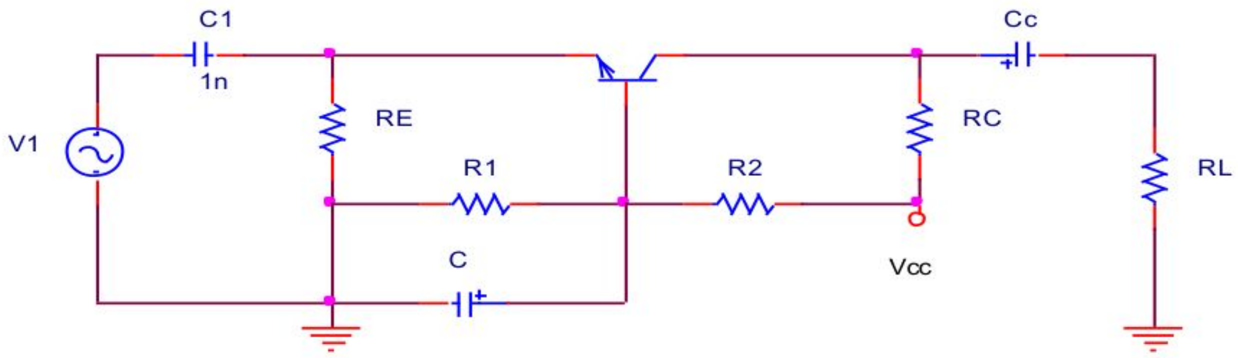
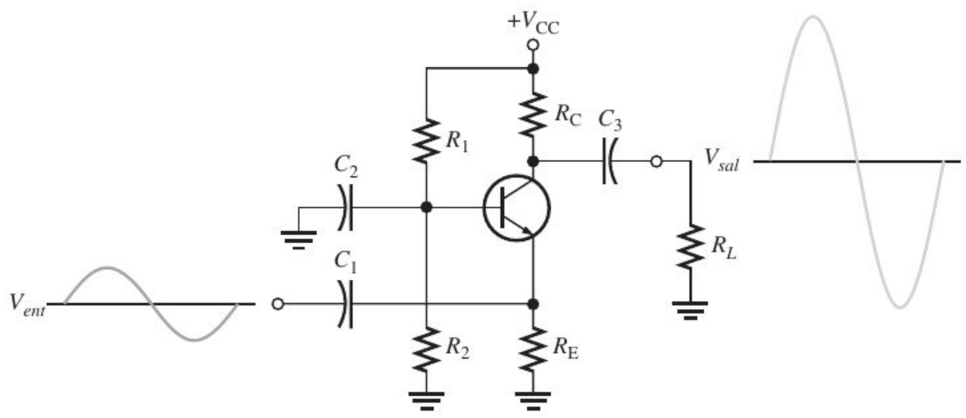
TP Nº 4: Base Común

Electrónica Aplicada I

0) Amplificador BJT en configuración base común.

- El amplificador en base común (BC) proporciona una alta ganancia de voltaje con una ganancia de corriente máxima de 1.
- Como su impedancia de entrada es baja, el amplificador en BC es el tipo más apropiado para ciertas aplicaciones donde las fuentes tienden a tener salidas de muy baja resistencia.
- Aplicaciones típicas:
  - Circuitos de radiofrecuencia (RF): Amplificadores de alta frecuencia, como en etapas de entrada de receptores.
  - Amplificadores de banda ancha: Donde se necesita respuesta rápida y estabilidad en frecuencia.
- Dos maneras de observar el circuito:





1) Diseñar para Máxima Excursión Simétrica

Teniendo como datos:

$R_E = 220\ \Omega$

$R_C = 2.2\ K$

$R_L = 2.2\ K\Omega$

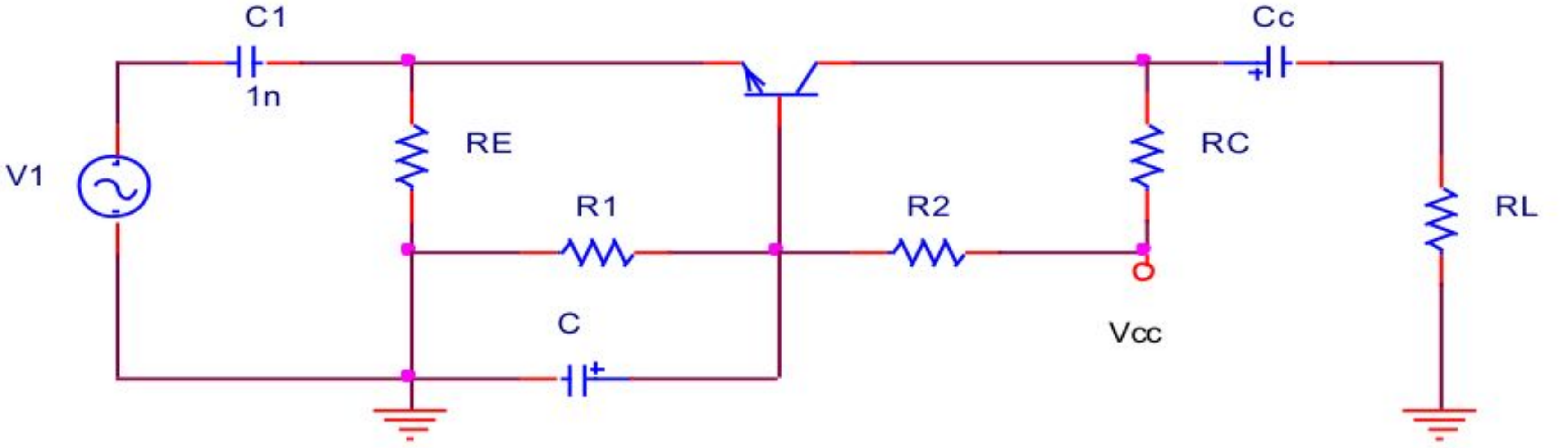
Elegir:

Transistor (medir β)

V_{CC}

Calcular:

R_1 y R_2



Luego de realizado el diseño del amplificador, se procede a la simulación del mismo, si esta da resultados acorde con los especificaciones de diseño(se admite 10% de tolerancia), se implementa el circuito de lo contrario se revisan los cálculos.

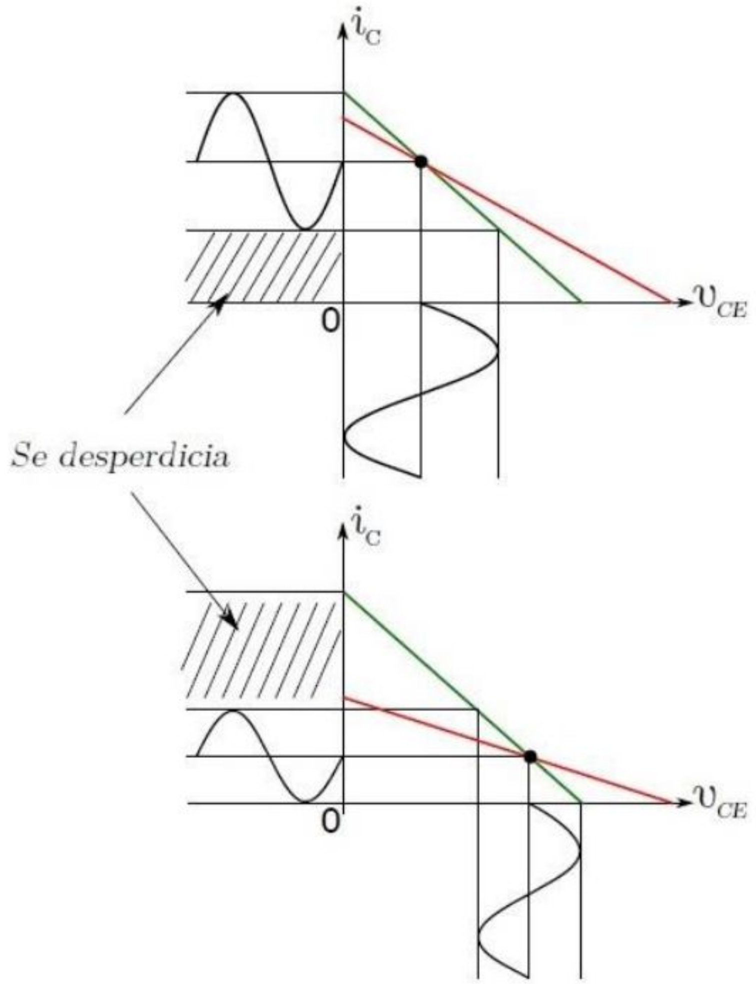
Mediciones

Luego de implementar el circuito se realizaran mediciones con el multimetro en distintos puntos del circuito a fin de ser comparadas con las especificaciones de diseño.

