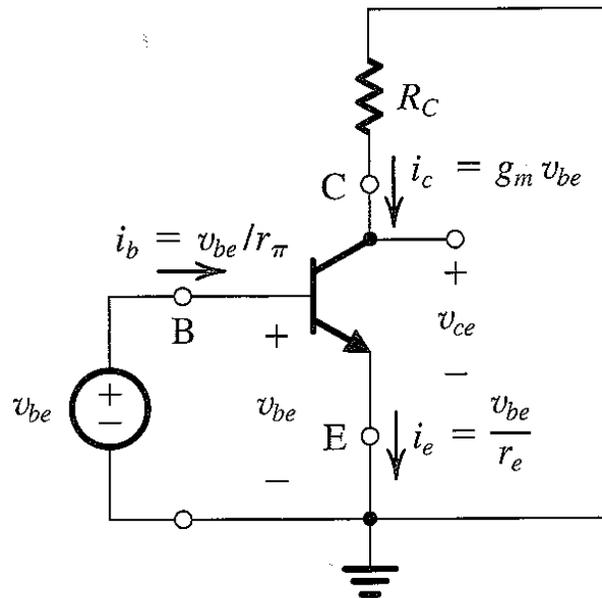
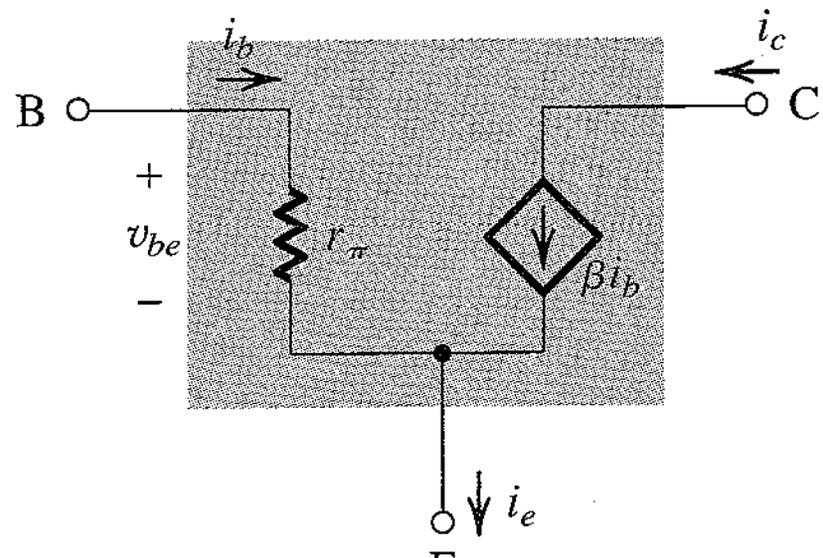
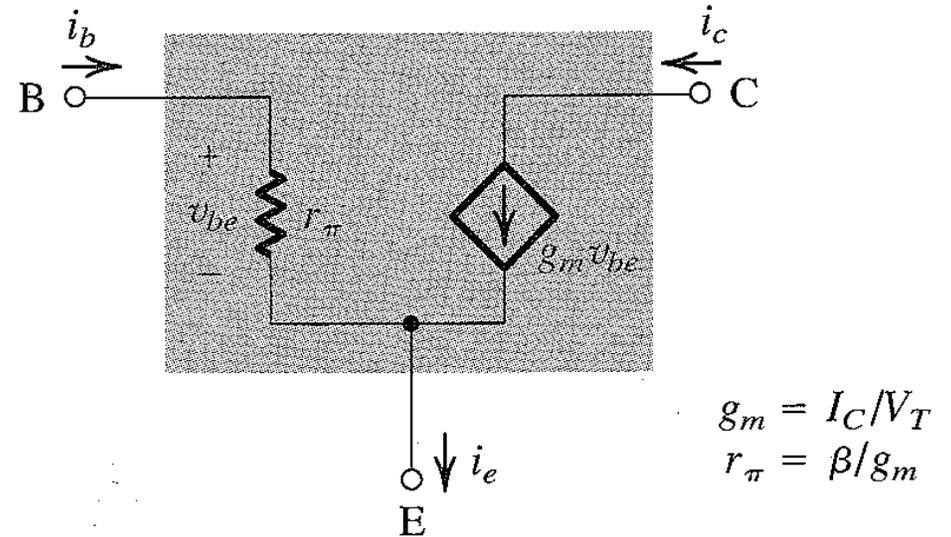


# MODELOS DE PEQUEÑA SEÑAL: EL MODELO HÍBRIDO $\pi$

Se eliminan las fuentes DC



El modelo también aplica para transistores pnp sin cambio de polaridades



## CORRIENTE DE EMISOR Y RESISTENCIA DE ENTRADA POR EL EMISOR

$$i_E = \frac{i_C}{\alpha} = \frac{I_C}{\alpha} + \frac{i_c}{\alpha} \quad i_E = I_E + i_e \quad i_e = \frac{i_c}{\alpha} = \frac{I_C}{\alpha V_T} v_{be} = \frac{I_E}{V_T} v_{be}$$

La resistencia de entrada por el emisor en el modelo de pequeña señal se define

$$r_e \equiv \frac{v_{be}}{i_e} \quad r_e = \frac{V_T}{I_E}$$

Recordando que  $g_m = \frac{I_C}{V_T}$

$$r_e = \frac{\alpha}{g_m} \approx \frac{1}{g_m}$$

Para hallar la relación entre  $r_\pi$  y  $r_e$   
Por lo tanto:

$$v_{be} = i_b r_\pi = i_e r_e$$

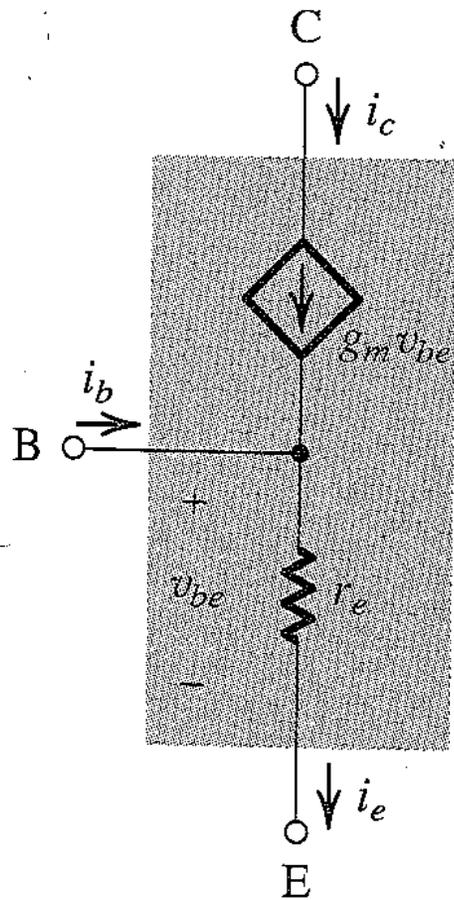
$$r_\pi = (i_e / i_b) r_e$$

$$r_\pi = (\beta + 1) r_e$$

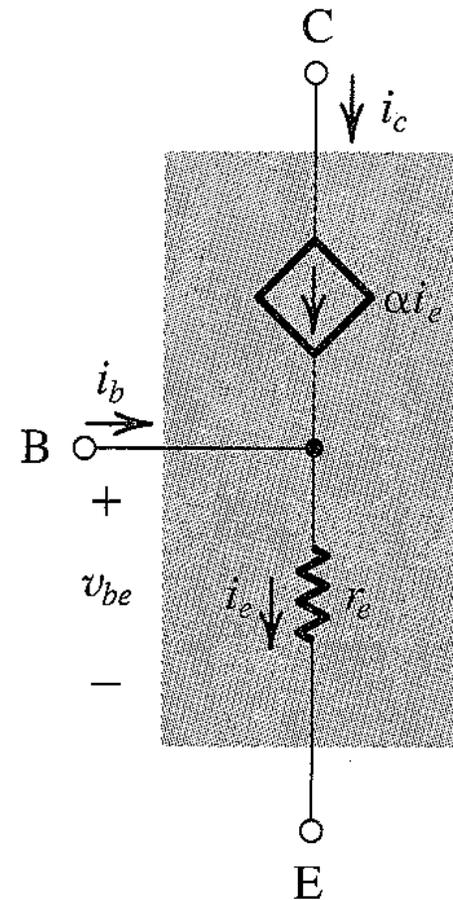
# MODELOS DE PEQUEÑA SEÑAL: EL MODELO T

Se eliminan las fuentes DC

Este modelo muestra explícitamente la resistencia de emisor  $r_e$  en lugar de la resistencia de base  $r_\pi$



$$g_m = I_C / V_T$$
$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{\alpha}{g_m}$$



