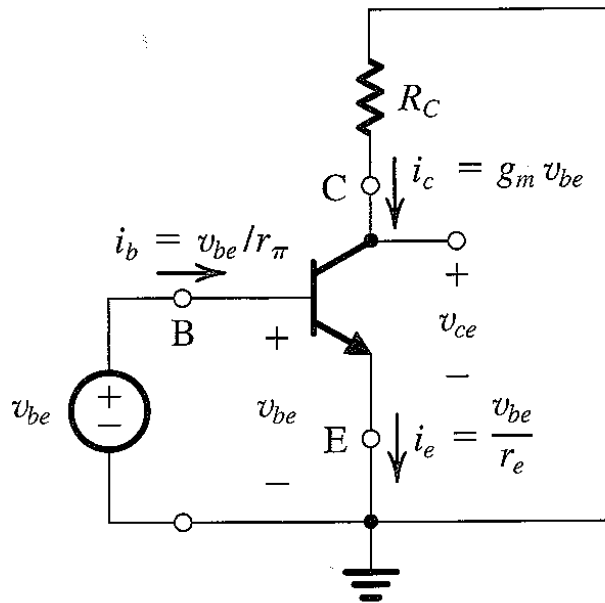
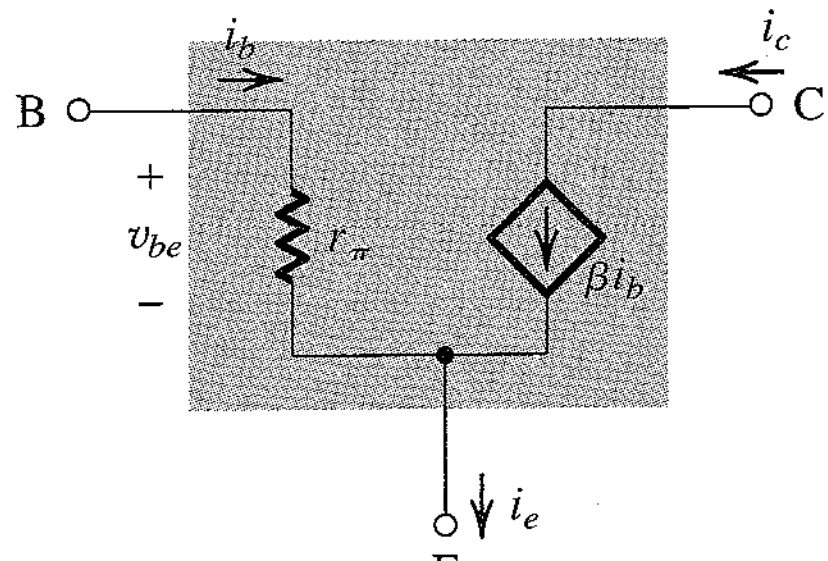
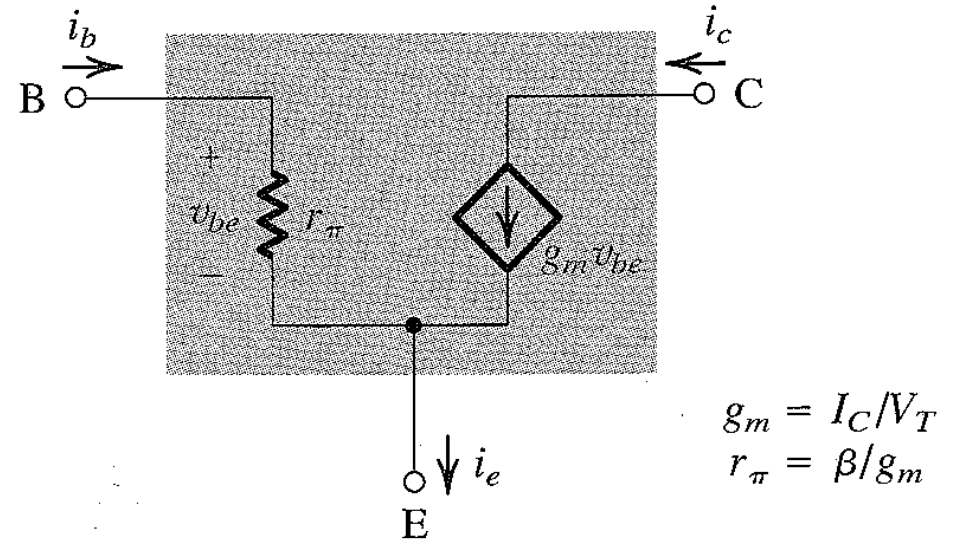


MODELOS DE PEQUEÑA SEÑAL: EL MODELO HÍBRIDO π

Se eliminan las fuentes DC



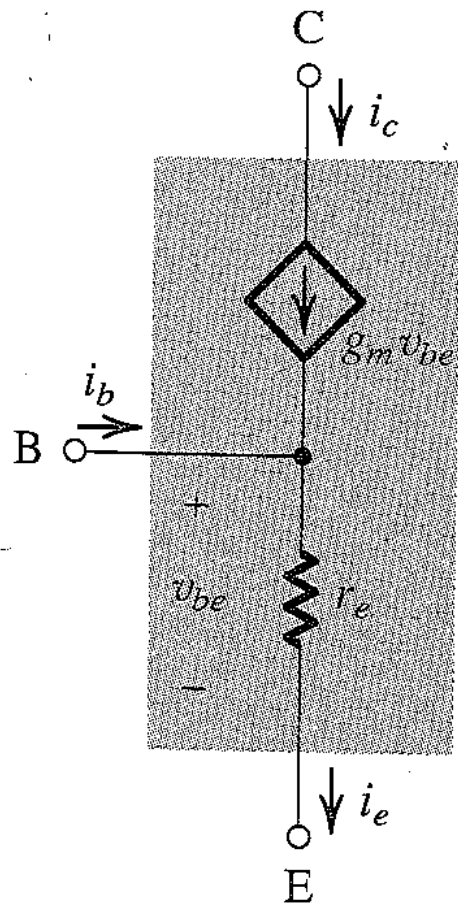
El modelo también aplica para transistores pnp sin cambio de polaridades



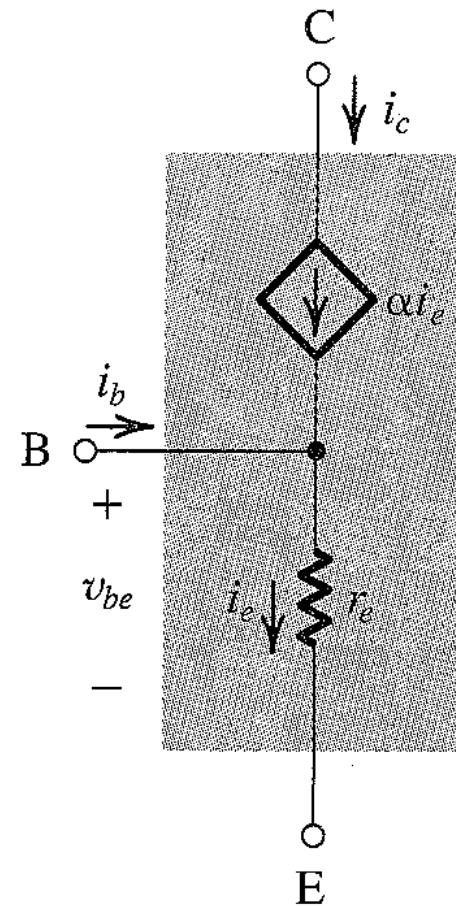
MODELOS DE PEQUEÑA SEÑAL: EL MODELO T

Se eliminan las fuentes DC

Este modelo muestra explícitamente la resistencia de emisor r_e en lugar de la resistencia de base r_π