V_{CBQ}, I_{CQ}, I_{R1}, I_{R2} y I_{BQ}

1) Recordamos...

Máxima excursión simétrica



Máxima excursión simétrica (MES): Si el punto Q se elige de manera que quede situado en el centro de la recta de carga de CA, obtenemos la condición de MES. Si las excursiones de la señal de entrada son suficientemente grandes como para mover el punto de funcionamiento de forma apreciable sobre esta recta de carga, tenemos una condición de diseño que asegurará un funcionamiento lineal para el rango máximo de la señal de entrada.

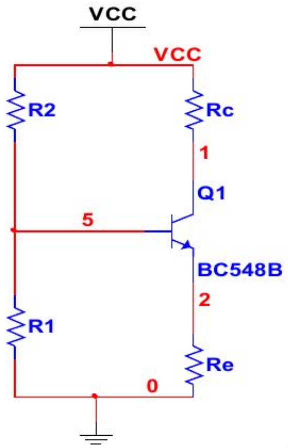
✔ Ecuación malla de salida para Corriente Contínua (CC).

$$V_{CC} - I_{CQ} \times R_C - V_{CBQ} + \frac{I_{CQ}}{\beta} \times Rb - Vbb = 0 \quad (1)$$

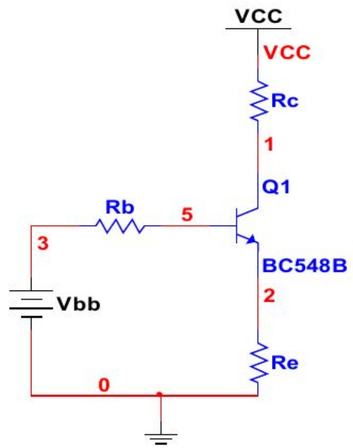
$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta}$$

$$V_{BB} = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} R_1$$

$$R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

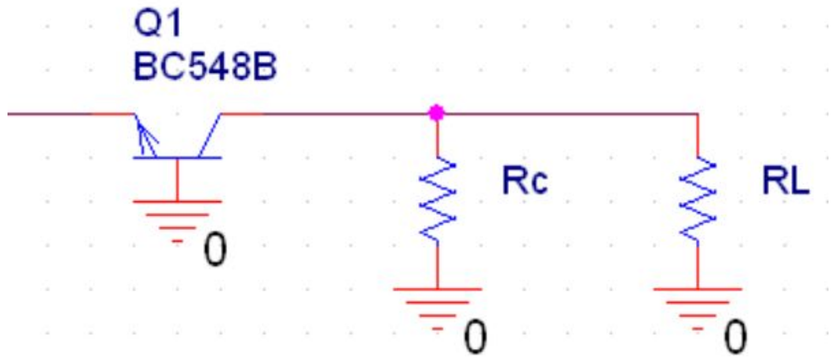


=== Thévenin ===>



✔ Ecuación malla de salida para Corriente Alterna (CA).

$$v_{cb} = i_c \times (Rc \,//\, R_L) \quad (2)$$

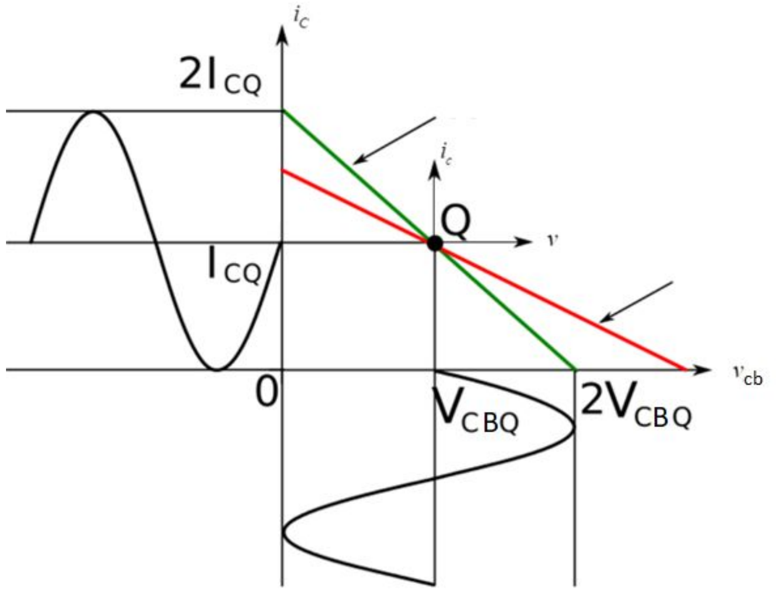


Para MES tenemos que lograr que:

$$V_{CB}=v_{cb\ picoMax}(3)\ y\ I_{CQ}=i_{c\ picoMax}(4)$$

Reemplazando (3) y (4) en (2):

$$V_{CBQ}=I_{CQ}\times(Rc//R_L) \quad (5)$$



Reemplazando (5) en (1):

$$V_{CC}-I_{CQ}\times R_C-I_{CQ}\times(Rc//R_L)+\frac{I_{CQ}}{\beta}\times Rb-Vbb=0$$

$$Vcc-Vbb=I_{CQ}\times(Rc-\frac{Rb}{\beta})+(Rc//R_L) \quad (6)$$

✔ Corriente de colector para MES.

Por lo tanto, despejando (6), el valor que debería tener I_{CQ} para MES es de:

$$I_{CQ,MES}=\frac{V_{CC}-Vbb}{(Rc-\frac{Rb}{\beta})+(Rc//R_L)}$$

$$I_{CQ_{MES}}=\frac{V_{CC}-V_{BB}}{R_{CC}+R_{CA}}$$

Punto Q para MES: (V_{CB}; I_C)

✔ Corriente de colector para MES.

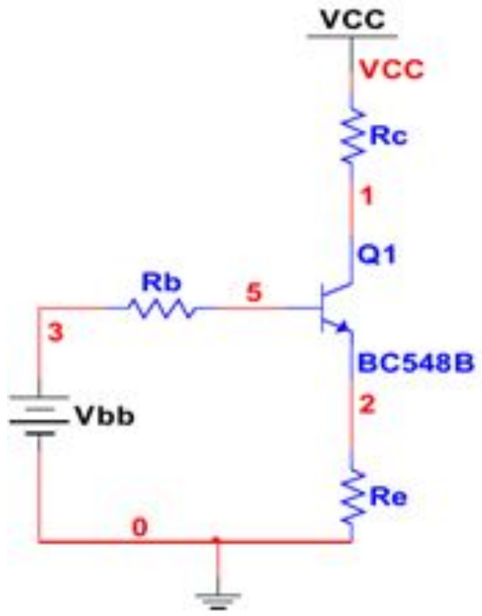
Por lo tanto, despejando (6), el valor que debería tener I_{CQ} para MES es de:

$$I_{CQ,MES} = \frac{V_{CC} - Vbb}{(Rc - \frac{Rb}{\beta}) + (Rc // R_L)}$$

✔ Tensión Colector-Base para MES.

Ahora, utilizando la I_{CQ} para MES, hallamos los otros valores:

$$V_{CBQ,MES} = V_{CC} - Vbb - I_{CQ,MES} \times (Rc - \frac{Rb}{\beta})$$

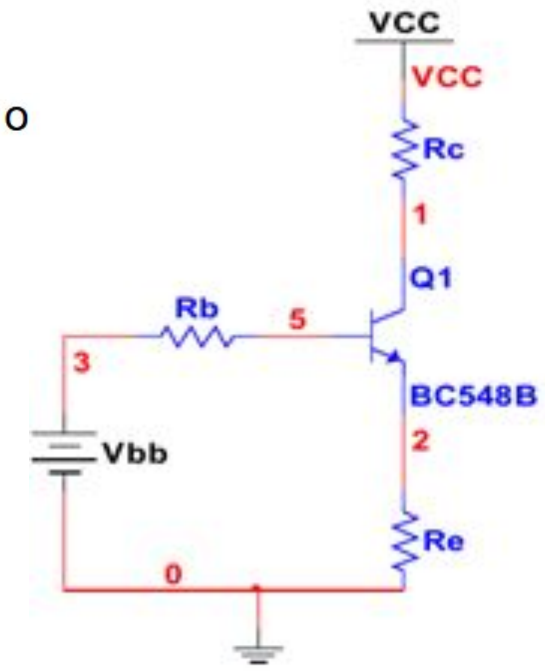


✔ CÁLCULO DE Vbb Y Rb PARA MES.

