

# ELECTRONICA APLICADA I

Prof. Adj. Ing. Fernando Cagnolo

- **Parámetros Híbridos (Parte 1)**

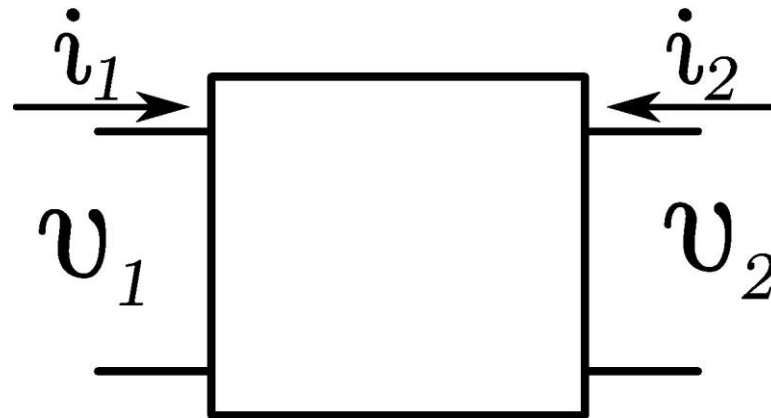
Estas diapositivas están basadas en las clases dictadas por el Profesor Ing. Alberto Muhana.

Agradezco el trabajo realizado y facilitado por el Sr. Joaquín Ponce en la generación de los gráficos empleados en el desarrollo de estas diapositivas y al Sr. Mariano Garino por la facilitación del manuscrito tomado en clase.

Por ultimo agradezco la predisposición y colaboración de Ing, Federico Linares en el trabajo de recopilación y armado de estas diapositivas.

# Parámetros Híbridos

*Se parte de la teoría del cuadripolo o redes de dos pares de terminales:*



*En general :*

$$v_1 = h_{11}i_1 + h_{12}v_2$$

$$i_2 = h_{21}i_1 + h_{22}v_2$$

*Para transistores :*

$$v_1 = h_i i_1 + h_r v_2$$

$$i_2 = h_f i_1 + h_o v_2$$

# Parámetros Híbridos (Cont.)

$i$  : entrada       $r$  : reverso

$f$  : directa       $o$  : salida

$h_i$  : impedancia de entrada.

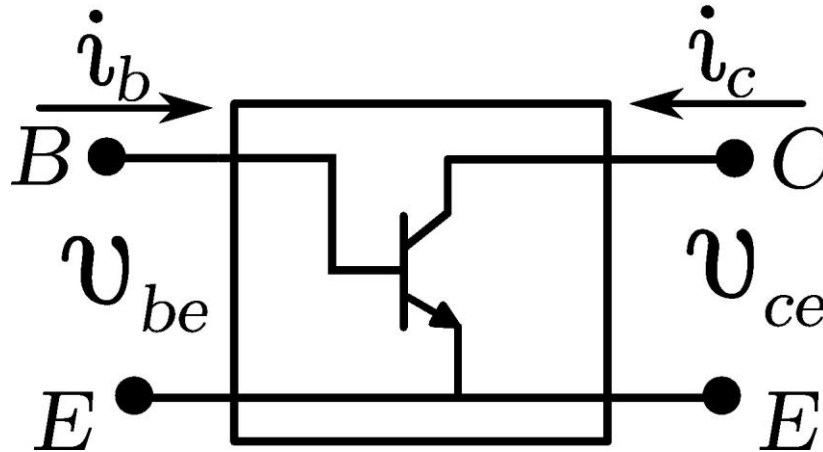
$h_r$  : ganancia inversa de voltaje.

$h_f$  : ganancia directa de corriente.

$h_o$  : admitancia de salida.

