

TP N° 2: Emisor Común

Electrónica Aplicada I

Enunciado

TP N°2

- 1) Diseñar para máxima excursión simétrica
 - A) Calcular R_1 y R_2
 - B) Simular
 - C) Implementar y medir
- 2) Análisis y trazado de rectas de cargas
- 3) Mediciones de pequeña señal de Z_i , Z_o , A_i , A_v .
 - A) Analíticamente
 - B) Experimentalmente

1) Diseñar para Máxima Excursión Simétrica

Datos:

- $R_E = 180\Omega$
- $R_C = 1.2K\Omega$
- $R_L = 1K\Omega$

Elegir:

- Transistor (medir β)
- V_{CC}

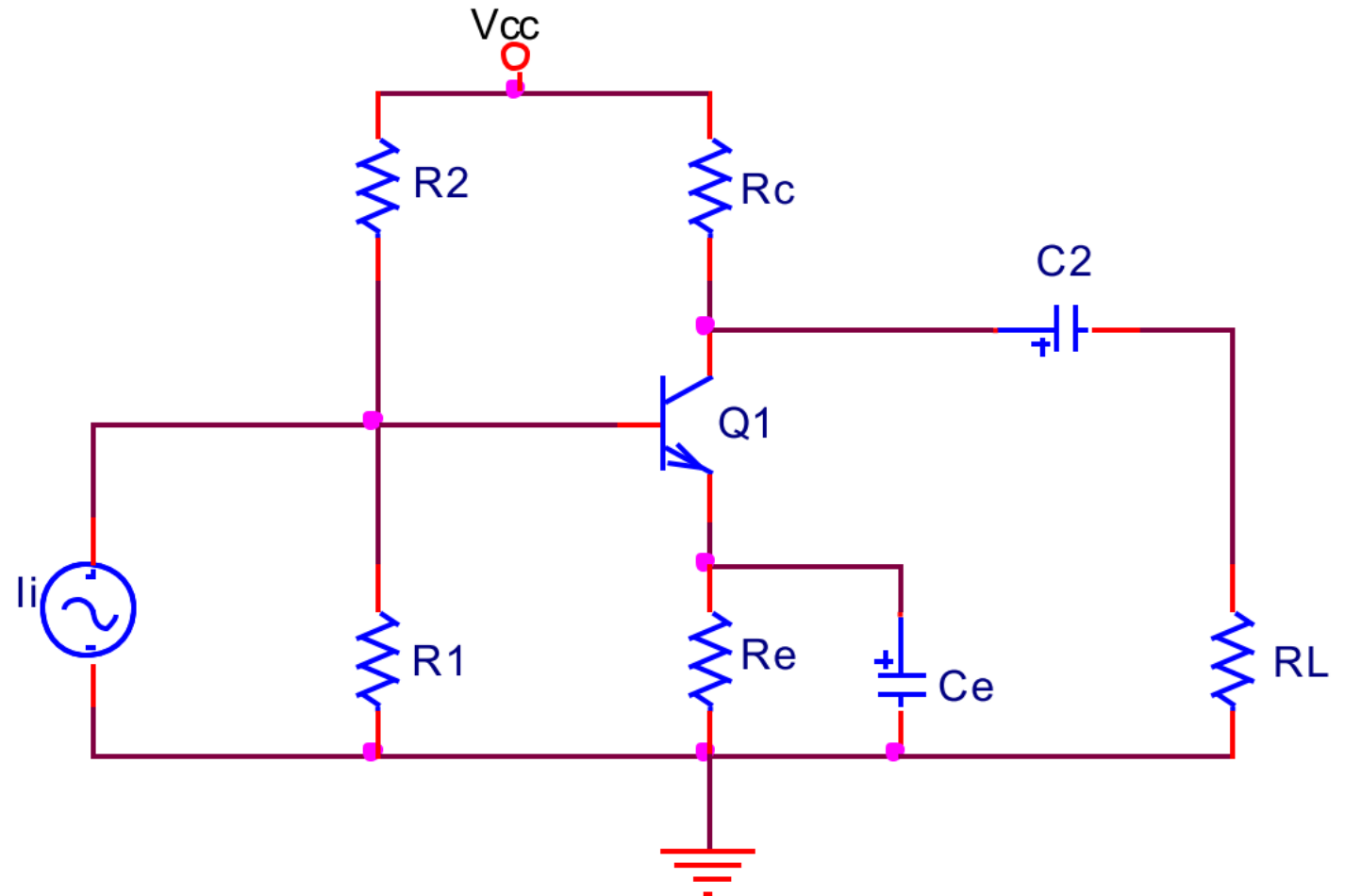
A) Calcular: R_1 y R_2

B) Simular con:

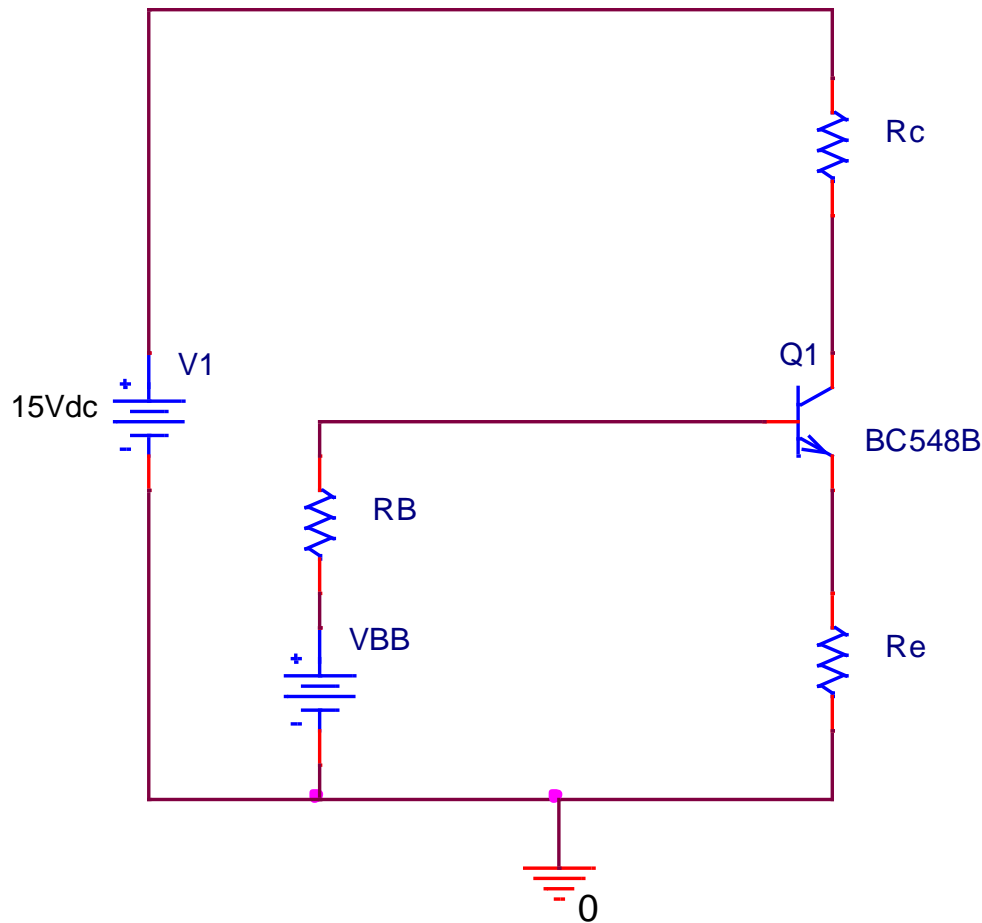
- valores de diseño
- valores normalizados

C) Implementar el circuito y medir:

- $V_{CEQ}, I_{CQ}, I_{R1}, I_{R2}, I_{BQ}$



1A) Diseñar para MES: Calculo de R_1 y R_2



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

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

Figura 1 – Circuito simplificado aplicando teorema de Thévenin en red de entrada

1A) Diseñar para MES: Calculo de R_1 y R_2

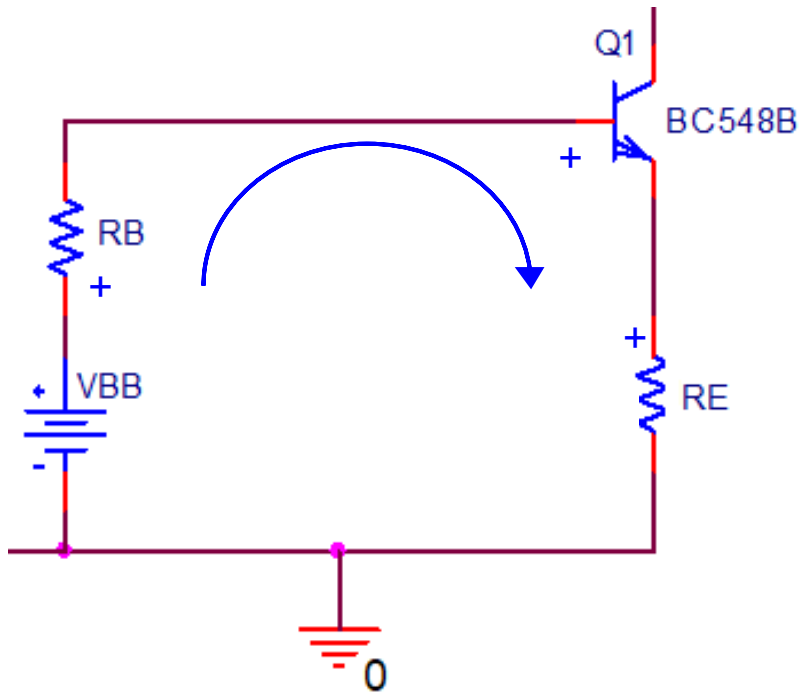


Figura 2 – Análisis de malla de entrada.

