

**Tema 7: Transistores bipolares de unión:
funcionamiento, curvas características, circuitos
equivalentes para pequeña y gran señal.**

Lecturas recomendadas:

“Circuitos electrónicos” Cap.2. Schilling-Belove. Ed. McGraw-Hill

“Microelectrónica” Cap.6. Millman-Grabel. Ed. Hispano Europea

REGIONES DE FUNCIONAMIENTO DEL TRANSISTOR

Modos de operación del transistor BJT:

Modo de operación	Polarización de la unión		Aplicación
	Base-Emisor	Base-Colector	
Activo directo	Directa	Inversa	Amplificación
Corte	Inversa	Inversa	Switch "OFF"
Saturación	Directa	Directa	Switch "ON"
Activa inversa	Inversa	Directa	No habitual

REGIONES DE FUNCIONAMIENTO DEL TRANSISTOR

- ACTIVA (DIRECTA):

$$\left. \begin{array}{l} V_{BE} > V_{\gamma} \\ V_{CB} > 0 \end{array} \right\}$$



$$I_C = \beta_F I_B; \quad \beta_F \gg 1; \quad V_{\gamma} \approx 0.6 \sim 0.7 \text{ V}$$

- (ACTIVA) INVERSA:

$$\left. \begin{array}{l} V_{BC} > V_{\gamma} \\ V_{BE} < 0 \end{array} \right\}$$



$$I_E = \beta_R I_B; \quad \beta_R \ll \beta_F$$

- SATURACIÓN:

$$\left. \begin{array}{l} V_{BE} > V_{\gamma} \\ V_{CB} < 0 \\ (V_{CB} \approx -0.5 \text{ V}) \end{array} \right\}$$



$$\left\{ \begin{array}{l} I_C \text{ no es función de } I_B; \quad I_C < \beta_F I_B \\ V_{CE} \approx 0.1 \sim 0.2 \text{ V} \end{array} \right.$$

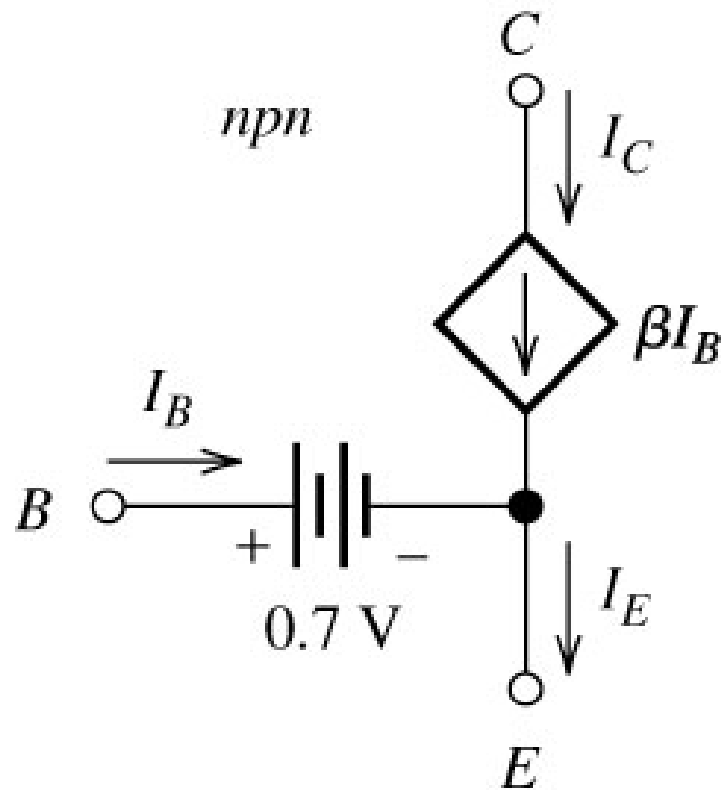
- CORTE:

$$\left. \begin{array}{l} V_{BE} < V_{\gamma} \\ V_{BC} < V_{\gamma} \end{array} \right\}$$

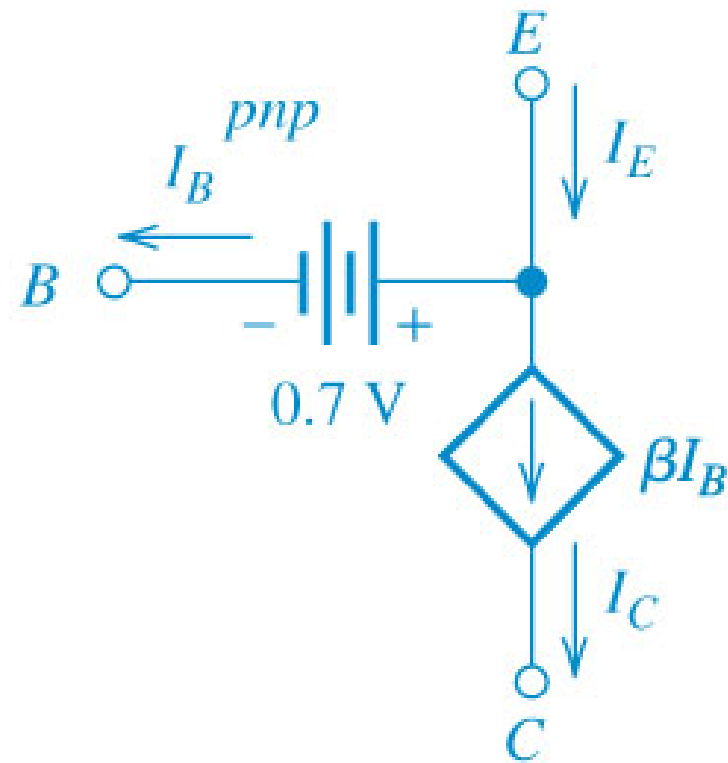


$$I_B = 0; \quad I_C = 0; \quad I_E = 0$$

MODELO DE GRAN SEÑAL: ACTIVA



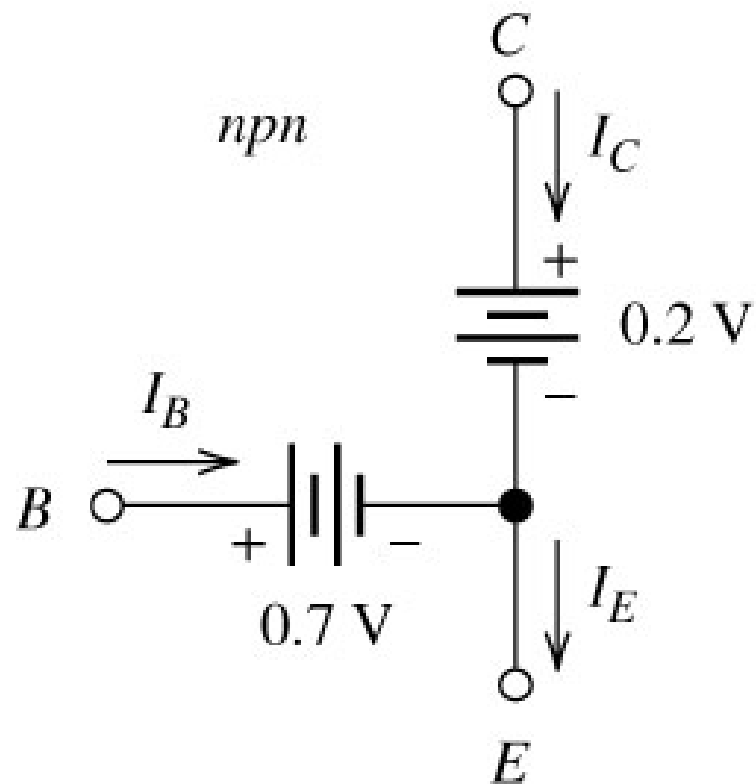
$$I_B > 0 \quad V_{CE} > 0.2\text{ V}$$



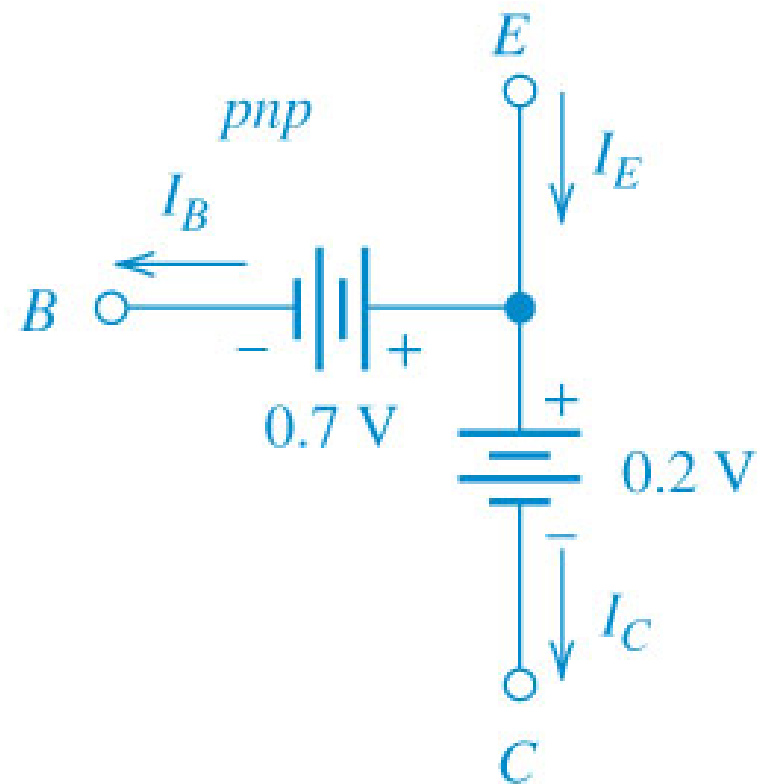
$$I_B > 0 \quad V_{CE} < -0.2\text{ V}$$

