



# Trabajo práctico

## Emisor común

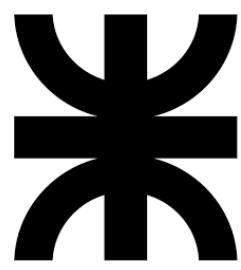
■ **Autores:**

- Manuel León Parfait - Leg. 406599
- Marcos Raúl Gatica - Leg. 402006
- Valentino Rao - Leg. 402308

■ **Curso:** 3R1

■ **Asignatura:** Electrónica Aplicada I

■ **Institución:** Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional de Córdoba.



U  
T  
N  
  
F  
R  
C



## Índice

<b>1. DISEÑO MÁXIMA EXCURSIÓN SIMÉTRICA</b>	<b>1</b>
1.1. Cálculo de $R_1$ y $R_2$ . . . . .	1
1.2. Simulación e Implementación . . . . .	2
1.2.1. Simulación ideal . . . . .	2
1.2.2. Simulación normalizada . . . . .	2
1.3. Implementación . . . . .	2
1.3.1. Cálculos de tolerancia . . . . .	3
<b>2. ANÁLISIS Y TRAZADO DE RECTAS DE CARGA</b>	<b>3</b>
2.1. Cálculo rectas de carga . . . . .	3
2.1.1. CC . . . . .	3
2.1.2. CA . . . . .	3
2.2. Recta de carga . . . . .	4
<b>3. MEDICIONES EN PEQUEÑA SEÑAL DE <math>Z_i, Z_o, A_i</math> y <math>A_v</math></b>	<b>5</b>
3.1. Análisis . . . . .	5
3.2. Experimental . . . . .	5



## 1. DISEÑO MÁXIMA EXCURSIÓN SIMÉTRICA

Se tiene el siguiente circuito, consiste en un transistor configurado en base común cuya entrada es una pequeña señal y en la salida se obtiene la misma señal con mayor tensión.

El circuito se diseñó para obtener la máxima excursión simétrica, dicese el punto donde se obtiene la mayor variación posible de la señal de entrada (o salida) que no provoca recorte ni por saturación ni por corte del transistor, y que se da de manera simétrica respecto al punto de operación (Q).

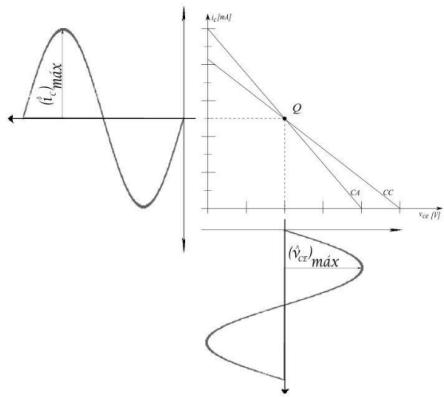


Figura 1: Gráfico de máxima excursión simétrica

### Componentes dados:

- $R_e = 180\Omega$
- $R_L = 1K\Omega$
- $R_C = 1,2K\Omega$

### Componentes a calcular:

- $R_1 = ?\Omega$
- $R_2 = ?\Omega$

Los componentes usados para este amplificador y en este trabajo fueron:

- $V_{CC} = 15V$
- Transistor BC547B ( $\beta = 540$ )

### 1.1. Cálculo de $R_1$ y $R_2$

Para calcular  $R_1$  y  $R_2$  primero tenemos que hacer los cálculos de nuestro punto Q, primero calculamos la  $I_{CQMES}$ , para esto dividimos la tensión de entrada del circuito, por la suma de la resistencia para el circuito en corriente continua ( $R_{CC}$ ) y la resistencia entre corriente alterna( $R_{CA}$ ).