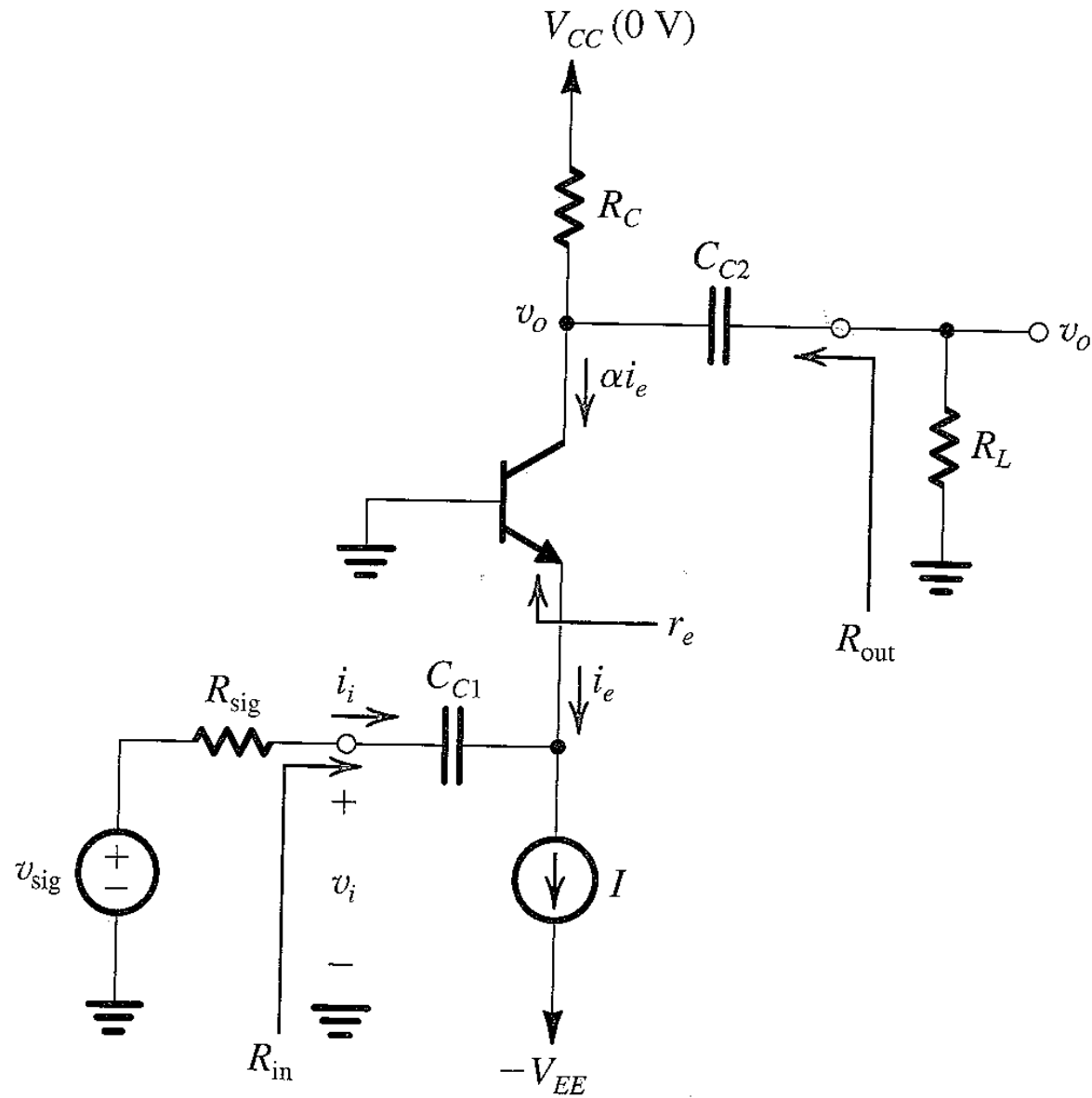
$$g_m = I_C / V_T$$
$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{\alpha}{g_m}$$



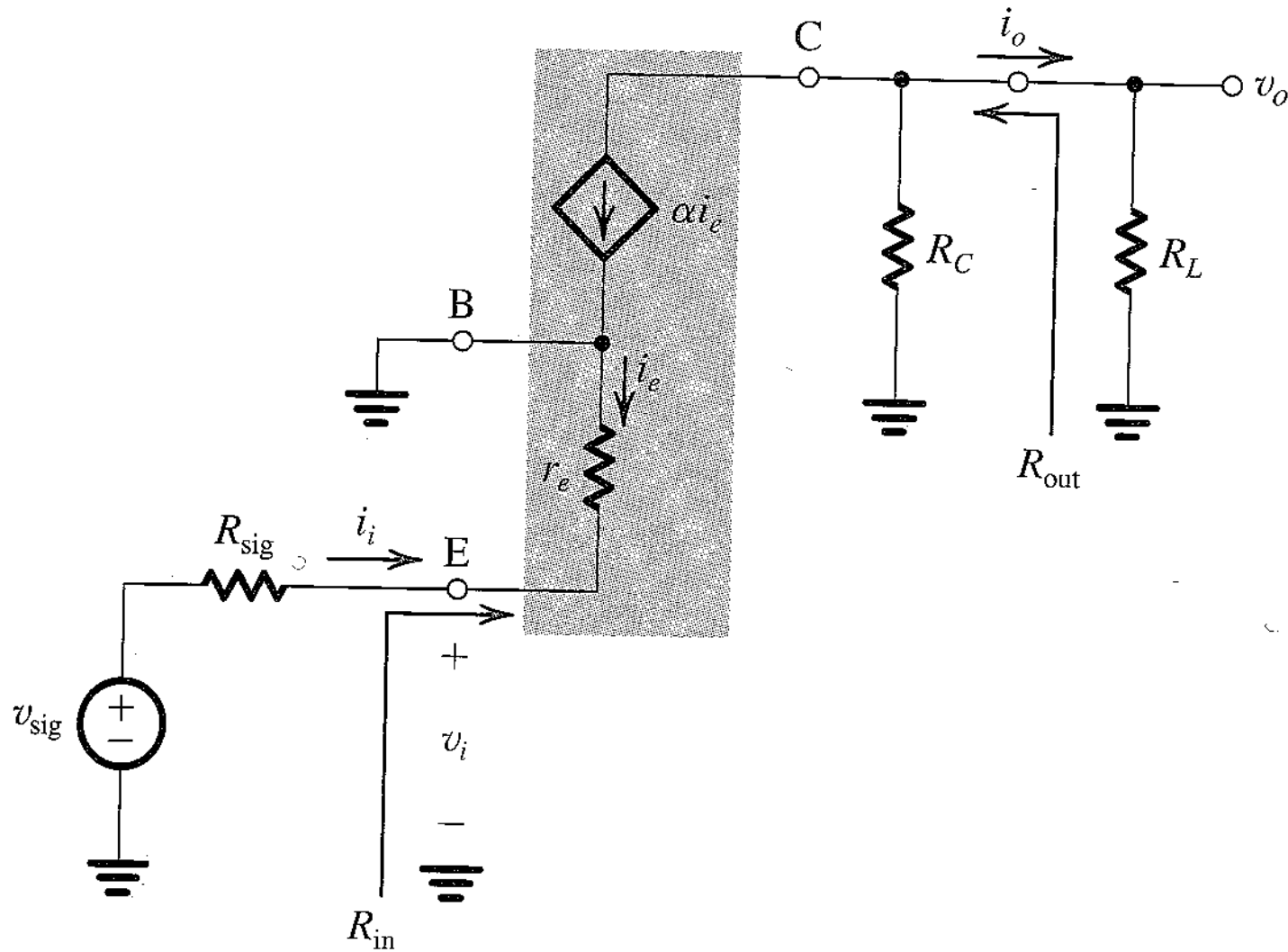
APLICACIÓN DE LOS MODELOS EQUIVALENTES DE PEQUEÑA SEÑAL

- 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_π , 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.

CONFIGURACIÓN BASE COMÚN



MODELO EQUIVALENTE AC UNA VEZ CALCULADO EL PUNTO DE OPERACIÓN



Resistencia de entrada: Por inspección: $R_{in} = r_e$

Nota: Si la polarización no se realiza con la fuente de corriente sino con una resistencia R_E entre Emisor y $-V_{EE}$, la resistencia de entrada es el paralelo de R_E con r_e

Para calcular la ganancia de voltaje: $v_o = -\alpha i_e (R_C \parallel R_L)$

La corriente de emisor es: $i_e = -\frac{v_i}{r_e}$

Por lo tanto la ganancia de voltaje es:

$$A_v \equiv \frac{v_o}{v_i} = \frac{\alpha}{r_e} (R_C \parallel R_L) = g_m (R_C \parallel R_L)$$

Tiene signo positivo. La ganancia en circuito abierto es:

$$A_{vo} = g_m R_C$$

La resistencia de salida es: $R_{\text{out}} = R_C$

La relación de voltaje entre el voltaje de la fuente y el de entrada al amplificador es

$$\frac{v_i}{v_{\text{sig}}} = \frac{R_i}{R_{\text{sig}} + R_i} = \frac{r_e}{R_{\text{sig}} + r_e}$$

Dado que r_e es del orden de los pocos ohmios, esta relación puede ser pequeña. La ganancia total se ve afectada por este factor

$$G_v = \frac{r_e}{R_{\text{sig}} + r_e} g_m (R_C \parallel R_L) = \frac{\alpha (R_C \parallel R_L)}{R_{\text{sig}} + r_e}$$

