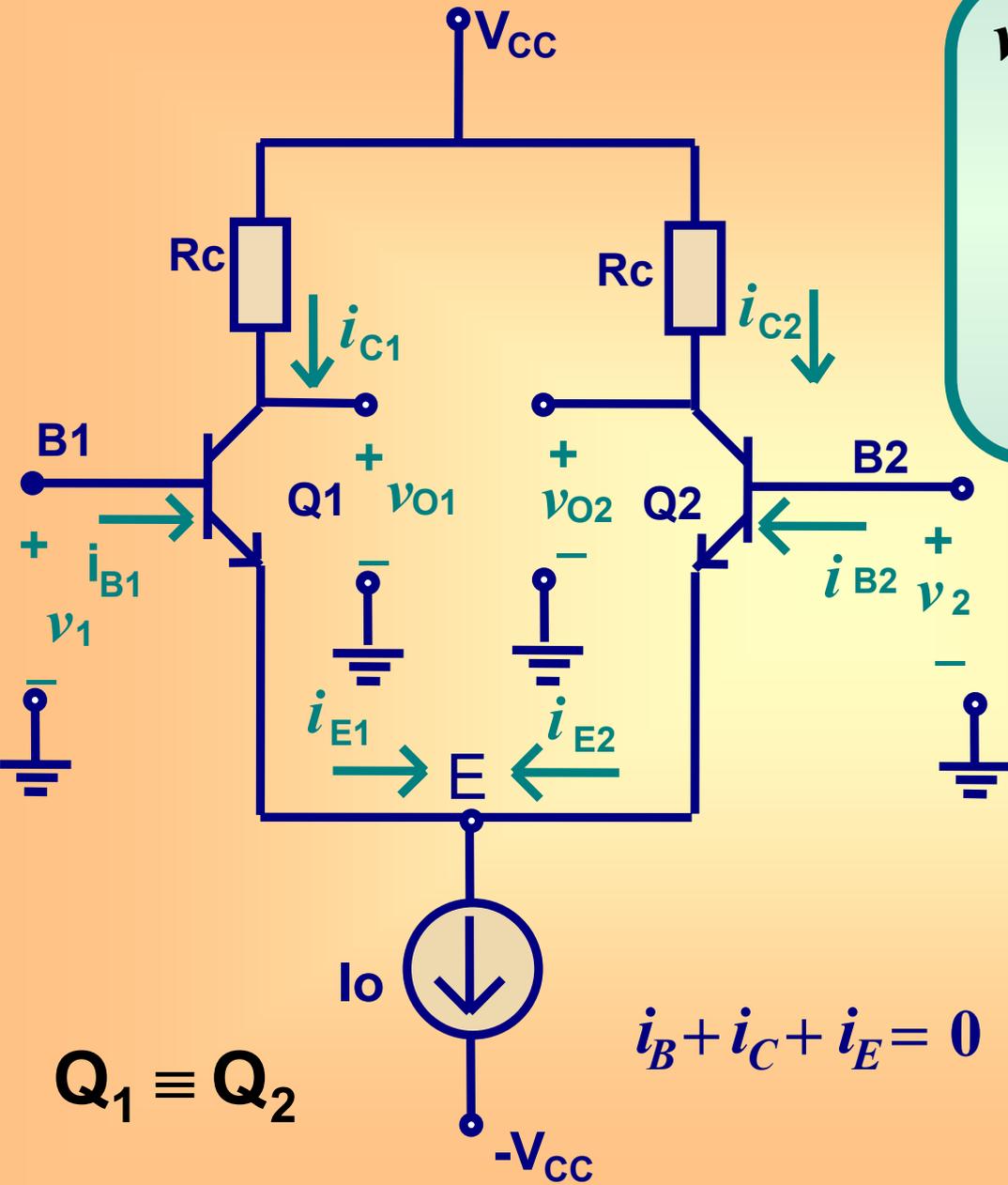


# Amplificador Diferencial con BJT

Electrónica I - Año 2004

Prof. María Isabel Schiavon

FCEIA - UNR



$$v_1 = v_2 \Rightarrow V_{BE1} = V_{BE2}$$

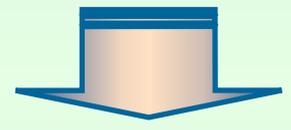


$$i_{C1} = i_{C2} = \frac{I_o}{2}$$

$$v_{CE1} = v_{CE2}$$

$$v_1 \neq v_2$$

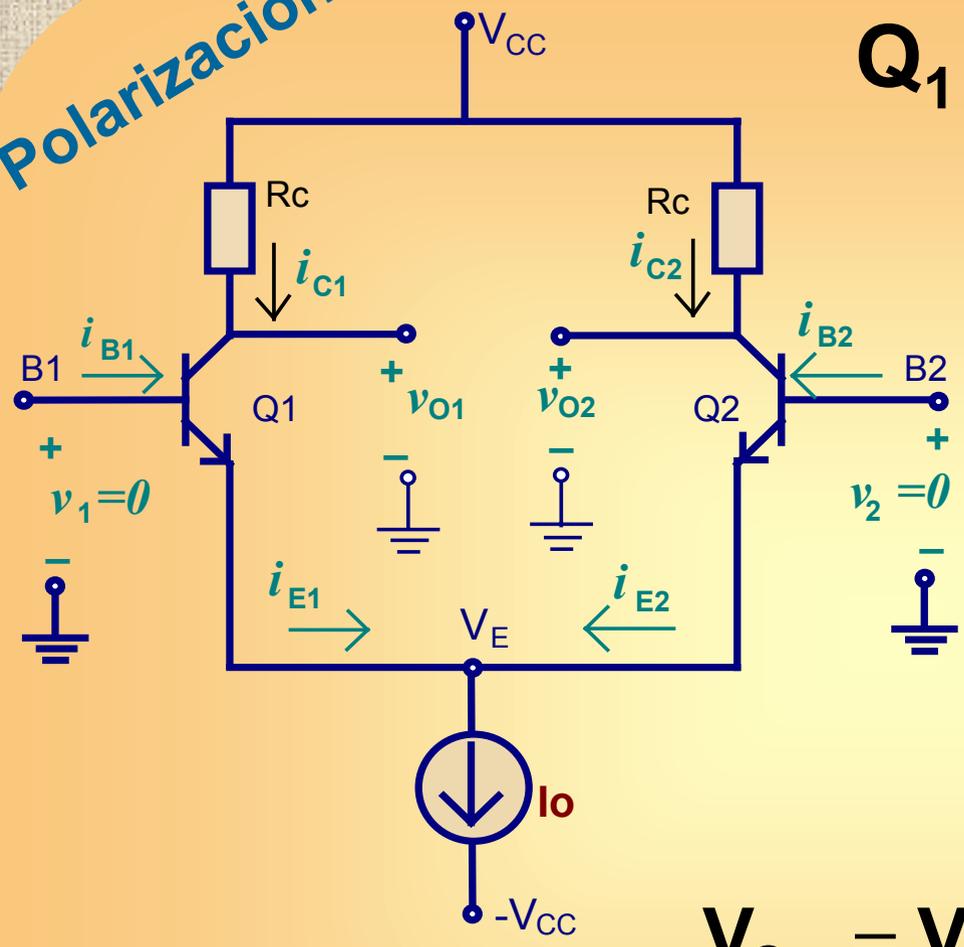
$$V_{BE1} \neq V_{BE2}$$



$$i_{C1} \neq i_{C2}$$

$$i_{C1} + i_{C2} = I_o$$

# Polarización



$$Q_1 \equiv Q_2$$

$$v_1 = v_2 = 0$$

↓

$$V_{EQ} = -V_{BE}$$

zona activa  $\Leftrightarrow I_o \leq \frac{2V_{CC}}{R_C}$

$$I_{C1Q} = I_{C2Q} = \frac{I_o}{2\alpha_N} \approx \frac{I_o}{2}$$

$$V_{CQ} = V_{CC} - \frac{I_o}{2} R_C$$

$$\beta \gg 1$$

$$V_{CE1Q} = V_{CE2Q} = V_{CC} + V_{BE} - \frac{I_o}{2} R_C$$

# Ebers y Moll

análisis en  
gran señal

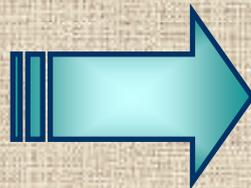
$$i_C = I_S \left( e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right) - \frac{I_S}{\alpha_I} \left( e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right)$$

$$i_E = -\frac{I_S}{\alpha_N} \left( e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right) - I_S \left( e^{\frac{v_{BC}}{V_T}} - 1 \right)$$

**En zona activa:**

$$v_{BE} \gg V_T$$

$$v_{BC} \leq 0$$



$$i_C \approx I_S e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$$

$$i_E \approx -\frac{I_S}{\alpha_F} e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$$