$$I_{CQMES} = \frac{V_{CC}}{R_{CC} + R_{CA}}$$

$$I_{CQMES} = \frac{V_{CC}}{(R_C + R_e) + (R_C // R_L)}$$

$$I_{CQMES} = \frac{15V}{(180\Omega + 1,2K\Omega) + (180\Omega // 1K\Omega)}$$

$$I_{CQMES} = \frac{15V}{(1380\Omega) + (542,45\Omega)}$$

$$I_{CQMES} = 7,7903mA$$

Luego podemos decir que  $I_C \approx I_E$ , para hacer LKT en la malla de salida y calcular  $V_{CE}$ . (Aclaración  $I_{CQMES}$  e  $I_C$  van a ser iguales a partir de ahora)

$$V_{CC} - I_C \cdot R_C - V_{CE} - I_E \cdot R_e = 0$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C - I_E \cdot R_e$$

$$V_{CE} = 15V - 7,7903mA \cdot 1,2k\Omega - 7,7903mA \cdot 180\Omega$$

$$V_{CE} = 4,2493V$$

Ahora debemos encontrar  $V_{BB}$ , una regla de diseño importante es que  $I_B \cdot \beta = I_C$  y que para la estabilidad  $\frac{R_e}{10} = \frac{R_B}{\beta}$ , como nosotros no conocemos  $R_B$  vamos a tratar de reemplazar por el valor de  $R_e$ .

$$V_{BB} - R_B \cdot I_B - V_{BE} - I_E \cdot R_e = 0$$

$$V_{BB} - R_B \cdot I_B - V_{BE} - I_C \cdot R_e = 0$$

$$V_{BB} = R_B \cdot I_B + V_{BE} + I_C \cdot R_e$$

Ahora reemplazamos  $R_B$  e  $I_B$ :

$$V_{BB} = \frac{R_e}{10} \beta \cdot \frac{I_C}{\beta} + V_{BE} + I_C \cdot R_e$$

Los  $\beta$  se cancelan:

$$V_{BB} = \frac{R_e}{10} \cdot I_C + V_{BE} + I_C \cdot R_e$$

$$V_{BB} = \frac{180\Omega}{10} \cdot 7,7903mA + 0,7V + 7,7903mA \cdot 180\Omega$$

$$V_{BB} = 2,24V$$

Ahora ya podemos calcular  $R_1$ y $R_2$  con el siguiente sistemas de ecuaciones:

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

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

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

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

Si resolvemos  $R_2$ :

$$\frac{R_B}{R_2} = \frac{V_{BB}}{V_{CC}}$$

$$R_2 = \frac{V_{CC}}{V_{BB}} \cdot R_B$$

$$R_2 = \frac{V_{CC}}{V_{BB}} \cdot \frac{R_e \cdot \beta}{10}$$

$$R_2 = \frac{15V}{2,24V} \cdot \frac{180 \cdot \beta}{10}$$

$$R_2 = 120,4054055\Omega \cdot \beta$$

Con el mismo modo si resolvemos  $R_1$  queda que  $R_1 = 21,163893\Omega \cdot \beta$ , entonces  $R_1$ y $R_2$  quedan:

- $R_2 = 120,4054055\Omega \cdot \beta$
- $R_1 = 21,163893\Omega \cdot \beta$

Por último podemos calcular el valor de  $R_B$  ajustado a nuestro  $\beta$  para asegurarnos que los cálculos estén correctos, además de que nos servirá mas adelante para el cálculo analítico de la  $A_i$ :

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

$$R_B = \frac{11,4285022k\Omega \cdot 65,0189189k\Omega}{11,4285022k\Omega + 65,0189189k\Omega}$$

$$R_B = 9,720039k\Omega$$

#### Valores ajustados al $\beta$

- $R_1 = 11,4285022k\Omega$
- $R_2 = 65,0189189k\Omega$

#### Valores normalizados

- $R_1 = 12k\Omega$
- $R_2 = 68k\Omega$

#### Valores Importantes Obtenidos

- $I_{CQ} = 7,7903mA$
- $V_{CE} = 4,2493V$
- $R_1 = 12k\Omega$
- $R_2 = 68k\Omega$

Los valores que remarcamos como importantes son los que serán comparados con la simulación del siguiente punto.

Los valores normalizados los elegimos en base a los más cercanos a los ideales, la siguiente consigna nos pone un límite, en el cual los resultados de las simulaciones no deben estar fuera de un rango de  $\pm 10\%$ .

