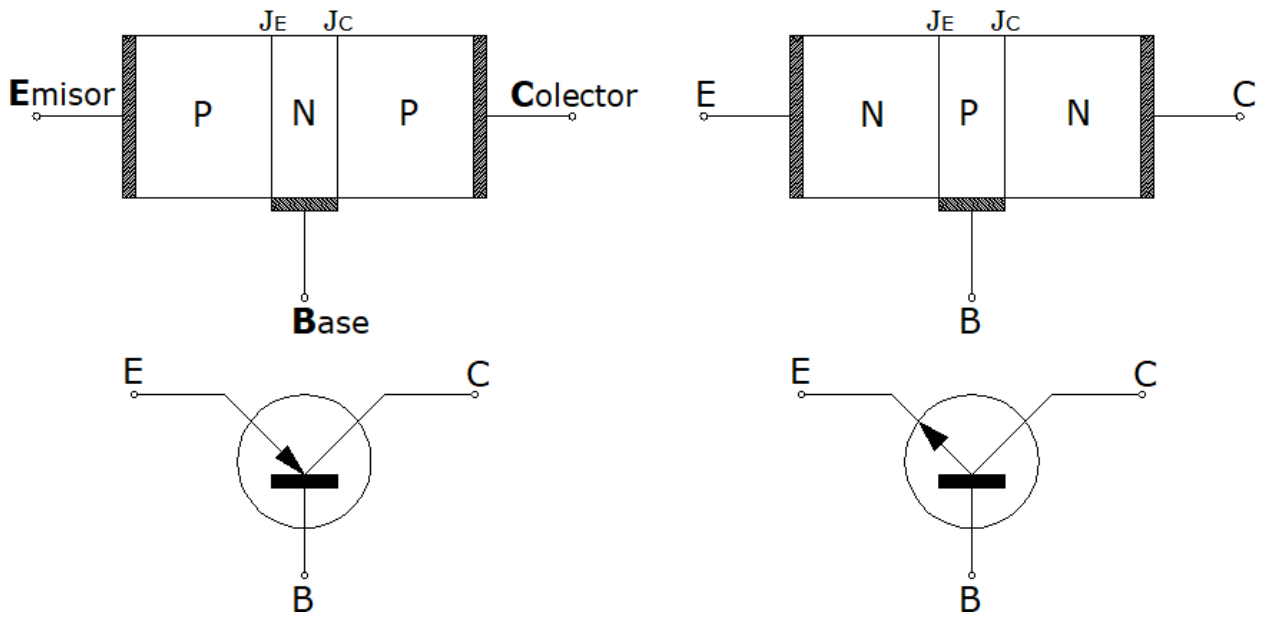


Transistor de Unión Bipolar (BJT)

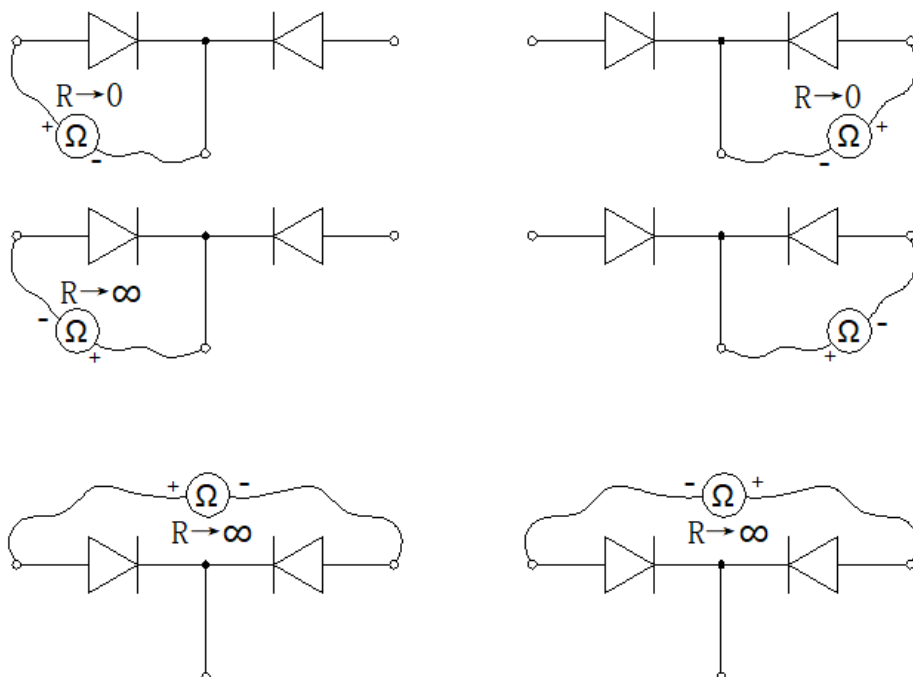


La flecha de emisor indica el sentido de circulación de corriente, cuando la juntura emisor-base está polarizada directamente.

Si polarizamos individualmente las junturas podemos pensar en diodos conectados como sigue:



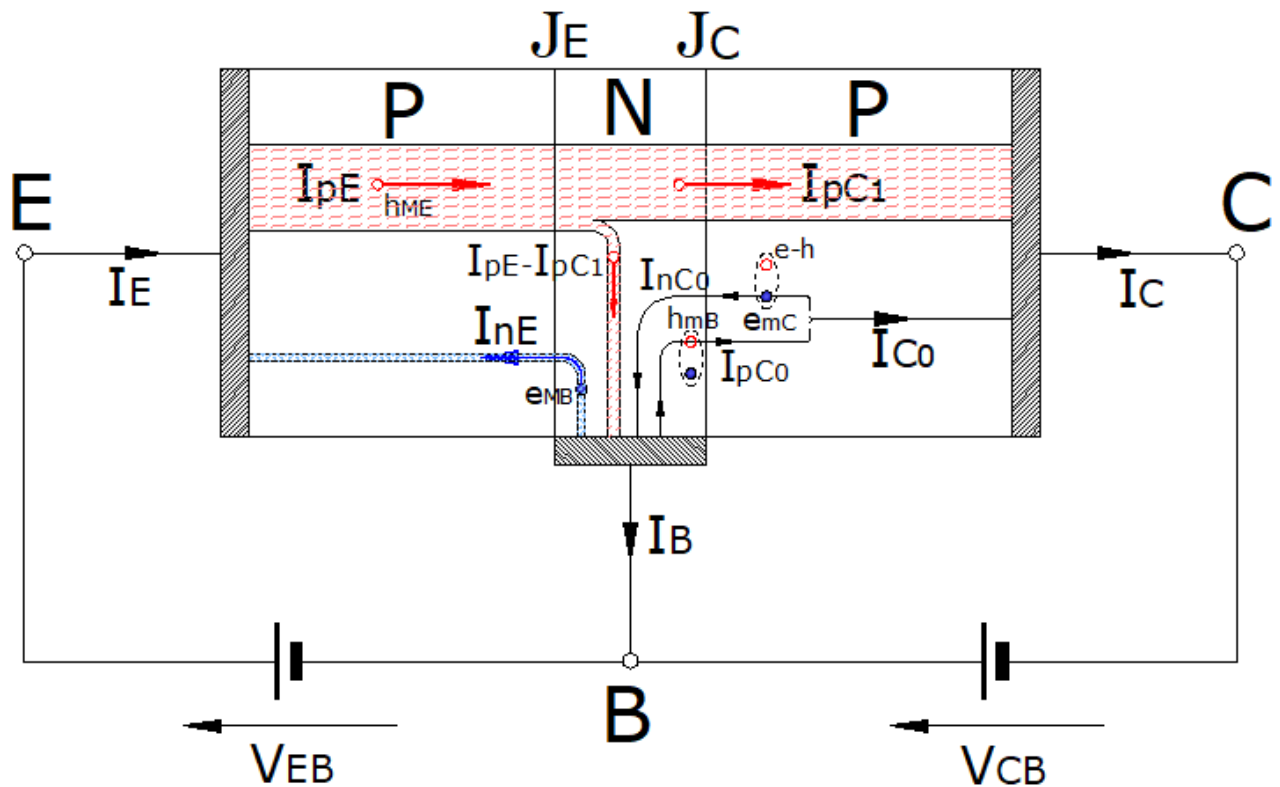
Mediciones con el tester por ej. la función de Ohmetro para el caso (a):



Para el funcionamiento del transistor hay tres características importantes:

- 1- El cristal de la BASE está menos dopado que los otros.
- 2- El cristal de BASE es mucho más delgado que el de EMISOR y COLECTOR.
- 3- La juntura de emisor siempre se polariza directamente y la de colector inversamente.