## **APLICACIÓN DE LOS MODELOS EQUIVALENTES DE PEQUEÑA SEÑAL**

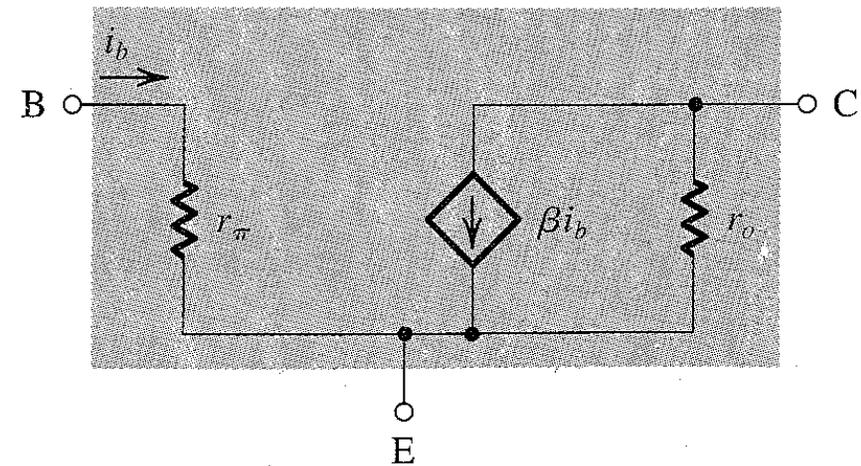
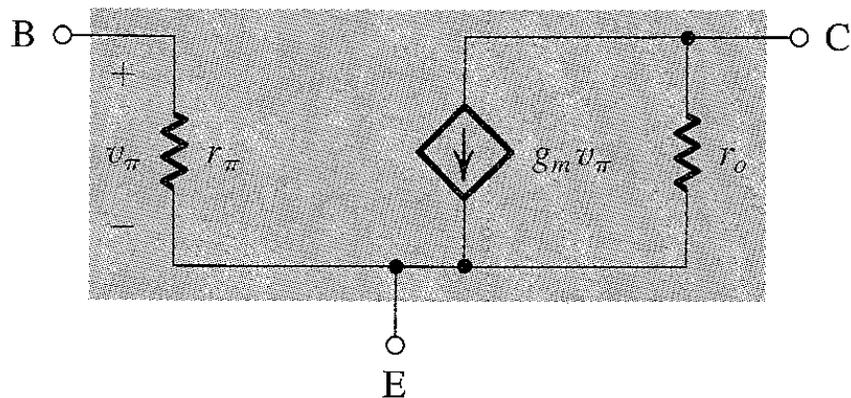
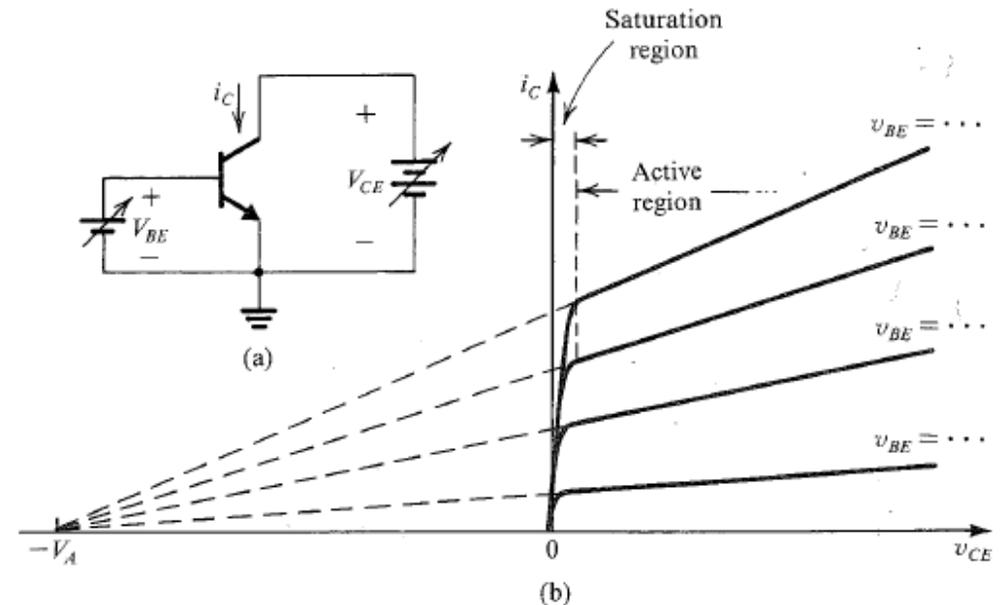
- 1.- Determinar el punto de operación del BJT considerando solo las fuentes DC.
- 2.- Calcular los valores de los parámetros de pequeña señal:  $g_m$ ,  $r_\pi$ ,  $r_e$
- 3.- Elimine las fuentes DC sustituyendo las fuentes de voltaje por un cortocircuito y las fuentes de corriente por un circuito abierto.
- 4.- Reemplace el BJT por uno de sus modelos de pequeña señal.
- 5.- Resuelva el circuito para obtener las variables deseadas.

# EL EFECTO EARLY EN LOS MODELOS DE PEQUEÑA SEÑAL

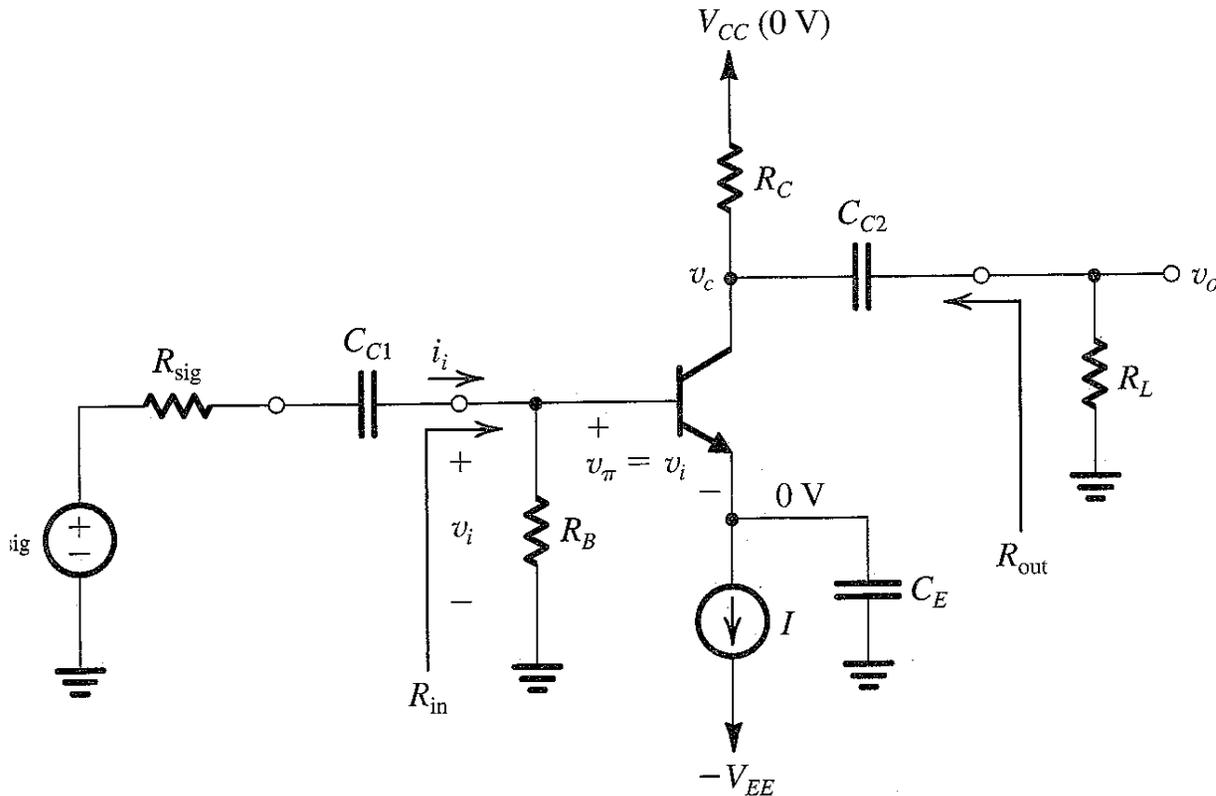
La corriente de colector  $I_C$  también depende de  $v_{CE}$