## 1.2. Simulación e Implementación

Se hicieron 2 simulaciones del circuito, la primera se realizó, con los valores ideales de las resistencias obtenidas a partir de las reglas de diseño, y la segunda, con los valores normalizados más cercanos de las mismas. Los circuitos se simularon en el software Lspice, lo que pretendemos con las simulaciones es que los valores calculados no difieran del  $\pm 10\%$  con respecto a las simulaciones.

### 1.2.1. Simulación ideal

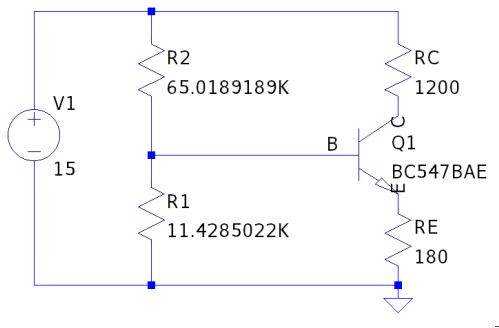


Figura 2: Simulación ideal

#### Valores Obtenidos

- $V_{CE} = 4,6041008V$
- $I_{CQ} = 7,5310208mA$
- $I_B = 17,167742\mu A$

- $I_{R_1} = 181,61203\mu A$
- $I_{R_2} = 198,77977\mu A$

### 1.2.2. Simulación normalizada

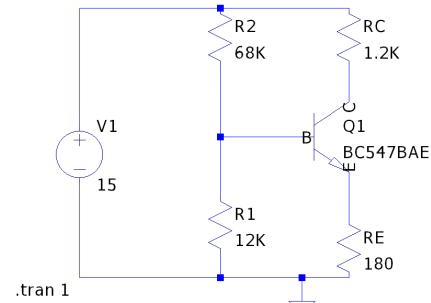


Figura 3: Simulación normalizada

#### Valores Obtenidos

- $V_{CE} = 4,6084311V$
- $I_{CQ} = 7,5278841mA$
- $I_B = 17,159407\mu A$
- $I_{R_1} = 172,914\mu A$
- $I_{R_2} = 190,07392\mu A$

## 1.3. Implementación

Cuando implementamos el circuito no medimos directamente los valores, sino que medimos las tensiones claves con respecto a masa para tener una medición más acertada de los valores.

#### Valores Obtenidos

- $V_{CC} = 14,56V$
- $V_C = 6,12V$
- $V_E = 1,32V$
- $V_B = 1,99V$

#### Cálculos de la Implementación

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

$$V_{CE} = 6,12V - 1,32V$$

$$V_{CE} = 4,8V$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_C}{R_C}$$

$$I_{CQ} = \frac{14,56V - 6,12V}{1,2k\Omega}$$

$$I_{CQ} = 7,03mA$$

$$I_{R_1} = \frac{V_B}{R_1}$$

$$I_{R_1} = \frac{1,99V}{12k\Omega}$$

$$I_{R_1} = 166,58\mu A$$

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

$$I_{R_2} = \frac{14,56V - 1,99V}{68k\Omega}$$

	$V_{CE}$	$I_{CQ}$	$I_{R_1}$	$I_{R_2}$	$I_B$
Calculado	4,2493 V	7,7903 mA	-	-	-
Sim-ideal	4,6041 V	7,5310 mA	181,6120 $\mu$ A	198,7798 $\mu$ A	17,1677 $\mu$ A
Sim-norm	4,6084 V	7,5279 mA	172,9140 $\mu$ A	190,0739 $\mu$ A	17,1594 $\mu$ A
Implementación	4,8 V	7,03 mA	166,58 $\mu$ A	184,85 $\mu$ A	18,27 $\mu$ A

$$I_{R_2} = 184,85 \mu\text{A}$$

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

$$I_B = 184,85 \mu\text{A} - 166,58 \mu\text{A}$$

$$I_B = 18,27 \mu\text{A}$$

### 1.3.1. Cálculos de tolerancia

Para saber el rango de valores aceptables debemos realizar la siguiente operación ( $X \pm [X \cdot 0,1]$ ), siendo x el valor que queremos comparar. Como explicamos antes, los resultados ideales calculados se comparan contra los de la simulación ideal, mientras que los valores obtenidos en la simulación normalizada se comparan contra los valores medidos.