$$i_C \approx I_S e^{\frac{v_{BE}}{V_T}}$$

$$v_{BE1} = V_T \ln \frac{i_{C1}}{I_{S1}} \approx V_T \ln \frac{i_{C1}}{I_S}$$

$$v_{BE2} = V_T \ln \frac{i_{C2}}{I_{S2}} \approx V_T \ln \frac{i_{C2}}{I_S}$$

$$v_{id} = v_1 - v_2$$

$$v_{id} = v_{BE1} - v_{BE2}$$

$$v_{id} = V_T \ln \frac{i_{C1}}{i_{C2}}$$

$$i_{C1} = i_{C2} e^{\frac{v_{id}}{V_T}}$$

$$i_{C2} = i_{C1} e^{-\frac{v_{id}}{V_T}}$$

$$\frac{i_{C1} + i_{C2}}{\alpha_F} = -(i_{E1} + i_{E2}) = I_0$$

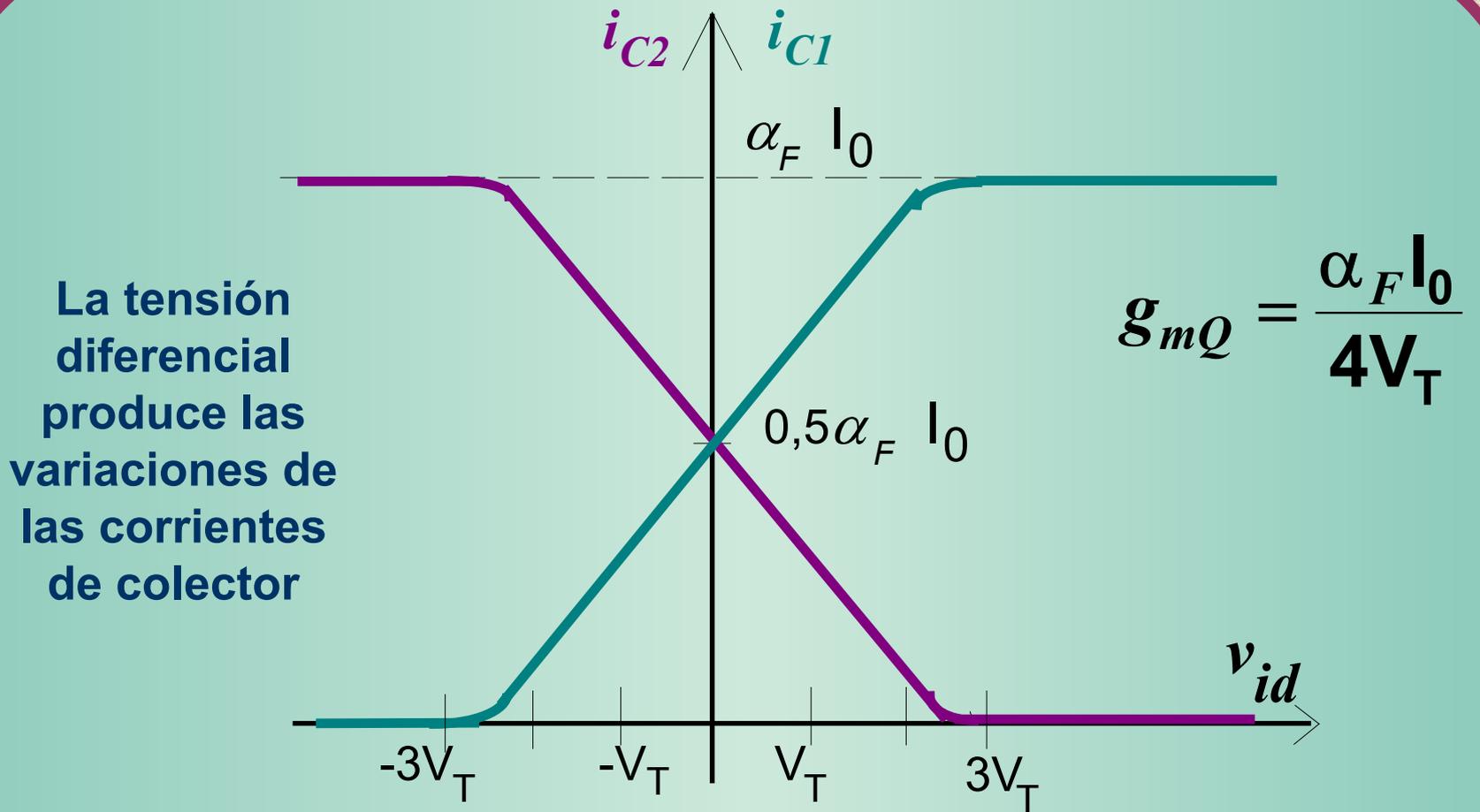
$$i_{C1} = \alpha_F I_0 - i_{C2}$$
$$i_{C2} = \alpha_F I_0 - i_{C1}$$

$$i_{C1} = i_{C2} e^{\frac{v_{id}}{V_T}}$$

$$i_{C2} = i_{C1} e^{-\frac{v_{id}}{V_T}}$$

$$i_{C1} = \alpha_F I_0 \left( 1 + e^{-\frac{v_{id}}{V_T}} \right)^{-1}$$

$$i_{C2} = \alpha_F I_0 \left( 1 + e^{\frac{v_{id}}{V_T}} \right)^{-1}$$



$$i_{C1} = \alpha_F I_0 \left( 1 + e^{-\frac{v_{id}}{V_T}} \right)^{-1}$$

$$i_{C2} = \alpha_F I_0 \left( 1 + e^{\frac{v_{id}}{V_T}} \right)^{-1}$$

$$v_{O1} = V_{CC} - i_{C1} R_C = V_{CC} - I_{C1} R_C \pm i_{c1} R_C$$

$$v_{O2} = V_{CC} - i_{C2} R_C = V_{CC} - I_{C2} R_C \mp i_{c2} R_C$$

$$I_{C1} = I_{C2} = \frac{I_o}{2\alpha_F}$$

La señal entre los colectores resulta:

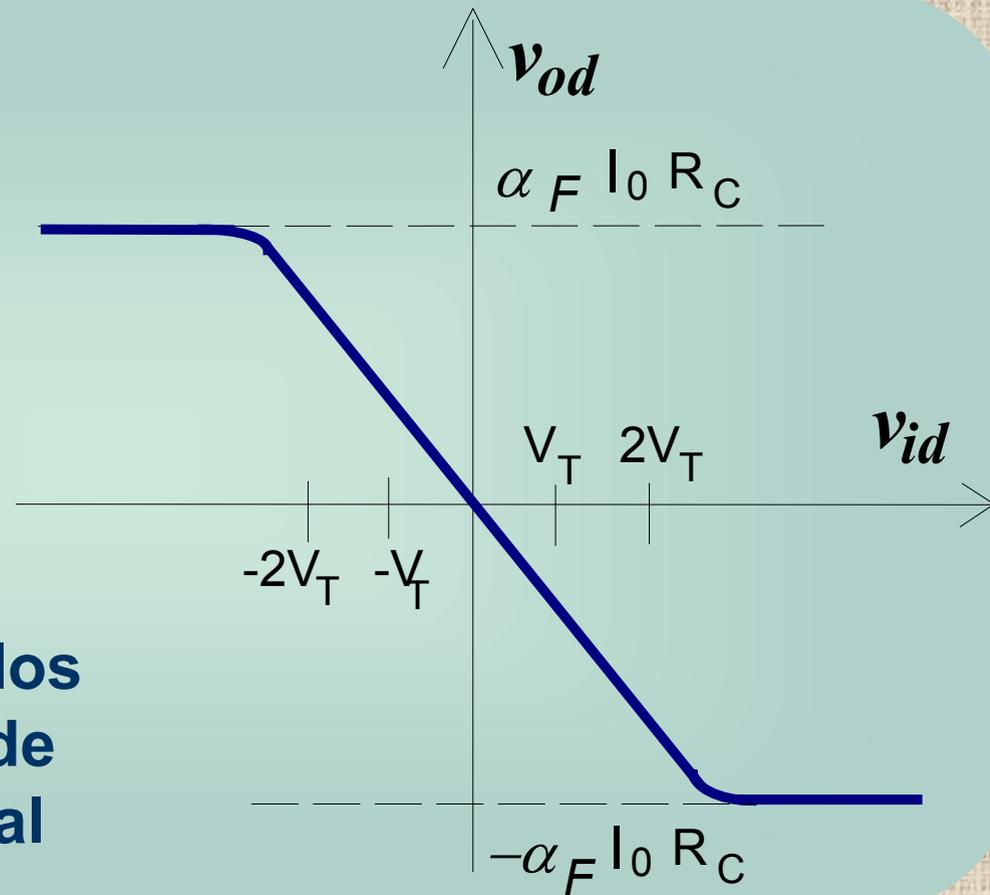
$$v_o = v_{O1} - v_{O2} = -(i_{C1} - i_{C2}) R_C$$

La señal entre los colectores queda expresada en función de los elementos del circuito y la señal diferencial de entrada

$$v_o = \alpha_F I_o R_C \left( \frac{1 - e^{-v_{id}/V_T}}{1 + e^{-v_{id}/V_T}} \right)$$

$$v_o = \alpha_F I_0 R_C \left( \frac{1 - e^{-v_{id}/V_T}}{1 + e^{-v_{id}/V_T}} \right)$$

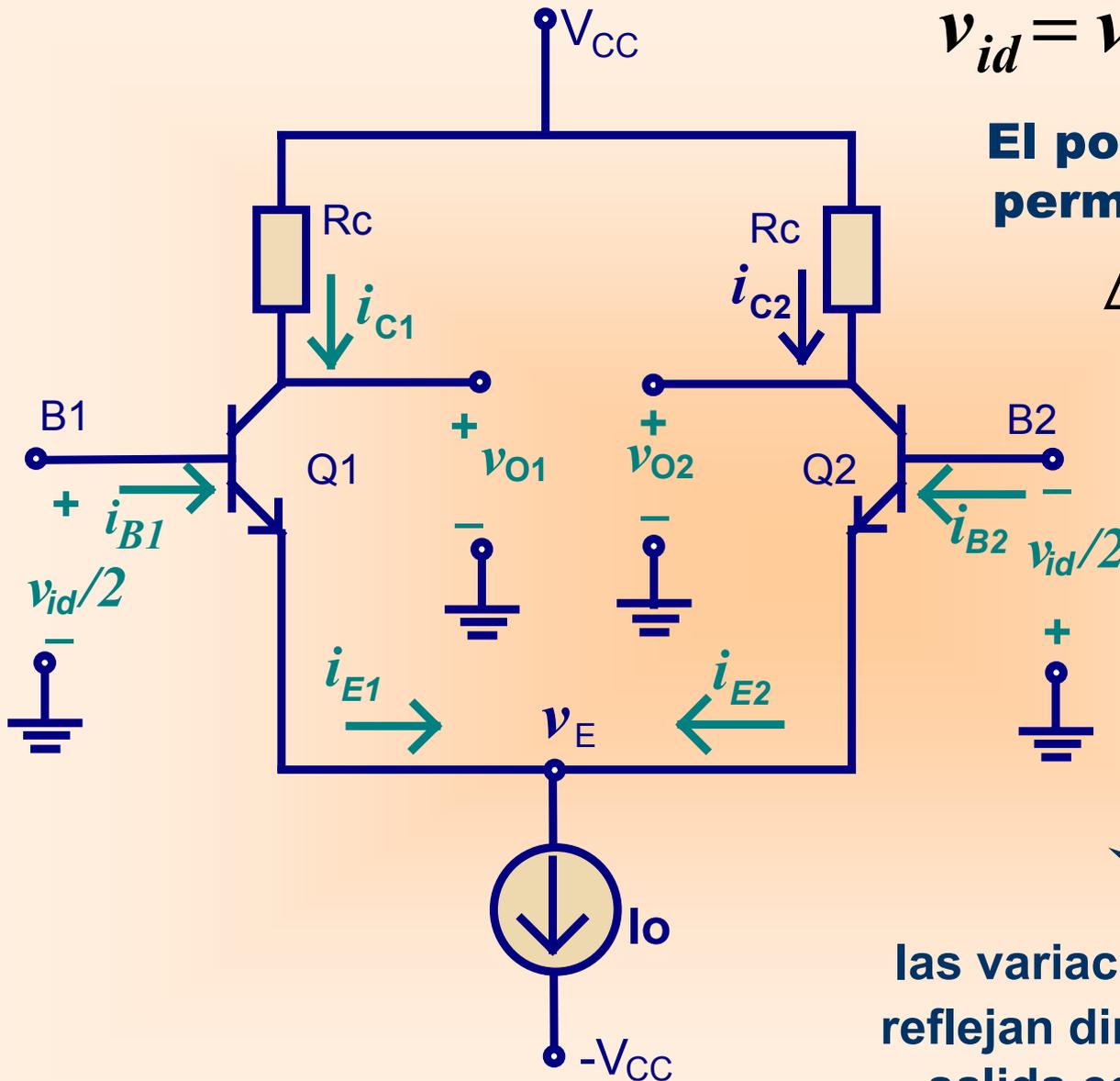
La salida tomada entre los colectores sólo depende de la tensión diferencial



