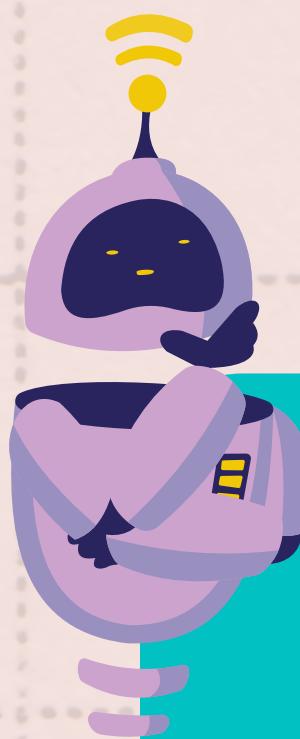




# PRACTICA 8

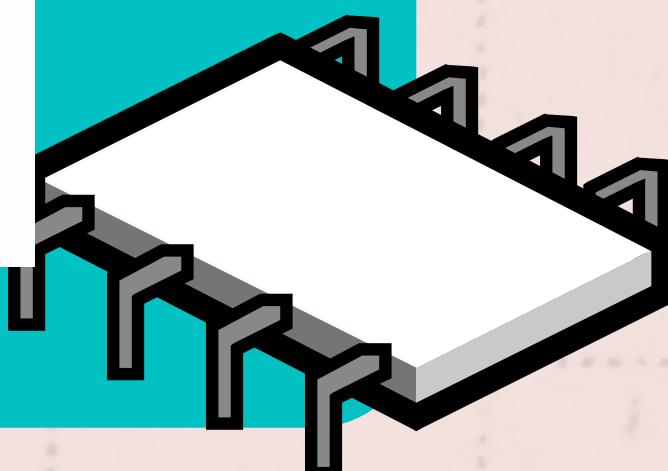
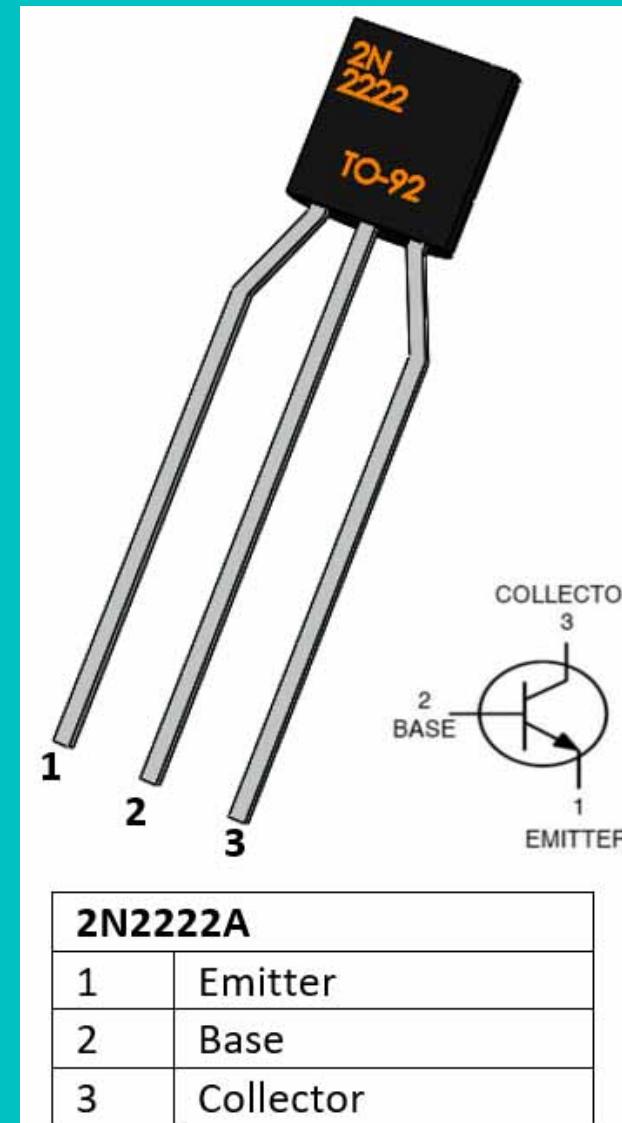
## AMPLIFICACIÓN CON BJT



# Componentes

Estos transistores son de propósito general y son usados para conmutación y amplificación, sus características son las siguientes:

Características	2N2222	2n2222A
Tensión Colector-Emisor máxima (VCEO)	30V	40V
Tensión Colector-Base máxima (VCEO)	60V	75V
Tensión emisor-base máxima (VEBO)	5V	6V
Corriente continua máxima del colector (IC)	800mA	800mA
Disipación de potencia máxima (PD)	625mW	625mW
Ganancia de corriente DC mínima (hFE)	100	100
Tensión de saturación colector-emisor máxima (VCEsat)	1V	1V





# Análisis Matemático

Con el propósito de deducir los valores de las resistencias del circuito se deben tener en cuenta las siguientes condiciones:

1. Posee una  $R_s=50$  como parte de la fuente de entrada.
2. La carga es igual a  $R_L=47K$ .
3. El amplificador debe poseer una ganancia igual a  $A_v=50V$ .
4.  $R_B=0.1**R_e$ .

Debido a lo anterior, se realiza un análisis DC, en el cual las fuentes AC se desconectan y las capacitores se comportan como circuito abierto, con el fin de hallar el circuito de polarización del BJT; con esto se deducen las siguientes ecuaciones:

$$I_c = \frac{5(R_c + R_l)}{0.9 * (R_c * R_l)}$$

$$R_1 = \frac{R_B * V_{CC}}{V_{BB}}$$

$$R_2 = \frac{R_B}{1 - \frac{V_{BB}}{V_{CC}}}$$

$$I_B = \frac{I_c}{\beta}$$

$$V_{BB} = \left( \frac{R_B}{\beta} + R_e \right) * I_c + V_{BE}$$

$$V_{CE} = \frac{V_{CC}}{1 + \frac{R_{AC}}{R_{DC}}}$$

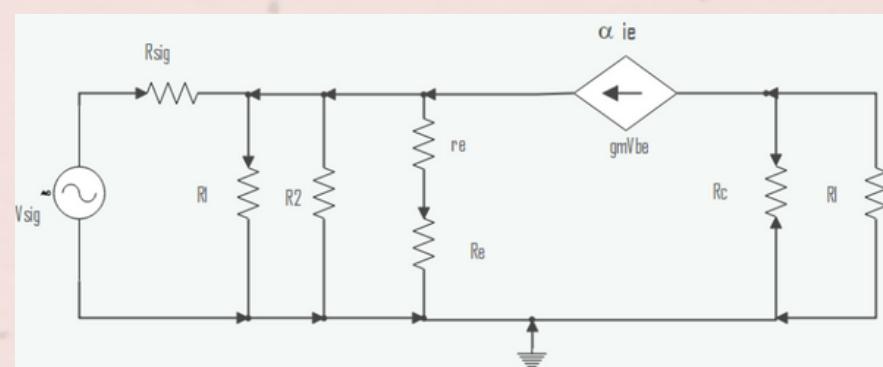
Finalmente, para hallar los respectivos valores del diseño asumimos un valor de  $R_c=3.3k$ . Después, al realizar un análisis en AC usando el modelo T que se aprecia en la figura para determinar la ganancia del circuito