La relación entre  $I_C$  y  $v_{CE}$  es una resistencia cuyo valor es  $(V_A + V_{CE})/I_C \approx V_A/I_C$

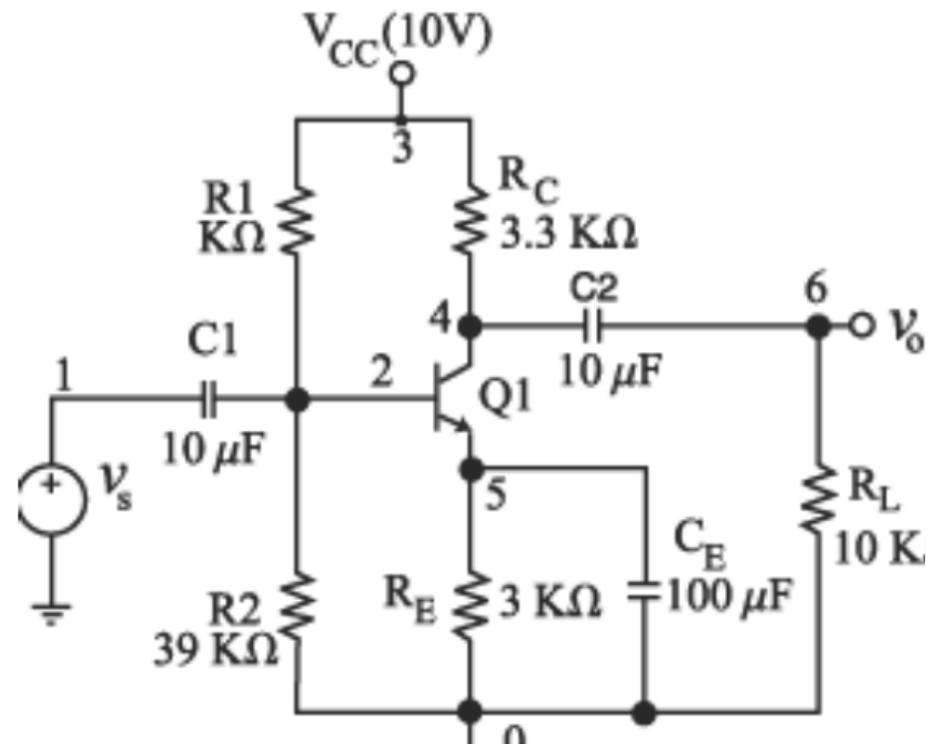
Esta resistencia se coloca en los modelos entre C y E



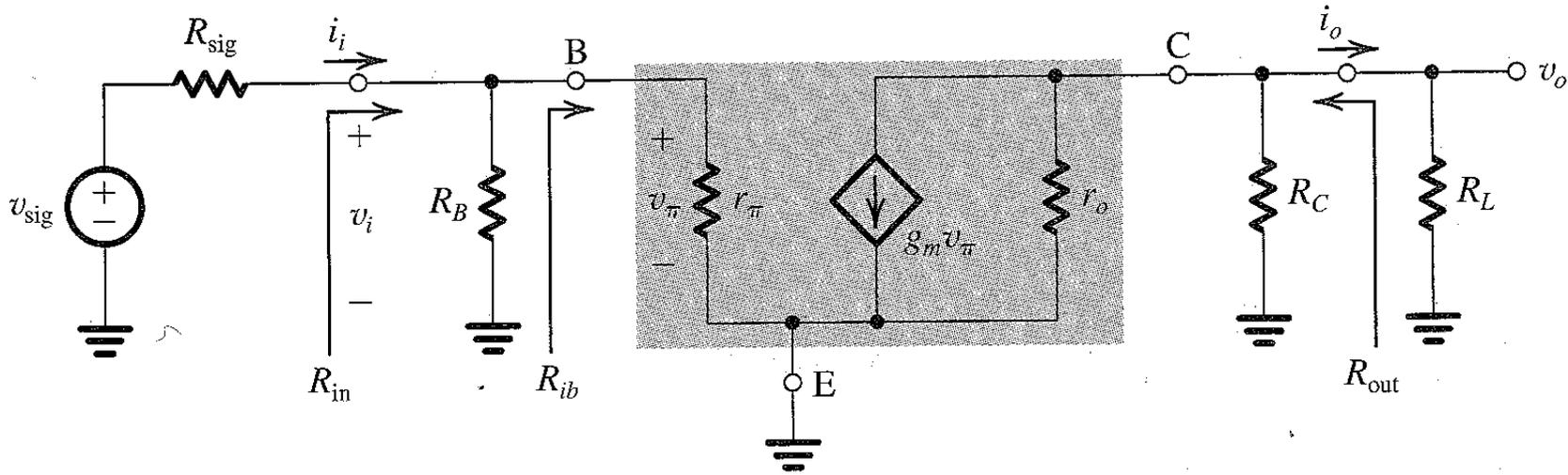
## CONFIGURACIÓN EMISOR COMÚN



**¿Para qué son los condensadores?**  
Para acoplamiento de las señales AC



# MODELO EQUIVALENTE AC UNA VEZ CALCULADO EL PUNTO DE OPERACIÓN



**Resistencia  
de entrada**

$$R_{in} \equiv \frac{v_i}{i_i} = R_B \parallel R_{ib}$$

$$R_{ib} = r_{\pi}$$

$$R_{in} \cong r_{\pi}$$

**Voltaje de entrada al amplificador**

$$v_{\pi} = v_i$$

$$v_i = v_{sig} \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{sig}} = v_{sig} \frac{(R_B \parallel r_{\pi})}{(R_B + r_{\pi}) + R_{sig}} \cong v_{sig} \frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + R_{sig}}$$

**En la salida**  $v_o = -g_m v_\pi (r_o \parallel R_C \parallel R_L)$

**Si  $v_i = v_\pi$**   $A_v = -g_m (r_o \parallel R_C \parallel R_L)$

**Si la carga no está conectada**  $A_{vo} = -g_m (r_o \parallel R_C)$

**Resistencia de salida**  $R_{out} = R_C \parallel r_o$

**La ganancia cuando se conecta una  $R_L$  específica**  $A_v = A_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_o}$

## **CONCLUSIONES SOBRE LA CONFIGURACIÓN EMISOR COMÚN**

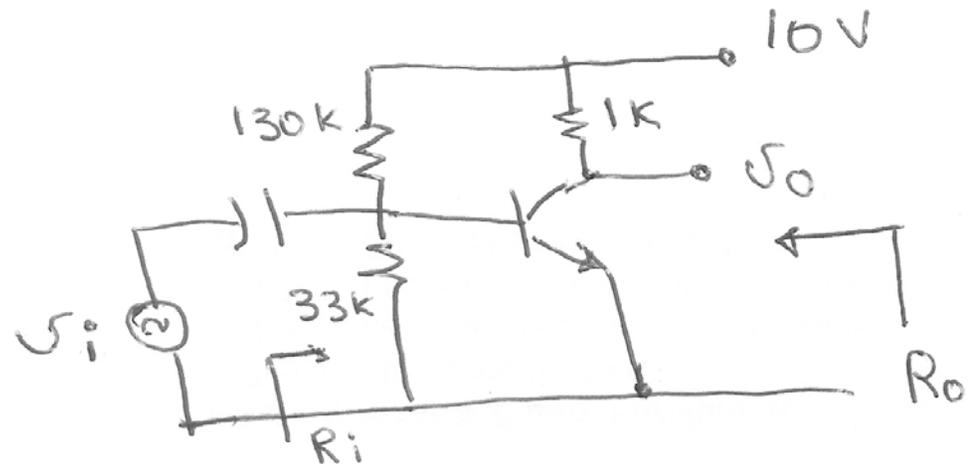
**El emisor común tiene altas ganancias de voltaje  $A_v$   
pero la resistencia de entrada  $R_{in}$  es baja  
y la resistencia de salida  $R_{out}$  es relativamente alta**

## EJEMPLO DE ANÁLISIS DE LA CONFIGURACIÓN EMISOR COMÚN

En el siguiente amplificador, calcule  $A_v$ ,  $R_i$  y  $R_o$ .