CONCLUSIONES SOBRE LA CONFIGURACIÓN BASE COMÚN

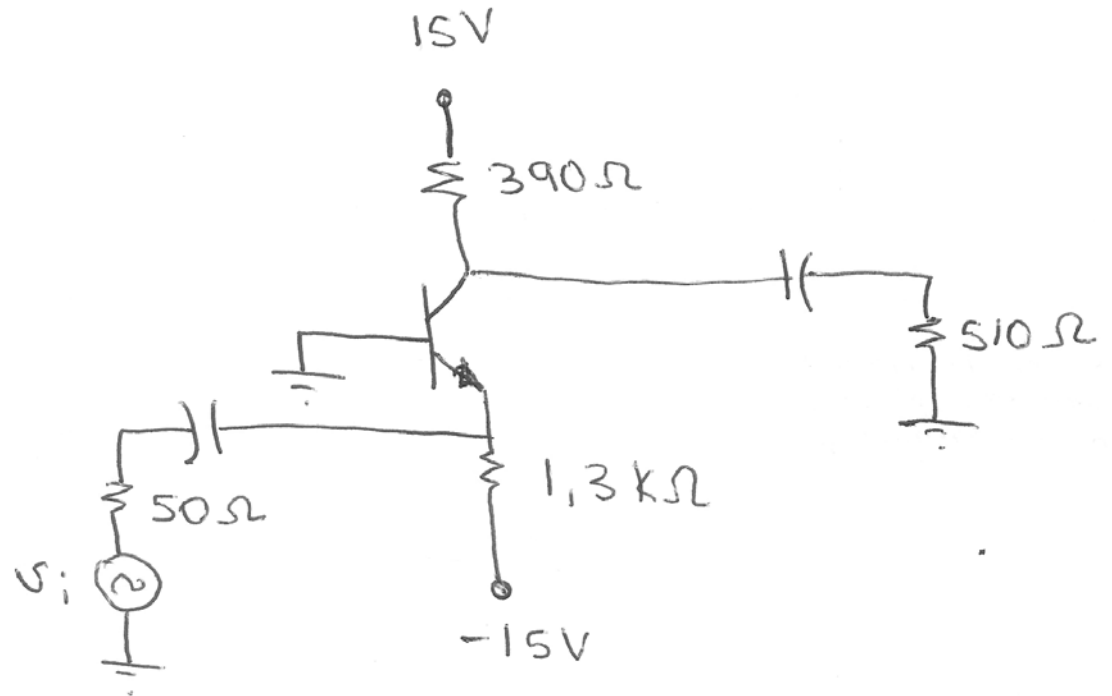
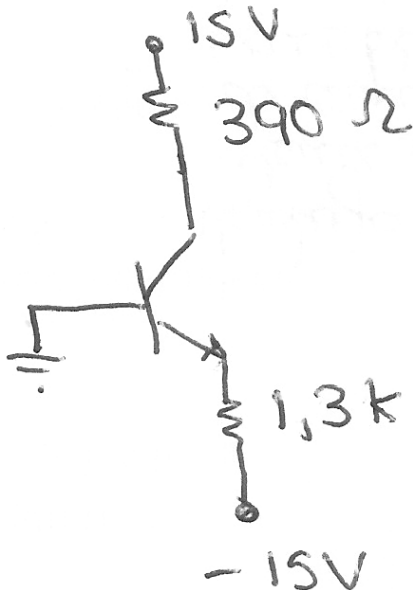
- 1.- La resistencia de entrada es muy baja**
- 2.- La ganancia de voltaje en circuito abierto es como la de la configuración emisor común, pero la ganancia de voltaje total es mucho más baja.**
- 3.- La resistencia de salida es igual a la de las otras configuraciones analizadas: R_C .**
- 4.- Esta configuración es excelente para el diseño de amplificadores de alta frecuencia.**

EJEMPLO DE ANÁLISIS DE LA CONFIGURACIÓN BASE COMÚN

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

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

Polarización



$$0 = V_{BE} + i_c \cdot 1,3 \text{ k}\Omega - 15 \text{ V}$$

$$i_c = \frac{15 - 0,7}{1,3} = 11 \text{ mA}$$

$$15 = 0,39 \text{ k}\Omega i_c + V_{CE} + 1,3 \text{ k}\Omega i_c - 15 \text{ V}$$

$$15 + 15 = (0,39 + 1,3) \times 11 \neq V_{CE}$$

$$V_{CE} = 11,41 \text{ V}$$

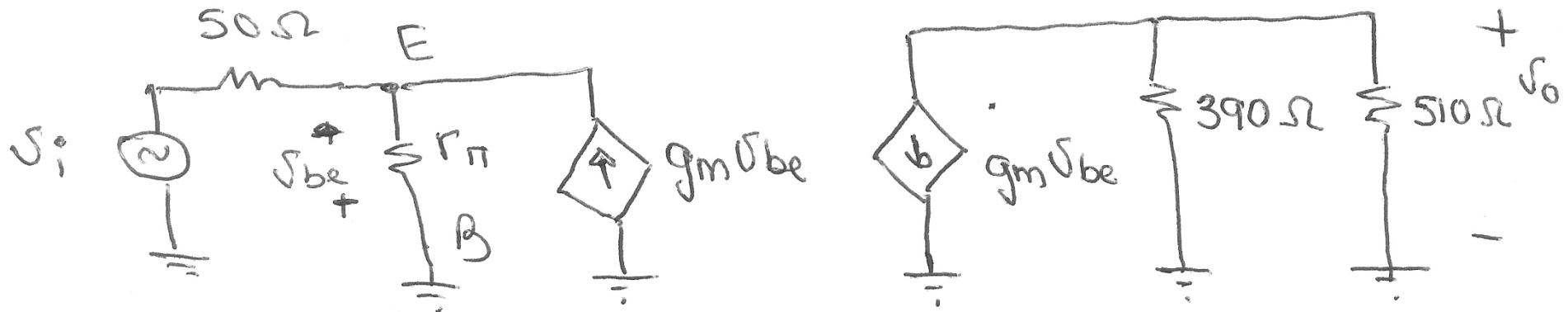
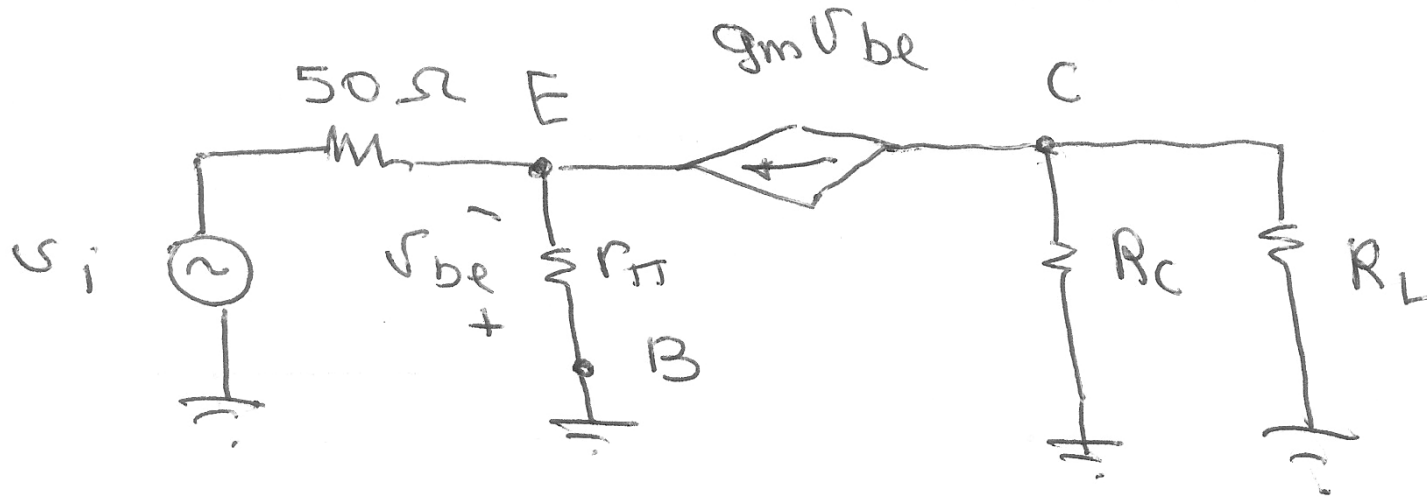
$$i_B = \frac{11 \text{ mA}}{\beta} = 0,11 \text{ mA}$$

Parámetros

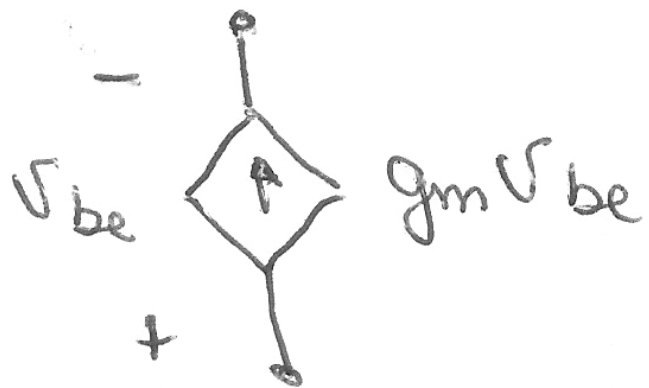
$$g_m = \frac{I_c}{V_T} = \frac{11 \text{ mA}}{25 \text{ mV}} = 0,44 \text{ S} = \frac{440 \text{ mA}}{\text{V}}$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{\frac{440 \text{ mA}}{\text{V}}} = 227 \Omega$$