$$A_v = - \frac{R_c || R_l}{r_e + R_c}$$

$$Z_i = \beta r_e + R_e(\beta + 1)$$

$$Z_o = R_c$$

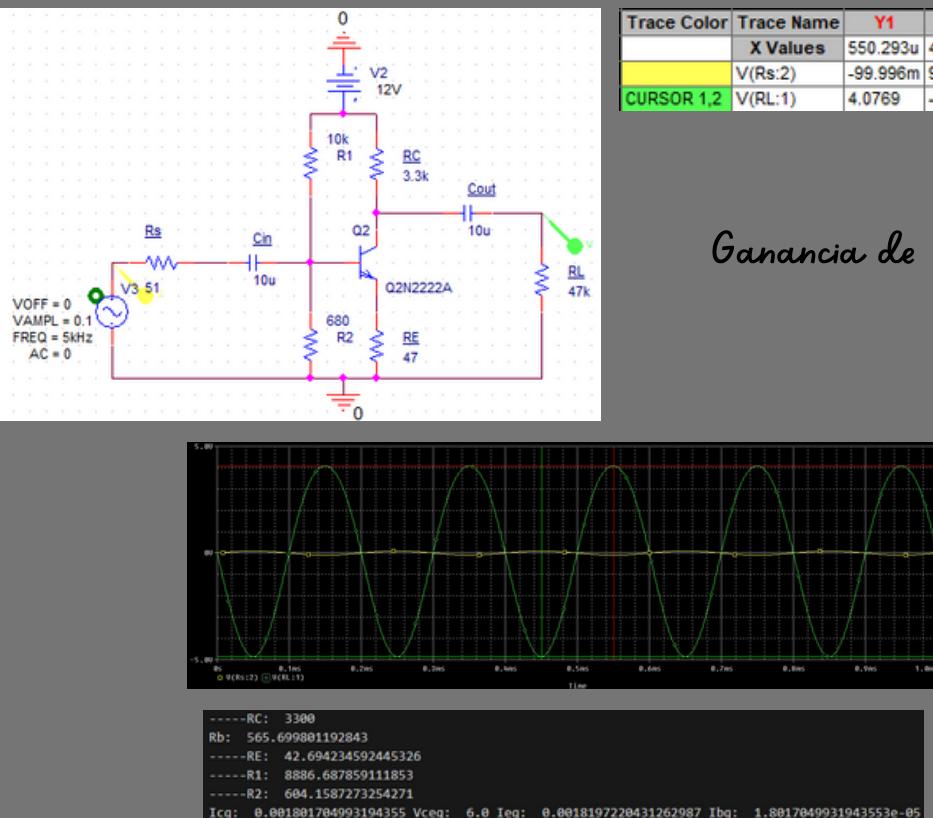
$$R_e = - \frac{R_c || R_l}{A_v} - r_e$$



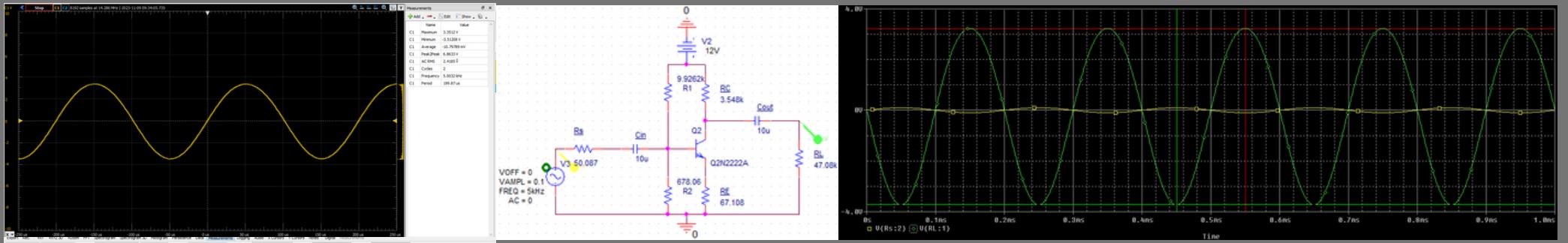


# Análisis DC y Punto de Operación

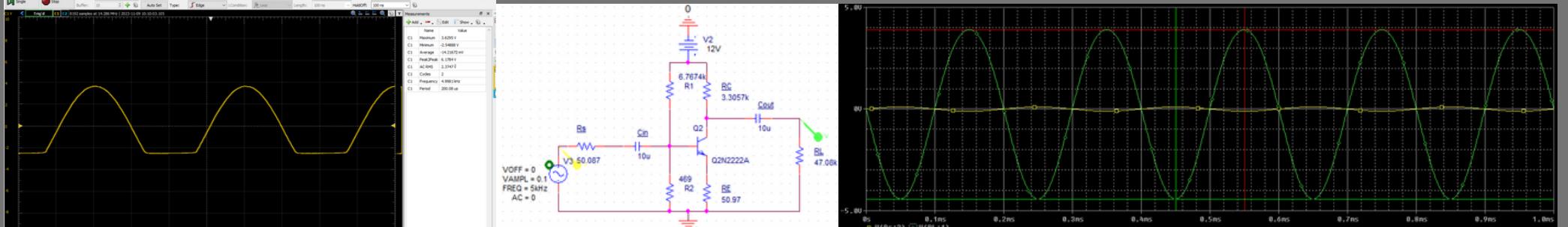
```
1 RL = 47000 #Ohm
2 Rs = 51 #Ohm
3 beta = 100
4 Vcc = 12 #Vdc 11.6
5 Vs = 0.1 #Vac
6 VT = 0.025 #25mV
7
8 RC = 3300 #3305.7
9 print("----RC: ", RC)
10
11 Vceq = Vcc/2 #5.8V colector-emisor
12 Icq = (50*(RC+RL))/(9*(RC*RL))
13
14 Tomando Av = 50 = Vo/Vs = (Ren/(Ren+Rs))*((RL||RC)/(re+RE)), se realiza dos cambios de variable donde
15 RE_ ~ (re+RE) y X = (RL||RC): 50 = (Ren/(Ren+Rs))*(X/RE_)
16 Por otro lado, gracias a la aproximación (RE_ ~ (re+RE)) entonces Ren ~ Rb, por lo cual:
17 50*((Rb+Rs)/Rb) = (X/RE_), y, RE_ = Rb/(0.1*beta)... despejando Rb:
18 ...
19 Rb = ((RL*RC*beta)/(50*(RL+RC))-Rs
20 print("Rb: ", Rb)
21
22 RE = (Rb/(0.1*beta))-(VT/Icq) #RE_ ~ (re+RE) --> RE = RE_- -re
23 print("----RE: ", RE)
24
25 Ieq = Icq*(beta+1)/beta
26 Ibq = Ieq/(beta+1)
27 Vbe = 0.676 #Suposición
28 Vbb = Rb*Ibq + RE*Ieq + Vbe
29
30 R1 = (Rb*Vcc)/Vbb
31 print("----R1: ", R1)
32 R2 = Rb*Vcc/(Vcc-Vbb)
33 print("----R2: ", R2)
34 print("Icq: ", Icq, "Vceq: ", Vceq, "Ieq: ", Ieq, "Ibq: ", Ibq)
```