(a) Active region

MODELO DE GRAN SEÑAL: SATURACIÓN



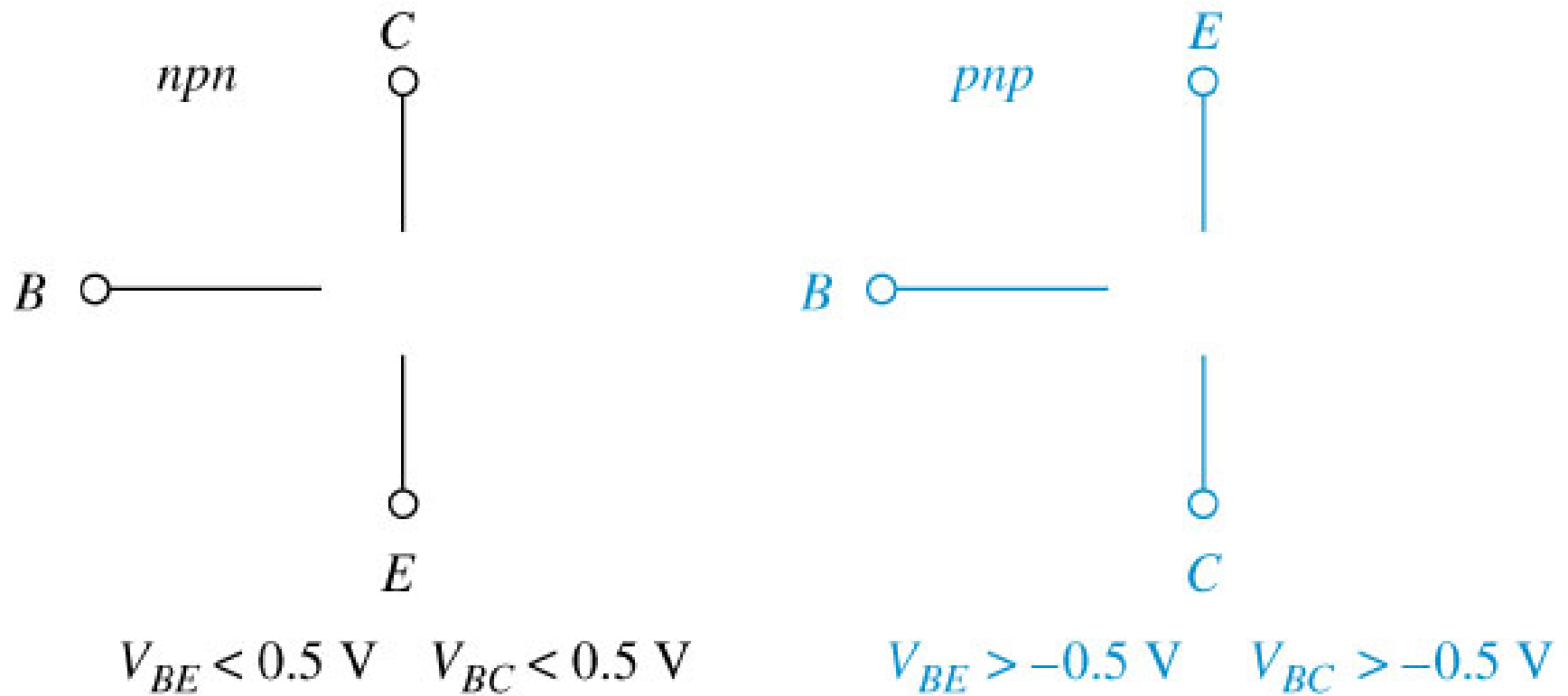
$$I_B > 0 \quad \beta I_B > I_C > 0$$



$$I_B > 0 \quad \beta I_B > I_C > 0$$

(b) Saturation region

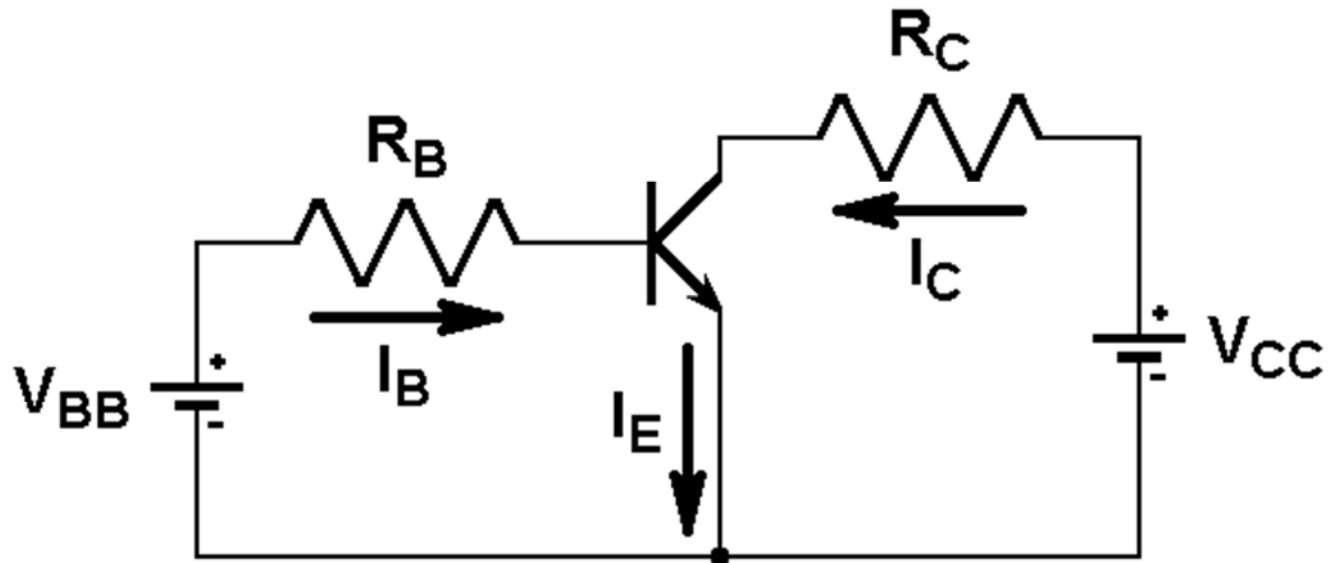
MODELO DE GRAN SEÑAL: CORTE



(c) Cutoff region

CIRCUITOS DE POLARIZACIÓN₍₁₎

- Configuración en emisor común: circuito básico



Rectas de carga:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad (\text{malla de entrada})$$

