

# ELECTRONICA APLICADA I

Profesor Titular Dr Ing. Guillermo Riva

Profesor Adjunto Ing. Martin Guido

## Amplificadores Multietapas

- **Amplificador de tres etapas emisor común.**  
Circuito electrónico y circuito equivalente para corriente alterna.  
Ganancia de corriente en corriente alterna.  
Impedancias de salida y entrada.
- **Amplificador colector común seguido de amplificador compuerta común.**  
Circuito equivalente reflejado a la base. Impedancia de entrada.  
Circuito equivalente reflejado en el drenador. Impedancia de salida.  
Ganancia de corriente, tensión y potencia.
- **Amplificador cascodo.**  
Diagrama en bloques.  
Circuito y análisis en corriente continua.  
Circuito equivalente y ganancia de corriente en alterna.
- **Amplificador Cascodo como desplazador de nivel de corriente continua.**  
Circuito y análisis en corriente continua.  
Circuito equivalente y ganancia de tensión en corriente alterna.

# Amplificadores Multietapas

## *Introducción*

*A veces con una sola etapa amplificadora no cubre las necesidades de diseño por lo que se recurre a configuraciones de mas de un transistor confiriendole alguna de las siguientes características :*

- *Mayor ganancia de tensión.*
- *Mayor ganancia de corriente.*
- *Mayor potencia de salida.*
- *Adaptación de impedancia ya sea de entrada o salida.*
- *Mejor respuesta en frecuencia.*

# Amplificadores Multietapas

## *Introducción*

*A estos circuitos se los puede clasificar en dos categorias de acuerdo a como se acoplan las etapas entre si.*

- *Acoplamiento directo llamados amplificadores de corriente continua.*

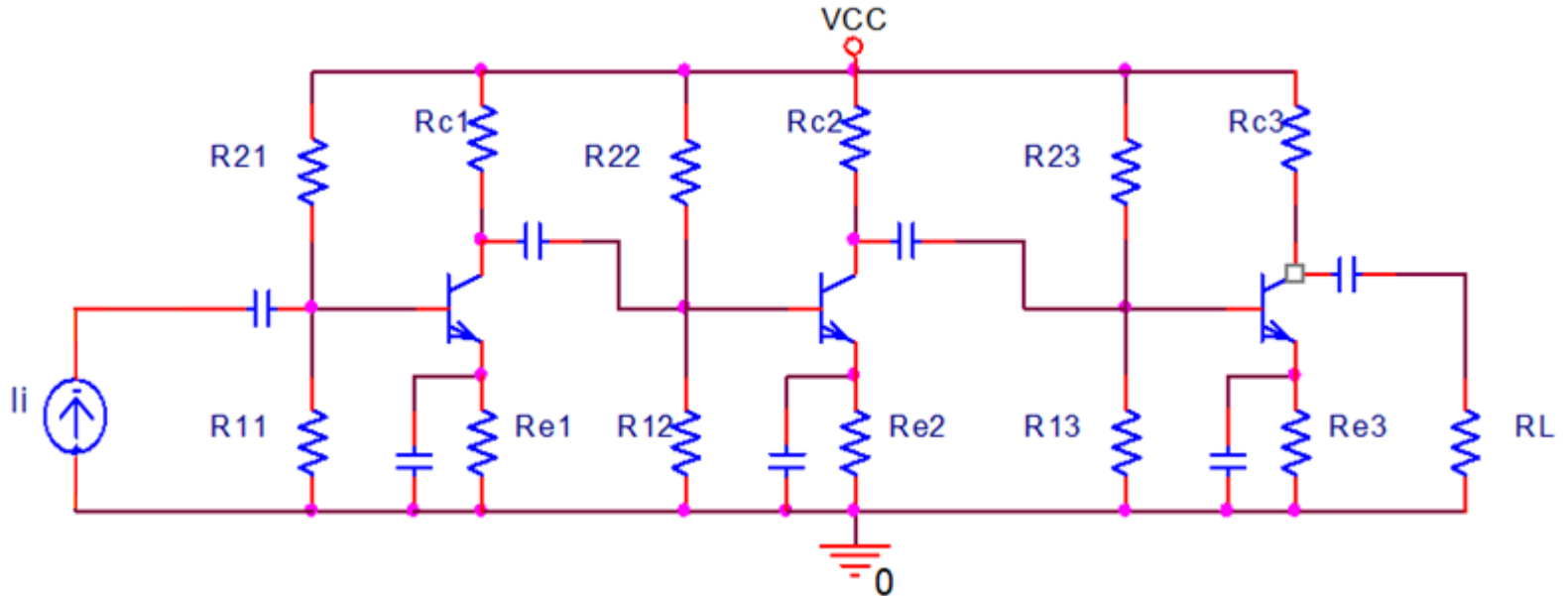
*Un inconveniente de este tipo de amplicador es que cualquier corrimiento en la polarización de la primer etapa nos puede llevar a la saturacion o a el corte de la última etapa.*

- *Acoplamiento mediante capacitores llamados amplificadores de corriente alterna.*

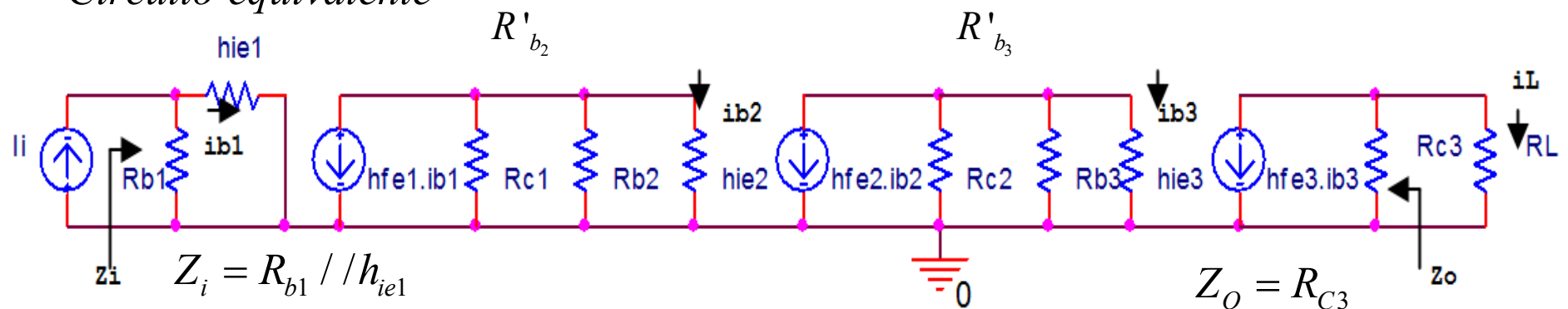
*En este último el limite inferior de la gama de frecuencia util del amplificador es del orden de algunos herzios.*