La corriente de colector será:

$$I_{CQ} = \frac{Vbb - Vbe}{\mathrm{Re} + \frac{Rb}{\beta}}$$

Por estabilidad del punto Q ante cambios de β , ya sea por reposición del transistor o por variaciones de la temperatura del mismo, se hace que $\mathrm{Re} \gg \frac{Rb}{\beta}$. Entonces adoptamos $\mathrm{Re} = \frac{10 \times Rb}{\beta}$.



Para que estemos en MES, la corriente de colector debería ser:

$$I_{CQ,MES} = \frac{V_{CC} - Vbb}{(Rc - \frac{Rb}{\beta}) + (Rc // R_L)}$$

Por lo tanto si igualamos $I_{CQ,MES}$ con I_{CQ} podemos despejar Vbb, manteniendo constante todo el resto:

$$\frac{V_{CC} - Vbb}{(Rc - \frac{Rb}{\beta}) + (Rc // R_L)} = \frac{Vbb - Vbe}{\mathrm{Re} + \frac{Rb}{\beta}}$$

Despejando Vbb:

$$Vbb = \frac{Vcc \times (\mathrm{Re} + \frac{Rb}{\beta}) + Vbe \times (Rc - \frac{Rb}{\beta} + Rc // R_L)}{\mathrm{Re} + Rc + Rc // R_L}$$

1B) Diseñar para MES: Simular

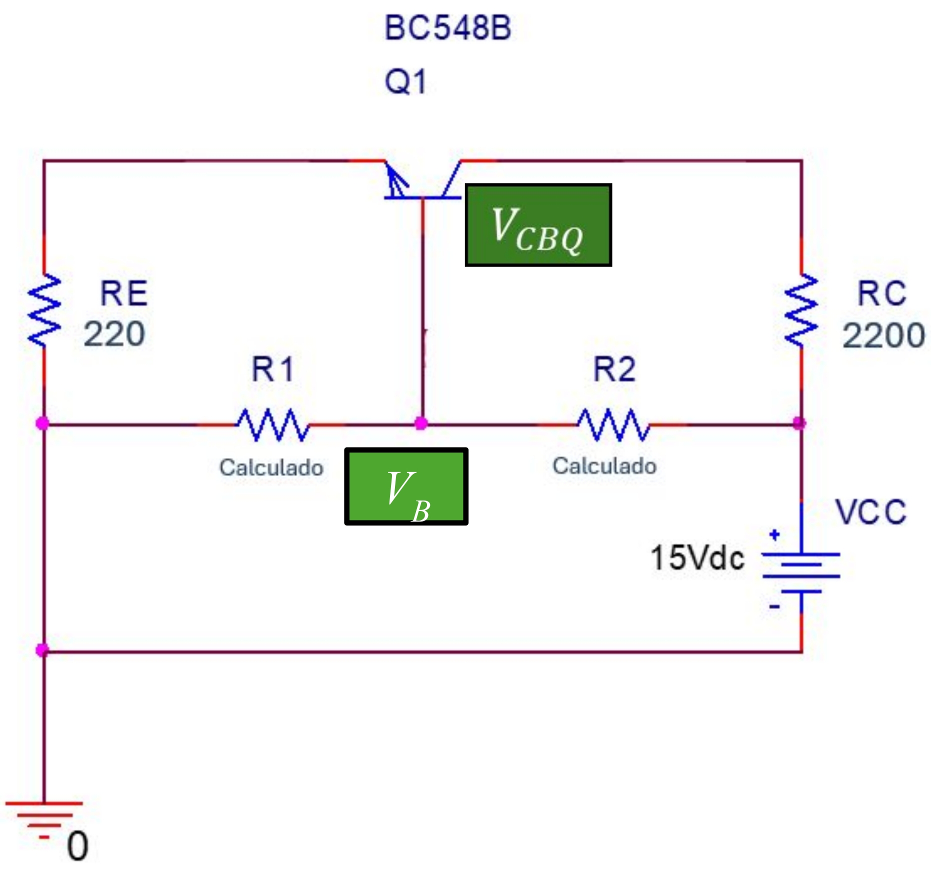


Figura 5 – Voltajes simulados con los valores calculados de los componentes.

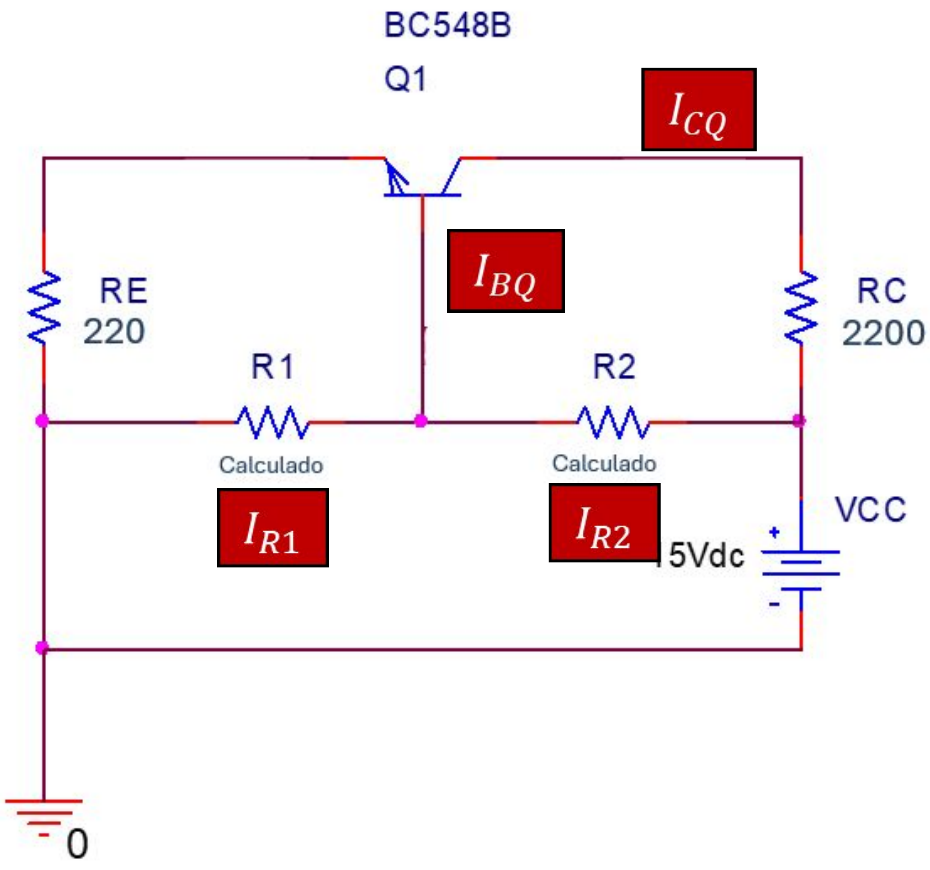


Figura 6 – Corrientes simuladas con los valores calculados de los componentes.

