



CURSO: ELECTRÓNICA BÁSICA

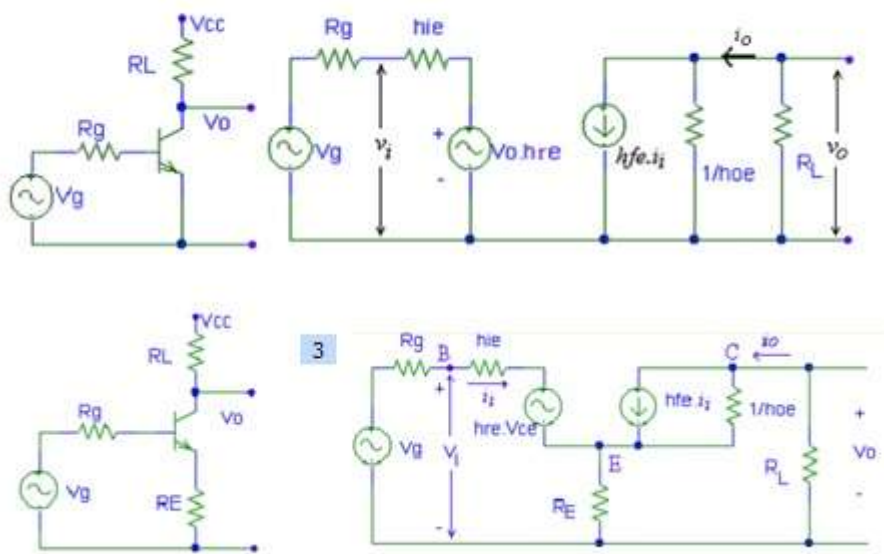
UNIDAD 1: EL AMPLIFICADOR – TEORÍA

PROFESOR: JORGE POLANÍA

INTRODUCCIÓN

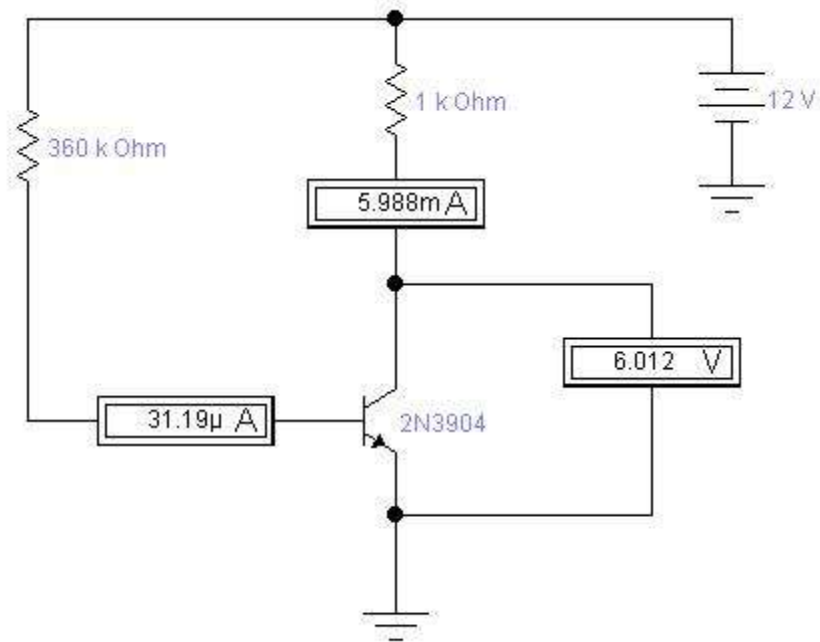
Los amplificadores son sistemas electrónicos que tienen como función amplificar una señal de entrada de voltaje a su salida. Hay amplificadores de audio, de potencia, de video, de radiofrecuencia en las diferentes configuraciones del transistor, o sea, en emisor común, colector común y base común. Los amplificadores se diseñan con transistores o amplificadores operacionales que se verán en otro curso. En esta unidad, estudiaremos los amplificadores a base de transistores, los cuales serán diseñados teóricamente, simulados para verificar y ajustar el diseño, implementados en protoboard y posteriormente se hará la correspondiente evaluación de la unidad. Modelo equivalente del transistor.

TRANSISTOR CON PARÁMETROS h 's



1. AMPLIFICADOR EMISOR COMÚN

Un amplificador común tiene su señal de entrada entre base y emisor y su salida entre colector y emisor, de ahí su nombre que el emisor es común tanto a la salida como a la entrada. Inicialmente lo que se hace es polarizar el amplificador como se ha estudiado en curso anterior. El amplificador básico es el siguiente:



El transistor a utilizar es el 2N3904, es un NPN de silicio, cuyas características se encuentran en el siguiente [enlace](#):

A) CÁLCULO DE LAS RESISTENCIAS DE POLARIZACIÓN

Este transistor tiene un $V_{cemax} = 40\text{ V}$, y una $I_{cmax} = 200\text{ mA}$,

Se parte de una fuente de polarización $V_{cc} = 12\text{ V}$, para tener un $V_{ce} = 6\text{ V}$ (la mitad, es lo indicado) y una $I_C = 6\text{ mA}$, $I_B = 31\text{ uA} = 0.031\text{ mA}$

El voltaje en la resistencia de colector R_c es entonces $V_{Rc} = 12 - 6 = 6\text{ V}$, por tanto,

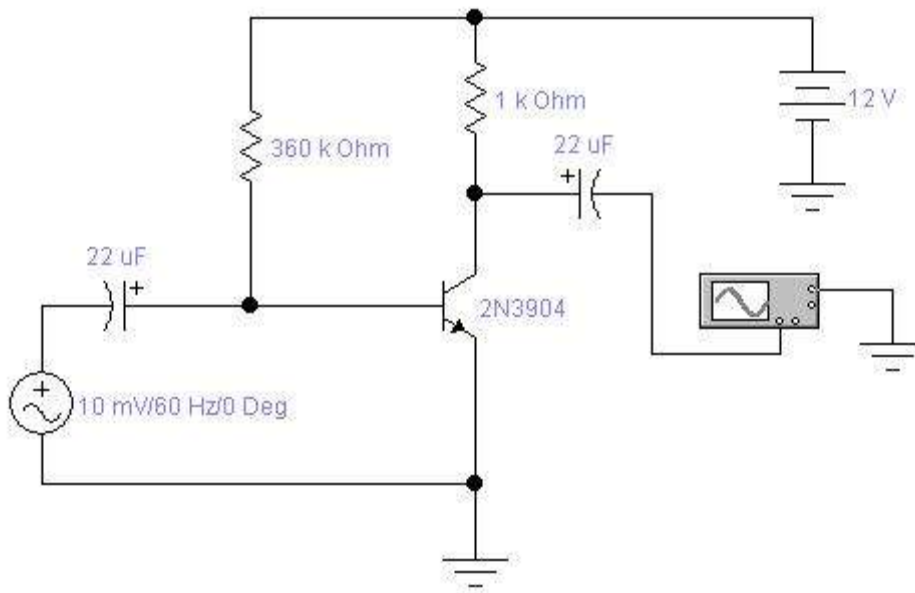
$$R_c = 6 \text{ V} / 6 \text{ mA} \quad R_c = 1 \text{ k}\Omega$$

$$h_{FE} = I_c / I_B = 6 \text{ mA} / 31 \text{ }\mu\text{A} \approx 200$$

La resistencia de base $R_B = (V_{cc} - V_{be}) / I_B$

$$R_B = (12 - 0.7) / 0.031 = 364 \text{ k}\Omega, \text{ se escoge } R_B = 360 \text{ k}\Omega$$