Movimiento de portadores y corrientes al ser polarizadas ambas junturas:



$I_E = I_{pE} + I_{nE}$ donde $I_{nE} \ll I_{pE}$ por estar menos dopada la base, por lo tanto despreciamos la I_{nE}

$$\Rightarrow I_E \cong I_{pE}$$

$I_C = I_{pC1} + I_{C0}$ donde $I_{C0} \ll I_{pC1}$ por lo tanto despreciable

I_{C0} es la corriente de saturación inversa de la juntura de colector (corriente de portadores minoritarios, pares e-h térmicos)

$$\Rightarrow I_C \cong I_{pC1}$$

$$I_{pC1} = \alpha \cdot I_{pE} \quad \text{con } \alpha < 1 \quad (0,95 < \alpha < 0,999)$$

$I_C = \alpha \cdot I_E$ donde α expresa la fracción de portadores mayoritarios (huecos) que salen del emisor y llegan al colector

α Representaría la ganancia de corriente en base común (A_{iB}), que en realidad es una atenuación, porque es menor que la unidad.

Ecuación general del Transistor: $I_C = \alpha \cdot I_E + I_{c0}|_T$

$$I_C = \alpha \cdot I_E + I_{c0} \cdot [1 - e^{(V_C/V_T)}]$$

$$I_B = I_E - I_C$$

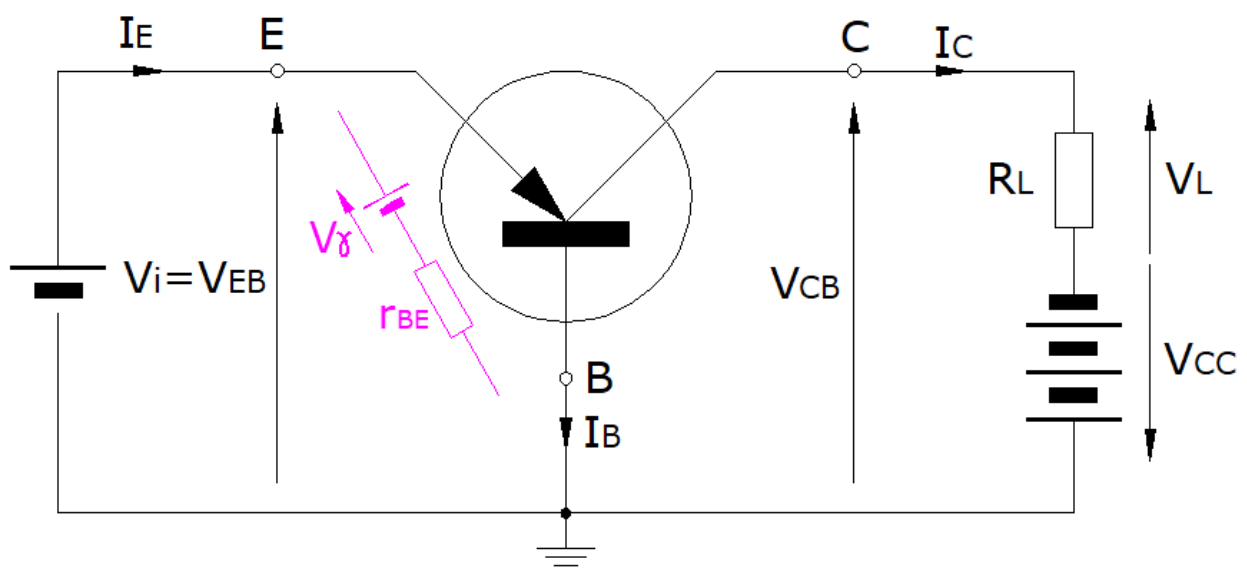
$$I_B = I_E - \alpha \cdot I_E - I_{c0} \Rightarrow I_B = (1 - \alpha) \cdot I_E - I_{c0}$$

Configuraciones

Si pensamos al transistor como un cuadripolo que posee dos bornes de entrada y dos de salida; y como este posee tres terminales uno deberá ser común a la entrada y la salida. Entonces tendremos tres configuraciones posibles:

- BASE COMÚN
- EMISOR COMÚN
- COLECTOR COMÚN

Configuración en BASE COMÚN



Si varía la tensión en la entrada $V'_{EB} = V_{EB} + \Delta V_{EB}$

También varía la corriente de entrada $I'_E = I_E + \Delta I_E$

$$\left. \begin{aligned} \Delta I_E &= \frac{\Delta V_{EB}}{r_{EB}} \\ \Delta I_C &= \alpha \cdot \Delta I_E \end{aligned} \right\} \Delta I_C = \alpha \cdot \frac{\Delta V_{EB}}{r_{EB}}$$

Como la corriente de salida depende de la de entrada, la corriente de salida varía:
 $I'_C = I_C + \Delta I_C$

y por lo tanto la tensión de salida: $\Delta V_{CB} = \Delta V_C = R_L \cdot \Delta I_C$

Llamamos ganancia de tensión a la relación del cambio de la tensión de salida respecto del cambio en la tensión de entrada: $A_{vb} = \frac{\Delta V_{CB}}{\Delta V_{EB}}$

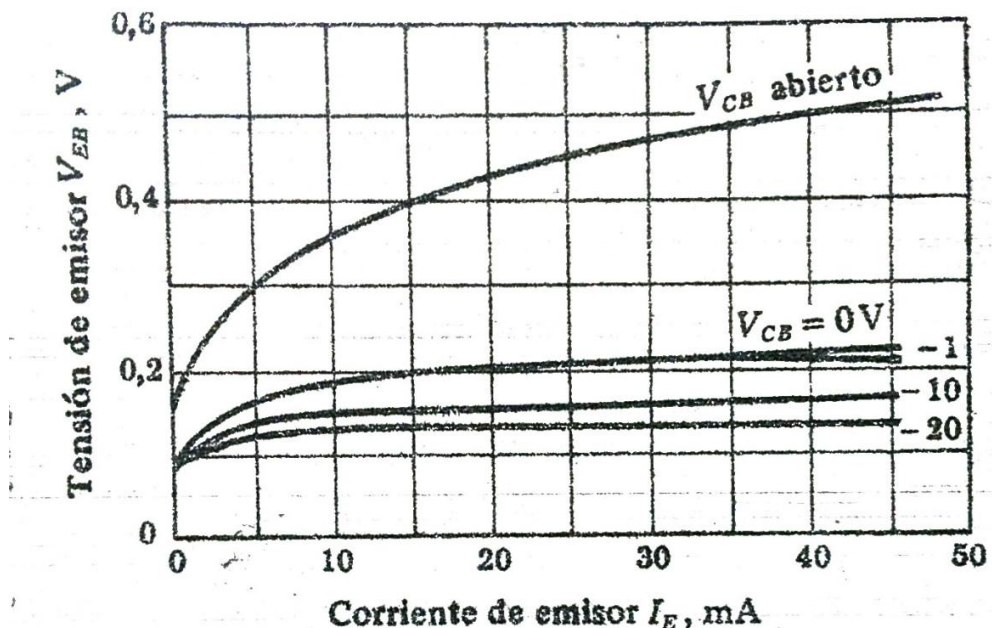
$$A_{vb} = \frac{\Delta V_{CB}}{\Delta V_{EB}} = \frac{R_L \cdot \alpha \cdot \frac{\Delta V_{EB}}{r_{EB}}}{\Delta V_{EB}} \Rightarrow$$

$$A_{vb} = \alpha \cdot \frac{R_L}{r_{EB}} \quad \text{TRANSference reSISTOR} = \text{Resistencia de Transferencia}$$