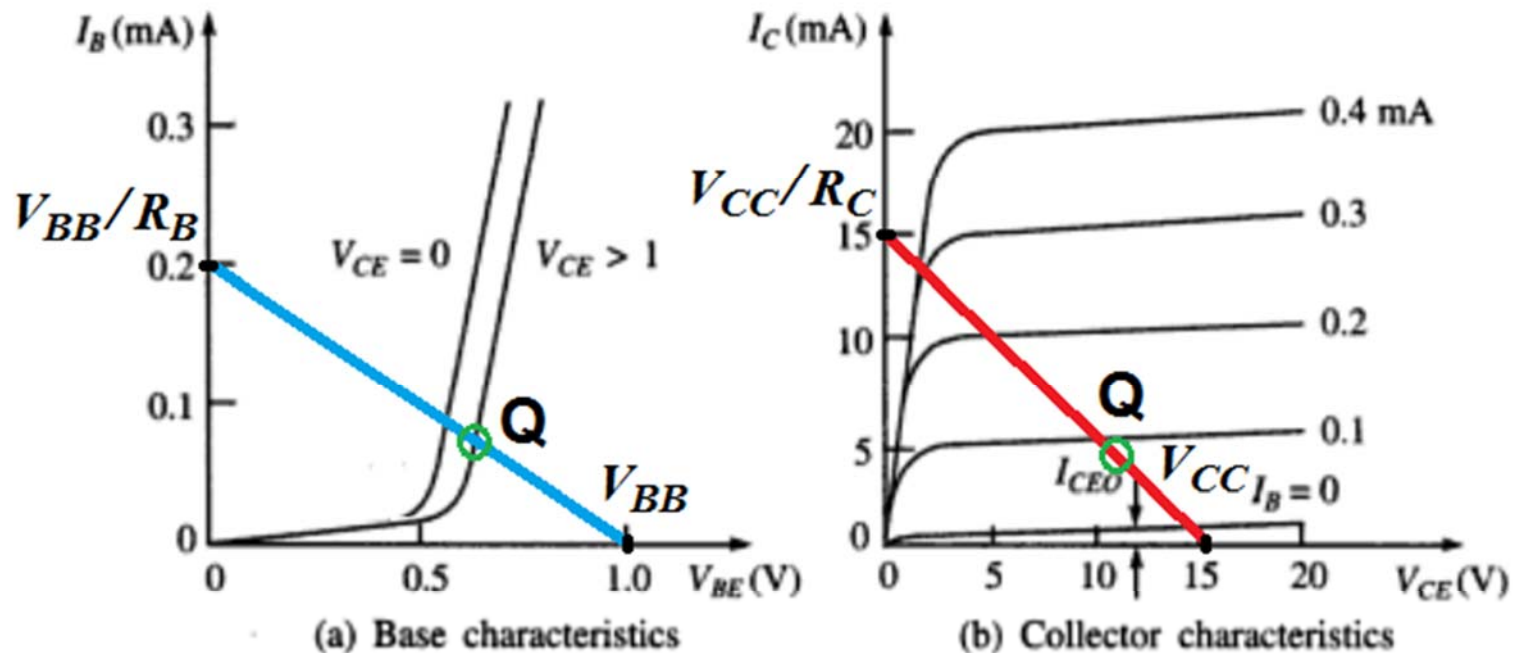
$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} \quad (\text{malla de salida})$$

CIRCUITOS DE POLARIZACIÓN₍₂₎

- Configuración en emisor común: circuito básico

Obtención gráfica del punto de trabajo mediante aplicación de las rectas de carga en las características de entrada y salida

$$\left\{ \begin{aligned} I_B &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \\ I_C &= \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} \end{aligned} \right.$$

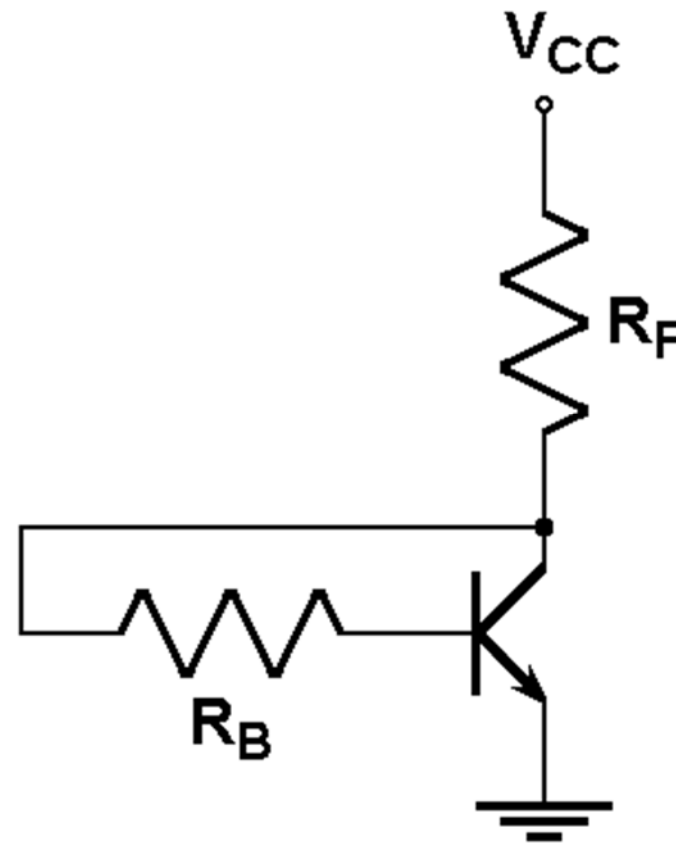
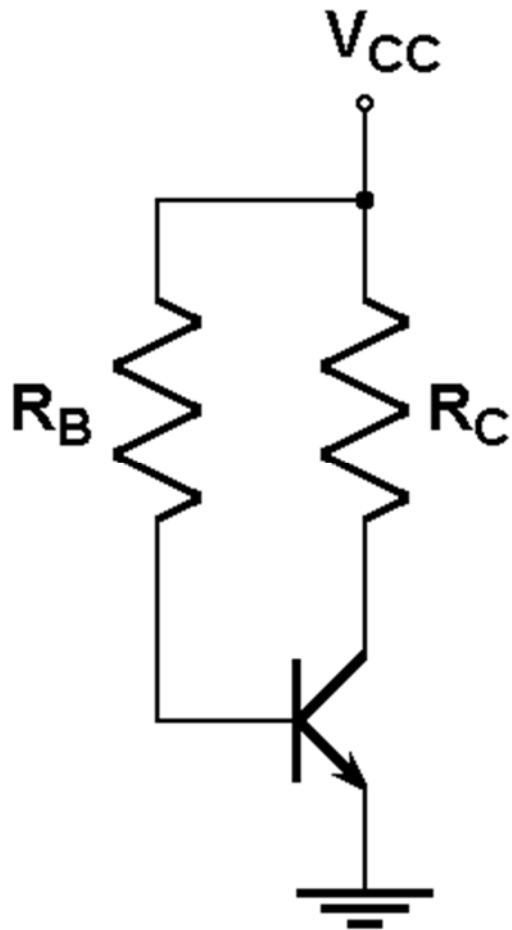


$$\begin{aligned} V_{BB} &= 1\text{V} \\ R_B &= 5\text{k}\Omega \\ V_{CC} &= 15\text{V} \\ R_C &= 1\text{k}\Omega \end{aligned}$$

FIGURE 2.11 Common-emitter characteristics of an *npn* transistor.

CIRCUITOS DE POLARIZACIÓN₍₃₎

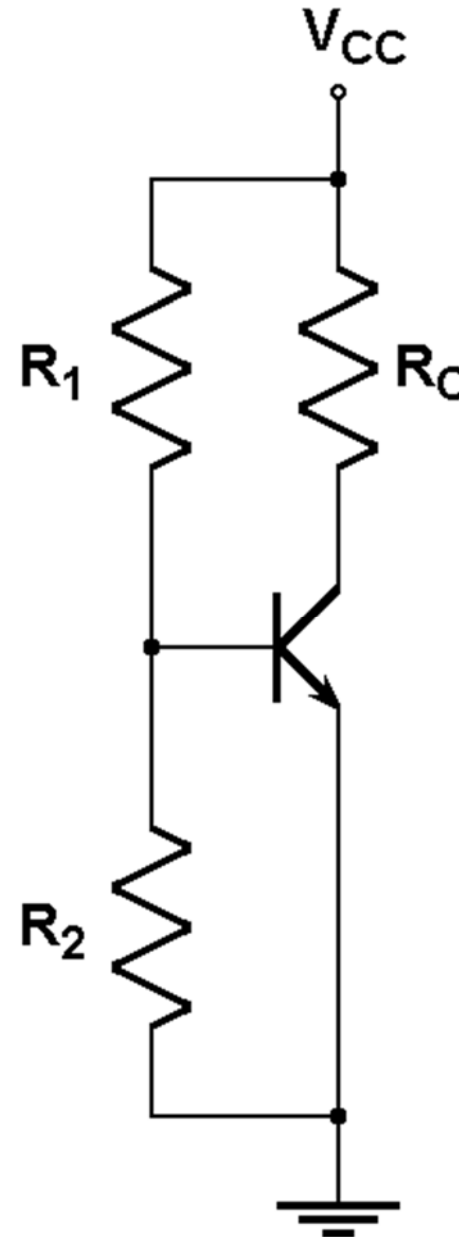
- Configuración en emisor común: con una única fuente