máxima tensión diferencial para funcionamiento lineal:  $\pm 2V_T$

$$-2V_T \leq v_{iD} \leq 2V_T$$

# Análisis de pequeña señal con excitación diferencial



$$v_{id} = v_{BE1} - v_{BE2}$$

**El potencial de emisor permanece constante**

$$\Delta i_{C1} = -\Delta i_{C2}$$

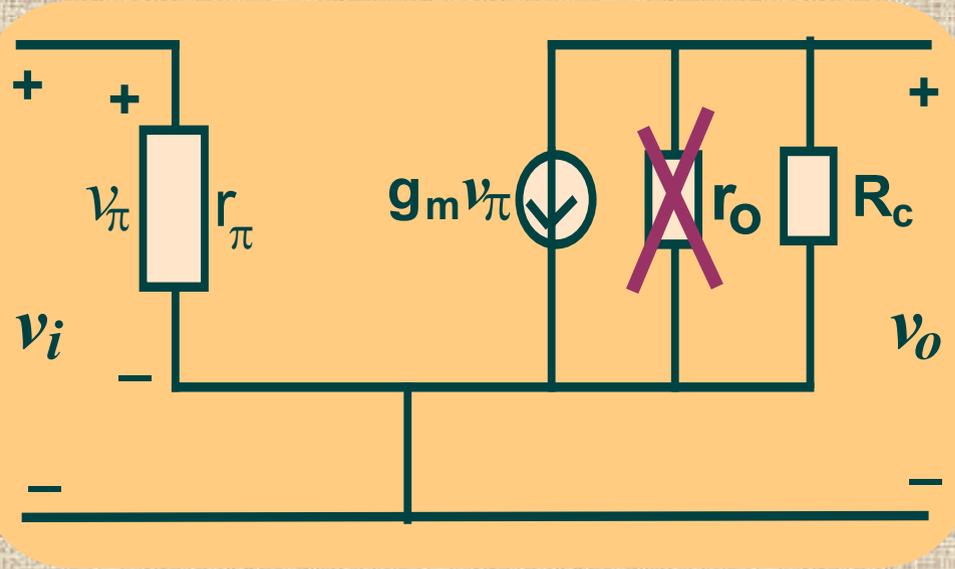


**el emisor se comporta como masa virtual para señales a modo diferencial**



**las variaciones de  $v_{CE}$  se reflejan directamente en la salida correspondiente**

Las variaciones de  $v_{CE}$  producidas por una señal  $v_{id}$  son las mismas que se producirían en la salida de una configuración emisor común sin resistencia de emisor excitado con una señal en su entrada equivalente a la mitad de la tensión diferencial



$$A_v = \frac{v_o}{v_i} \approx -g_m R_c$$

**Q1** *Entrada  $v_{id}/2$ , Salida:  $v_{o1}$*

$$v_{o1} = \frac{v_{id}}{2} A_v \approx -\frac{g_m R_c}{2} v_{id}$$



**Q2** *Entrada:  $-v_{id}/2$ , Salida:  $v_{o2}$*

$$v_{o2} = -\frac{v_{id}}{2} A_v \approx \left( \frac{g_m R_c}{2} v_{id} \right)$$