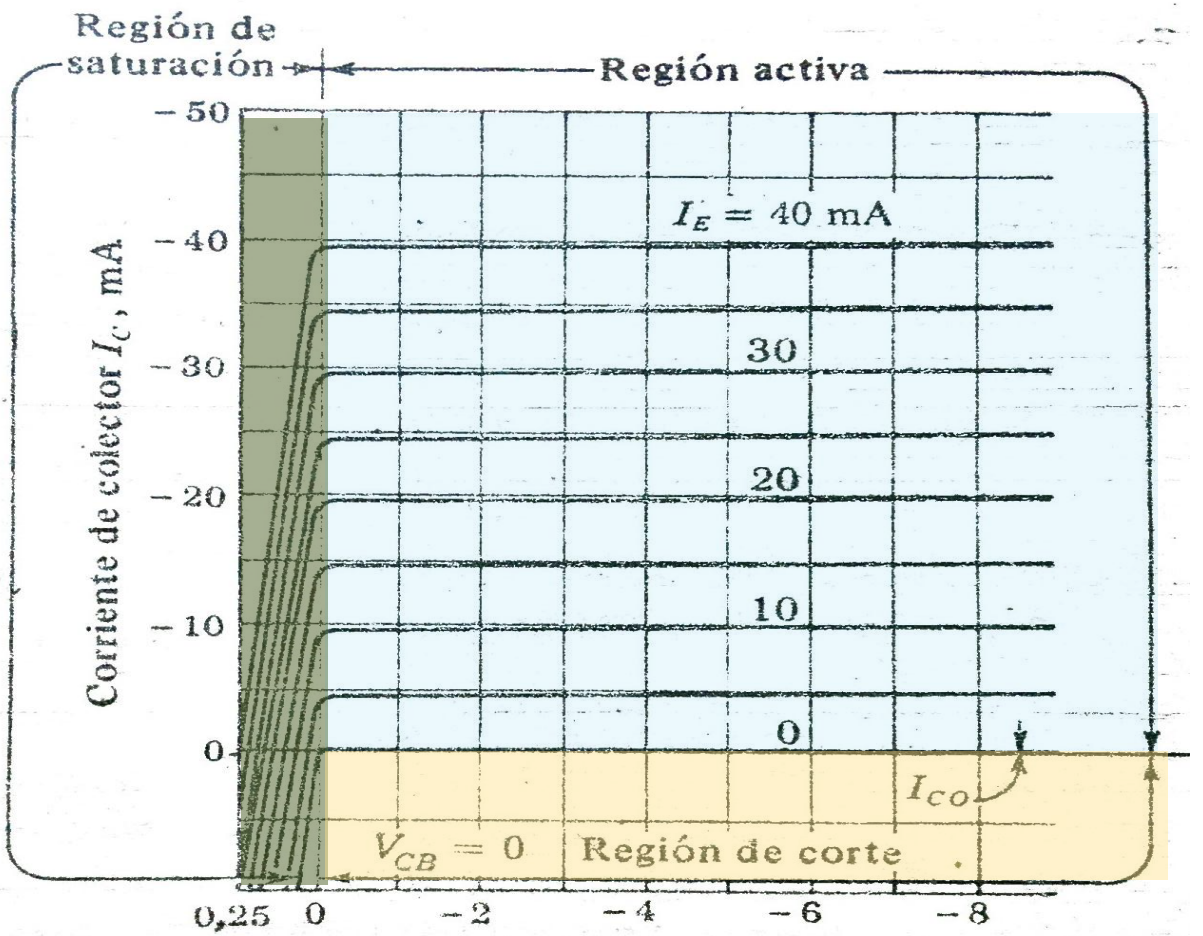
$A_{vb} \gg 1$ cuando $R_L \gg r_{BE}$

Ganancia de Potencia: $A_{pb} = A_{ib} \cdot A_{vb} = \alpha \cdot \alpha \cdot \frac{R_L}{r_{EB}} = \alpha^2 \cdot \frac{R_L}{r_{EB}}$

Curvas características del transistor



Característica de entrada en base común: $V_{EB} = f[I_E ; V_{CB}]$



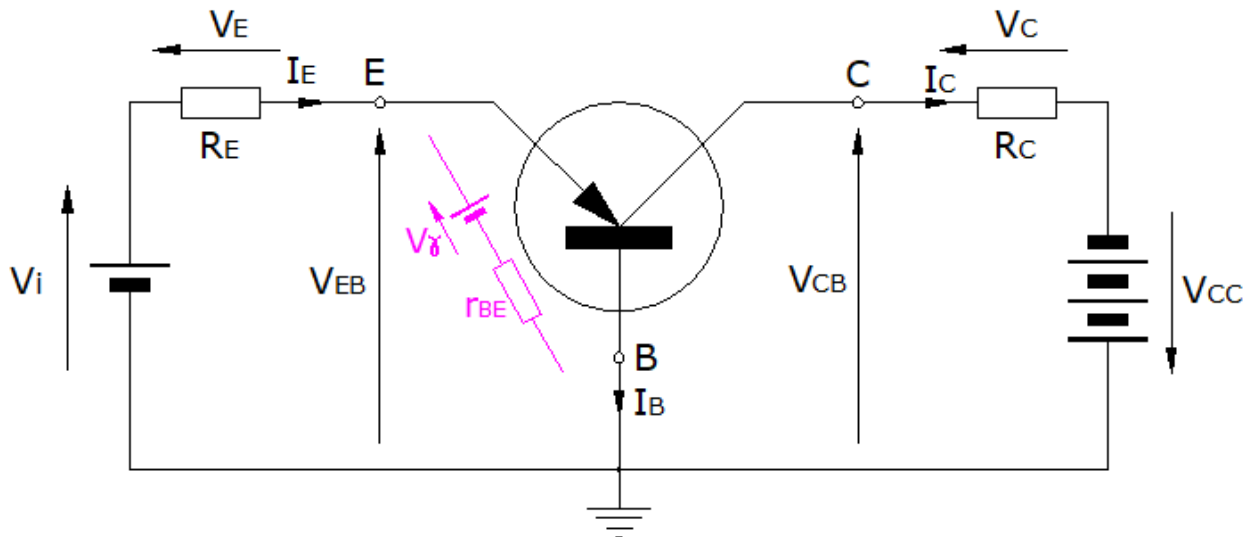
Caída de potencial entre colector y base V_{CB} , V

Característica de salida en base común: $I_C = f[V_{CB}; I_E]$

Ejemplo de funcionamiento de un transistor en base común

$$V_{\gamma} = 0,7 \text{ V}; \quad r_{BE} = 100 \, \Omega; \quad \alpha = 0,99$$

$$R_E = 50 \, \Omega; \quad R_C = 3 \text{ K}\Omega; \quad V_{CC} = 75 \text{ V}$$



Para una tensión de entrada $V_i = 3 \text{ V}$

$$I_E = \frac{V_i - V_{\gamma}}{R_E + r_{EB}} = \frac{3 - 0,7}{50 + 100} = \frac{2,3 \text{ V}}{150 \, \Omega} = 15,33 \text{ mA}$$

$$V_E = R_E \cdot I_E = 50 \, \Omega \cdot 0,01533 \text{ A} = 0,766 \text{ V}$$

$$V_{EB} = V_i - V_E = 3 - 0,766 = 2,233 \text{ V}$$

$$I_C = \alpha \cdot I_E = 0,99 \cdot 15,33 \text{ mA} = 15,18 \text{ mA}$$

$$V_C = R_C \cdot I_C = 3 \text{ K}\Omega \cdot 15,18 \text{ mA} = 45,54 \text{ V}$$

$$V_{CB} = V_C - V_{CC} = 45,54 - 75 = -29,46 \text{ V}$$

$$I_B = I_E - I_C = 15,33 - 15,18 = 0,153 \text{ mA}$$

Para una tensión de entrada $V_i = 4 \text{ V}$

$$I_E = \frac{V_i - V_{\gamma}}{R_E + r_{EB}} = \frac{4 - 0,7}{50 + 100} = \frac{3,3 \text{ V}}{150 \, \Omega} = 22 \text{ mA}$$

$$V_E = R_E \cdot I_E = 50 \, \Omega \cdot 0,022 \text{ A} = 1,1 \text{ V}$$

$$V_{EB} = V_i - V_E = 4 - 1,1 = 2,9 \text{ V}$$

$$I_C = \alpha \cdot I_E = 0,99 \cdot 22 \text{ mA} = 21,78 \text{ mA}$$

$$V_C = R_C \cdot I_C = 3 \text{ K}\Omega \cdot 21,78 \text{ mA} = 65,34 \text{ V}$$

$$V_{CB} = V_C - V_{CC} = 65,34 - 75 = -9,66 \text{ V}$$

$$I_B = I_E - I_C = 22 - 21,78 = 0,22 \text{ mA}$$

Para una variación de la tensión de entrada: $\Delta V_i = 4 - 3 = 1 \text{ V}$

En los bornes de entrada del Transistor: $\Delta V_{EB} = 2,9 - 2,233 = 0,66 \text{ V}$