B) CÁLCULO DE LA AMPLIFICACIÓN



Antes de aplicar la señal de entrada se adicionan dos condensadores electrolíticos de 22 μF a la entrada y salida para aislar los terminales de la corriente continua. No olviden que un condensador deja pasar la corriente alterna pero no la corriente continua.

Como entrada se tiene una señal alterna de 10 mVrms a una frecuencia de 1 KHz. A la salida se va a obtener la señal amplificada, que se calcula de la siguiente manera:

A_v = Amplificación o ganancia de voltaje

v_i = Señal o voltaje de entrada

v_o = Señal o voltaje de salida

$$A_v = v_o / v_i$$

$$A_v = - (h_{fe} * R_c) / R_{in}$$

El menos indica que la señal de salida está 180 grados en desfase con la entrada.

R_{in} = Resistencia de entrada del amplificador

$$R_{in} = R_B \text{ en paralelo con } h_{ie} = (R_B * h_{ie}) / (R_B + h_{ie})$$

$$R_{in} = (360 * 0.75) / (360 + 0.75) = 0.748 \approx 0.75 \text{ K}\Omega = h_{ie}$$

$$R_{in} = 0.75 \text{ K}\Omega$$

h_{fe} y h_{ie} son parámetros h 's del transistor. De las curvas características se tiene que para este transistor a una corriente I_c de 6 mA, estos parámetros son:

$$h_{fe} = \text{ganancia de corriente} = 150$$

$$h_{ie} = \text{impedancia de entrada} = 0.75 \text{ K}\Omega$$

$$A_v = - (150 * 1.0) / 0.75 = - 200$$

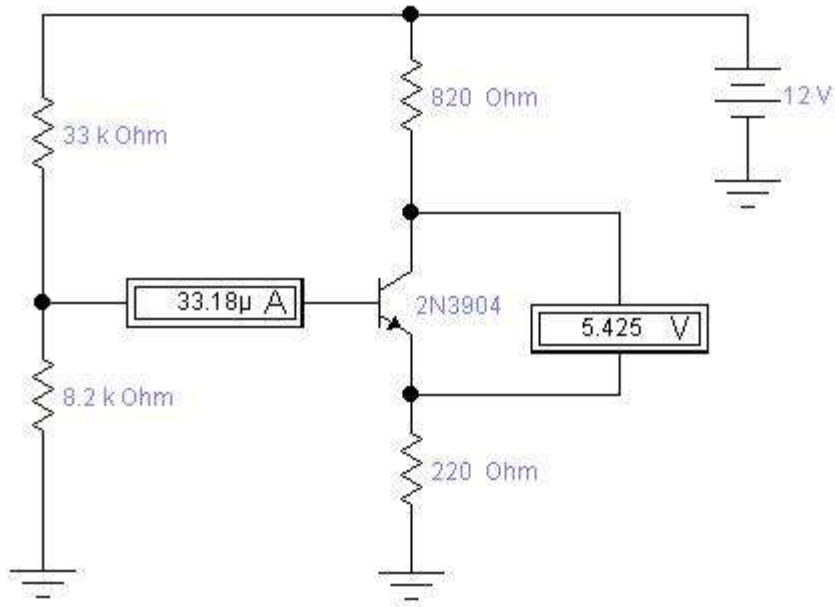
Esto quiere decir que si en la entrada hay una señal de 10 mV a la salida debe haber una señal de:

$$v_{ipp} = v_i \text{ pico a pico} = 10 * 2 * 1.4 = 28 \text{ mV}$$

$$v_o = - v_i * A_v = - 28 \text{ mV} * 200 = - 5600 \text{ mV} = - 5.6 \text{ Vpp}$$

$$v_o = - 5.6 \text{ Vpp}$$

2. AMPLIFICADOR AUTOPOLARIZADO



Si $V_{ce} = 5.4 \text{ V}$, $R_c = 820 \Omega$, $R_e = 220 \Omega$, $R_{b1} = 33 \text{ K}\Omega$, $R_{b2} = 8.2 \text{ K}\Omega$

La corriente de colector es igual a:

$$V_{cc} = I_c (R_c + R_e) + V_{ce}$$

$$12 = I_c (0.820 + 0.220) + 5.4 = 1.04 I_c + 5.4$$

$$I_c = (12 - 5.4) / 1.04 = 6.6 / 1.04 = 6.3 \text{ mA}$$

Punto de polarización: $I_c = 6.3 \text{ mA}$, $V_{CE} = 5.4 \text{ V}$, $I_B = 33 \text{ uA}$

$$I_{B1} = 10 I_B = 10 \cdot 33 = 330 \text{ uA} = 0.33 \text{ mA}$$

Cálculo de las resistencias de base:

V_B = Voltaje en la base del transistor

$$V_B = V_{BE} + I_c \cdot R_E = 0.7 + 6.3 \cdot 0.22 = 0.7 + 1.4 = 2.1 \text{ V}$$

