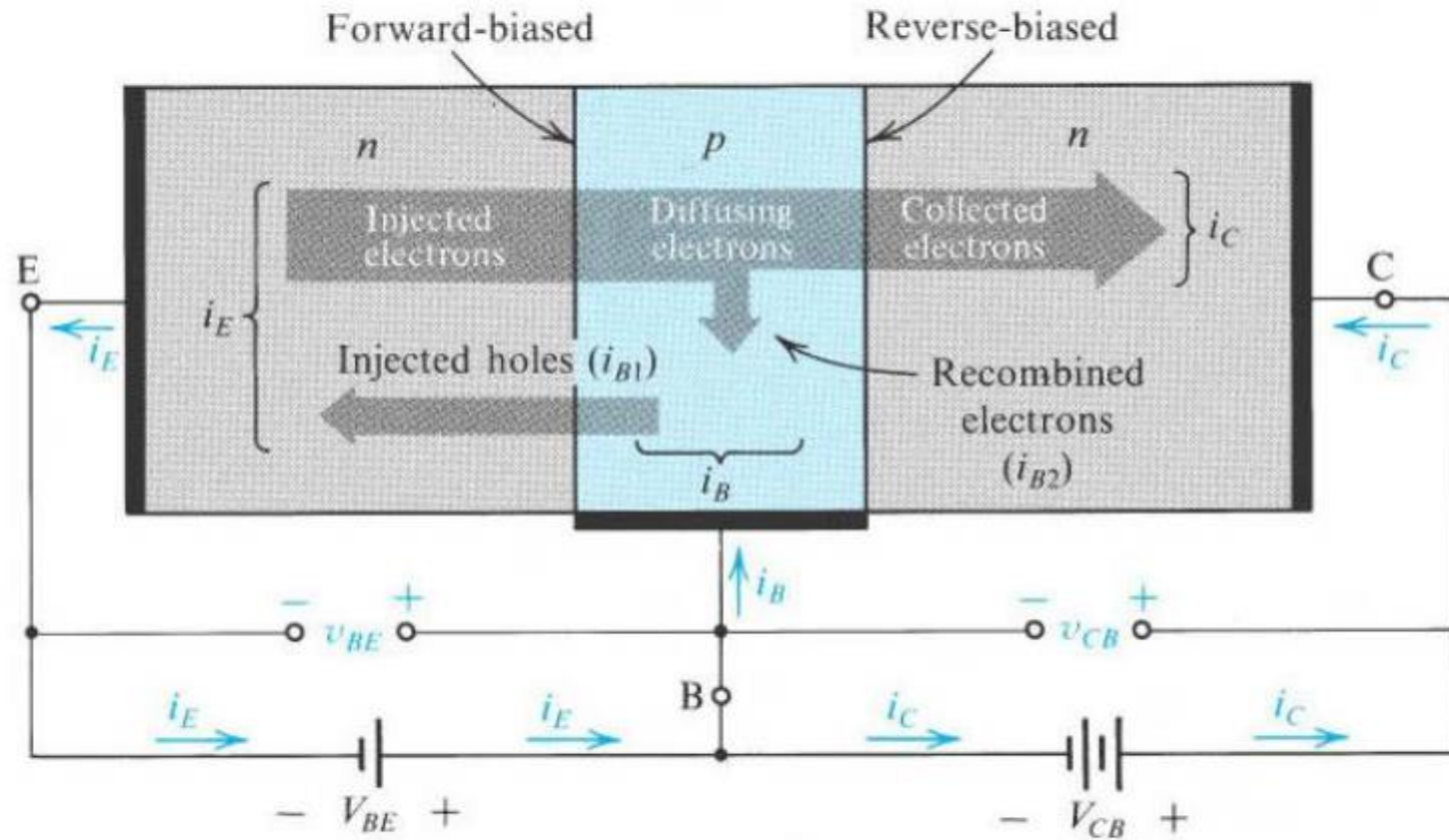
# Modos de Operación de un BJT

Al igual que un diodo, de acuerdo a las tensiones aplicadas en sus terminales, se obtienen diferentes comportamientos en del transistor.



Modo	Unión E-B	Unión C-B
Corte	Inversa	Inversa
Activa	Directa	Inversa
Saturación	Directa	Directa

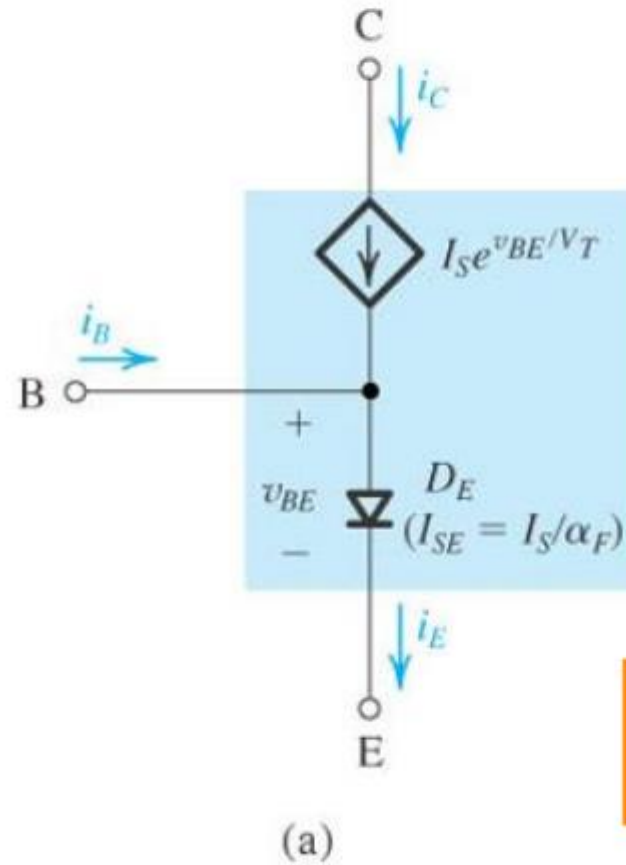
# Modo activo Transistor NPN



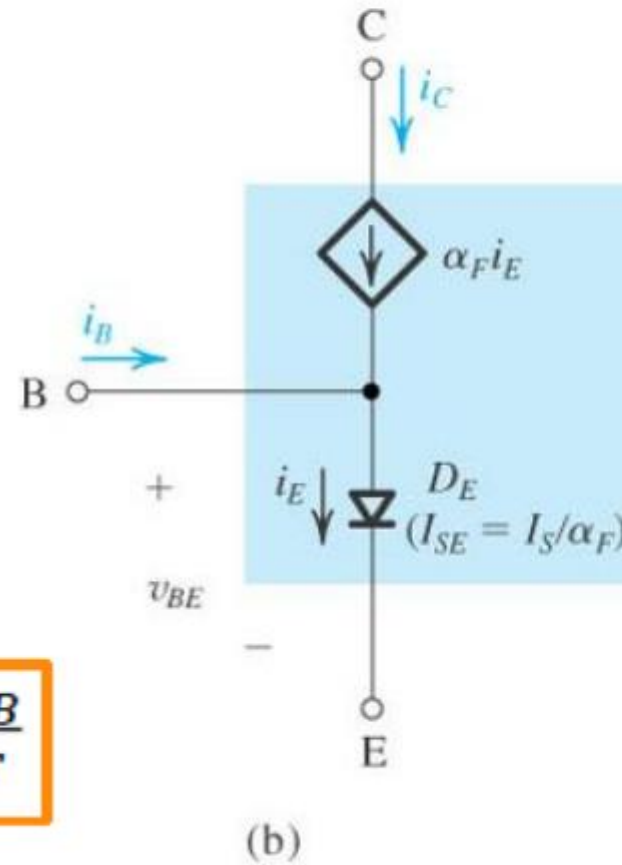
$$V_C > V_B > V_E$$

$$I_E = I_C + I_B$$

# Modelo a gran señal, transistor npn activo



$$I_C = I_S e^{\frac{v_{EB}}{V_T}}$$



Parámetros alfa y beta

## Beta ( $\beta$ )

En el modo de cd los niveles de  $I_C$  e  $I_B$  están relacionados por una cantidad llamada *beta* y definida por la siguiente ecuación:

$$\beta_{cd} = \frac{I_C}{I_B}$$

donde  $I_C$  e  $I_B$  se determinan en un punto de operación particular en las características. Para dispositivos prácticos el nivel de  $\beta$  por lo general varía de aproximadamente 50 a más de 400, con la mayoría de los valores en el intervalo medio.

En las hojas de especificaciones casi siempre se incluye  $\beta_{cd}$  como  $h_{FE}$

En situaciones de ca en  $\beta_{ca}$  se define de la siguiente manera:

$$\beta_{ca} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{V_{CE}=\text{constante}}$$

## Alfa ( $\alpha$ )

En el modo cd los niveles de  $I_C$  e  $I_E$  originados por los portadores mayoritarios están relacionados por una cantidad llamada *alfa* definida por la siguiente ecuación:

$$\alpha_{cd} = \frac{I_C}{I_E}$$

Ganancia de corriente de base común

$$I_E = I_B + I_C$$



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

$$I_E = \frac{1 + \beta}{\beta} I_C$$

$$I_E = \frac{1}{\alpha} I_C$$

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

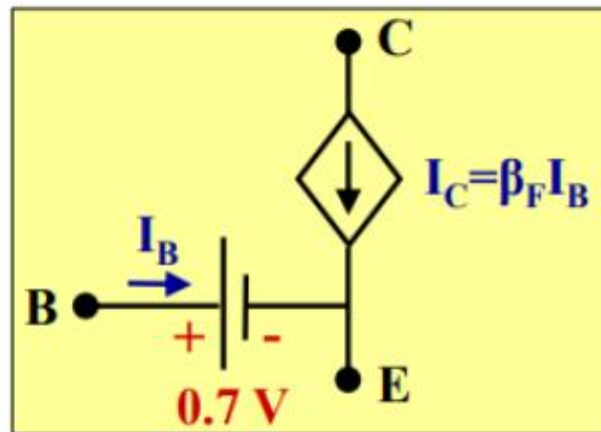
$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

# Región Activa

**Zona Activa:** Unión Base-Emisor polarizada en directa.

$$V_{BE} \approx 0,7$$

$$V_{CB} < 0.7$$



$$i_C = \beta \cdot i_B$$

$$i_E = i_C + i_B$$



En activa directa el transistor se usa en aplicaciones de Amplificación

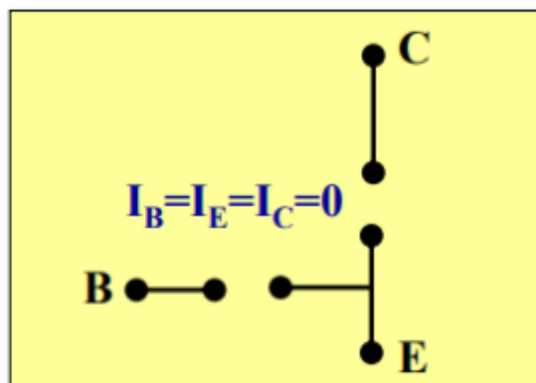
	BE	CB
Unión	Directa	Inversa
Corriente	$I_E = I_C + I_B$	$I_C$

# Región de Corte

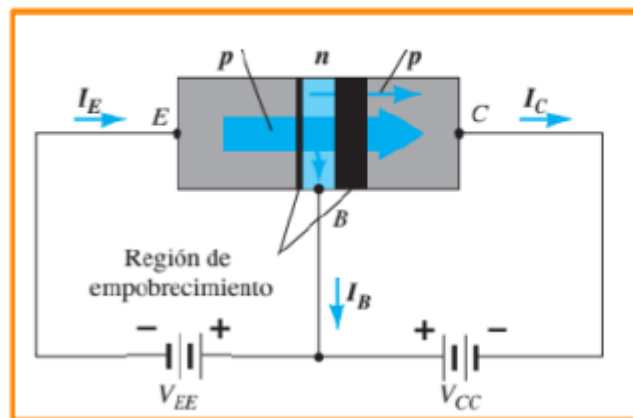
**Zona de Corte:** Ambas uniones (Base-Emisor y Base-Colector) polarizadas en inversa. No hay corriente (interruptores abiertos)

$$V_{BE} < 0,7$$

$$V_{CB} < 0.7$$



En corte el transistor se asemeja a un interruptor abierto

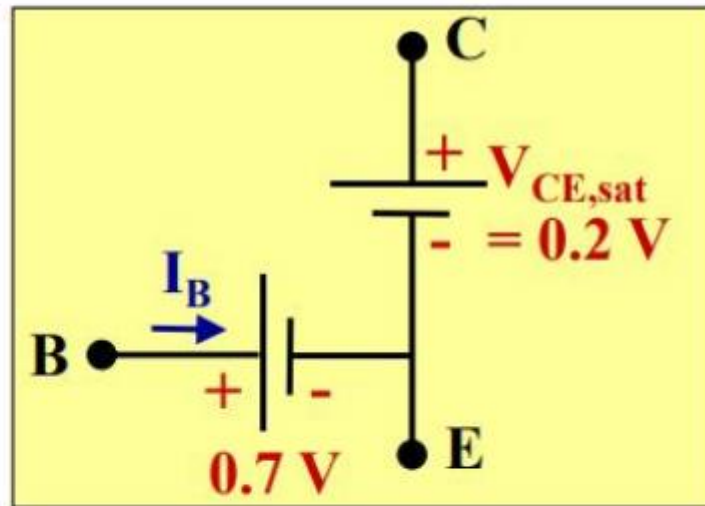


	BE	CB
Unión	Inversa	Inversa
Corriente	0	0



# Región de Saturación

✓ **Zona de Saturación:** Unión Base-Emisor polarizada en directa. Unión Base-Collector ahora también polarizada directamente (aunque a una tensión un poco menor). La corriente de colector  $i_c$  depende del circuito externo.



$$I_C < \beta I_B$$

$$I_E \approx I_C$$

→ En saturación  
transistor se asemeja a  
un interruptor cerrado

	BE	CB
Unión	Directa	Directa
Corriente	$I_E$	$I_C \cong I_E \cong I_{max}$

### **Tabla Resumen de las zonas de funcionamiento.**

<b>Unión BE</b>	<b>Unión BC</b>	<b>Estado</b>	
Directa	Inversa	Activa	$i_E = i_B + i_C; V_{BE} = 0,7V; i_C = \beta \cdot i_B$
Directa	Directa	Saturación	$i_C < \beta \cdot i_B; V_{CE} \approx 0,2V$
Inversa	Inversa	Corte	$i_B = 0; i_C = 0$
Inversa	Directa	Activa inversa	<b>No se utiliza</b>

# Resumen ecuaciones

---

**npn**

$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_E = \frac{i_C}{\alpha} = \frac{I_S}{\alpha} e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \frac{I_S}{\beta} e^{v_{BE}/V_T}$$

**pnp**

$$i_C = I_S e^{v_{EB}/V_T}$$

$$i_E = \frac{i_C}{\alpha} = \frac{I_S}{\alpha} e^{v_{EB}/V_T}$$

$$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \frac{I_S}{\beta} e^{v_{EB}/V_T}$$