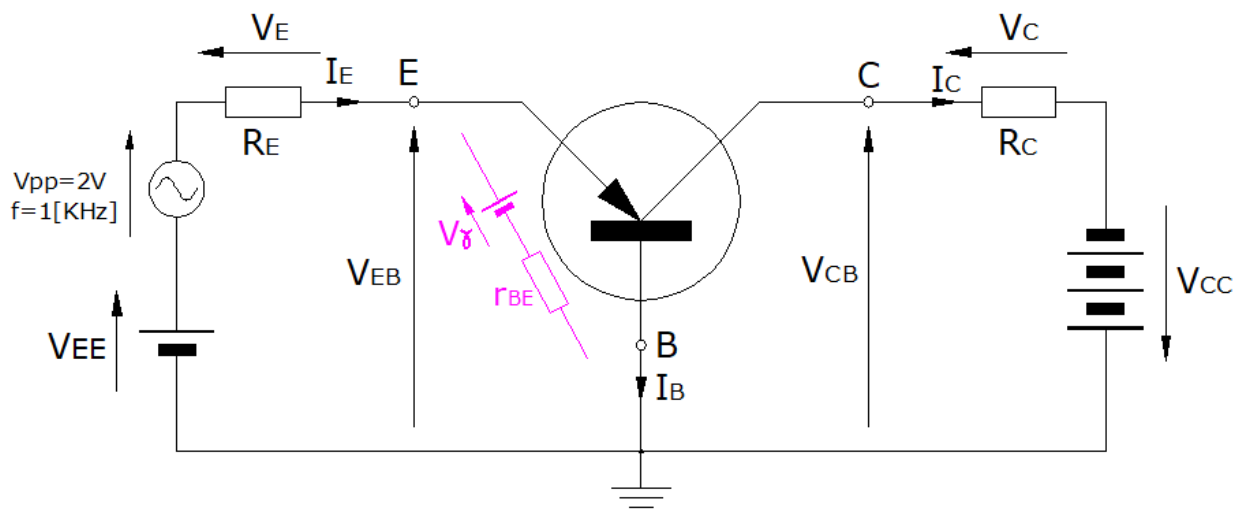
En los bornes de salida del Transistor: $\Delta V_{CB} = -9,66 - (-29,46) = 19,8 \text{ V}$

La ganancia de tensión en base común será: $A_{vB} = \frac{\Delta V_{CB}}{\Delta V_{EB}} = \frac{19,8 \text{ V}}{0,66 \text{ V}} = 29,7$

Ganancia que se podría calcular como fue demostrado:

$$A_{vb} = \alpha \cdot \frac{R_L}{r_{EB}} = 0,99 \cdot \frac{3000}{100} = 29,7$$

Ahora suponemos que la tensión de entrada está compuesta por una tensión continua de polarización $V_{EE} = 3 \text{ V}$ y una tensión alterna de 2 Vpp y 1 KHz que representa la tensión de señal que queremos amplificar.



Representar $v_{EB} = f(t)$; $v_{CB} = f(t)$ y $v_C = f(t)$

$$V_{i\max} = V_{EE} + V_p = 3 + 1 = 4 \text{ V}$$

$$V_{i\text{med}} = V_{EE} + 0 = 3 + 0 = 3 \text{ V}$$

$$V_{i\min} = V_{EE} - V_p = 3 - 1 = 2 \text{ V}$$

Faltaría el análisis de la condición de tensión de entrada mínima. Los otros ya se hicieron anteriormente.

Entonces para $V_{i\min} = 2 \text{ V}$

$$I_E = \frac{V_i - V_Y}{R_E + r_{EB}} = \frac{2 - 0,7}{50 + 100} = \frac{1,3 \text{ V}}{150 \Omega} = 8,66 \text{ mA}$$

$$V_E = R_E \cdot I_E = 50 \Omega \cdot 0,00866 \text{ A} = 0,433 \text{ V}$$

$$V_{EB} = V_i - V_E = 2 - 0,433 = 1,566 \text{ V}$$

$$I_C = \alpha \cdot I_E = 0,99 \cdot 8,66 \text{ mA} = 8,58 \text{ mA}$$

$$V_C = R_C \cdot I_C = 3 \text{ K}\Omega \cdot 8,58 \text{ mA} = 25,74 \text{ V}$$

$$V_{CB} = V_C - V_{CC} = 25,74 - 75 = -49,266 \text{ V}$$

$$I_B = I_E - I_C = 8,66 - 8,58 = 0,0866 \text{ mA}$$

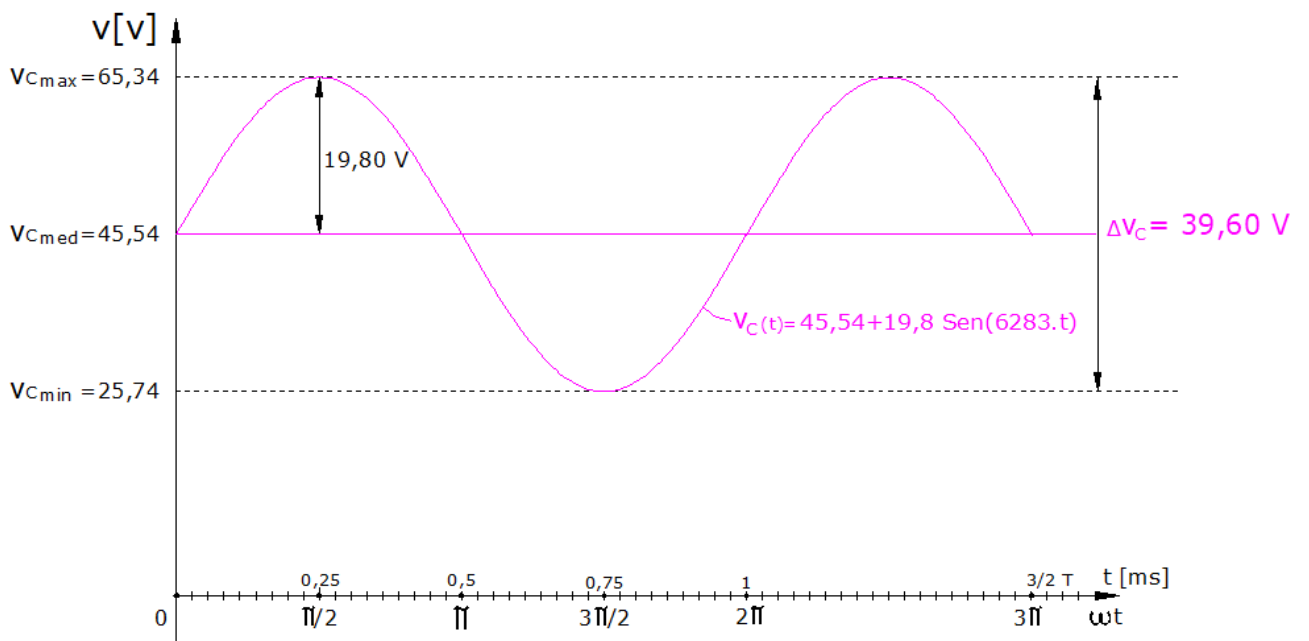
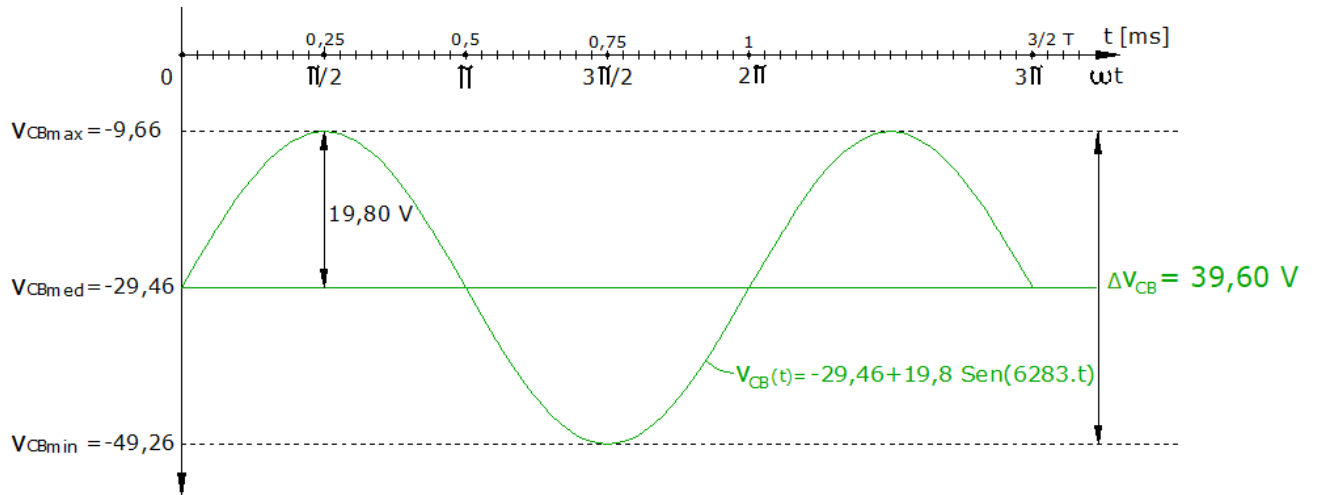
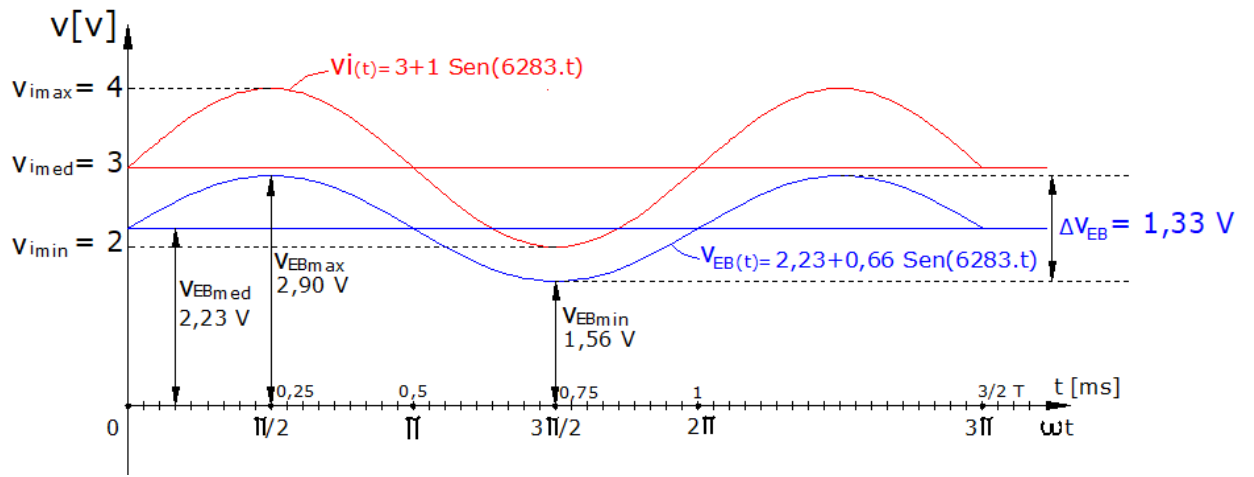
Para una variación de la tensión de entrada: $\Delta V_i = 4 - 2 = 2 \text{ V}$