# Parámetros Híbridos.

## Configuración Emisor Común.



$$i_1 = i_b$$

$$i_2 = i_c$$

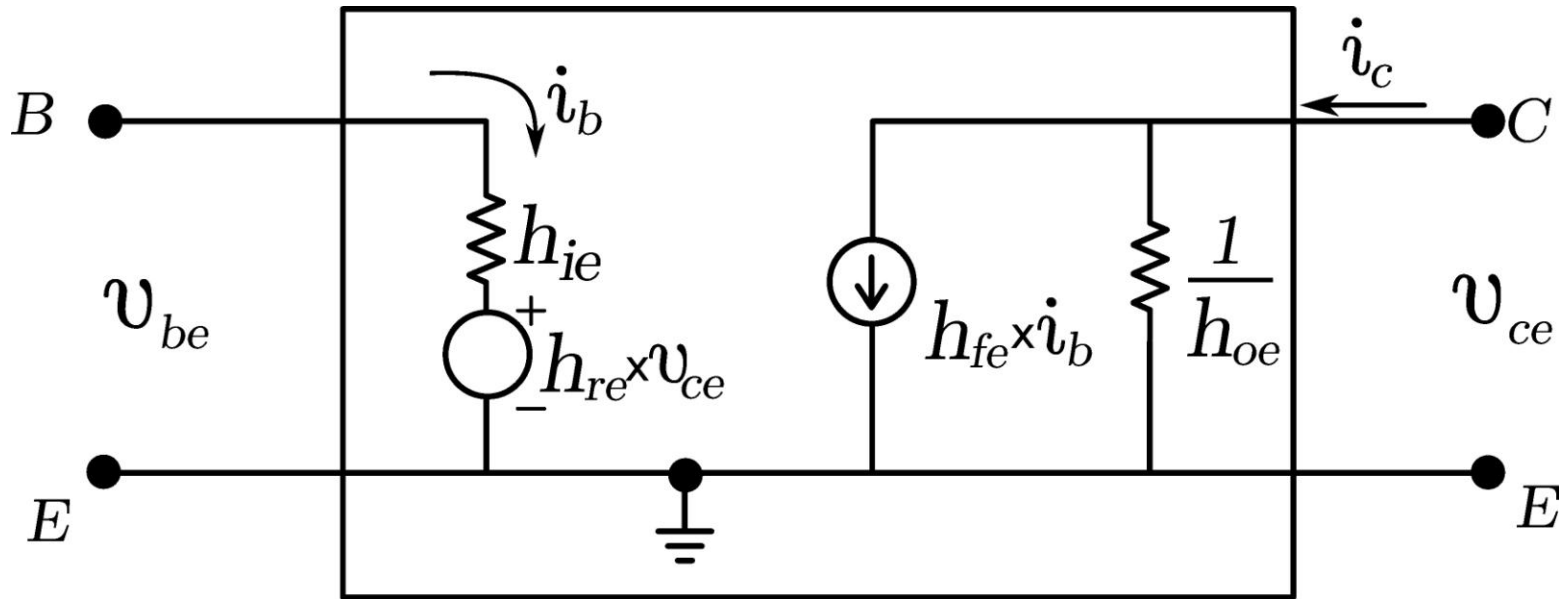
$$v_1 = v_{be}$$

$$v_2 = v_{ce}$$

*Ley de Kirchhoff de voltaje:*  $v_{be} = h_{ie} i_b + h_{re} v_{ce}$

*Ley de Kirchhoff de corriente:*  $i_c = h_{fe} i_b + h_{oe} v_{ce}$

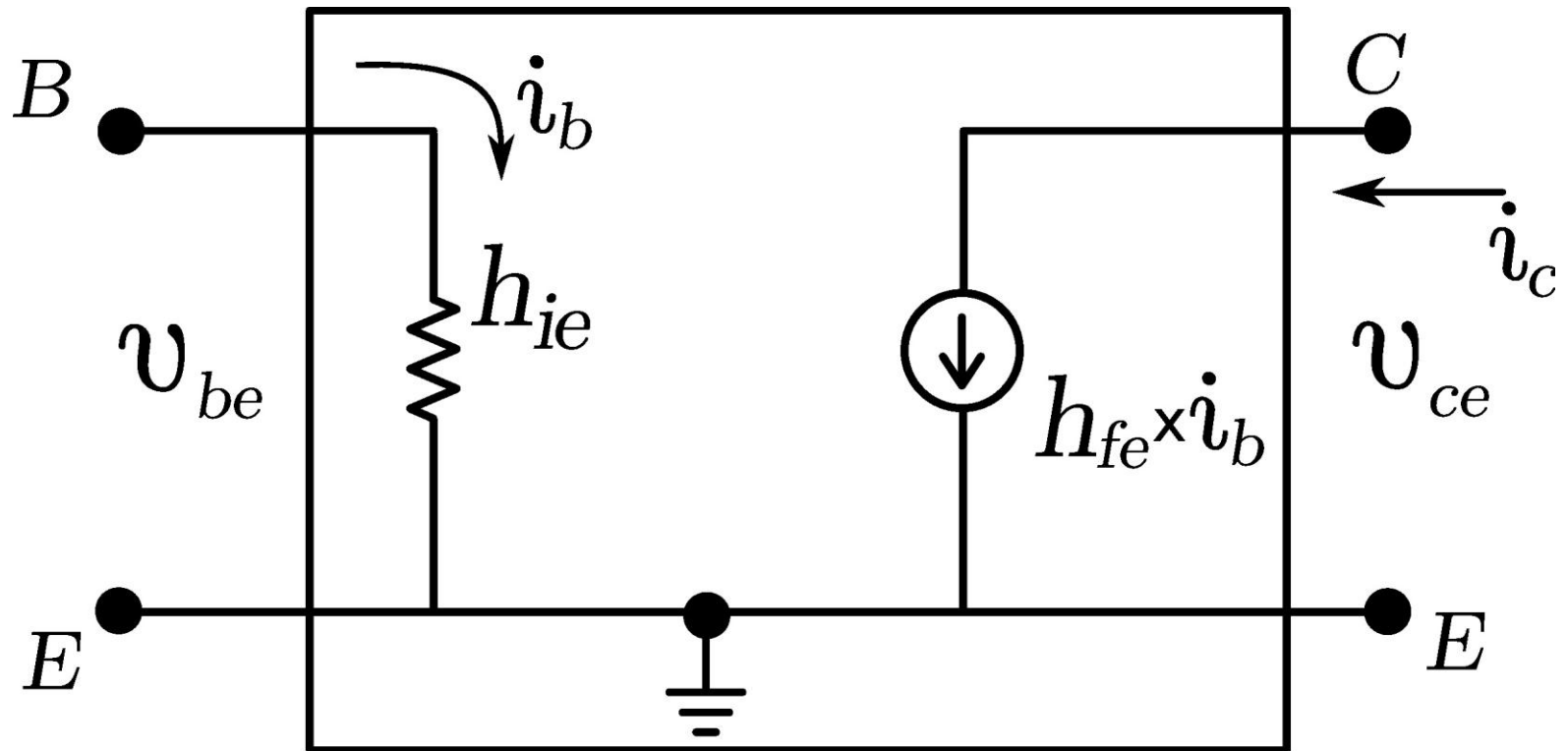
# Parámetros Híbridos Modelo Completo



$$h_{oe} \rightarrow 10^{-4} S \text{ a } 10^{-6} S$$

$$\frac{1}{h_{oe}} \rightarrow 10^4 \Omega \text{ a } 10^6 \Omega \rightarrow \text{circuito abierto}$$

# Parámetros Híbridos-Modelo Simplificado



# Parámetros Híbridos (Cont.)

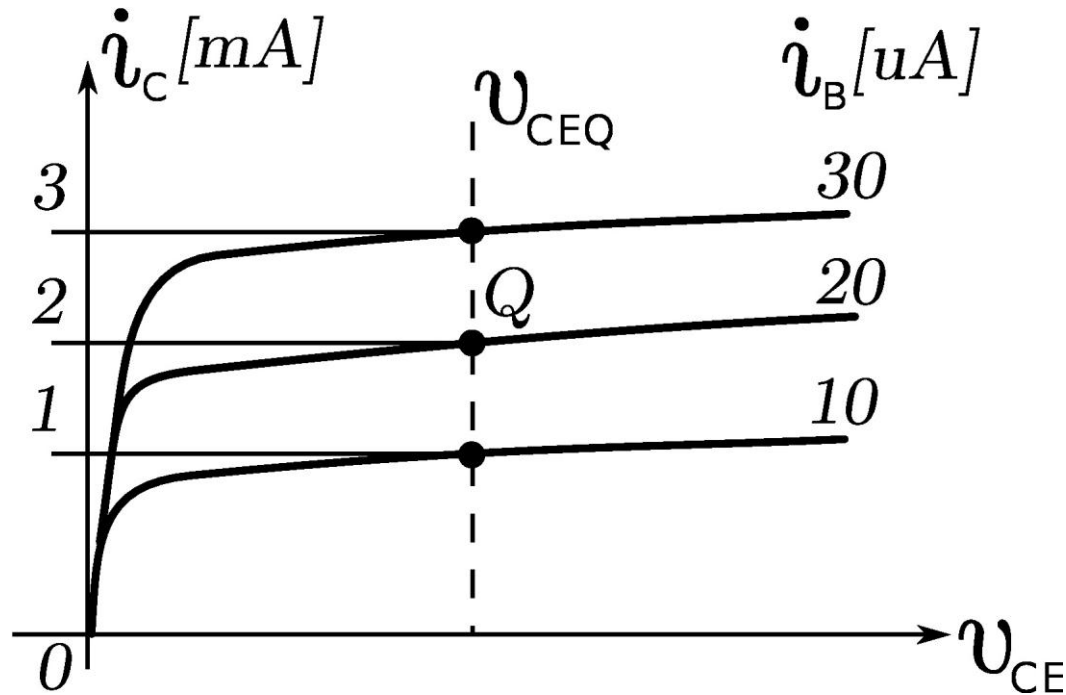
$$h_{ie} = \left. \frac{v_{be}}{i_b} \right|_{\substack{v_{ce}=0 \\ V_{CEQ}=cte}} \left\{ \begin{array}{l} \text{impedancia de entrada del TR en E.C} \\ \text{con la salida en cortocircuito.} \end{array} \right.$$

$$h_{re} = \left. \frac{v_{be}}{v_{ce}} \right|_{\substack{i_b=0 \\ I_{BQ}=cte}} \left\{ \begin{array}{l} \text{ganancia inversa de Voltaje con la} \\ \text{entrada abierta en E.C.} \end{array} \right.$$

$$h_{fe} = \left. \frac{i_c}{i_b} \right|_{\substack{v_{ce}=0 \\ V_{CEQ}=cte}} \left\{ \begin{array}{l} \text{ganancia de corriente en E.C con la} \\ \text{salida en cortocircuito para C.A.} \end{array} \right.$$

$$h_{oe} = \left. \frac{i_c}{v_{ce}} \right|_{\substack{i_b=0 \\ I_{BQ}=cte}} \left\{ \begin{array}{l} \text{admitancia de salida en E.C con la} \\ \text{entrada abierta.} \end{array} \right.$$