**Para ambos Transistores**

$$i_E = i_C + i_B$$

$$i_E = (1 + \beta)i_B$$

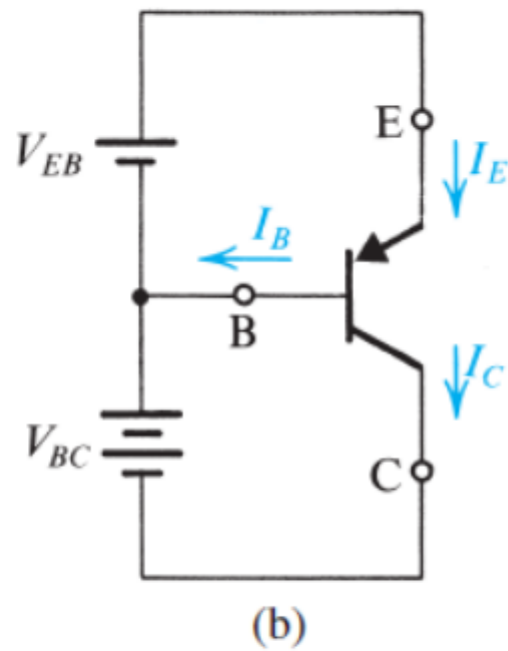
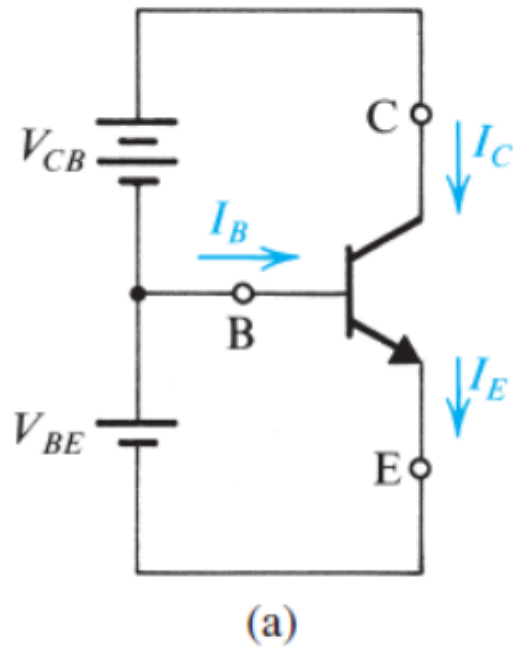
$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

$$i_C = \beta i_B$$

$$i_C = \alpha i_E = \left( \frac{\beta}{1 + \beta} \right) i_E$$

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

$V_T$ =Voltaje térmico=25mV a temperatura ambiente



**Figure 6.13** Voltage polarities and current flow in transistors operating in the active mode.

**Table 6.3** Simplified Models for the Operation of the BJT in DC Circuits

	<i>npn</i>	<i>pnp</i>
<b>Active</b> EBJ: Forward Biased  CBJ: Reverse Biased	<p> <math>I_B</math>  <math>V_{BE} \approx 0.7 \text{ V}</math>  <math>\beta I_B</math>  <math>V_{CE} &gt; 0.3 \text{ V}</math> </p>	<p> <math>V_{EB} \approx 0.7 \text{ V}</math>  <math>\beta I_B</math>  <math>V_{EC} &gt; 0.3 \text{ V}</math> </p>
<b>Saturation</b> EBJ: Forward Biased  CBJ: Forward Biased	<p> <math>I_B</math>  <math>V_{BE} \approx 0.7 \text{ V}</math>  <math>I_C = \beta_{\text{forced}} I_B</math>  <math>V_{CE\text{sat}} \approx 0.2 \text{ V}</math> </p>	<p> <math>V_{EB} \approx 0.7 \text{ V}</math>  <math>V_{EC\text{sat}} \approx 0.2 \text{ V}</math>  <math>I_C = \beta_{\text{forced}} I_B</math> </p>

# Punto de operación

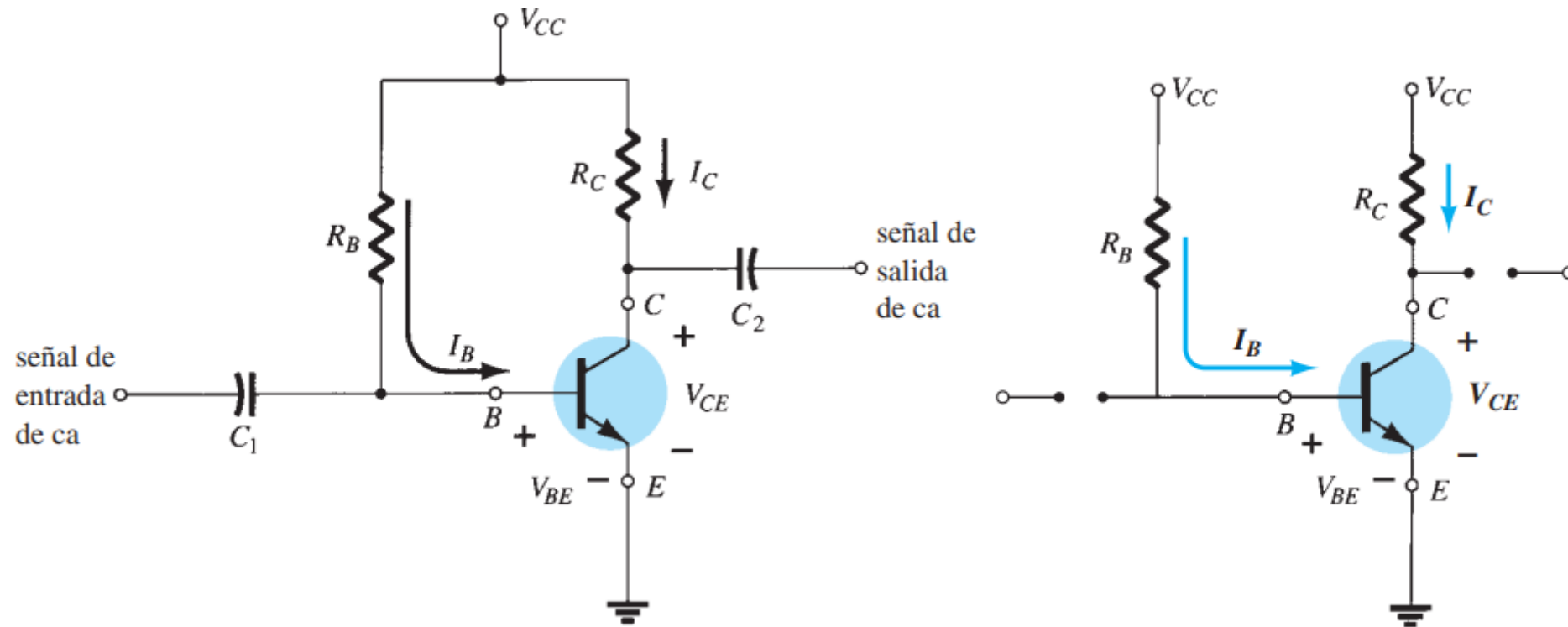
Para que el BJT se polarice en su región de operación lineal o activa lo siguiente debe ser cierto:

1. *La unión base-emisor debe polarizarse en directa (voltaje más positivo en la región p), con el voltaje de polarización en directa resultante de cerca de 0.6 a 0.7 V.*
2. *La unión base-colector debe polarizarse en inversa (más positivo en la región n), con el voltaje de polarización en inversa de cualquier valor dentro de los límites del dispositivo.*

La operación en las regiones de corte, saturación y lineal de la característica BJT se da como sigue:

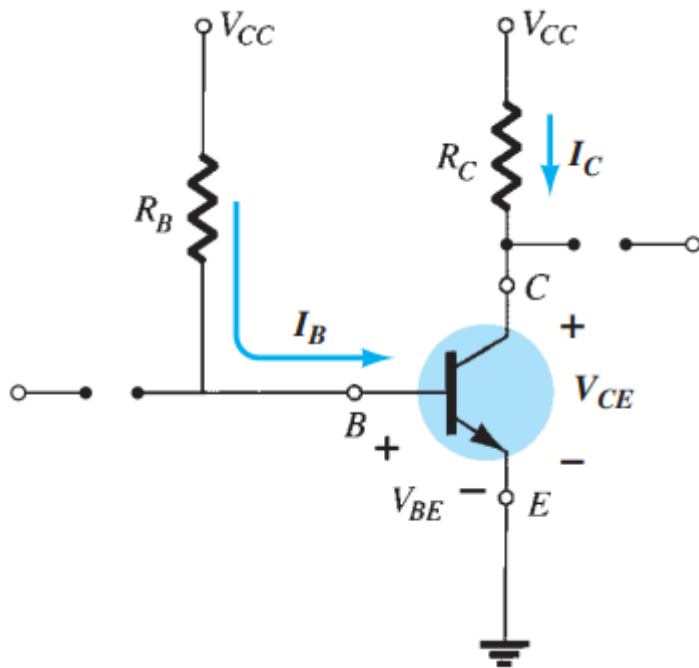
1. *Operación en la región lineal:*  
Unión base-emisor polarizada en directa.  
Unión base-colector polarizada en inversa.
2. *Operación en la región de corte:*  
Unión base-emisor polarizada en inversa.  
Unión base-colector polarizada en inversa.
3. *Operación en la región de saturación:.*  
Unión base-emisor polarizada en directa.  
Unión base-colector polarizada en directa.

# Configuración Polarización fija



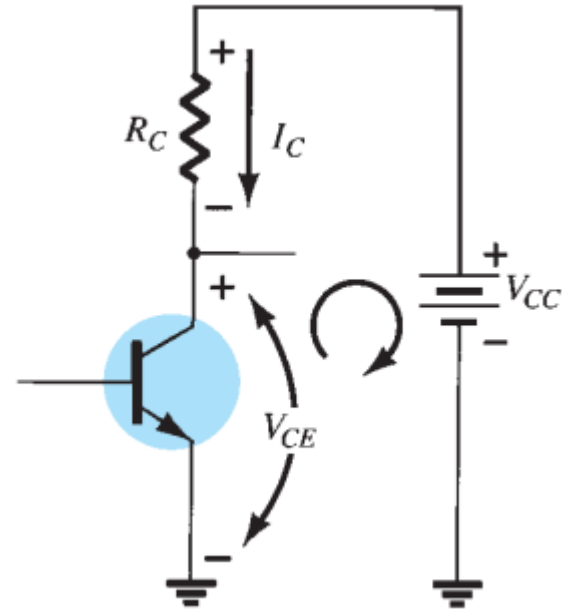
# Configuración Polarización fija

- Polarización directa de la unión base-emisor
- Malla colector - emisor



$$+V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} = 0$$

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



$$I_C = \beta I_B$$

$$V_{CE} + I_C R_C - V_{CC} = 0$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

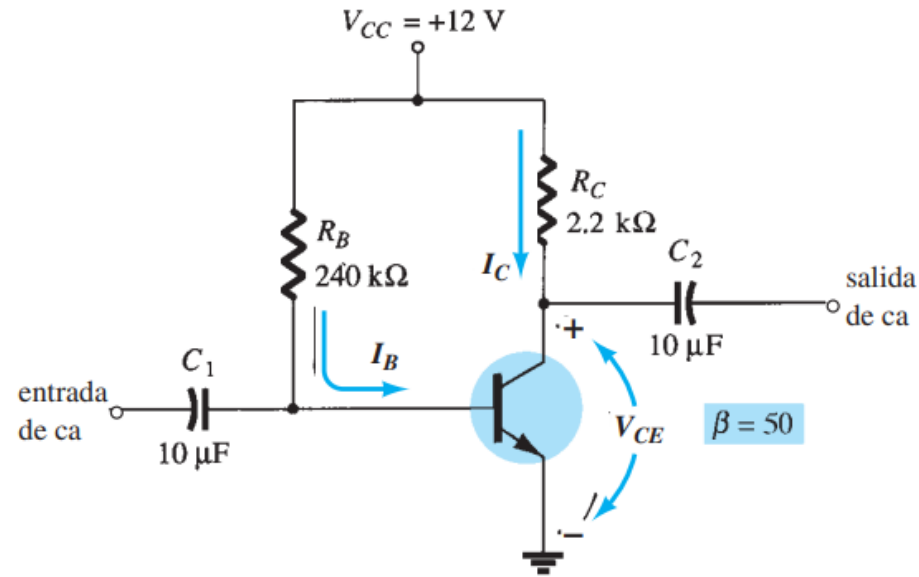
$$V_{CE} = V_C$$

$$V_{BE} = V_B - V_E$$

$$V_{BE} = V_B$$



# Ejemplo



- a.  $I_{BQ}$  y  $I_{CQ}$ .
- b.  $V_{CEQ}$ .
- c.  $V_B$  y  $V_C$ .
- d.  $V_{BC}$ .

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{240 \text{ k}\Omega} = \mathbf{47.08 \mu\text{A}}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = (50)(47.08 \mu\text{A}) = \mathbf{2.35 \text{ mA}}$$

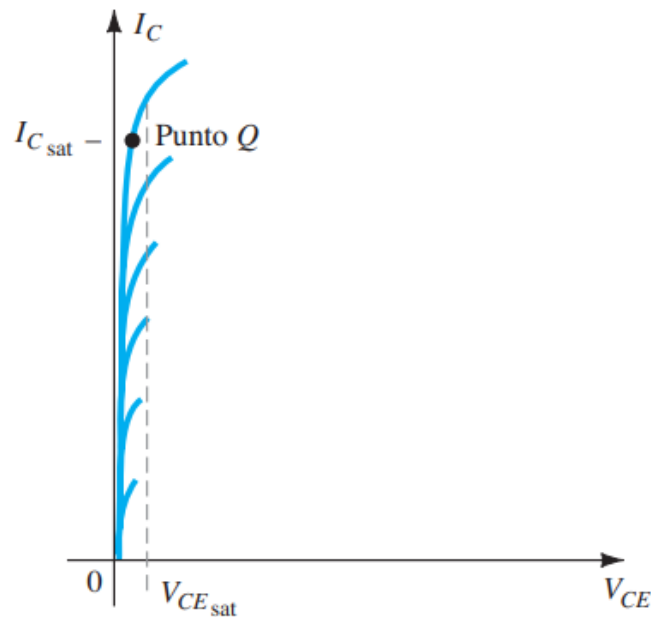
$$\begin{aligned} V_{CEQ} &= V_{CC} - I_C R_C \\ &= 12 \text{ V} - (2.35 \text{ mA})(2.2 \text{ k}\Omega) \\ &= \mathbf{6.83 \text{ V}} \end{aligned}$$

$$V_B = V_{BE} = \mathbf{0.7 \text{ V}}$$

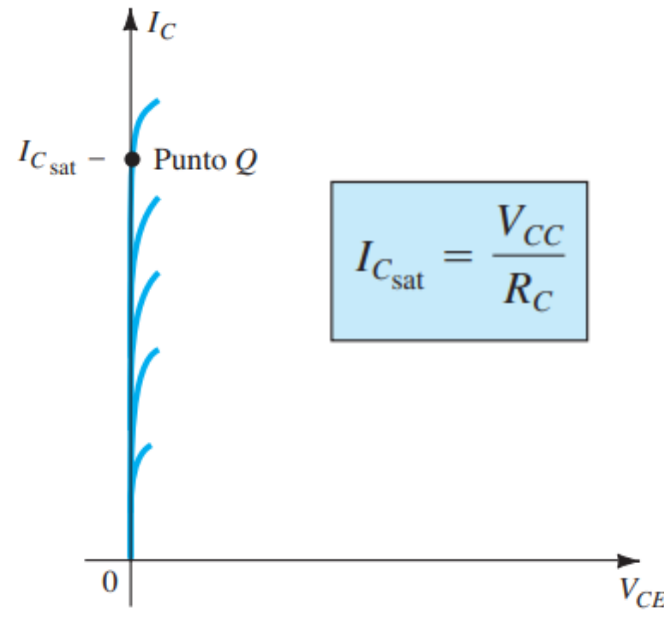
$$V_C = V_{CE} = \mathbf{6.83 \text{ V}}$$

$$\begin{aligned} V_{BC} &= V_B - V_C = 0.7 \text{ V} - 6.83 \text{ V} \\ &= \mathbf{-6.13 \text{ V}} \end{aligned}$$