En los bornes de entrada del Transistor: $\Delta V_{EB} = 2,9 - 1,566 = 1,33 \text{ V}$

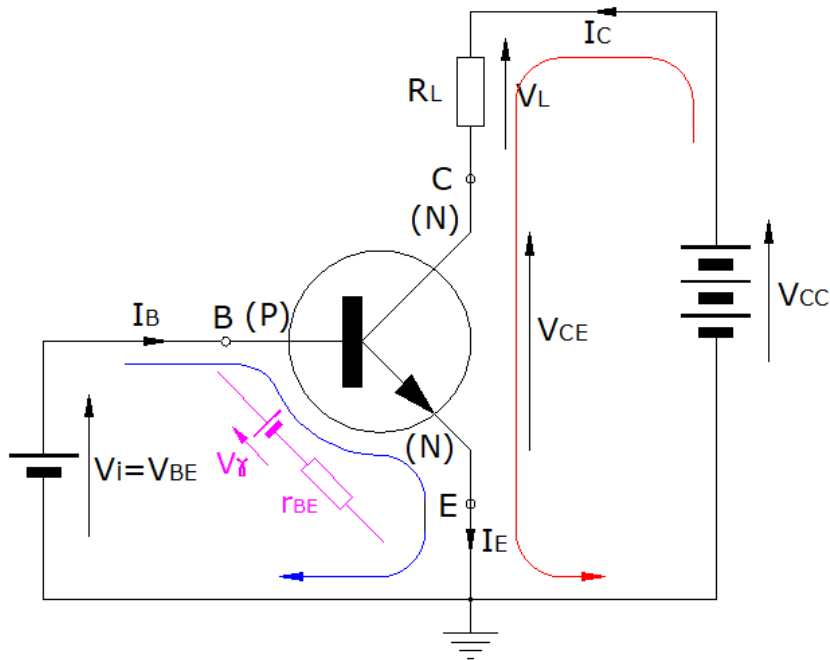
En los bornes de salida del Transistor: $\Delta V_{CB} = -9,66 - (-49,266) = 39,60 \text{ V}$

Sobre la resistencia de colector (resistencia de carga): $\Delta V_C = 65,34 - 25,74) =$
 $= 39,60 \text{ V}$

La ganancia de tensión en base común será: $A_{vB} = \frac{\Delta V_{CB}}{\Delta V_{EB}} = \frac{39,60 \text{ V}}{1,33 \text{ V}} = 29,7$



Configuración en EMISOR COMÚN



Ecuación del transistor en Emisor Común:

Considerando al transistor como un nudo $I_E = I_B + I_C$ ()

En esta configuración la corriente de entrada es I_B y la de salida I_C

Recordando la ecuación para Base Común: $I_C = \alpha \cdot I_E + I_{C0}|_T$ ()

Despejamos I_E para reemplazarla en ():

$$I_E = \frac{I_C - I_{C0}}{\alpha}$$

$$\frac{I_C - I_{C0}}{\alpha} = I_B + I_C \Rightarrow I_C - I_{C0} = \alpha \cdot (I_B + I_C) \Rightarrow I_C - I_{C0} = \alpha \cdot I_B + \alpha \cdot I_C$$

$$I_C - \alpha \cdot I_C = \alpha \cdot I_B + I_{C0} \Rightarrow I_C(1 - \alpha) = \alpha \cdot I_B + I_{C0} \Rightarrow$$

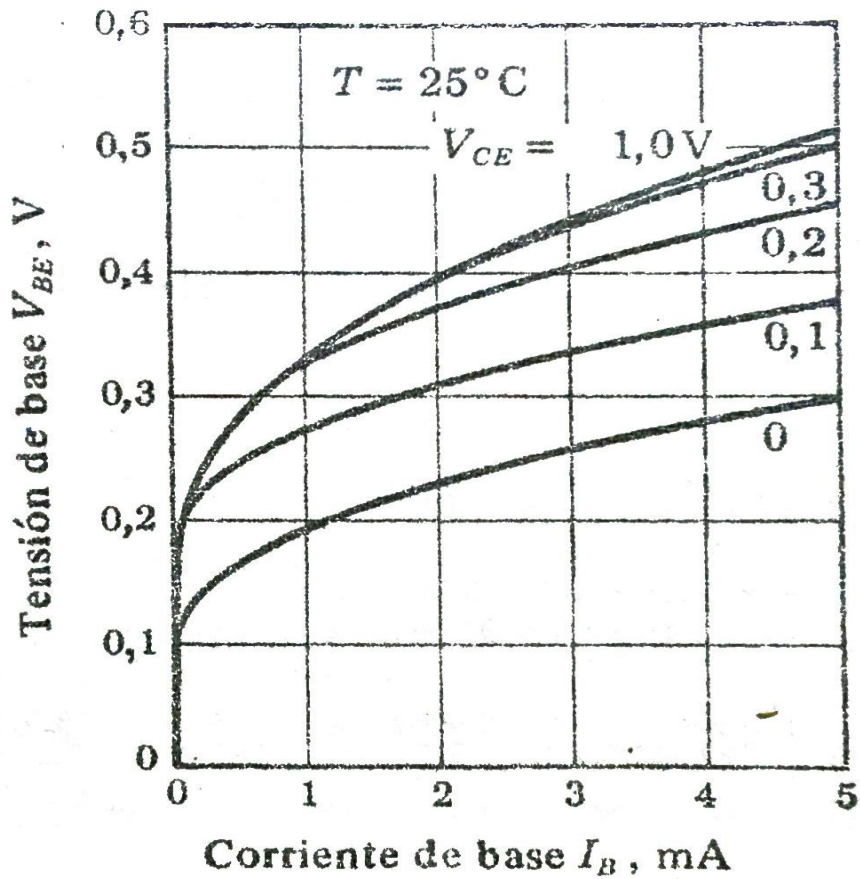
$$I_C = \frac{\alpha}{(1 - \alpha)} \cdot I_B + \frac{1}{(1 - \alpha)} \cdot I_{C0}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B + (\beta + 1) \cdot I_{C0}$$