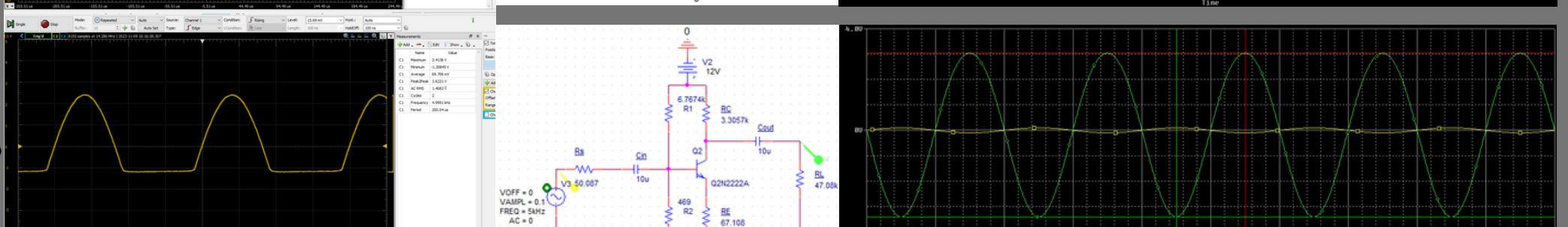
Versión 1



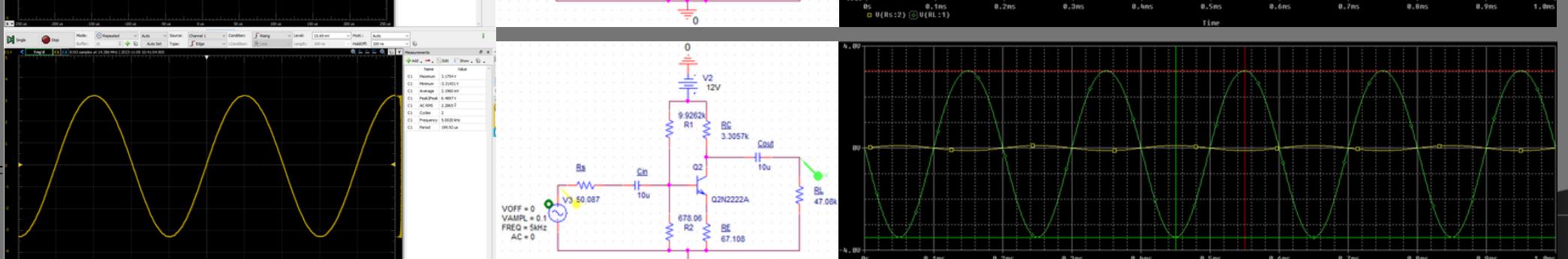
Versión 2



Versión 3



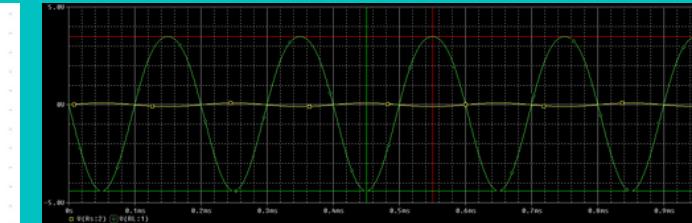
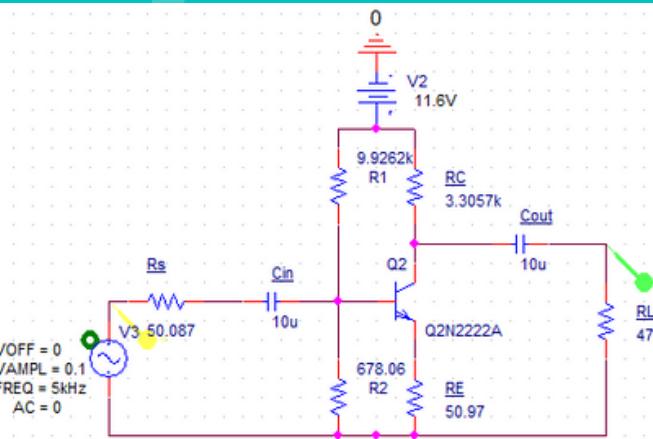
Versión 4



----RC: 3548  
Rb: 608.7926723114663  
----RE: 46.033932104138636  
----R1: 9555.309303185948  
----R2: 650.2198034678646

----RC: 3305.7  
Rb: 566.6950126923987  
----RE: 42.77136348366089  
----R1: 8902.130322483807  
----R2: 605.2224831213515

# Análisis DC y Punto de Operación



NAME	Q_Q2
MODEL	Q2N2222A
IB	1.04E-05
IC	1.55E-03
VBE	6.55E-01
VCE	-5.73E+00
BETADC	6.39E+00
GM	1.50E+02
RPI	5.97E-02
RX	2.73E+03
RO	1.00E+01
CBE	5.14E+04
CBC	6.12E-11
CJS	3.50E-12
BETAAC	0.00E+00
CBX/CBX2	1.63E+02
FT/FT2	0.00E+00
	1.47E+08

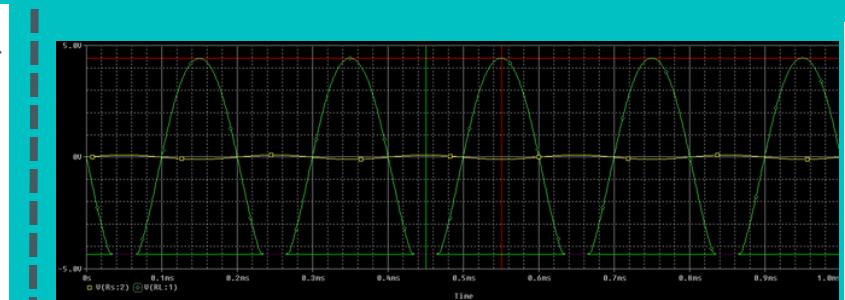
Vce debería ser Vcc/2 (este caso de 5.8V) pero la variación del beta hace que ese voltaje disminuya a ese Vce aprox. de 4.7V.

$$V_e = 102.34\text{mV}$$

$$V_b = 0.7354\text{V}$$

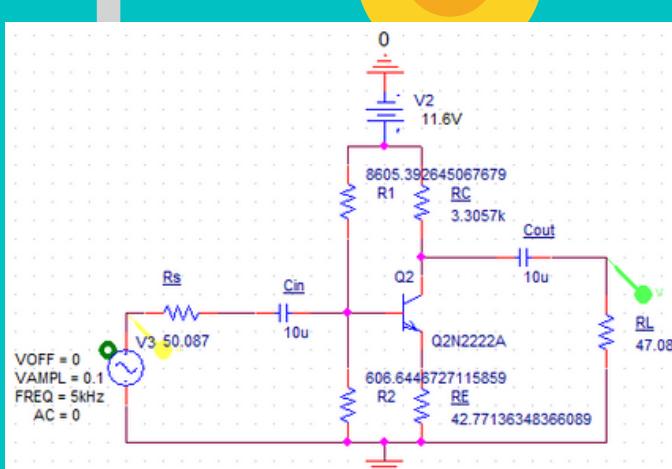
$$V_c = 4.8112\text{V}$$

El error es aproximadamente de 18.81% (tolerable) y la alimentación tuvo que ser modificada a 11.6V para evitar la saturación de la señal.