1B) Diseñar para MES: Simular

Las mediciones simuladas con valores normalizados deben estar aproximados a los calculados con una tolerancia de +/-10%

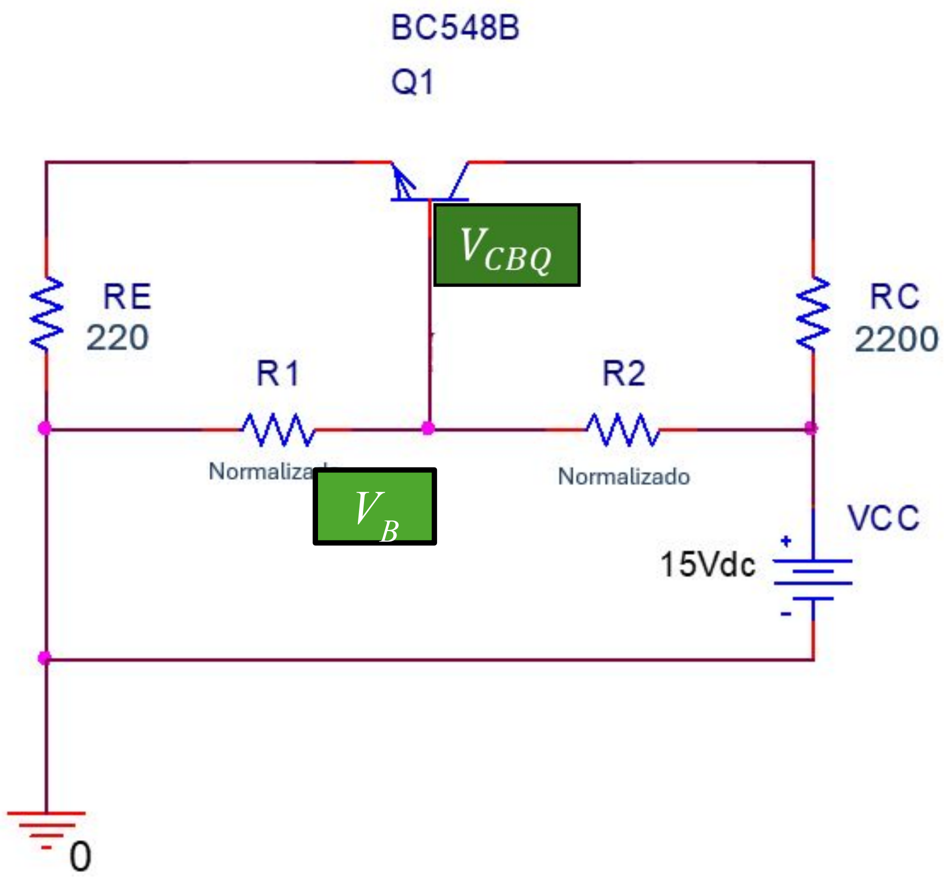


Figura 7 – Voltajes simulados con los valores normalizados

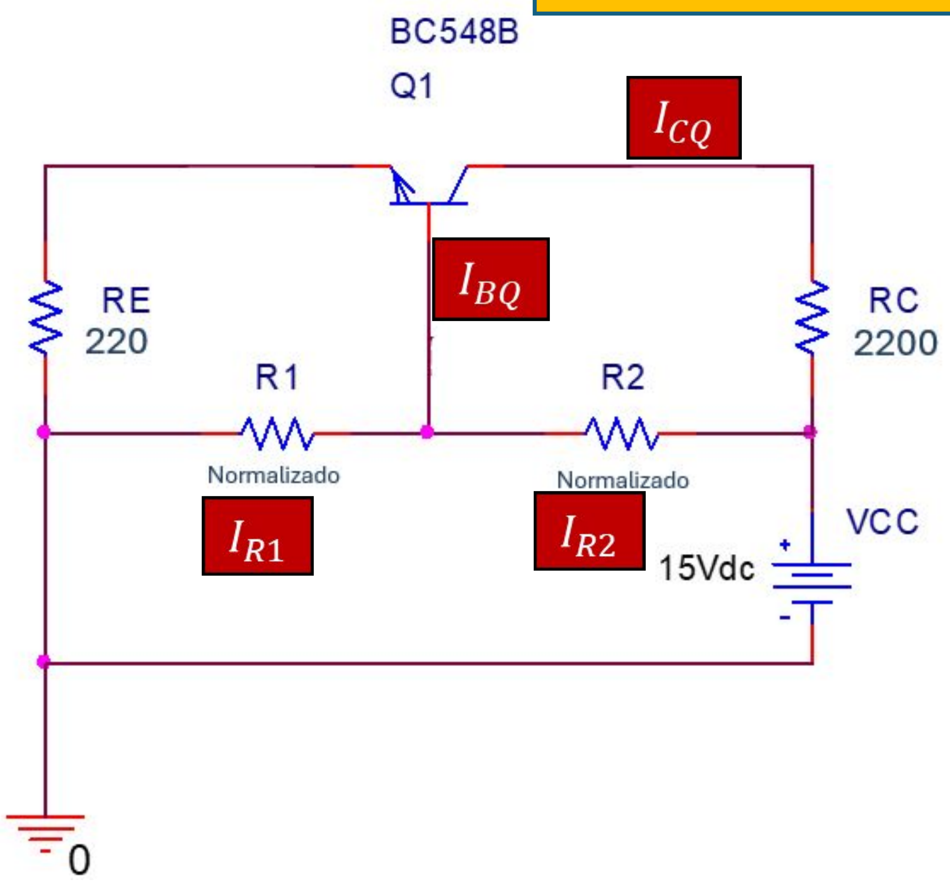


Figura 8 – Corrientes simuladas con los valores normalizados

1C) Diseñar para MES: Implementar y medir

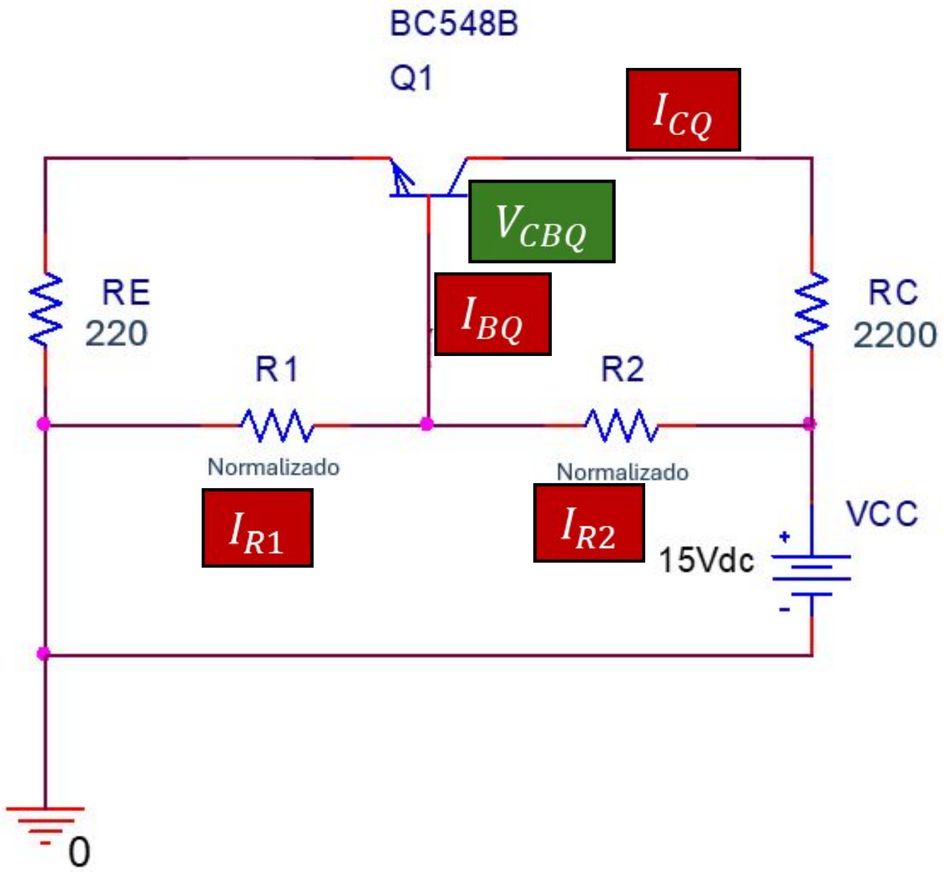


Figura 9 – Mediciones en circuito implementado

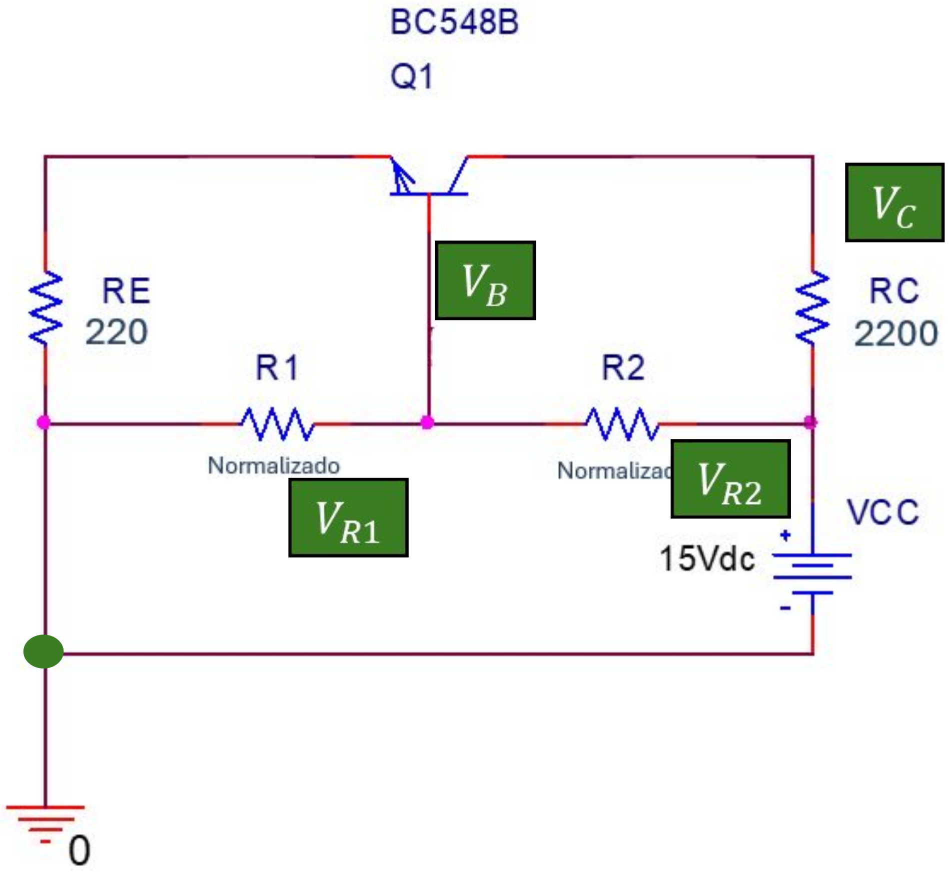


Figura 10 – Mediciones a realizar en circuito implementado

1C) Diseñar para MES: Implementar y medir

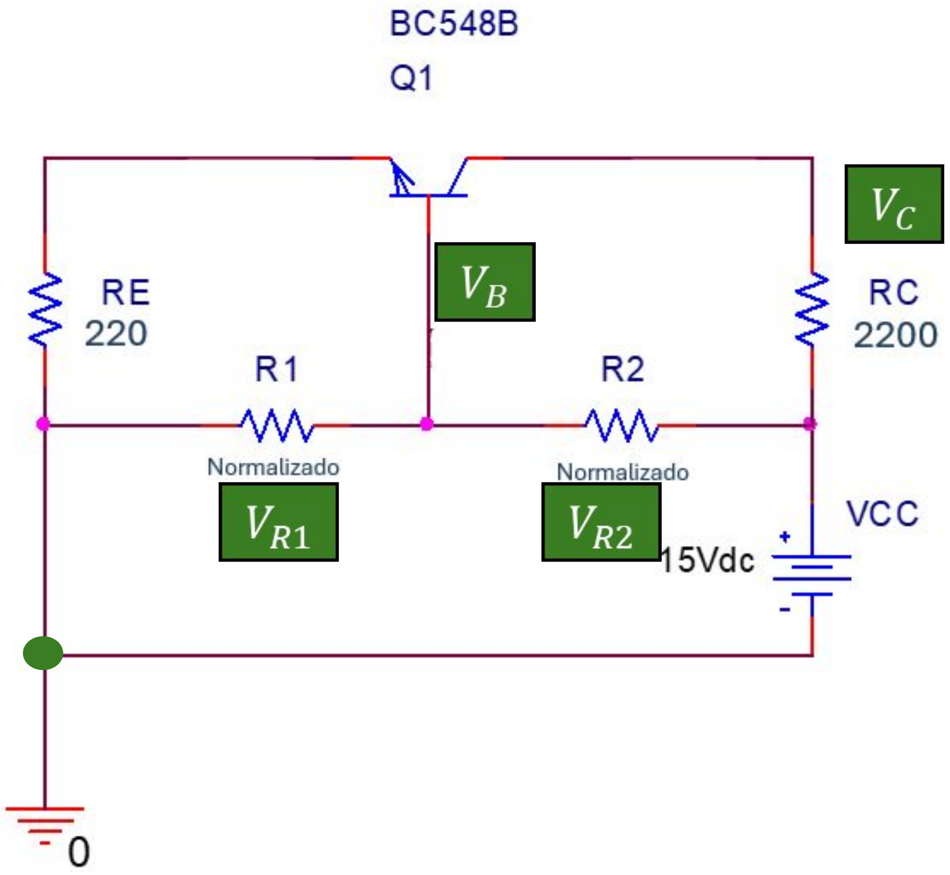


Figura 10 – Mediciones a realizar en circuito implementado

Consideraciones:

Medir siempre con una de las puntas en masa (punto verde)
Luego hacer por ley de Ohm y Kirchhoff los despejes para obtener las mediciones requeridas

$$V_{CBQ} = V_C - V_B \qquad ; \qquad I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_C}{R_C}$$

$$I_{R1} = \frac{V_{R1}}{R_1} \quad ; \quad I_{R2} = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{V_{CC} - V_B}{R_2}$$

$$I_{BQ} = I_{R2} - I_{R1}$$

2) **Análisis** y trazado de rectas de carga

Datos:
$R_E = 220\Omega$
$R_c = 2200\Omega$
$R_1 = normalizado\ \Omega$
$R_2 = normalizado\ \Omega$