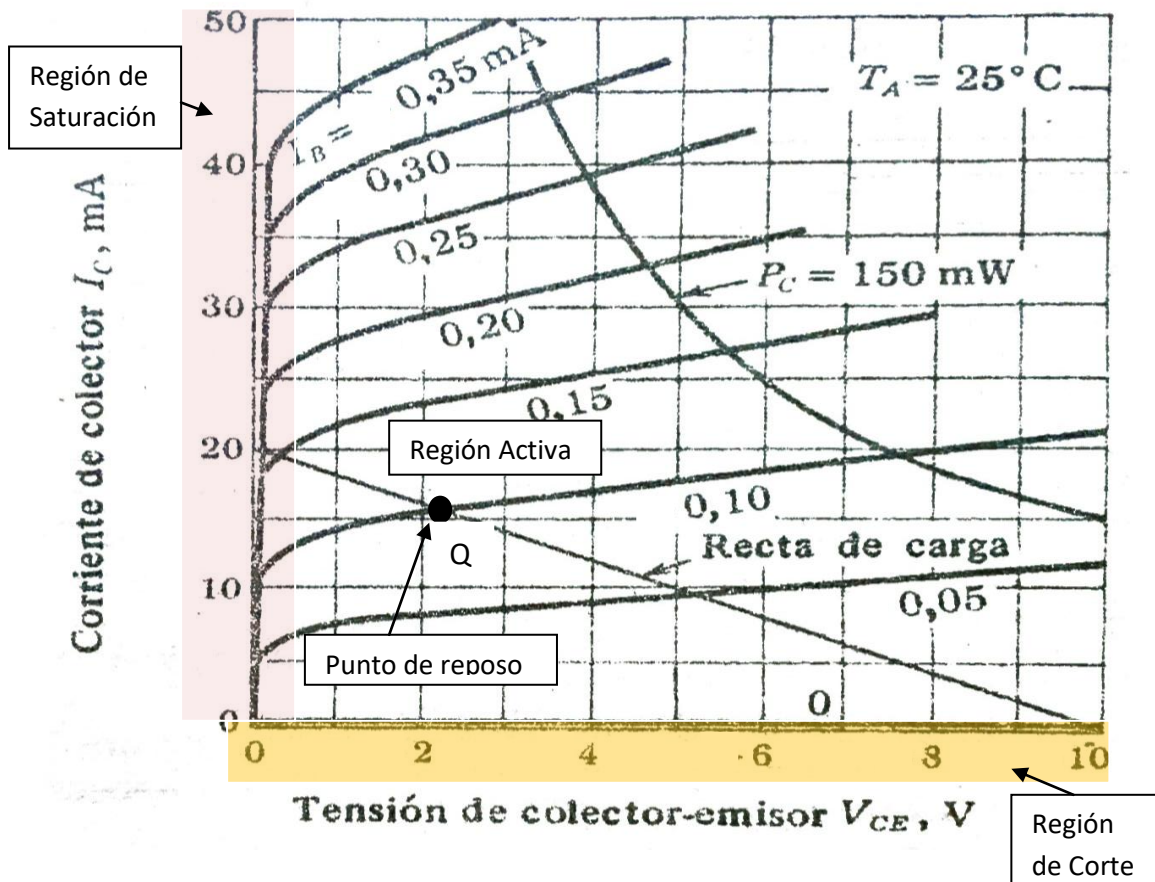
Con $\beta = \frac{\alpha}{(1 - \alpha)}$ ganancia de corriente en Emisor Común

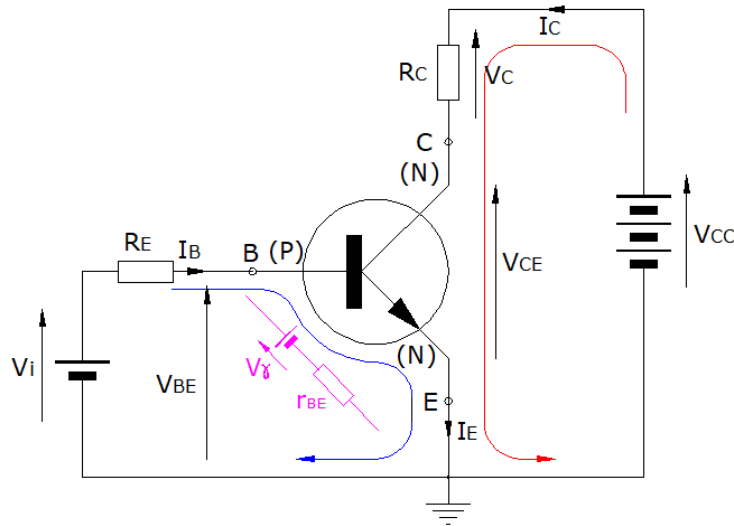
Por ej., para el transistor utilizado anteriormente con $\alpha = 0,99$, el $\beta = \frac{0,99}{(1 - 0,99)} = 99$

Característica de entrada en emisor común: $V_{BE} = f[I_B ; V_{CE}]$



Característica de salida en emisor común: $I_C = f[V_{CE} ; I_B]$





$V_i = 4 \text{ V}$; $R_E = 12 \text{ K}\Omega$; $R_C = 300 \Omega$
 ; $V_{CC} = 12 \text{ V}$;

$\beta = 100$; $V_\gamma = 0,7 \text{ V}$; $r_{BE} = 100 \Omega$

$$I_B = \frac{V_i - V_\gamma}{R_E + r_{BE}} = \frac{4 - 0,7}{12000 + 100} = \frac{3,3 \text{ V}}{12,1 \text{ K}\Omega} = 0,273 \text{ mA} = 273 \mu\text{A}$$

$$V_E = I_B \cdot R_E = 0,273 \text{ mA} \cdot 12 \text{ K}\Omega = 3,274 \text{ V}$$

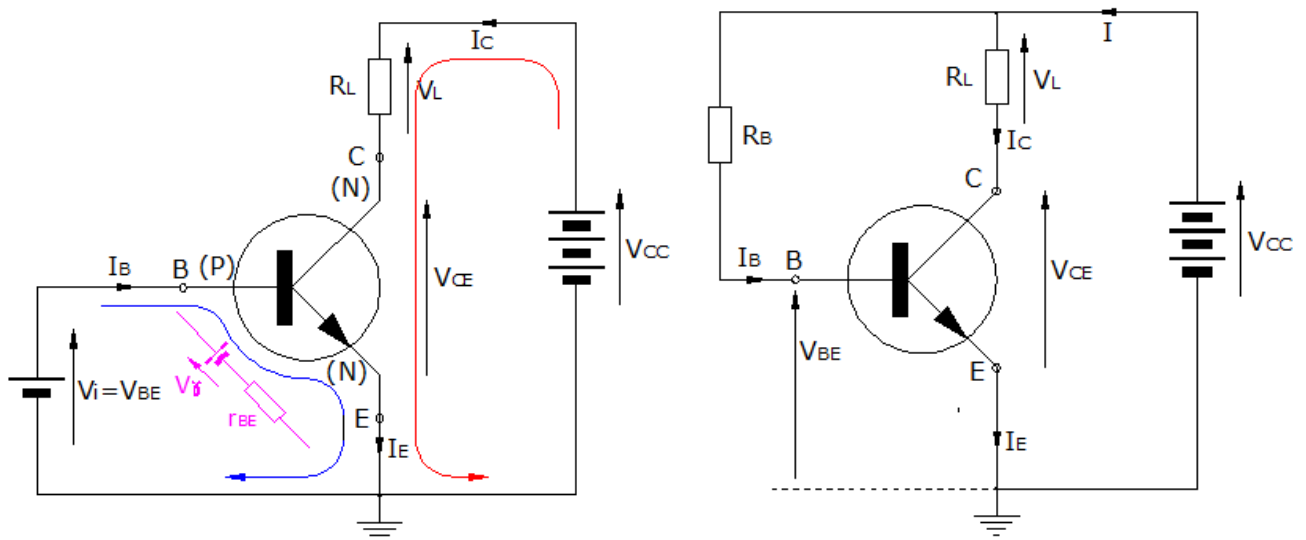
$$V_{BE} = V_i - V_E = 4 - 3,274 = 0,727 \text{ V}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 100 \cdot 0,273 \text{ mA} = 27,3 \text{ mA}$$

$$V_C = I_C \cdot R_C = 0,273 \text{ A} \cdot 300 \Omega = 8,18 \text{ V}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - V_C = 12 - 8,18 = 3,82 \text{ V}$$

Autopolarización



$V_{CC} = 30 \text{ V}$; $R_C = 5 \text{ K}\Omega$; $R_B = 1 \text{ M}\Omega$; $\beta = 160$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_Y}{R_B - r_{BE}} \text{ pero despreciando } r_{BE} \Rightarrow I_B \cong \frac{V_{CC} - V_Y}{R_B}$$