# Saturación del transistor

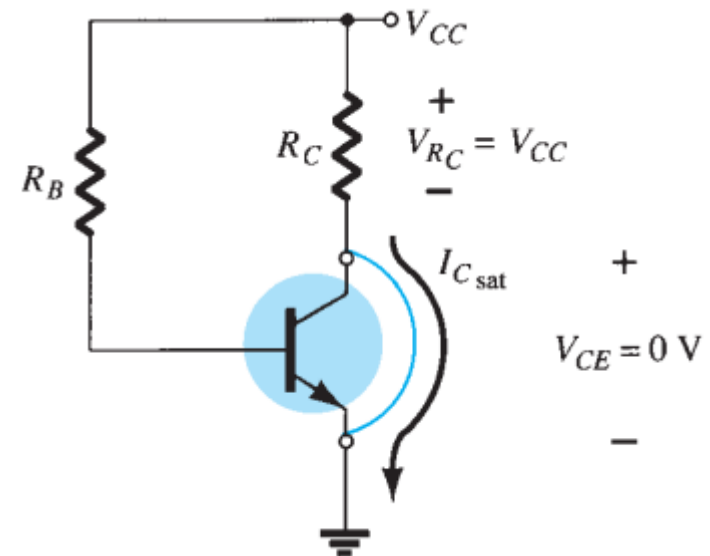


(a)



(b)

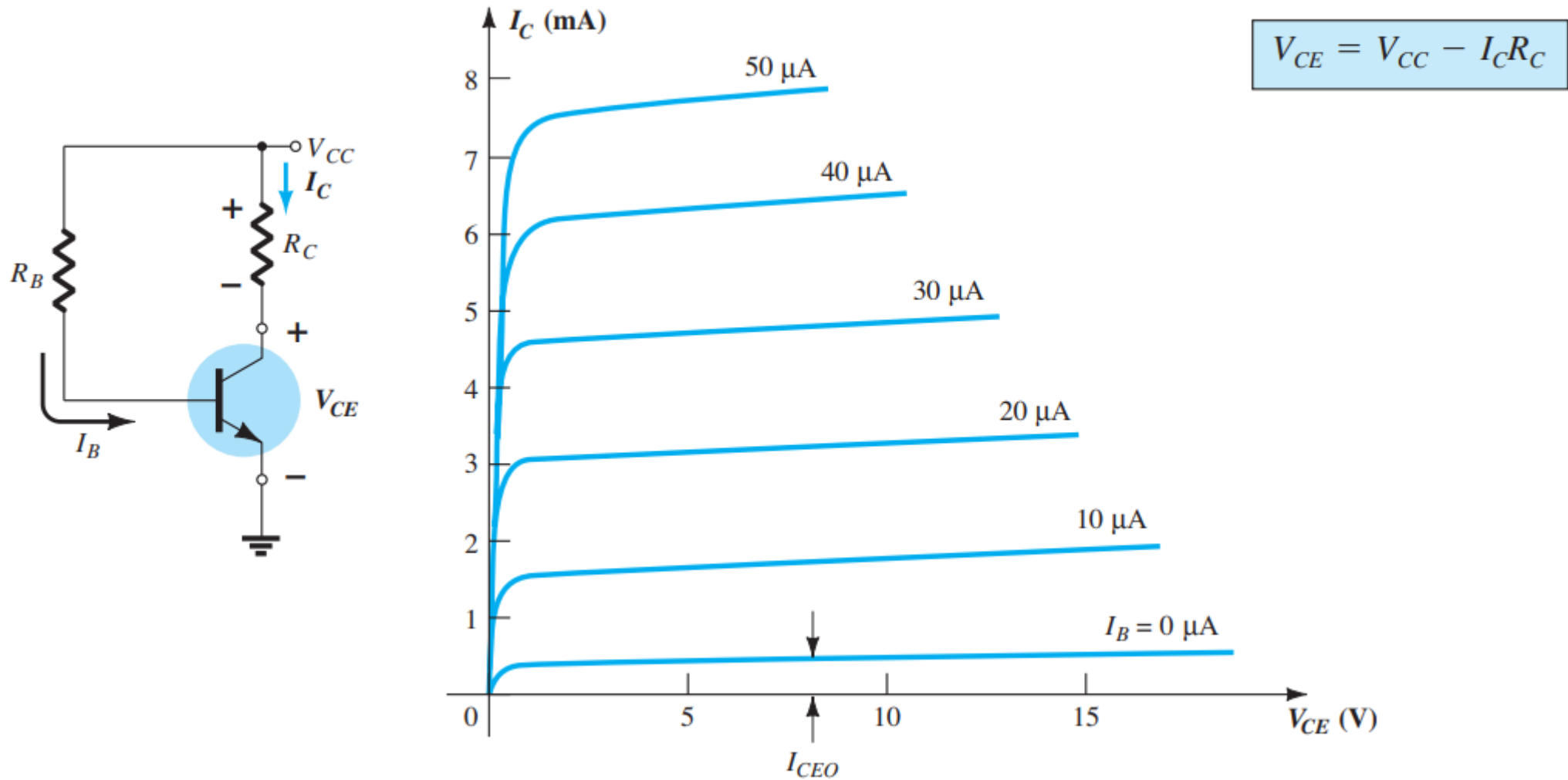
$$I_{C\text{sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C}$$



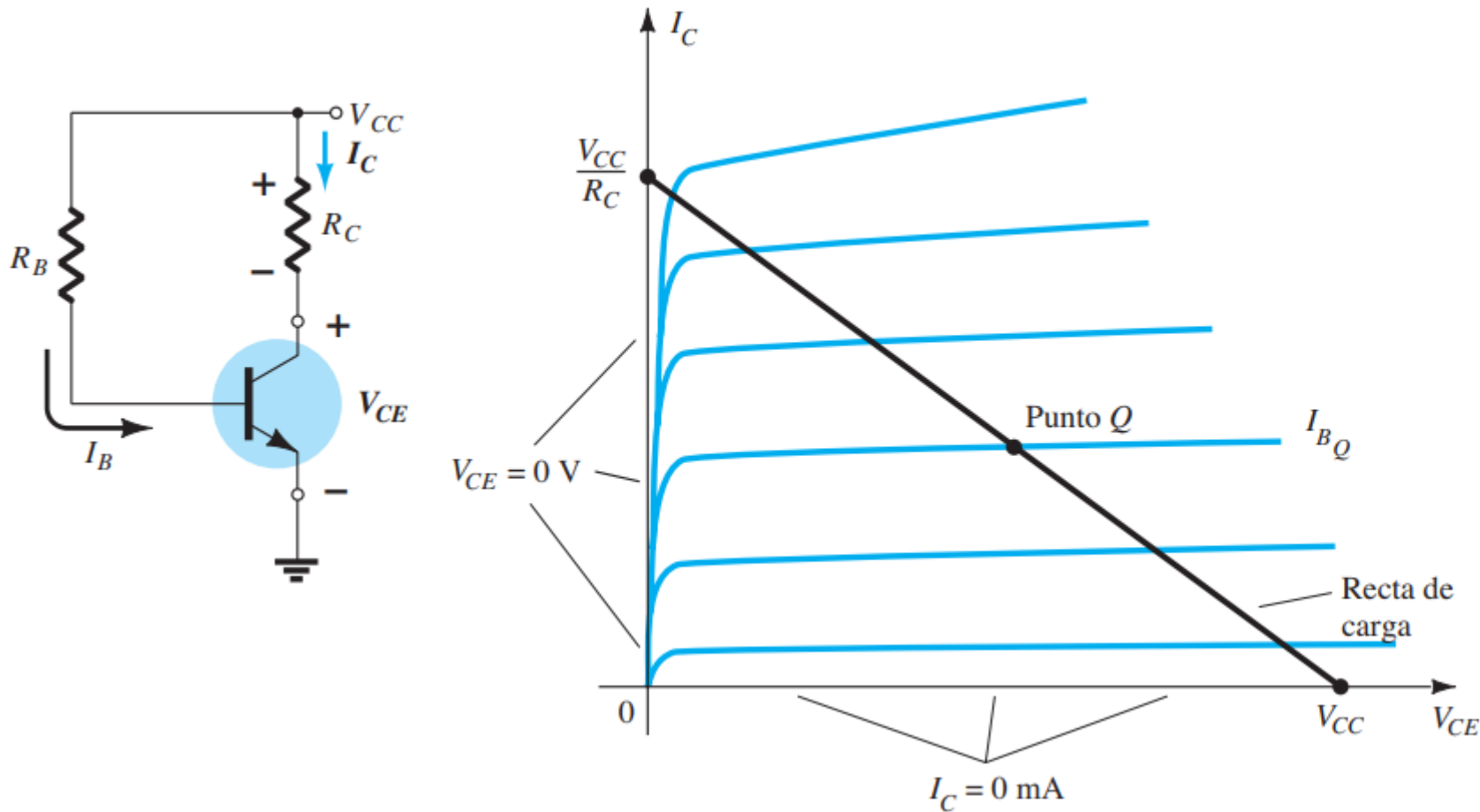
$$I_{C\text{sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

Cuál es la corriente de saturación del ejemplo anterior?

# Análisis por medio de la recta de carga



# Análisis por medio de la recta de carga



$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

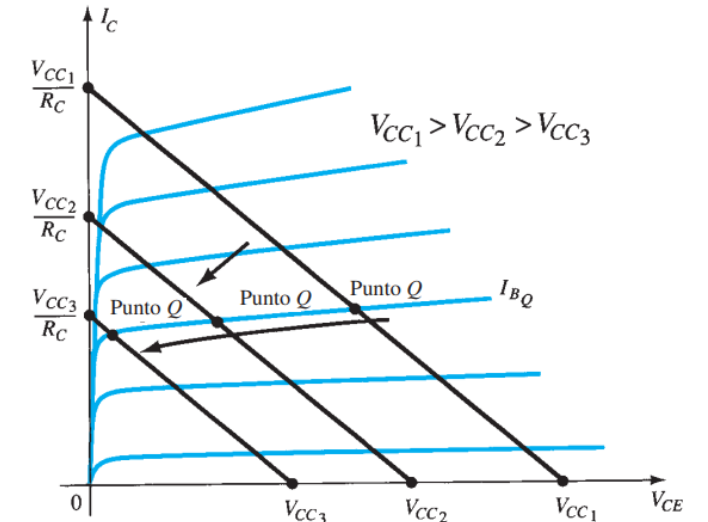
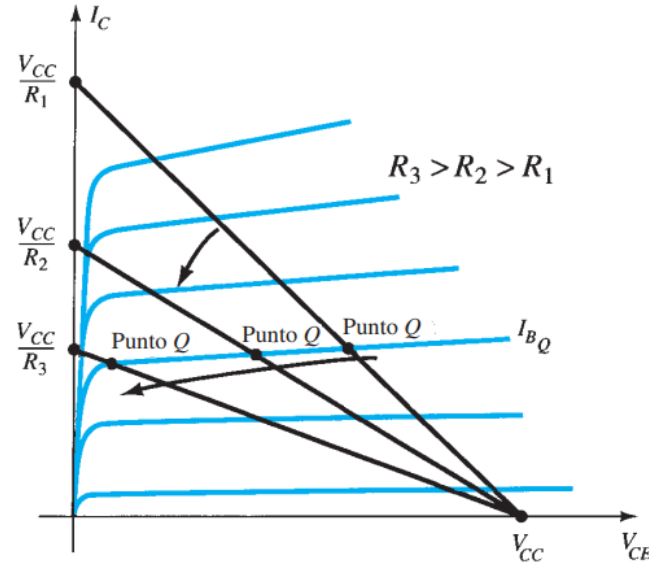
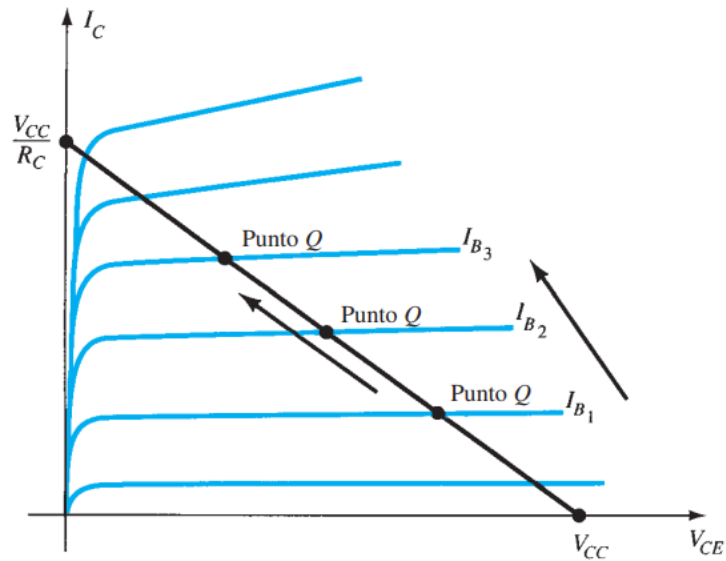
$$V_{CE} = V_{CC} - (0) R_C$$

$$V_{CE} = V_{CC} \big|_{I_C = 0 \text{ mA}}$$

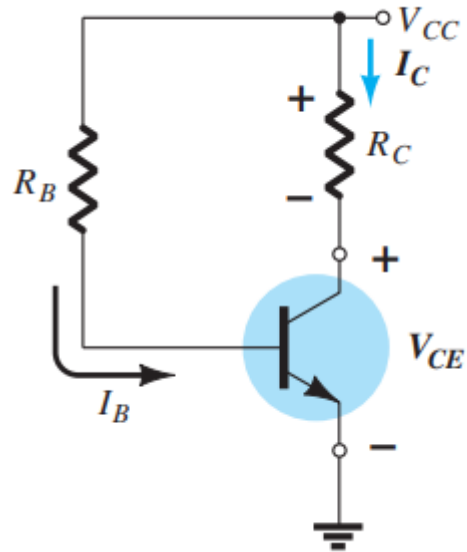
$$0 = V_{CC} - I_C R_C$$

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \big|_{V_{CE} = 0 \text{ V}}$$