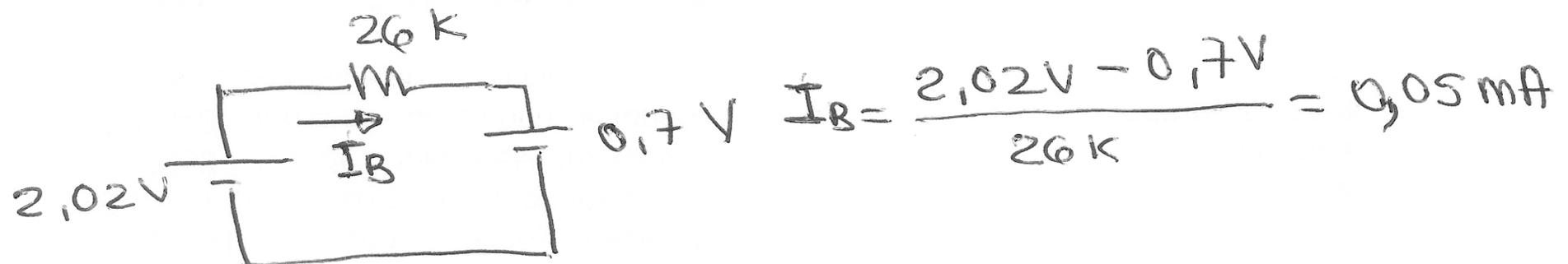
$$\beta = 100, V_{BE} = 0,7V$$

**Polarización**



$$V_{BB} = \frac{33k}{33k + 130k} \times 10V = 2,02V$$

$$R_B = 33k \parallel 130k = 26,3k$$

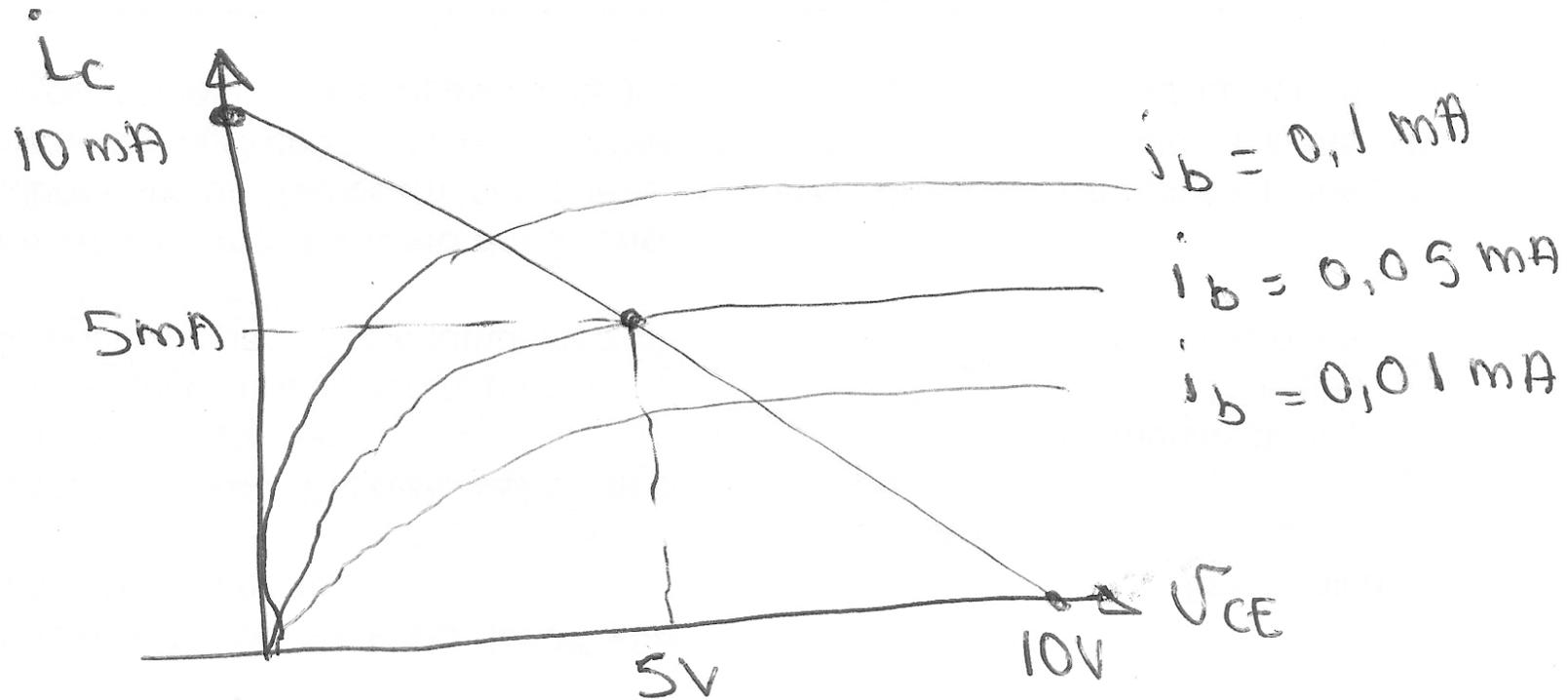


$$I_C = \beta I_B = 100 \times 0,05 \text{ mA} = 5 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = 10 \text{ V} - 5 \text{ mA} \times 1 \text{ k} = 5 \text{ V}$$

$$V_{CEQ} = 5 \text{ V}$$

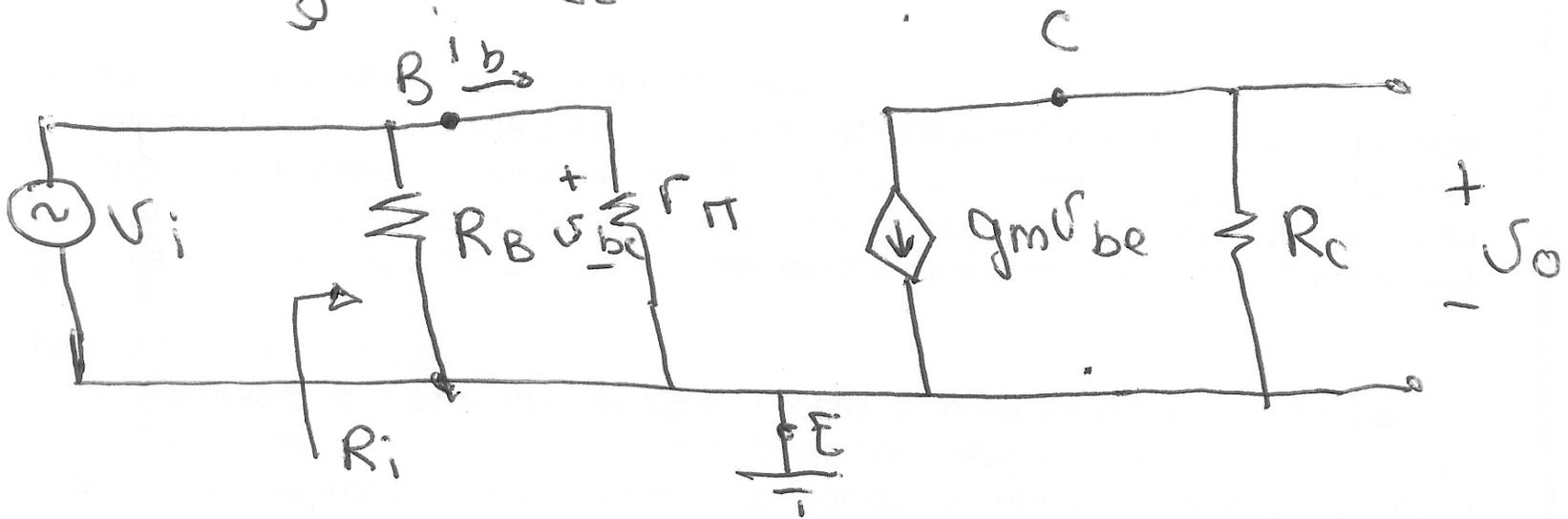
$$I_{CQ} = 5 \text{ mA}$$



## Análisis de pequeña señal. Modelo $\pi$

$$g_m = \frac{I_c}{V_T} = \frac{5 \text{ mA}}{25 \text{ mV}} = \frac{0,005 \text{ A}}{0,025 \text{ V}} = 0,2 \frac{1}{\Omega}$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{0,2 \frac{1}{\Omega}} = 500 \Omega$$