Si el transistor conduce, lo hace en ACTIVA

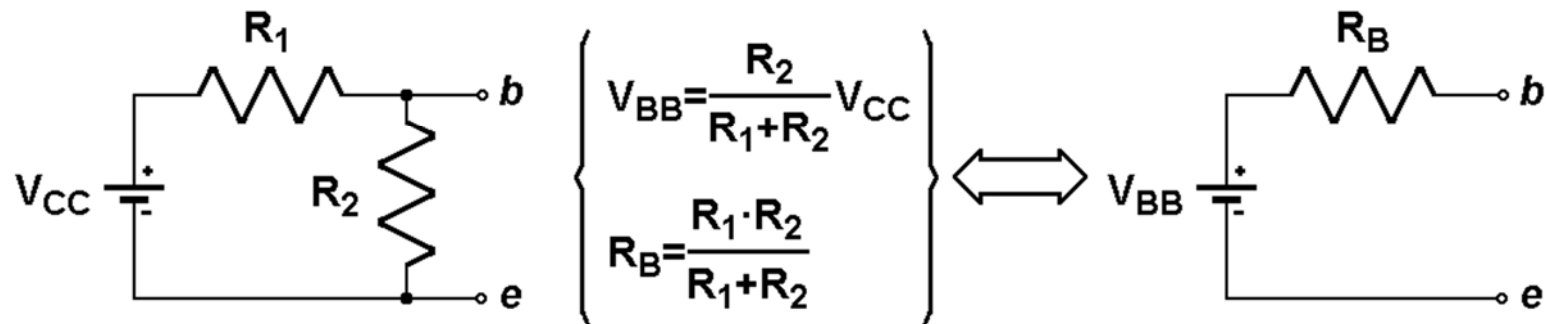
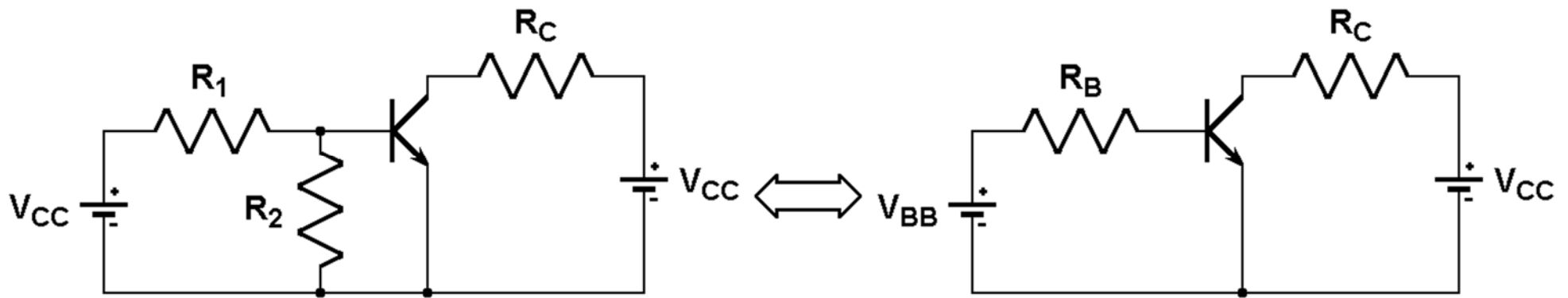
CIRCUITOS DE POLARIZACIÓN₍₄₎

- Circuito de autopolarización:



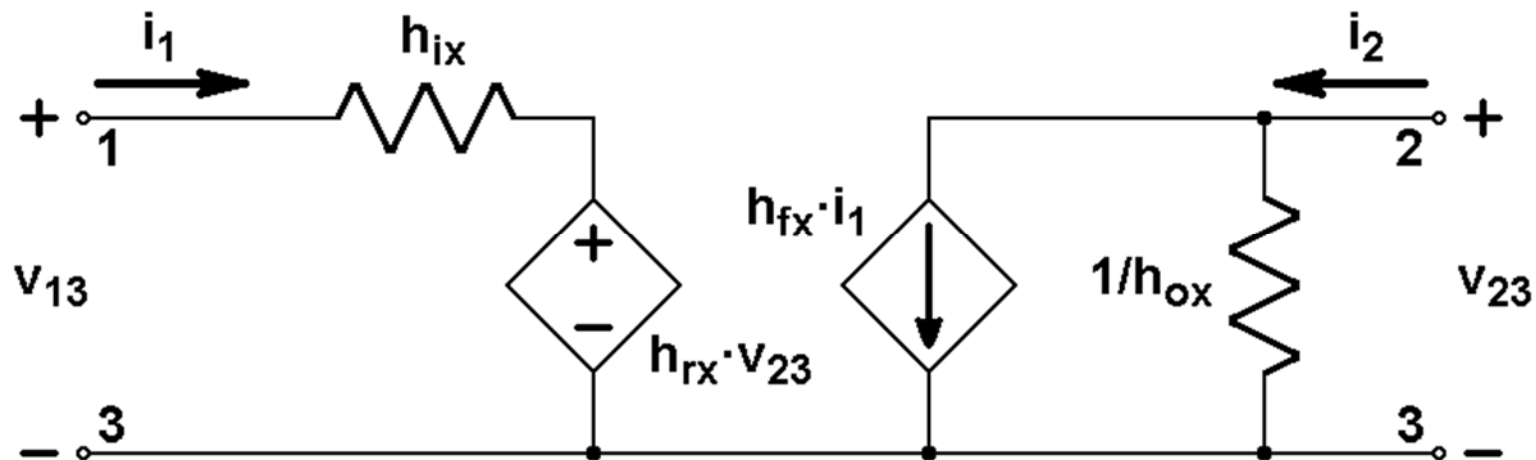
CIRCUITOS DE POLARIZACIÓN₍₅₎

- Circuito de autopolarización (equivalente):



MODELOS DE PEQUEÑA SEÑAL $(h)_1$

- Modelo híbrido de parámetros h (frecuencias medias/bajas):



$\mathbf{x} \equiv \mathbf{e}, \mathbf{b}$ ó \mathbf{c} (emisor común, base común o “seguidor de emisor”)

MODELOS DE PEQUEÑA SEÑAL $(h)_2$

- **Modelo híbrido de parámetros h (emisor común): $x \equiv e$**

Terminal **1** \equiv **B**ase

Terminal **2** \equiv **C**olector

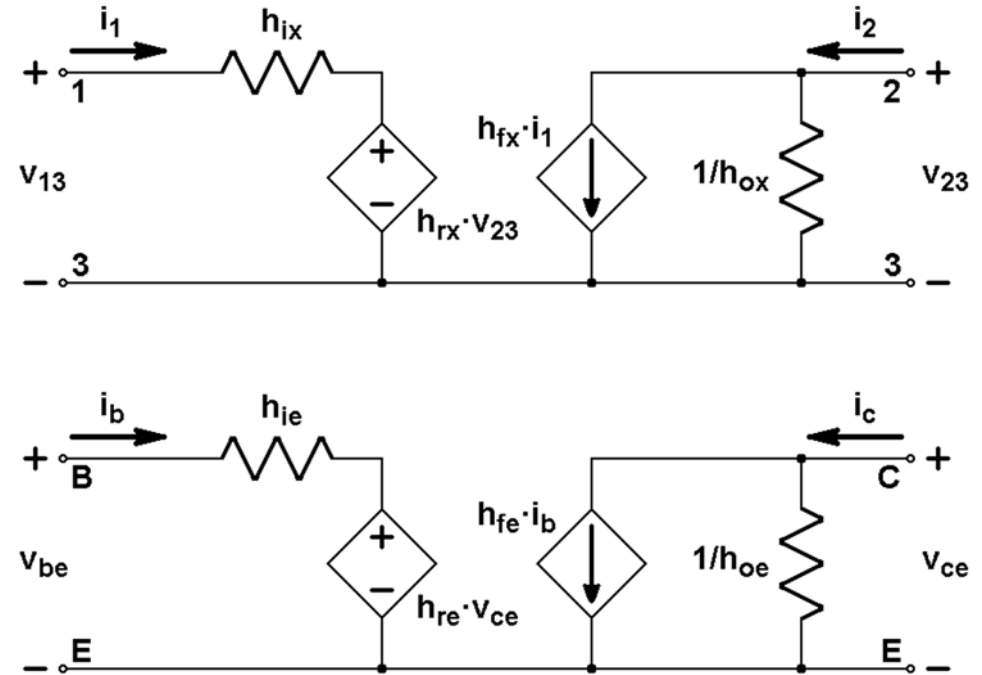
Terminal **3** \equiv **E**misor

$i_i \equiv i_b$, corriente de base

$i_o \equiv i_c$, corriente de colector

$v_{13} \equiv v_{be}$, tensión base-emisor

$v_{23} \equiv v_{ce}$, tensión colector-emisor



$h_{ix} \equiv h_{ie}$, impedancia de entrada del transistor

$h_{rx} \equiv h_{re}$, ganancia inversa de tensión (influencia de la salida sobre la entrada)

$h_{fx} \equiv h_{fe}$, ganancia de corriente

$h_{ox} \equiv 1/h_{oe}$, impedancia de salida del transistor (h_{oe} , conductancia)

MODELOS DE PEQUEÑA SEÑAL (h)₃

- **Modelo híbrido de parámetros h** (emisor común):