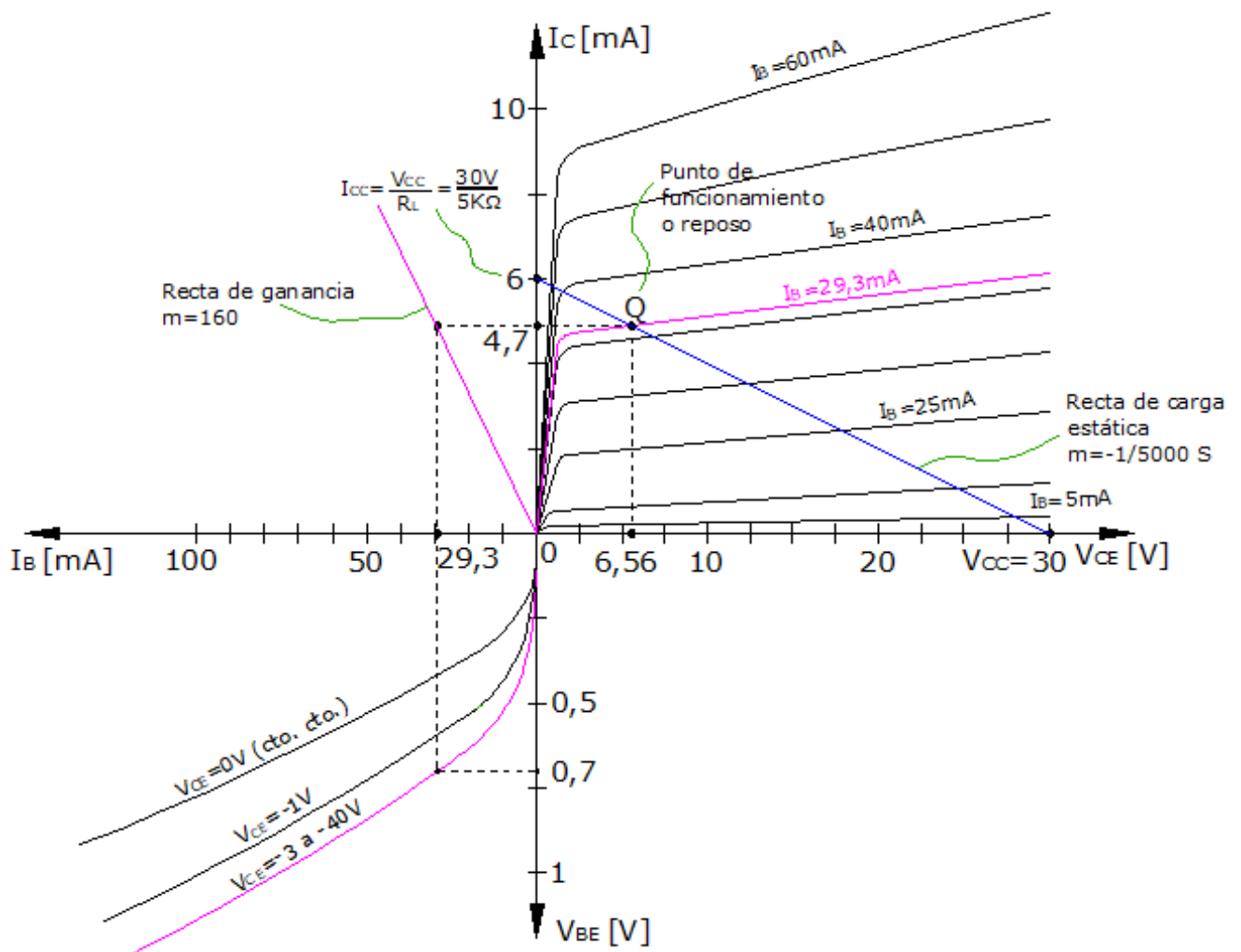
$$I_B = \frac{(30 - 0,7) V}{1 M\Omega} = \frac{29,3 V}{1 M\Omega} = 29,3 \mu A$$

$$V_{BE} \cong 0,7 V$$

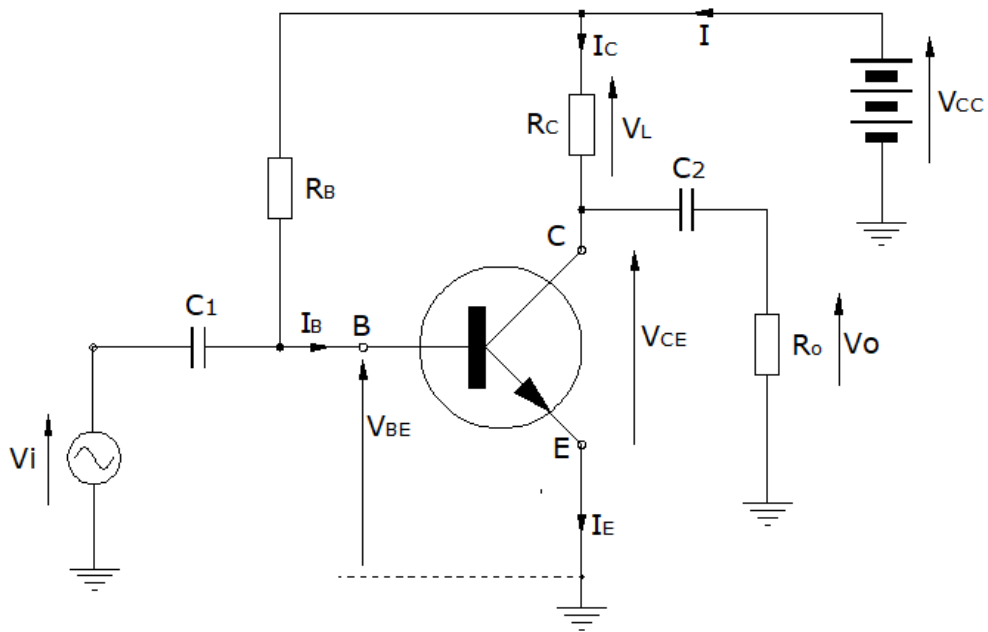
$$I_C \cong \beta \cdot I_B \text{ despreciando } I_{C0} \Rightarrow I_C = 160 \cdot 29,3 \mu A \Rightarrow I_C = 4,688 mA$$