## Ganancia de voltaje

$$V_o = -g_m V_{be} R_c =$$

$$= -0,2 \frac{1}{\Omega} \cdot 1000 \Omega V_{be} = -200 V_{be}$$

$$V_i = V_{be}$$

$$V_o = -200 V_i$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -200$$

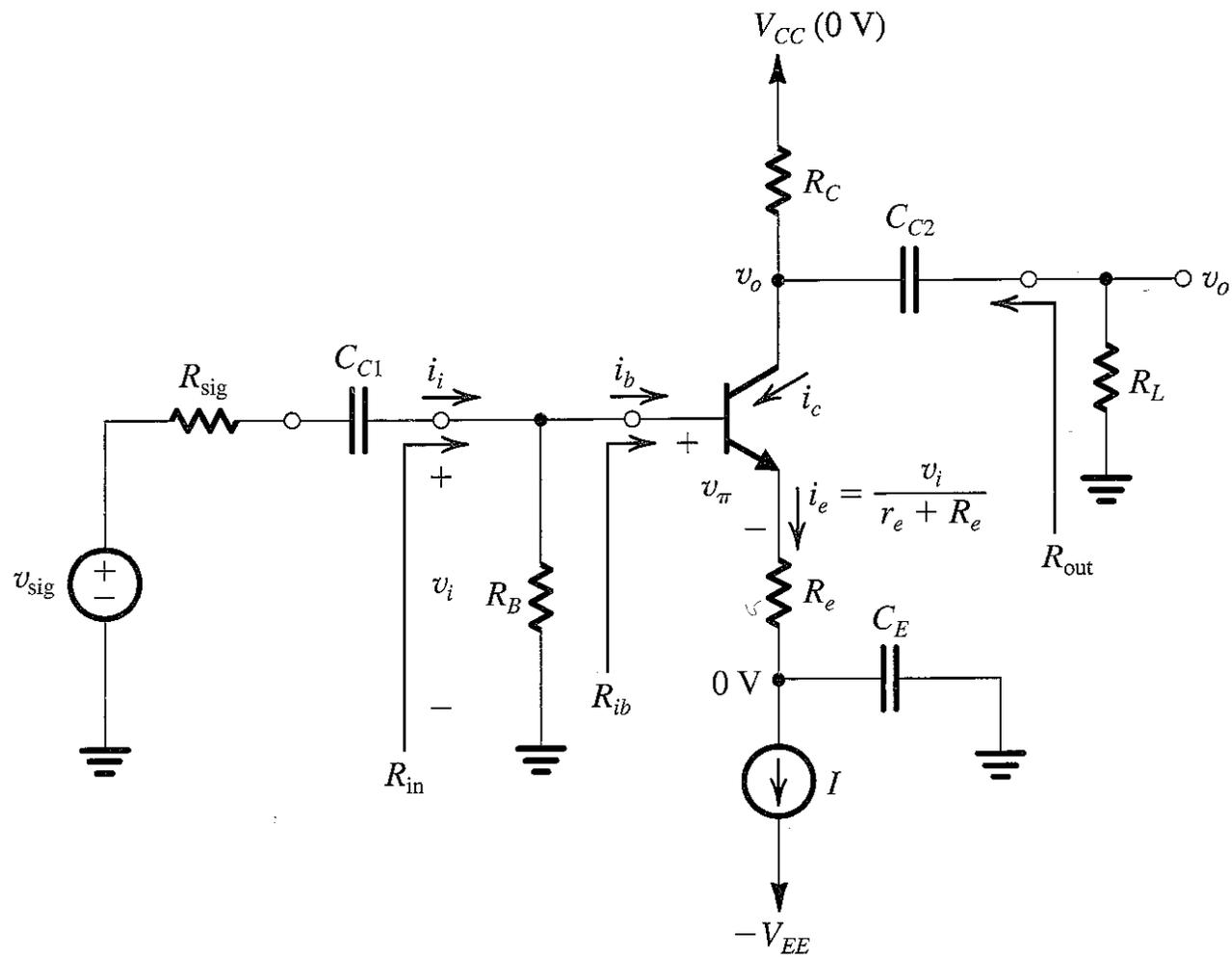
Si en lugar de la fuente  $g_m V_{be}$  se coloca  $\beta i_b$  resulta:

$$V_o = -\beta i_b R_c = -\beta 1k i_b$$

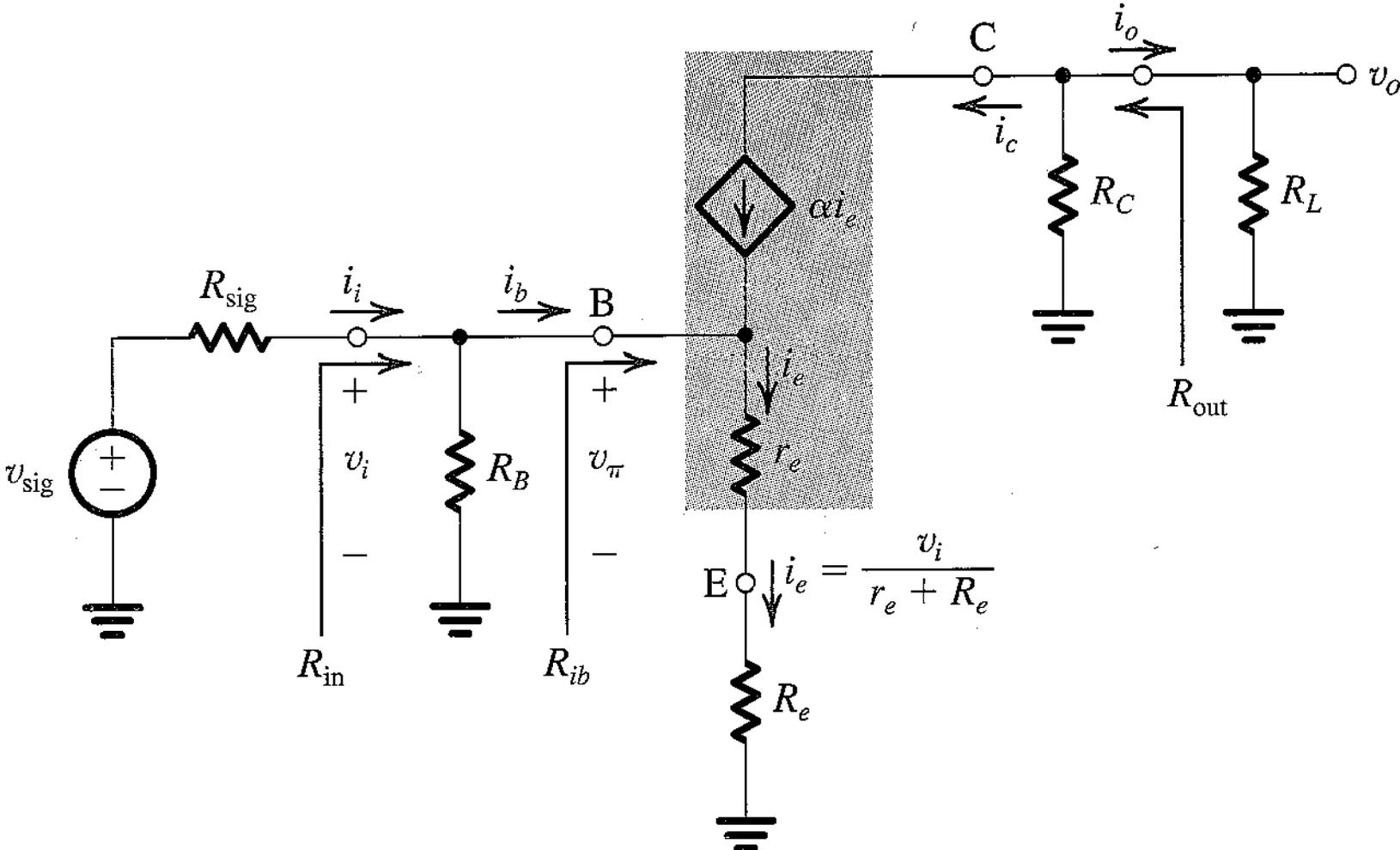
$$i_b = \frac{V_i}{r_{\pi}} = \frac{V_i}{500}$$

$$V_o = -100 \frac{1000}{500} V_i = -200 V_i$$

# CONFIGURACIÓN EMISOR COMÚN CON RESISTENCIA DE EMISOR



# MODELO EQUIVALENTE AC UNA VEZ CALCULADO EL PUNTO DE OPERACIÓN



**Resistencia de entrada**  $R_{in} = R_B \parallel R_{ib}$

$$R_{ib} \equiv \frac{v_i}{i_b} \quad i_b = (1 - \alpha)i_e = \frac{i_e}{\beta + 1} \quad i_e = \frac{v_i}{r_e + R_e}$$