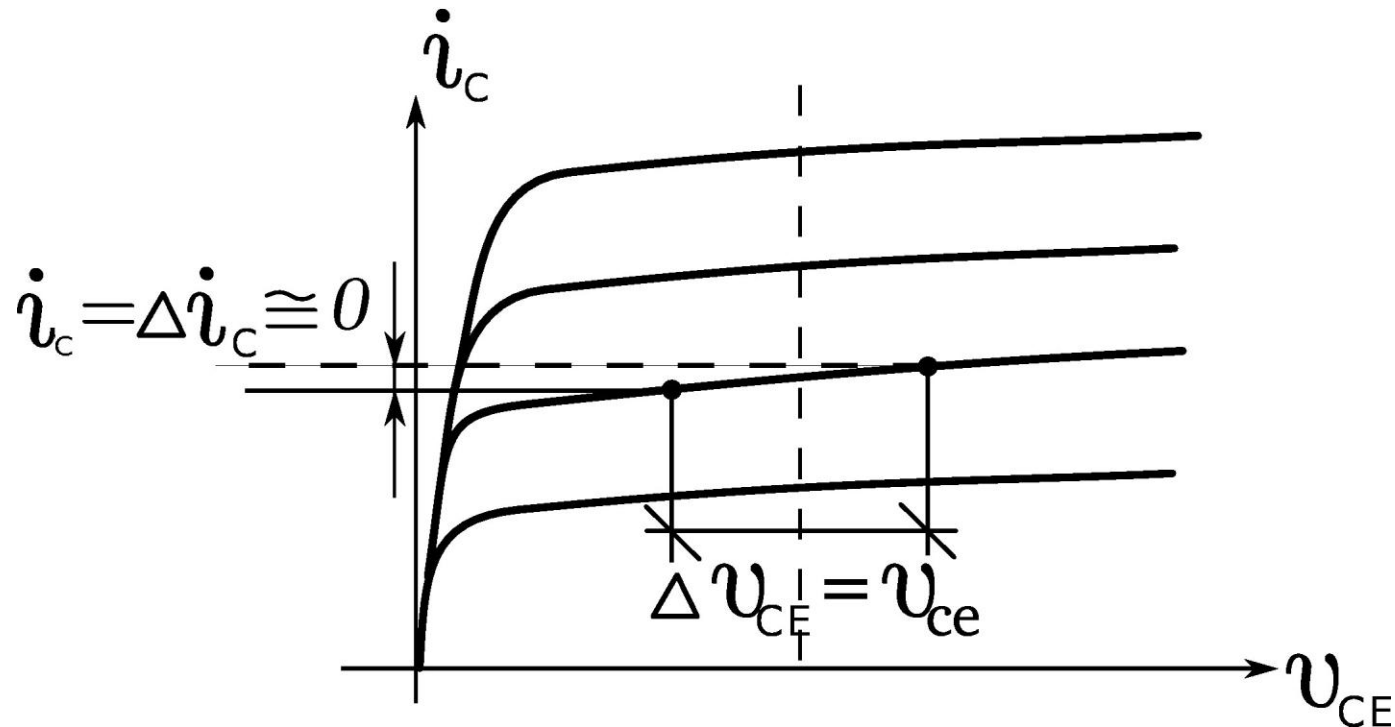
# Parámetros Híbridos. Valor de $h_{fe}$ a partir de las características i-v



$$h_{fe} = \left. \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \right|_Q = \frac{3mA - 1mA}{30\mu A - 10\mu A} = 100$$



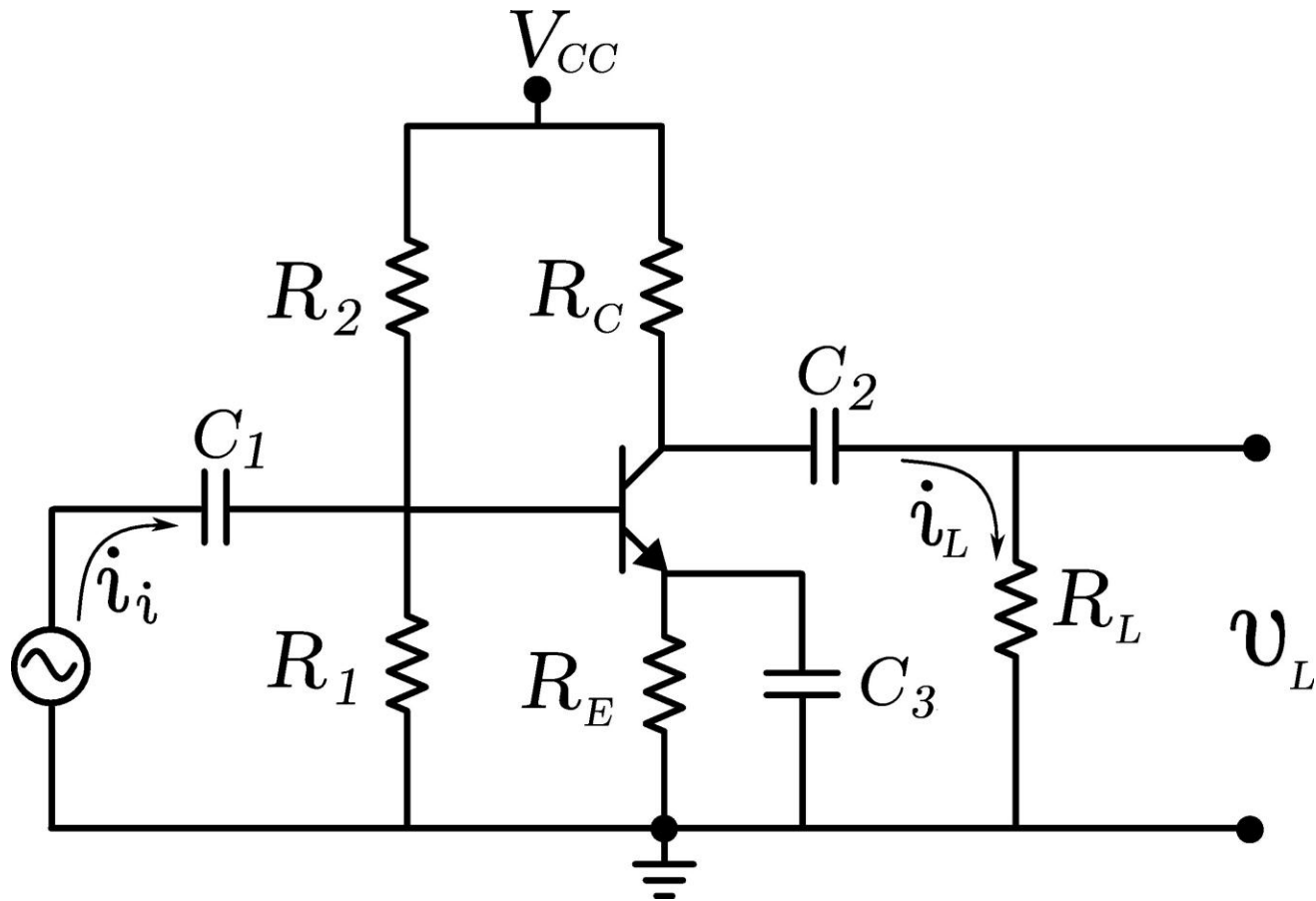
# Parámetros Híbridos- Valor de $h_{oe}$ a partir de las características i-v