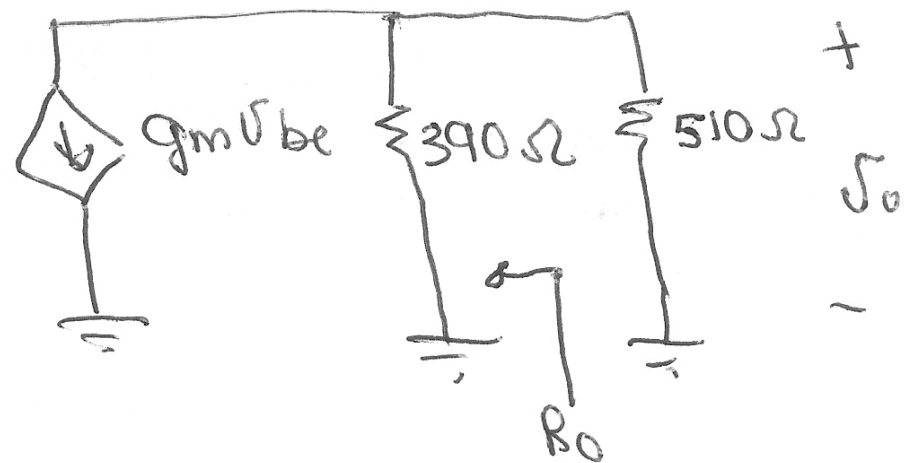
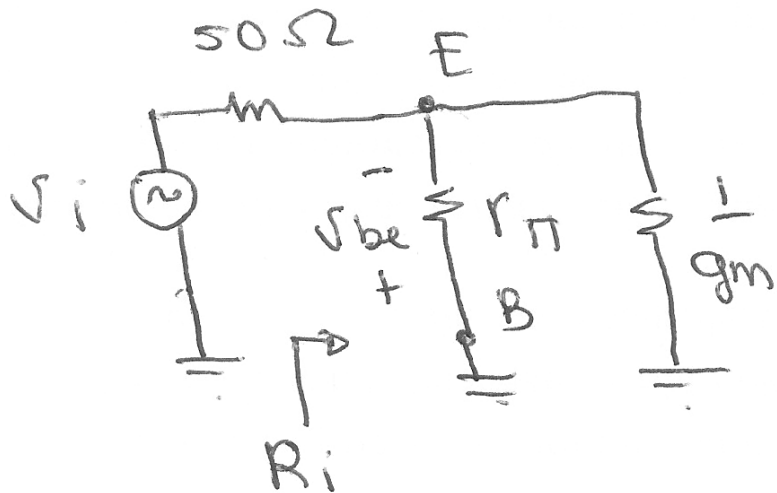
Análisis de pequeña señal. Modelo π



Circuito equivalente



$$R_{eq} = \frac{V_{be}}{g_m V_{be}} = \frac{1}{g_m}$$



Ganancia de voltaje v_o vs. v_{be}

$$v_o = -g_m (390 \parallel 510) v_{be}$$

$$v_o = -440 \frac{\text{mA}}{\text{V}} \left(0,221 \frac{\text{V}}{\text{mA}}\right) v_{be}$$

$$v_o = -97,24 v_{be}$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_{be}} = -97,24$$

Resistencia de entrada y de salida

$$R_i = r_{\pi} \parallel \frac{1}{g_m} \quad r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m}$$

$$R_i = \frac{\frac{\beta}{g_m} \cdot \frac{1}{g_m}}{\frac{\beta}{g_m} + \frac{1}{g_m}} = \frac{\frac{\beta}{g_m^2}}{\frac{\beta+1}{g_m}} = \frac{\beta}{\beta+1} \cdot \frac{1}{g_m} \approx \frac{1}{g_m}$$