# Amplificador de tres etapas emisor común con acoplamiento mediante capacitor.

*Circuito*



*Circuito equivalente*



# Amplificador de tres etapas emisor común con acoplamiento mediante capacitor.

$$A_i = \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L}{i_{b_3}} \times \frac{i_{b_3}}{i_{b_2}} \times \frac{i_{b_2}}{i_{b_1}} \times \frac{i_{b_1}}{i_i}$$

$$i_L = (-h_{fe_3} i_{b_3}) \times \frac{R_{C_3} \times R_L}{R_{C_3} + R_L} \times \frac{1}{R_L}$$

$$\Rightarrow \frac{i_L}{i_{b_3}} = (-h_{fe_3}) \times \frac{R_{C_3}}{R_{C_3} + R_L}$$

$$i_{b_3} = (-h_{fe_2} i_{b_2}) \times \frac{R'_{b_3} \times h_{ie_3}}{R'_{b_3} + h_{ie_3}} \times \frac{1}{h_{ie_3}}$$

$$\Rightarrow \frac{i_{b_3}}{i_{b_2}} = (-h_{fe_2}) \times \frac{R'_{b_3}}{R'_{b_3} + h_{ie_3}}$$

$$i_{b_2} = (-h_{fe_1} i_{b_1}) \times \frac{R'_{b_2} \times h_{ie_2}}{R'_{b_2} + h_{ie_2}} \times \frac{1}{h_{ie_2}}$$

$$\Rightarrow \frac{i_{b_2}}{i_{b_1}} = (-h_{fe_1}) \times \frac{R'_{b_2}}{R'_{b_2} + h_{ie_2}}$$

$$i_{b_1} = i_i \times \frac{R_{b_1} \times h_{ie_1}}{R_{b_1} + h_{ie_1}} \times \frac{1}{h_{ie_1}}$$

$$\Rightarrow \frac{i_{b_1}}{i_i} = \frac{R_{b_1}}{R_{b_1} + h_{ie_1}}$$

# Amplificador de tres etapas emisor común con acoplamiento mediante capacitor.

$$A_i = (-h_{fe3}) \times \frac{R_{C_3}}{R_{C_3} + R_L} \times (-h_{fe2}) \times \frac{R'_{b3}}{R'_{b3} + h_{ie3}} \times (-h_{fe1}) \times \frac{R'_{b2}}{R'_{b2} + h_{ie2}} \times \frac{R_{b1}}{R_{b1} + h_{ie1}}$$

$$\text{Si } \Rightarrow \quad R_L \ll R_{C_3} \quad h_{ie3} \ll R'_{b3} \quad h_{ie2} \ll R'_{b2} \quad h_{ie1} \ll R_{b1}$$

$$A_i = (-h_{fe3}) \times \frac{R_{C_3}}{R_{C_3}} \times (-h_{fe2}) \times \frac{R'_{b3}}{R'_{b3}} \times (-h_{fe1}) \times \frac{R'_{b2}}{R'_{b2}} \times \frac{R_{b1}}{R_{b1}}$$

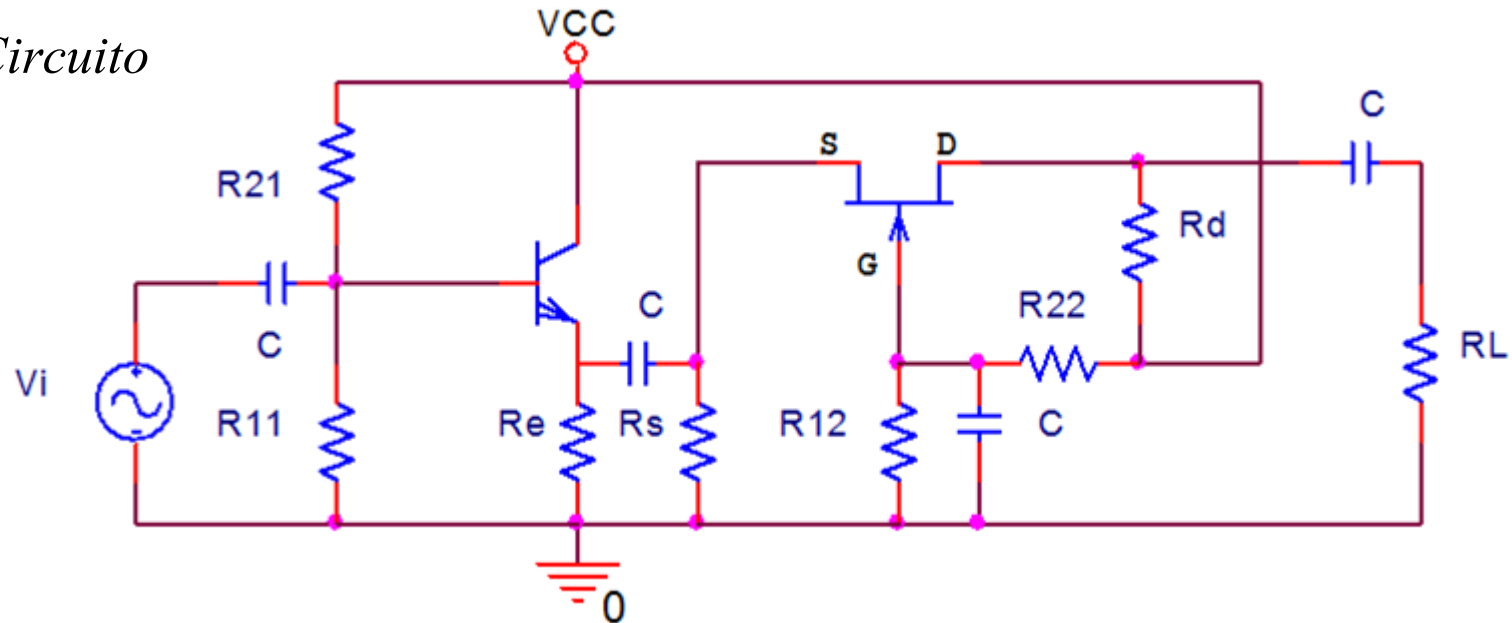
$$A_i = (-h_{fe3}) \times (-h_{fe2}) \times (-h_{fe1})$$