**Se define la ganancia a modo diferencial simple**

$$A_{vds} = \frac{v_{ods}}{v_{id}} = \frac{A_{vd}}{2} = -\frac{g_m R_c}{2}$$

## Ganancia a modo diferencial simple

$$A_{vdS} = \frac{v_{odS}}{v_{id}} = \frac{A_{vd}}{2} = -\frac{g_m R_c}{2}$$

Si  $v_{id} = v_1 - v_2$

$$v_{o1S} = A_{vdS} v_{id}$$

$$v_{o2S} = -A_{vdS} v_{id}$$

Desfasa 180°

En fase con  $v_{id}$

# Analysis con excitación a modo común

$$v_1 = v_2 = v_{ic}$$

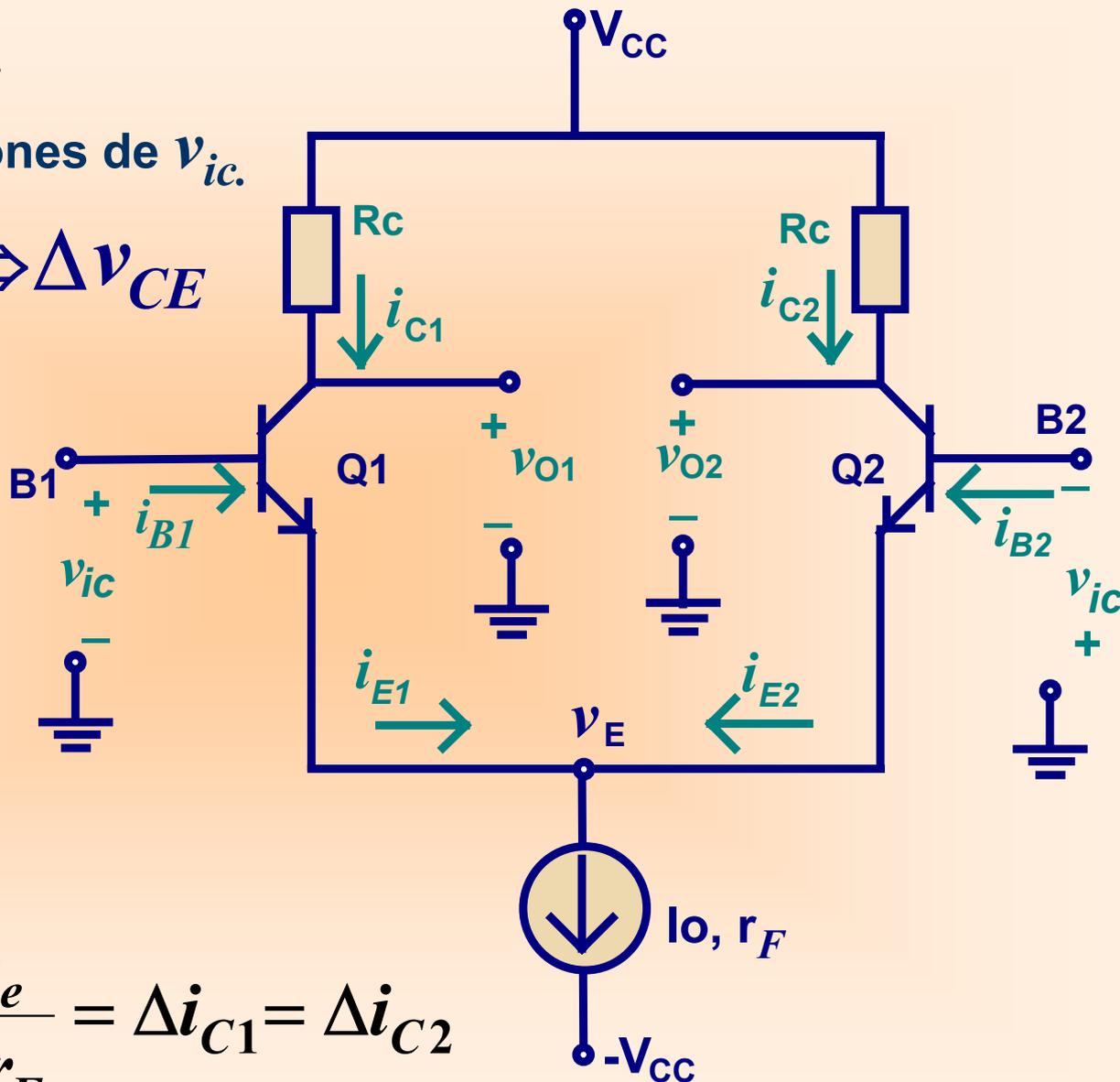
$v_E$  sigue las variaciones de  $v_{ic}$ .