$$V_{BB} - I_{BQ}R_B - V_{BEQ} - I_{CQ}R_E = 0$$

$$\text{con } I_{CQ} = \beta I_{BQ} \therefore I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta}$$

$$V_{BB} - I_{CQ} \frac{R_B}{\beta} - V_{BEQ} - I_{CQ}R_E = 0$$

$$V_{BB} - V_{BEQ} = I_{CQ} \left(\frac{R_E + R_B}{\beta} \right)$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{BB} - V_{BEQ}}{R_E + \frac{R_B}{\beta}}$$

1A) Diseñar para MES: Calculo de R_1 y R_2

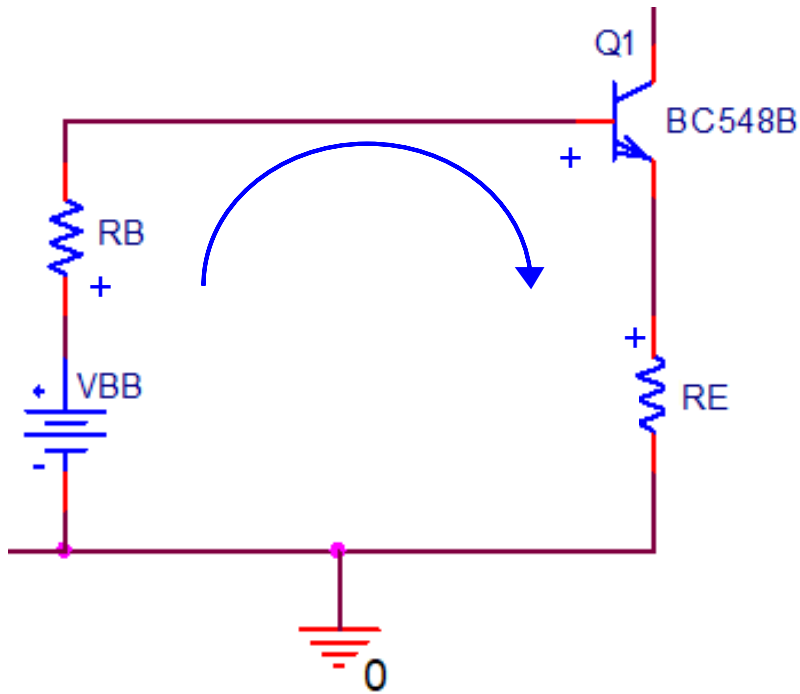


Figura 2 – Análisis de malla de entrada.

$$I_{CQ} = \frac{V_{BB} - V_{BEQ}}{R_E + \frac{R_B}{\beta}}$$

Criterio de diseño:

$$R_E \gg \frac{R_B}{\beta} \therefore R_E = 10 \frac{R_B}{\beta} \quad (1)$$

$$\therefore \frac{R_B}{\beta} = \frac{R_E}{10}$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{BB} - V_{BEQ}}{R_E + \frac{R_E}{10}} \quad (2)$$

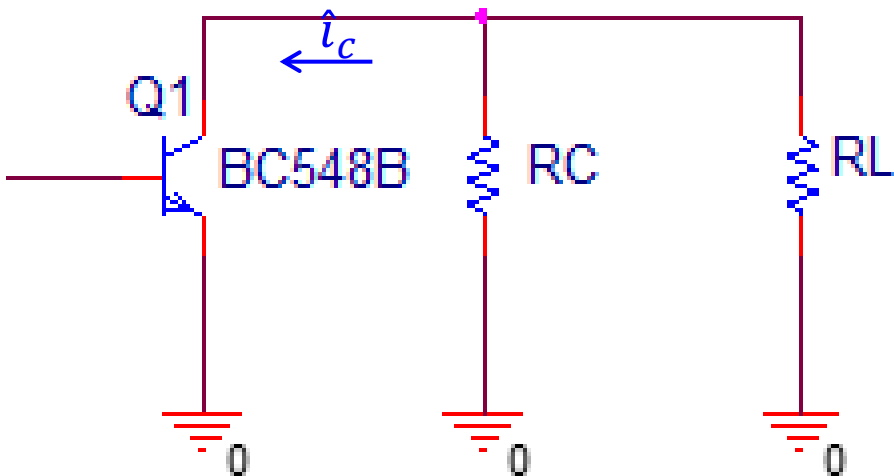
1A) Diseñar para MES: Calculo de R_1 y R_2

En (CC)

$$V_{CC} = V_{CEQ} + I_{CQ} (R_C + R_E) = V_{CEQ} + I_{CQ} R_{CC} \quad (3)$$

En (CA)

$$\hat{v}_{ce} = \hat{i}_c R_{CA} = \hat{i}_c \left(\frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \right) \quad (4)$$



Para MES se verifica:

$$\begin{aligned} \hat{v}_{ce} &= V_{CEQ} \\ \hat{i}_c &= I_{CQ} \end{aligned}$$

Figura 3 – Circuito de salida para CA

1A) Diseñar para MES: Calculo de R_1 y R_2

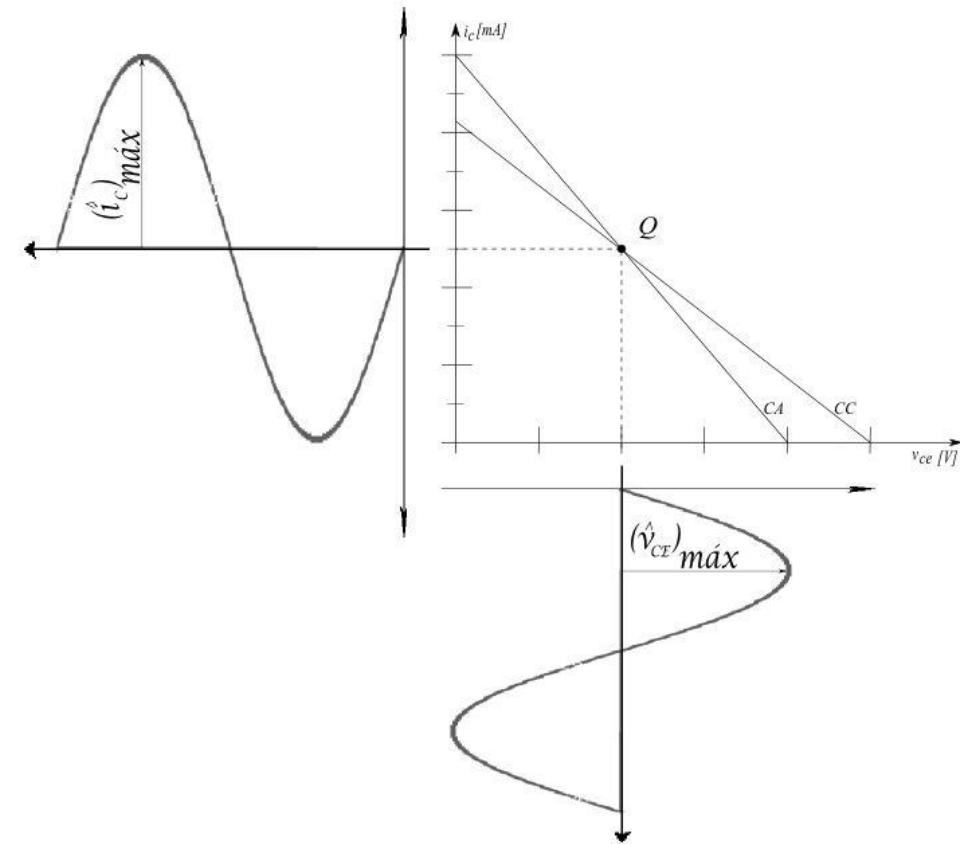


Figura 4 –Análisis de la amplitud de las señales a amplificar

Reemplazando en (4)

$$V_{CEQ_{MES}} = I_{CQ_{MES}} \left(\frac{R_C \cdot R_L}{R_C + R_L} \right) \quad (5)$$