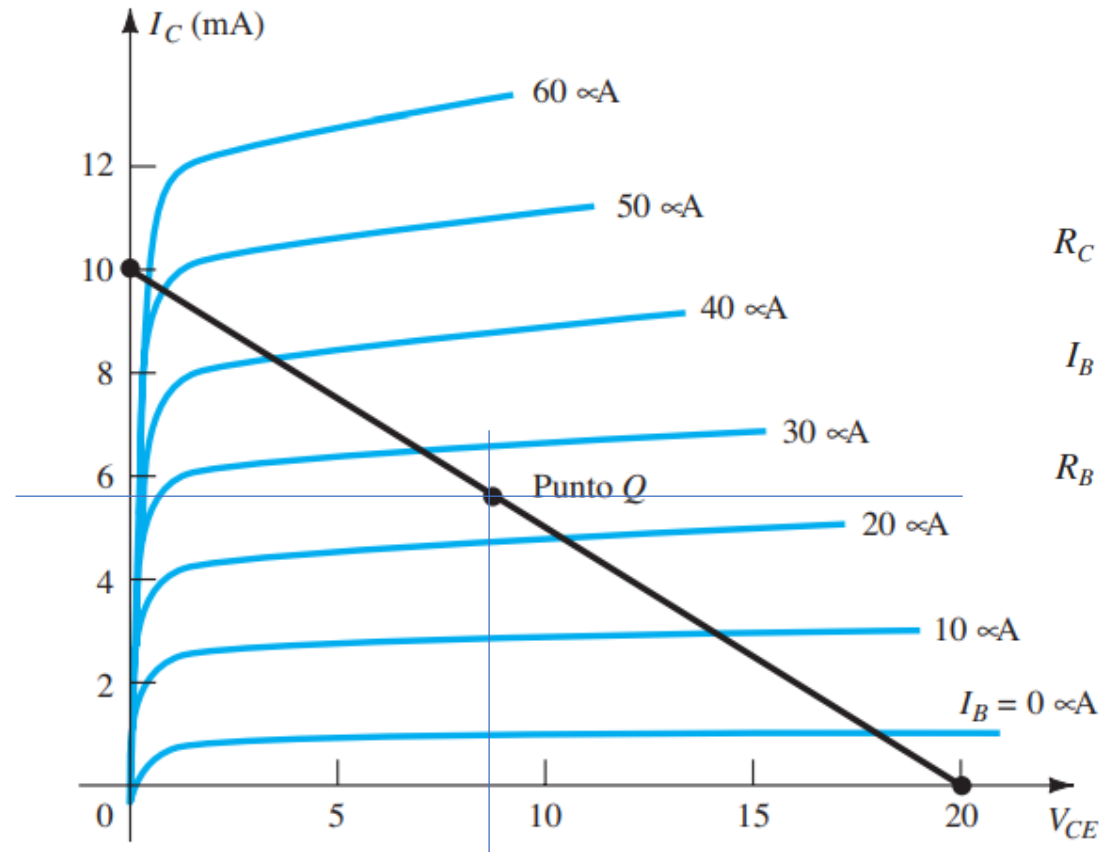
# Análisis por medio de la recta de carga



# Ejemplo



Hallar  
 $R_C$   
 $R_B$   
 $V_{CC}$



$$V_{CE} = V_{CC} = 20 \text{ V con } I_C = 0 \text{ mA}$$

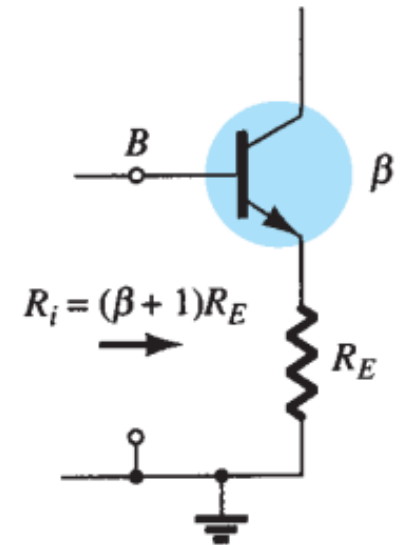
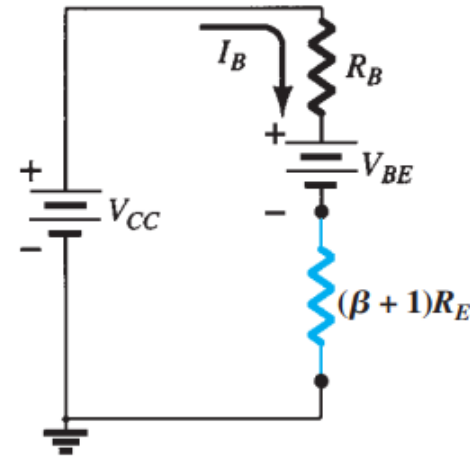
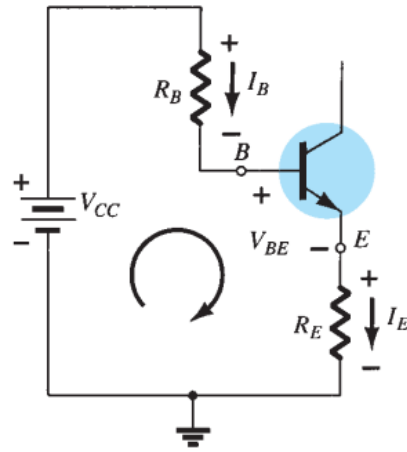
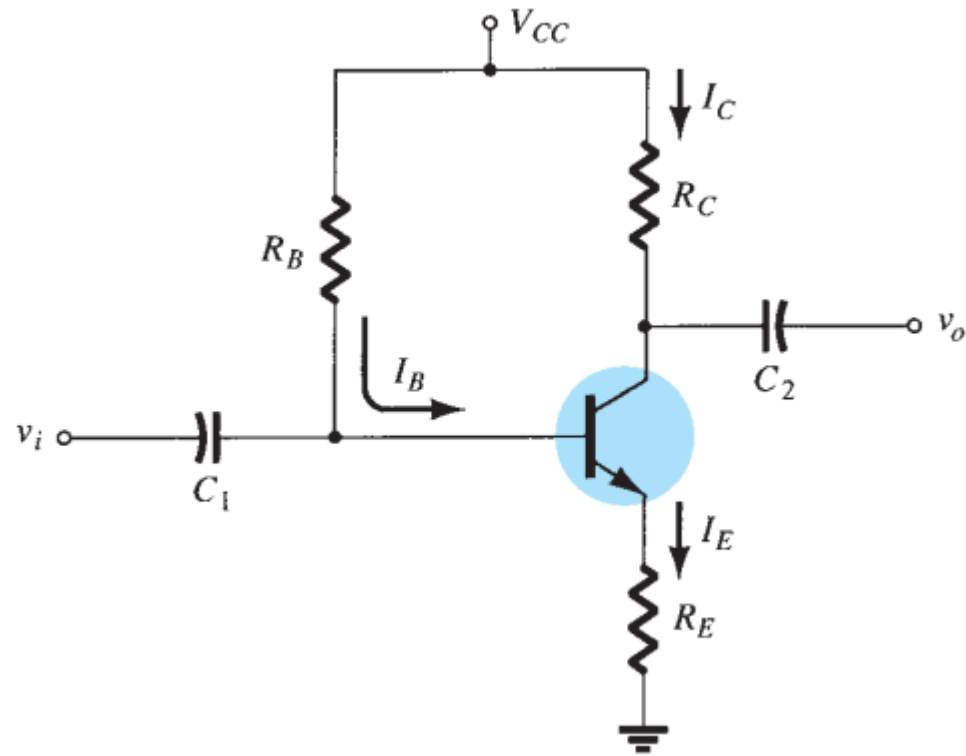
$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \text{ con } V_{CE} = 0 \text{ V}$$

$$R_C = \frac{V_{CC}}{I_C} = \frac{20 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = 2 \text{ k}\Omega$$

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

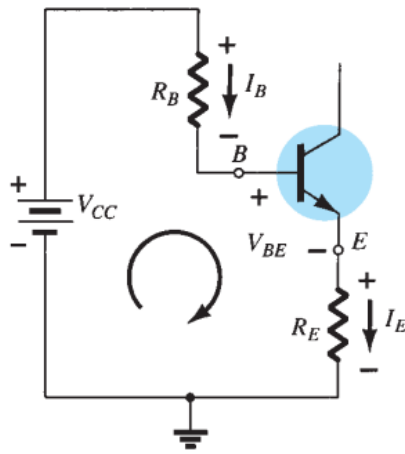
$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{20 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{25 \mu A} = 772 \text{ k}\Omega$$

# Configuración de polarización de emisor

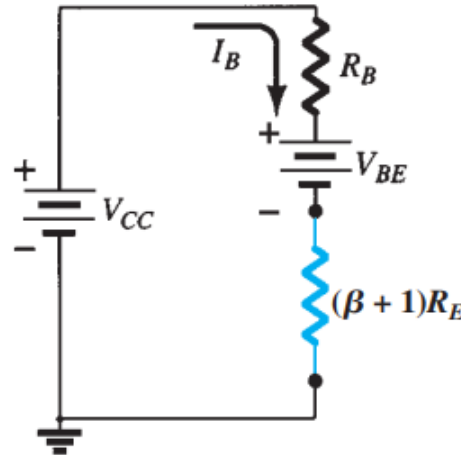


# Configuración de polarización de emisor

- Malla base - emisor



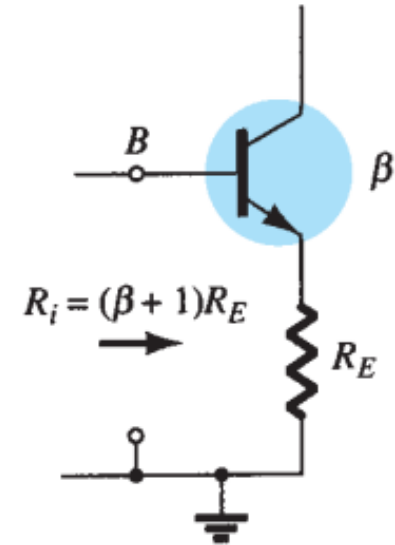
$$+V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E = 0$$



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

$$V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} - (\beta + 1)I_B R_E = 0$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}$$

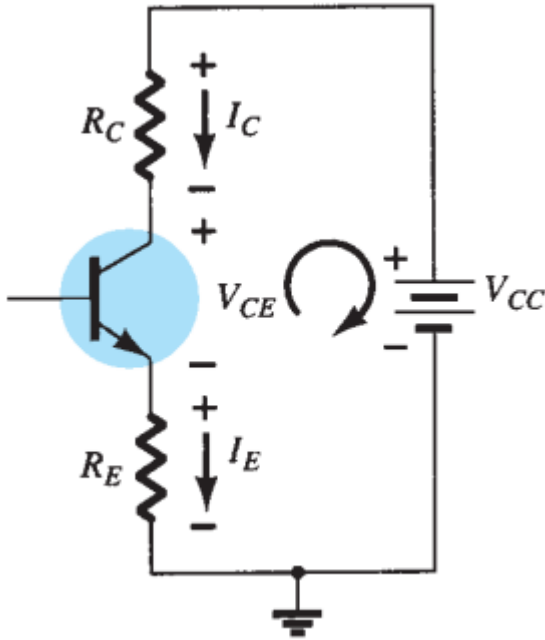


$$R_i = (\beta + 1)R_E$$



# Configuración de polarización de emisor

- Malla colector - emisor



$$+I_E R_E + V_{CE} + I_C R_C - V_{CC} = 0$$

$$V_{CE} - V_{CC} + I_C(R_C + R_E) = 0$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

$$V_E = I_E R_E$$

$$V_B = V_{CC} - I_B R_B$$

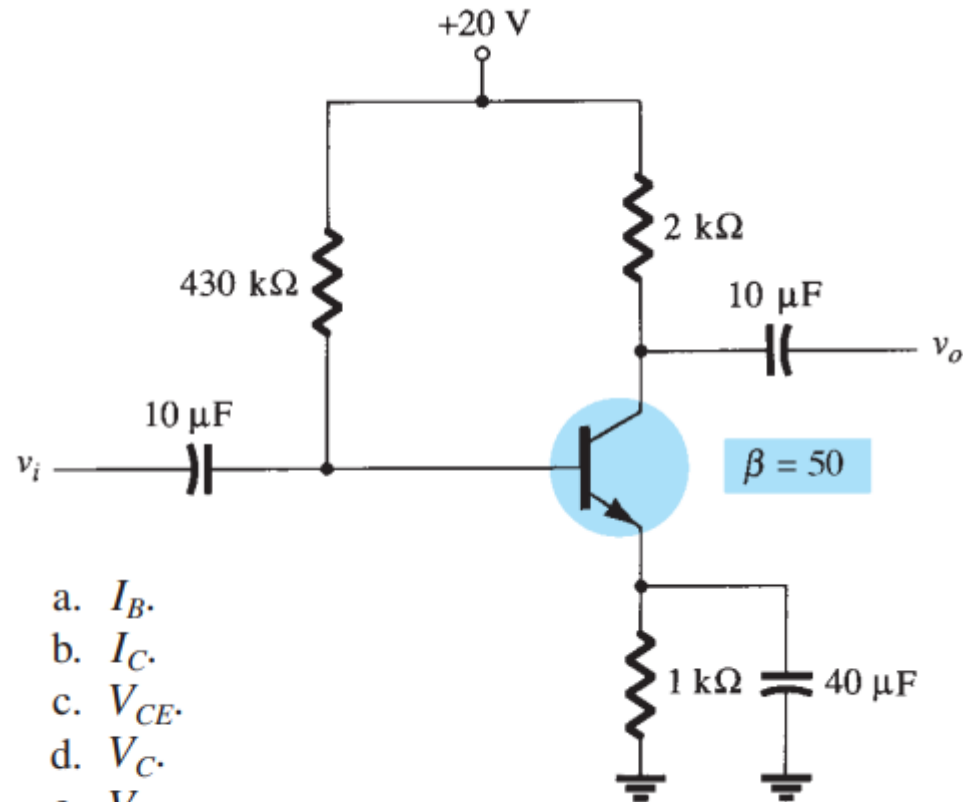
$$V_B = V_{BE} + V_E$$

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

$$V_C = V_{CE} + V_E$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C$$

# Ejemplo



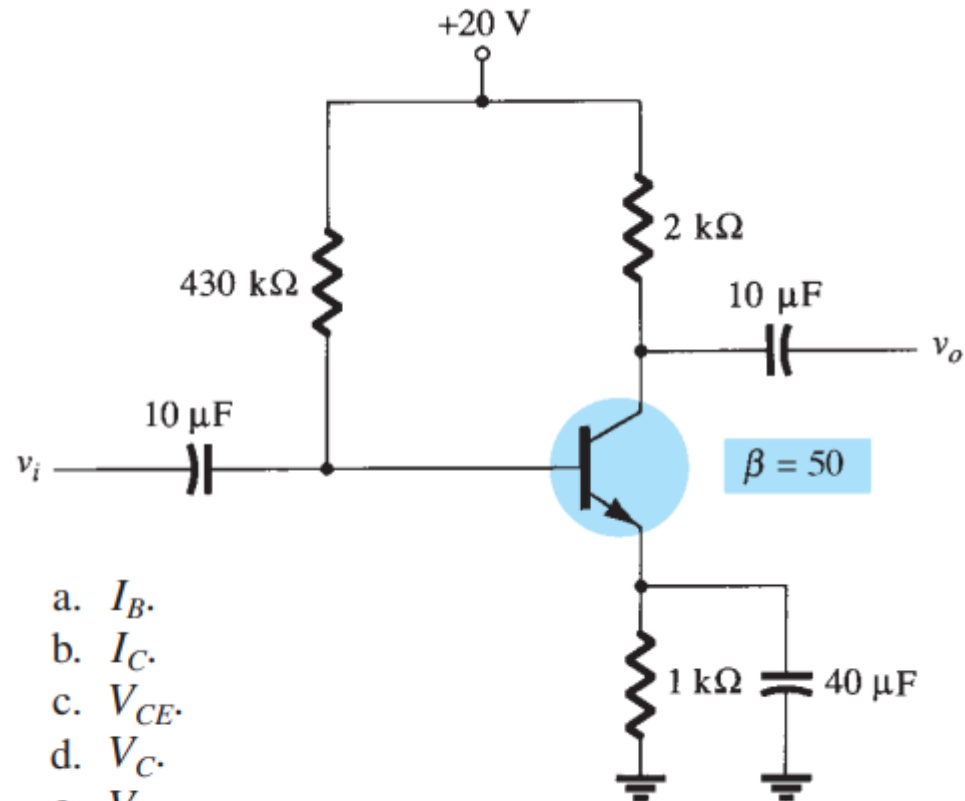
- a.  $I_B$ .
- b.  $I_C$ .
- c.  $V_{CE}$ .
- d.  $V_C$ .
- e.  $V_E$ .
- f.  $V_B$ .
- g.  $V_{BC}$ .