Ganancia de 43.959 con valores exactos del código.

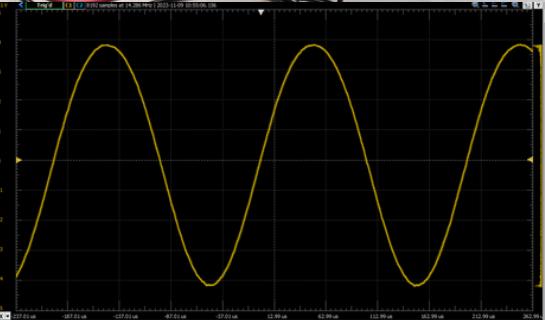
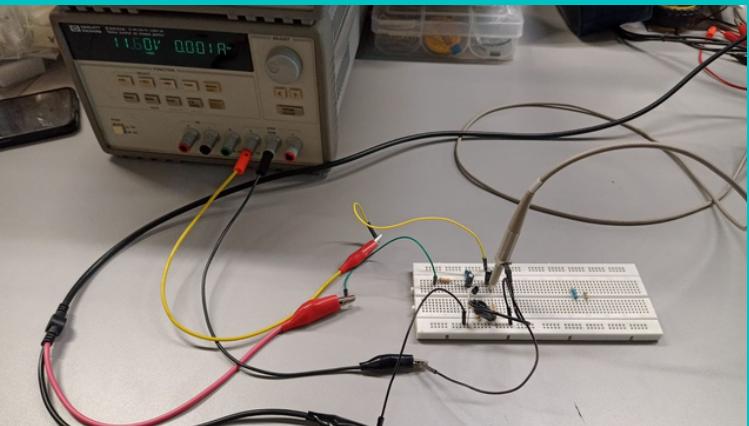
NAME	Q_Q2
MODEL	Q2N2222A
IB	1.41E-05
IC	2.13E-03
VBE	6.64E-01
VCE	-3.81E+00
BETADC	4.48E+00
GM	1.50E+02
RPI	8.16E-02
RX	1.99E+03
RO	1.00E+01
CBE	3.66E+04
CBC	7.05E-11
CJS	3.94E-12
BETAAC	0.00E+00
CBX/CBX2	1.62E+02
FT/FT2	0.00E+00
	1.75E+08



```

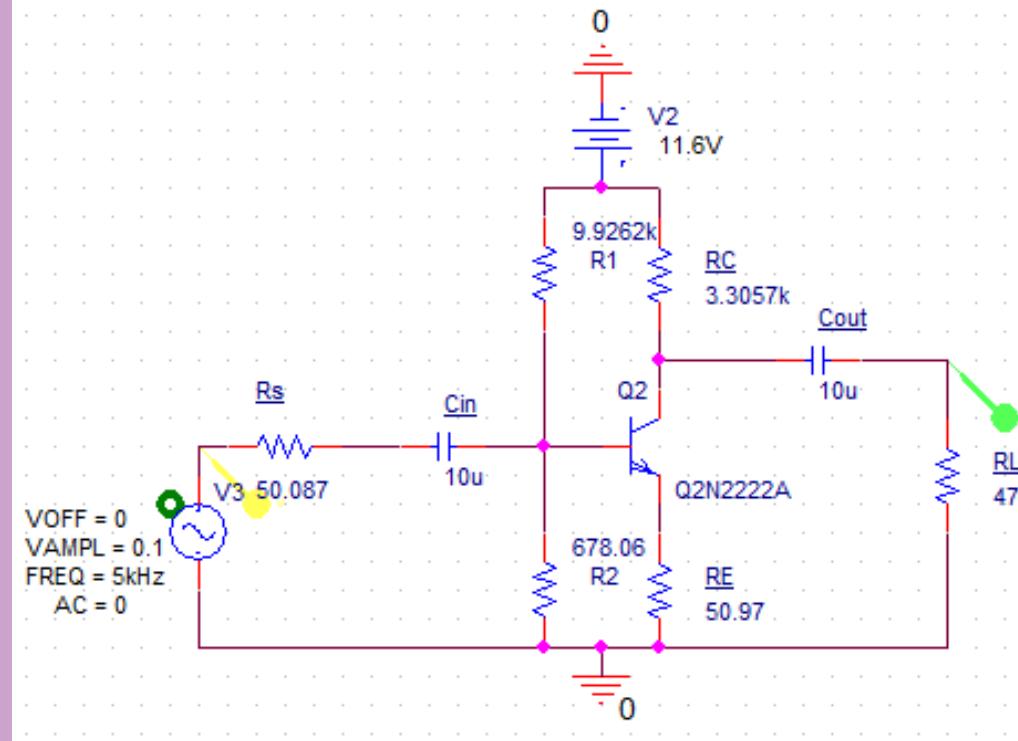
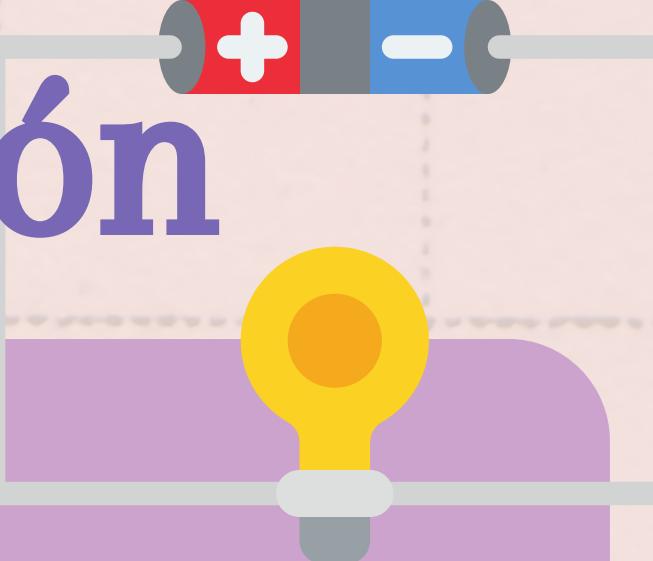
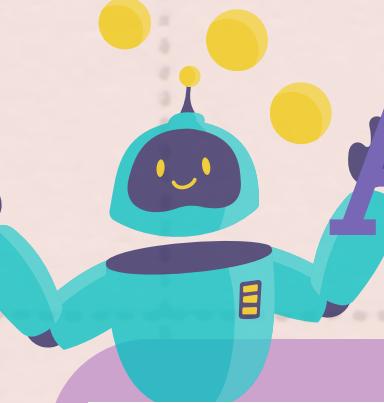
-----RC: 3305.7
-----Rb: 566.6950126923987
-----RE: 42.77136348366089
-----R1: 8605.392645067679
-----R2: 606.6446727115859
Icq: 0.0017988021406681247 Vceq: 5.8 Ieq: 0.0018167901620748058 Ibq: 1.7988021406681245e-05