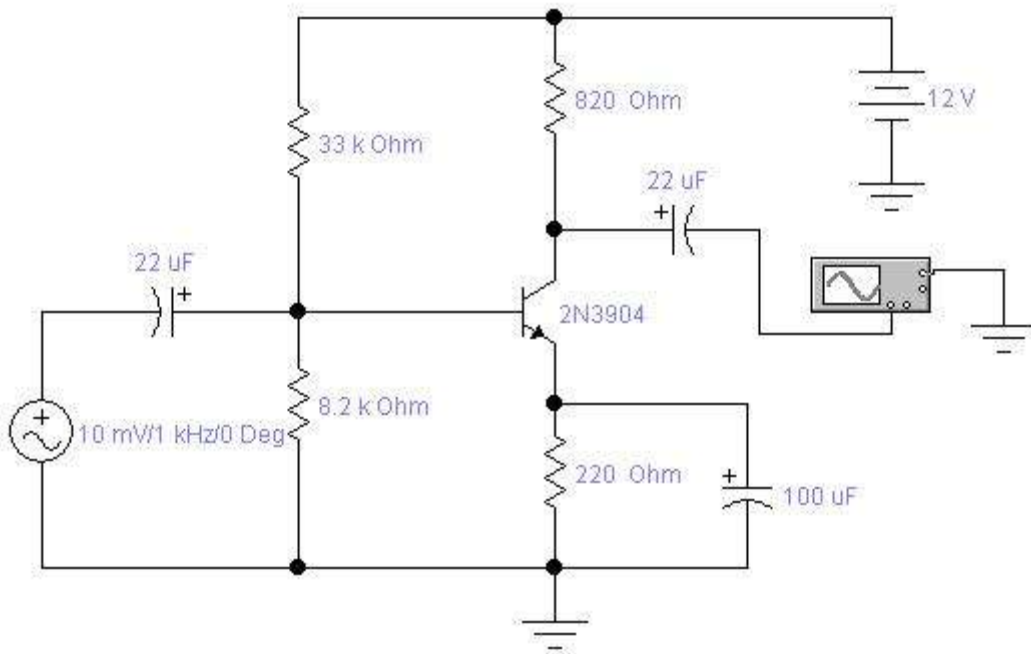
$$R_{B1} = (V_{cc} - V_B) / I_{B1} = (12 - 2.1) / 0.33 = 30 \text{ K}, \quad R_{B1} = 33 \text{ K}\Omega$$

$$I_{B1} = (V_{cc} - V_B) / R_{B1} = (12 - 2.1) / 33 \text{ K} = 0.3 \text{ mA}$$

$$I_{B2} = I_{B1} - I_B = 0.3 - 0.033 = 0.267 \text{ mA}$$

$$R_{B2} = V_B / I_{B2} = 2.1 / 0.267 = 7.8 \text{ K}, \quad R_{B2} = 8.2 \text{ K}\Omega$$

Cálculo de la amplificación:



$R_B = R_{B1}$ en paralelo con R_{B2} ,

$$R_B = (R_{B1} \cdot R_{B2}) / (R_{B1} + R_{B2}) = (33 \cdot 8.2) / (33 + 8.2) = 6.6 \text{ K}$$

La resistencia de entrada es:

$R_{in} = R_B$ en paralelo con h_{ie} ,

$$R_{in} = (R_B \cdot h_{ie}) / (R_B + h_{ie}) = (6.6 \cdot 0.75) / (6.6 + 0.75) = 0.67 \text{ K}\Omega, \quad R_{in} = 0.67 \text{ K}\Omega$$

$$A_v = - (h_{fe} \cdot R_c) / R_{in}$$

$$A_v = - (150 \cdot 0.82 \text{ K}) / 0.67 \text{ K} = - 183, \quad A_v = - 183$$

Señal de salida:

$$v_{in} = 10 \text{ mV} = 10 * 2 * 1.4 = 28 \text{ mVpp}$$

$$v_o = -A_v * v_{in} = -183 * 28 \text{ mV} \approx -5 \text{ V}, \quad v_o = -5 \text{ Vpp}$$

Este amplificador tiene una amplificación alta, pero una resistencia de entrada muy baja. Es de interés que los amplificadores tengan una entrada alta. La configuración colector común o seguidor emisor tiene resistencia de entrada alta.

Cálculo de los condensadores:

$$X_{C1} \approx R_{in}/10, \quad \text{como } X_{C1} = 1/(2\pi f C_1), \quad \text{entonces:}$$

$$C_1 \approx 10/(6.28 * f_{min} * R_{in}) = 10 / (6.28 * 100 * 670) = 23.7 \text{ uF}$$

$$\text{Se escoge } C_1 = 22 \text{ uF}$$

$$X_{C2} \approx R_o/10, \quad \text{como } X_{C2} = 1/(2\pi f C_2), \quad \text{entonces:}$$

$$R_o = (1/h_{oe}) \text{ en paralelo con } R_c, \quad 1/h_{oe} = r_o = 28.5\text{K}, \quad R_o = 800\Omega$$

$$C_2 \approx 10/(6.28 * f_{min} * R_o) = 10 / (6.28 * 100 * 800) = 19.9 \text{ uF}$$

$$\text{Se escoge } C_2 = 22 \text{ uF}$$

$$X_{CE} \approx R_E/10$$

$$C_E \approx 10/(6.28 * 100 * 220) = 72 \text{ uF}$$

$$\text{Se escoge } C_E = 100 \text{ uF}$$

RESPUESTA EN BAJAS FRECUENCIAS

Los condensadores C1, C2 y CE son los encargados de producir los cortes en baja frecuencia del amplificador, de la siguiente forma:

Corte debido a C1:

$$f_1 = 1/(6.28 * C_1 * R_{in})$$

$$\text{Si } C_1 = 22 \text{ uF y } R_{in} = 670 \Omega$$

$$f_1 = 1/(6.28 \cdot 22 \cdot 10^{-6} \cdot 670)$$

$$f_1 = 10.8 \text{ Hz}$$

Corte debido a C2:

$$f_2 = 1/(6.28 \cdot C_2 \cdot R_o)$$

Si $C_2 = 22 \text{ uF}$ y $R_o = 800 \Omega$

$$f_2 = 1/(6.28 \cdot 22 \cdot 10^{-6} \cdot 800)$$

$$f_2 = 9.0 \text{ Hz}$$

Corte debido a CE:

$$f_E = 1/(6.28 \cdot C_E \cdot R_E')$$

$R_E' = (h_{ie}/h_{fe})$ paralelo con RE

$$h_{ie}/h_{fe} = 750/150 = 5 \Omega$$

$$R_E' = (5 \cdot 220)/(5 + 220) = 4.9 \Omega$$

Si $C_E = 100 \text{ uF}$ y $R_E' = 4.9 \Omega$

$$f_E = 1/(6.28 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \cdot 4.9)$$

$$f_E = 325 \text{ Hz}$$

La que produce el mayor corte es f_E debida a RE, se puede concluir que el corte a frecuencias bajas es de $f_L = 325 \text{ Hz}$

RESPUESTA EN ALTAS FRECUENCIAS

El corte en altas frecuencias lo dan las capacidades parásitas del transistor como las de base-emisor C_{eb} y base-colector C_{cb} . La capacitancia total que obra en altas frecuencias, según el teorema de Miller es:

$$C_t = C_{eb} + C_{cb}(1 + g_m \cdot R_o) \quad R_o = 800 \Omega$$

Según los parámetros del 2N3904: $C_{cb} = 4.5 \text{ pF}$, $C_{eb} = 10 \text{ pF}$

$g_m = I_c / V_t = 6\text{mA} / 25\text{mV} = 0.24$, Reemplazando $C_t = 878\text{pF}$