Ecuaciones del modelo:
$$\begin{cases} v_{be} = h_{ie} \cdot i_b + h_{re} \cdot v_{ce} \\ i_c = h_{fe} \cdot i_b + h_{oe} \cdot v_{ce} \end{cases}$$

$$h_{ie} = \left. \frac{\partial v_{be}}{\partial i_b} \right|_{v_{ce} \equiv cte.}, \text{ impedancia de entrada}$$

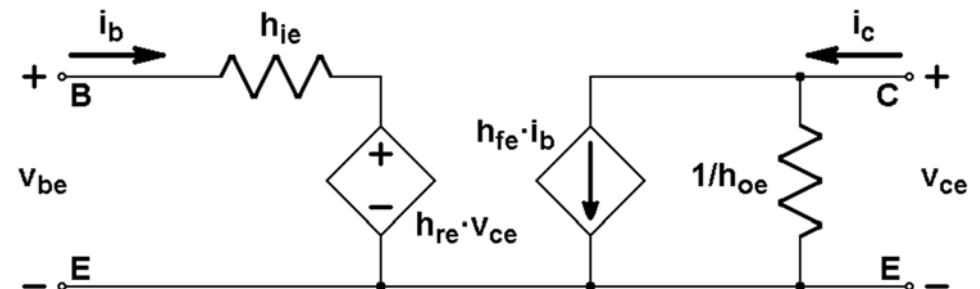
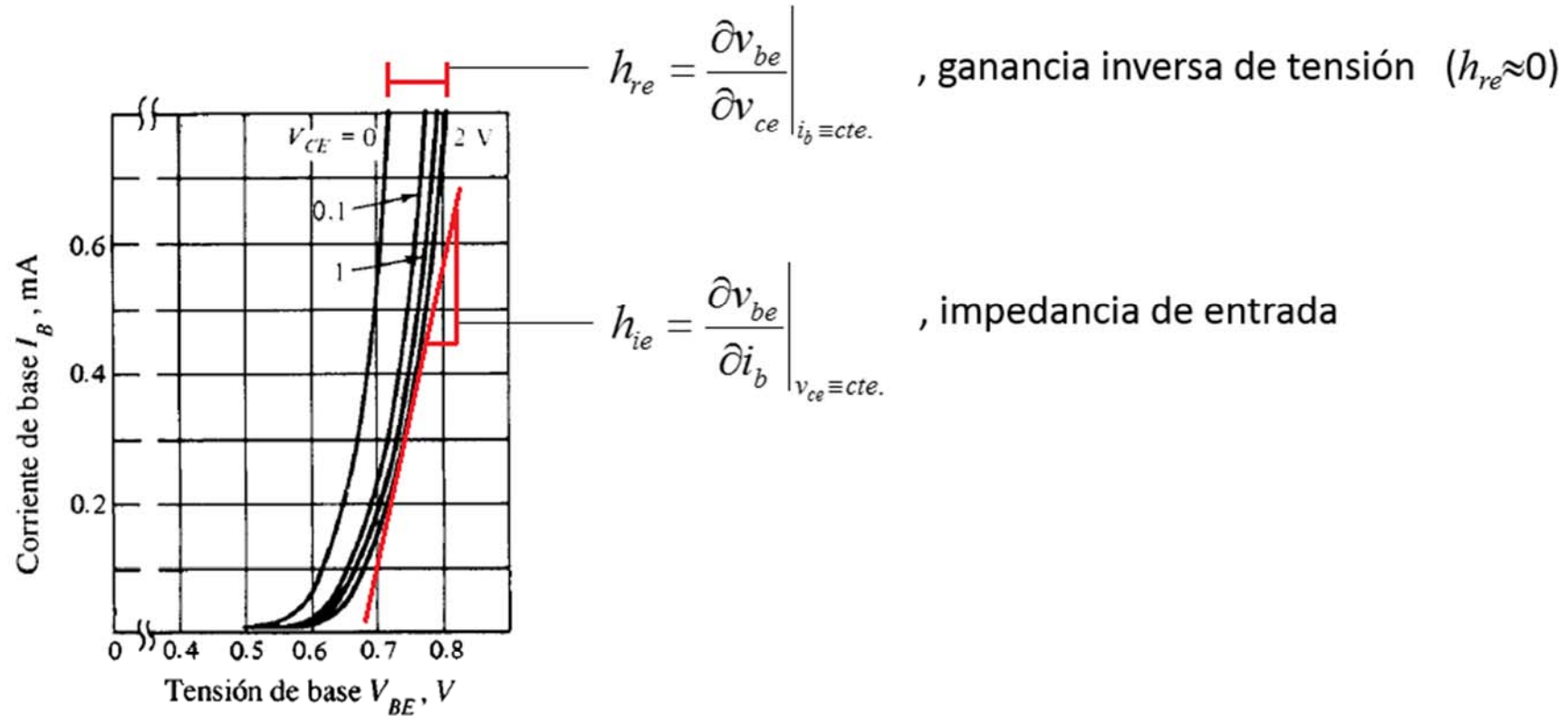
$$h_{re} = \left. \frac{\partial v_{be}}{\partial v_{ce}} \right|_{i_b \equiv cte.}, \text{ ganancia inversa de tensión } (h_{re} \approx 0)$$

$$h_{fe} = \left. \frac{\partial i_c}{\partial i_b} \right|_{v_{ce} \equiv cte.}, \text{ ganancia de corriente}$$

$$h_{oe} = \left. \frac{\partial i_c}{\partial v_{ce}} \right|_{i_b \equiv cte.}, \text{ admitancia de salida } (h_{oe} \rightarrow 0)$$

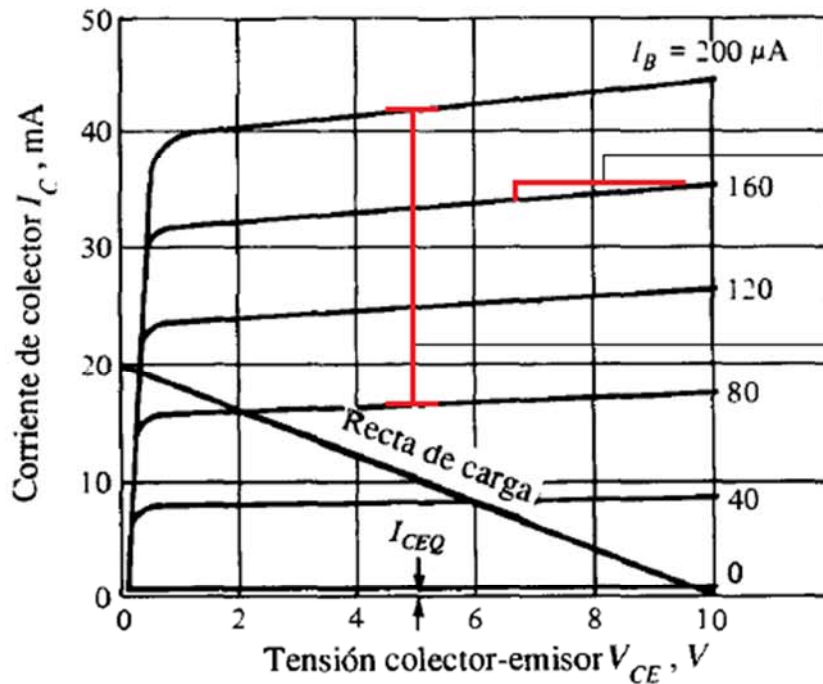
MODELOS DE PEQUEÑA SEÑAL (h)₄

- Modelo híbrido de parámetros h (emisor común):



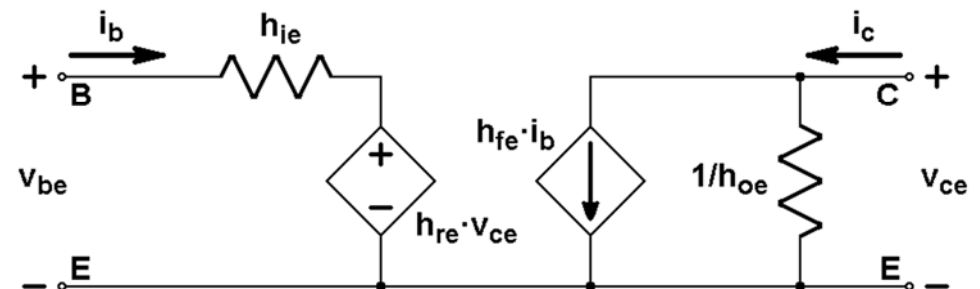
MODELOS DE PEQUEÑA SEÑAL (h)₅

- Modelo híbrido de parámetros h (emisor común):



$$h_{oe} = \left. \frac{\partial i_c}{\partial v_{ce}} \right|_{i_b \equiv cte.}, \text{ admitancia de salida } (h_{oe} \rightarrow 0)$$

$$h_{fe} = \left. \frac{\partial i_c}{\partial i_b} \right|_{v_{ce} \equiv cte.}, \text{ ganancia de corriente}$$