```



	R1	R2	RC	RE	Vdc	Av Simulada	Av Real
<b>Versión 1</b>	9.9262k	678.06	3.548k	67.108	12V	34.7665	34.3165
<b>Versión 2</b>	6.7674k	469	3.3057k	50.97	12V	41.6025	30.892
<b>Versión 3</b>	6.7674k	469	3.3057k	67.108	12V	32.252	18.1105
<b>Versión 4</b>	9.9262k	678.06	3.3057k	67.108	12V	32.5865	32.4485
<b>Versión 5</b>	9.9262k	678.06	3.3057k	50.97	11.6V	39.4655	40.1215

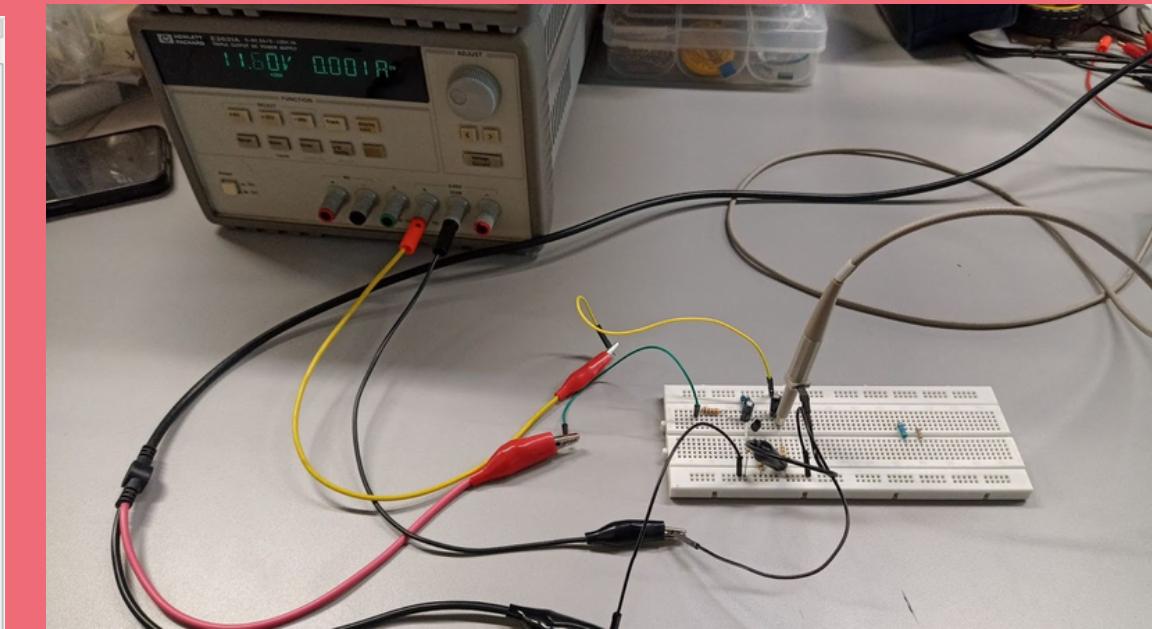
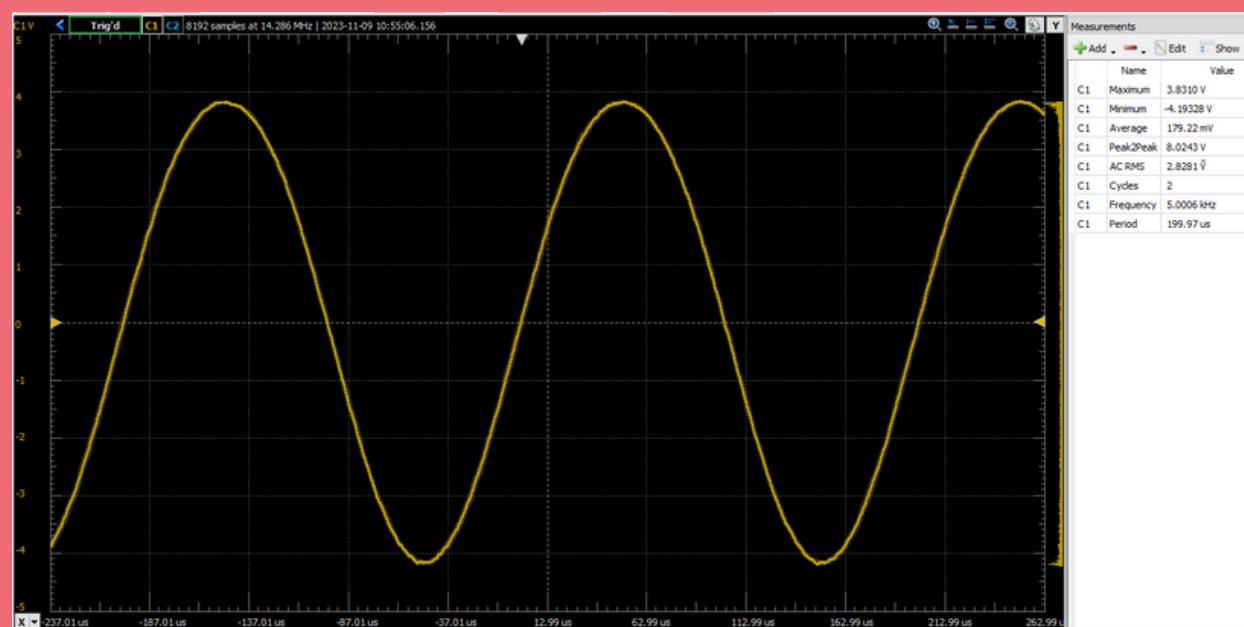
# Análisis DC y Punto de Operación



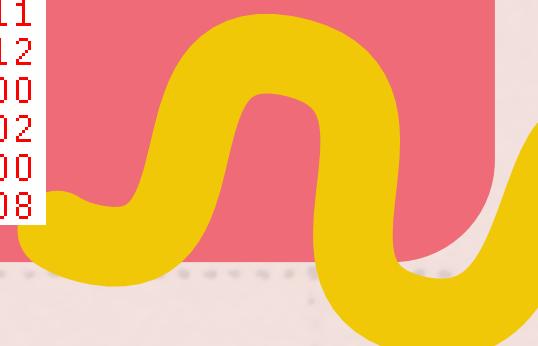
	V <sub>cc</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>C</sub>	R <sub>E</sub>
Elementos del circuito	11.6V	9.9262kΩ	678.06Ω	3.3057kΩ	50.97Ω

	I <sub>B</sub>	I <sub>C</sub>	V <sub>BE</sub>	V <sub>BC</sub>	V <sub>CE</sub>	Beta <sub>DC</sub>	Modo de Operación
Punto de Operación	10.4uA	1.55mA	0.655V	-5.73V	6.39V	150	Activo