$$R_i = 2,27 \Omega$$

$$R_o = 390 \Omega$$

Ganancia de voltaje $A_v = V_o/V_i$



$$v_{be} = \frac{-2,27}{50 + 2,27} v_{in}$$

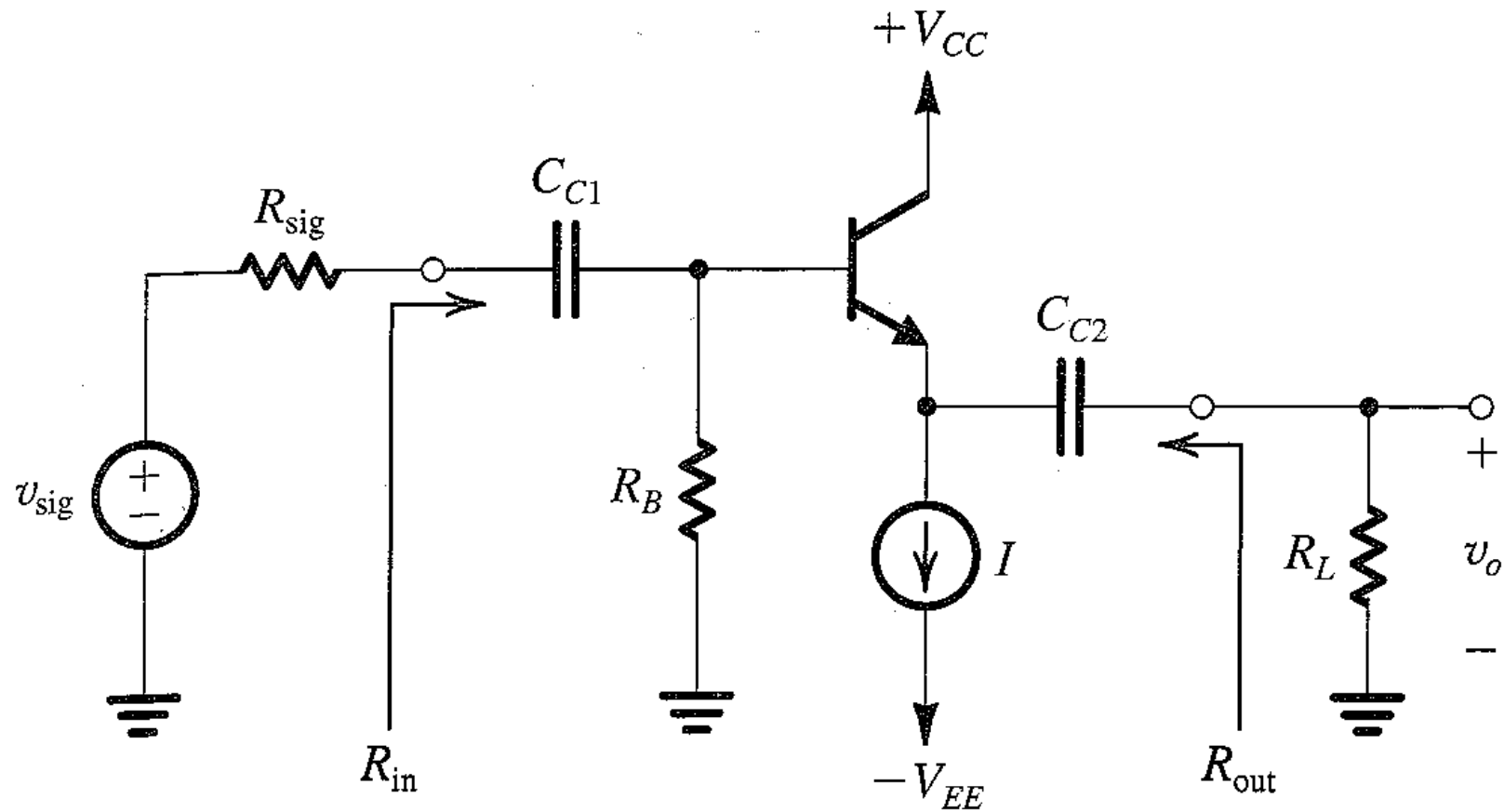
$$v_{be} = -0,043 v_{in}$$

$$v_o = -97,24 v_{be} = (-97,24)(-0,043) v_{in}$$

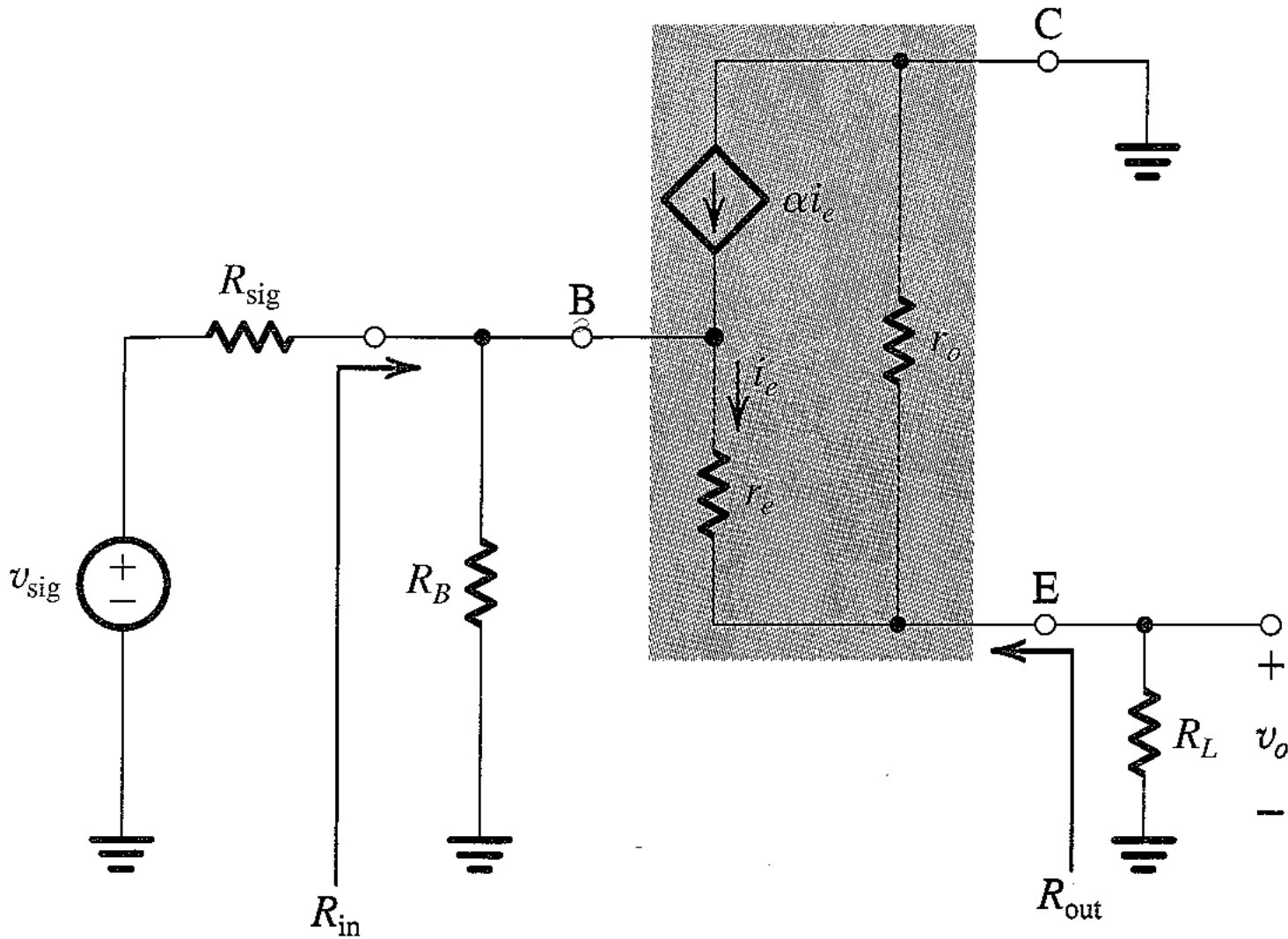
$$v_o = 4,18 v_{in}$$

$$A_{v_{tot}} = \frac{v_o}{v_{in}} = 4,18$$

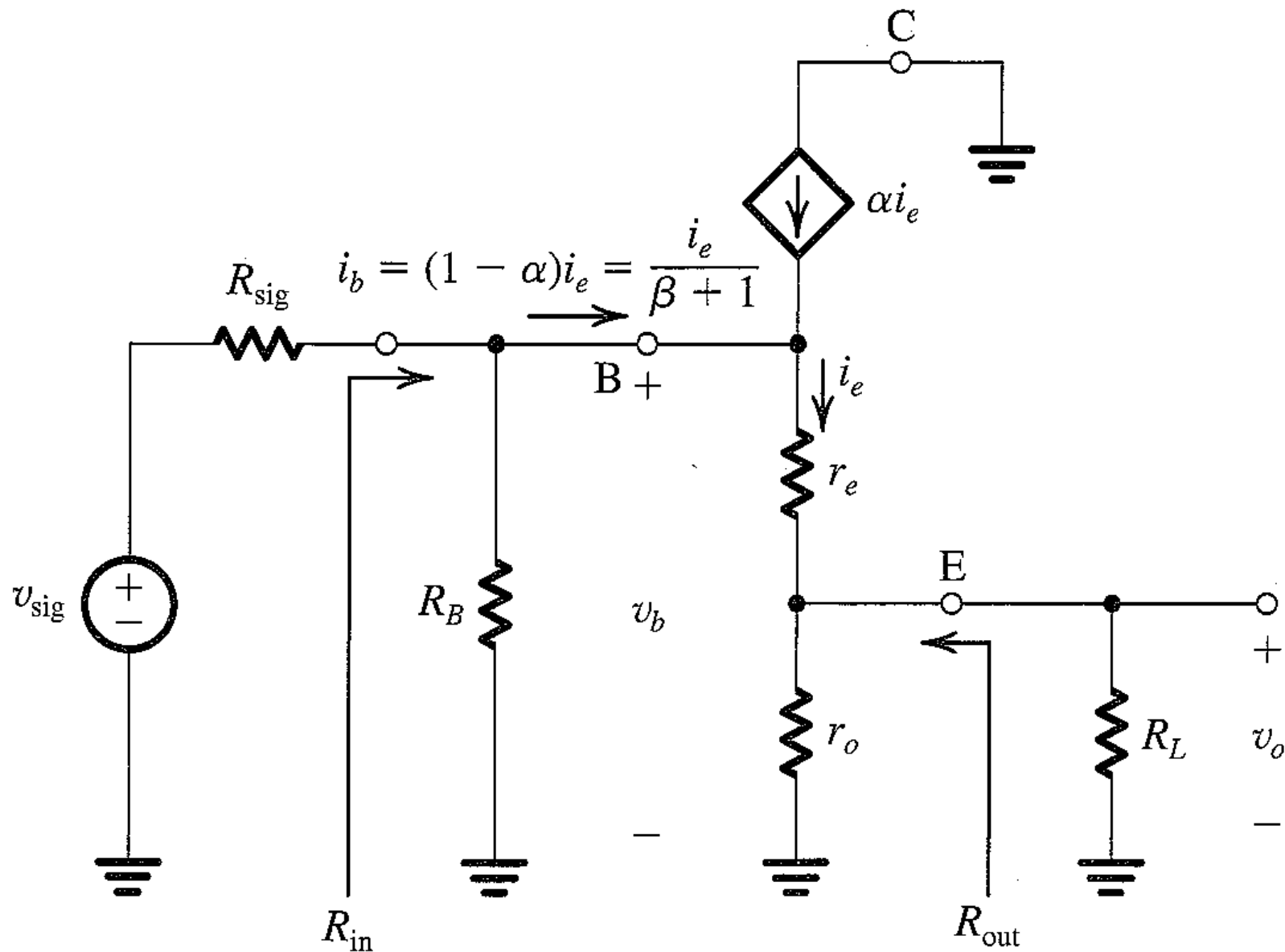
CONFIGURACIÓN COLECTOR COMÚN O SEGUIDOR DE EMISOR



**MODELO EQUIVALENTE AC UNA VEZ CALCULADO
EL PUNTO DE OPERACIÓN (SI EXISTE RESISTENCIA DE EMISOR
ESTÁ EN PARALELO CON R_L)**

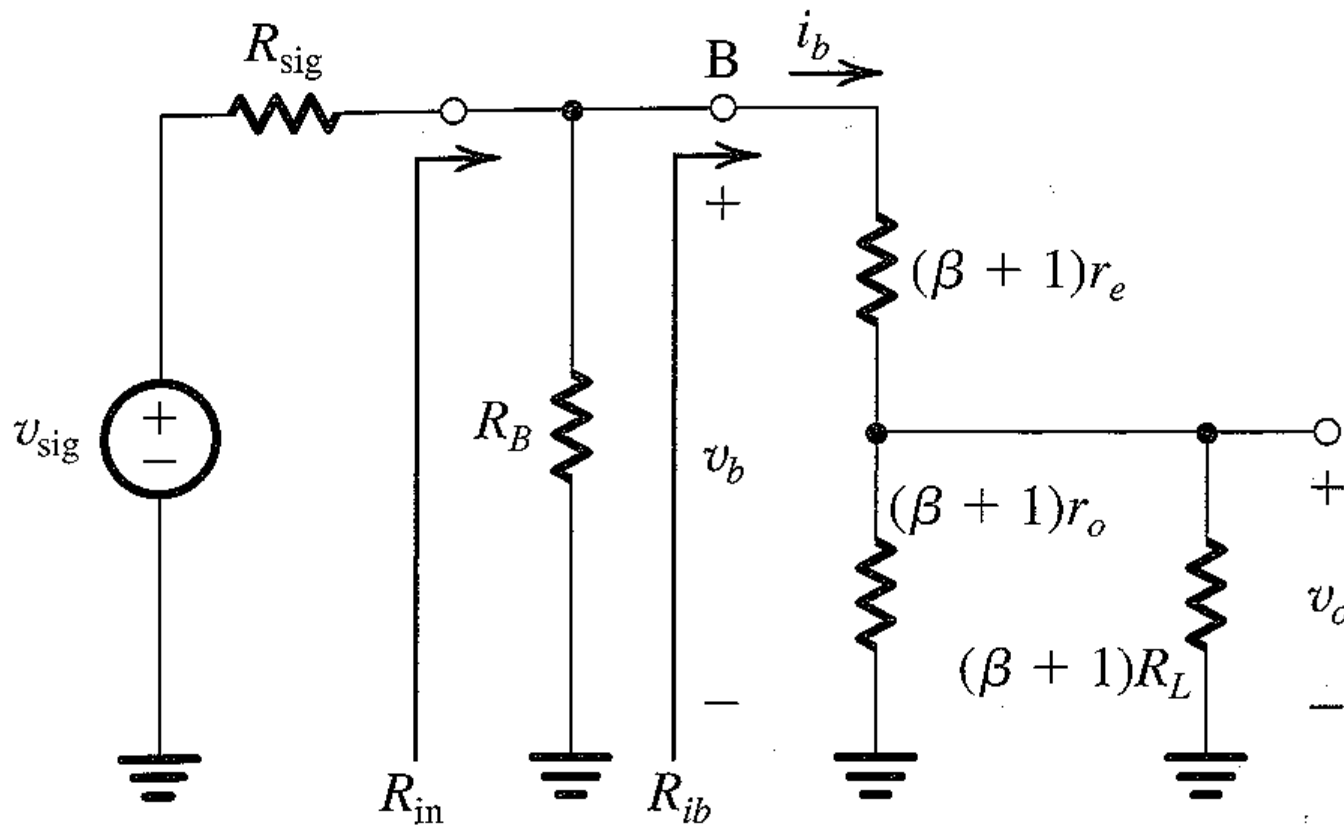


REUBICACIÓN DE LA RESISTENCIA r_o YA QUE ESTÁ CONECTADA ENTRE EMISOR Y TIERRA



APLICACIÓN DE LA REFLEXIÓN DE RESISTENCIAS HACIA LA BASE

CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE ENTRADA $R_{in} = R_B // R_{ib}$