Remplazamos (5) por V_{CEQ} en (3). También se sustituye I_{CQ} por $I_{CQ_{MES}}$, entonces

$$V_{CC} = I_{CQ_{MES}} \left(\frac{R_C \cdot R_L}{R_C + R_L} \right) + I_{CQ_{MES}} (R_C + R_E)$$

Despejando $I_{CQ_{MES}}$, se obtiene la formula general

$$I_{CQ_{MES}} = \frac{V_{CC}}{\left(\frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \right) + (R_C + R_E)} = \frac{V_{CC}}{(R_C // R_L) + (R_C + R_E)}$$
$$I_{CQ_{MES}} = \frac{V_{CC}}{(R_{CA}) + (R_{CC})} \quad (6)$$

1A) Diseñar para MES: Calculo de R_1 y R_2

Igualando (2) y (6), obtenemos V_{BB}

$$\frac{V_{BB} - V_{BEQ}}{R_E + \frac{R_E}{10}} = \frac{V_{CC}}{(R_{CA}) + (R_{CC})}$$

$$(V_{BB} - V_{BEQ})[(R_{CA}) + (R_{CC})] = V_{CC} \left(R_E + \frac{R_E}{10} \right)$$

$$V_{BB}[(R_{CA}) + (R_{CC})] = V_{CC} \left(R_E + \frac{R_E}{10} \right) + V_{BEQ}[(R_{CA}) + (R_{CC})]$$

$$V_{BB} = \frac{V_{CC} \left(R_E + \frac{R_E}{10} \right) + V_{BEQ}[(R_{CA}) + (R_{CC})]}{[(R_C // R_L) + (R_C + R_E)]}$$

1A) Diseñar para MES: Calculo de R_1 y R_2

De (1), despejamos R_B y obtenemos su valor:

$$R_E = 10 \frac{R_B}{\beta} \therefore R_B = \beta \frac{R_E}{10}$$

Finalmente, calculamos R_1 y R_2 .

$$V_{BB} = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} R_1 \quad \text{y} \quad R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\therefore R_1 = \frac{R_B}{1 - \frac{V_{BB}}{V_{CC}}} \quad \text{y} \quad R_2 = \frac{R_B}{\frac{V_{BB}}{V_{CC}}}$$

1B) Diseñar para MES: Simular

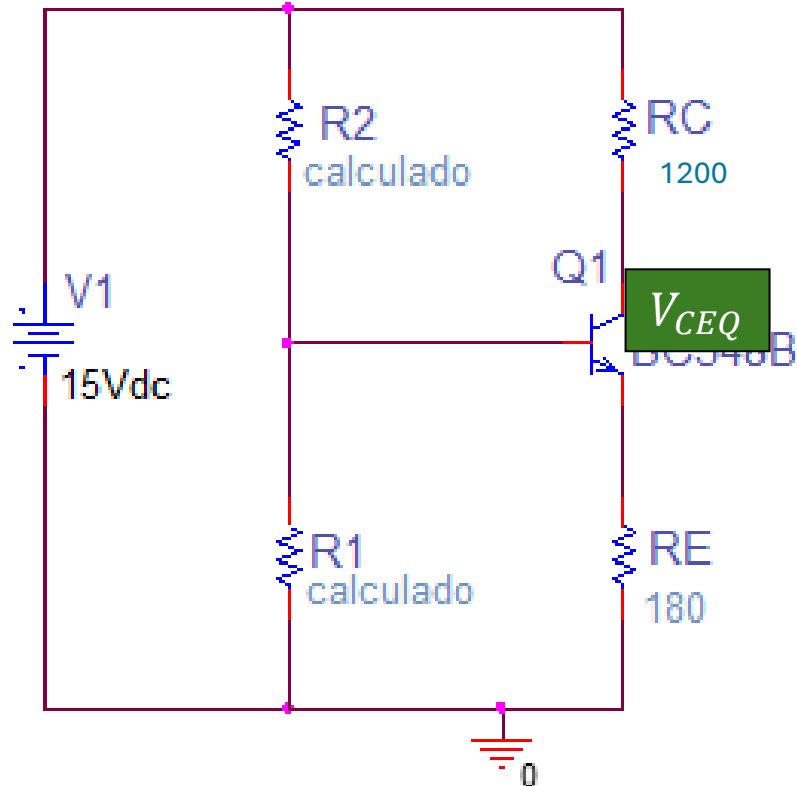


Figura 5 – Voltajes simulados con los valores calculados de los componentes.

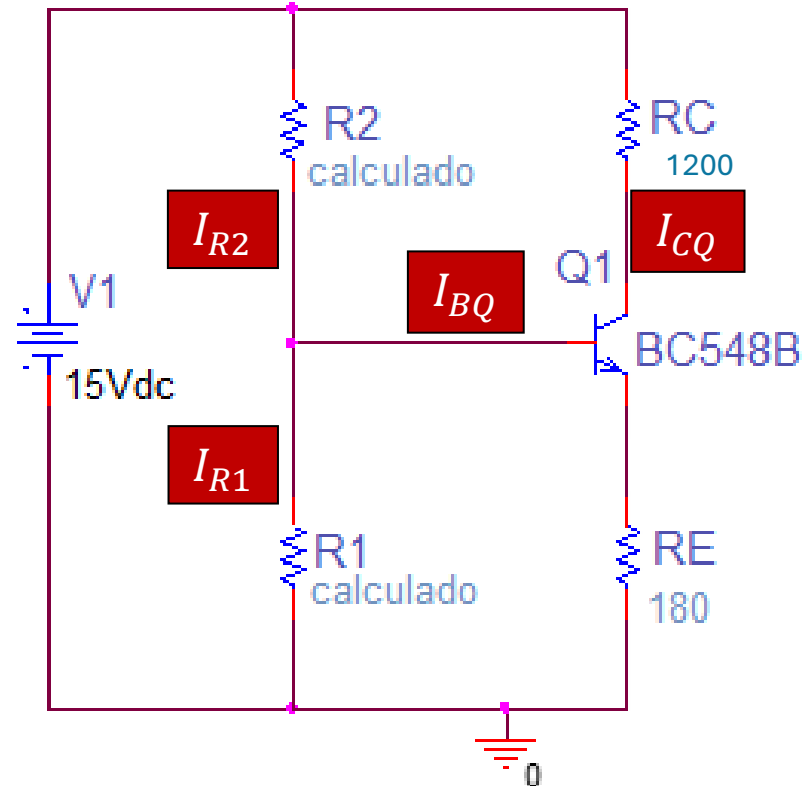


Figura 6 – Corrientes simuladas con los valores calculados de los componentes.