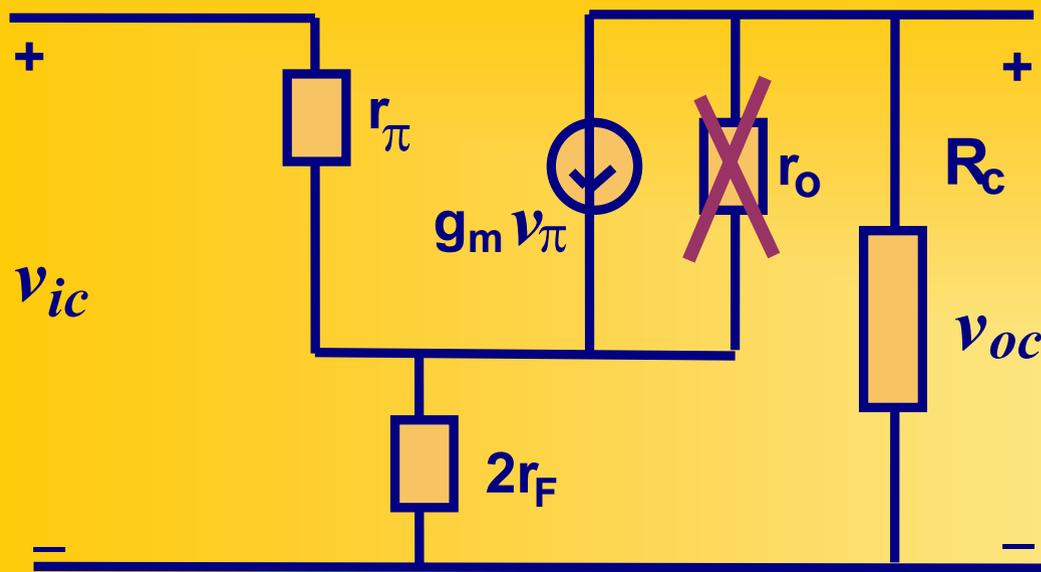
$$v_E = v_{ic} - V_{BE} \Rightarrow \Delta v_{CE}$$

Las variaciones de  $v_E$  se reflejan en la resistencia de la fuente de corriente