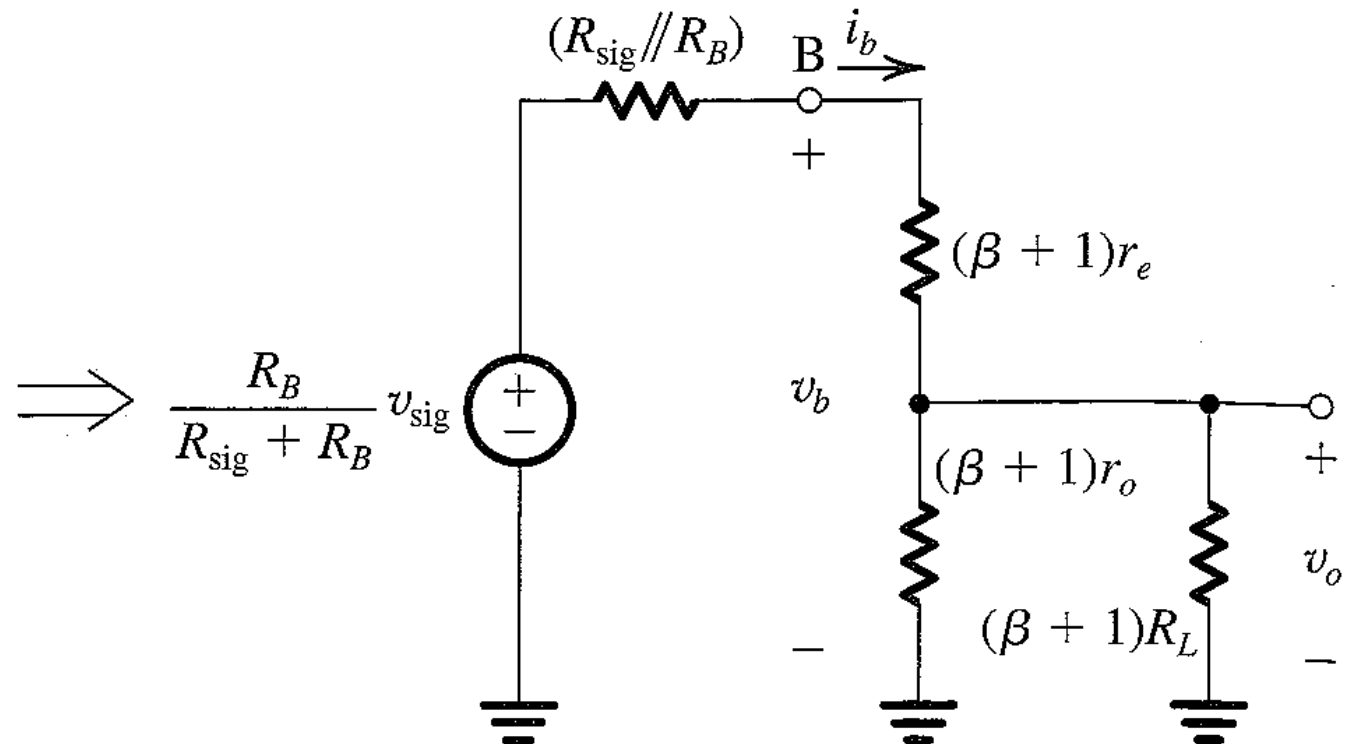
$$R_{in} = R_B // (\beta + 1)[r_e + (r_o // R_L)]$$

EQUIVALENTE THEVENIN HACIA LA IZQUIERDA DE LA BASE

$$V_{th} = \frac{R_B}{R_{sig} + R_B} v_{sig}$$

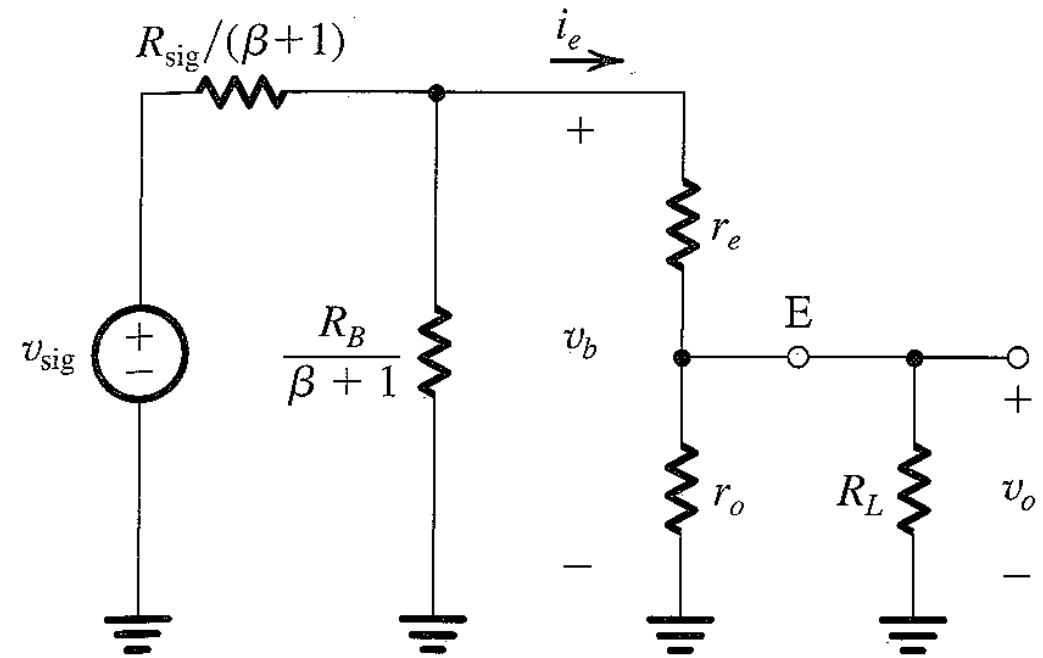
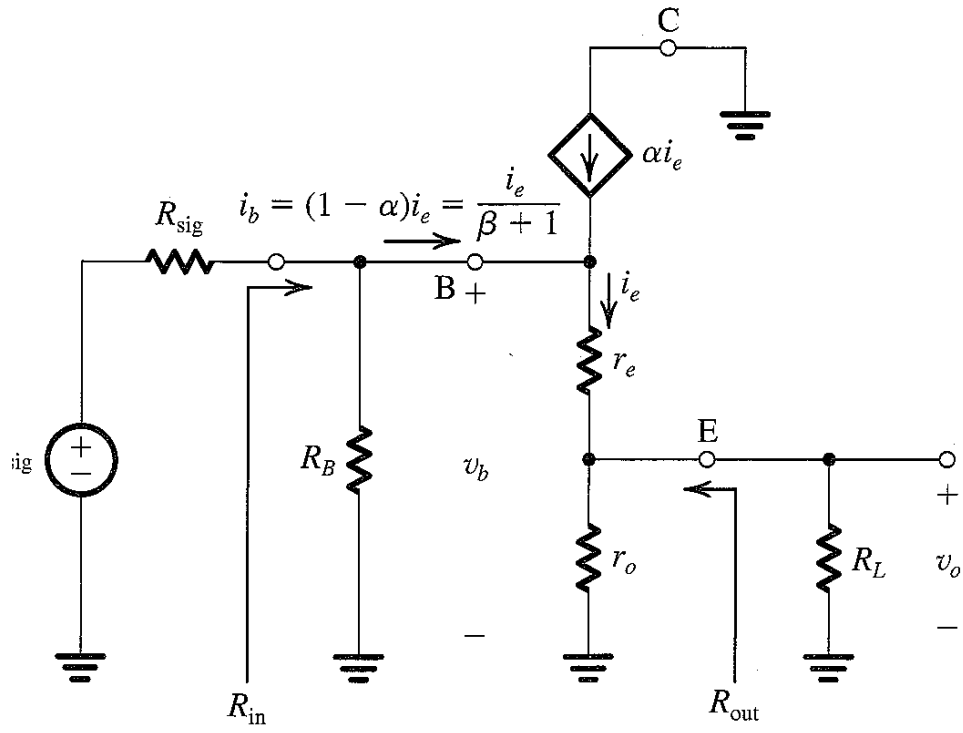
$$R_{th} = R_{sig} // R_B$$