1B) Diseñar para MES: Simular

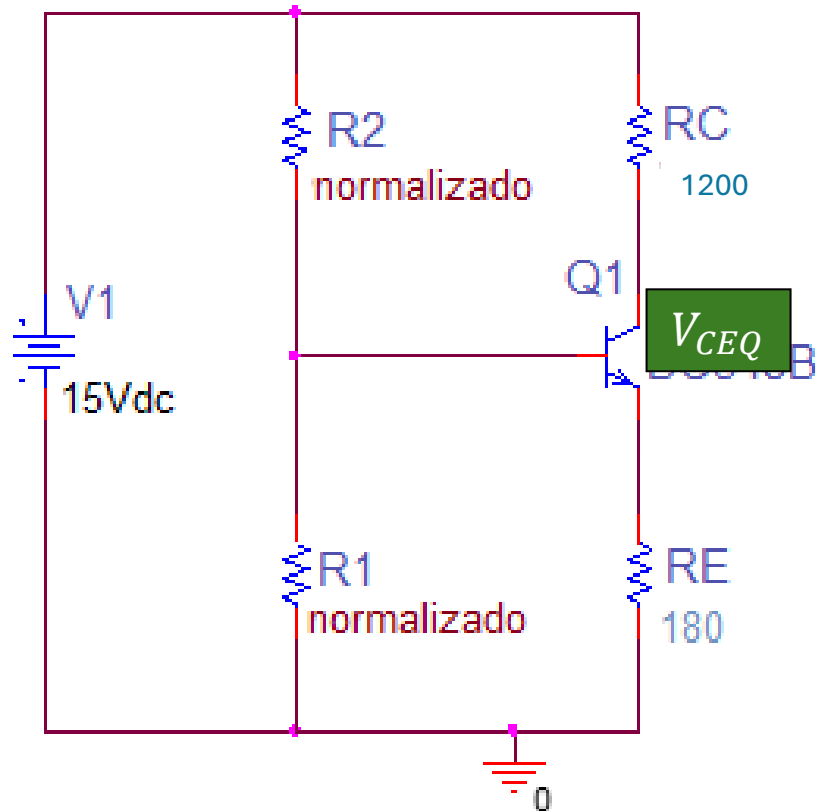


Figura 7 – Voltajes simulados con los valores normalizados

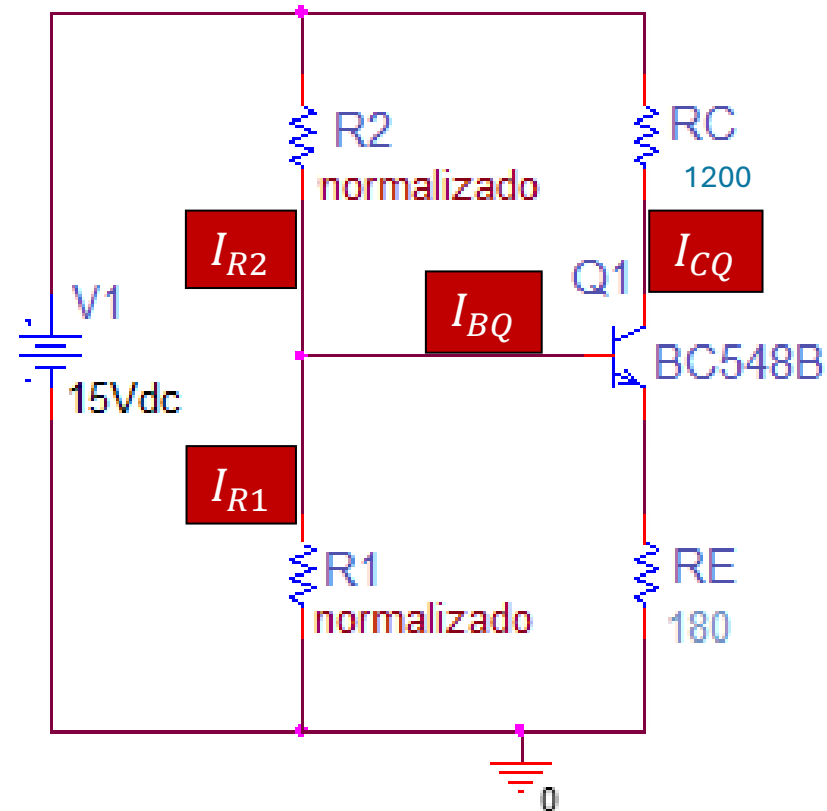


Figura 8 – Corrientes simuladas con los valores normalizados

1B) Diseñar para MES: Simular

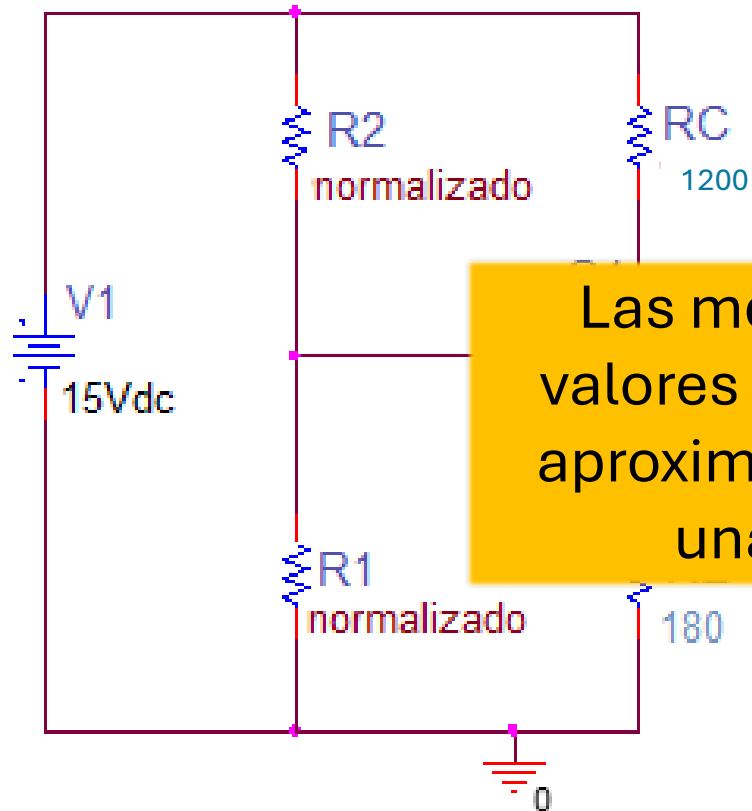


Figura 7 – Voltajes simulados con los valores normalizados

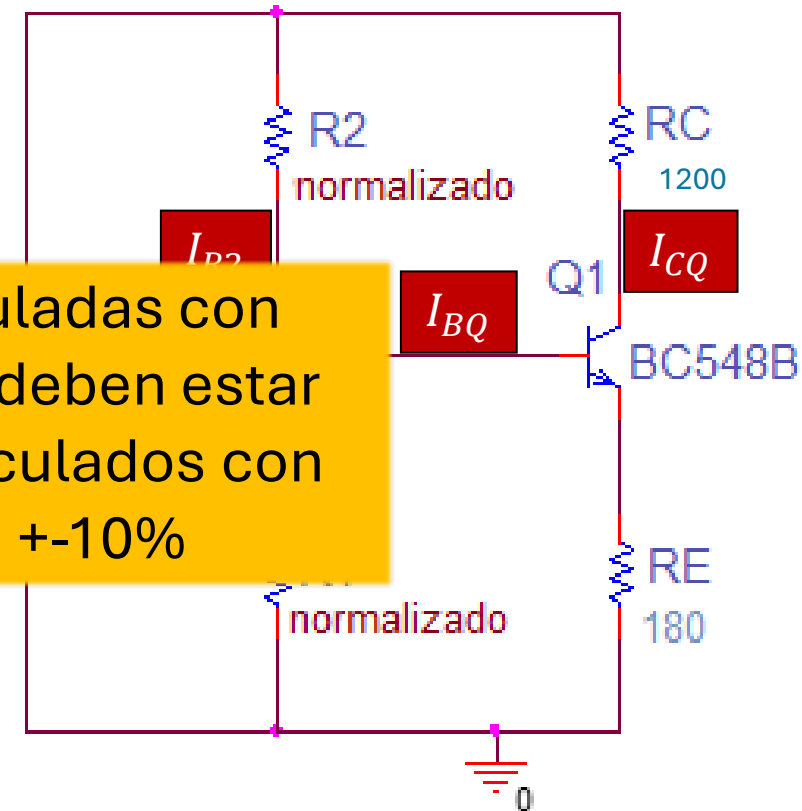


Figura 8 – Corrientes simuladas con los valores normalizados

Las mediciones simuladas con valores normalizados deben estar aproximados a los calculados con una tolerancia de $\pm 10\%$