$$i_e = \frac{v_e}{r_F}$$

$$i_{e1} = i_{e2} = \frac{v_e}{2r_F} = \Delta i_{C1} = \Delta i_{C2}$$





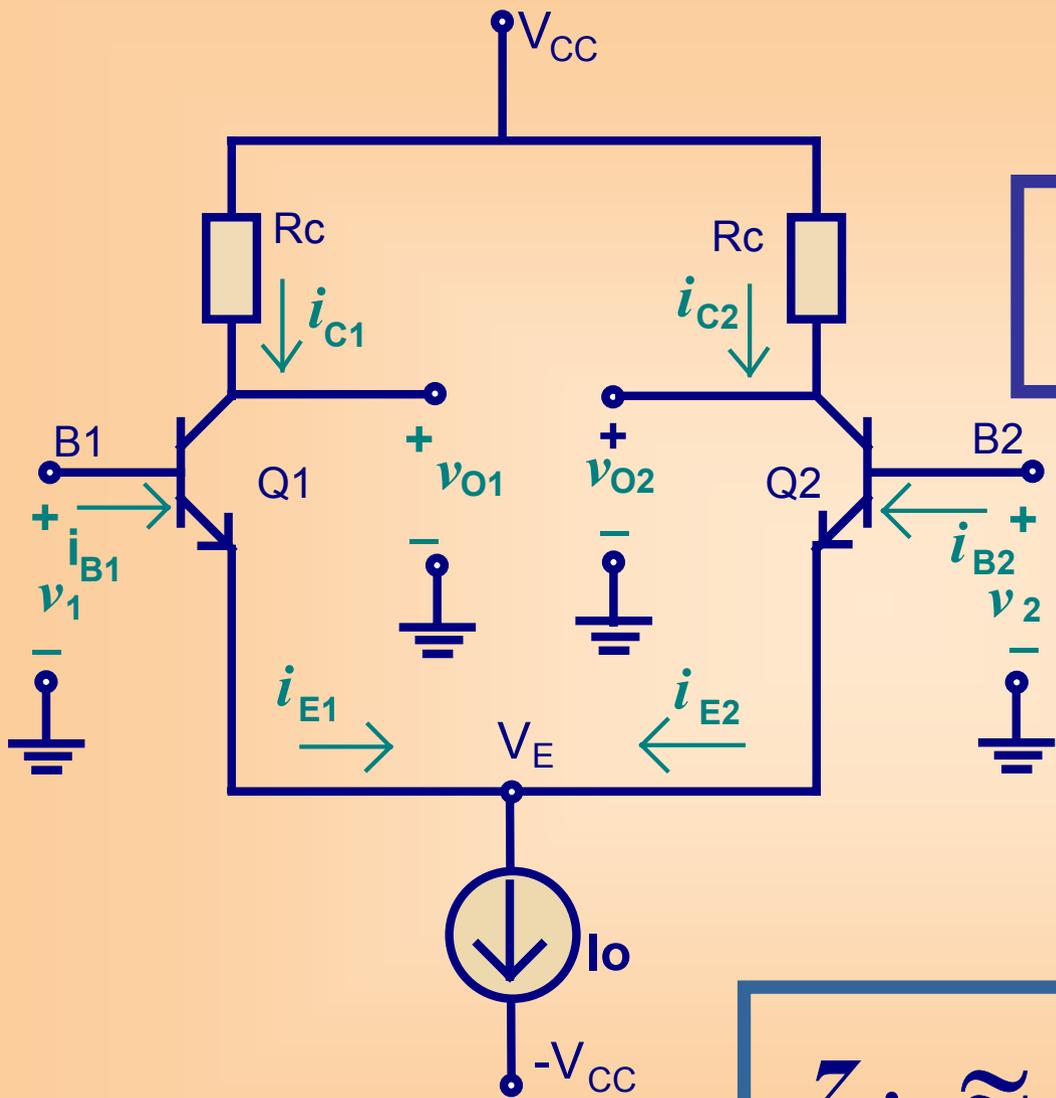
$$A_{vc} = \frac{v_{oc}}{v_{ic}}$$

$$A_{vc} \approx - \frac{g_m R_c}{1 + g_m 2r_F}$$

$$A_{vc} \approx - \frac{R_c}{2r_F}$$

$$v_{o1C} = v_{o2C} = A_{vc} v_{ic} \approx - \frac{R_c}{2r_F} v_{ic}$$

**Las señales a modo común de ambas salidas están desfasadas 180° respecto a la señal de entrada a modo común**



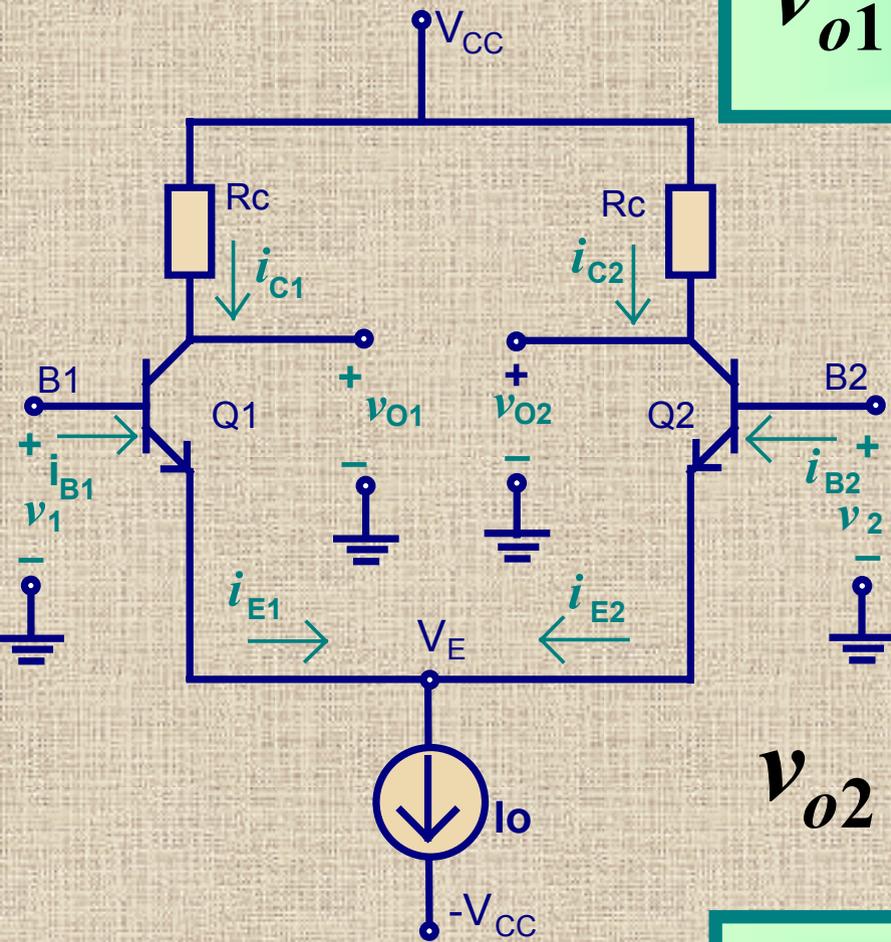
$$v_{id} = v_1 - v_2$$

$$z_{id} \approx 2 r_{\Pi}$$

$$v_{ic} = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

$$z_{ic} \approx r_{\Pi} + 2\beta r_F$$

$$v_{id} = v_1 - v_2$$



$$v_{ic} = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

$$v_{o1} \approx -\frac{R_c}{2r_F} v_{ic} - \frac{g_m R_c}{2} v_{id}$$

$$v_{o1} = A_{vc} v_{ic} + A_{vds} v_{id}$$

$$FR_S = \frac{A_{vds}}{A_{vc}} \approx g_m r_F$$

$$v_{o2} = A_{vc} v_{ic} + A_{vds} (-v_{id})$$

$$v_{o2} \approx -\frac{R_c}{2r_F} v_{ic} + \frac{g_m R_c}{2} v_{id}$$



Tensión  
diferencial

$$v_{id} = v_1 - v_2$$

$$v_{ic} = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

Tensión a modo común

circuito lineal

$$v_1 = v_{ic} + \frac{1}{2} v_{id}$$

$$v_2 = v_{ic} - \frac{1}{2} v_{id}$$

$$v_{o1} = A_{vdS} v_{id} + A_{vc} v_{oc}$$

$$v_{o2} = -A_{vdS} v_{id} + A_{vc} v_{oc}$$



$$v_{id} = v_1 - v_2$$

$$v_{ic} = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

circuito lineal

$$v_{oS} = A_{vds} v_{id} + A_{vc} v_{oc}$$

$$FRs = \frac{A_{vds}}{A_{vc}}$$

$$v_{oS} = A_{vds} \left( v_{id} + \frac{v_{oc}}{FRs} \right)$$