$$V_L = I_C \cdot R_L = 4,688 mA \cdot 5 K\Omega = 23,44 V$$

$$V_{CE} = V_{CC} - V_L = 30 - 23,44 \Rightarrow V_{CE} = 6,56 V$$



Circuito amplificador Básico en Emisor Común

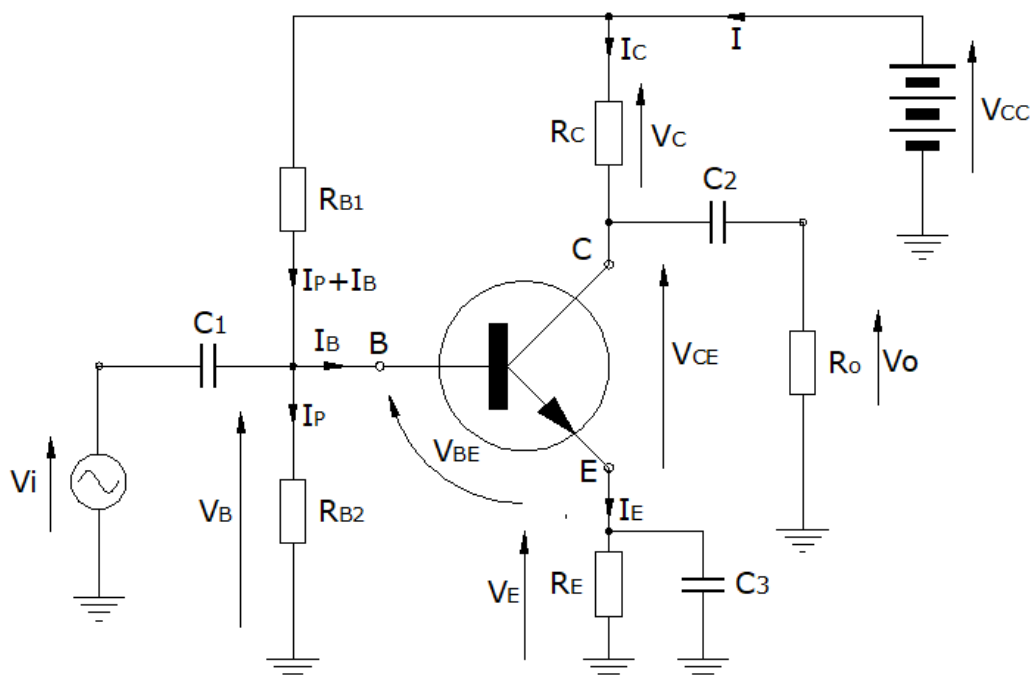


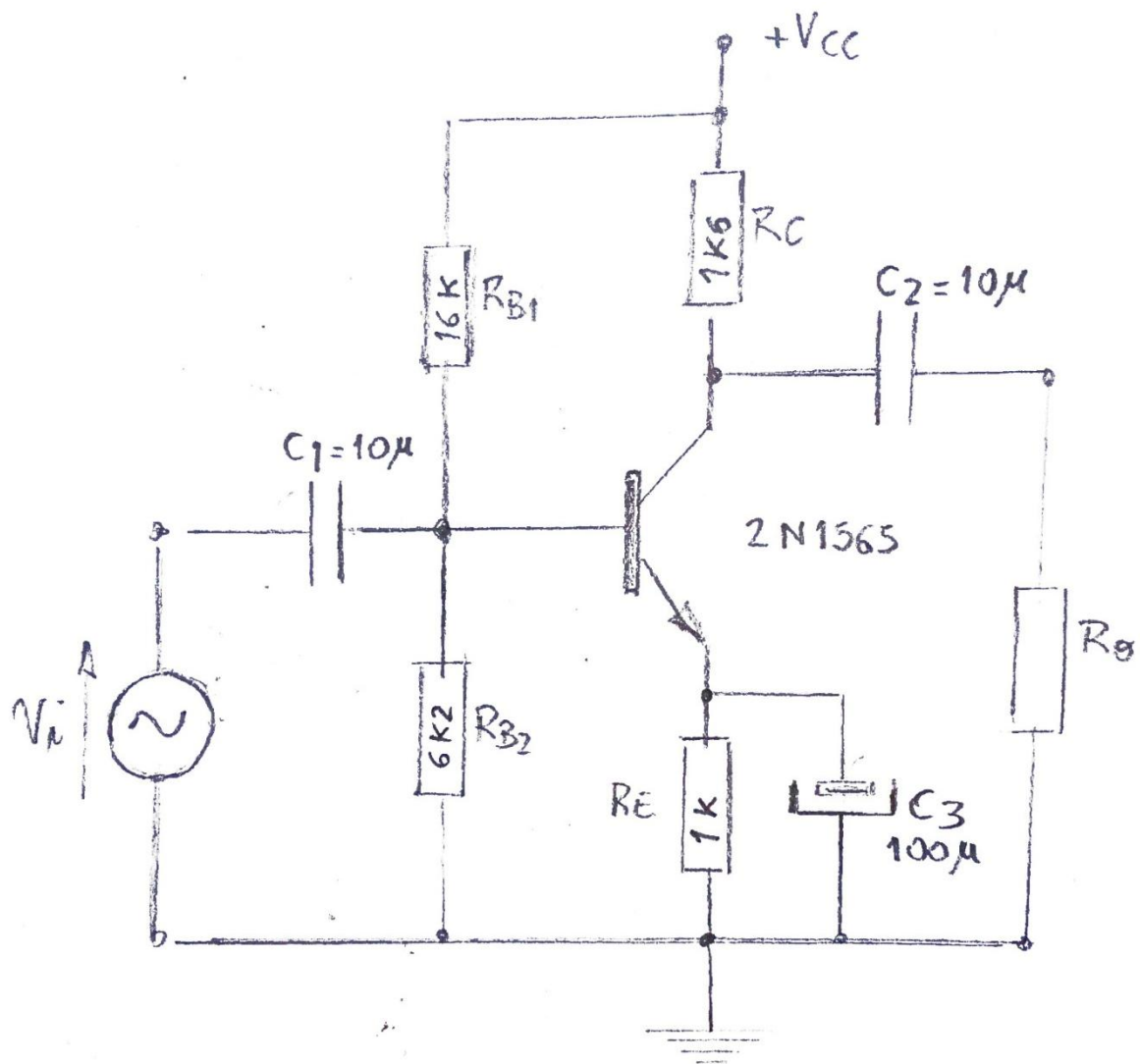
Los capacitores C_1 y C_2 son capacitores de ACOPLAMIENTO, bloquean la corriente continua hacia la fuente y hacia la carga.

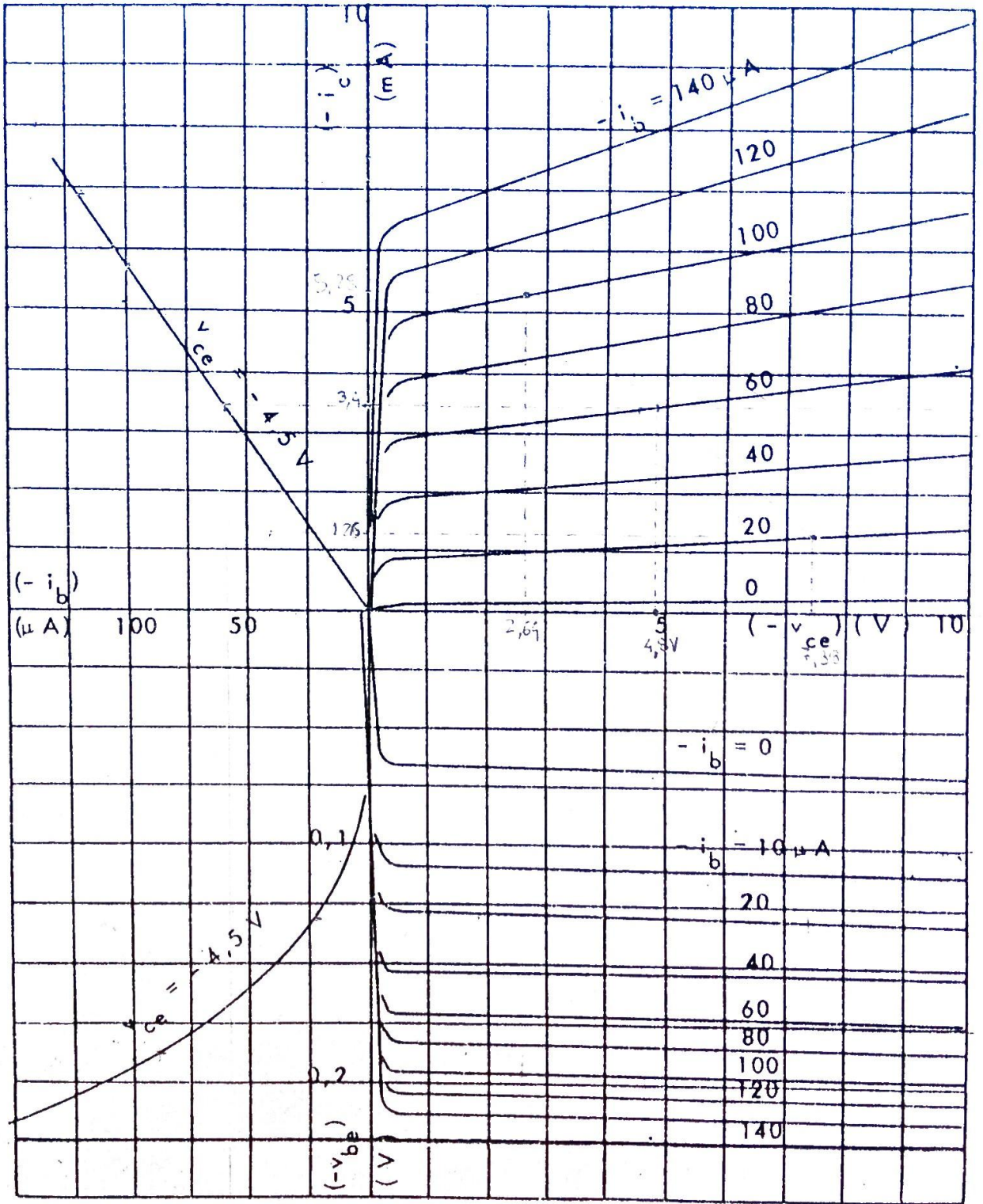
R_{B1} y R_{B2} constituye un PUNTE DIVISOR POTENCIOMÉTRICO cuyo objetivo es hacer invariable la tensión de reposo de polarización de base. Para este cometido la corriente del puente debe ser bastante mayor que la corriente de base ($I_P \approx 10 \cdot I_B$).

La R_E es una resistencia de ESTABILIDAD TÉRMICA del transistor en esta configuración, del valor más bajo posible, que evita el enalamiento térmico del mismo.

C_3 es un capacitor de DESACOPLO, deriva la corriente alterna amplificada evitando que sea atenuada por R_E .







0,0345 V/cm
 FIG. 4.26 a

EL TRANSISTOR EN BAJAS SEÑALES