Ganancia < 1 pero
próxima a 1:
Seguidor de emisor

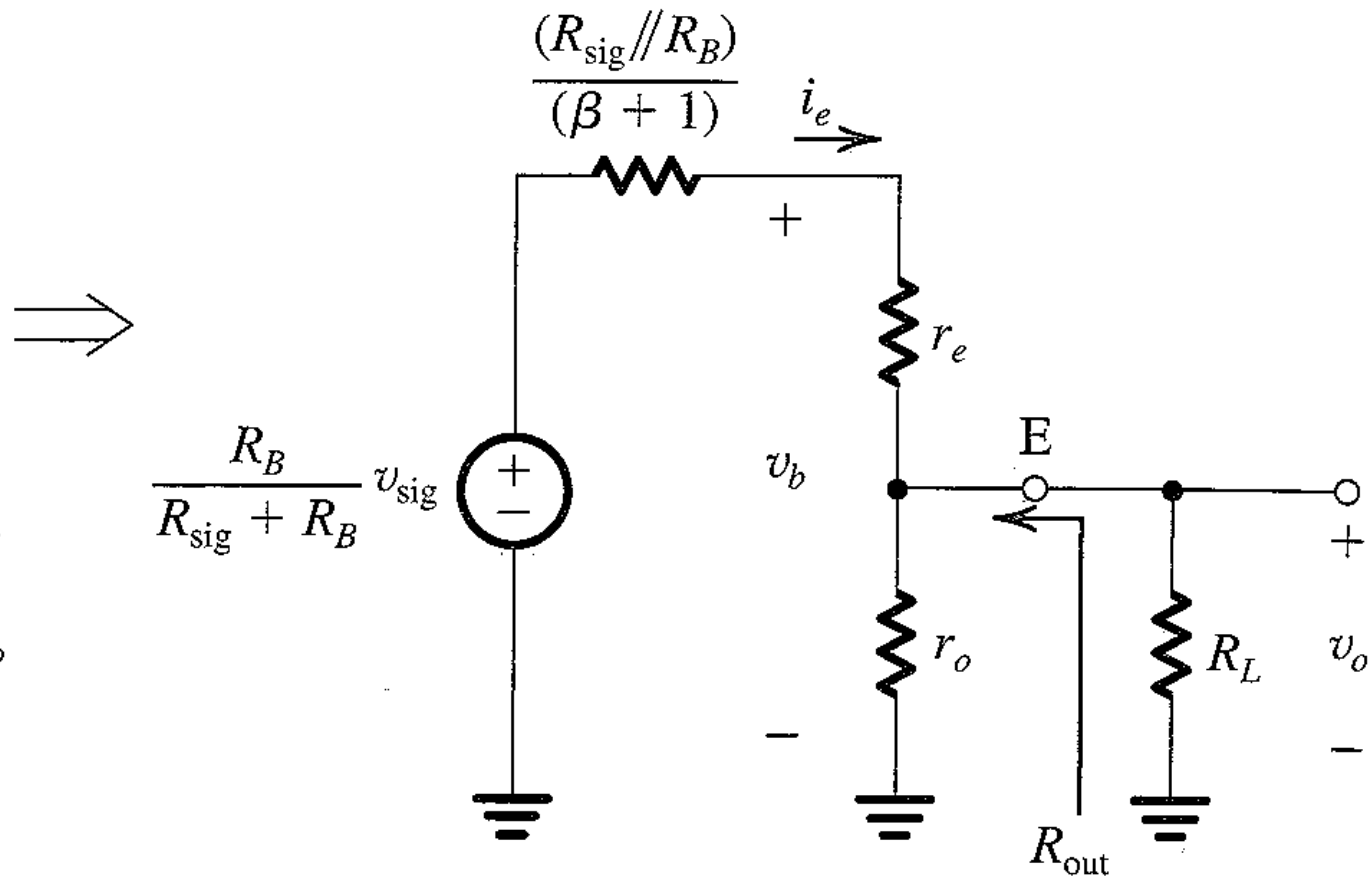


$$G_v = \frac{v_o}{v_{sig}} = \frac{R_B}{R_{sig} + R_B} \frac{(\beta + 1)(r_o // R_L)}{(R_{sig} // R_B) + (\beta + 1)[r_e + (r_o // R_L)]}$$

APLICACIÓN DE LA REFLEXIÓN DE RESISTENCIAS HACIA EL EMISOR



OTRA FORMA DE CÁLCULO DE LA GANANCIA TOTAL G_v



$$G_v = \frac{v_o}{v_{sig}} = \frac{R_B}{R_{sig} + R_B} \frac{(r_o // R_L)}{\frac{(R_{sig} // R_B)}{\beta + 1} + r_e + (r_o // R_L)}$$

Resistencia de salida

$$R_{\text{out}} = r_o \parallel \left(r_e + \frac{R_{\text{sig}} \parallel R_B}{\beta + 1} \right)$$

Es una resistencia de valor reducido

Si r_o es mucho mayor que las otras resistencias

$$R_{\text{out}} \cong r_e + \frac{R_{\text{sig}} \parallel R_B}{\beta + 1}$$

CONCLUSIONES SOBRE LA CONFIGURACIÓN COLECTOR COMÚN O SEGUIDOR DE EMISOR

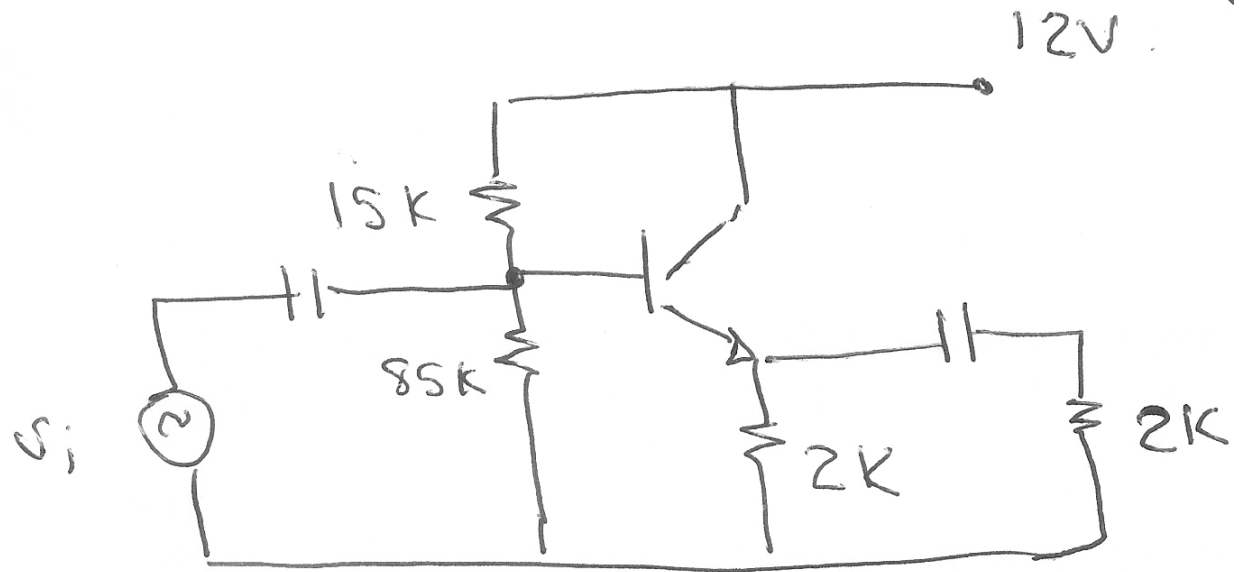
- 1.- La resistencia de entrada es elevada.**
- 2.- La resistencia de salida es reducida.**
- 3.- La ganancia de voltaje es menor que 1 pero cercana a ese valor.**
- 4.- Es útil para acoplar un circuito de alta impedancia de salida (considerado como fuente) con otro circuito de baja impedancia de entrada (considerado como carga).**