$$A_i = (-h_{fe})^n \begin{cases} \text{si } n \text{ es par } A_i = h_{fe}^n \\ \text{si } n \text{ es impar } A_i = -h_{fe}^n \end{cases}$$

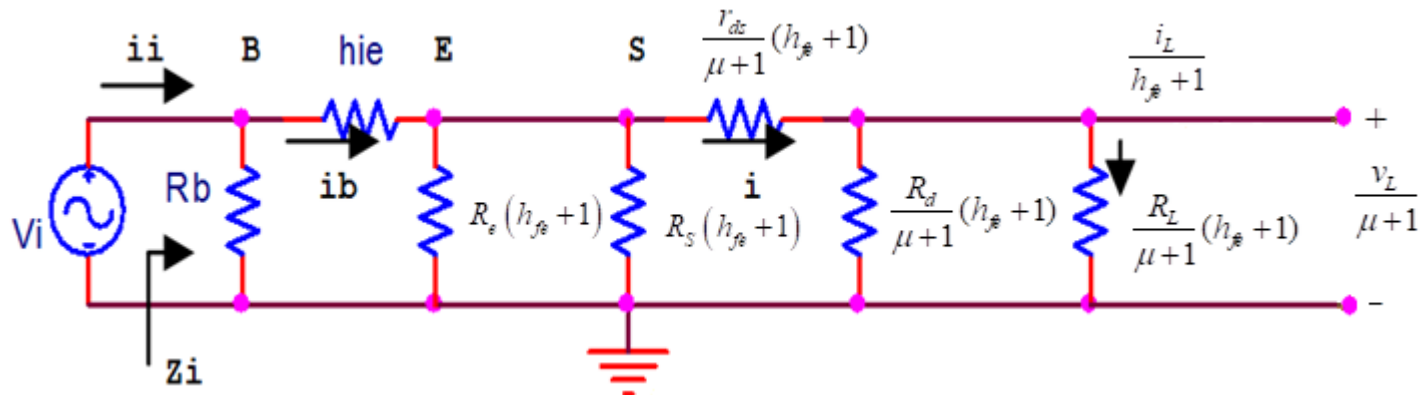
$n$ : Cantidad de etapas

# Amplificador Colector Común seguido de amplificador Compuerta Común

*Circuito*

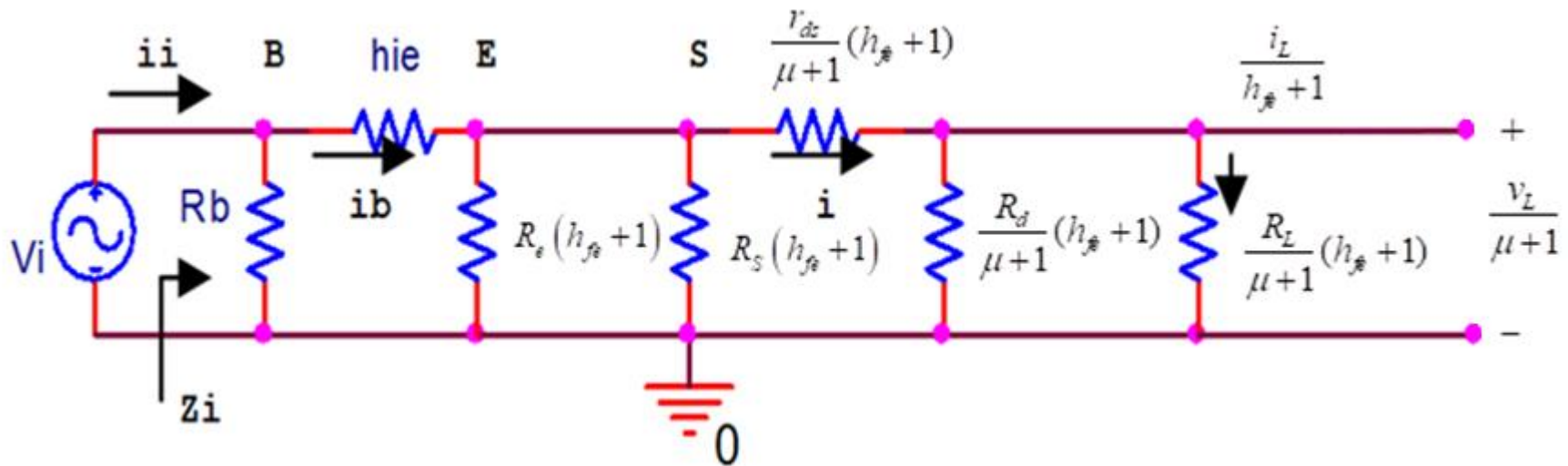


*Circuito equivalente reflejado a la base*



# Amplificador Colector Común seguido de amplificador Compuerta Común

*Circuito equivalente reflejando a la base.*



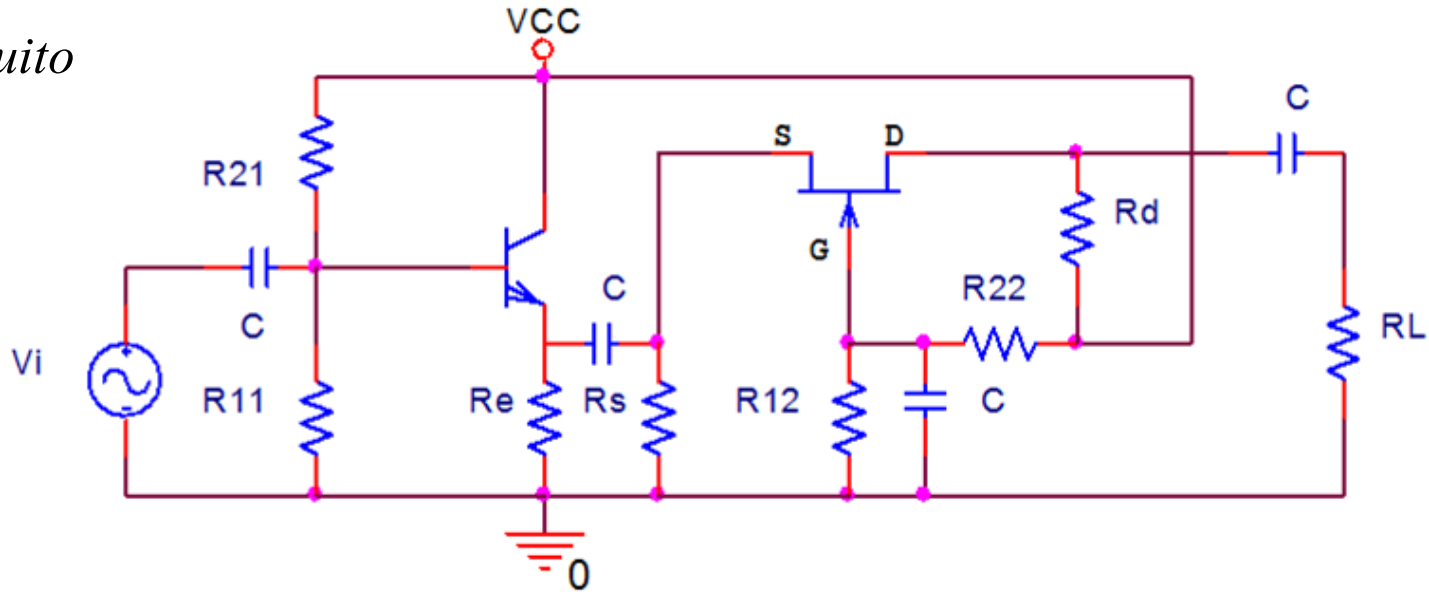
*Determinación de la impedancia de entrada.*

$$Z_i = R_b // \left\{ h_{ie} + \left[ (R_e // R_s)(h_{fe} + 1) // \left( \frac{r_{ds} + R_d // R_L}{\mu + 1} \right)(h_{fe} + 1) \right] \right\}$$