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E} = \frac{20 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{430 \text{ k}\Omega + (51)(1 \text{ k}\Omega)}$$
$$= \frac{19.3 \text{ V}}{481 \text{ k}\Omega} = \mathbf{40.1 \mu A}$$

$$I_C = \beta I_B$$
$$= (50)(40.1 \mu A)$$
$$\cong \mathbf{2.01 \text{ mA}}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$
$$= 20 \text{ V} - (2.01 \text{ mA})(2 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega) = 20 \text{ V} - 6.03 \text{ V}$$
$$= \mathbf{13.97 \text{ V}}$$

# Ejemplo



- a.  $I_B$ .
- b.  $I_C$ .
- c.  $V_{CE}$ .
- d.  $V_C$ .
- e.  $V_E$ .
- f.  $V_B$ .
- g.  $V_{BC}$ .

$$\begin{aligned} V_C &= V_{CC} - I_C R_C \\ &= 20 \text{ V} - (2.01 \text{ mA})(2 \text{ k}\Omega) = 20 \text{ V} - 4.02 \text{ V} \\ &= \mathbf{15.98 \text{ V}} \end{aligned}$$

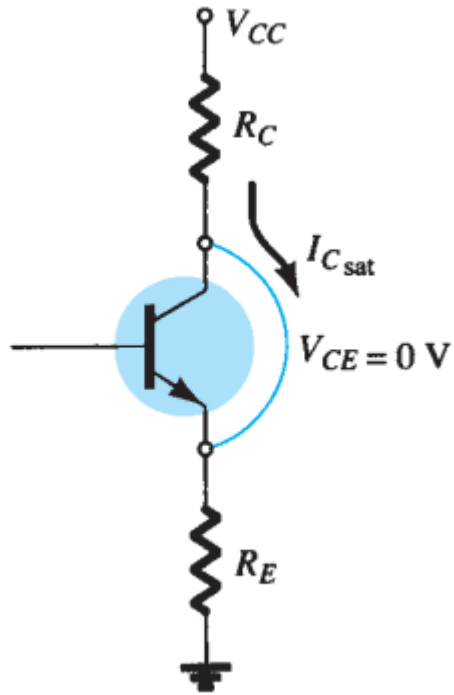
$$\begin{aligned} V_E &= V_C - V_{CE} \\ &= 15.98 \text{ V} - 13.97 \text{ V} \\ &= \mathbf{2.01 \text{ V}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_E &= I_E R_E \cong I_C R_E \\ &= (2.01 \text{ mA})(1 \text{ k}\Omega) \\ &= \mathbf{2.01 \text{ V}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_B &= V_{BE} + V_E \\ &= 0.7 \text{ V} + 2.01 \text{ V} \\ &= \mathbf{2.71 \text{ V}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{BC} &= V_B - V_C \\ &= 2.71 \text{ V} - 15.98 \text{ V} \\ &= \mathbf{-13.27 \text{ V}} \text{ (polarización en inversa, como se requiere)} \end{aligned}$$

# Saturación del transistor

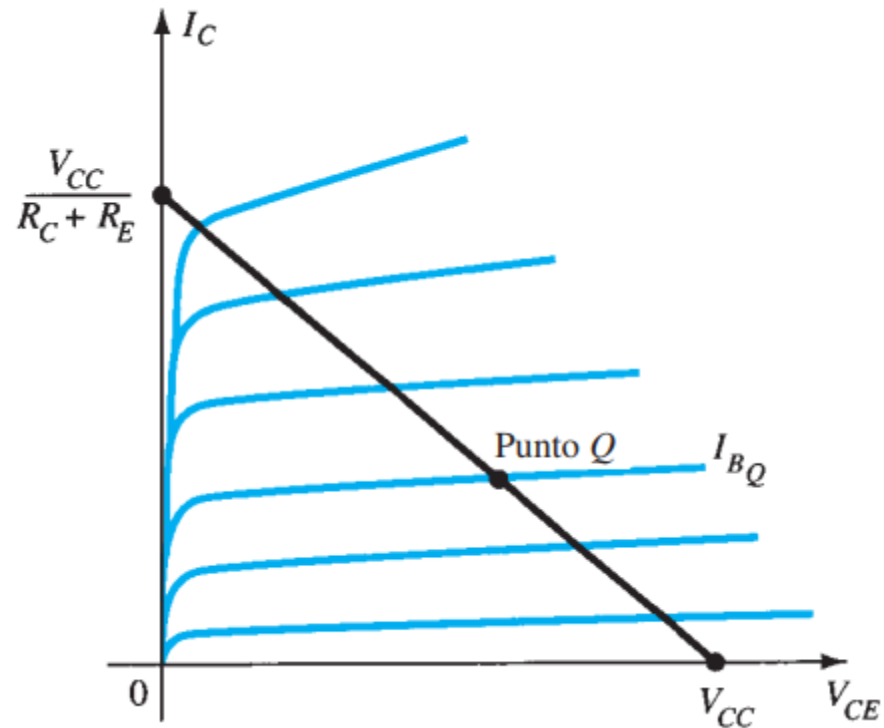


$$I_{C \text{ sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

Cuál es la corriente de saturación del ejemplo anterior?

$$\begin{aligned} I_{C \text{ sat}} &= \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \\ &= \frac{20 \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega} = \frac{20 \text{ V}}{3 \text{ k}\Omega} \\ &= \mathbf{6.67 \text{ mA}} \end{aligned}$$

# Análisis por medio de la recta de carga



$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

$$V_{CE} = V_{CC} \big|_{I_C=0 \text{ mA}}$$

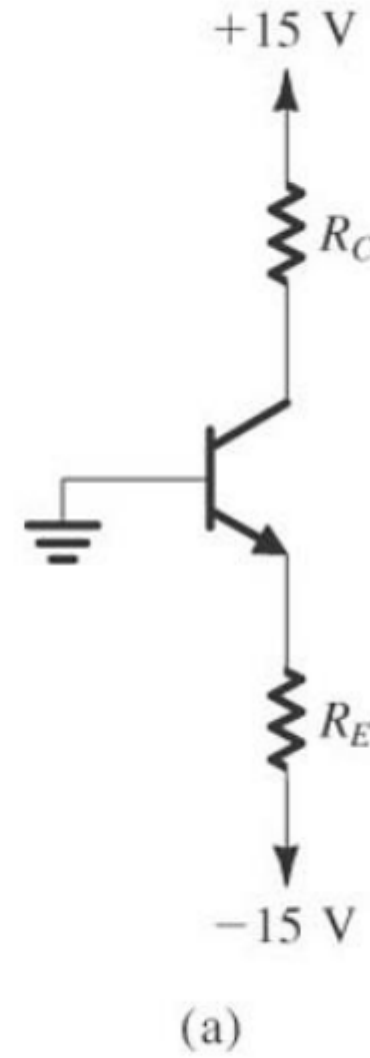
$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \big|_{V_{CE}=0 \text{ V}}$$

# Ejemplo

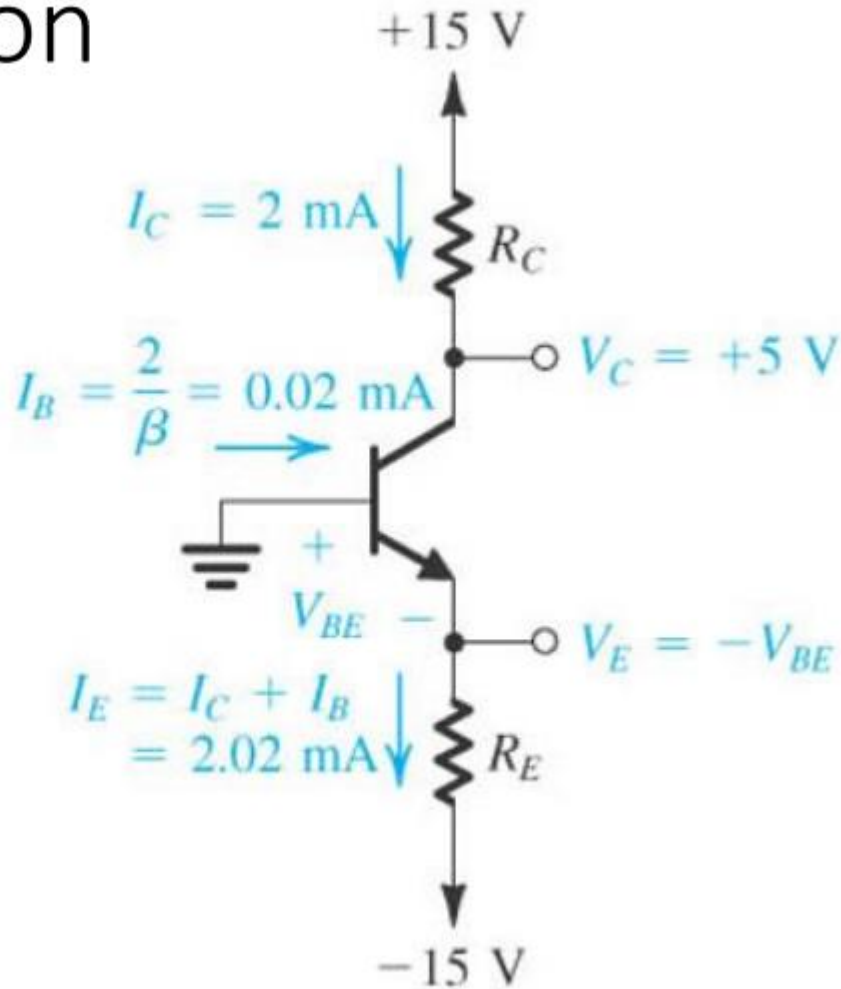
El transistor de la figura tiene  $\beta=100$  y exhibe una  $V_{BE}$  de 0,7V, a una corriente de  $I_C=1\text{mA}$ .

Diseñar el circuito de modo que circule una corriente de 2mA por el colector y aparezca un voltaje de +5V en el colector.

$$I_C = I_S e^{\frac{v_{EB}}{V_T}}$$



# Solución



$$V_C = 5\text{ V}$$

$$V_{RC} = 15 - 5 = 10\text{ V}$$

$$R_C = \frac{10\text{ V}}{2\text{ mA}} = 5\text{ k}\Omega$$

$$V_{BE} = 0.7\text{ e } i_C = 1\text{ mA}$$

El  $V_{BE}$  cuando  $i_C = 2\text{ mA}$

$$V_{BE} = 0.7 + V_T \ln\left(\frac{2}{1}\right) = 0.717\text{ V}$$

$$V_E = 0$$

$$V_E = -0.717\text{ V}$$

Para un  $\beta = 100$  y un  $\alpha = 100/101 = 0.99$

$$I_E = \frac{I_C}{\alpha} = \frac{2}{0.99} = 2.02\text{ mA}$$

$$-V_E + V_{RE} + V_F = 0$$

$$-V_E + I_E R_E + V_F = 0$$

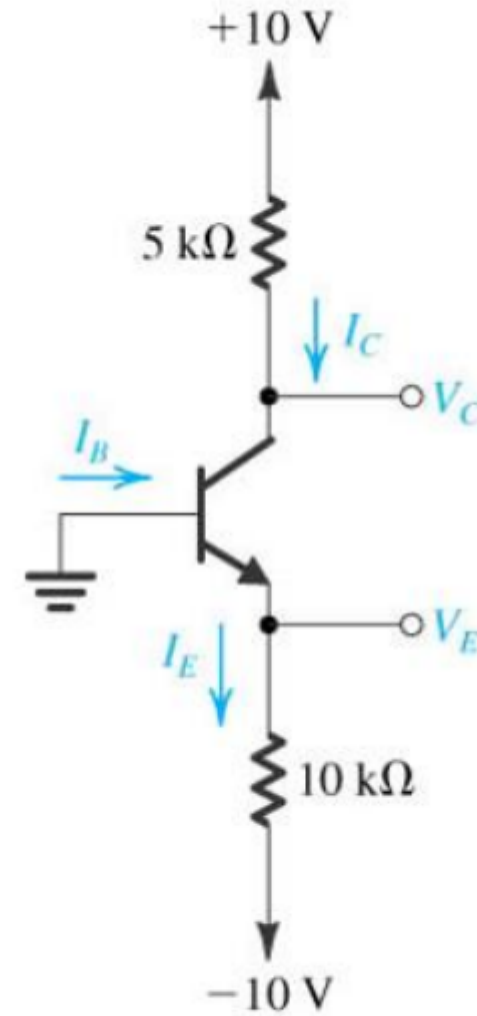
$$R_E = (V_E - V_F) / I_E$$

$$R_E = \frac{V_E - (-15)}{I_E} = \frac{-0.717 + 15}{2.02} = 7.07\text{ k}\Omega$$

# Ejercicio

En el circuito, el voltaje en el emisor se midió y fue de  $-0,7\text{V}$

Si  $\beta = 50$ , Hallar  $I_E$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  Y  $V_C$



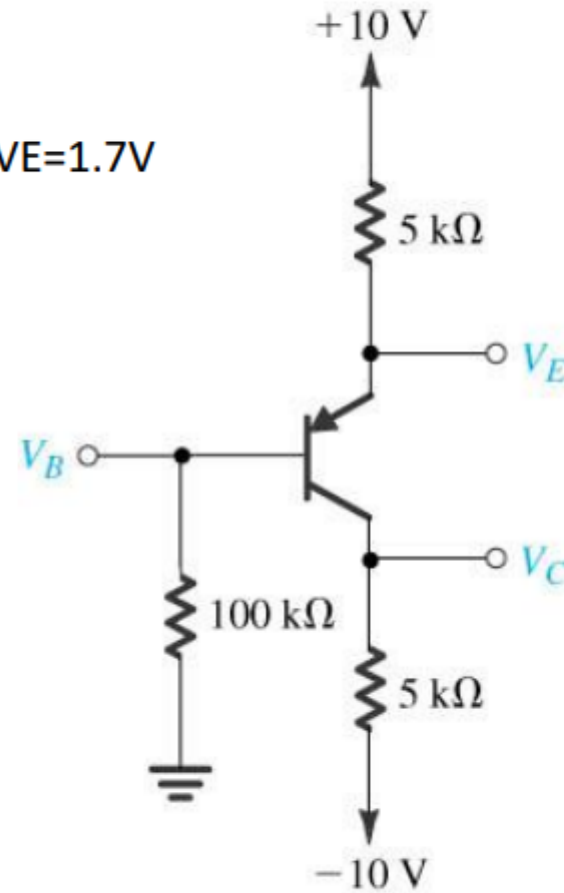
Res:  $I_E = 0,93\text{mA}$   $I_B = 18,2\mu\text{A}$   $I_C = 0,91\text{mA}$   $V_C = 5,45\text{V}$



## Ejercicio 2

En el circuito, una medición indica que  $V_B=1V$  y  $V_E=1.7V$

Hallar alfa, Beta y el voltaje en el colector  $V_C$



Rta:  $\alpha=0,994$   $\beta=165$   $V_C=-1,75V$

## Ejercicio 3

Un transistor npn está polarizado en la región activa. La corriente de bases es  $I_B = 5.0 \mu\text{A}$  y la corriente de colector es  $I_C = 0.62 \text{ mA}$ . Determine  $I_E$ ,  $\beta$ , and  $\alpha$ .