**La resistencia de entrada es mucho mas alta. Multiplicar por**

$$R_{ib} = (\beta + 1)(r_e + R_e)$$

**$\beta + 1$  se denomina reflexión hacia la base**

**Ganancia de entrada**

$$v_o = -i_c(R_C \parallel R_L) = -\alpha i_e(R_C \parallel R_L)$$

$$A_v \equiv \frac{v_o}{v_i} = -\frac{\alpha(R_C \parallel R_L)}{r_e + R_e} \quad A_v \cong -\frac{R_C \parallel R_L}{r_e + R_e}$$

**Resistencia de salida**

$$R_{out} = R_C$$

## **CONCLUSIONES SOBRE LA CONFIGURACIÓN EMISOR COMÚN CON RESISTENCIA DE EMISOR**

- 1.- La resistencia de entrada  $R_{ib}$  aumenta por el factor  $(1+g_mR_e)$**
- 2.- La señal de entrada puede aumentarse por el factor  $(1+g_mR_e)$**
- 3.- La ganancia de voltaje total es menos dependiente de  $\beta$ . Si la resistencia  $R_{sig}$  es mucho menor que  $(\beta + 1)(R_e + r_e)$  la ganancia de voltaje total es prácticamente independiente de  $\beta$ .**
- 4.- La ganancia de voltaje de base a colector,  $A_v$ , se reduce por el factor  $(1+g_mR_e)$ . Esta es la desventaja que presenta este amplificador, a cambio de las otras ventajas indicadas.**
- 5.- Al realizar el análisis en frecuencia se observa que la respuesta a altas frecuencias de esta configuración es mejor que la de la configuración emisor común sin resistencia de emisor.**

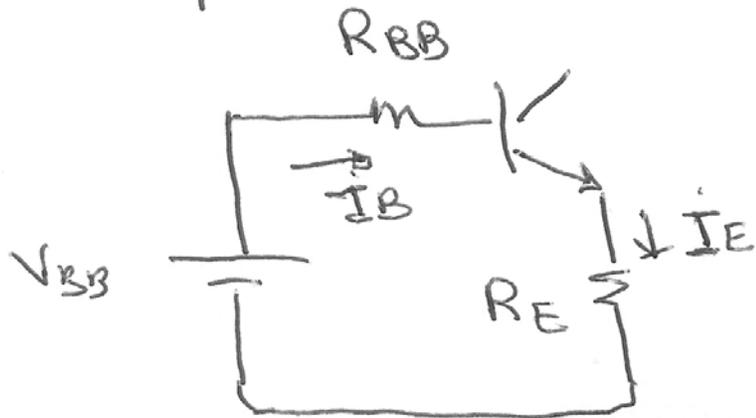
## EJERCICIO: EMISOR COMÚN CON $R_E$

En el siguiente amplificador,

calcule  $A_v$ ,  $R_i$  y  $R_o$ .

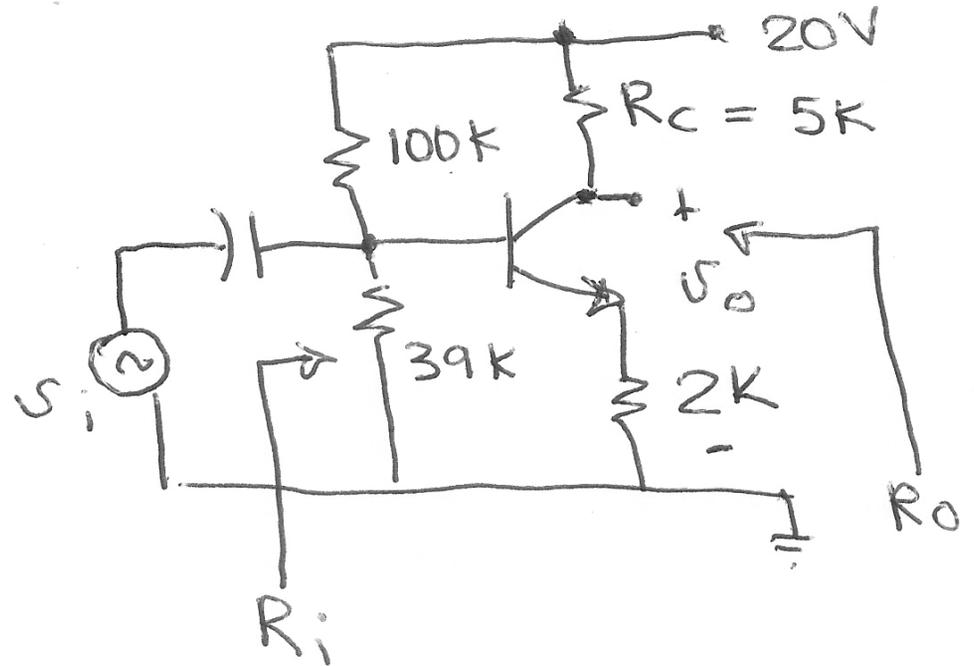
$\beta = 100$ ,  $V_{BE} = 0,7V$

### Polarización



$$R_{BB} = 100k \parallel 39k = 28k$$

$$V_{BB} = \frac{39k \times 20}{39k + 100k} = 5,6V$$



$$V_{BB} = I_B R_{BB} + 0,7V + R_E I_E$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B$$

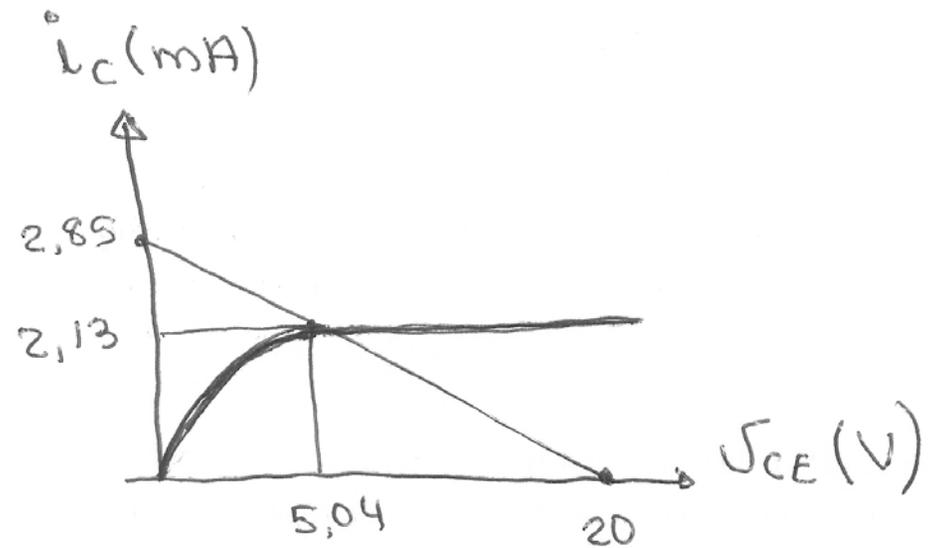
$$V_{BB} = I_B [R_{BB} + R_E (\beta + 1)] + 0,7V$$

$$I_B = \frac{(5,6 - 0,7)V}{28K + 2K(101)} = 0,0213 \text{ mA}$$

$$I_C = \beta I_B = 2,13 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = 20V - I_C (R_E + R_C) =$$