	Z <sub>in</sub>	Z <sub>out</sub>	A <sub>v</sub>
Valores calculados	9.75717kΩ	3.3057kΩ	≈40

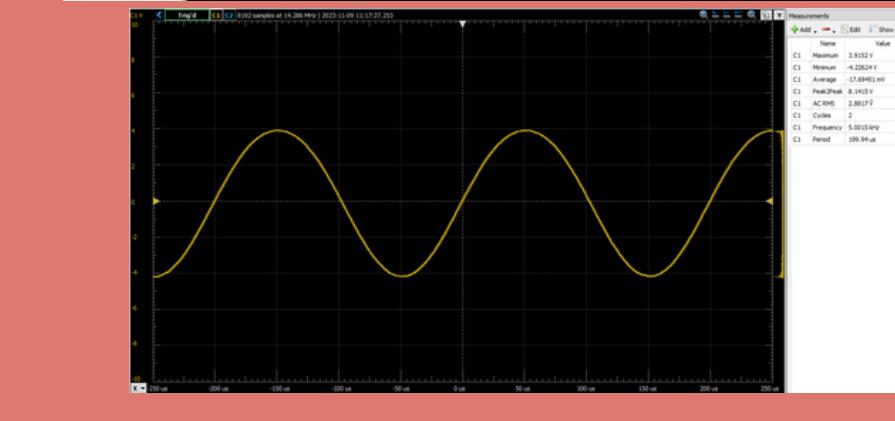
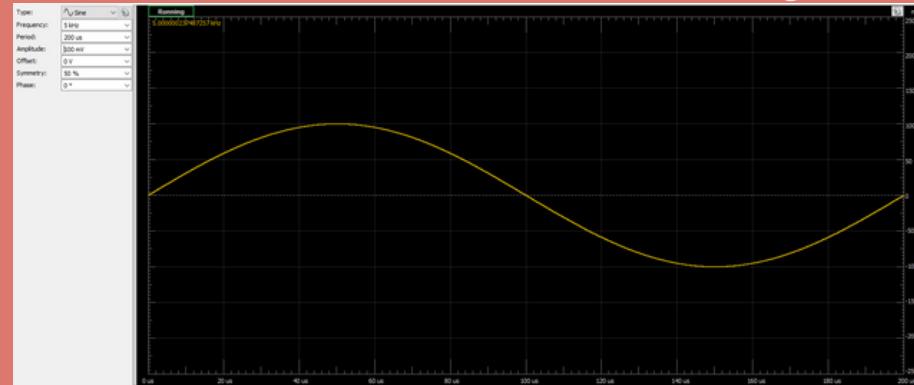


NAME	Q_Q2
MODEL	Q2N2222A
IB	1.04E-05
IC	1.55E-03
VBE	6.55E-01
VBC	-5.73E+00
VCE	6.39E+00
BETADC	1.50E+02
GM	5.97E-02
RPI	2.73E+03
RX	1.00E+01
RO	5.14E+04
CBE	6.12E-11
CBC	3.50E-12
CJS	0.00E+00
BETAAC	1.63E+02
CBX/CBX2	0.00E+00
FT/FT2	1.47E+08

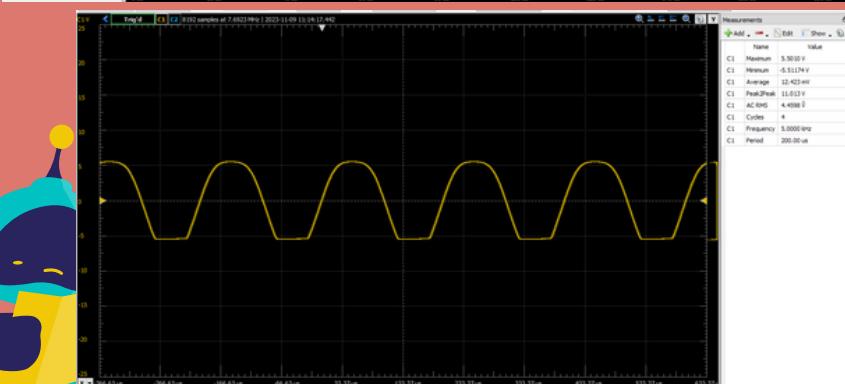


# Análisis en el tiempo

*Señal de entrada de 100mV y 5kHz*

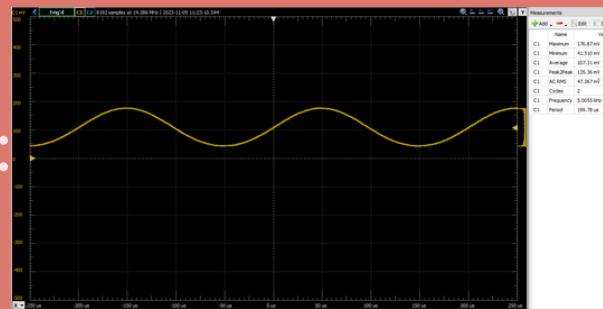


*Señal de entrada de 200mV y 5kHz*

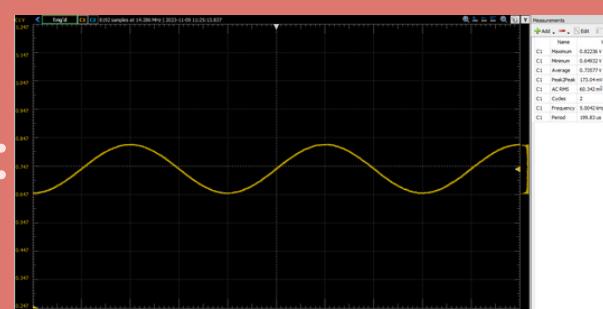


*Medidas en el transistor con señal de 200mV de 5kHz en entrada*

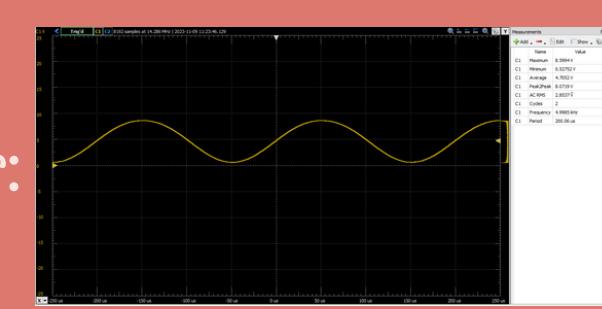
Emisor:



Base:



Colector:



Señales en transistor con entrada de 200mVpp y frecuencia de 5kHz

	Máximo	Mínimo	Nivel DC	Vpp	AC RMS	Frecuencia
Emisor	176.87mV	41.510mV	107.31mV	135.36mV	47.267mV	5.0055kHz
Colector	8.5994V	0.52752V	4.7052V	8.0719V	2.8537V	4.9985kHz
Base	0.82236V	0.64932V	0.73577V	173.04mV	60.342mV	5.0042kHz

Salida por señal de entrada de 200mVpp y frecuencia de 5kHz

Máximo	3.9152V
Mínimo	-4.22624V
Nivel DC	-17.69451mV
Vpp	8.1415V
AC rms	2.8817V
Frecuencia	5kHz
Ganancia	40.1215
Desfase	100.499μs = 180.8982°