**Rango de Comparación:**valores ideales

Según el listado de rangos anterior, los valores que debemos comparar (calculados vs simulación ideal) y (simulación normalizada vs implementación), están dentro del  $\pm 10\%$  requerido.

## 2. ANÁLISIS Y TRAZADO DE RECTAS DE CARGA

En este punto se han trazado rectas de carga de corriente continua y corriente alterna tomando como valores de resistencias los normalizados para reemplazar en las ecuaciones. El objetivo es visualizar gráficamente la excursión simétrica real sin distorsión.

### 2.1. Cálculo rectas de carga

#### 2.1.1. CC

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

Siendo:

$$I_C = -\frac{1}{R_C + R_E} \cdot V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

Esta función tiene la forma de

$$y = mx + b$$

$$\text{Siendo } I_C = y \frac{-1}{R_C + R_E} = m, V_{CE} = x, \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = b$$

$$i_C = 0 \Rightarrow v_{CEMAX} \Rightarrow V_{CE} = 0 \Rightarrow V_{CC} = 15v$$

$$\rightarrow i_{CMAX} = \frac{15v}{1,2k\Omega + 180\Omega}$$

$$i_{CMAX} = 10,86mA$$

- $I_{CQ} = [7,01127 - 8,56933]mA$

- $V_{CE} = [3,82437 - 4,67423]V$

**Rango de Comparación:**valores simulados obtenidos de la simulación normalizada

- $I_{CQ} = [6,775 - 8,2806]mA$

- $V_{CE} = [4,1475 - 5,06]V$

- $I_{R_1} = [155,6226 - 190,2054]\mu\text{A}$

- $I_{R_2} = [171,0665 - 209,081]\mu\text{A}$

- $I_B = [15,4434 - 18,8753]\mu\text{A}$

Los valores  $I_{R_1}, I_{R_2}$  e  $I_B$  se agregaron para tener más confiabilidad en las mediciones, pero nuestro foco de atención siempre es el punto Q, dados por  $I_{CQ}V_{CE}$ .

#### 2.1.2. CA

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

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

$$i_C = -\left( \frac{R_C + R_L}{R_C \cdot R_L} \right) v_{CE} + (V_{CEQMES} + I_{CQ} \left( \frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \right) \cdot \left( \frac{R_C + R_L}{R_C R_L} \right))$$

Esta función tiene la forma de

$$y = mx + b$$

Siendo  $i_C = y$ ,  $\frac{R_C + R_L}{R_C \cdot R_L} = m$ ,  $v_{CE} = x$ ;  $V_{CEQMES} + I_{CQ} \left( \frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \right) \cdot \left( \frac{R_C + R_L}{R_C R_L} \right) = b$

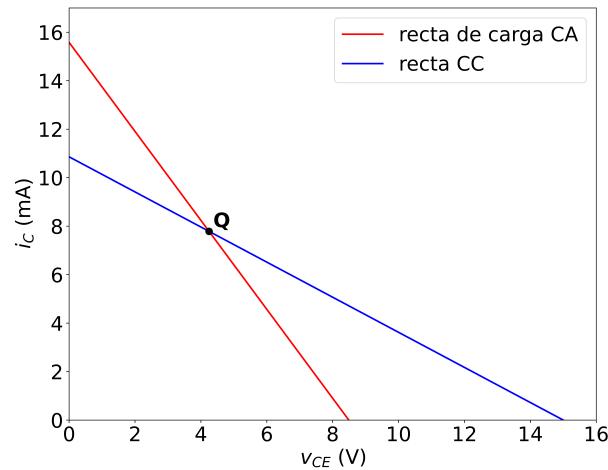
$$v_{CE} = 0 \Rightarrow i_{CMAX} = V'_{CC} \frac{R_C + R_L}{R_C R_L}$$

$$i_C = 0 \Rightarrow v_{CEMAX} = V'_{CC}$$

$$\rightarrow V'_{CC} = 4,2493V + 7,7903mA \left( \frac{1,2k\Omega \cdot 1000\Omega}{1000\Omega + 1,2k\Omega} \right)$$