1B) Diseñar para MES: Simular

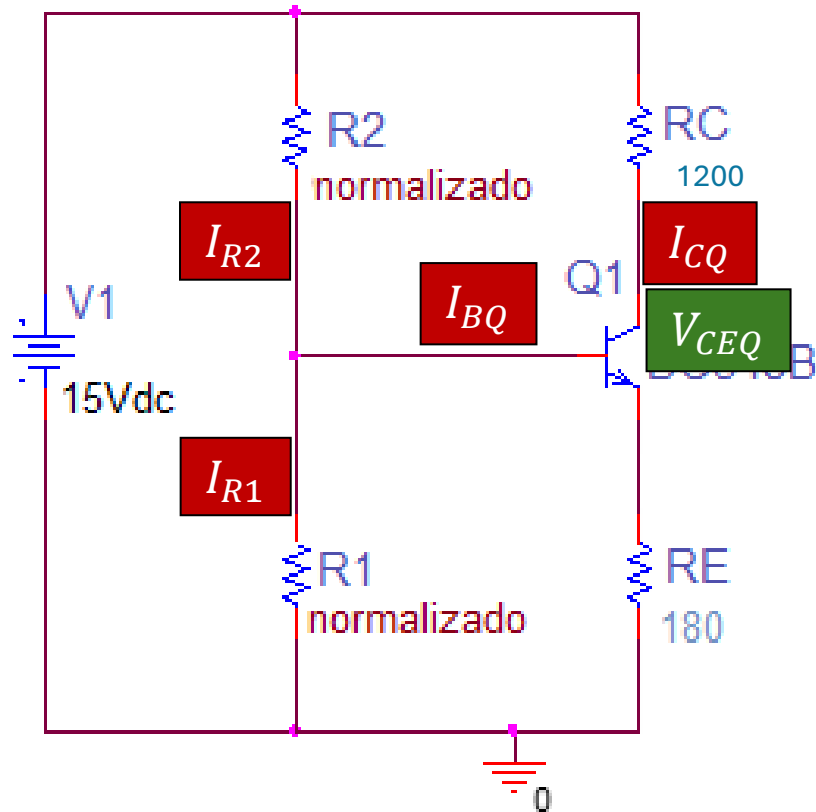


Figura 9 – Mediciones en circuito implementado

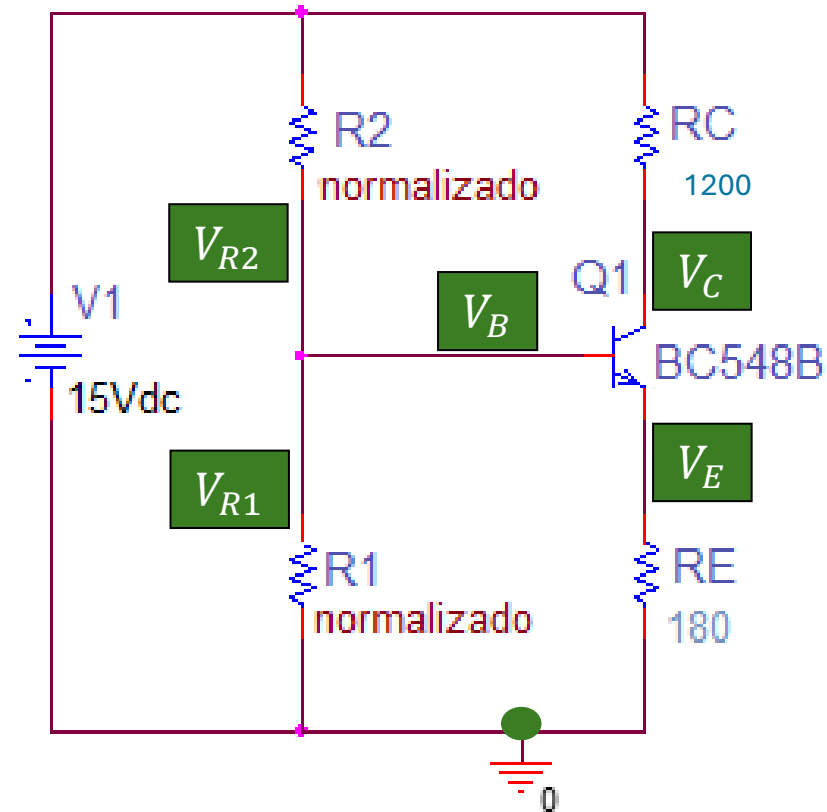


Figura 10 – Mediciones a realizar en circuito implementado

1C) Diseñar para MES: Implementar y medir

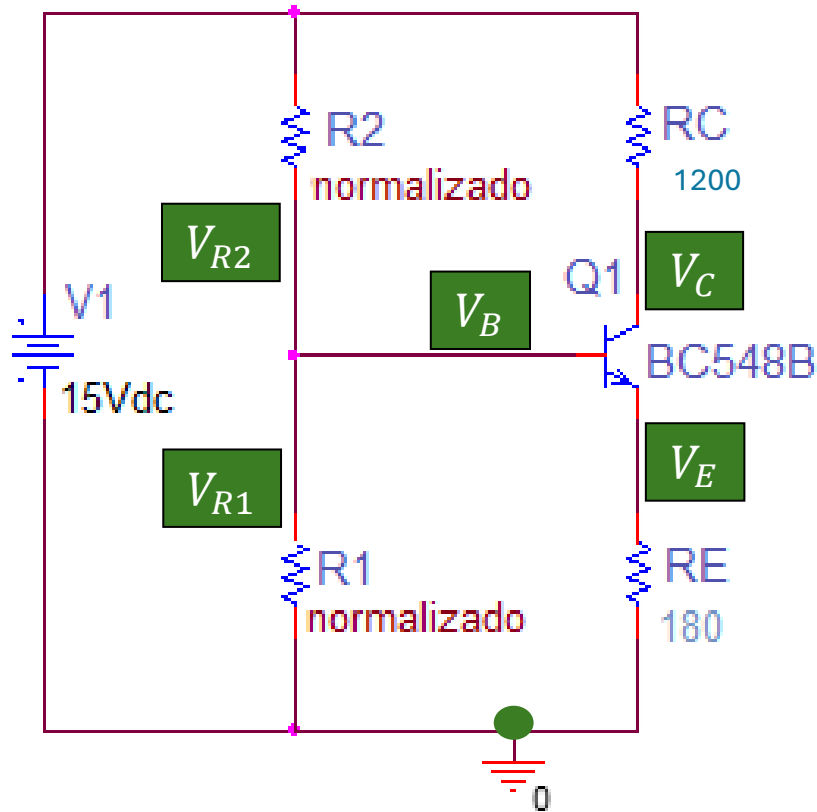


Figura 10 – Mediciones a realizar en circuito implementado

Consideraciones:

Medir siempre con una de las puntas en masa (punto verde)

Luego hacer por ley de Ohm y Kirchhof los despejes para obtener las mediciones requeridas

$$V_{CEQ} = V_C - V_E \quad ; \quad I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_C}{R_C}$$

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

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

2) Análisis y trazado de rectas de carga

Datos:

$$R_E = 180\Omega$$

$$R_C = 1200\Omega$$

$$R_1 = \text{normalizado } \Omega$$

$$R_2 = \text{normalizado } \Omega$$

$$R_L = 1000\Omega$$

Planteando la ecuación de la malla de entrada,

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

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

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

$$V_{CEQ_{MES}} = V_{CC} - I_{CQ_{MES}} (R_C + R_E)$$

Recordando Thevenin:

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

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

2) Análisis y trazado de rectas de carga

Datos:

$$R_E = 180\Omega$$

$$R_C = 1200\Omega$$

$$R_1 = \text{normalizado } \Omega$$

$$R_2 = \text{normalizado } \Omega$$

$$R_L = 1000\Omega$$

Recordando Thevenin:

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

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

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

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

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

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

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

2) Análisis y trazado de rectas de carga

Datos:

$$R_E = 180\Omega$$

$$R_C = 1200\Omega$$

$$R_1 = \text{normalizado } \Omega$$

$$R_2 = \text{normalizado } \Omega$$

$$R_L = 1000\Omega$$

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

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

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

Recordando Thevenin:

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

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

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

Verificá que los valores medidos y los calculados analíticamente se asemejen

$$= I_{R_2} - I_{R_1}$$

2) Análisis y trazado de rectas de carga

La ecuación de la recta de carga para CC:

$$v_{CE} = V_{CC} - i_C(R_C + R_E)$$

Intersección con los ejes

$$i_C = 0 \rightarrow v_{CE_{m\acute{a}x}} = V_{CC}$$

$$v_{CE} = 0 \rightarrow i_{C_{m\acute{a}x}} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

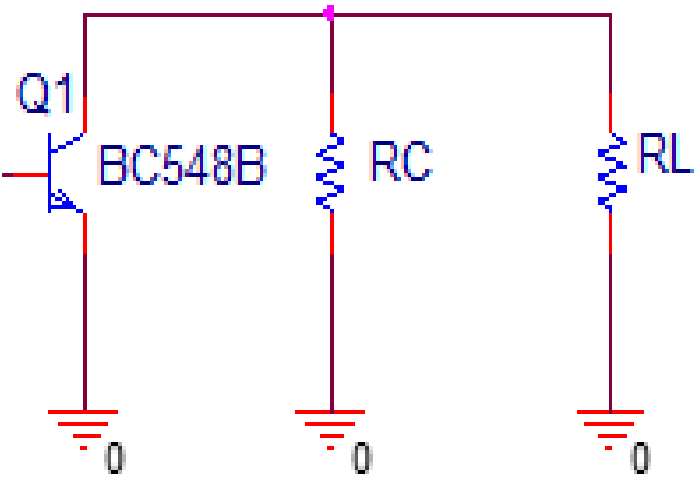
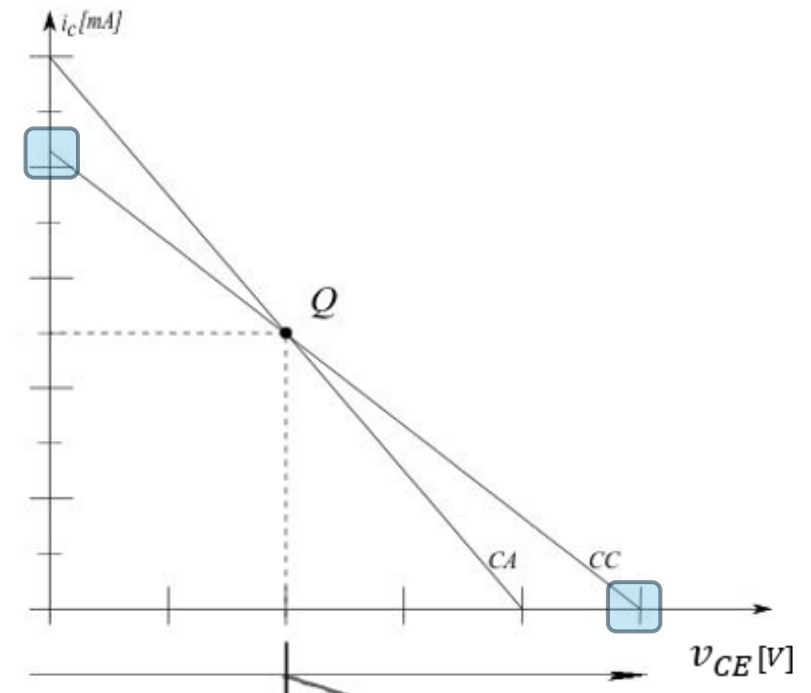