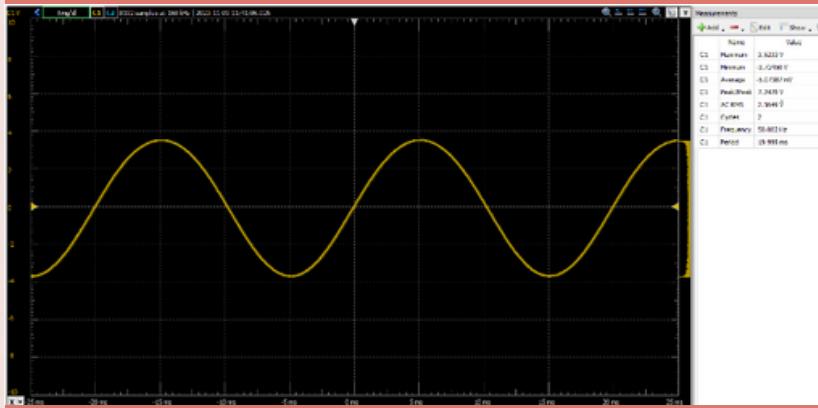
La potencia máxima entregada en la carga RL, y la potencia DC consumida por el circuito:

$$P_{\text{máx}} = \frac{V_{\text{rms}}^2}{RL} = \frac{(4.4598)^2}{47080} = 422.468 \mu W$$

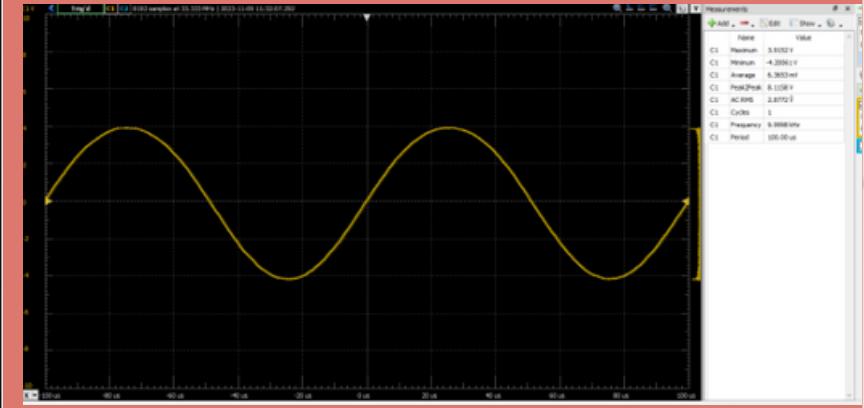
$$P_{\text{DC}} = V_{\text{DC}} I_{\text{DC}} = (12.42mV)(0.26387 \mu A) = 3.28nW$$



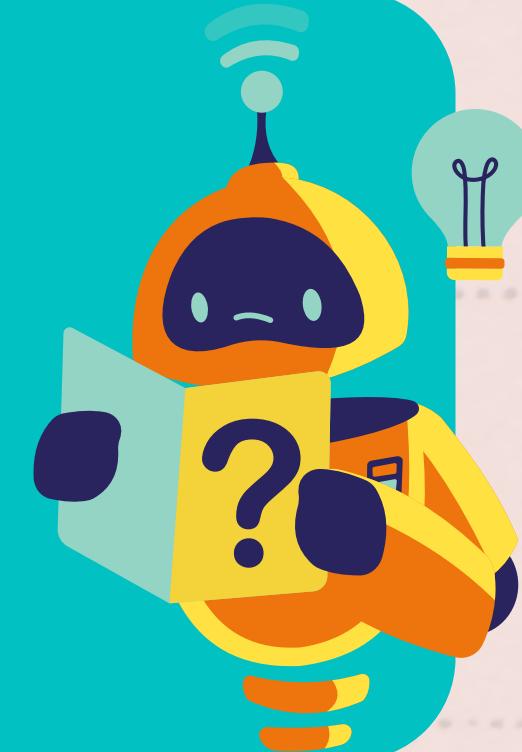
# Análisis en Frecuencia



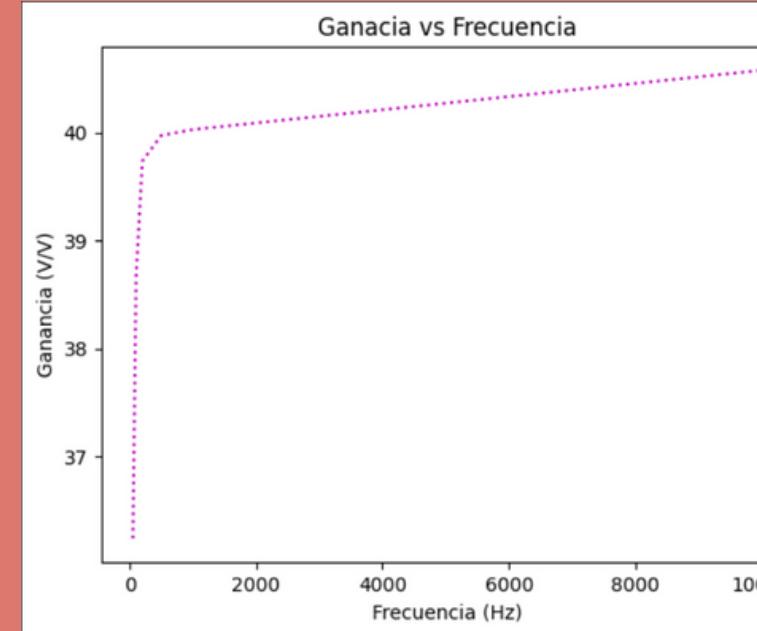
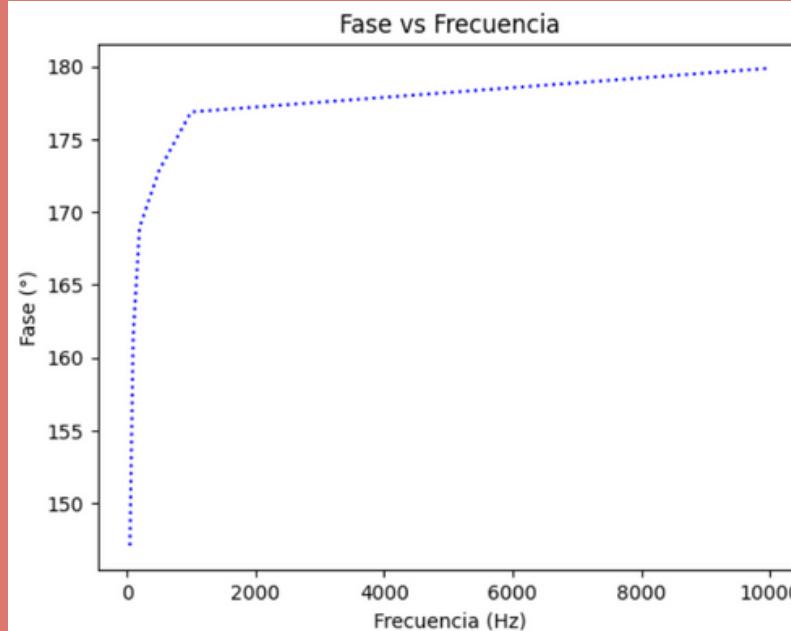
Frecuencia (Hz)	Ve	Vc	Vb	Av	Nivel DC	Vpp	AC rms
<b>10k</b>	106.36mV	4.67V	0.736V	40.579V/V	6.3653mV	8.1158V	2.8772V
<b>1k</b>	107.55mV	4.68V	0.735V	40.0295V/V	10.679mV	8.0059	2.8267V
<b>500</b>	107.60mV	4.64V	0.736V	39.975V/V	-10.00766mV	7.9950V	2.8258V
<b>200</b>	107.74mV	4.68V	0.736V	39.737V/V	7.0766mV	7.9474V	2.8109V
<b>100</b>	108.1mV	4.65V	0.735V	38.6565V/V	-1.72143mV	7.7313V	2.7390V
<b>50</b>	107.13mV	4.73V	0.732V	36.239V/V	-5.07387mV	7.2478V	2.5649V