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

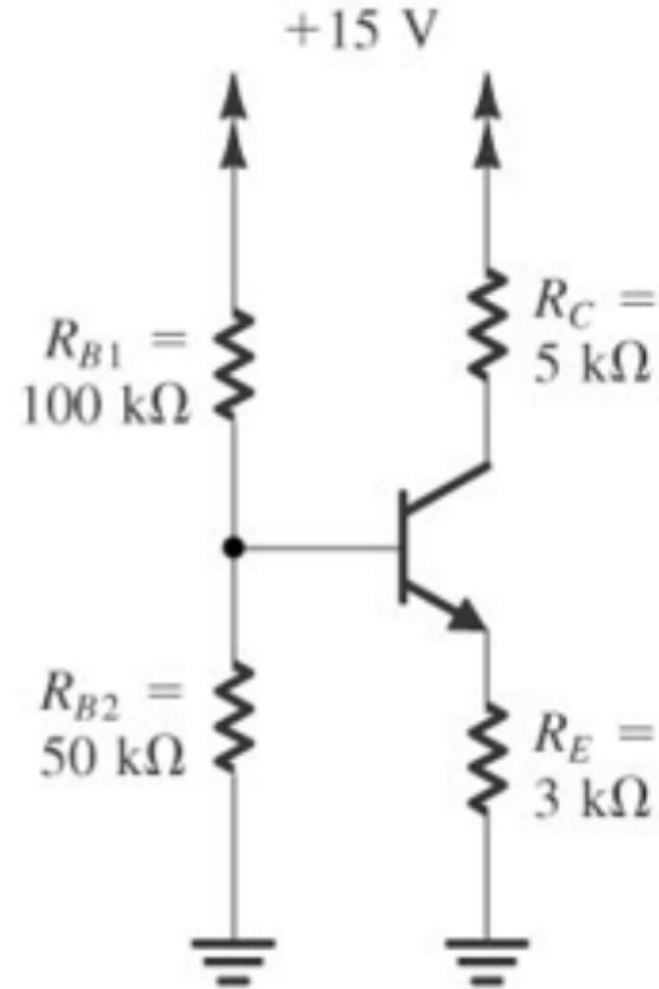
$$I_E = (1 + \beta)I_B$$

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

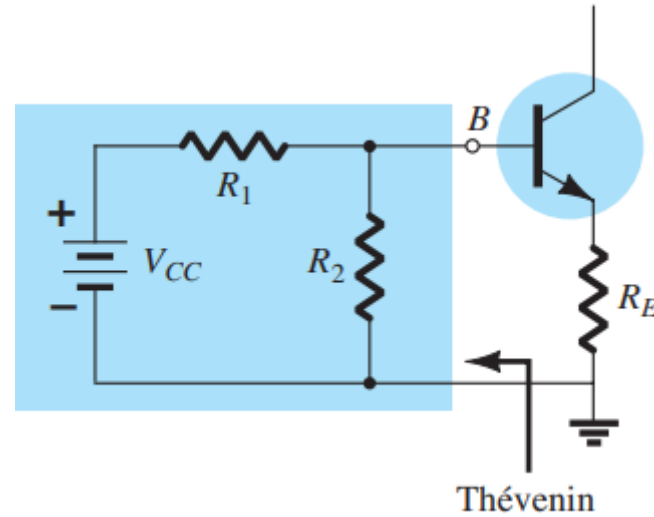
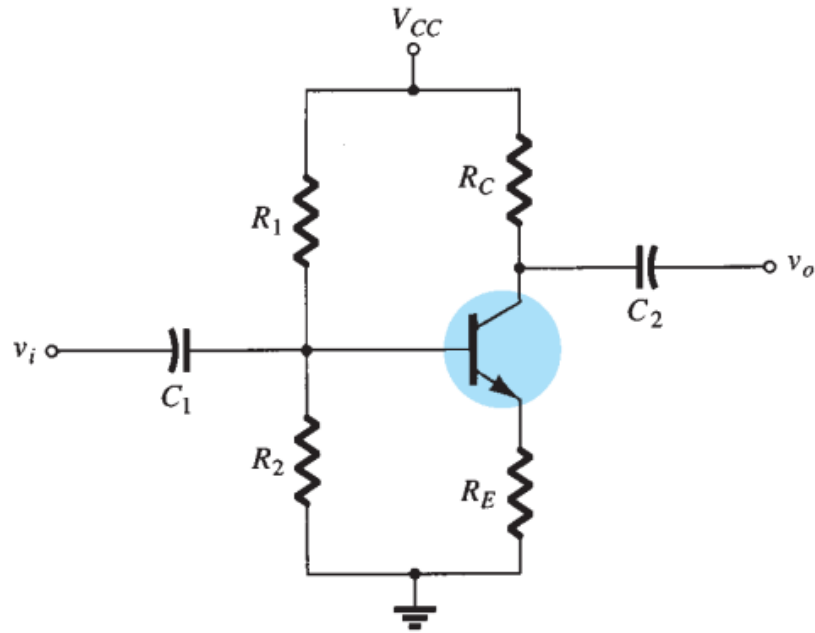
**Respuesta:**  $\beta = 124$ ,  $I_E = 0.625 \text{ mA}$  y  $\alpha = 0.992$

# EJERCICIO 4

Hallar todos los voltajes y todas las corrientes del circuito de la figura . Suponga  $\beta = 100$

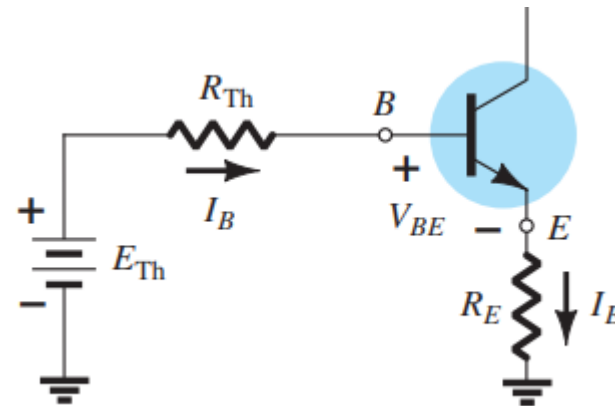


# Análisis exacto



$$R_{Th} = R_1 || R_2$$

$$E_{Th} = V_{R_2} = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2}$$



$$E_{Th} - I_B R_{Th} - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

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

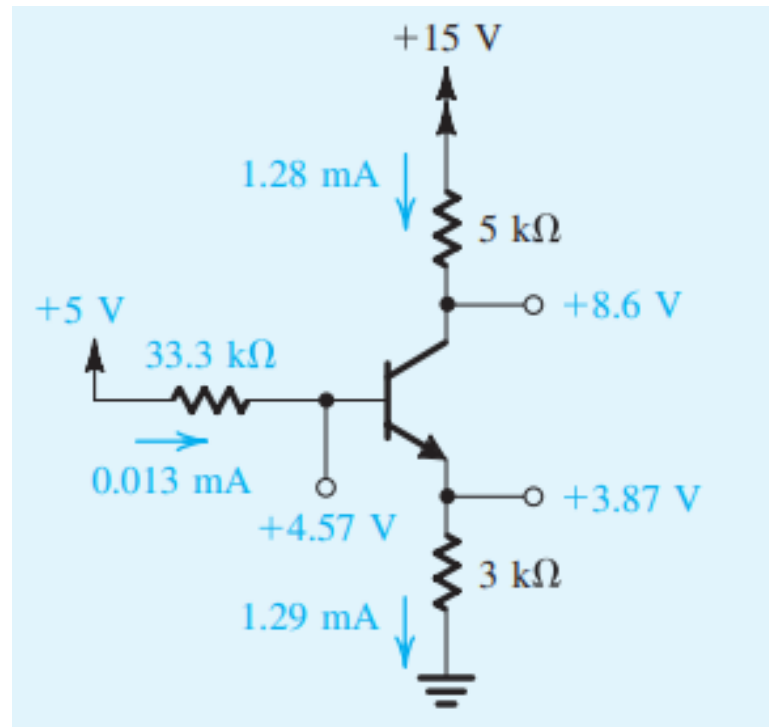
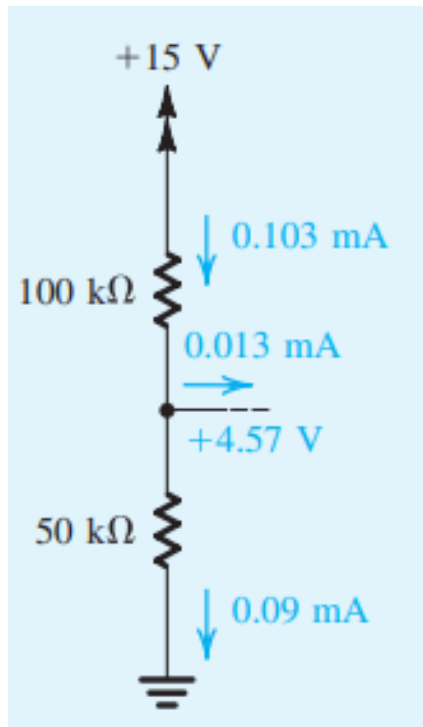
$$I_B = \frac{E_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta + 1) R_E}$$

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + [R_{BB} / (\beta + 1)]}$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_C = \alpha I_E$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$



$$V_{BB} = I_B R_{BB} + V_{BE} + I_E R_E$$

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1}$$

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + [R_{BB}/(\beta + 1)]}$$

$$I_E = \frac{5 - 0.7}{3 + (33.3/101)} = 1.29 \text{ mA}$$

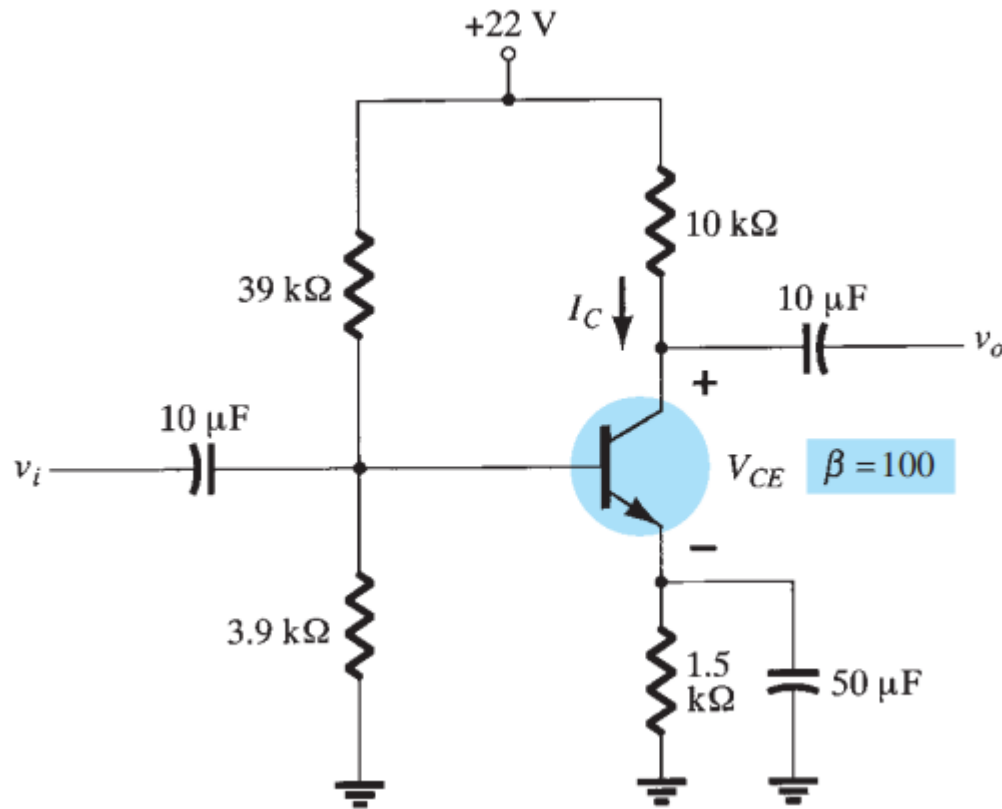
$$I_B = \frac{1.29}{101} = 0.0128 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned} V_B &= V_{BE} + I_E R_E \\ &= 0.7 + 1.29 \times 3 = 4.57 \text{ V} \end{aligned}$$

$$I_C = \alpha I_E = 0.99 \times 1.29 = 1.28 \text{ mA}$$

$$V_C = +15 - I_C R_C = 15 - 1.28 \times 5 = 8.6 \text{ V}$$

# Ejercicio



$$\begin{aligned} R_{Th} &= R_1 \parallel R_2 \\ &= \frac{(39 \text{ k}\Omega)(3.9 \text{ k}\Omega)}{39 \text{ k}\Omega + 3.9 \text{ k}\Omega} = 3.55 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

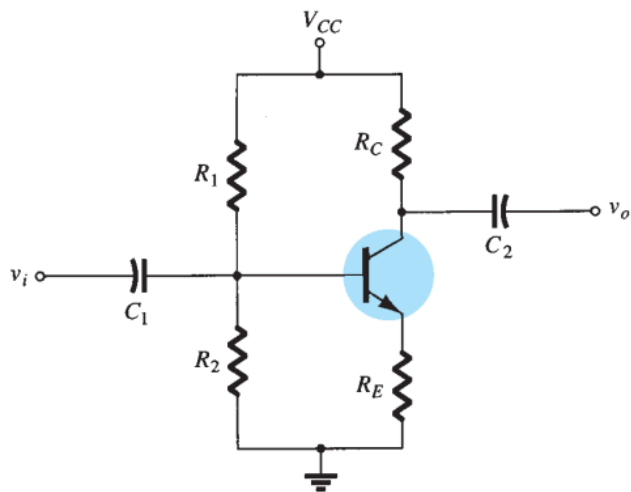
$$\begin{aligned} E_{Th} &= \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{(3.9 \text{ k}\Omega)(22 \text{ V})}{39 \text{ k}\Omega + 3.9 \text{ k}\Omega} = 2 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_B &= \frac{E_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta + 1)R_E} \\ &= \frac{2 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{3.55 \text{ k}\Omega + (101)(1.5 \text{ k}\Omega)} = \frac{1.3 \text{ V}}{3.55 \text{ k}\Omega + 151.5 \text{ k}\Omega} \\ &= 8.38 \mu\text{A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_C &= \beta I_B \\ &= (100)(8.38 \mu\text{A}) \\ &= \mathbf{0.84 \text{ mA}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \\ &= 22 \text{ V} - (0.84 \text{ mA})(10 \text{ k}\Omega + 1.5 \text{ k}\Omega) \\ &= 22 \text{ V} - 9.66 \text{ V} \\ &= \mathbf{12.34 \text{ V}} \end{aligned}$$