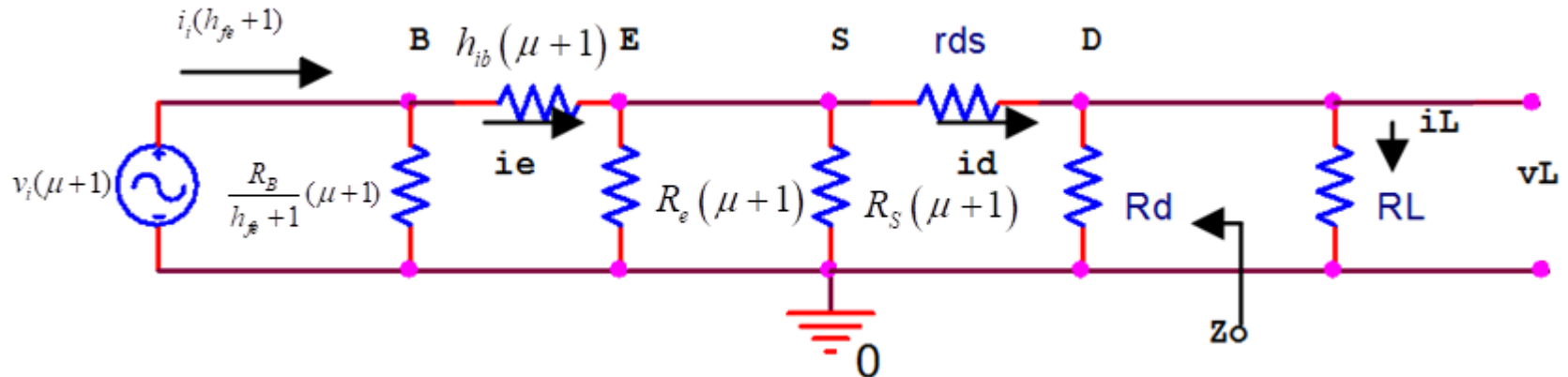


# Amplificador Colector Común seguido de amplificador Compuerta Común

## Circuito

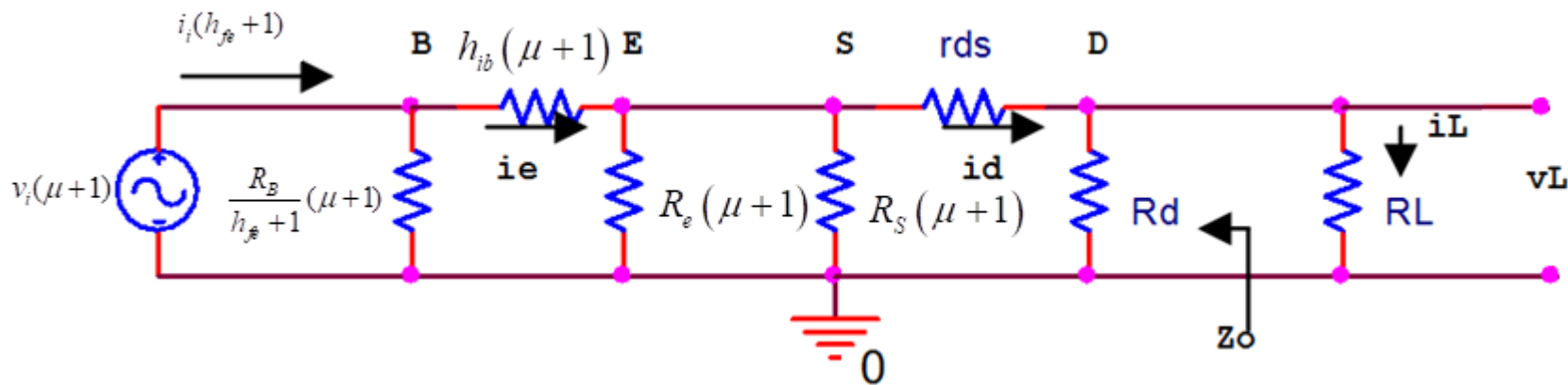


*Circuito equivalente reflejando en el drenador.*



# Amplificador Colector Común seguido de amplificador Compuerta Común

*Circuito equivalente reflejando en el drenador.*



*Determinacion de la impedancia de salida.*

$$Z_O = R_d // \left[ r_{ds} + (R_e // R_S)(\mu + 1) // h_{ib}(\mu + 1) \right]$$

# Amplificador Colector Común seguido de amplificador Compuerta Común

*Ganancia de corriente.*

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

$$i_L = i_d \frac{R_d \cancel{R_L}}{R_d + R_L} \frac{1}{\cancel{R_L}} \Rightarrow \frac{i_L}{i_d} = \frac{R_d}{R_d + R_L}$$

$$i_d = i_e \frac{\left[ (R_e // R_S)(\mu + 1) \right] // \left[ r_{ds} + (R_d // R_L) \right]}{r_{ds} + (R_d // R_L)} \Rightarrow \frac{i_d}{i_e} = \frac{\left[ (R_e // R_S)(\mu + 1) \right] // \left[ r_{ds} + (R_d // R_L) \right]}{r_{ds} + (R_d // R_L)}$$

$$i_e = i_i (h_{fe} + 1) \frac{\frac{R_b}{h_{fe} + 1} (\mu + 1) // \left\{ h_{ib} (\mu + 1) + \left[ (R_e // R_S)(\mu + 1) // (r_{ds} + R_d // R_L) \right] \right\}}{\left\{ h_{ib} (\mu + 1) + \left[ (R_e // R_S)(\mu + 1) // (r_{ds} + R_d // R_L) \right] \right\}} \Rightarrow$$