$R_L = 2200\Omega$

Recordando Thevenin:

$$R_B = \frac{R_1\, R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_{BB} = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} R_1$$

Planteando la ecuación de la malla de entrada,

$$V_{BB} - I_{CQ_{MES}} \frac{R_B}{\beta} - V_{EBQ} - I_{CQ_{MES}} R_E = 0$$

$$I_{CQ_{MES}} = \frac{V_{BB} - 0{,}7V}{R_E + \frac{R_B}{\beta}}$$

Con la ecuación de la malla de salida, $V_{CBQ_{MES}}$.

$$V_{CC} - I_{CQ_{MES}} R_C - V_{CBQ_{MES}} + \frac{I_{CQ_{MES}}}{\beta} R_B - V_{BB} = 0$$

$$V_{CBQ_{MES}} = V_{CC} - V_{BB} - I_{CQ_{MES}} \left(R_C - \frac{R_B}{\beta} \right)$$

2) **Análisis** y trazado de rectas de carga

Datos:
$R_E = 220\Omega$
$R_c = 2200\Omega$
$R_1 = normalizado\ \Omega$
$R_2 = normalizado\ \Omega$
$R_L = 2200\Omega$

Recordando Thevenin:

$$R_B = \frac{R_1\,R_2}{R_1+R_2}$$

$$V_{BB} = \frac{V_{CC}}{R_1+R_2}R_1$$

Verificá que los valores medidos y los calculados analíticamente se asemejen

Para obtener la corriente de base, calculamos las corrientes que circulan por el divisor resistivo del circuito original

$$\boxed{I_{R_1} = \frac{V_{R_1}}{R_1} = \frac{I_{CQ_{MES}}R_E + 0{,}7V}{R_1}}$$

$$\boxed{I_{R_2} = \frac{V_{CC} - V_{R_1}}{R_2}}$$

Aplicando ley de Kirchhoff de corrientes al nudo de la entrada, calculamos I_{BQ}.