Figura 11 – Circuito de salida para CC

2) Análisis y trazado de rectas de carga

La ecuación de la recta de carga para CA es:

$$v_{CE} = V'_{CC} - i_c \left(\frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \right)$$

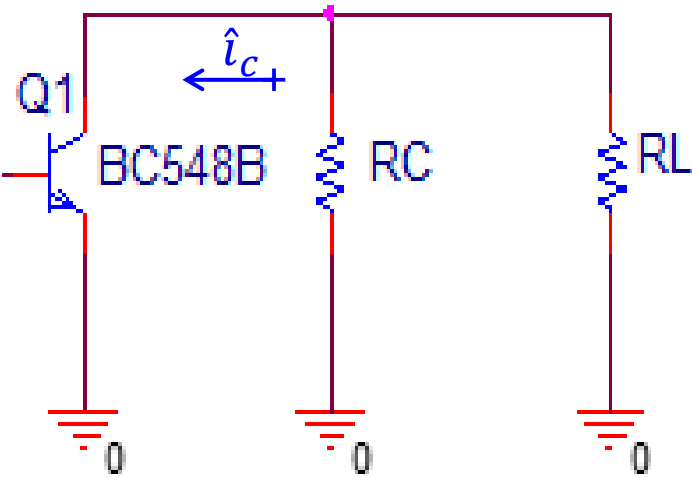


Figura 12 – Circuito de salida para CA

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

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

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

2) Análisis y trazado de rectas de carga

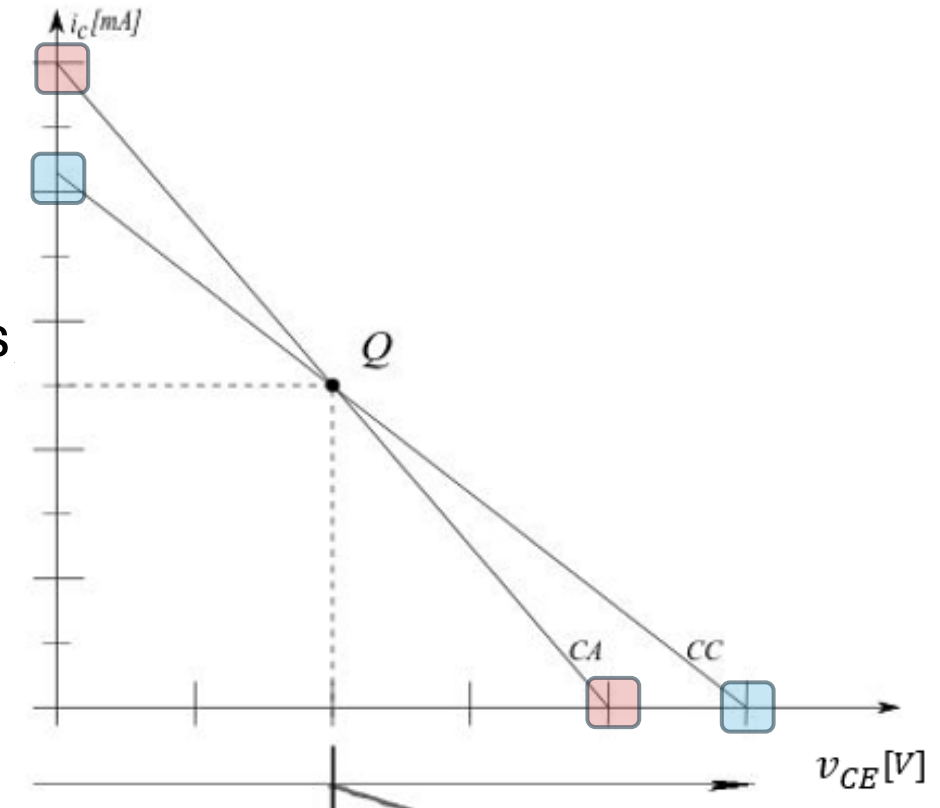
Reemplazamos en ecuación de la recta de carga de CA:

$$v_{CE} = V_{CEQ_{MES}} + I_{CQ_{MES}} \left(\frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \right) - i_C \left(\frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \right)$$
$$v_{CE} = V'_{CC} - i_C \left(\frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \right)$$

Buscando la intersección con los ejes coordenados se obtiene:

$$i_C = 0 \rightarrow v_{CE_{m\acute{a}x}} = V'_{CC}$$

$$v_{CE} = 0 \rightarrow i_{C_{m\acute{a}x}} = \frac{V'_{CC}}{\left(\frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \right)}$$



3A) Mediciones de pequeña señal: Analítico

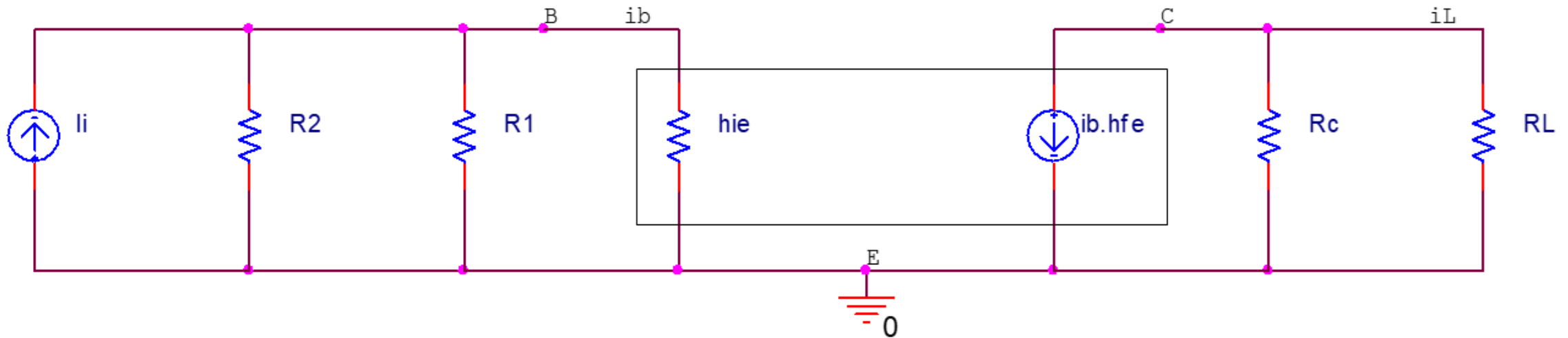


Figura 13 – Circuito híbrido equivalente del transistor.

h_{fe} : Ganancia de Corriente en polarización directa.

h_{re} : Retroalimentación inversa de voltaje.

h_{oe} : Admitancia de salida, conductancia.

h_{ie} : Impedancia de entrada del transistor.

$$h_{ie} = h_{fe} \frac{25mV}{I_{CQ}}$$

3A) Mediciones de pequeña señal: Analítico

Cálculo de A_i , Z_i y Z_o

$$A_i = \frac{i_{sal}}{i_{ent}} = \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L i_b}{i_b i_i} \quad (A)$$

A_i es a dimensional

En la salida del circuito se obtiene:

$$i_L = -i_b h_{fe} \frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \frac{1}{R_L} \quad (B)$$

$$Z_o \cong R_c$$

Expresión similar en la entrada al circuito:

$$i_b = i_i \frac{R_B h_{ie}}{R_B + h_{ie}} \frac{1}{h_{ie}} \quad (C)$$

Esto define la impedancia de entrada Z_i .

$$Z_i = \frac{R_B h_{ie}}{R_B + h_{ie}}$$

3A) Mediciones de pequeña señal: Analítico

Reemplazando las ecuaciones (B) y (C) en (A),

$$A_i = -h_{fe} \frac{R_C}{R_C + R_L} \frac{R_B}{R_B + h_{ie}} \quad (D)$$

Cálculo de A_v

Se calcula A_v , a partir de la ganancia de corriente A_i :

$$A_v = \frac{V_L}{V_i} = \frac{i_L R_L}{i_i Z_i} = A_i \frac{R_L}{Z_i} \quad (E)$$