# Análisis aproximado



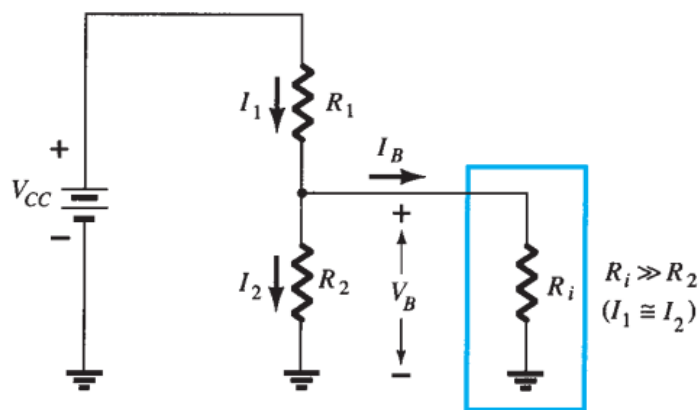
$R_i$  es la resistencia equivalente entre la base y tierra del transistor.  
 $R_i = (\beta + 1)R_E$ , si  $R_i$  es mucho más grande que  $R_2$ ,  $I_B$  será mucho menor que  $I_2$ , entonces  $I_2 \approx I_1$

$$V_B = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2}$$

$$R_i = (\beta + 1)R_E \approx \beta R_E$$

Condición para aplicar el método aproximado

$$\beta R_E \geq 10 R_2$$



$$V_E = V_B - V_{BE}$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E}$$

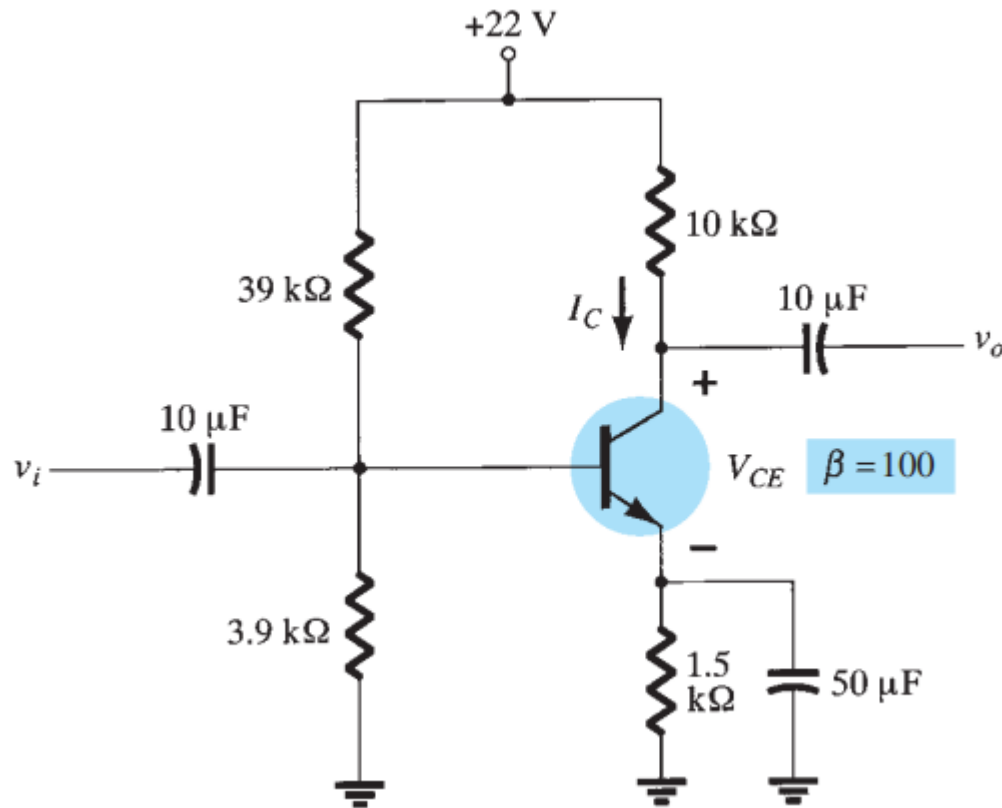
$$I_{CQ} \approx I_E$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E$$

$$I_E \approx I_C$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$

# Ejercicio



$$\beta R_E \geq 10R_2$$

$$(100)(1.5 \text{ k}\Omega) \geq 10(3.9 \text{ k}\Omega)$$

$$150 \text{ k}\Omega \geq 39 \text{ k}\Omega \text{ (comprobada)}$$

$$\begin{aligned} V_B &= \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{(3.9 \text{ k}\Omega)(22 \text{ V})}{39 \text{ k}\Omega + 3.9 \text{ k}\Omega} \\ &= 2 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_E &= V_B - V_{BE} \\ &= 2 \text{ V} - 0.7 \text{ V} \\ &= 1.3 \text{ V} \end{aligned}$$

$$I_{CQ} \cong I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{1.3 \text{ V}}{1.5 \text{ k}\Omega} = \mathbf{0.867 \text{ mA}}$$

$$\begin{aligned} V_{CEQ} &= V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \\ &= 22 \text{ V} - (0.867 \text{ mA})(10 \text{ k}\Omega + 1.5 \text{ k}\Omega) \\ &= 22 \text{ V} - 9.97 \text{ V} \\ &= \mathbf{12.03 \text{ V}} \end{aligned}$$



# Saturación del transistor

$$I_{C_{\text{sat}}} = I_{C_{\text{máx}}} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

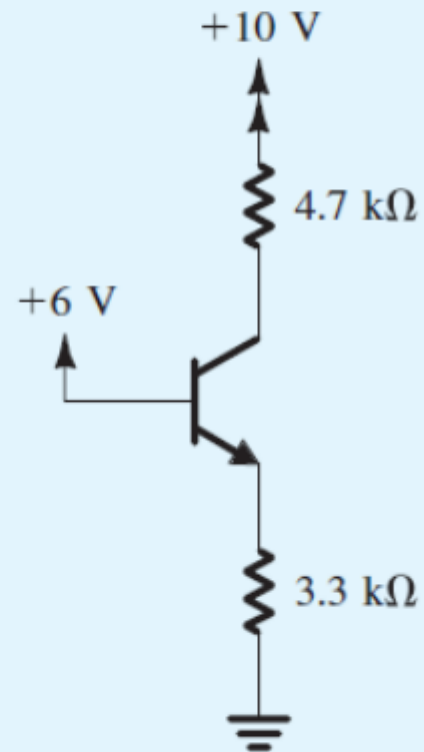
Análisis por medio de la recta de carga

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \Big|_{V_{CE}=0\text{ V}}$$

$$V_{CE} = V_{CC} \Big|_{I_C=0\text{ mA}}$$

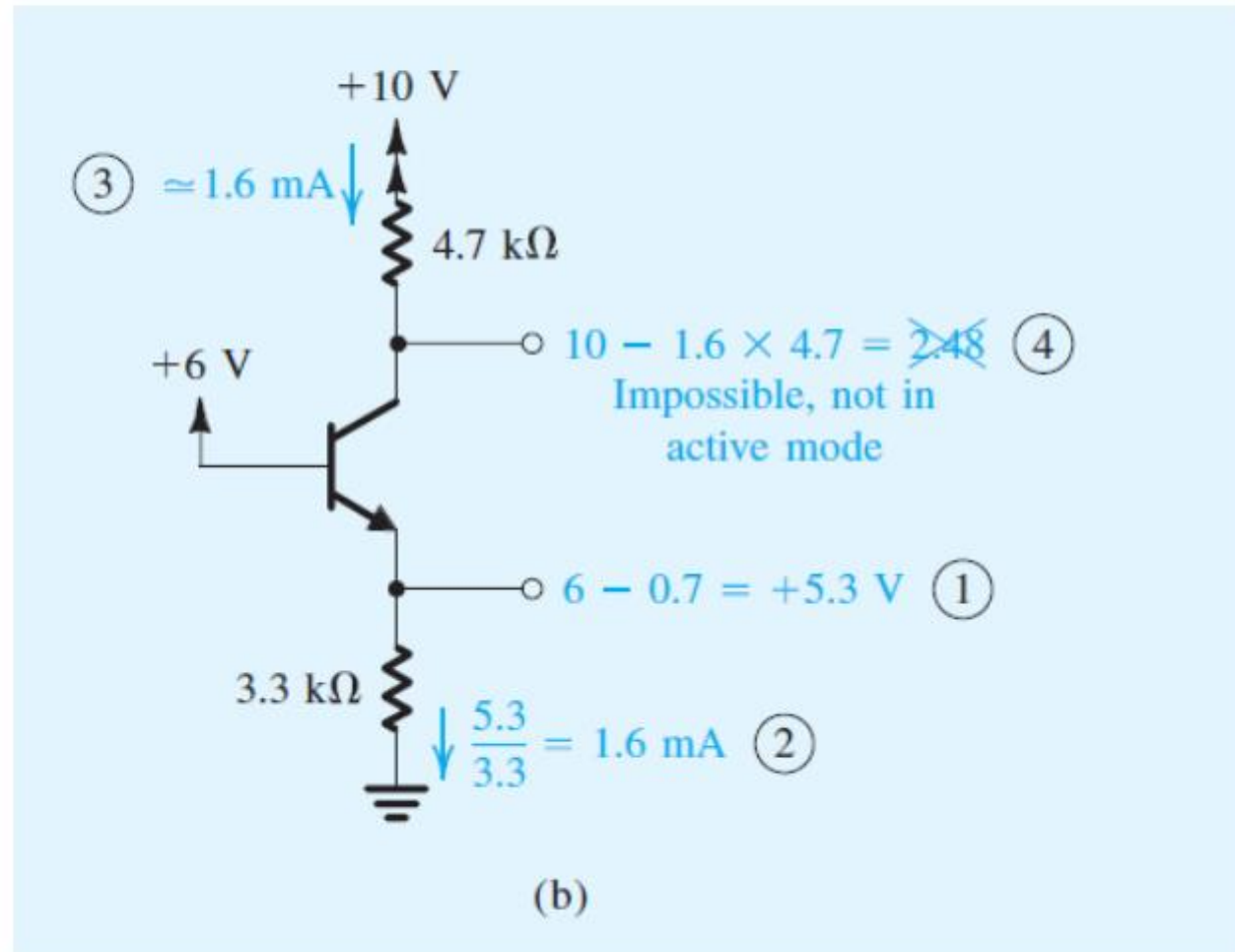
Ejemplo 5:

We wish to analyze the circuit of Fig. 6.24(a) to determine the voltages at all nodes and the currents through all branches. Note that this circuit is identical to that of Fig. 6.23 except that the voltage at the base is now +6 V. Assume that the transistor  $\beta$  is specified to be *at least* 50.



(a)

# Al suponer en modo activo



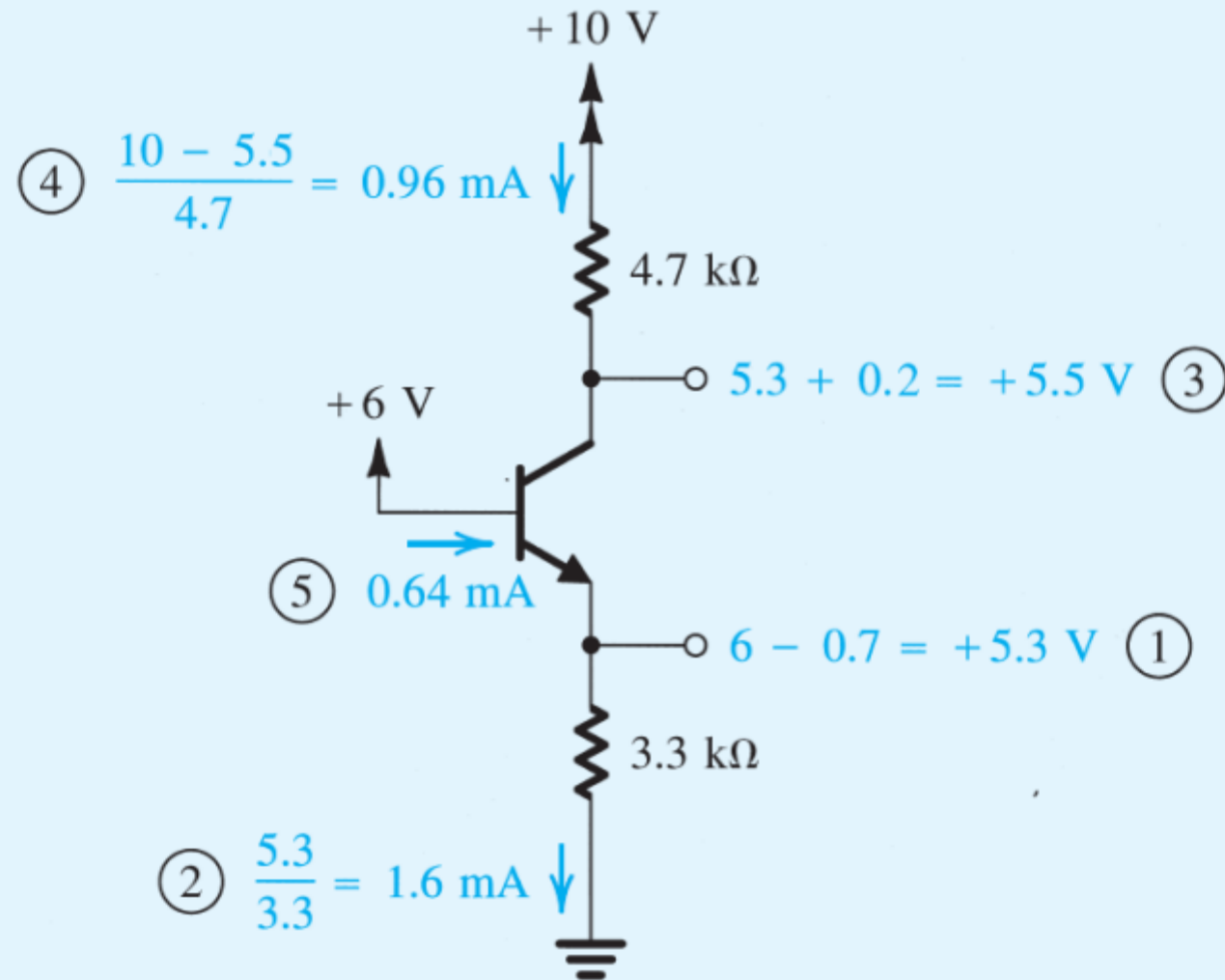
$$V_E = +6 - V_{BE} \simeq 6 - 0.7 = 5.3 \text{ V}$$

$$I_E = \frac{5.3}{3.3} = 1.6 \text{ mA}$$

$$I_C = \alpha I_E \simeq I_E$$

$$V_C = +10 - 4.7 \times I_C \simeq 10 - 7.52 = 2.48 \text{ V}$$

# Modo Saturado.



$$V_C = V_E + V_{CEsat} \simeq 5.3 + 0.2 = +5.5 \text{ V}$$

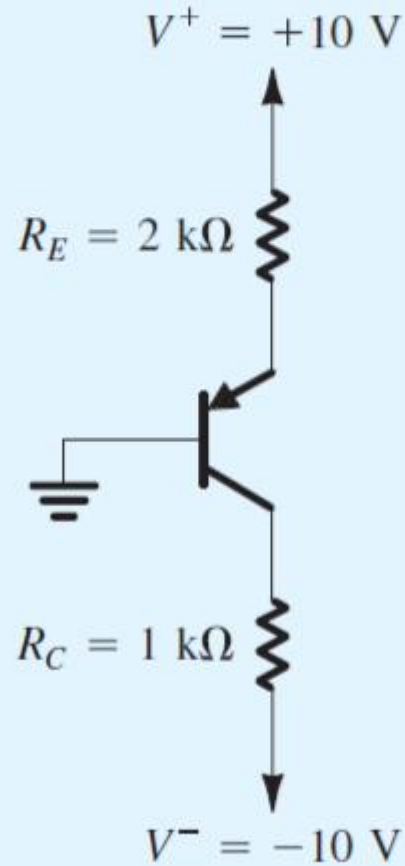
$$I_C = \frac{10 - 5.5}{4.7} = 0.96 \text{ mA}$$

$$I_B = I_E - I_C = 1.6 - 0.96 = 0.64 \text{ mA}$$

$$\beta_{\text{forced}} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{0.96}{0.64} = 1.5$$

### Ejemplo 6:

We want to analyze the circuit of Fig. 6.26(a) to determine the voltages at all nodes and the currents through all branches.