$$\frac{i_e}{i_i} = (h_{fe} + 1) \frac{\frac{R_b}{h_{fe} + 1} (\mu + 1) // \left\{ h_{ib} (\mu + 1) + \left[ (R_e // R_S)(\mu + 1) // (r_{ds} + R_d // R_L) \right] \right\}}{\left\{ h_{ib} (\mu + 1) + \left[ (R_e // R_S)(\mu + 1) // (r_{ds} + R_d // R_L) \right] \right\}}$$

# Amplificador Colector Común seguido de amplificador Computa Común

Ganancias de  $A_i$ ,  $A_v$  y  $A_p$ .

$$A_i = \frac{R_d}{R_d + R_L} \times \frac{\left[ (R_e // R_S)(\mu + 1) \right] // \left[ r_{ds} + (R_d // R_L) \right]}{r_{ds} + (R_d // R_L)} \times (h_{fe} + 1) \times$$

$$\frac{R_b}{h_{fe} + 1} (\mu + 1) // \left\{ h_{ib}(\mu + 1) + \left[ (R_e // R_S)(\mu + 1) // (r_{ds} + R_d // R_L) \right] \right\}$$

$$\times \frac{1}{\left\{ h_{ib}(\mu + 1) + \left[ (R_e // R_S)(\mu + 1) // (r_{ds} + R_d // R_L) \right] \right\}}$$

$$A_v = \frac{v_L}{v_i} = \frac{i_L \times R_L}{i_i \times Z_i} = A_i \times \frac{R_L}{Z_i}$$

$$A_p = A_v \times A_i$$

# Amplificador Cascodo.

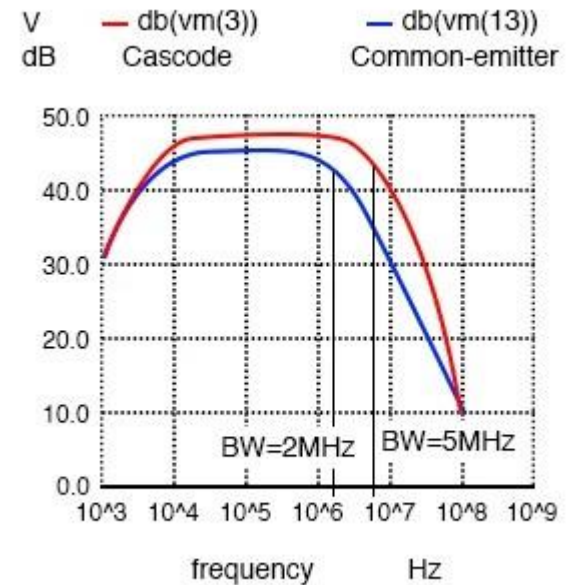
- *Cascodo como amplificador.*

*Incrementa el ancho de banda.*

*Disminuye la realimentacion colector base del amplificador emisor comun a una frecuencia dada.*