$f_H = 1 / (6.28 * C_t * R_s)$, si $R_s = 5\Omega$

$f_H = 1 / (6.28 * 878 * 10^{-12} * 5)$

$f_H = 36\text{ MHz}$

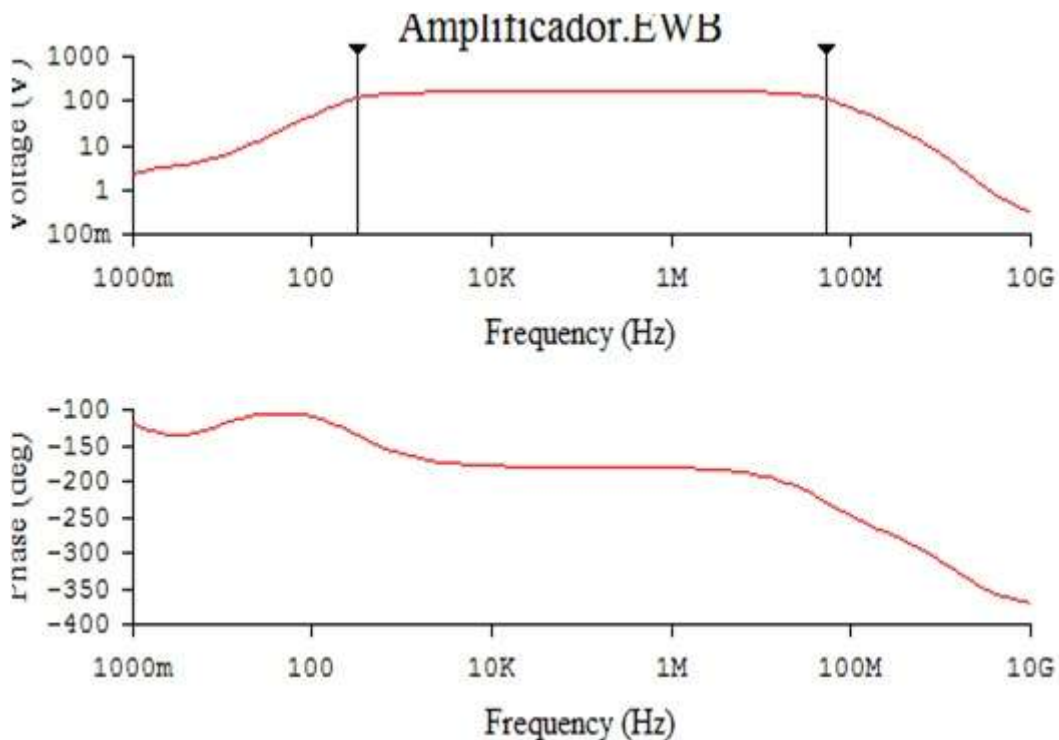
El manual de transistores dan un parámetro f_T que es el producto entre la ganancia y el ancho de banda, para el 2N3904, esta es de $f_T = 300\text{MHz}$

ANCHO DE BANDA

Se conoce como la respuesta en frecuencia y es igual a la diferencia entre el corte en altas frecuencias y el corte en bajas frecuencias.