$$V'_{CC} = 8,4985v$$

## 2.2. Recta de carga

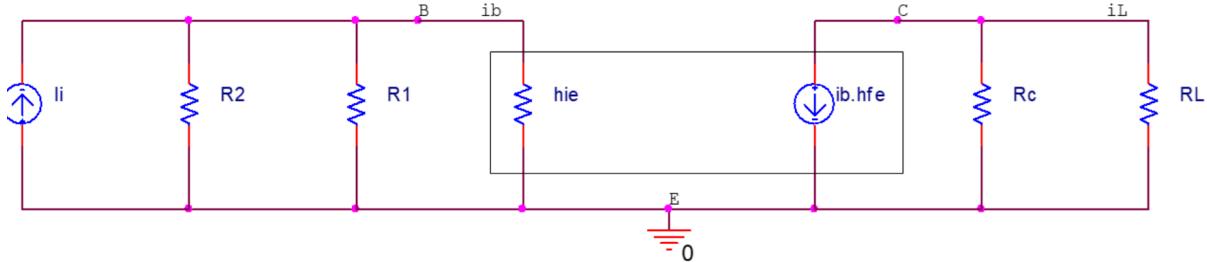


**Figura 4:** Rectas de carga

### 3. MEDICIONES EN PEQUEÑA SEÑAL DE $Z_i$ , $Z_o$ , $A_i$ y $A_v$

#### 3.1. Análisis

En este apartado se reemplaza al transistor por su modelo equivalente para pequeñas señales.



**Figura 5:** Circuito híbrido equivalente del transistor

- $h_{fe}$ : Ganancia de corriente en polarización directa para  $h_{fe} = \beta$

$$\beta = 540$$

- $h_{ie}$ : Impedancia de entrada del transistor.

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

$$h_{ie} = 540 \cdot \frac{25mV}{7,7903mA}$$

$$h_{ie} = 1,733k\Omega$$

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

$$Z_i = \frac{9,720039k\Omega \cdot 1,733k\Omega}{9,720039k\Omega + 1,733k\Omega}$$

$$Z_i = 1470,77\Omega$$

$$Z_o \approx R_C$$

$$Z_o \approx 1200\Omega$$

$$A_i = -h_{fe} \frac{R_C}{R_C + R_L} \cdot \frac{R_B}{R_B + h_{ie}}$$

$$A_i = -540 \frac{1,2k\Omega}{1,2k\Omega + 1k\Omega} \cdot \frac{9,720039k\Omega}{9,720039k\Omega + 1,733k\Omega}$$

$$A_i = -249,976$$

$$A_v = A_i \cdot \frac{R_L}{Z_i}$$

$$A_v = -151,738 \cdot \frac{1k\Omega}{892,773\Omega}$$

$$A_v = -169,962$$

#### 3.2. Experimental

Se coloca el generador de señales mostrado en la siguiente figura, inyectando una señal (sinusoidal en este caso) con una frecuencia de 1 KHz y con una tensión pico a pico de 1V. El objetivo es medir la tensión en antes y después del resistor sensor ( $R_S$ ).