Ganancia y fase		10Khz	1Khz	500Hz	200Hz	100Hz	50Hz
$V_i$	$A_v$	$40.579 \frac{V}{V}$	$40.0295 \frac{V}{V}$	$39.975 \frac{V}{V}$	$39.737 \frac{V}{V}$	$38.657 \frac{V}{V}$	$36.239 \frac{V}{V}$
	Fase	$179.87^\circ$	$176.87^\circ$	$172.828^\circ$	$168.948^\circ$	$161.464^\circ$	$147.118^\circ$

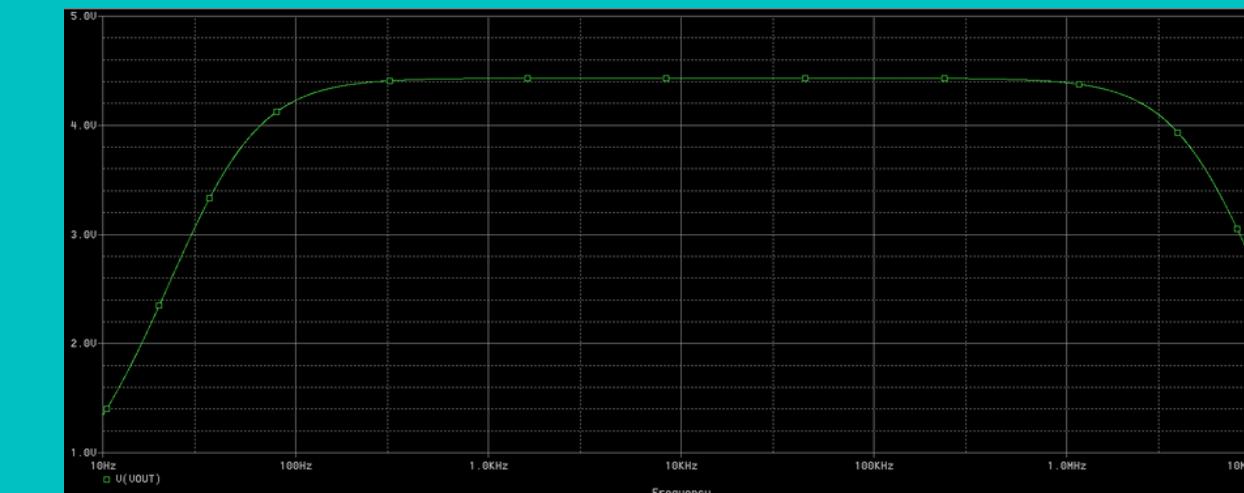


# Análisis en Frecuencia



Se puede notar como en esta configuración a medida que se disminuye la frecuencia, también disminuye la ganancia y la fase entre señales, lo que lleva a deducir que, la frecuencia guarda una relación de proporcionalidad con estas dos variables, esto puede deberse a los capacitores de desacople que se encuentran en el circuito, debido a que a bajas frecuencias estos se comportaran como circuito abierto.

Al tener en cuenta lo anterior, se procede a determinar el ancho de banda con el simulador, en este se puede observar que el punto máximo de ganancia se da una frecuencia de 15.136k con una amplitud igual a 4.431v, además de las frecuencias de corte del amplificador que se aprecian en la imagen, por tanto, el ancho de banda (BW) corresponde a 7.2699386 Megas.



Trace Name	Y1	Y2
X Values	31.550	7.2778M
V(VOUT)	3.1385	3.1390

Trace Name	Y1
X Values	15.136K
V(VOUT)	4.4312

Measurement	Value
Cutoff_Highpass_3dB(V(Vout))	31.44815
Cutoff_Lowpass_3dB(V(Vout))	7.26997meg

# Conclusiones

- Al ser catalogado un amplificador emisor-común, las ganancias de voltaje y corriente deben ser mayor que uno y negativa; sin embargo, como el emisor no se dirige directamente a tierra, sino que existe una resistencia en el camino a tierra, la amplificación en corriente es menor a uno y positiva (salida en fase con la entrada) mientras que la amplificación en voltaje sí cumple con los requerimientos.
- Se corroboró que el funcionamiento correcto de un transistor BJT como amplificador es precisamente en región activa, ya que en región de saturación funciona como switch y en región de corte simplemente no conduce señal.
- Es importante resaltar la relevancia que tiene el beta del transistor para el diseño del circuito, puesto que, como se pudo observar, los valores de algunos de los componentes del mismo guardaban una estrecha relación con este valor, al igual que, la resistencia de entrada del modelo propuesto para el estudio del transistor en región activa y por ende este beta repercutía en la ganancia de salida del amplificador emisor-común.
- Es posible notar la relación que posee el transistor BJT como amplificador Emisor Común con la frecuencia de la señal de entrada, debido a que los capacitores que se encuentran en el circuito pueden variar su conducta de acuerdo a esta, por esto, la ganancia y fase del amplificador se ve afectada al realizar la variación de dicha frecuencia.



## Referencias

- 1.P. A. Gustavo. "Aplificador con BJT Análisis de pequeña señal Parte 1" . [video-Youtube]. Marzo 24, 2021. Disponible:[\\_\(85\)\\_Aplificador con BJT Análisis de pequeña señal Parte 1 - YouTube](https://www.youtube.com/watch?v=85_Amplificador%20con%20BJT%20An%C3%A1lisis%20de%20peque%C3%B1a%20se%C3%B1al%20Parte%201%20-%20YouTube)
- 2.Udearroba. Amplificador con BJT Análisis de pequeña señal Parte 2. (3 de octubre de 2021). [Video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=lYik7iDm3Pg>
- 3.Udearroba. Diseño de un amplificador BJT del tipo emisor común EC con transistor NPN. (3 de octubre de 2021). [Video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=RzUq0gnspPg>
- Udearroba. Diseño de un amplificador BJT del tipo emisor común EC con transistor PNP Simulación en Spice. (4 de octubre de 2021). [Video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=p2W9ihbnJaM>