3B) Mediciones de pequeña señal: Experimental

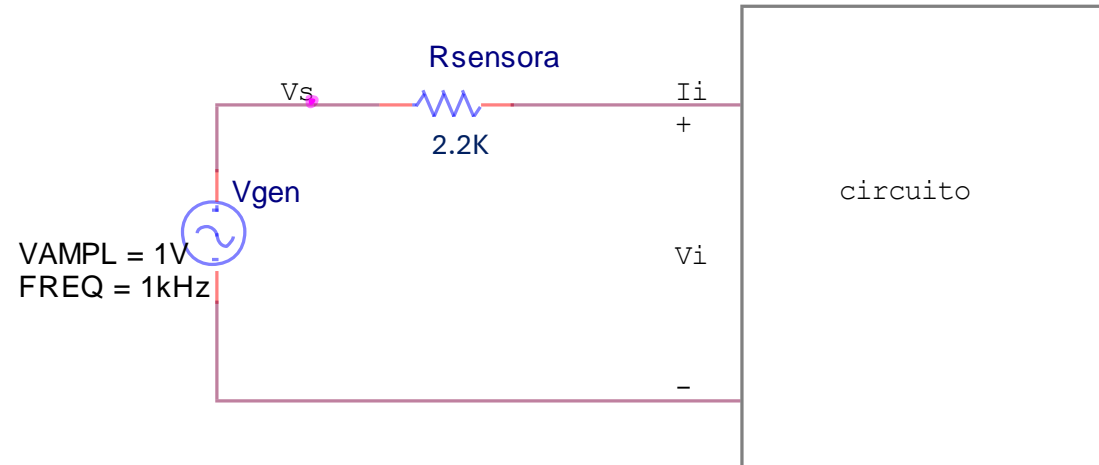
Impedancia de entrada Z_i

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

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

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

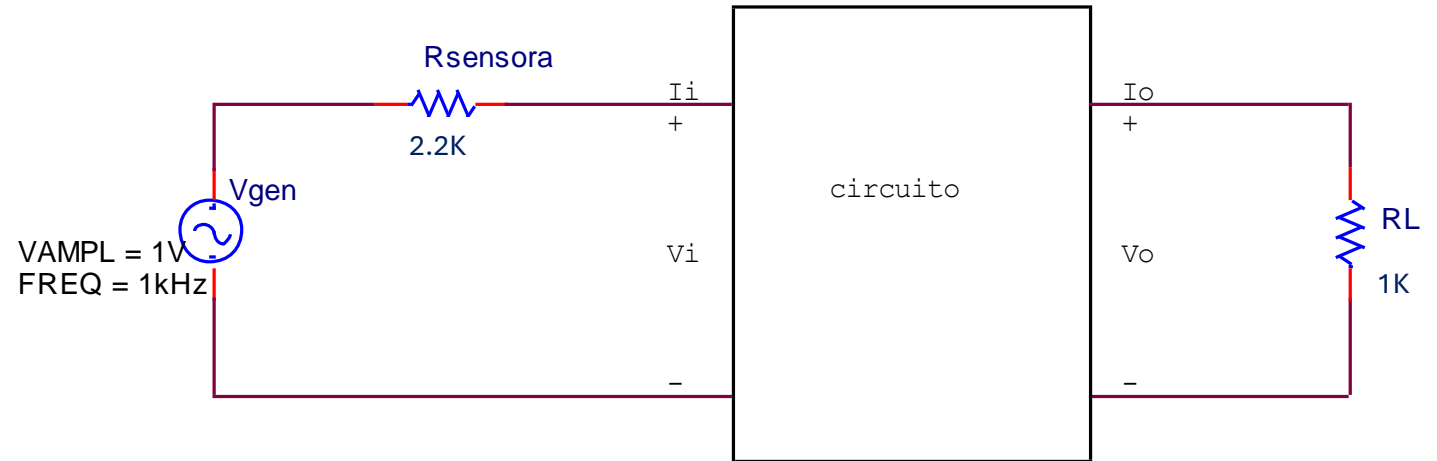
$$Z_i = \frac{V_i}{i_i} = \frac{V_i}{\frac{V_s - V_i}{R_{\text{sensora}}}}$$