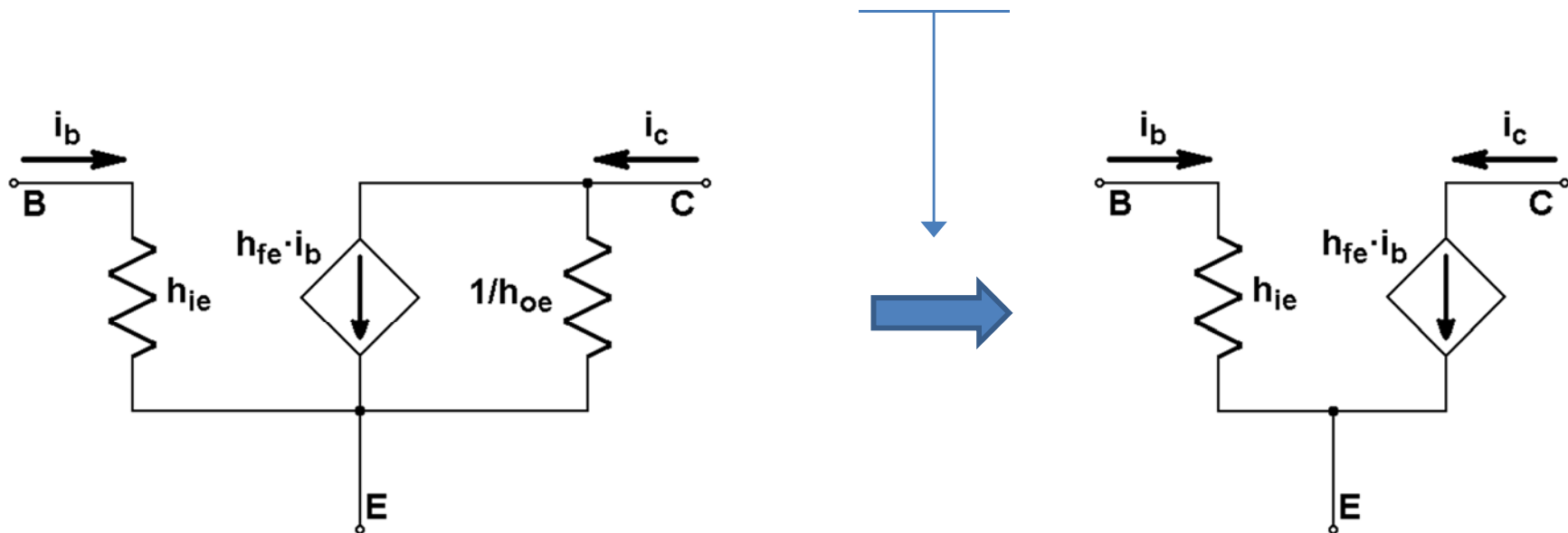


MODELOS DE PEQUEÑA SEÑAL (h)₆

- Modelo híbrido de parámetros h , simplificado:

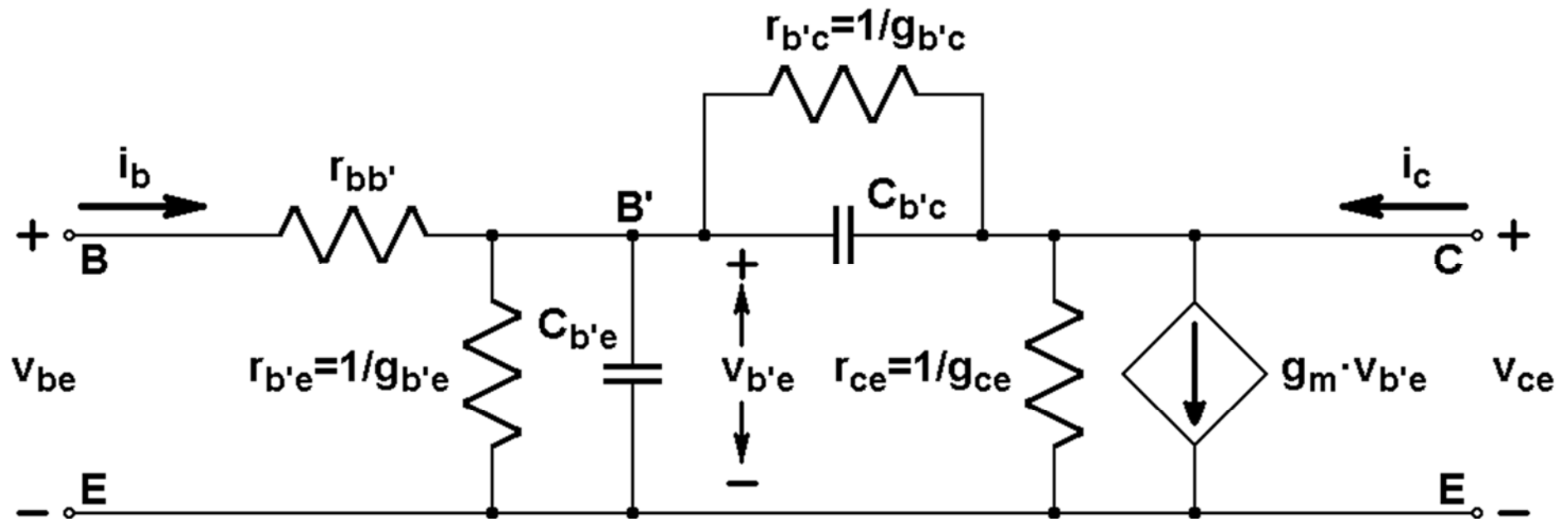
$$h_{re} \approx 0$$

$$h_{oe} \rightarrow 0 \Rightarrow 1/h_{oe} \rightarrow \infty$$



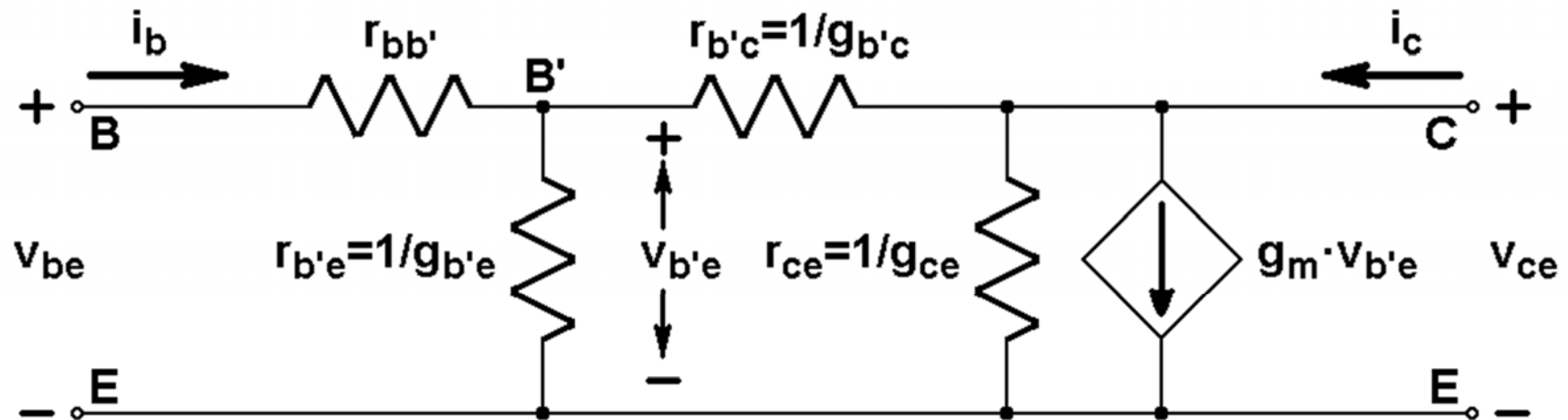
MODELOS DE PEQUEÑA SEÑAL $(\pi)_1$

- Modelo híbrido- π (emisor común):