$$I_{R_2} = I_{R_1} + I_{BQ} \therefore \boxed{I_{BQ} = I_{R_2} - I_{R_1}}$$

2) Análisis y **trazado de rectas de carga**

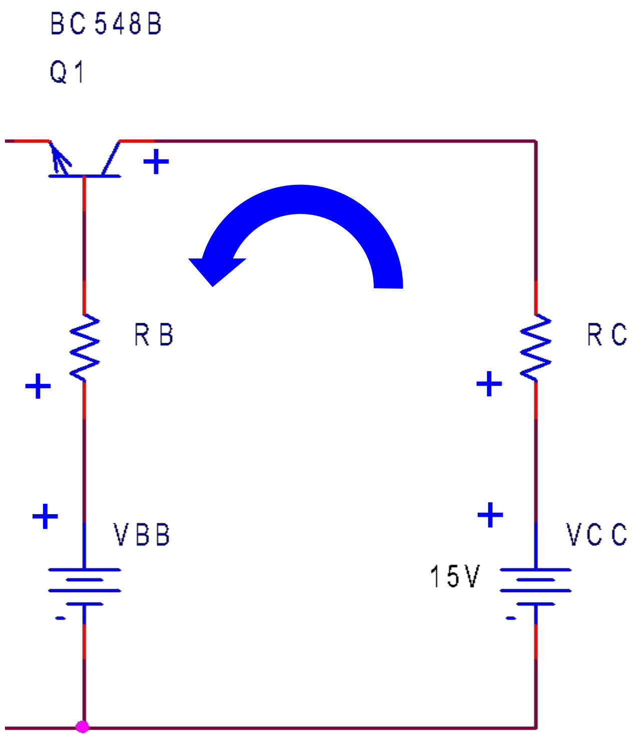


Figura 11 – Circuito de salida para CC

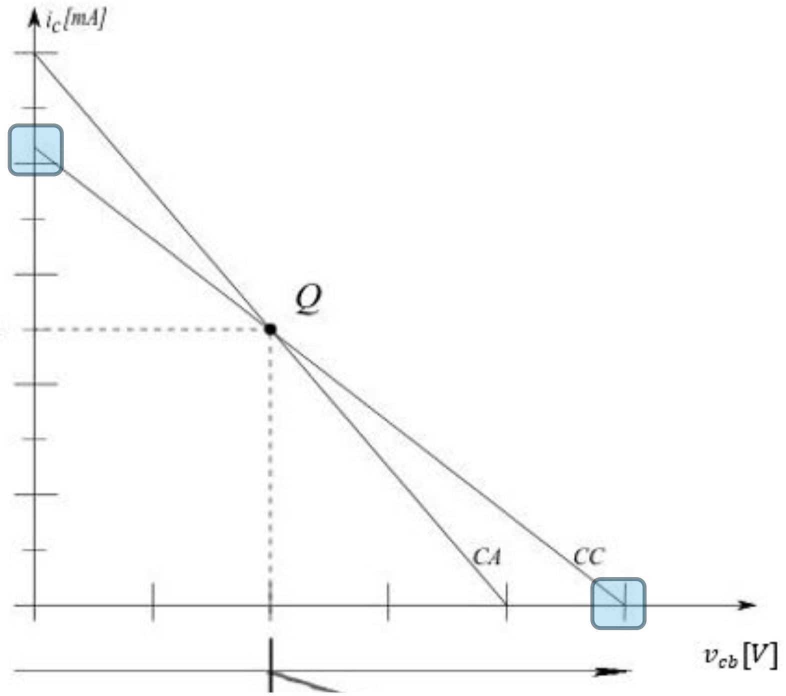
La ecuación de la recta de carga para CC:

$$v_{CBQ} = V_{CC} - V_{BB} - i_C\left(R_C - \frac{R_B}{\beta}\right)$$

Intersección con los ejes coordenados:

$$i_C = 0 \rightarrow \boxed{v_{CB_{máx}} = V_{CC} - V_{BB}}$$

$$v_{CB} = 0 \rightarrow \boxed{i_{C_{máx}} = \frac{V_{CC} - V_{BB}}{R_C - \frac{R_B}{\beta}}}$$



2) Análisis y **trazado de rectas de carga**

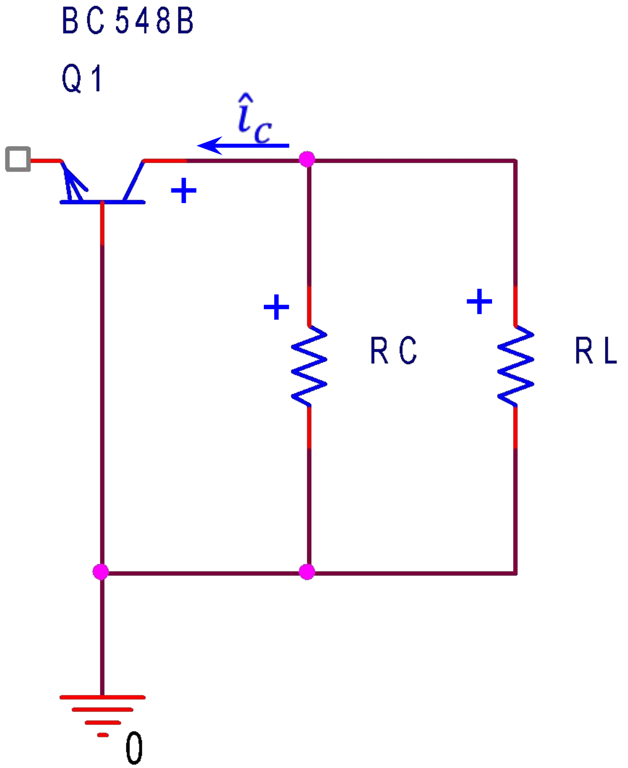


Figura 12 – Circuito de salida para CA

La ecuación de la recta de carga para CA es:

$$v_{CB} = V\acute{}_{CC} - i_C\left(\frac{R_C\,R_L}{R_C + R_L}\right)$$

Nótese que $\boldsymbol{V\acute{}_{CC}}$**, *no es*** $\boldsymbol{V_{CC}}$,
Su valor depende del punto Q.
Es decir

$$V_{CBQ_{MES}} = V\acute{}_{CC} - I_{CQ_{MES}}\left(\frac{R_C\,R_L}{R_C + R_L}\right)$$

$$V\acute{}_{CC} = V_{CBQ_{MES}} + I_{CQ_{MES}}\left(\frac{R_C\,R_L}{R_C + R_L}\right)$$

2) Análisis y **trazado de rectas de carga**

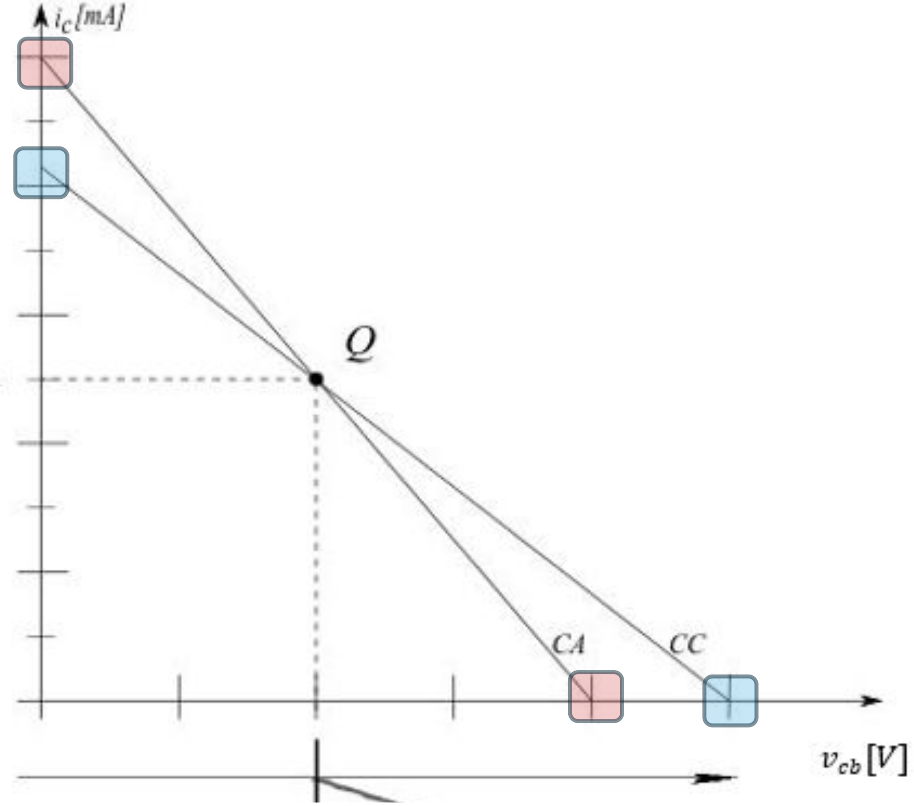
Reemplazamos en ecuación de la recta de carga de CA:

$$v_{CB} = V_{CBQ_{MES}} + I_{CQ_{MES}}\left(\frac{R_C\,R_L}{R_C+R_L}\right) - \; i_C\left(\frac{R_C\,R_L}{R_C+R_L}\right)$$