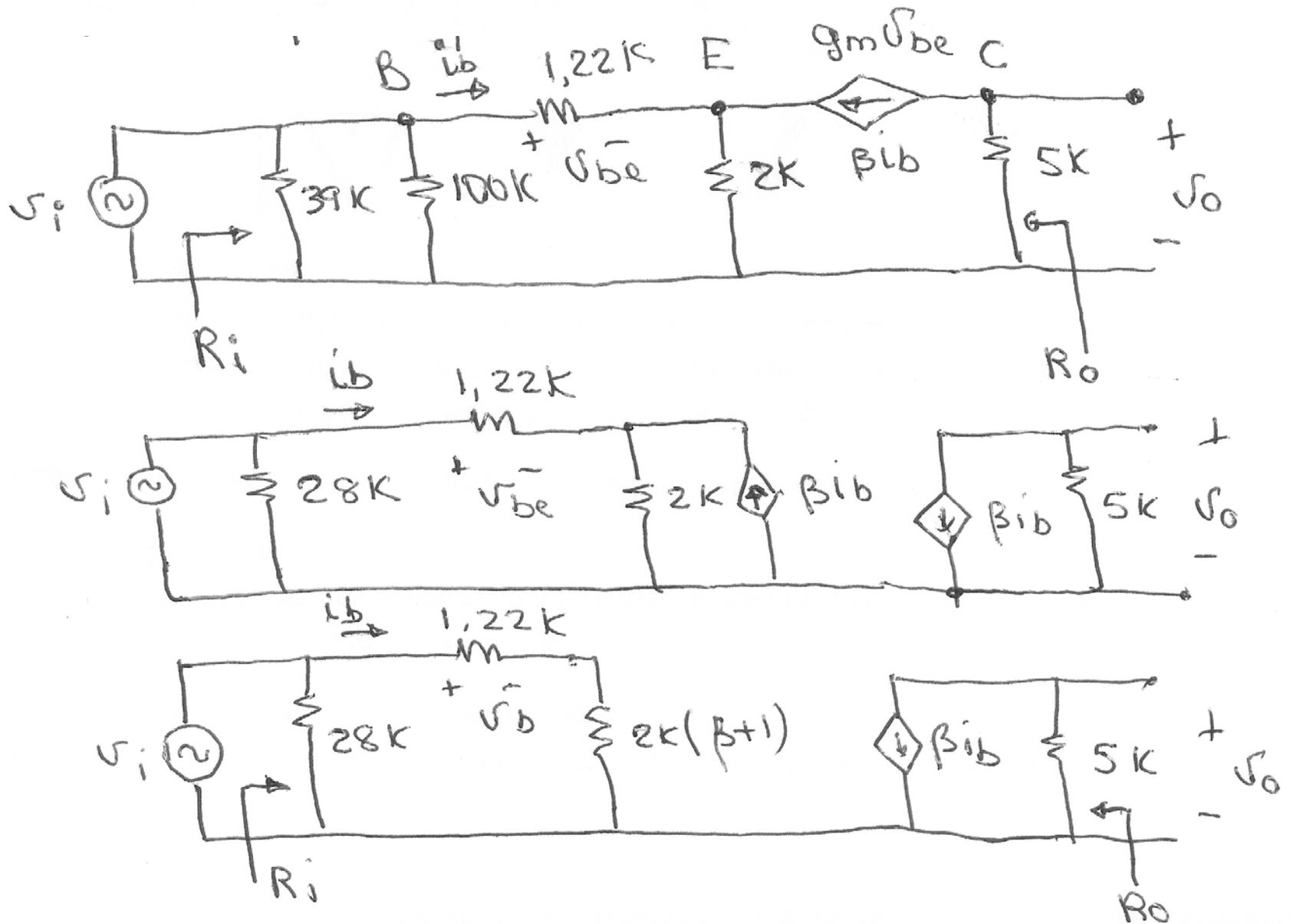
$$= 20 - 7K \times 2,13 \text{ mA} = 5,04V$$



$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2,13 \text{ mA}}{0,026 \text{ V}} = 81,92 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{81,92 \text{ mA/V}} = 1,22 \text{ K}\Omega$$

# Circuito AC de pequeña señal



## Ganancia de voltaje

$$i_b = \frac{v_i}{[1,22 + (101)2]k} = \frac{v_i}{203,22 k}$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -2,46$$

$$v_o = -5k i_b = \frac{-500}{203,22} v_i$$

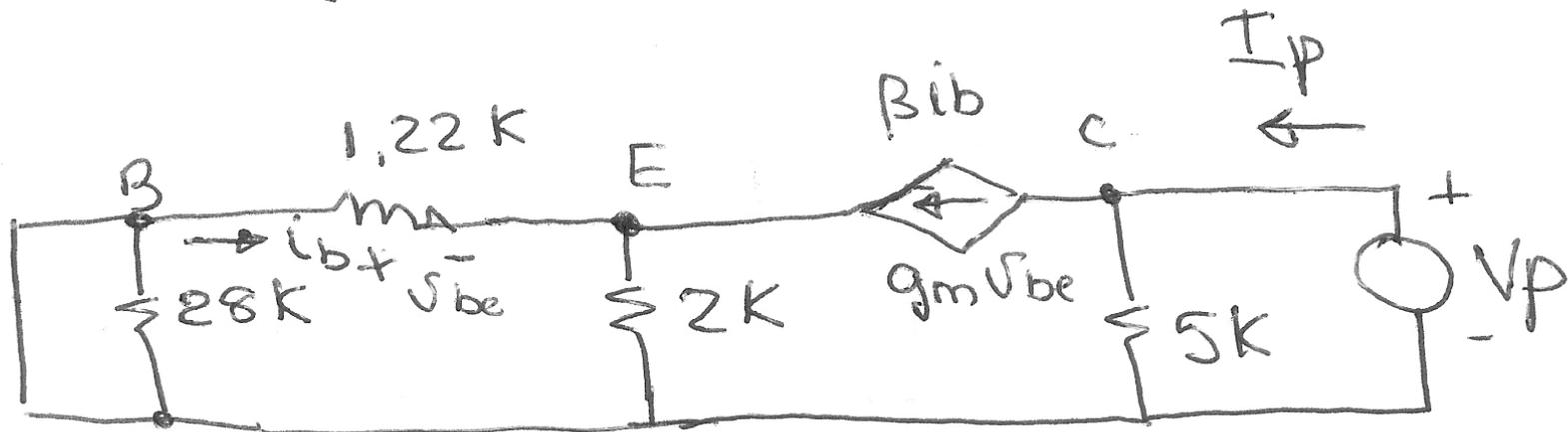
Resistencia de  
entrada

$$r_B = 1,22 k + 202 k = 203,22 k$$

$$R_i = 39k // 100k // r_B$$

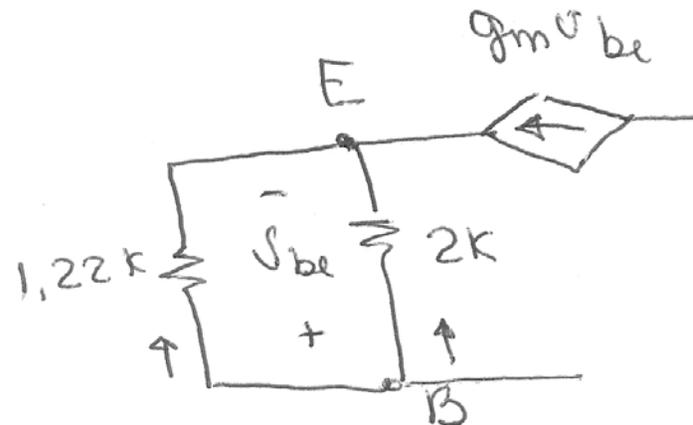
$$R_i = 39k // 100k // 203,22 k = 24,65 k$$