##### Medidas $Z_i$

- $R_S = 1k\Omega$
- $v_s = 20mV_{pp}$
- $v_i = 13,75mV_{pp}$
- $v_L = 1V_{pp}$

$$Z_i = \frac{V_i}{\frac{V_S - V_i}{R_{SENSORA}}}$$

$$Z_i = \frac{13,75mV}{\frac{20mV - 13,75mV}{1k\Omega}}$$

$$Z_i = 2200\Omega$$

$$A_V = \frac{V_L}{V_i}$$

$$A_V = \frac{1V}{13,75mV}$$

$$A_V = 72,72$$

$$A_i = \frac{v_L/R_L}{\frac{v_S - v_i}{R_{SENSORA}}}$$

$$A_i = \frac{1V/1k\Omega}{\frac{20mV - 13,75mV}{1k\Omega}}$$

$$A_i = 160$$

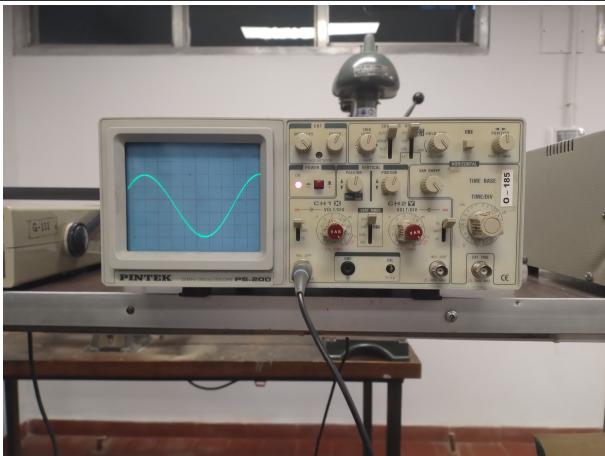


Figura 6: Osciloscopio  $V_i$

### Medidas $Z_o$

- $R_S = 1,2k\Omega$
- $v_S = 1V_{pp}$
- $v_o = 0,5V_{pp}$

$$Z_o = \frac{V_o}{\frac{V_S - V_o}{R_S}}$$

$$Z_o = \frac{0,5V}{\frac{1V - 0,5V}{1,2k\Omega}}$$

$$Z_o = 1200\Omega$$

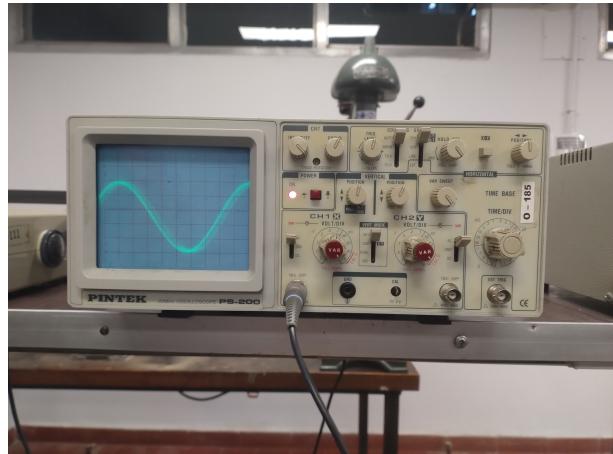


Figura 8: Osciloscopio  $V_o$

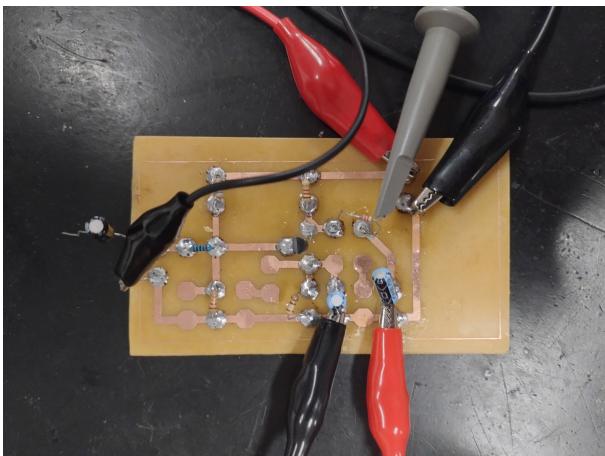


Figura 7: Conexión en placa

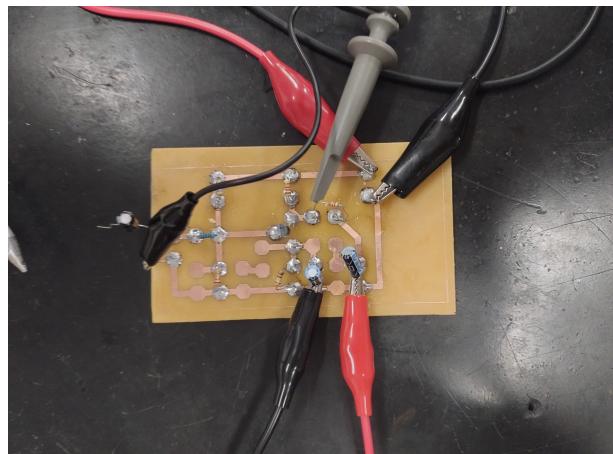


Figura 9: Conexión en placa