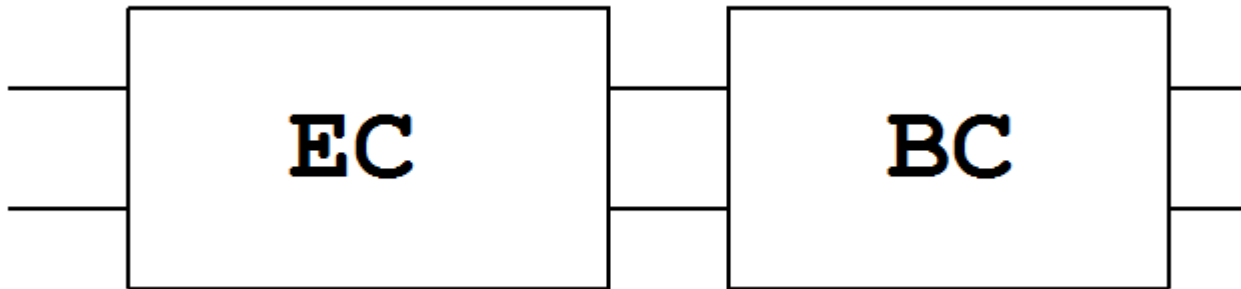
- *Cascodo como desplazador de nivel de corriente continua.*

*Elimina la componente de continua sin variacion de  $A_V$ .*



# Amplificador Cascodo.

*Diagrama en bloques del circuito cascodo como amplificador.*

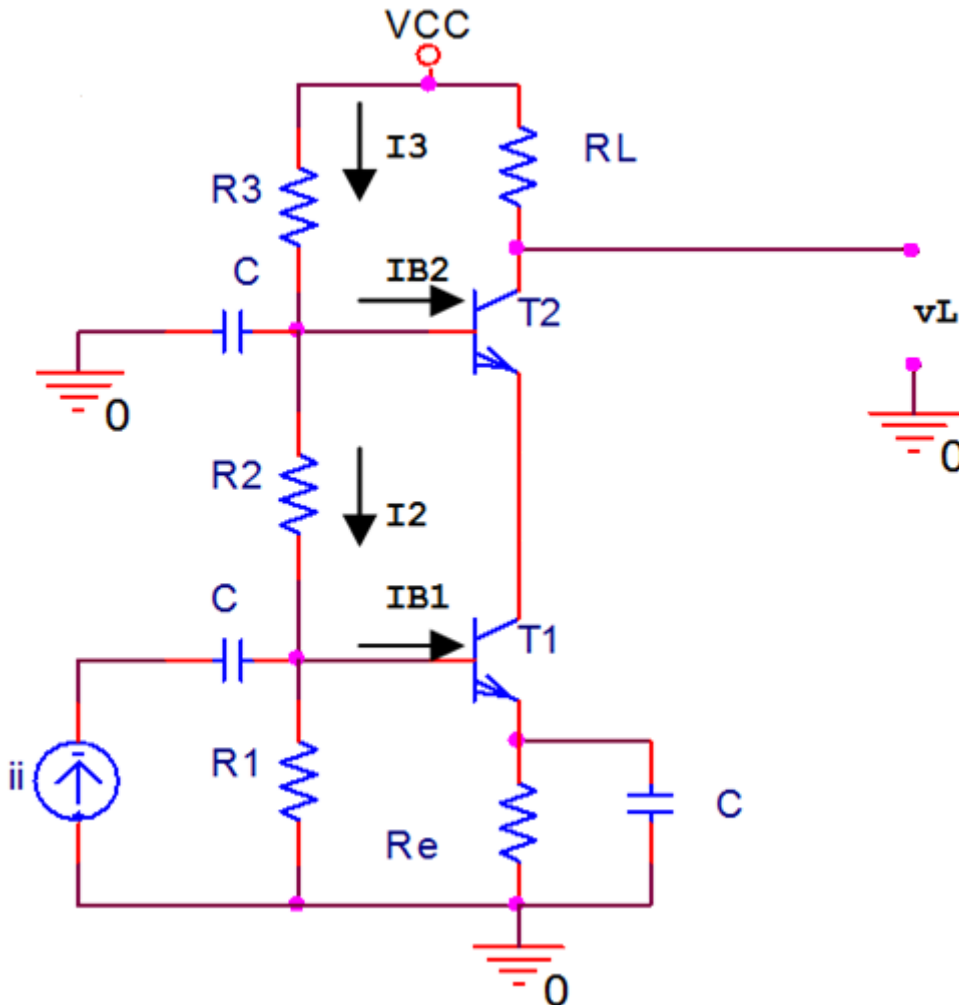


*EC : Emisor Común*

*BC : Base Común*

# Amplificador Cascodo.

*Circuito.*



*Analisis en corriente continua.*

$$I_{B_2} \ll I_3$$

$$I_{B_1} \ll I_2$$

$$V_{B_2} = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2 + R_3} \times (R_1 + R_2)$$

$$V_{B_1} = \frac{V_{B_2}}{R_1 + R_2} \times R_1$$

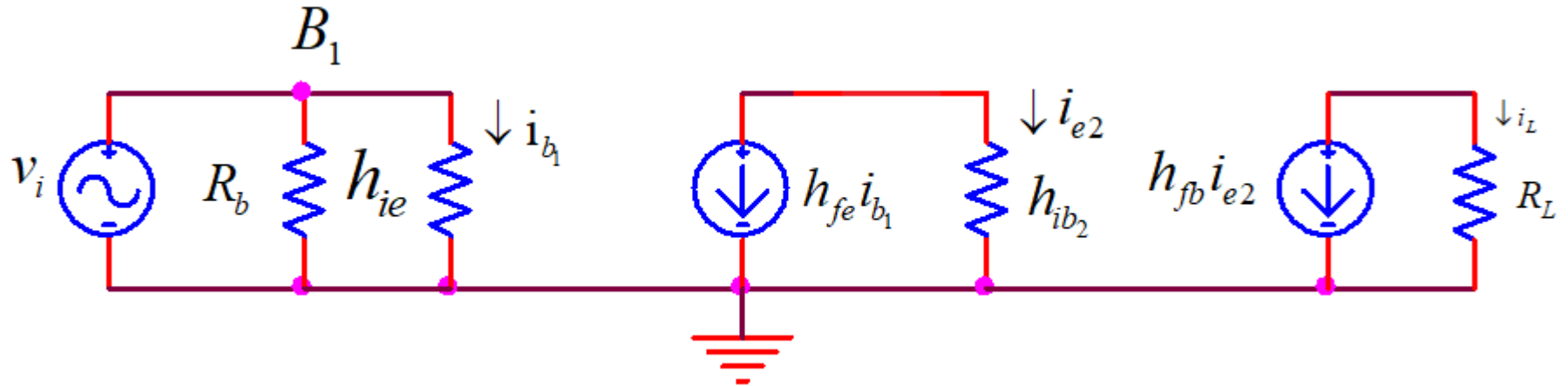
$$I_{CQ_1} \cong \frac{V_{B_1} - V_{BE_1}}{R_E} = I_{CQ_2}$$