# Resistencia de salida



$$I_p = \frac{V_p}{5k} + g_m v_{be}$$

$$g_m v_{be} + \frac{v_{be}}{2k} + \frac{v_{be}}{1,22k} = 0$$



$$v_{be} = 0$$

$$I_p = \frac{V_p}{5k}$$

$$R_o = 5k\Omega$$

## **Resumen de Resultados**

**Punto de operación:  $I_C = 2,13\text{mA}$   $V_{CE} = 5,04\text{V}$**

**La ganancia de voltaje es reducida, debido al efecto de la resistencia de Emisor:  $A_v = -2,46$**

**La resistencia de entrada es elevada:  $R_i = 24,65\text{ K}\Omega$**

**La resistencia de salida es igual a la de la configuración Emisor común:  $R_o = 5\text{ K}\Omega$**

## CONDENSADORES DE ACOUPLE Y DESACOUPLE

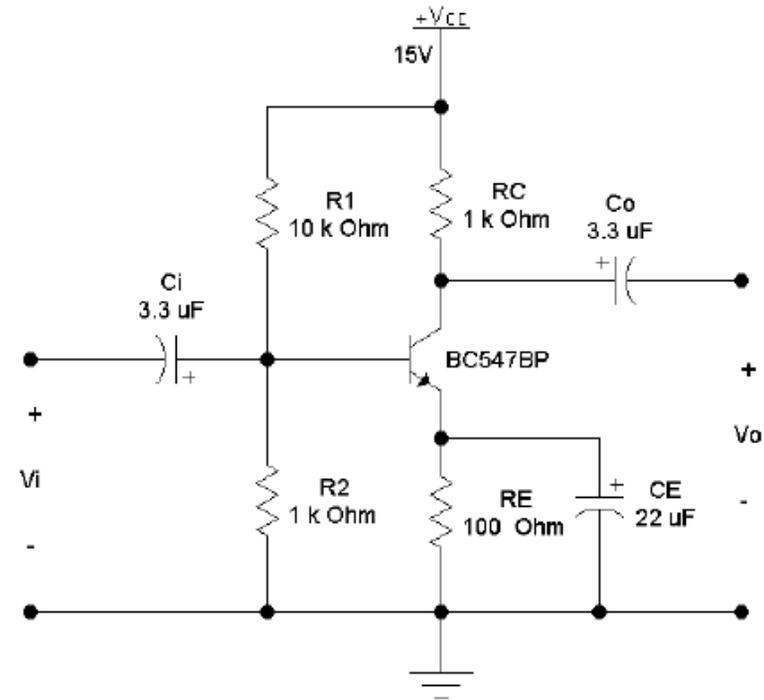
En el amplificador Emisor Común mostrado hay tres condensadores:

\*Entre el generador de entrada y la base del transistor: La señal AC no afecta el punto de operación.

\*En la salida, para conectar a él la resistencia de carga: La carga no afecta el punto de operación

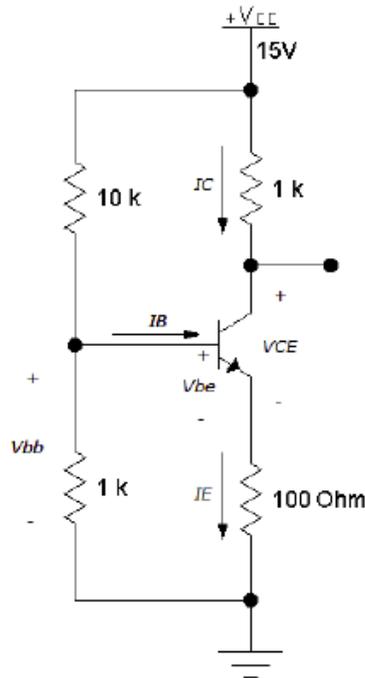
\*En paralelo con la resistencia de Emisor: La resistencia  $R_E$  no afecta la ganancia AC.

Para el análisis AC la impedancia de los condensadores se considera infinita.

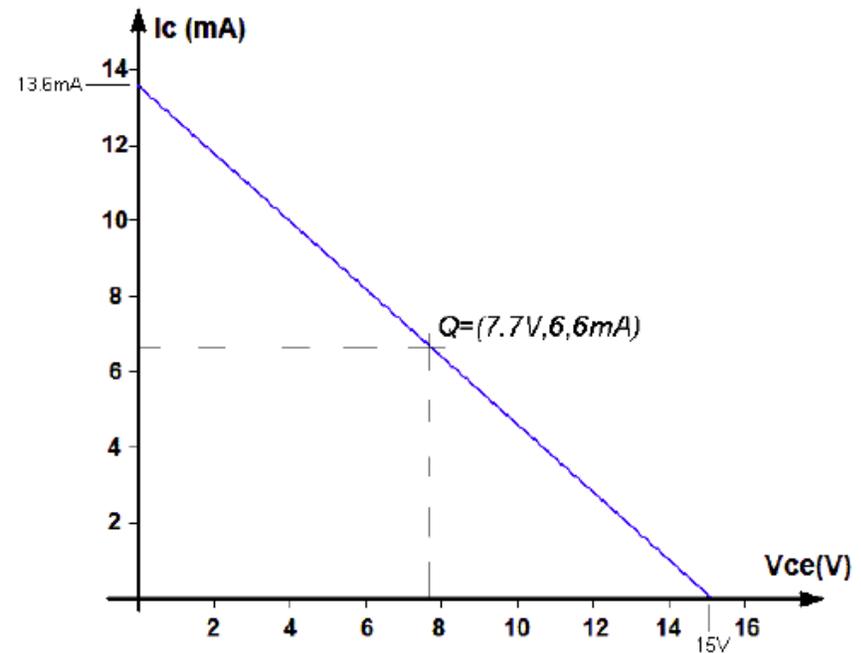


## RECTA DE CARGA EN DC

Al hacer el análisis, y especialmente el diseño de un amplificador, hay que estudiar con cuidado las rectas de carga. Para el análisis en DC se considera el circuito mostrado, se determina el punto de operación y se ubica la recta de carga en el plano  $I_C$  vs  $V_{CE}$ . Al diseñar, es usual ubicar el punto de operación para tener el mayor rango de amplificación posible.



Circuito equivalente de continua



Recta de carga en continua

## RECTA DE CARGA EN AC

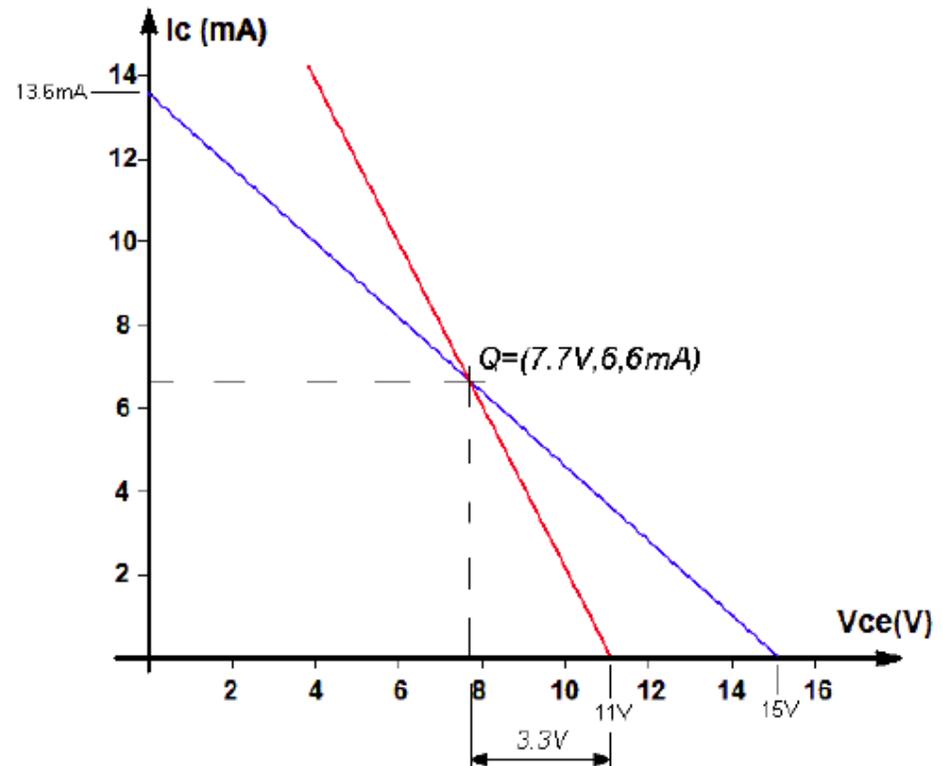
Al conectar la fuente y la carga a través de los condensadores y desacoplar la resistencia de Emisor, la pendiente de la recta de carga, sobre la que verdaderamente va a realizar su excursión la señal de salida, se modifica.

Con condensador de emisor:

$$m_{AC} = \frac{1}{R_C // R_L}$$

Sin condensador de emisor:

$$m_{AC} = \frac{1}{R_E + R_C // R_L}$$



Recta de carga en alterna