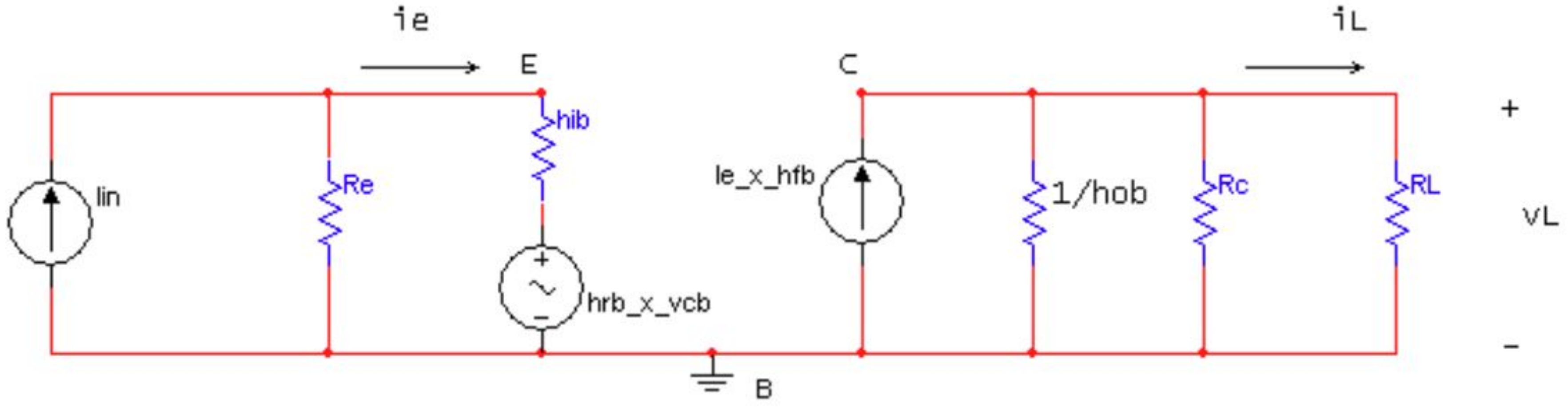
Buscando la intersección con los ejes coordenados se obtiene:

$$i_C = 0 \rightarrow \boxed{v_{CB_{máx}} = V\acute{}_{CC}}$$

$$v_{CB} = 0 \rightarrow \boxed{i_{C_{máx}} = \frac{V_{CBQ_{MES}}}{\left(\frac{R_C\,R_L}{R_C+R_L}\right)} + I_{CQ_{MES}}}$$



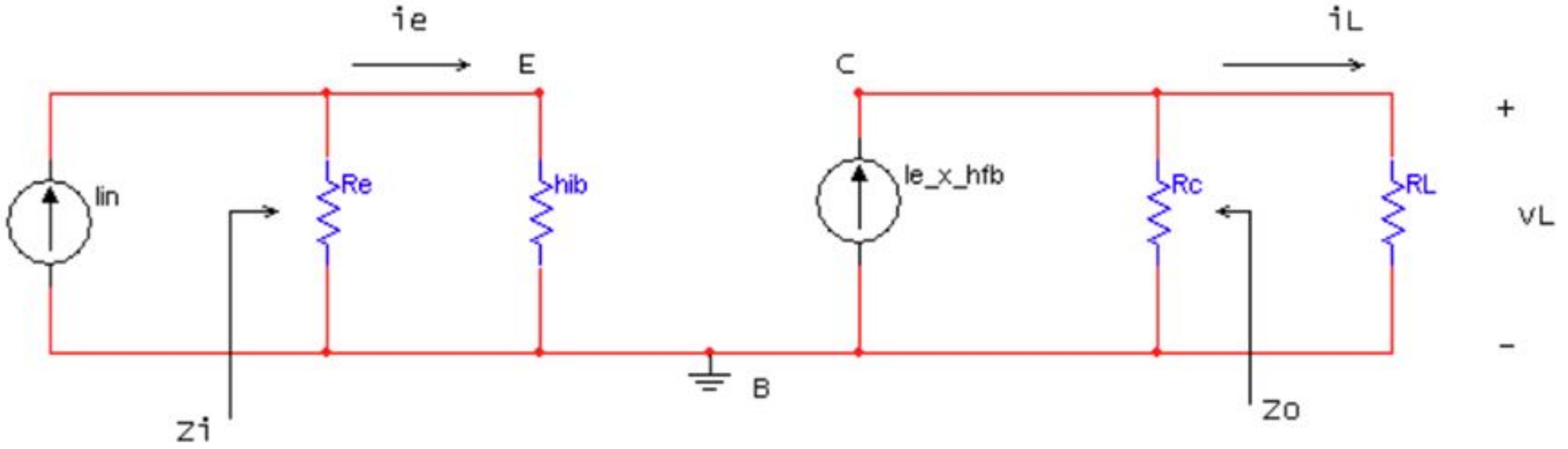
3A) Mediciones de pequeña señal:
Analítico



Circuito híbrido equivalente del transistor en base común.

En este equivalente h_{rb} y h_{ob} son despreciables.

3A) Mediciones de pequeña señal:
Analítico



Circuito híbrido simplificado del transistor en base común.

Impedancia de entrada

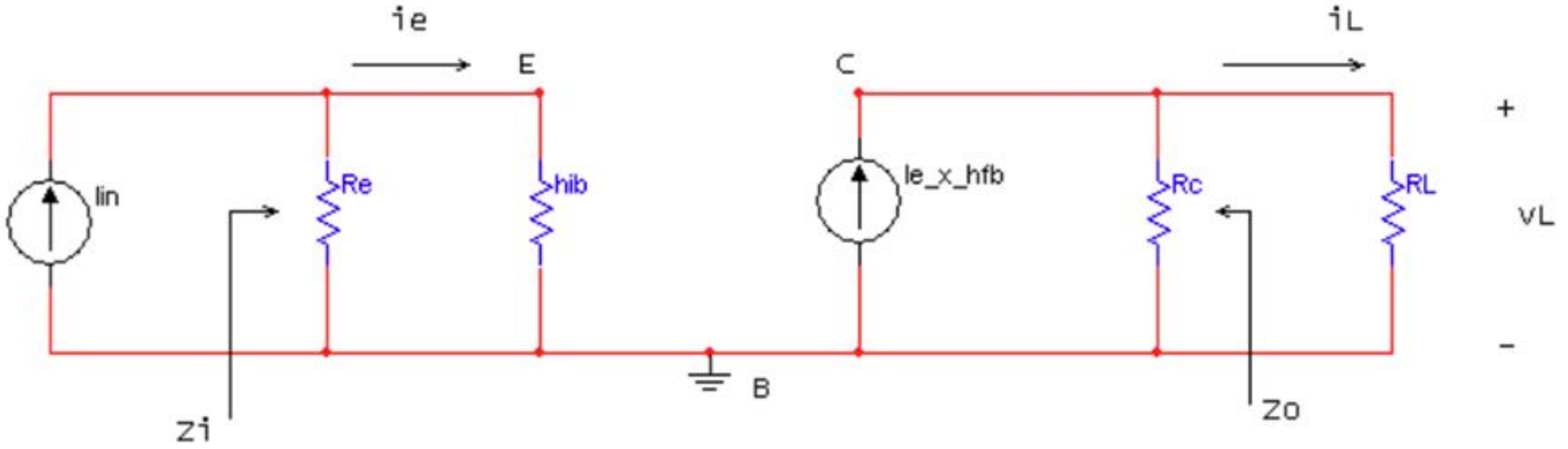
$$h_{ib} = \frac{h_{ie}}{h_{fe}+1} = \cancel{h}_{fe} \times \frac{25mV}{I_{CQ}} \times \frac{1}{\cancel{h}_{fe}} = \frac{25mV}{I_{CQ}}$$

$$Z_i = R_e // h_{ib}$$

Impedancia de salida

$$Z_O \approx R_C$$

3A) Mediciones de pequeña señal:
Analítico



Circuito híbrido simplificado del transistor en base común.