$BW = f_H - f_L$

Para el ejemplo: $BW = 36\text{ MHz} - 325\text{ Hz} \approx 36\text{ MHz}$

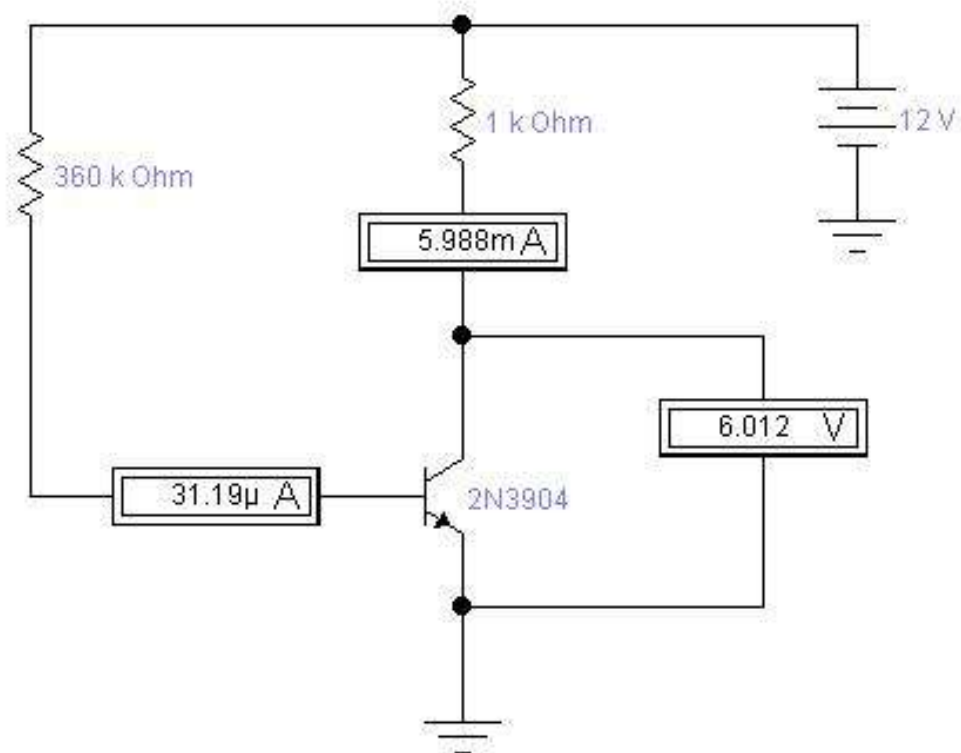


CURSO: ELECTRÓNICA BÁSICA

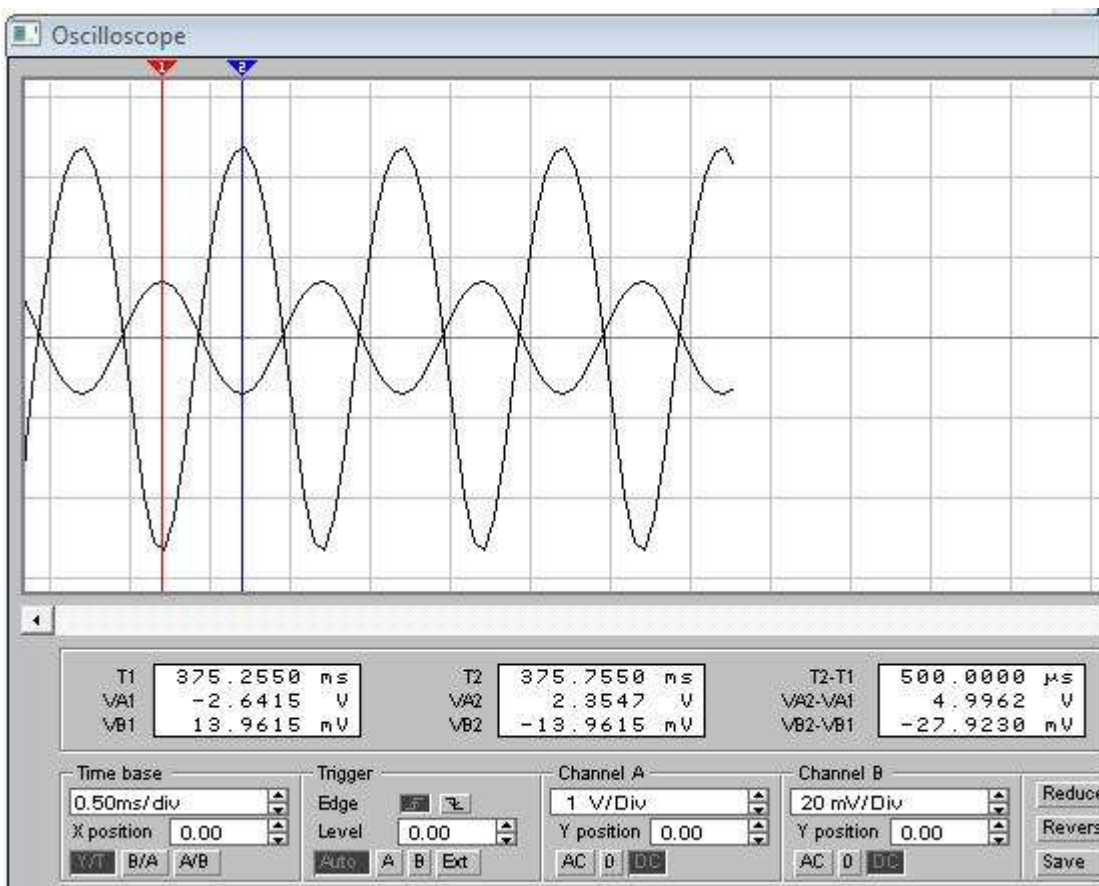
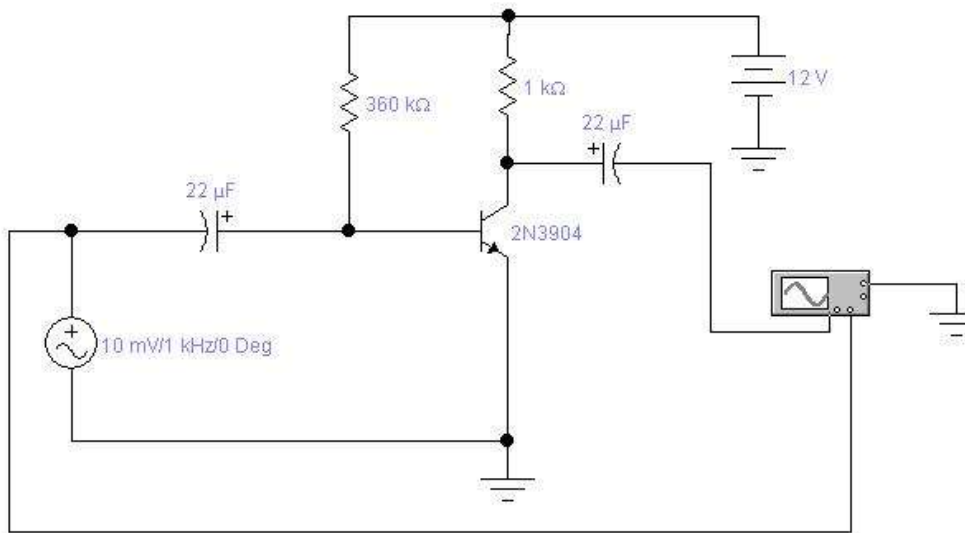
UNIDAD 1: EL AMPLIFICADOR - SIMULACIÓN

1. AMPLIFICADOR EMISOR COMÚN

PASO1: Monte en el simulador el circuito de la siguiente figura y compruebe su punto de polarización.



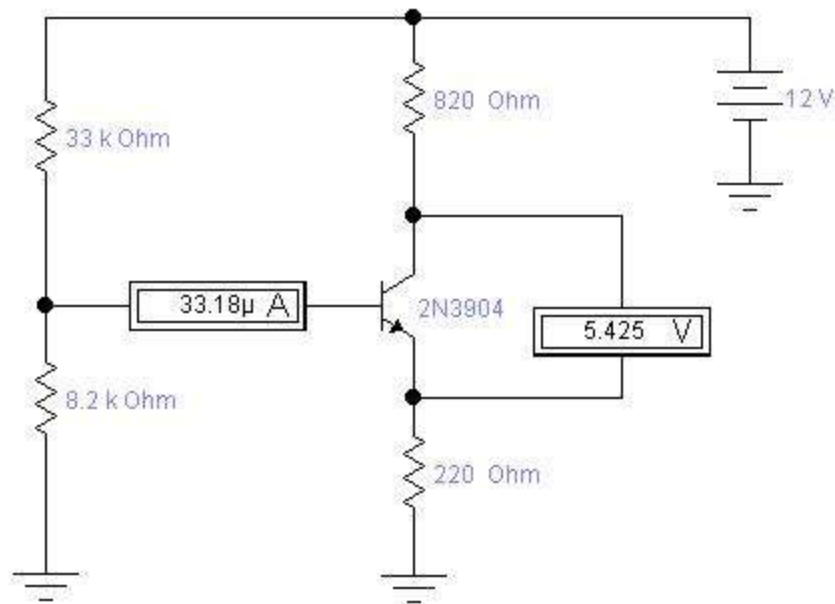
PASO 2: Introduzca en la entrada del circuito una señal de 10mV, utilice un osciloscopio para observar la salida y calcular la ganancia