EJEMPLO DE ANÁLISIS DE LA CONFIGURACIÓN COLECTOR COMÚN O SEGUIDOR DE EMISOR

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

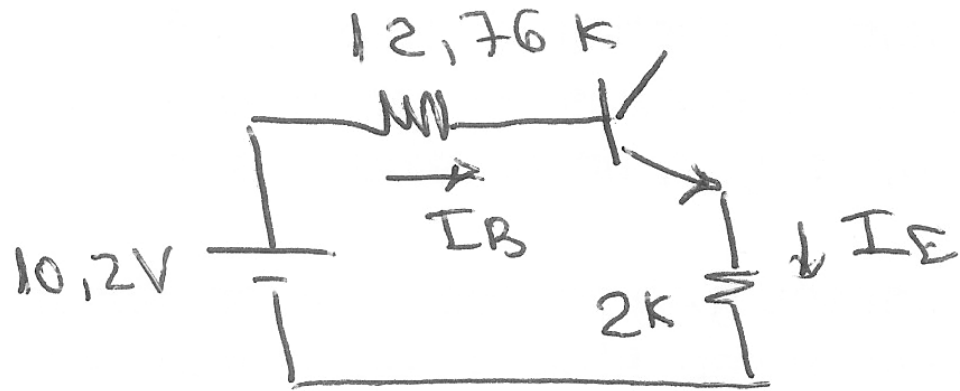
$\beta = 100$, $V_{BE} = 0,7V$

Polarización



$$V_{BB} = \frac{85k}{85k + 15k} \times 12V = 10,2V$$

$$R_B = 85k \parallel 15k = 12,76 k\Omega$$



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

$$10,2V = 12,76 I_B + 0,7 + 2k I_E$$

$$10,2V = [12,76 + 2k(101)] I_B + 0,7V$$

$$I_B = \frac{(10,2 - 0,7)V}{(12,76 + 202)k\Omega} = 0,04424 \text{ mA}$$

$$I_C = \beta I_B = 4,424 \text{ mA}$$

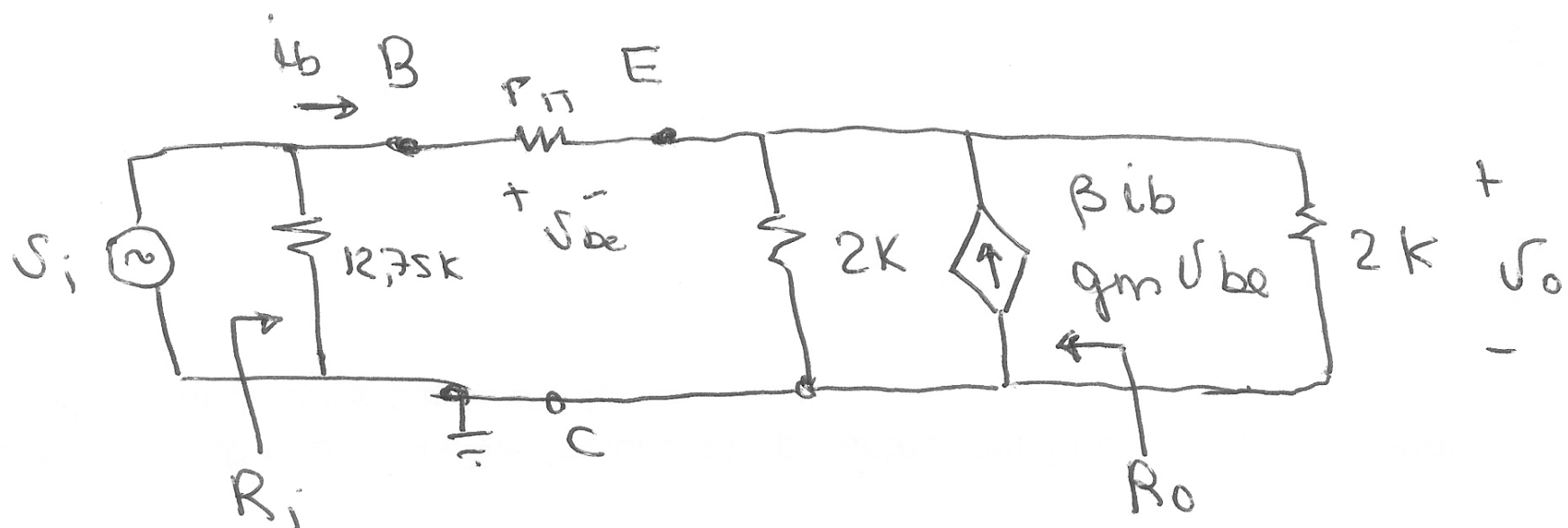
$$V_{CE} = 12V - 2k \times 4,424 \text{ mA} = 3,15V$$

Parámetros

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{4,424 \text{ mA}}{0,025 \text{ V}} = 176,96 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{176,96 \frac{\text{mA}}{\text{V}}} = 565 \Omega$$

Análisis de pequeña señal. Modelo π



$$v_o = (2k // 2k)(\beta + 1) i_b$$

$$v_o = (2k // 2k)(\beta + 1) \frac{v_{be}}{r_{\pi}}$$

$$v_o = (1k) \frac{(\beta + 1)}{r_{\pi}} (v_i - v_o)$$

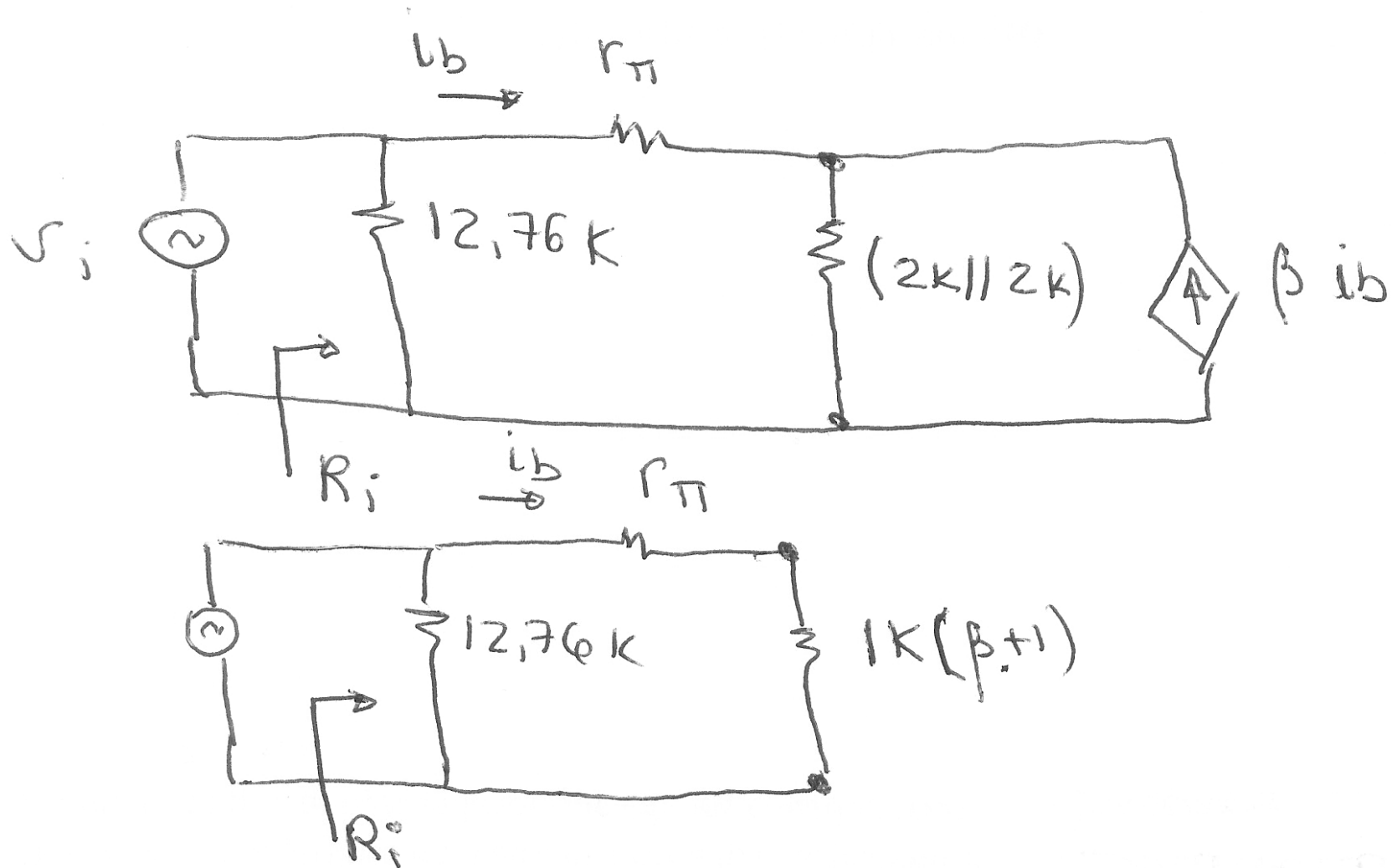
$$v_o = (1k) \frac{101}{0,565k} (v_i - v_o) = 178,76 (v_i - v_o)$$

$$v_o (179,76) = v_i (178,76) \quad A = \frac{v_o}{v_i} = 0,994$$

$$v_i = v_{be} + v_o$$

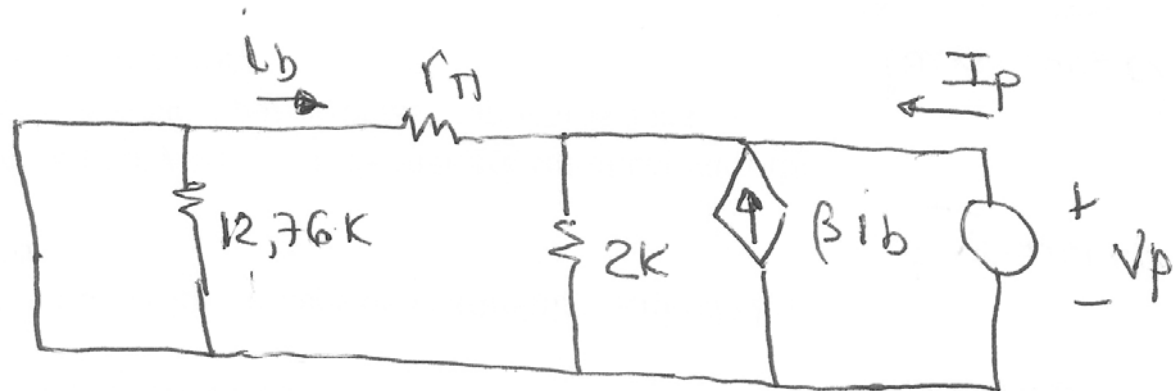
$$v_{be} = v_i - v_o$$

Resistencia de entrada



$$R_i = 12,76\text{ k} \parallel 101\text{ k} = 11,32\text{ k}\Omega$$

Resistencia de salida



$$I_p = -\beta i_b - i_b + \frac{V_p}{2k} = -(\beta+1)i_b + \frac{V_p}{2k}$$

$$i_b = -\frac{V_p}{r_{\pi}} \quad I_p = (\beta+1)\frac{V_p}{r_{\pi}} + \frac{V_p}{2k}$$

$$\frac{I_p}{V_p} = \frac{(\beta+1)}{r_{\pi}} + \frac{1}{2k}$$

$$R_o = \frac{r_{\pi}}{\beta+1} \parallel 2k\Omega$$