Ganancia de corriente

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

Ganancia de tensión

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

3B) Mediciones de pequeña señal:
Experimental

Impedancia de entrada Z_i

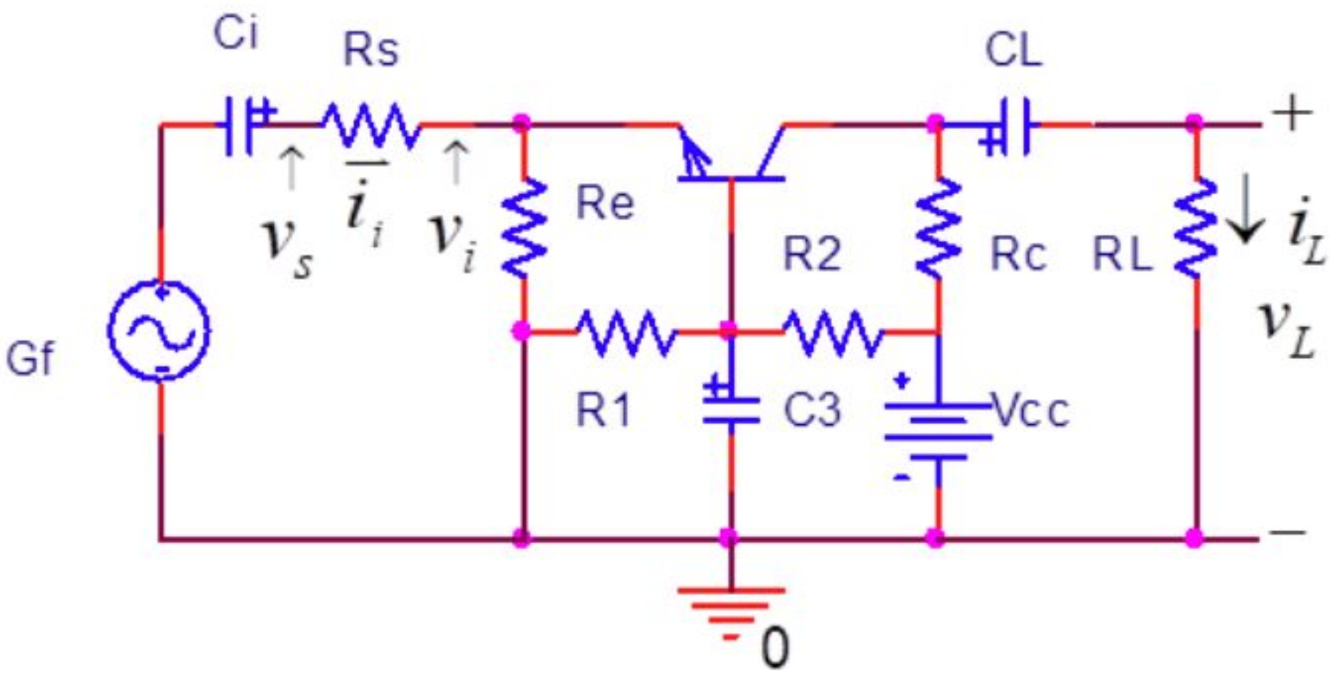
$$Z_i = \frac{V_i}{I_i}$$

Aplicando Ley de Ohm en la malla de entrada, resulta:

$$I_i = \frac{V_s - V_i}{R_{sensora}}$$

$$\boxed{Z_i = \frac{V_i}{i_i} = \frac{V_i}{\frac{V_s - V_i}{R_{sensora}}}}$$

Rs = 6,8 Ω



Se configura para VI = 1 Vpp

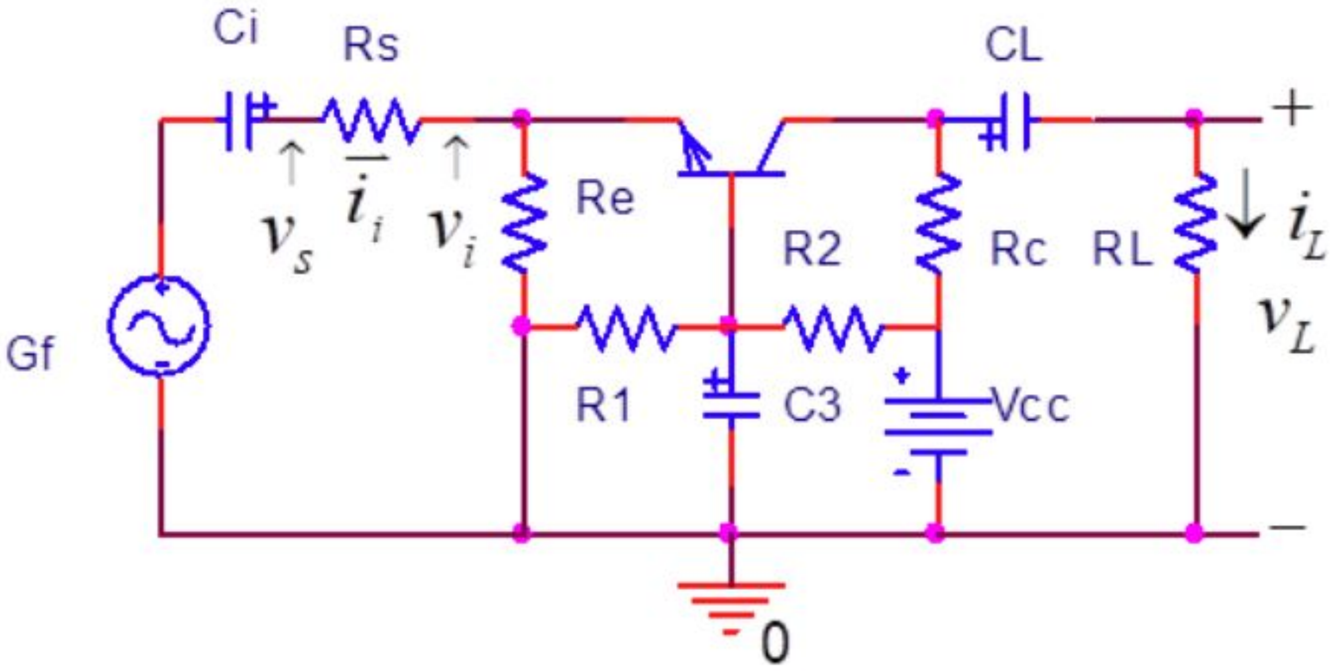
3B) Mediciones de pequeña señal:
Experimental

Ganancia de tensión A_v

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

Ganancia de corriente A_i

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{\frac{V_o}{R_L}}{\frac{V_s - V_i}{R_{sensora}}}$$



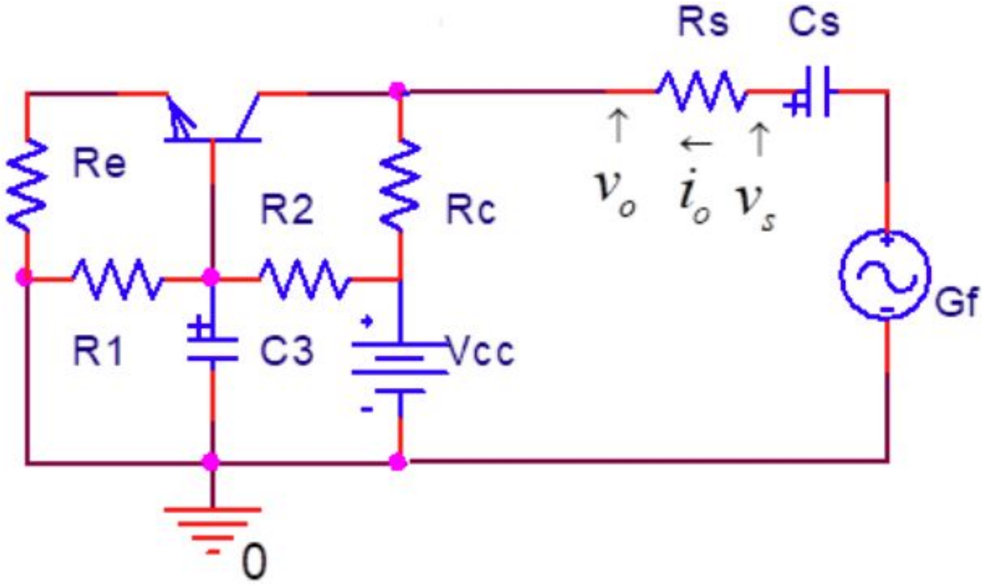
3B) Mediciones de pequeña señal:
Experimental

<u>Impedancia de salida Z_o</u>

-

$$Z_o = \frac{V_o}{i_o} = \frac{V_o}{\frac{V_S - V_O}{R_{sensora}}}$$

Pregunta extra: ¿cuánto vale h_{ob}?



Se configura para Vo = 1 Vpp y Rs = 2K2

FIN.
Al Laboratorio

Electrónica Aplicada I