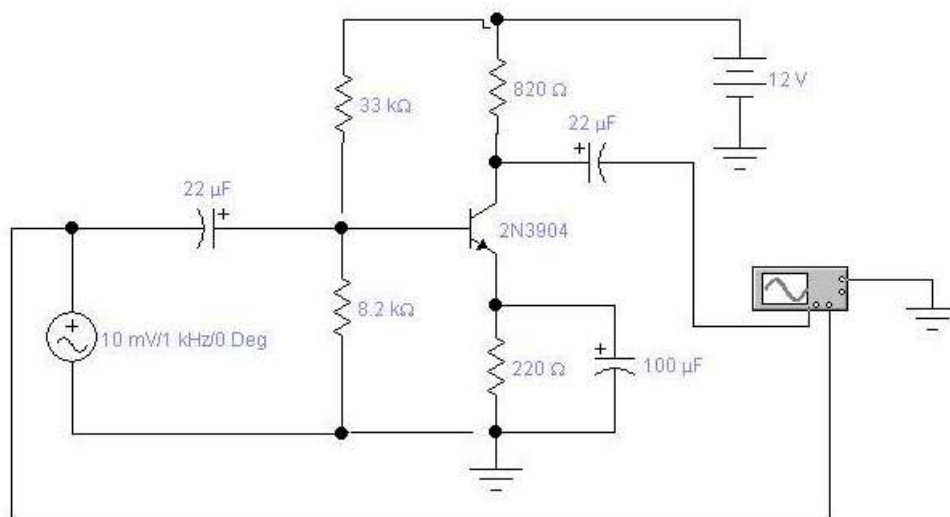
AMPLIFICADOR AUTOPOLARIZADO

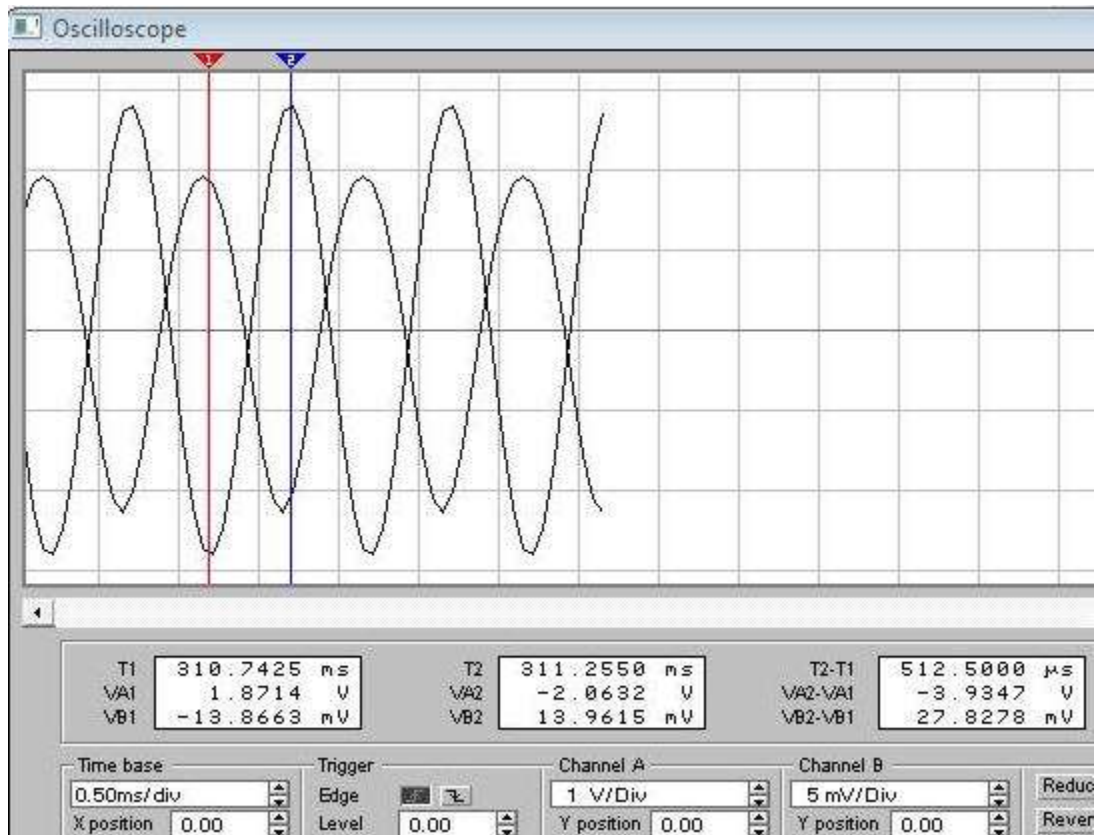
PASO 3: En este paso simularemos otro tipo de polarización con el fin de analizar y comparar, concluyendo cuál de estos es eficiente para determinadas aplicaciones.