$$V_{CEQ_1} = V_{B_2} - V_{BE_2} - I_{CQ_1} R_E$$

$$V_{CEQ_2} = V_{CC} - V_{CEQ_1} - I_{CQ_1} (R_L + R_E)$$

# Amplificador Cascodo.

*Circuito equivalente*



*Ganancia de corriente.*

$$A_i = \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L}{i_{e_2}} \frac{i_{e_2}}{i_{b_1}} \frac{i_{b_1}}{i_i}$$

$$i_L = -h_{fb} i_{e_2} \quad \Rightarrow \quad \frac{i_L}{i_{e_2}} = -h_{fb}$$

$$i_{e_2} = -h_{fe} i_{b_1} \quad \Rightarrow \quad \frac{i_{e_2}}{i_{b_1}} = -h_{fe}$$

$$i_{b_1} = i_i \times \frac{R_b \times h_{ie_1}}{R_b + h_{ie_1}} \times \frac{1}{h_{ie_1}} \quad \Rightarrow \quad \frac{i_{b_1}}{i_i} = \frac{R_b}{R_b + h_{ie_1}}$$



# Amplificador Cascodo.

*Ganancia de corriente.*

$$A_i = (-h_{fb}) \times (-h_{fe}) \times \frac{R_b}{R_b + h_{ie}} = (-h_{fb}) \times (-h_{fe}) \times \frac{R_b}{R_b + h_{ie}} = -h_{fe} \times \frac{R_b}{R_b + h_{ie}}$$

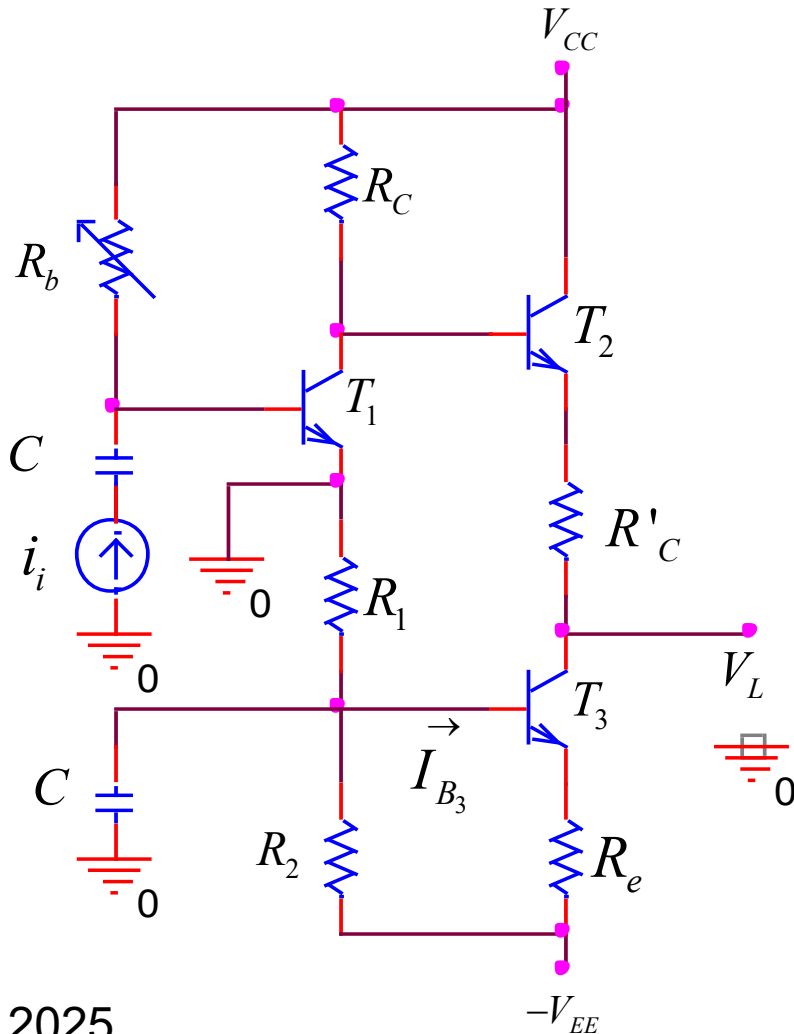
$$BW = f\left(\frac{1}{C_M}\right) \quad \left\{ \begin{array}{l} C_M : \text{Capacidad de Miller} \\ \text{(de realimentacion).} \end{array} \right.$$