3B) Mediciones de pequeña señal: Experimental

Ganancia de tensión A_v

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

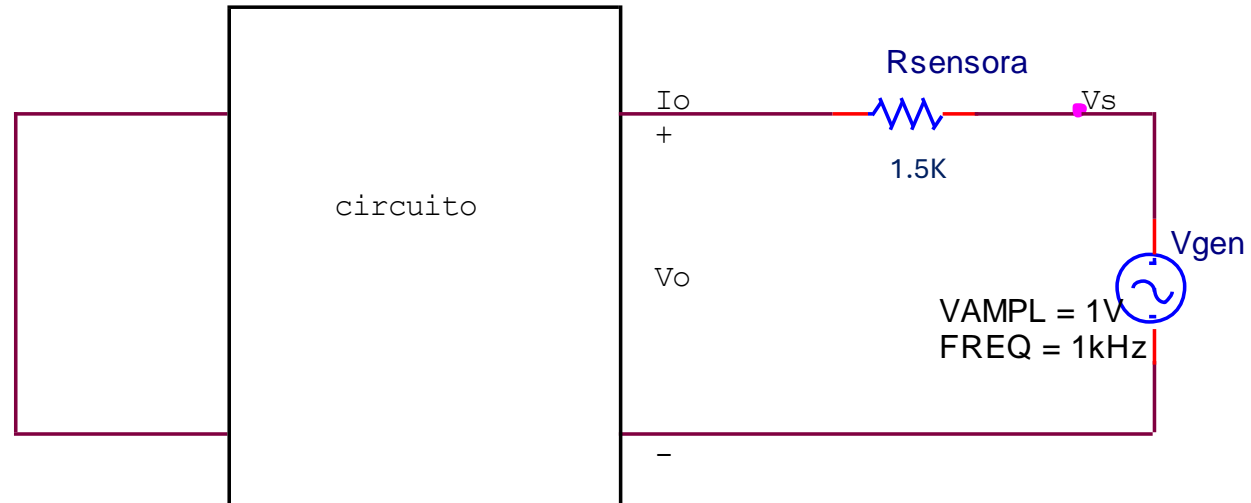


Ganancia de corriente A_i

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

Impedancia de salida Z_o

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



Anexo) Placas

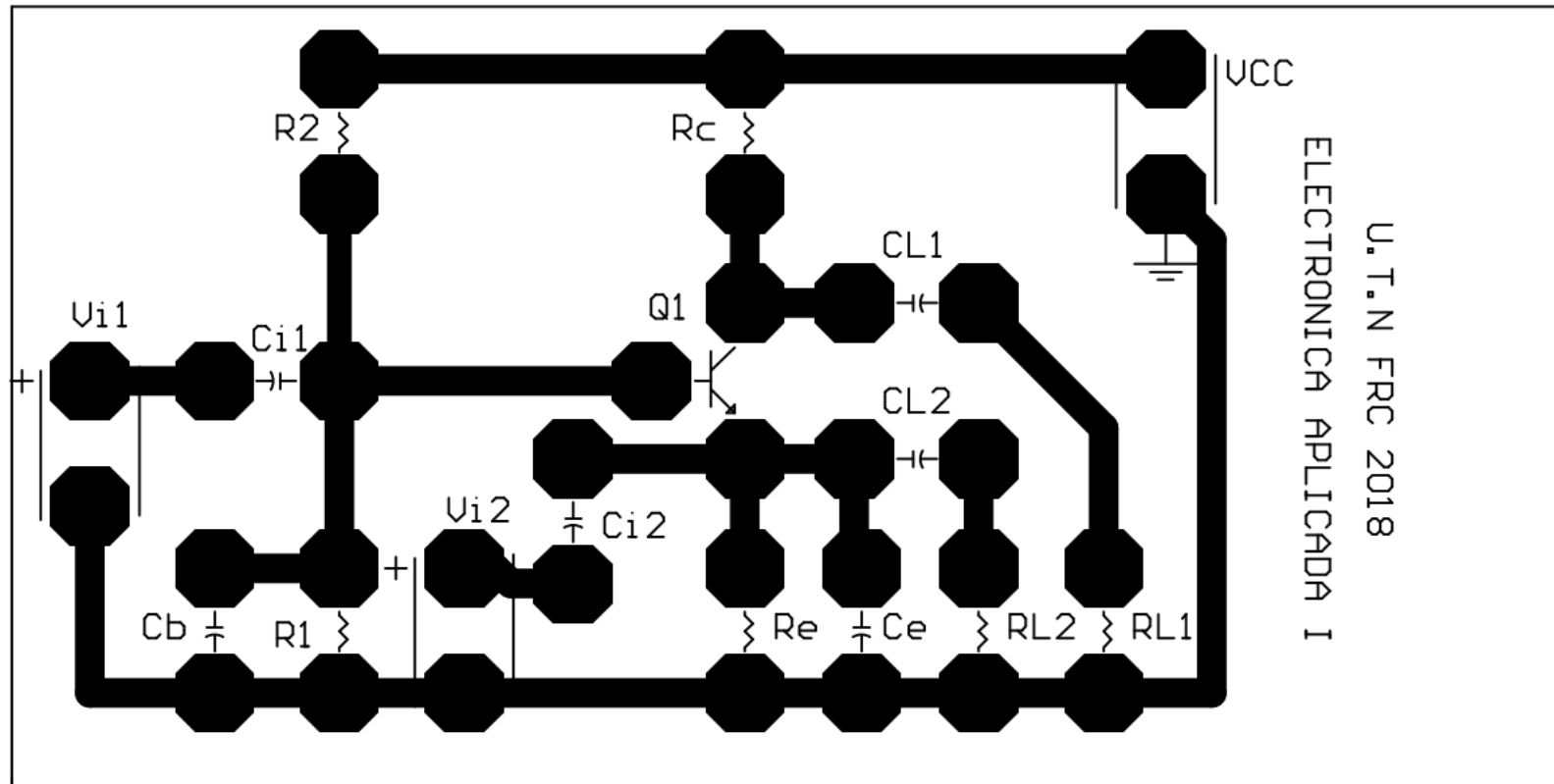


Figura 1k – Placa con serigrafia

NO IMPRIMIR DE FILMINA

Anexo) Placas

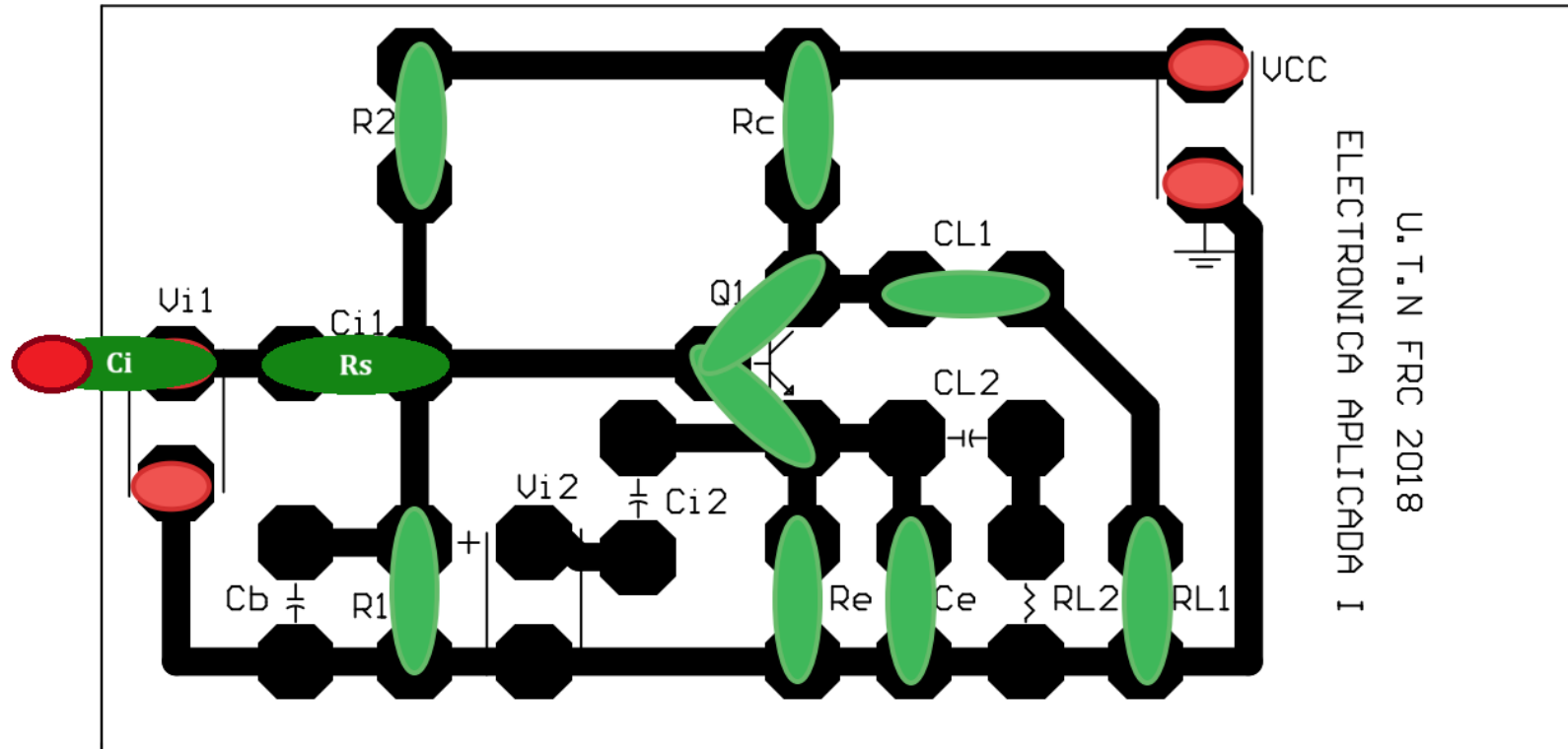


Figura 1k1 – Placa con conexiones para TP2

NO IMPRIMIR DE FILMINA

Anexo) Placas

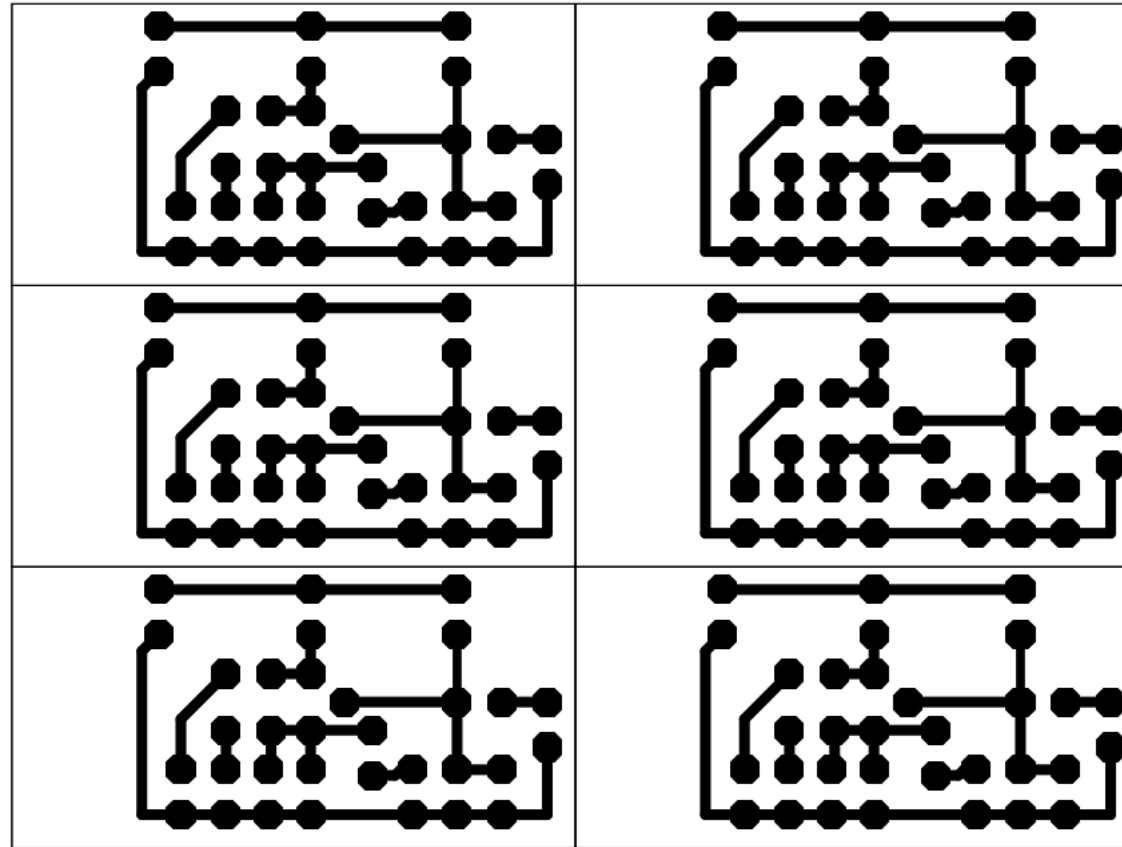


Figura 1k2 – Placa sin serigrafia

NO IMPRIMIR DE FILMINA

Preguntas?

Electrónica Aplicada I

Cronograma estimado TP2

Clase de aula TP2: BJT, Emisor común	31/05/2024 13:15hs (3R4)	20:45hs (3R3)
Clase de laboratorio TP2: Opcional (mesa de examen distribuida)	07/06/2024 13:30a15:00hs(3R4)	18:00a19:30(3R3)
Clase de laboratorio TP2: L1	14/06/2024 13:15hs (3R4)	20:45hs (3R3)
FERIADO Clase de laboratorio TP2: L2	21/06/2024 13:15hs (3R4)	20:45hs (3R3)
Clase de laboratorio TP2: L2	28/06/2024 13:15hs (3R4)	20:45hs (3R3)
Laboratorio: TP2-L3 y recup TP0aTP2	05/07/2024 13:15hs (3R4)	20:45hs (3R3)