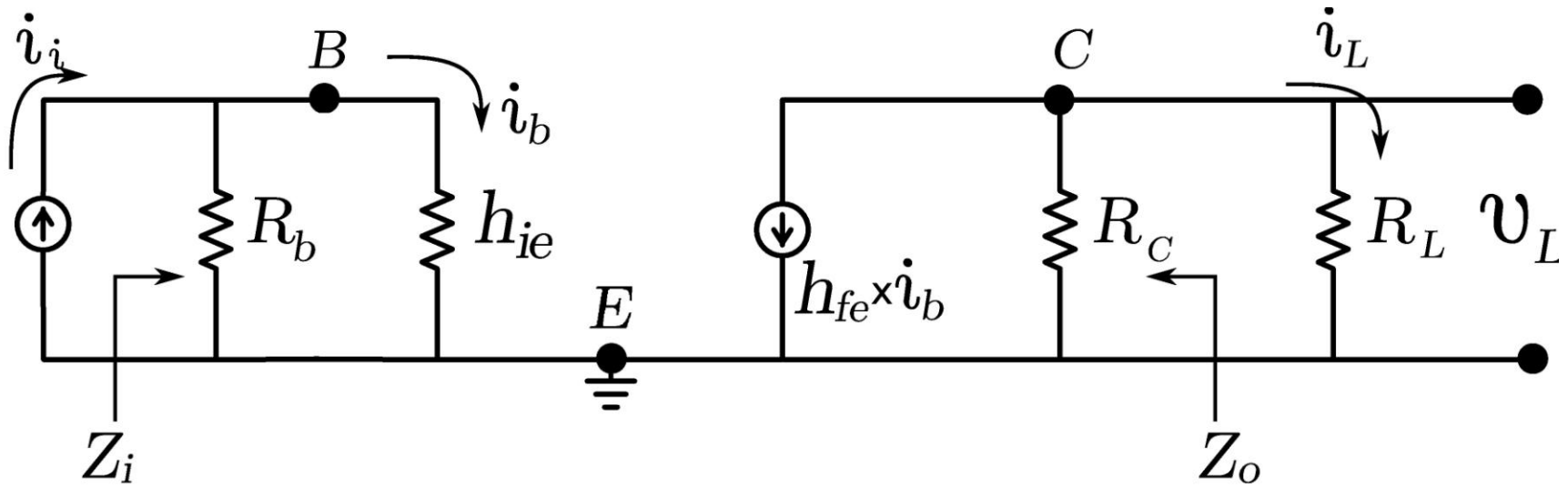
$$h_{oe} = \left. \frac{\Delta i_c}{\Delta v_{CE}} \right|_Q$$

$$h_{ie} = \frac{25 \text{ mV}}{I_{BQ}} = \frac{25 \text{ mV}}{\frac{I_{CQ}}{h_{fe}}} = h_{fe} \frac{25 \text{ mV}}{I_{CQ}}$$

# Etapa Amplificadora Emisor Común



# Etapa Amplificadora Emisor Común. Circuito Equivalente.



$$Z_i = R_b // h_{ie}$$

$$Z_o = R_c$$

# Etapa Amplificadora Emisor Común. Ganancia de Corriente.

$$A_i = \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L}{i_b} \times \frac{i_b}{i_i}$$

$$i_L = \frac{v_L}{R_L} = \frac{-h_{fe} i_b R_C // R_L}{R_L} = -h_{fe} i_b \frac{R_C \cancel{R_L}}{R_C + R_L} \frac{1}{\cancel{R_L}}$$

$$\frac{i_L}{i_b} = -h_{fe} \frac{R_C}{R_C + R_L}$$

$$i_b = \frac{v_i}{h_{ie}} = i_i \frac{R_b \cancel{h_{ie}}}{R_b + h_{ie}} \frac{1}{\cancel{h_{ie}}} = i_i \frac{R_b}{R_b + h_{ie}}$$

$$\frac{i_b}{i_i} = \frac{R_b}{R_b + h_{ie}}$$

$$A_i = -h_{fe} \frac{R_C}{R_C + R_L} \frac{R_b}{R_b + h_{ie}}$$

$$Si \left\{ \begin{array}{l} R_L \ll R_C \\ h_{ie} \ll R_b \end{array} \right\} \Rightarrow A_i = -h_{fe} \frac{\cancel{R_C}}{\cancel{R_C}} \frac{\cancel{R_b}}{\cancel{R_b}} \cong -h_{fe}$$

# Etapa Amplificadora Emisor Común. Ganancia de tensión.

$$A_V = \frac{v_L}{v_i} = \frac{i_L}{i_i} \frac{R_L}{Z_i}$$

$$A_V = A_i \frac{R_L}{Z_i} = -h_{fe} \frac{R_C}{R_C + R_L} \frac{R_b}{R_b + h_{ie}} \frac{R_L}{\frac{R_b \times h_{ie}}{R_b + h_{ie}}} = -h_{fe} \frac{R_C \times R_L}{R_C + R_L} \frac{1}{h_{ie}}$$

$$A_V = -h_{fe} \frac{R_C // R_L}{h_{ie}}$$

Si  $R_L \ll R_C$  :

$$A_V \cong -h_{fe} \frac{R_C' \times R_L}{R_C'} \frac{1}{h_{ie}} \cong -h_{fe} \frac{R_L}{h_{ie}} = -\frac{R_L}{h_{ie}/h_{fe}} = -\frac{R_L}{h_{ib}}$$

$$A_V = -\frac{1}{h_{ib}} R_L$$

# Etapa Amplificadora Emisor Común. Ganancia de Potencia.

$$A_P = \frac{P_L}{P_i} = \frac{v_L}{v_i} \times \frac{i_L}{i_i} = A_V \times A_i$$

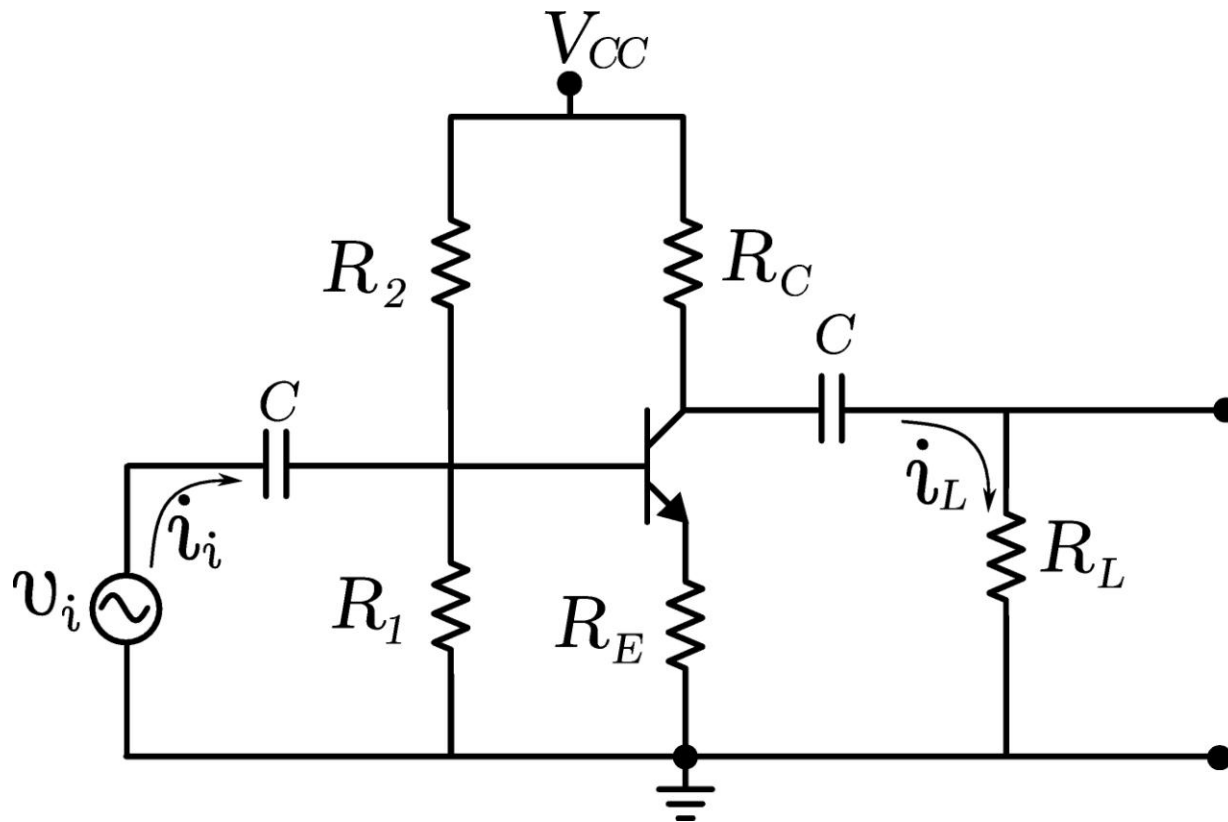
$$\text{Como : } A_V = A_i \frac{R_L}{Z_i}$$

$$A_P = A_i \frac{R_L}{Z_i} A_i = A_i^2 \frac{R_L}{Z_i}$$

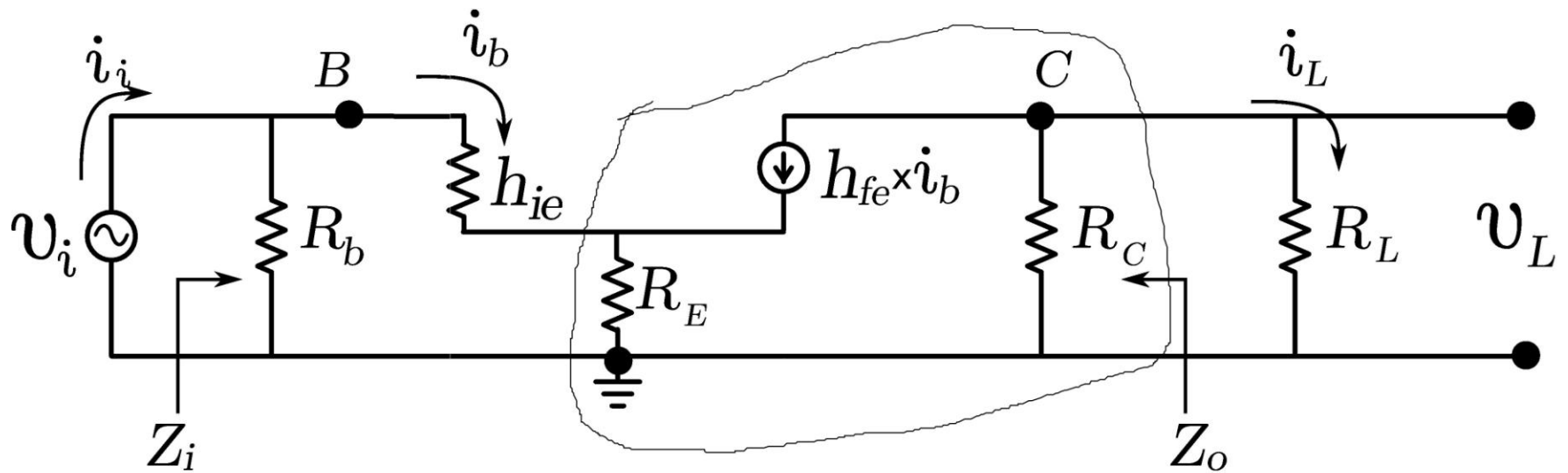
$$\text{Como : } A_i = A_V \frac{Z_i}{R_L}$$

$$A_P = A_V A_V \frac{Z_i}{R_L} = A_V^2 \frac{Z_i}{R_L}$$

# Etapa Amplificadora E.C sin capacitor de desacople. Reflexión de impedancia.

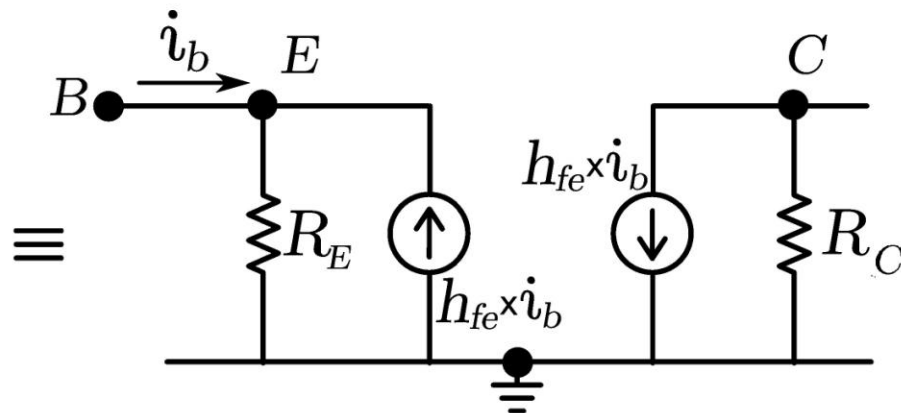
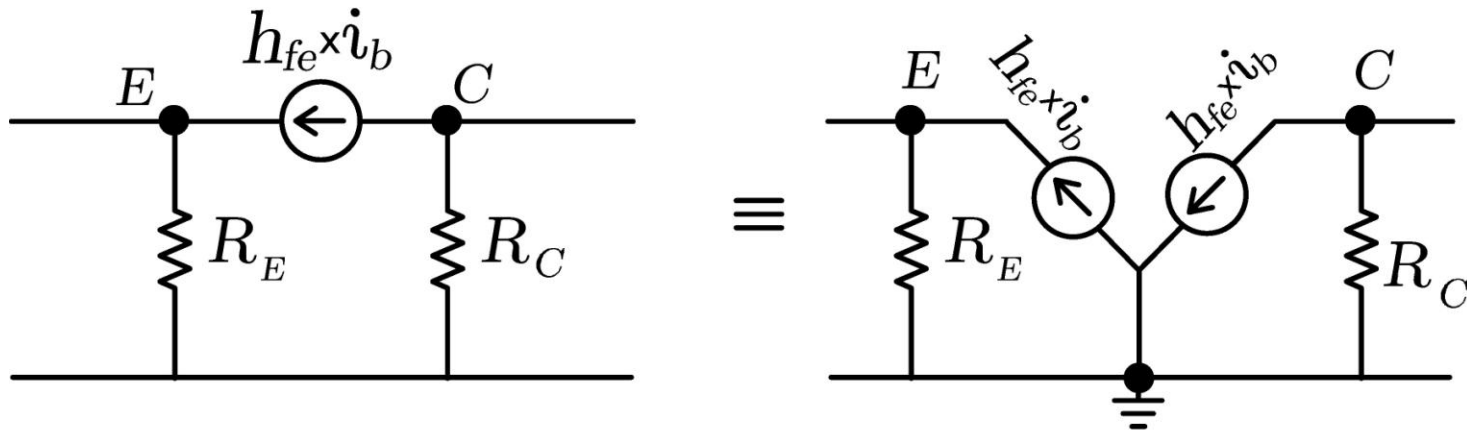


# Circuito equivalente para señal débil.





# Desdoblamos la fuente de corriente



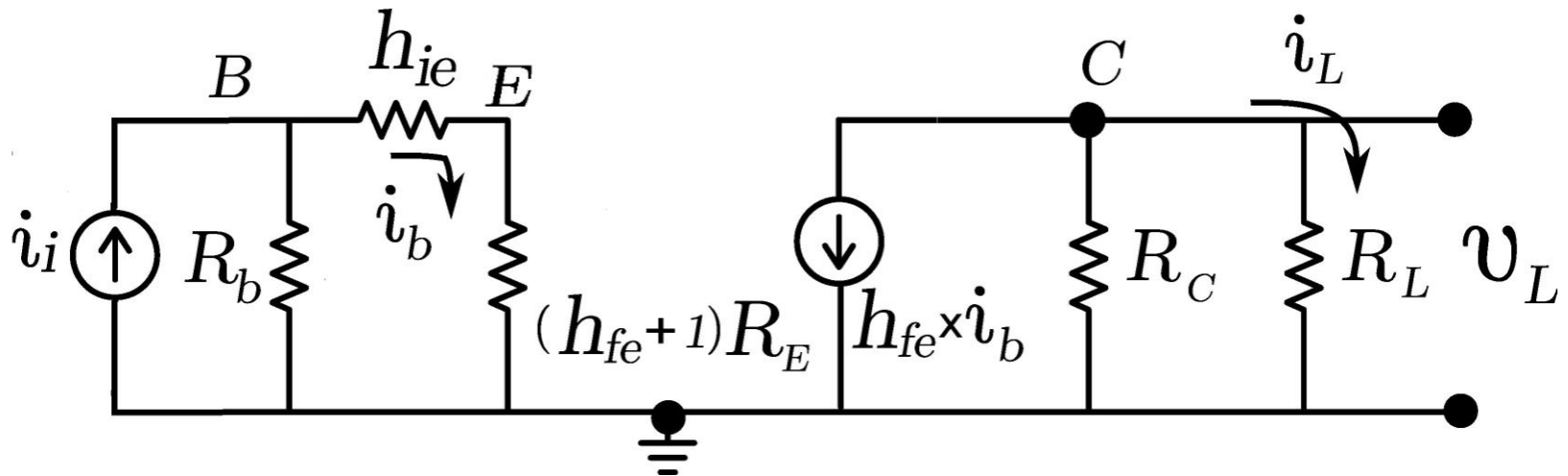
$$\begin{aligned}
 v_e &= (i_b + h_{fe} i_b) R_E \\
 &= i_b (h_{fe} + 1) R_E \\
 &= i_b \left[ R_E (h_{fe} + 1) \right]
 \end{aligned}$$

# Circuito equivalente para señal debil con $R_E$ reflejada a la base

*La combinacion de  $R_E$  en // con  $h_{fe}i_b$  es*

*reemplazada por la resistencia reflejada  $(h_{fe} + 1)R_E$*

$$\begin{aligned}v_e &= (i_b + h_{fe}i_b)R_E \\&= i_b(h_{fe} + 1)R_E \\&= i_b[R_E(h_{fe} + 1)]\end{aligned}$$



# Calculo de impedancias y ganancias

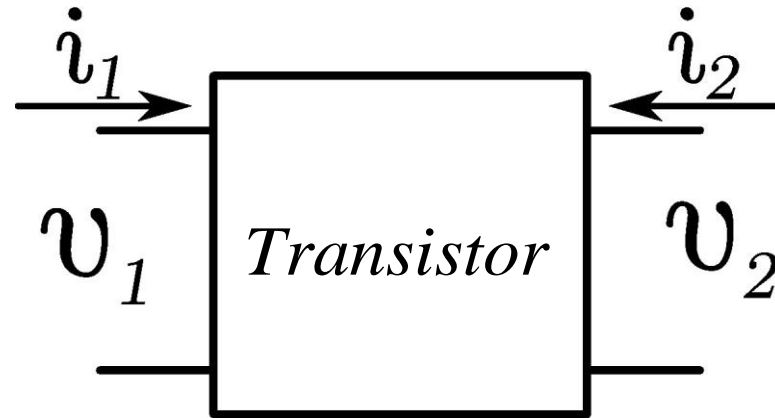
$$Z_i = R_b // [h_{ie} + R_e(h_{fe} + 1)] \quad \uparrow$$

$$Z_o = R_C \quad =$$

$$A_i = -h_{fe} \frac{R_C}{R_C + R_L} \frac{R_b}{R_b + h_{ie} + R_e(h_{fe} + 1)} \quad \downarrow$$

$$A_V = A_i \frac{R_L}{Z_i} \quad \downarrow \downarrow$$

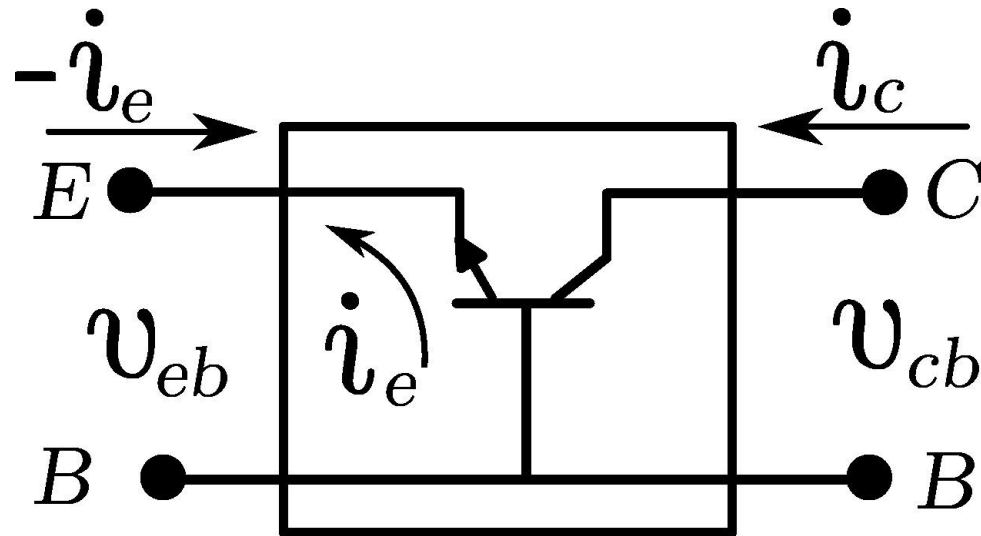
# Parámetros Internos para Base Común.



$$v_i = h_i i_1 + h_r v_2$$

$$i_2 = h_f i_1 + h_o v_2$$

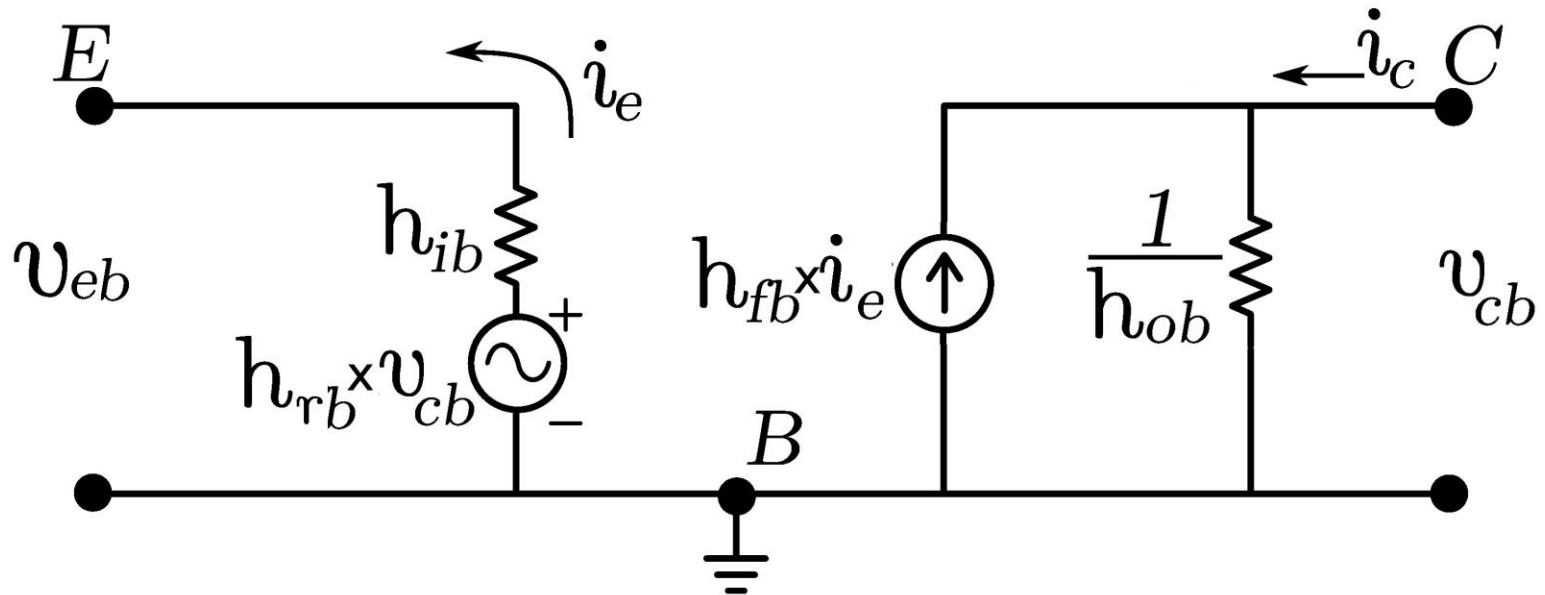
# Parámetros Internos para Base Común (Cont.)



$$v_{eb} = h_{ib}(-i_e) + h_{rb}v_{cb}$$

$$i_c = h_{fb}(-i_e) + h_{ob}v_{cb}$$

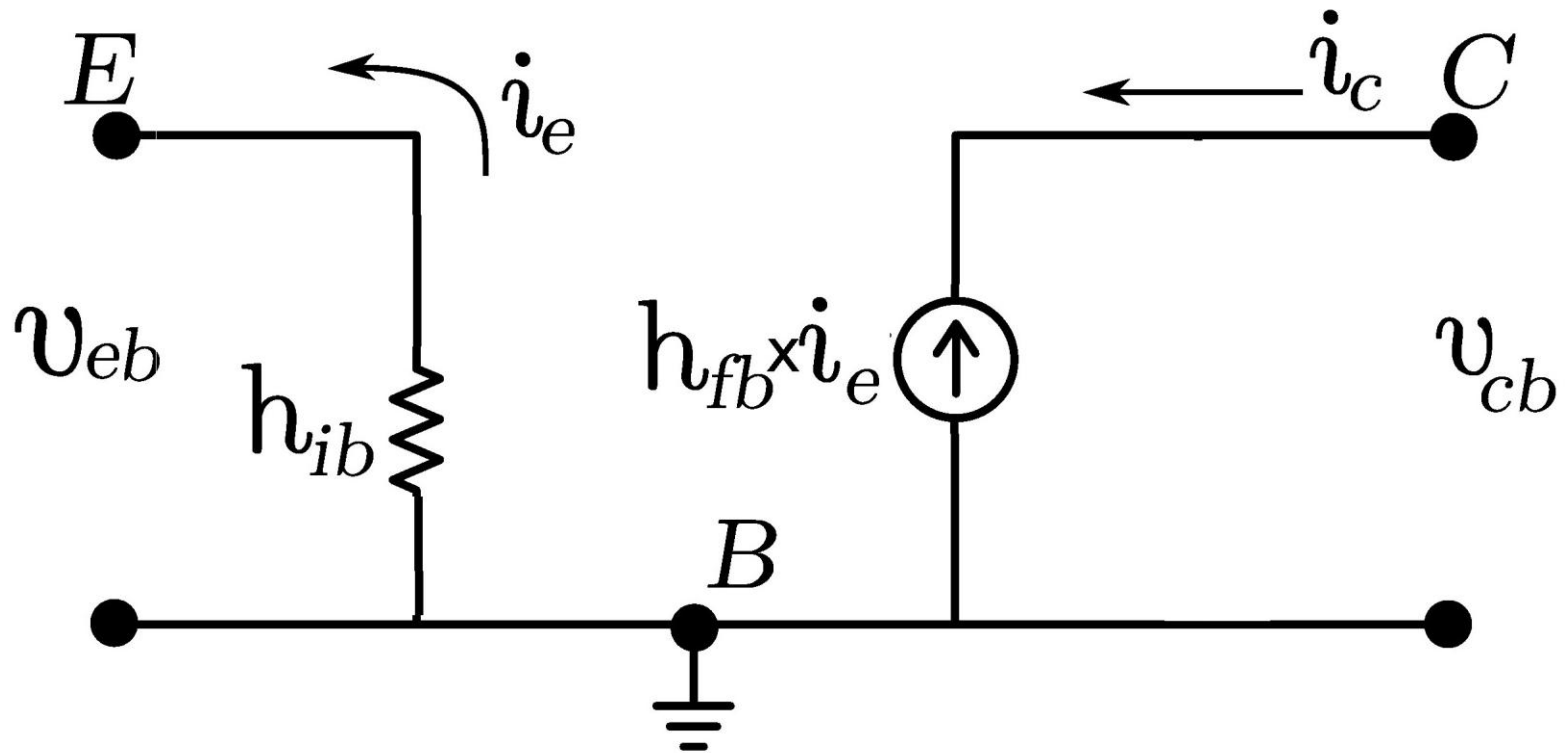
# Circuito equivalente completo.



$$h_{rb} \rightarrow 0 \Rightarrow h_{rb} v_{cb} \rightarrow 0$$

$$h_{ob} \rightarrow 0 \Rightarrow \frac{1}{h_{ob}} \left( \begin{array}{l} \text{da un valor muy alto} \\ \text{se puede despreciar.} \end{array} \right)$$

Circuito equivalente simplificado.



# Definición de los parámetros híbridos.

$$v_{eb} = h_{ib}(-i_e) + h_{rb}v_{cb}$$

$$i_c = h_{fb}(-i_e) + h_{ob}v_{cb}$$

$$h_{ib} = \left. \frac{v_{eb}}{-i_e} \right|_{v_{cb}=0}$$

$$h_{fb} = \left. \frac{i_c}{-i_e} \right|_{v_{cb}=0}$$

$$h_{rb} = \left. \frac{v_{eb}}{v_{cb}} \right|_{i_e=0}$$

$$h_{ob} = \left. \frac{i_c}{v_{cb}} \right|_{i_e=0}$$

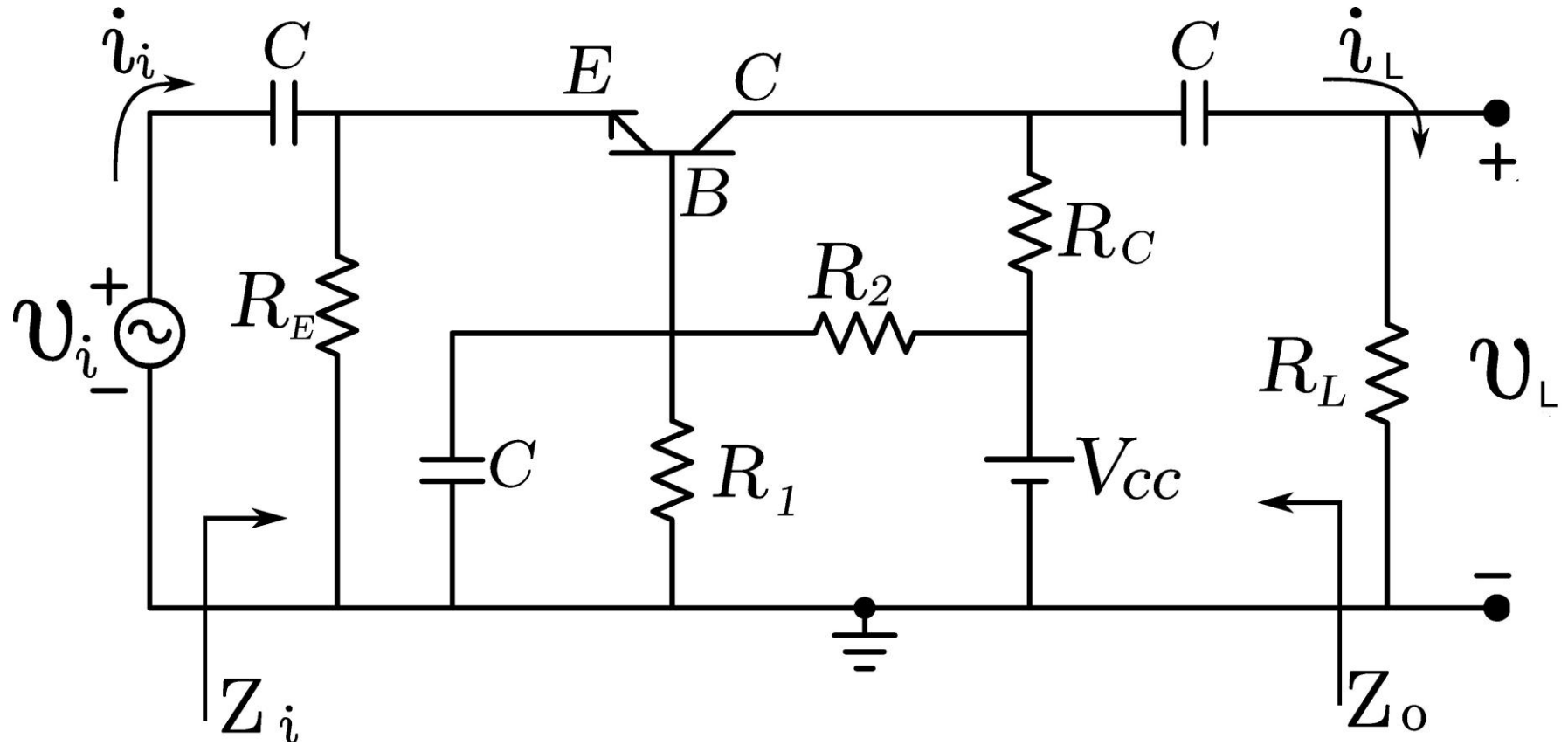


# Relación de los parámetros híbridos de B.C y E.C

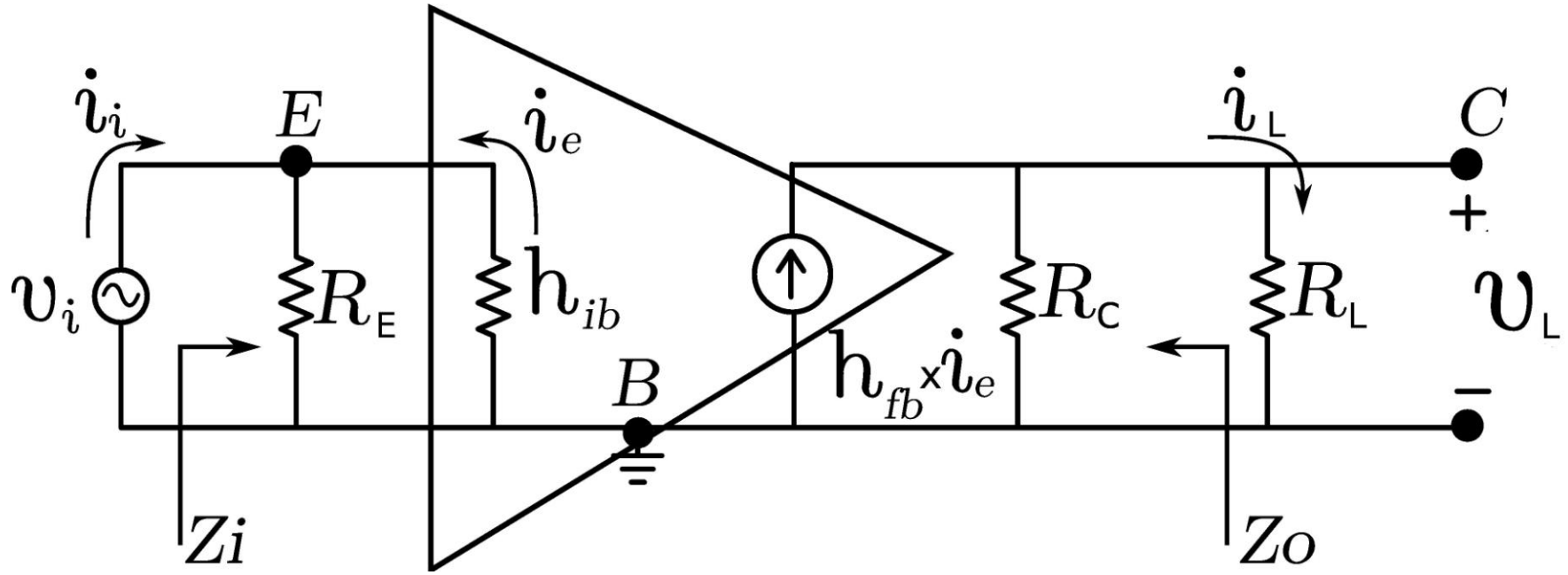
$$h_{ib} = \frac{v_{eb}}{-i_e} = \frac{-i_b h_{ie}}{-i_e} = \frac{-\beta h_{ie}}{-\beta (h_{fe} + 1)} = \frac{h_{ie}}{(h_{fe} + 1)}$$

$$h_{fb} = \frac{i_c}{-i_e} = \frac{\beta h_{fe}}{-\beta (h_{fe} + 1)} = -\frac{h_{fe}}{(h_{fe} + 1)} \cong -1$$

# Etapa Amplificadora Base Común



# Etapa Amplificadora Base Común (Cont.)



$$h_{ib} = \frac{h_{ie}}{h_{fe} + 1} = \frac{25mV}{I_{CQ}} \frac{\beta_{fe}}{\beta_{fe} + 1} \approx \frac{25mV}{I_{CQ}}$$

$$Z_i = R_E \parallel h_{ib}$$

$$Z_o = R_C$$

# Cálculo de la Ganancia de Corriente (Ai).

$$A_i = \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L}{i_e} \frac{i_e}{i_i}$$

$$i_L = h_{fb} i_e \frac{R_C \cancel{R_L}}{R_C + R_L} \frac{1}{\cancel{R_L}} \Rightarrow \frac{i_L}{i_e} = h_{fb} \frac{R_C}{R_C + R_L}$$

$$i_e = -i_i \frac{R_E \cancel{h_{ib}}}{R_E + h_{ib}} \frac{1}{\cancel{h_{ib}}} \Rightarrow \frac{i_e}{i_i} = -\frac{R_E}{R_E + h_{ib}}$$

# Cálculo de la Ganancia de Corriente (Ai)(Cont.).

$$A_i = -h_{fb} \frac{R_C}{R_C + R_L} \times \frac{R_e}{R_e + h_{ib}}$$

$$A_i = -(-1) \frac{R_C}{R_C + R_L} \times \frac{R_e}{R_e + h_{ib}}$$

$$A_i = \frac{R_C}{R_C + R_L} \times \frac{R_e}{R_e + h_{ib}} < 1$$

# Cálculo de la Ganancia de Tensión ( $A_v$ ).

$$A_v = \frac{v_L}{v_i} = \frac{i_L R_L}{i_i Z_i} = A_i \frac{R_L}{Z_i} = -h_{fb} \frac{R_C}{R_C + R_L} \times \frac{R_e}{R_e + h_{ib}} \times \frac{R_L}{\frac{R_e h_{ib}}{R_e + h_{ib}}}$$

$$A_v = \frac{R_C // R_L}{h_{ib}}$$