*BW: Ancho de banda del amplificador.*

$$C_M = C_{bc}(1 + g_m R_L) \quad (R_L \text{ equivale a } h_{ib_2})$$

# Cascodo como desplazador de nivel

*Circuito.*



*Analisis en corriente continua.*

*Suponiendo  $R'_C$  fija, determinamos  $R_B$  para  $V_L = 0$*

$$I_{B_3} \cong 0$$

$$V_{B_3} = -\frac{V_{EE}}{R_1 + R_2} R_1$$

$$V_{E_3} = V_{B_3} - V_{BE}$$

$$I_{EQ_3} = \frac{V_{E_3} - (-V_{EE})}{R_e}$$

$$I_{EQ_3} = \frac{V_{E_3} + V_{EE}}{R_e}$$

$$V_{E_2} = I_{EQ_3} R'_C + V_L$$

$$V_{B_2} = V_{E_2} + V_{BE}$$

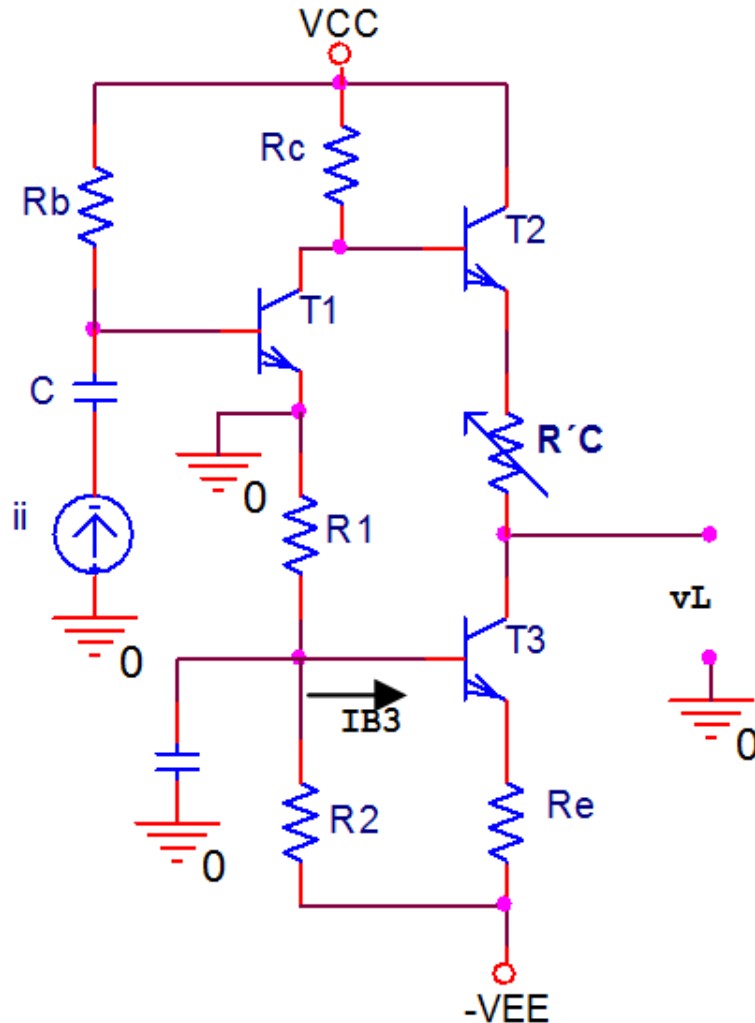
$$I_{CQ_1} = \frac{V_{CC} - V_{B_2}}{R_C}$$

$$I_{BQ_1} = \frac{I_{CQ_1}}{\beta_1}$$

$$R_b = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{BQ_1}}$$

# Cascodo como desplazador de nivel.

*Circuito.*



*Analisis en corriente continua.*

Suponiendo  $R_b$  fija, determinamos  $R'_C$  para  $V_L = 0$

$$I_{BQ_1} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_b}$$

$$I_{CQ_1} = \beta_1 I_{BQ_1}$$

$$V_{B_2} = V_{CC} - I_{CQ_1} R_C$$

$$V_{E_2} = V_{B_2} - V_{BE}$$

$$I_{EQ_3} = \frac{V_{E_2} - V_L}{R'_C} \Rightarrow R'_C = \frac{V_{E_2} - V_L}{I_{EQ_3}}$$

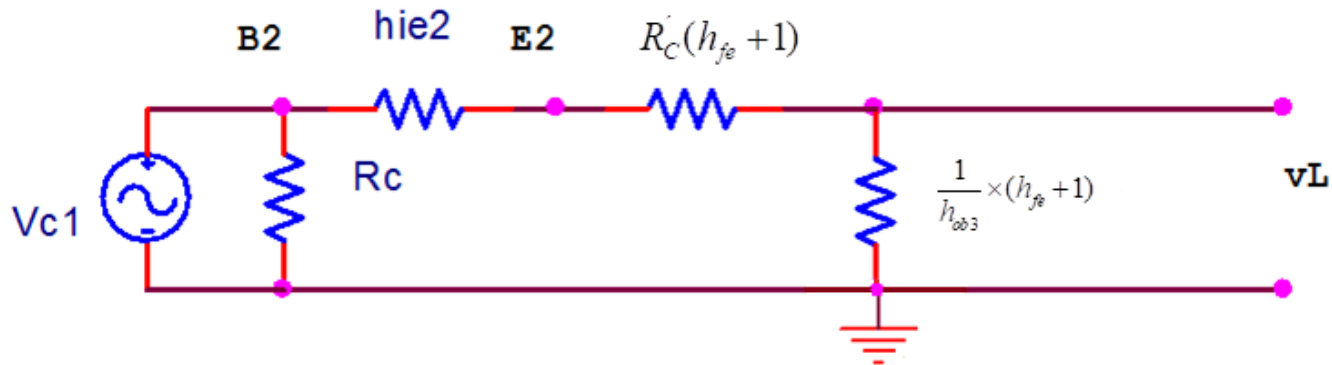
$$V_{B_3} = \frac{-V_{EE}}{R_1 + R_2} R_1$$

$$V_{E_3} = V_{B_3} - V_{BE}$$

$$I_{EQ_3} = \frac{V_{E_3} - (-V_{EE})}{R_e} = \frac{V_{E_3} + V_{EE}}{R_e}$$

# Cascodo como desplazador de nivel

*Circuito equivalente visto desde la base de  $T_2$ .*



$$v_L = \frac{v_{c_1}}{\underbrace{h_{ie_2} + R'_C h_{fe_2}}_{\text{despreciando}} + \frac{h_{fe_2} + 1}{h_{ob_3}}} \times \frac{h_{fe_2} + 1}{h_{ob_3}} \cong \frac{v_{c_1}}{\frac{h_{fe_2} + 1}{h_{ob_3}}} \times \frac{h_{fe_2} + 1}{h_{ob_3}} \simeq v_{c_1}$$

$$A_V = \frac{v_L}{v_{c_1}} \cong 1$$

# 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