a) Punto de polarización



PASO 4: Respuesta AC



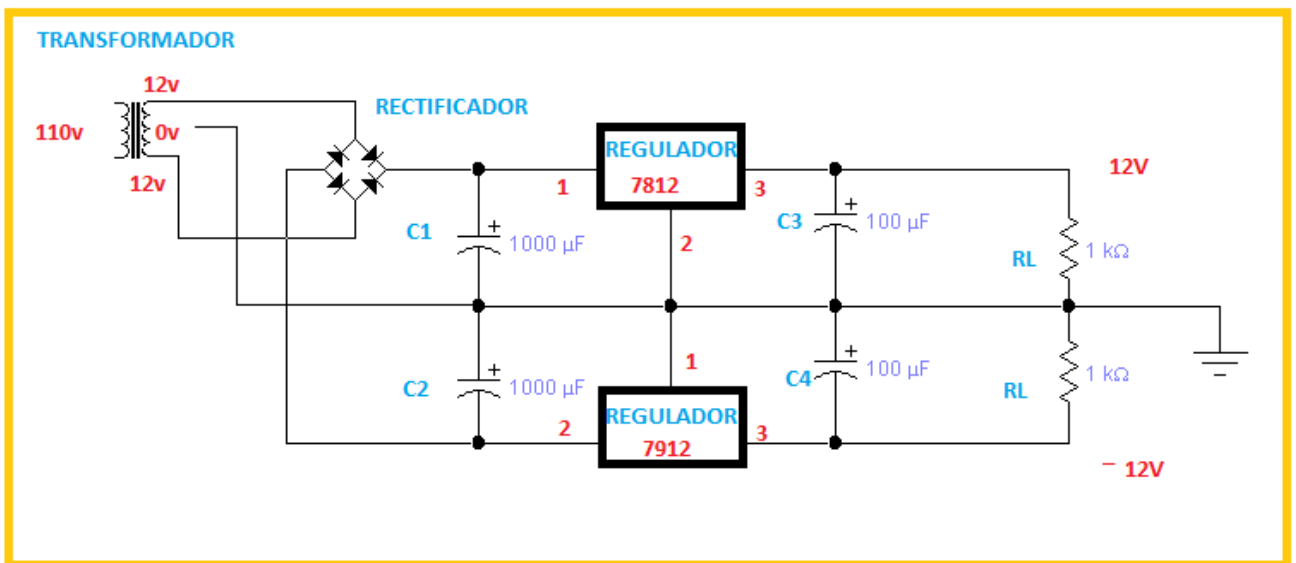


CURSO: ELECTRÓNICA BÁSICA

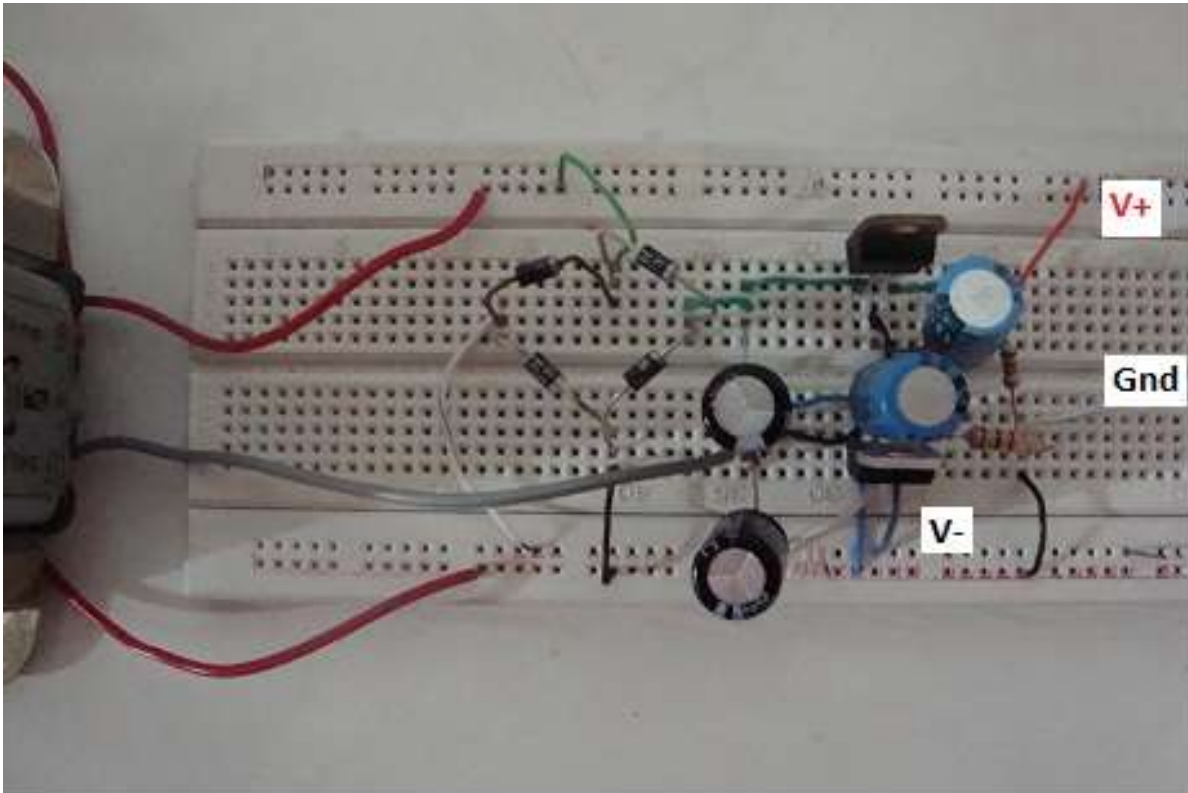
UNIDAD 1: EL AMPLIFICADOR - LABORATORIO

PASO1: IMPLEMENTAR FUENTE DE VOLTAJE DUAL

Aquí en adelante necesitaremos que nuestra fuente sea dual, por lo tanto adecuaremos la fuente que anteriormente habíamos realizado, agregándole el regulador negativo 7912 como se muestra en el siguiente esquema:

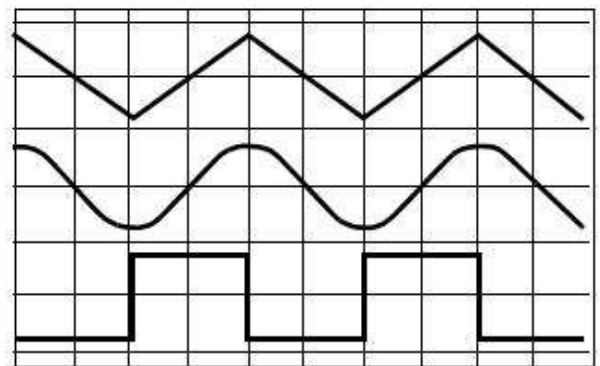
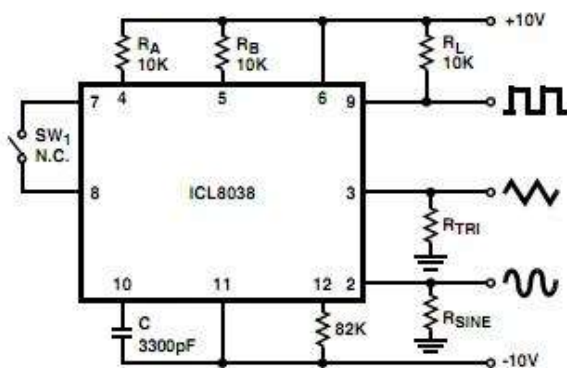


Tenga muy en cuenta la polaridad de los condensadores, este es el circuito montado.

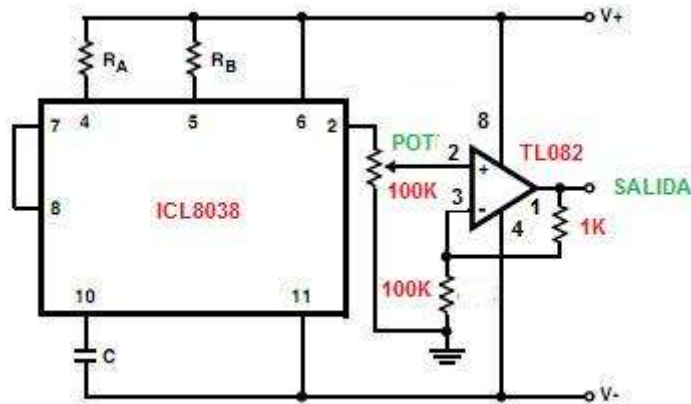


PASO 2: IMPLEMENTAR GENERADOR DE SEÑAL

Uno de los circuitos más utilizados para generar señales ya sean de forma triangular, cuadrada o senoidal es el [8038](#) que se presenta a continuación:



Para generar la señal de entrada al amplificador, vamos a implementar el siguiente circuito:

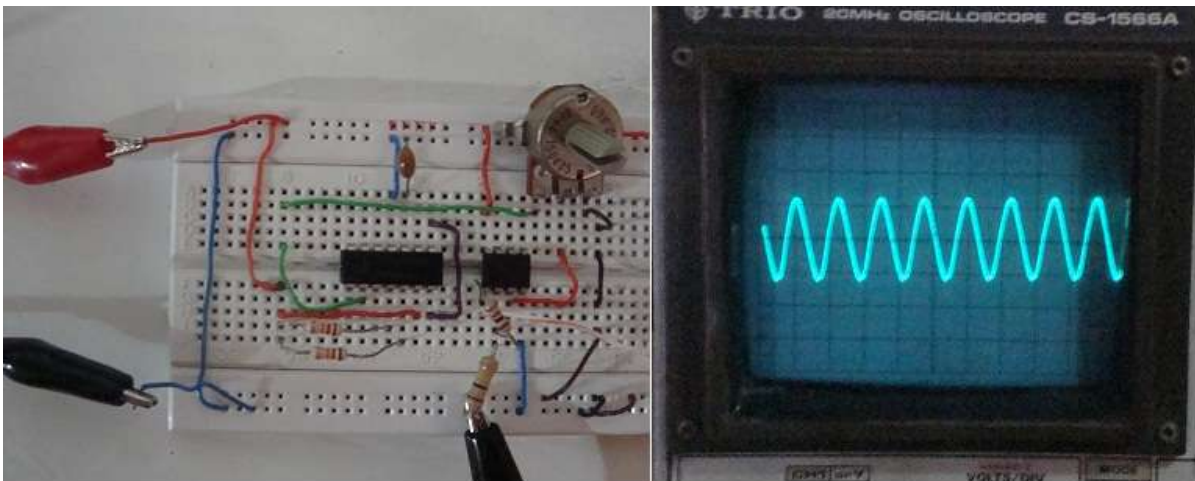


Si $R_A = R_B$, entonces, la frecuencia de la señal es igual a : $f = 0.33 / (R \cdot C)$

$R_A = R_B = 10 \text{ K}$, $C = 33 \text{ nF}$ (nanofaradios)

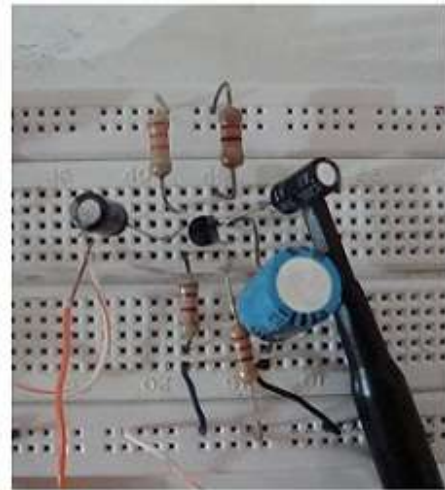
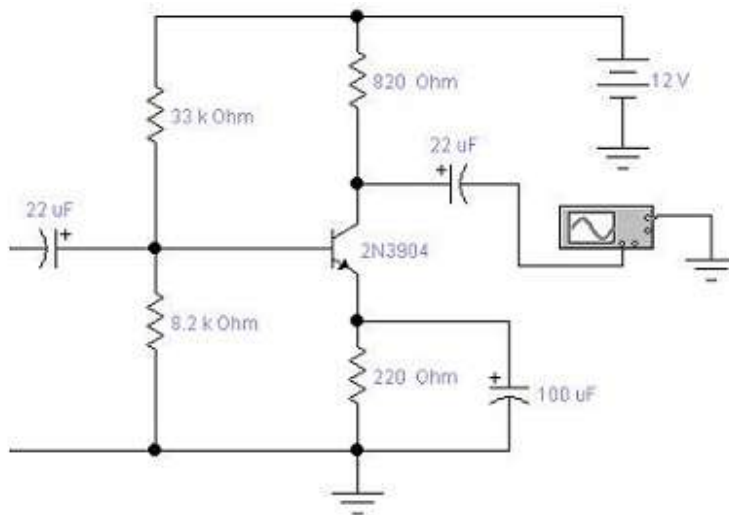
El [TL082](#) es un amplificador operacional que se explicará en otro curso, pero que tiene como característica de tener una resistencia de entrada muy alta y una resistencia de salida muy baja.

La siguiente gráfica muestra el generador de señales implementado y en funcionamiento,



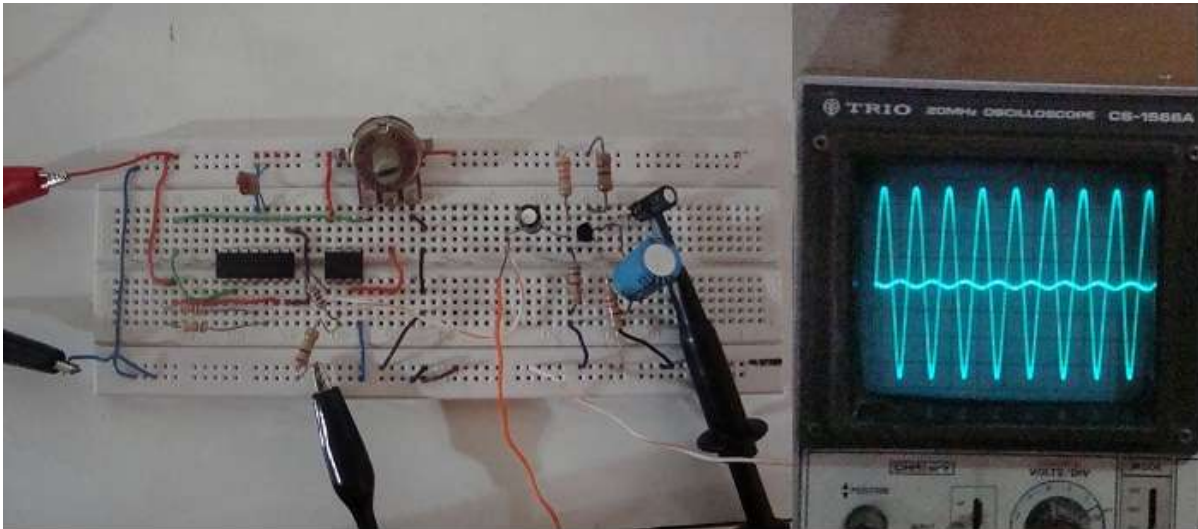
PASO 3: IMPLEMENTAR UN AMPLIFICADOR EN MODO EMISOR COMÚN

Monte un amplificador emisor común con autopolarización, este amplificador se polariza sólo con la parte positiva de la fuente, es decir entre V+ y gnd como lo indica el siguiente esquema :



PASO 4: CONECTAR LA SALIDA DEL GENERADOR A LA ENTRADA DEL AMPLIFICADOR

Conecte la salida del amplificador operacional a la entrada del amplificador emisor común con autopolarización como lo indica la siguiente figura. Mida el voltaje de entrada y salida, y calcule la ganancia del amplificador.



$V_{in} = 27\text{mV}_{pp}$ $V_{out} = 4\text{V}_{pp}$

$A_v = V_{out} / V_{in} = 4 / 27 \cdot 10^{-3} = 148$