(a)

$$V_E = V_{EB} \simeq 0.7 \text{ V}$$

$$I_E = \frac{V^+ - V_E}{R_E} = \frac{10 - 0.7}{2} = 4.65 \text{ mA}$$

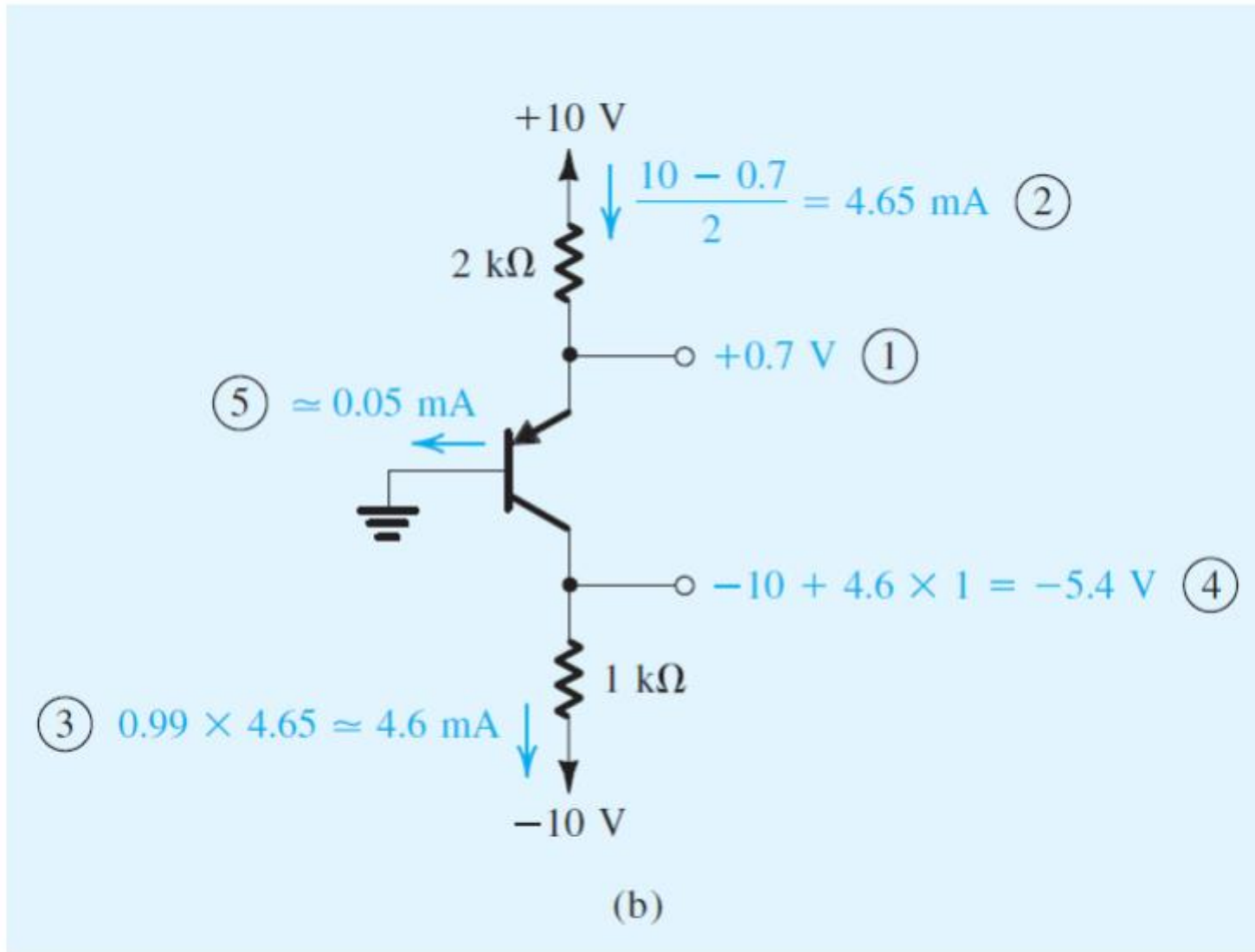
$$I_C = \alpha I_E \quad \text{No se da } \beta, \text{ se asume con un valor de } 100$$

$$I_C = 0.99 \times 4.65 = 4.6 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned} V_C &= V^- + I_C R_C \\ &= -10 + 4.6 \times 1 = -5.4 \text{ V} \end{aligned}$$

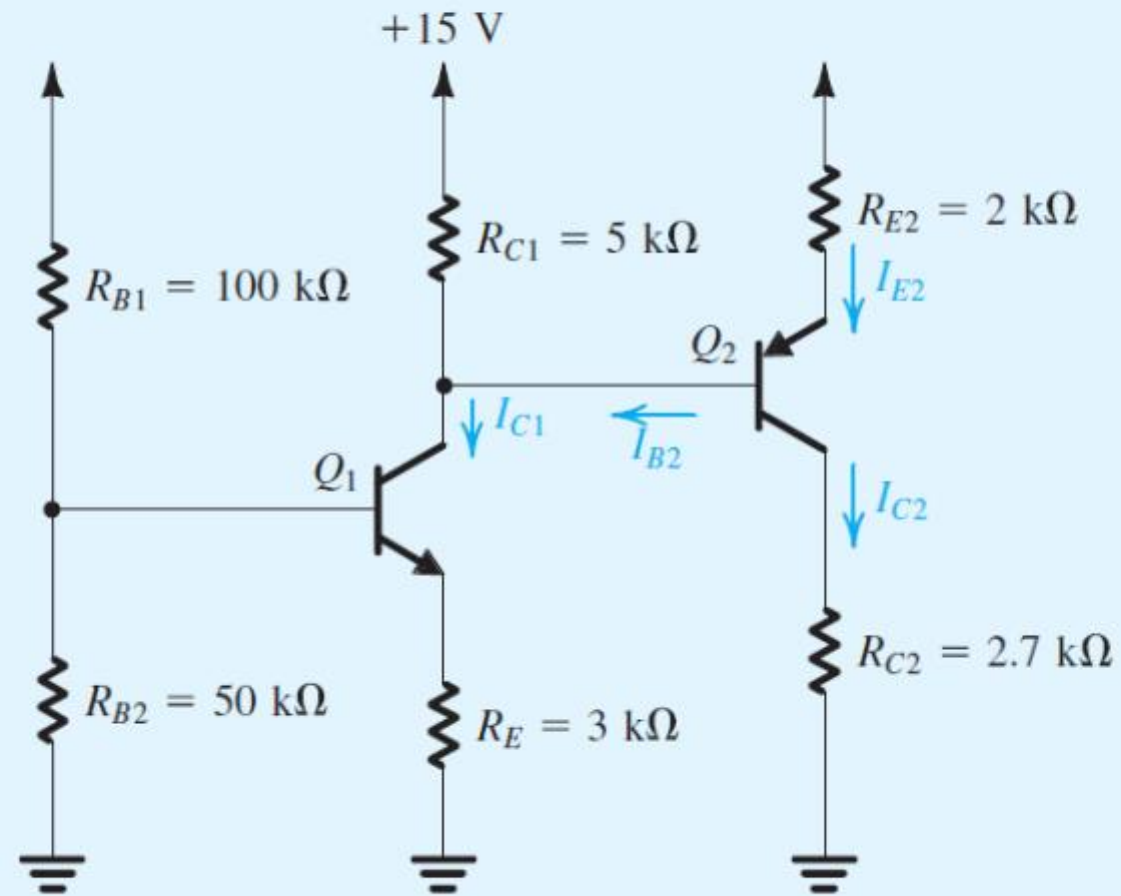
$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = \frac{4.65}{101} \simeq 0.05 \text{ mA}$$

Solución...

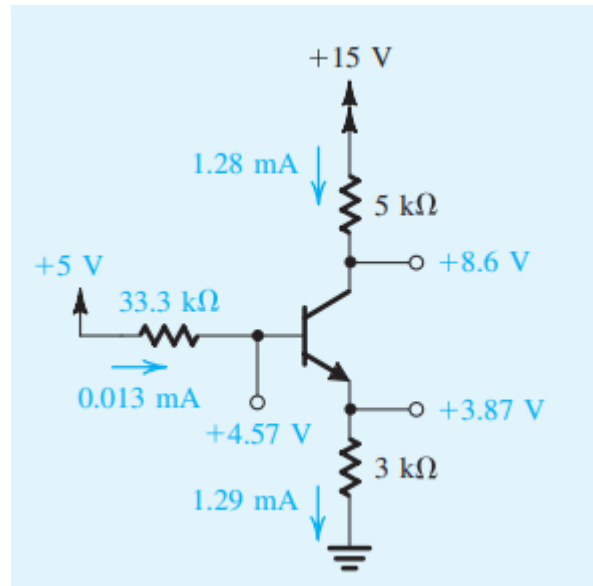


Ejemplo 7:

We wish to analyze the circuit in Fig. 6.30(a) to determine the voltages at all nodes and the currents through all branches.

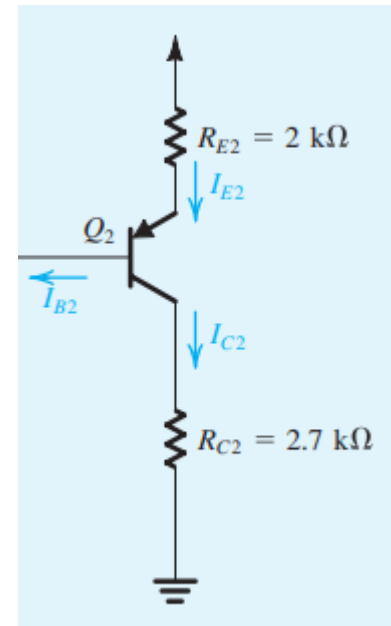


(a)



$$\begin{aligned} V_{B1} &= +4.57 \text{ V} & I_{E1} &= 1.29 \text{ mA} \\ I_{B1} &= 0.0128 \text{ mA} & I_{C1} &= 1.28 \text{ mA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{C1} &\simeq +15 - I_{C1}R_{C1} \\ &= 15 - 1.28 \times 5 = +8.6 \text{ V} \end{aligned}$$



$$V_{E2} = V_{C1} + V_{EB}|_{Q_2} \simeq 8.6 + 0.7 = +9.3 \text{ V}$$

$$I_{E2} = \frac{+15 - V_{E2}}{R_{E2}} = \frac{15 - 9.3}{2} = 2.85 \text{ mA}$$

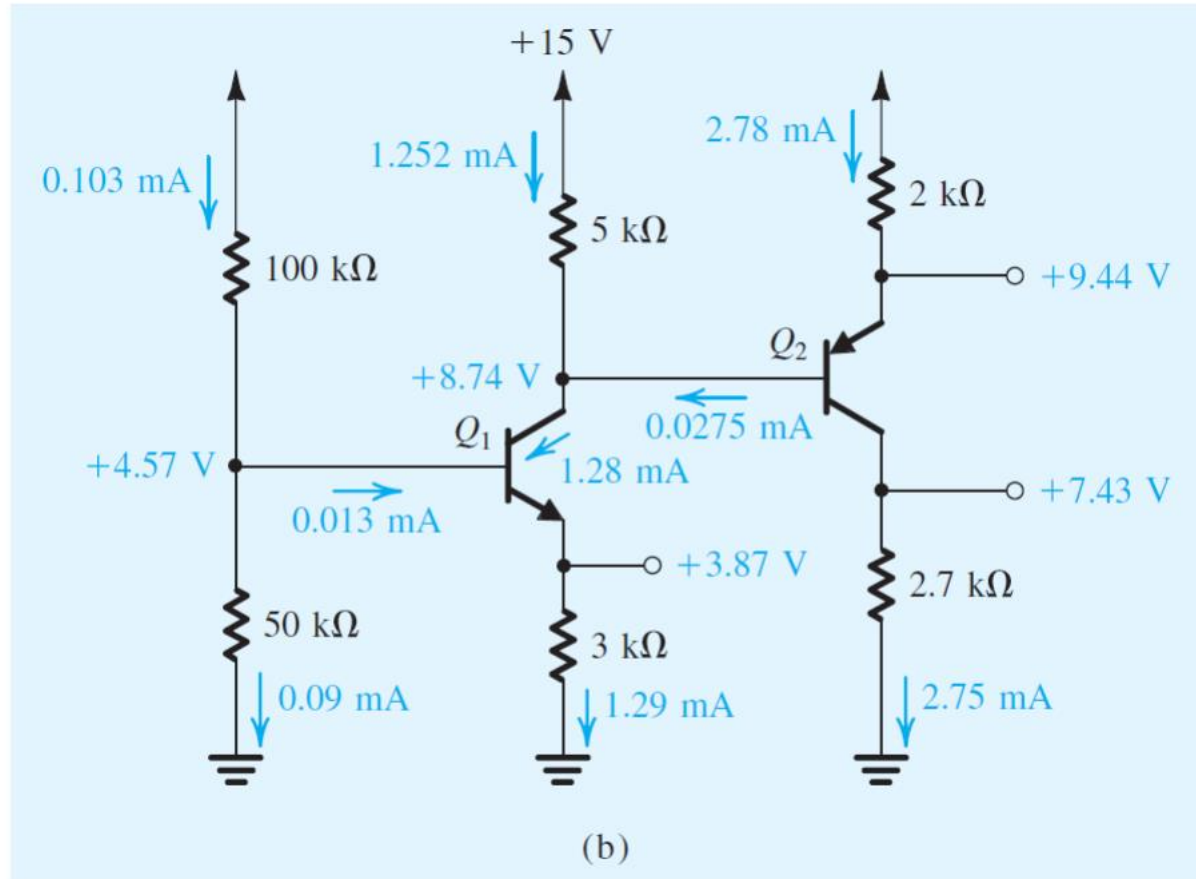
$$\begin{aligned} I_{C2} &= \alpha_2 I_{E2} \\ &= 0.99 \times 2.85 = 2.82 \text{ mA} \quad (\text{assuming } \beta_2 = 100) \end{aligned}$$

$$V_{C2} = I_{C2}R_{C2} = 2.82 \times 2.7 = 7.62 \text{ V}$$

$$I_{B2} = \frac{I_{E2}}{\beta_2 + 1} = \frac{2.85}{101} = 0.028 \text{ mA}$$



Solución...



$$I_{B2} = \frac{I_{E2}}{\beta_2 + 1} = \frac{2.85}{101} = 0.028 \text{ mA}$$

menor

$$I_{C1} = 1.28 \text{ mA}$$

Se vuelven a calcular los datos asumiendo  $I_{B2}$

$$R_{C1} = I_{C1} - I_{B2} = 1.28 - 0.028 = 1.252 \text{ mA}$$

$$V_{C1} = 15 - 5 \times 1.252 = 8.74 \text{ V}$$

$$V_{E2} = 8.74 + 0.7 = 9.44 \text{ V}$$

$$I_{E2} = \frac{15 - 9.44}{2} = 2.78 \text{ mA}$$

$$I_{C2} = 0.99 \times 2.78 = 2.75 \text{ mA}$$

$$V_{C2} = 2.75 \times 2.7 = 7.43 \text{ V}$$

$$I_{B2} = \frac{2.78}{101} = 0.0275 \text{ mA}$$