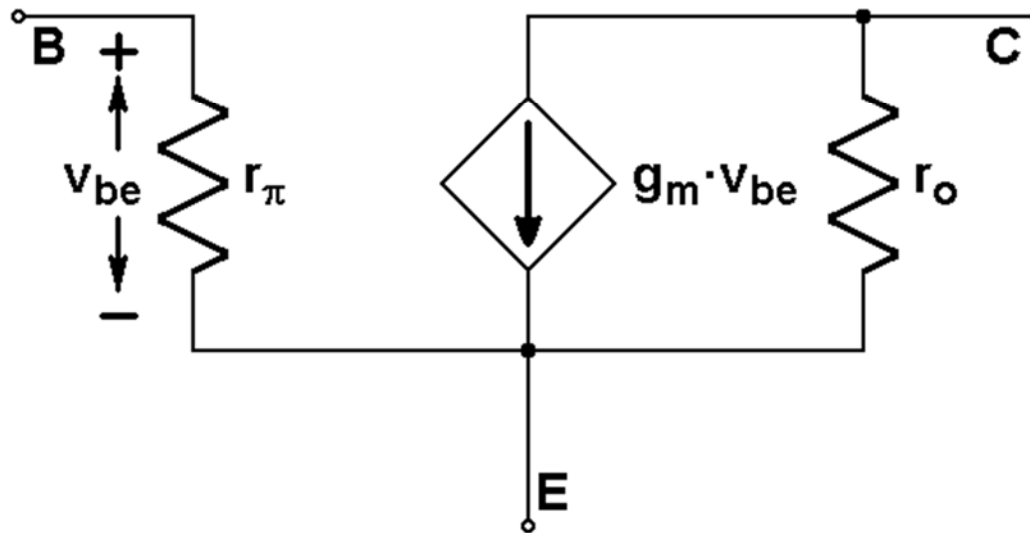
MODELOS DE PEQUEÑA SEÑAL $(\pi)_2$

- **Modelo híbrido- π** (media/baja frecuencia):



MODELOS DE PEQUEÑA SEÑAL $(\pi)_3$

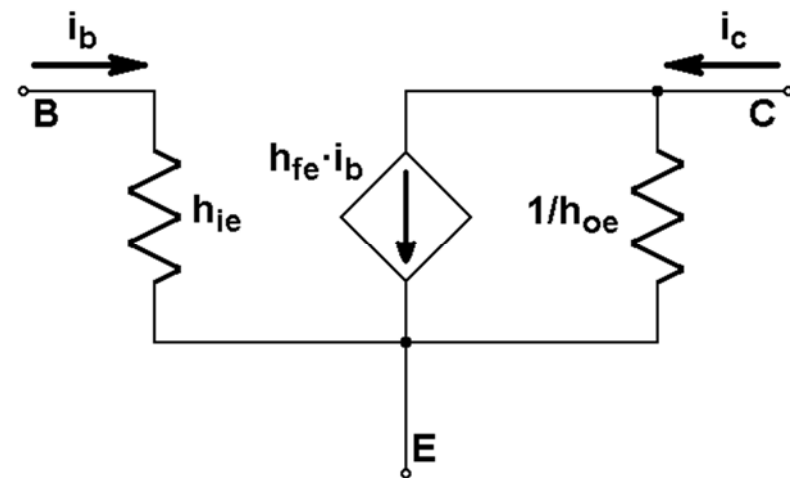
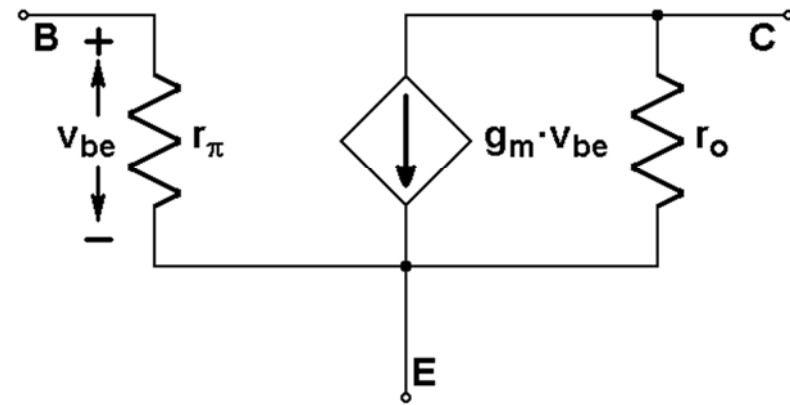
- **Modelo híbrido- π , simplificado:**



MODELOS DE PEQUEÑA SEÑAL

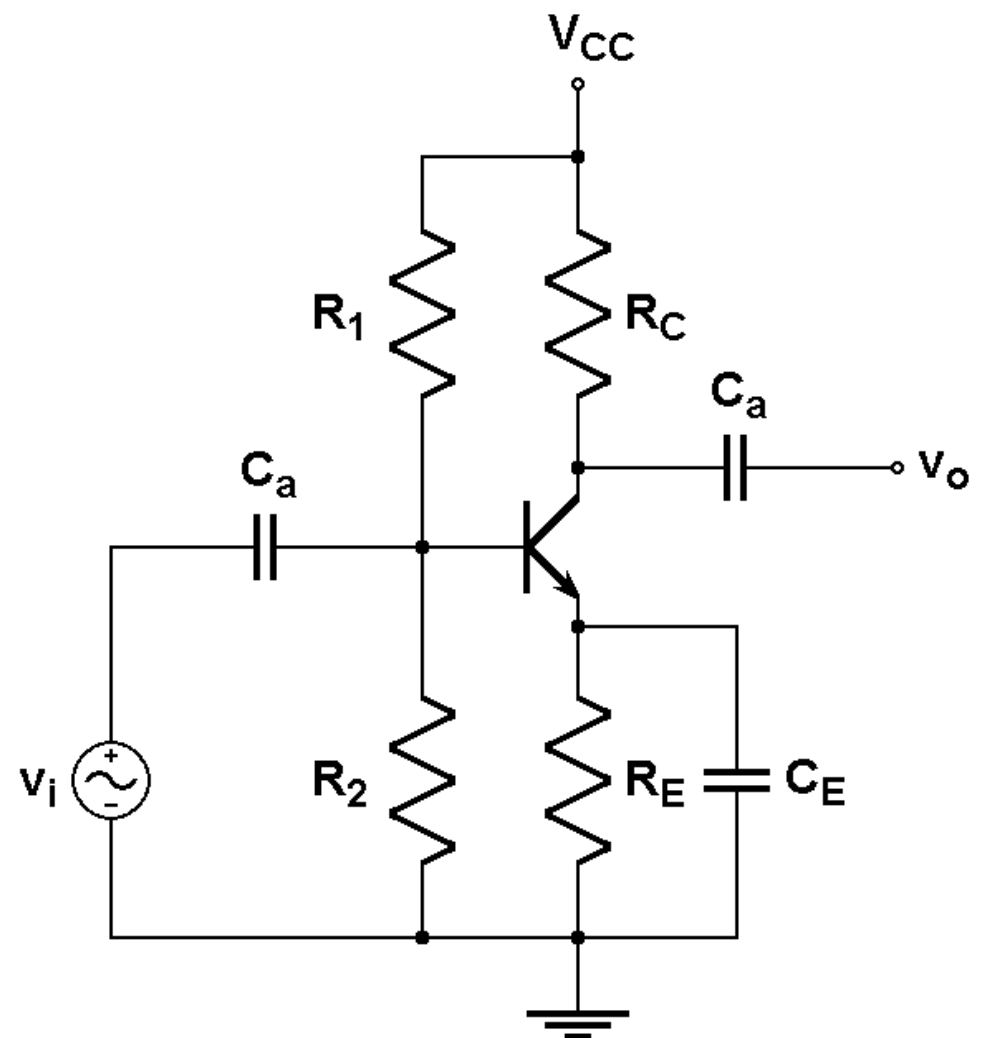
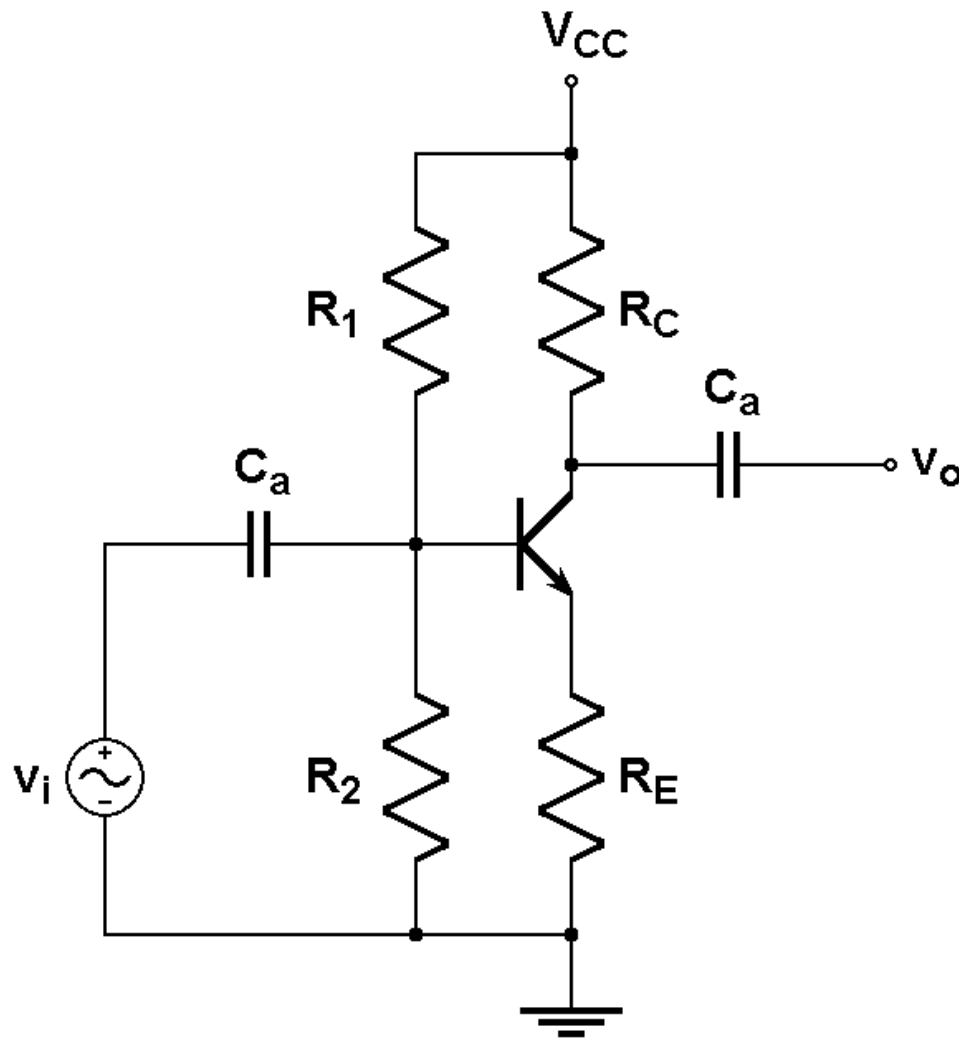
- Modelo híbrido-pi vs. híbrido de parámetros h, simplificados:

$$\left. \begin{aligned} r_{\pi} &= h_{ie} \\ r_o &= 1/h_{oe} \\ g_m &= \frac{h_{fe}}{h_{ie}} \end{aligned} \right\}$$



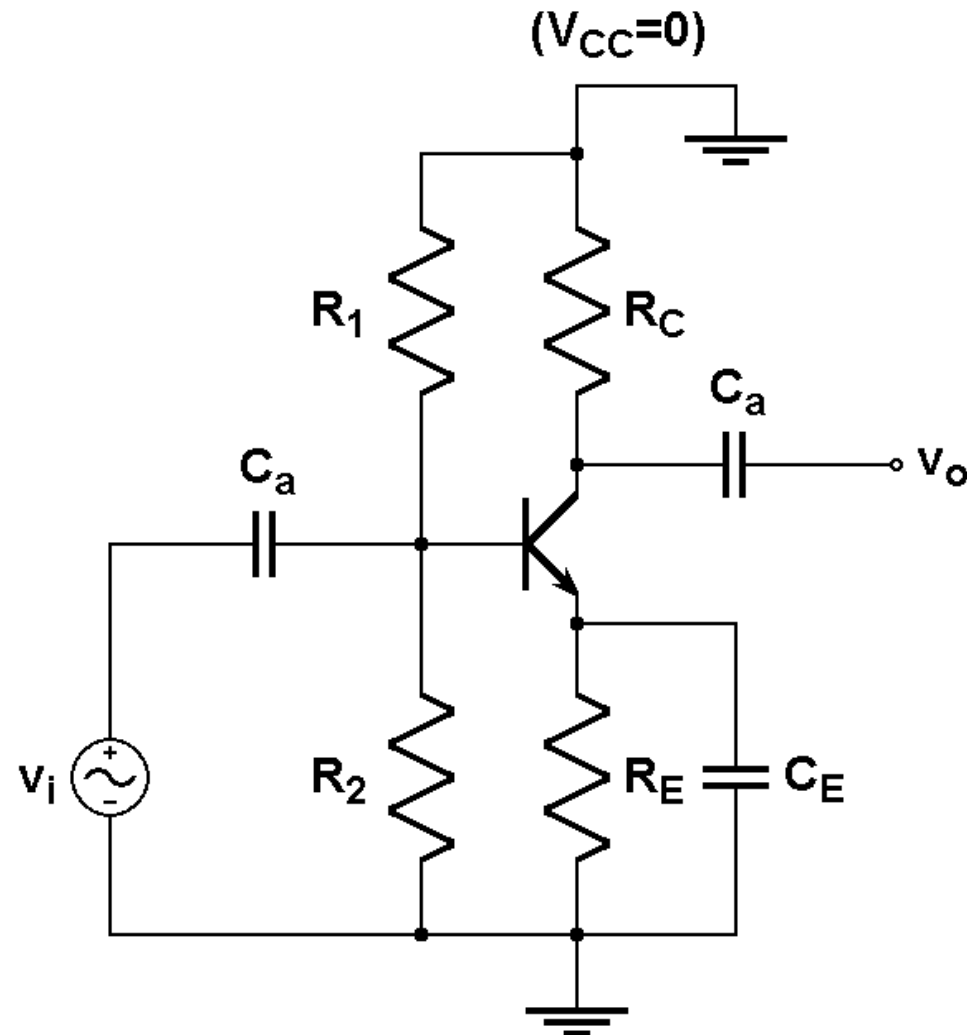
AMPLIFICADOR DE PEQUEÑA SEÑAL₍₁₎

- Componentes continua y alterna: resolución por superposición



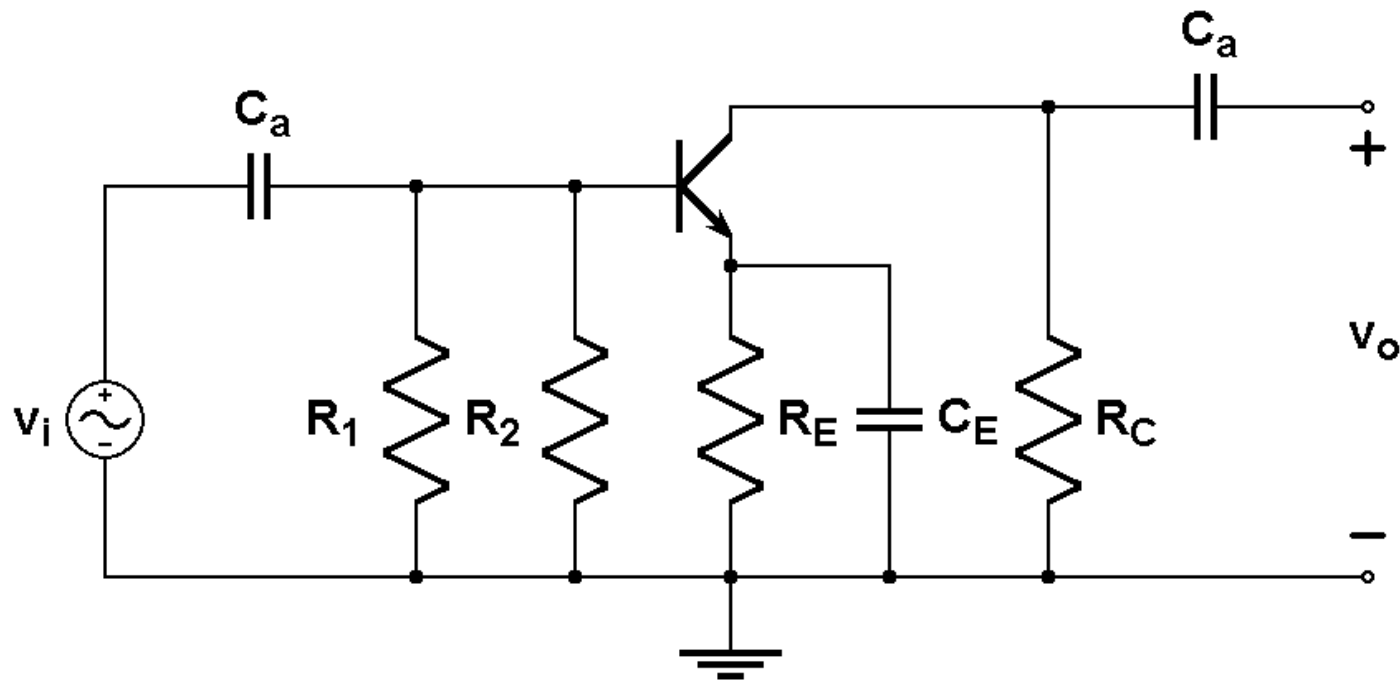
AMPLIFICADOR DE PEQUEÑA SEÑAL₍₂₎

- Anulando la componente continua:



AMPLIFICADOR DE PEQUEÑA SEÑAL₍₃₎

- Reordenando:



AMPLIFICADOR DE PEQUEÑA SEÑAL₍₄₎

- Substituyendo el BJT por su modelo híbrido:

