

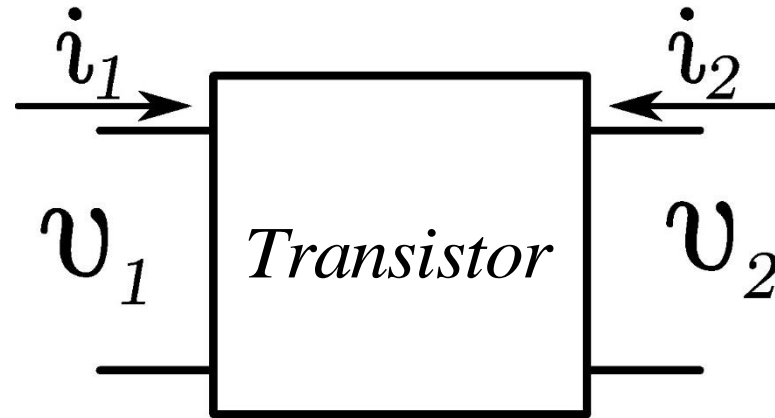
# ELECTRONICA APLICADA I

Profesor Titular Dr Ing. Guillermo Riva

Profesor Adjunto Ing Martin Guido

- Parámetro internos general para transistor bipolar.
- Modelo completo base común.
- Modelo simplificado base común.
- Definición de parámetros híbridos base común.
- Relación entre parámetro híbridos base común y emisor común.
- Etapa amplificadora base común.
- Circuito equivalente amplificador base común.
- Ganancia de corriente y ganancia de tensión.
- Ejemplo amplificador base común.
- Etapa amplificadora Colector común.
- Circuito equivalente para pequeña señal. Reflejando el emisor hacia la base.
- Circuito equivalente para pequeña señal. Reflejando la base hacia el emisor.
- Ganancia de tensión, ganancia de corriente y ganancia de potencia.
- Tabla comparativa.
- Ejemplo amplificador colector común.

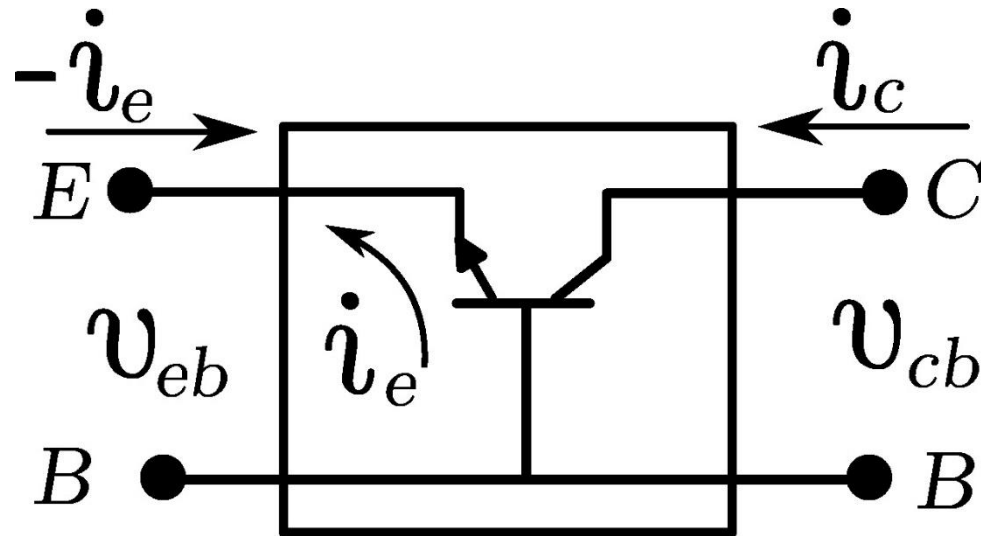
# Parámetros Internos general para un transistor bipolar.



$$v_1 = h_i i_1 + h_r v_2$$

$$i_2 = h_f i_1 + h_o v_2$$

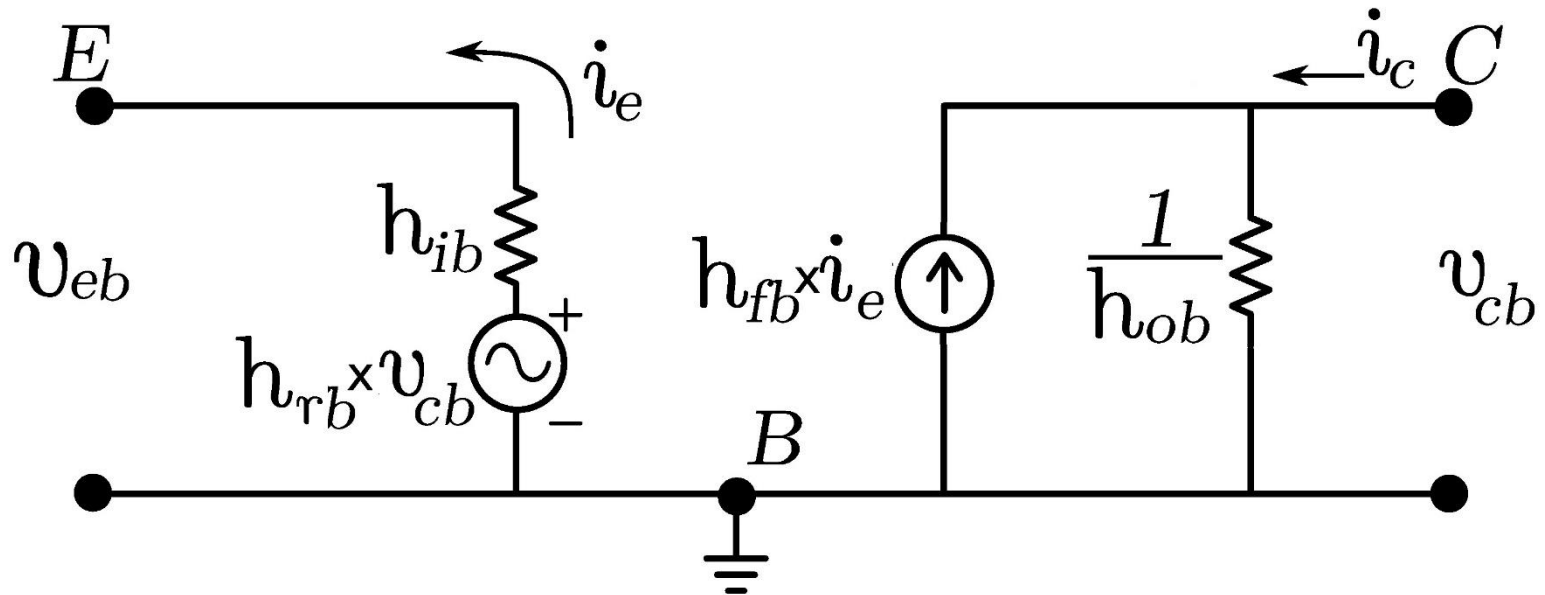
# Parámetros Internos para Base Común.



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

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

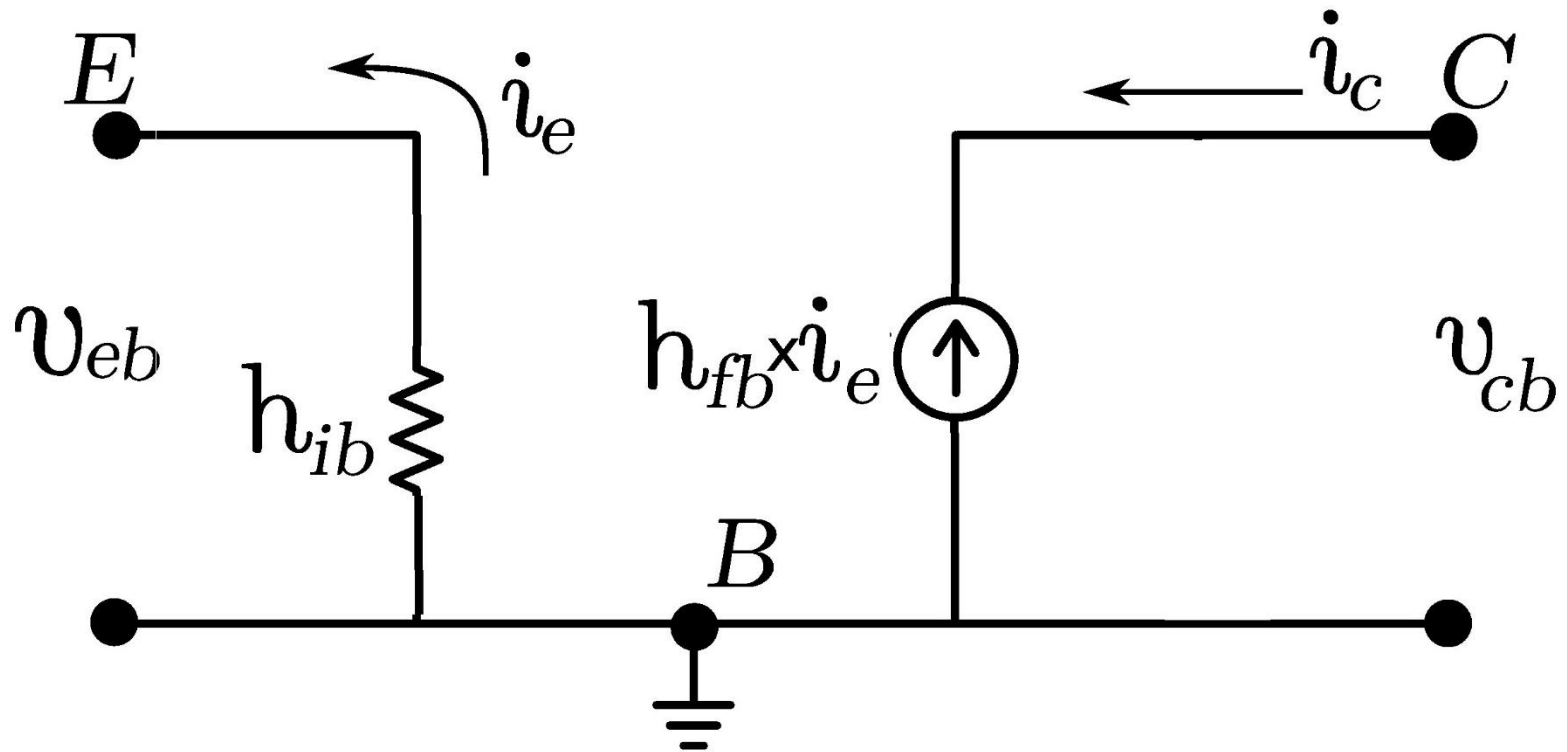
# Modelo completo.



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

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

# Modelo 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 entre parámetros híbridos de base común y emisor común.

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

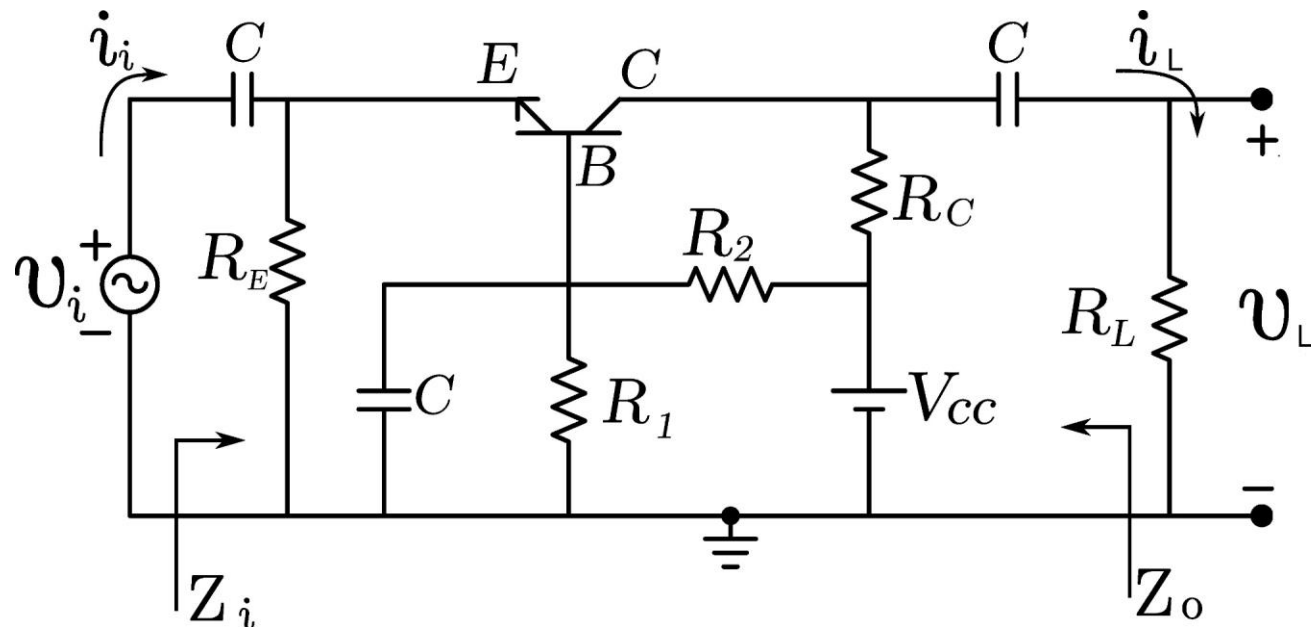
$$h_{fb} = \frac{i_c}{-i_e} = \frac{\beta_b h_{fe}}{-\beta_b (h_{fe} + 1)} = -\frac{h_{fe}}{(h_{fe} + 1)} \cong -1$$

# Etapa Amplificadora Base Común

*Características importantes*

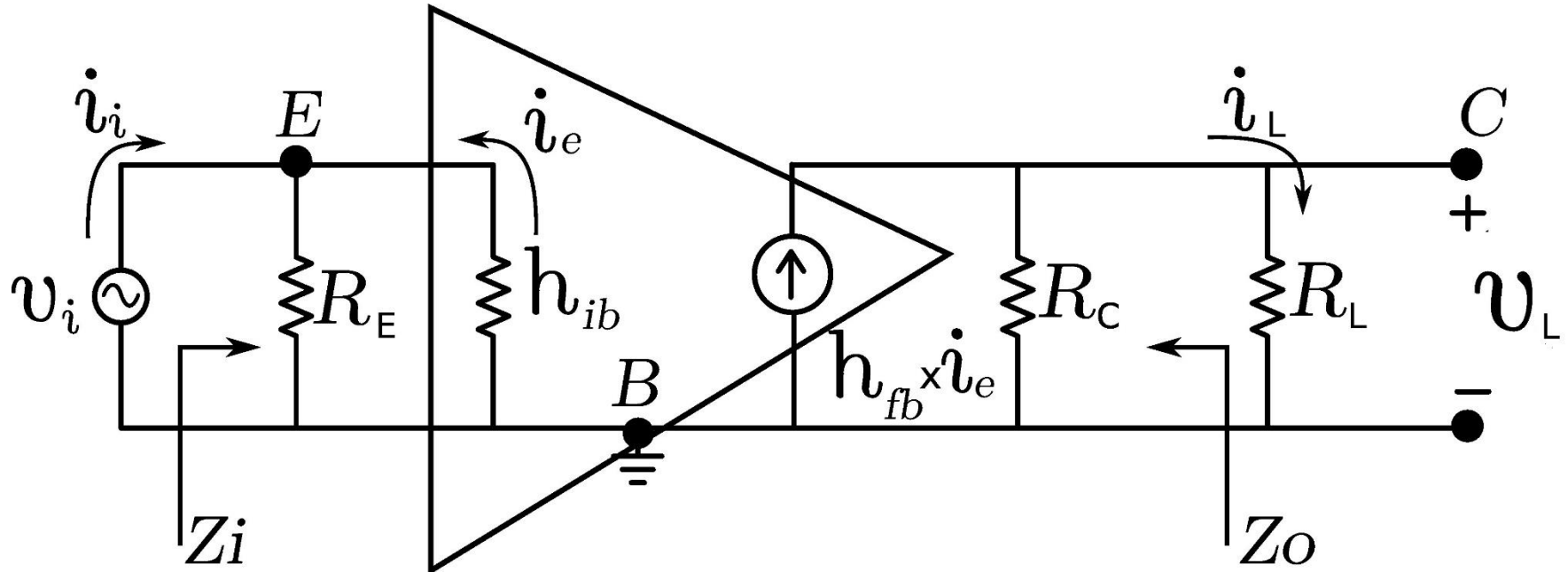
$Z_i$  : *Muy baja*       $A_i$  : *Atenua* ( $< 1$ )

$Z_o$  : *Media*       $A_v$  : *Alta*





# Circuito equivalente amplificador Base Común.



$$h_{ib} = \frac{h_{ie}}{h_{fe} + 1} = \beta'_{fe} \times \frac{25mV}{I_{CQ}} \times \frac{1}{\beta'_{fe}} = \frac{25mV}{I_{CQ}}$$

$$Z_i = R_E // h_{ib}$$

$$Z_o = R_C$$

# Ganancia de Corriente.

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

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

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

# Ganancia de Corriente.

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

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

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

# Ganancia de Tensión.

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

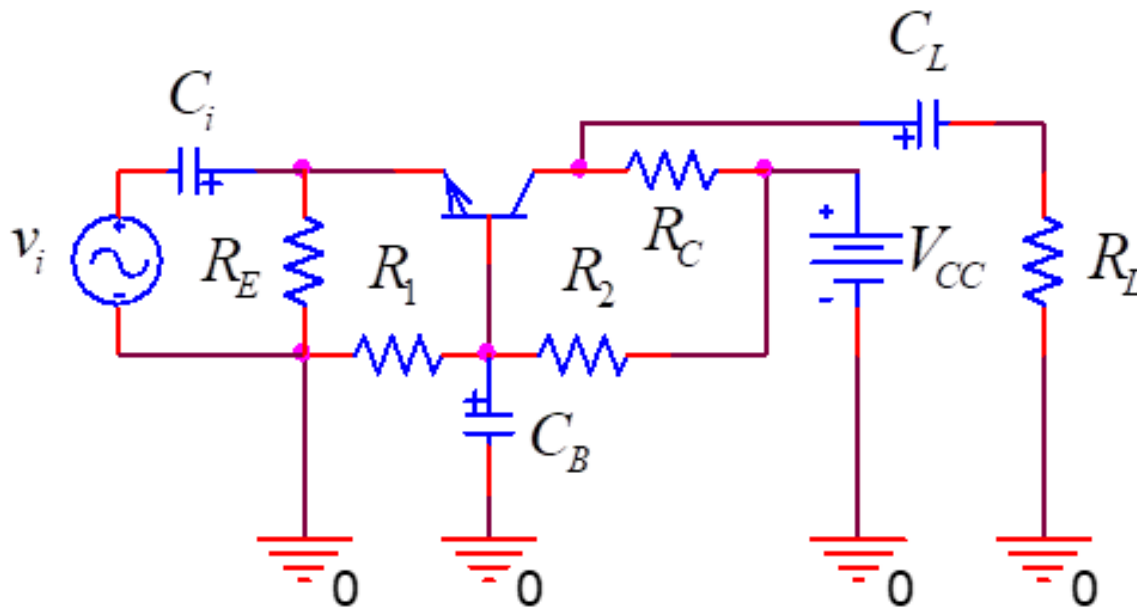
$$A_V = \frac{R_C // R_L}{h_{ib}}$$

# Ejemplo Base Común.

*En el siguiente circuito amplificador base común calcular :*

*a)  $I_{CQ}$  y  $V_{CBQ}$ .*

*b)  $Z_i$ ,  $Z_o$ ,  $A_i$  y  $A_v$ .*



*Datos :*

$$R_1 = 8.2 \text{ K}\Omega$$

$$R_2 = 47 \text{ K}\Omega$$

$$R_E = 180 \text{ }\Omega$$

$$R_C = 1.2 \text{ K}\Omega$$

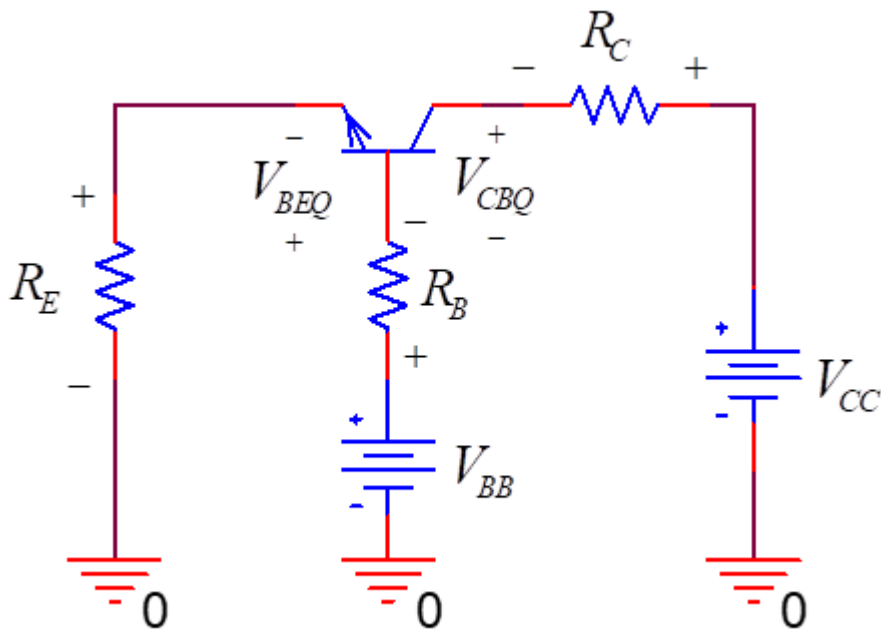
$$R_L = 1 \text{ K}\Omega$$

$$V_{CC} = 15 \text{ V}$$

$$\beta = h_{fe} = 360$$

# Ejemplo Base Común.

a) Para corriente continua tenemos.



Aplicando Thevenin.

$$V_{BB} = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} \times R_1 = \frac{15}{8.2K + 47K} \times 8.2K = 2.23 \text{ V}$$

$$R_B = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{8.2K \times 47k}{8.2K + 47K} = 6.981 \text{ K}\Omega$$

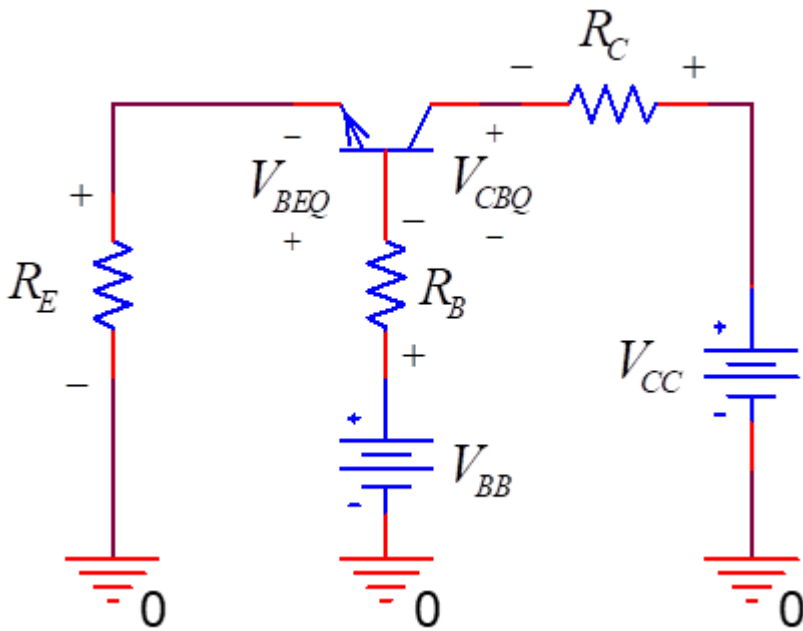
Luego ley Kirchof en la malla de entrada

$$V_{BB} - I_{BQ} R_B - V_{BEQ} - I_{CQ} R_E = 0$$

$$I_{CQ} = \frac{\frac{I_{CQ}}{\beta}}{R_E + \frac{R_B}{\beta}} = \frac{2.23 - 0.7}{180 + \frac{6981}{360}} = 7.67 \text{ mA}$$

# Ejemplo Base Común.

a) Para corriente continua tenemos.



Aplicando ley Kirchof en la malla de salida

$$V_{CC} - I_{CQ}R_C - V_{CBQ} + I_{BQ}R_B - V_{BB} = 0$$

$$\frac{I_{CQ}}{\beta}$$

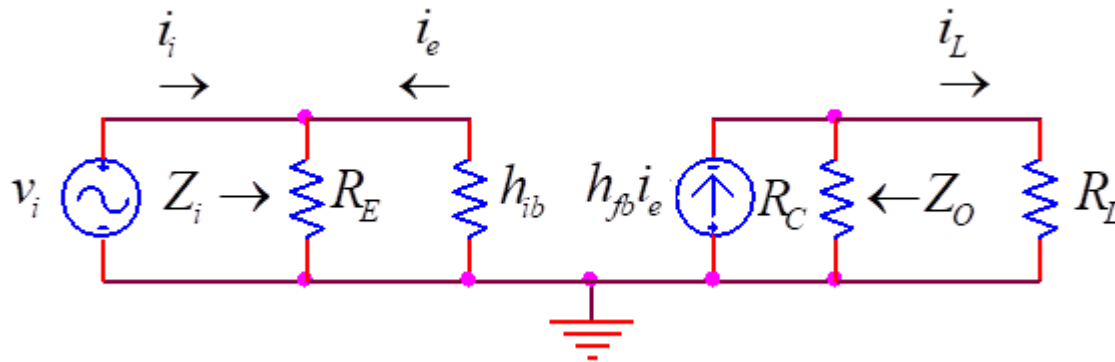
$$V_{CBQ} = V_{CC} - V_{BB} - I_{CQ} \left( R_C - \frac{R_B}{\beta} \right)$$

$$V_{CBQ} = 15 - 2.23 - 7.67 \times 10^{-3} \left( 1200 - \frac{6981}{360} \right)$$

$$V_{CBQ} = 3.71 \text{ V}$$

# Ejemplo Base Común.

a) Circuito equivalente para C.A y cálculo de  $Z_i$ ,  $Z_o$ ,  $A_i$  y  $A_v$ .



$$h_{ib} = \frac{25mV}{I_{CQ}} = \frac{25 \text{ mV}}{7.67 \text{ mA}} = 3.26 \Omega$$

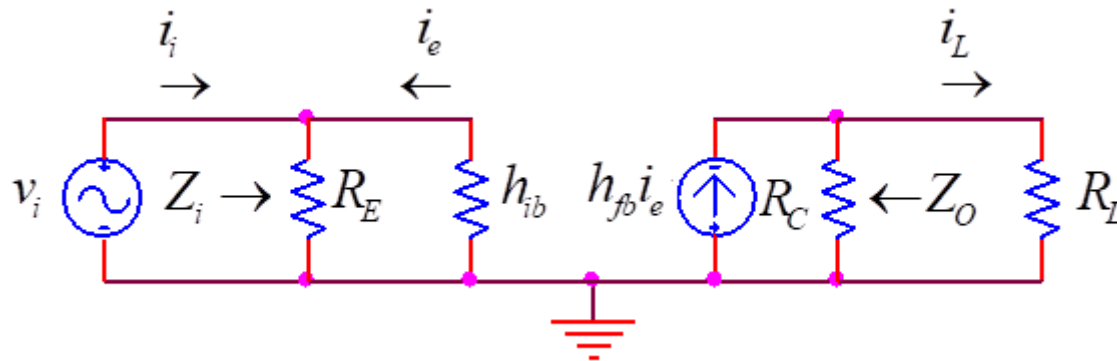
$$Z_i = R_E // h_{ib} = \frac{180 \times 3.26}{180 + 3.26} = 3.20 \Omega$$

$$Z_o = R_C = 1200 \Omega$$



# Ejemplo Base Común.

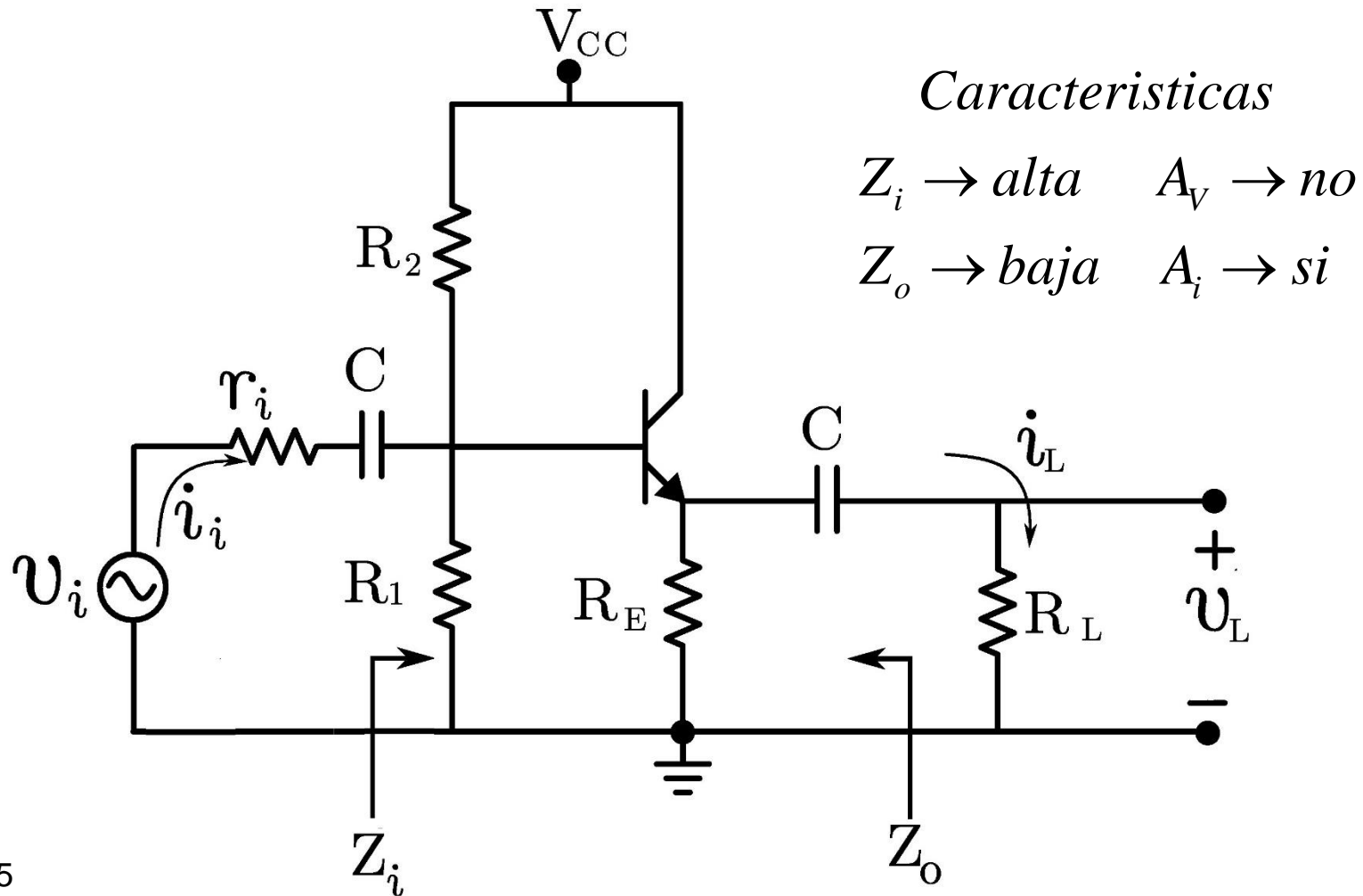
a) Circuito equivalente para C.A y cálculo de  $Z_i$ ,  $Z_o$ ,  $A_i$  y  $A_v$ .



$$A_i = \frac{R_C}{R_C + R_L} \times \frac{R_E}{R_E + h_{ib}} = \frac{1200}{1200 + 1000} \times \frac{180}{180 + 3.26} = 0.54$$

$$A_v = \frac{v_L}{v_i} = \frac{i_L \times R_L}{i_i \times Z_i} = A_i \times \frac{R_L}{Z_i} = 0.54 \times \frac{1000}{3.20} = 168.75$$

# Etapa Amplificadora Colector Común



# Reflexión de impedancia.

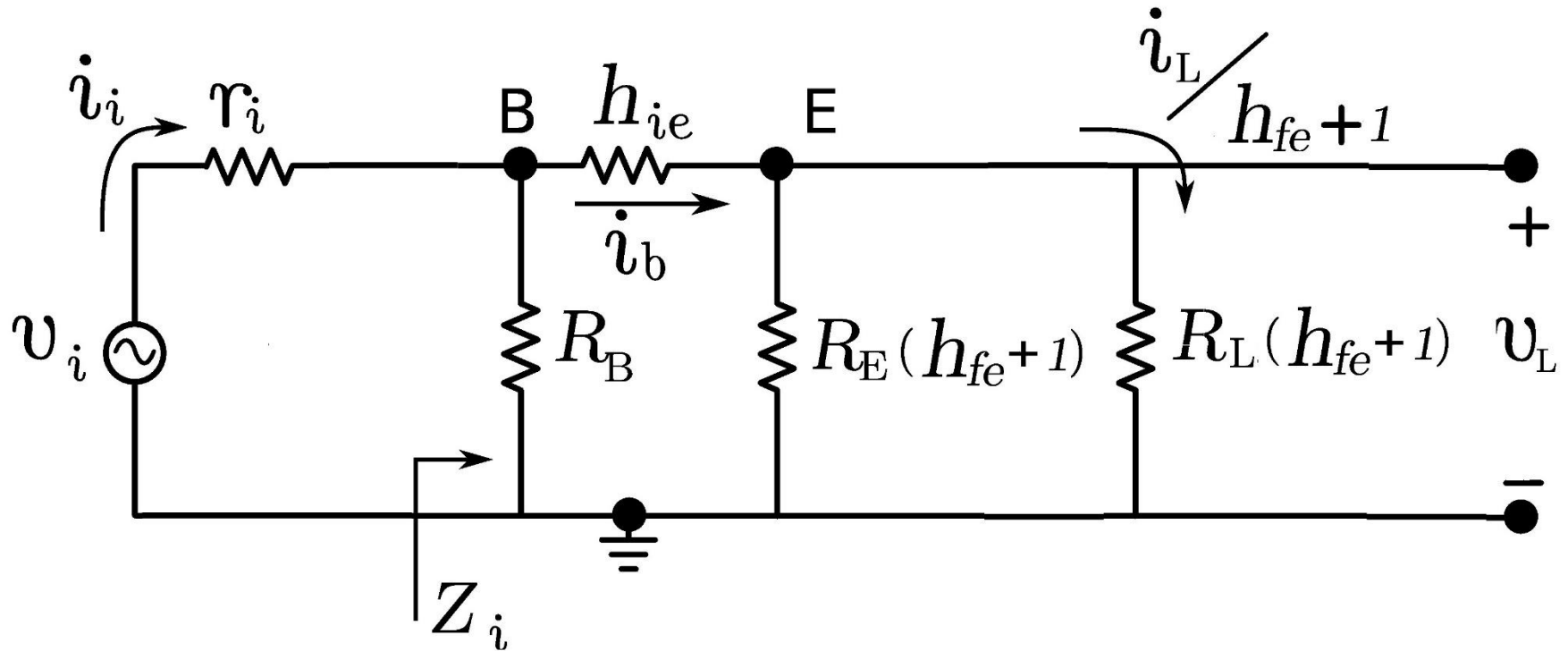
*La reflexion de impedancias se aplica en transistores bipolares entre los terminales de Base y Emisor.*

*Caso a : Cuando observamos el circuito desde la base las impedancias que hay en el emisor se reflejan multiplicadas por  $(h_{fe} + 1)$  y las corrientes divididas por  $(h_{fe} + 1)$ .*

*Caso b : Cuando observamos el circuito desde el emisor las impedancias que hay en la base se reflejan divididas por  $(h_{fe} + 1)$  y las corrientes multiplicadas por  $(h_{fe} + 1)$ . En ambos casos las tensiones se conservan.*

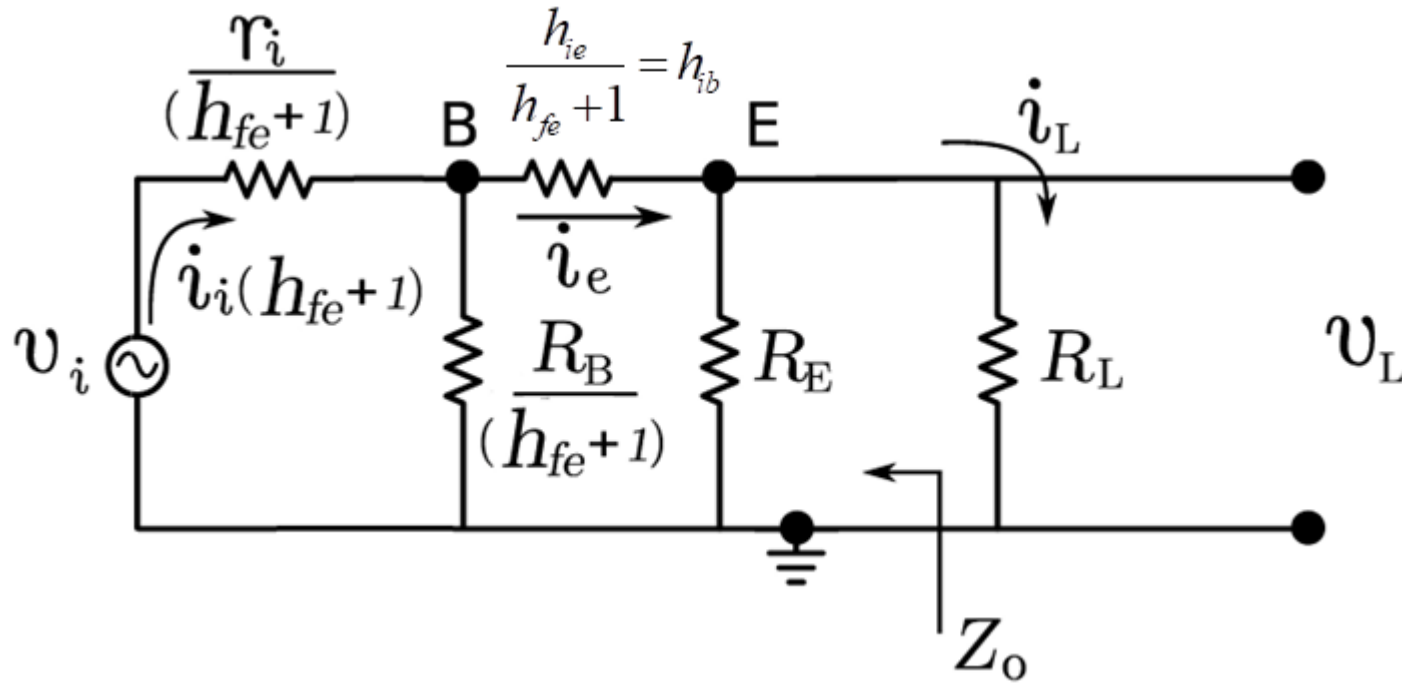
Circuito equivalente para pequeña señal.

Reflejando el emisor hacia la base.



$$Z_i = R_b // \left[ h_{ie} + (R_E // R_L)(h_{fe} + 1) \right]$$

Circuito equivalente para pequeña señal.  
Reflejando la base hacia el emisor.



$$Z_o = R_E // \left[ h_{ib} + \frac{(r_i // R_b)}{h_{fe} + 1} \right]$$

$$\text{Si } r_i = 0 \Rightarrow Z_o = R_E // h_{ib}$$

# Ganancia de tensión.

$$A_V = \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{i_e} \times \frac{i_e}{i_i} \times \frac{i_i}{v_i}$$

$$v_L = i_e (R_E // R_L) \Rightarrow \frac{v_L}{i_e} = R_E // R_L$$

$$i_e = \frac{i_i (h_{fe} + 1) \left[ \frac{R_B}{h_{fe} + 1} // (h_{ib} + R_E // R_L) \right]}{h_{ib} + R_E // R_L}$$

$$\frac{i_e}{i_i} = (h_{fe} + 1) \times \frac{\frac{R_B}{h_{fe} + 1} \times (h_{ib} + R_E // R_L)}{\frac{R_B}{h_{fe} + 1} + (h_{ib} + R_E // R_L)} \times \frac{1}{h_{ib} + R_E // R_L}$$

$$\frac{i_e}{i_i} = \frac{R_B}{\frac{R_B}{h_{fe} + 1} + (h_{ib} + R_E // R_L)}$$

# Ganancia de tensión $A_v$ .

$$i_i (h_{fe} + 1) = \frac{v_i}{z'}$$

$$\frac{i_i}{v_i} = \frac{1}{(h_{fe} + 1)z'} = \frac{1}{(h_{fe} + 1) \left\{ \frac{r_i}{h_{fe} + 1} + \left[ \frac{R_B}{h_{fe} + 1} // (h_{ib} + R_E // R_L) \right] \right\}}$$

$$A_v = (R_E // R_L) \times \frac{R_B}{\frac{R_B}{h_{fe} + 1} + (h_{ib} + R_E // R_L)} \times \frac{1}{\frac{r_i}{h_{fe} + 1} + \frac{\frac{R_B}{h_{fe} + 1} \times (h_{ib} + R_E // R_L)}{\frac{R_B}{h_{fe} + 1} + (h_{ib} + R_E // R_L)}} \times \frac{1}{h_{fe} + 1}$$

Si  $r_i = 0$

$$A_v = (R_E // R_L) \times \frac{R_B}{\frac{R_B}{h_{fe} + 1} + (h_{ib} + R_E // R_L)} \times \frac{1}{\frac{\frac{R_B}{h_{fe} + 1} \times (h_{ib} + R_E // R_L)}{\frac{R_B}{h_{fe} + 1} + (h_{ib} + R_E // R_L)}} \times \frac{1}{h_{fe} + 1}$$

*Simplificando queda :*

$$A_v = \frac{R_E // R_L}{h_{ib} + R_E // R_L} < 1 \text{ Siempre}$$

# Ganancia de Corriente Ai.

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

$$i_L = i_e \times \frac{R_E \cancel{R_L}}{R_E + R_L} \times \frac{1}{\cancel{R_L}} \Rightarrow \frac{i_L}{i_e} = \frac{R_E}{R_E + R_L}$$

$$i_e = i_i \left( h_{fe} + 1 \right) \times \frac{\frac{R_B}{h_{fe} + 1} \times (h_{ib} + R_E // R_L)}{\frac{R_B}{h_{fe} + 1} + h_{ib} + R_E // R_L} \times \frac{1}{h_{ib} + R_E // R_L}$$

$$\frac{i_e}{i_i} = \frac{R_B}{\frac{R_B}{h_{fe} + 1} + h_{ib} + R_E // R_L}$$

$$A_i = \frac{R_E}{R_E + R_L} \times \frac{R_B}{\frac{R_B}{h_{fe} + 1} + h_{ib} + R_E // R_L}$$



# Ganancia de Potencia.

$$A_P = A_V A_i$$

$$A_P = \frac{R_E // R_L}{h_{ib} + R_E // R_L} \times \frac{R_E}{R_E + R_L} \times \frac{R_B}{\frac{R_B}{h_{fe} + 1} + h_{ib} + R_E // R_L}$$

# Tabla Comparativa

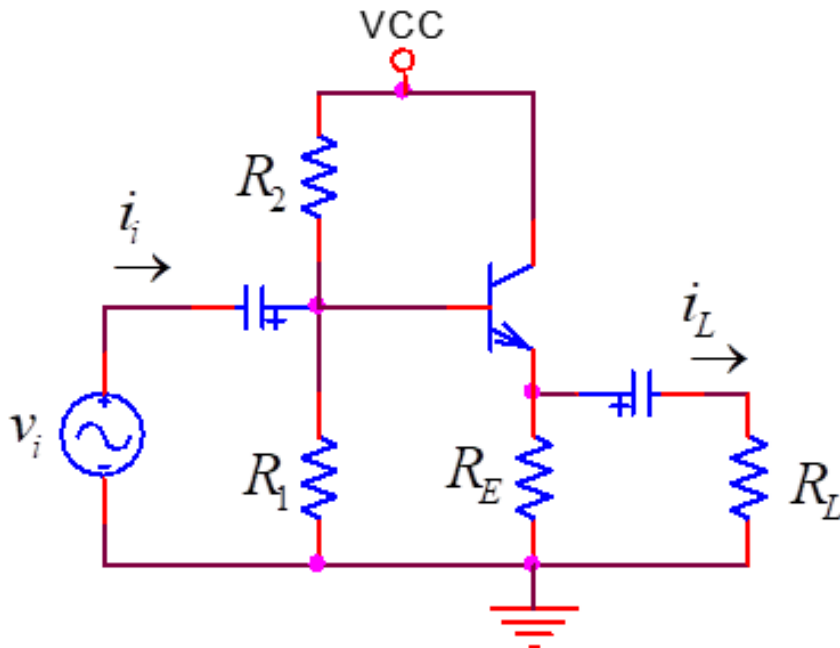
	<b>Emisor Común</b>	<b>Base Común</b>	<b>Colector Común</b>
$A_V$	<i>Alta</i>	<i>Alta(+)</i>	<i>Baja(<math>\approx 1</math>)</i>
$A_i$	<i>Alta</i>	<i>Atenua</i>	<i>Alta</i>
$Z_i$	<i>Media</i>	<i>Baja</i>	<i>Alta</i>
$Z_o$	<i>Media</i>	<i>Media</i>	<i>Baja</i>
<b>Inversión de Fase</b>	Si	No	No
<b>Aplicaciones</b>	Universal.	Amplificador de RF.	Amplificadores de Aislamiento.

# Ejemplo Colector Común.

*En el siguiente circuito amplificador colector común calcular :*

*a)  $I_{CQ}$  y  $V_{CEQ}$ .*

*b)  $Z_i$ ,  $Z_o$ ,  $A_i$  y  $A_v$ .*



*Datos :*

$$R_1 = 387 \text{ K}\Omega$$

$$R_2 = 62 \text{ K}\Omega$$

$$R_E = 1.5 \text{ K}\Omega$$

$$R_L = 1 \text{ K}\Omega$$

$$V_{CC} = 15 \text{ V}$$

$$\beta = h_{fe} = 360$$

# Ejemplo Colector Común.

a) Cálculo de  $I_{CQ}$  y  $V_{CEQ}$ .

*Aplicando Thevenin en la malla de entrada.*

$$V_{BB} = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} \times R_1 = \frac{15}{387K + 62K} \times 387K$$

$$V_{BB} = 12.93 \text{ V}$$

$$R_B = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{387K \times 62K}{387K + 62K} = 53.44 \text{ K}\Omega$$

*Luego ley Kirchhoff*

$$V_{BB} - I_{BQ}R_B - V_{BEQ} - I_{EQ}R_E = 0$$

$$I_{EQ} = \frac{V_{BB} - V_{BEQ}}{R_E + \frac{R_B}{\beta}} = \frac{12.93 - 0.7}{1500 + \frac{53440}{360}} = 7.42 \text{ mA}$$

*Aplicando ley Kirchhoff en la malla de salida.*

$$V_{CC} - I_{EQ}R_E - V_{CEQ} = 0$$

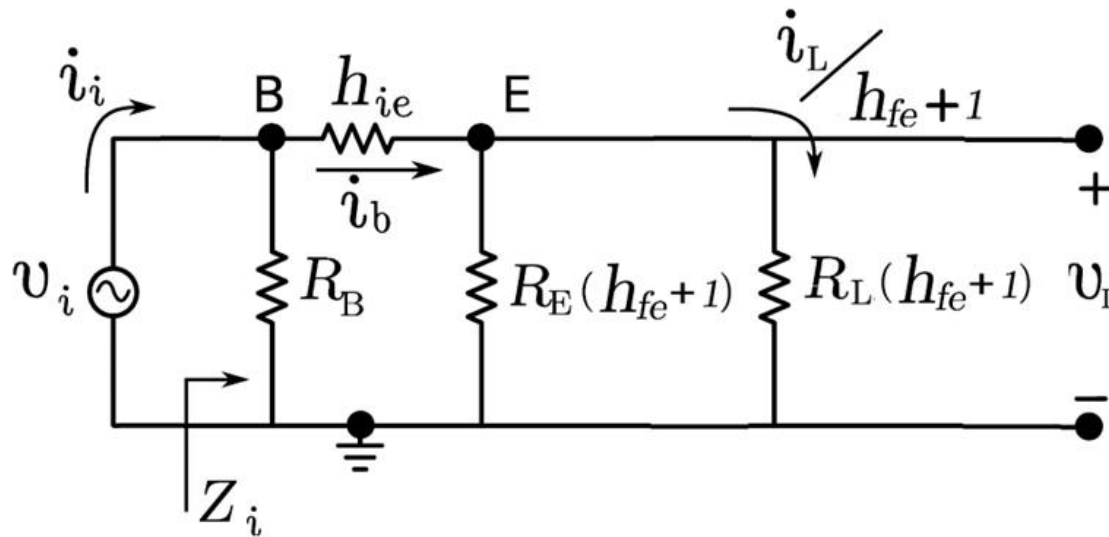
$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{EQ}R_E$$

$$V_{CEQ} = 15 - 7.42 \times 10^{-3} \times 1500$$

$$V_{CEQ} = 3.87 \text{ V}$$

# Ejemplo Colector Común.

b) Circuito equivalente observando desde la entrada para obtener  $Z_i$ .



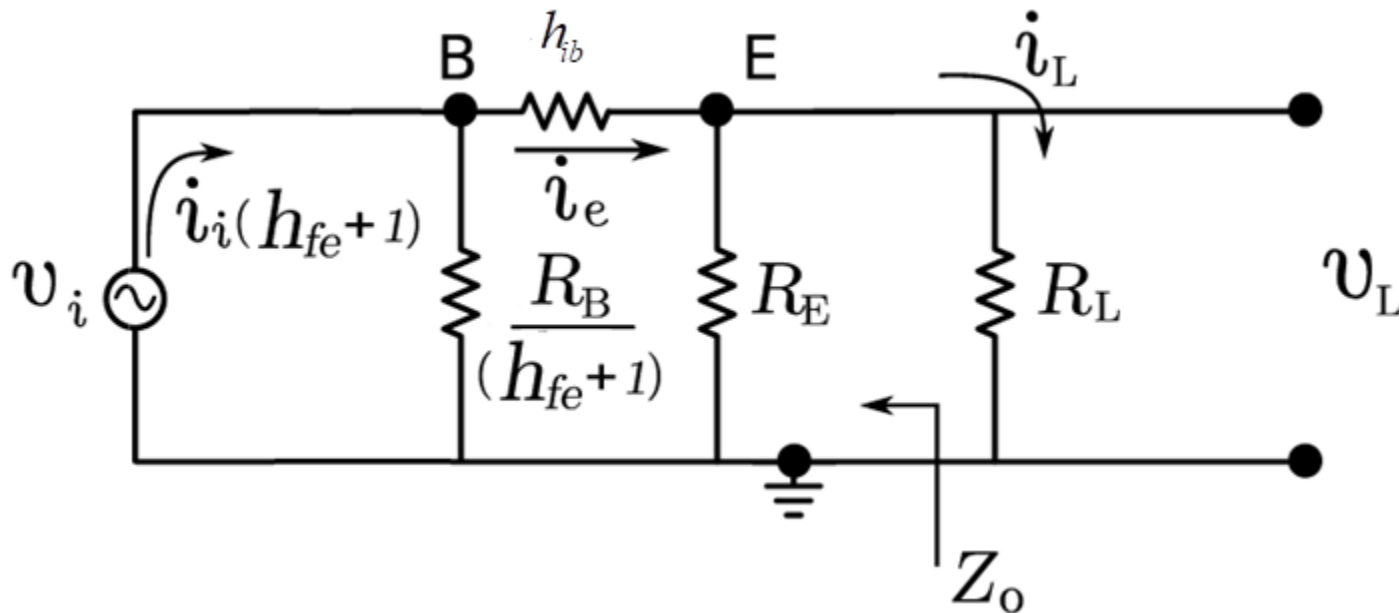
$$h_{ie} = h_{fe} \times \frac{25mV}{I_{EQ}} = 360 \times \frac{25mV}{7.42 \times 10^{-3}} = 1213 \, \Omega$$

$$Z_i = R_b // \left[ h_{ie} + (R_E // R_L)(h_{fe} + 1) \right]$$

$$Z_i = 53.44K // \left[ 1213 + (1500 // 1000)(360 + 1) \right] = 42912 \, \Omega$$

# Ejemplo Colector Común.

b) Circuito equivalente observando desde la salida para obtener  $Z_o$ .



$$h_{ib} = \frac{25mV}{I_{EQ}} = \frac{25 \text{ mV}}{7.42 \text{ mA}} = 3.37 \Omega$$

$$Z_o = R_E // h_{ib} = 1500 // 3.37 = 3.36 \Omega$$

# Ejemplo Colector Común.

b)  $A_i$  y  $A_v$ .

$$A_v = \frac{R_E // R_L}{h_{ib} + R_E // R_L} = \frac{1500 // 1000}{3.37 + 1500 // 1000} = 0.99$$

$$A_i = \frac{R_E}{R_E + R_L} \times \frac{R_B}{\frac{R_B}{h_{fe} + 1} + h_{ib} + R_E // R_L}$$

$$A_i = \frac{1500}{1500 + 1000} \times \frac{53440}{\frac{53440}{360 + 1} + 3.37 + 1500 // 1000} = 42.67$$

# Bibliografía

- **Circuitos Electrónicos Discretos e Integrados,**
  - Donald L. Schilling-Charles Belove.
- **Dispositivos Electrónicos,**
  - Thomas L. Floyd.
- **Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos,**
  - Robert L. Boylestad-Louis Nashelsky.
- **1100 Problemas de Electrónica Resueltos.**
  - Ing Alberto Muhana