

CURSO: ELECTRÓNICA BÁSICA

UNIDAD 2: AMPLIFICADOR DE POTENCIA – TEORÍA

PROFESOR: JORGE ANTONIO POLANÍA

INTRODUCCIÓN

En un sistema de amplificación que entrega una cantidad considerable de potencia, las ganancias de voltaje y corriente son importantes en el sistema pre-amplificador. En la etapa de salida se necesita una buena ganancia en Potencia.



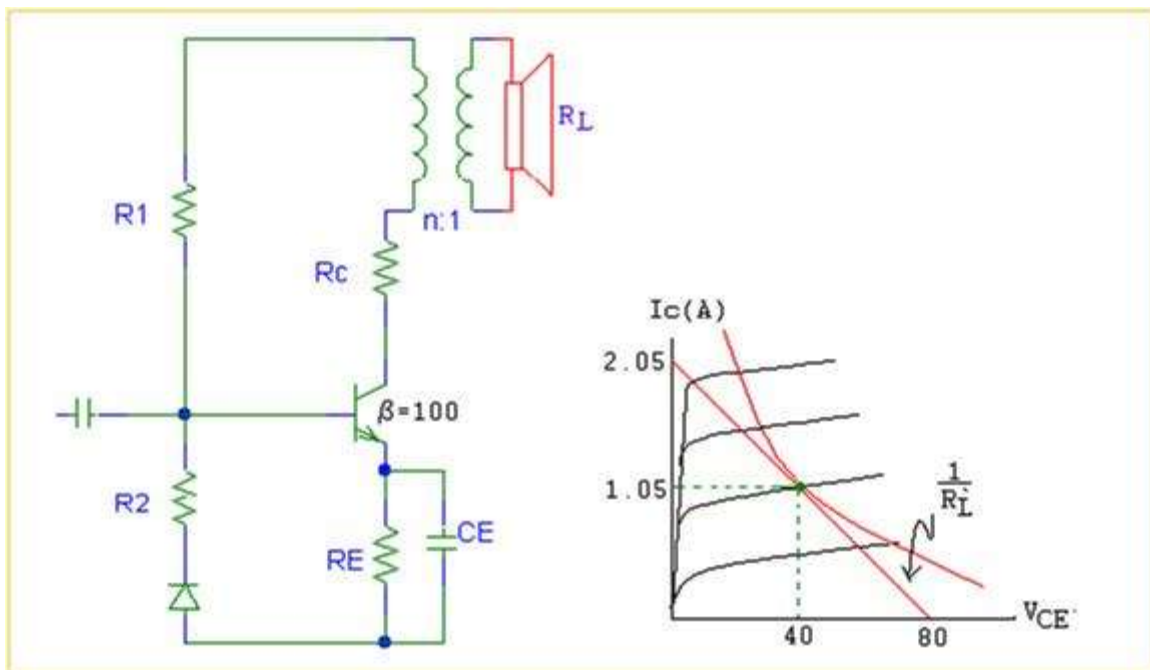
La potencia está limitada por la juntura del transistor y ésta depende de la resistencia térmica en la juntura. Al aumentar la corriente la juntura o unión del transistor se calienta y ésta a su vez hace aumentar la corriente que hace que se caliente aún más.

El parlante convierte la energía eléctrica de frecuencia de audio (20 Hz a 20 KHz) en sonido. El sonido se produce por el movimiento del cono o membrana flexible debido a un imán móvil que se mueve por la presencia de un campo electromagnético. Es un transductor de energía eléctrica a energía mecánica. Los parlantes son dispositivos de baja impedancia y se prueban comprobando su continuidad colocando un multímetro para medir su resistencia. Por ser de resistencia baja se acoplan generalmente se acoplan a un amplificador por medio de un transformador.

Los transistores de potencia son transistores que soportan una corriente de colector alta y tienen un β o hFE bajo, generalmente menor de 100. Son transistores con potencia mayor a 0.5 W (500 mW). Por ejemplo el [BD135](#) es un transistor que tiene una potencia de disipación en colector a temperatura ambiente de 1.25 W.

EJEMPLO 1:

En el siguiente ejemplo se tiene un amplificador acoplado a un parlante por medio de un transformador. Se quiere una potencia máxima en la carga de 20W, si $R_c = 4\Omega$ y un parlante $R_s = 4\Omega$.



De la curva se obtiene: $V_{CE} = 40V$, $I_c = 1.05A$, $I_{cmax} = 2.05A$

$$P_{Lmax} = (I_{cmax}^2 / 8) * R_L = (2.05^2 / 8) * R_L = 0.53 R_L$$

$$P_{Lmax} = 0.53 R_L$$

Como P_{Lmax} pedido es de 20W, entonces,

$$20 = 0.53 R_L, \text{ despejando } R_L = 20 / 0.53 \approx 38$$

$R_L = R_p + R_c$, donde R_p es la resistencia del primario de transformador y $R_c = 4\Omega$

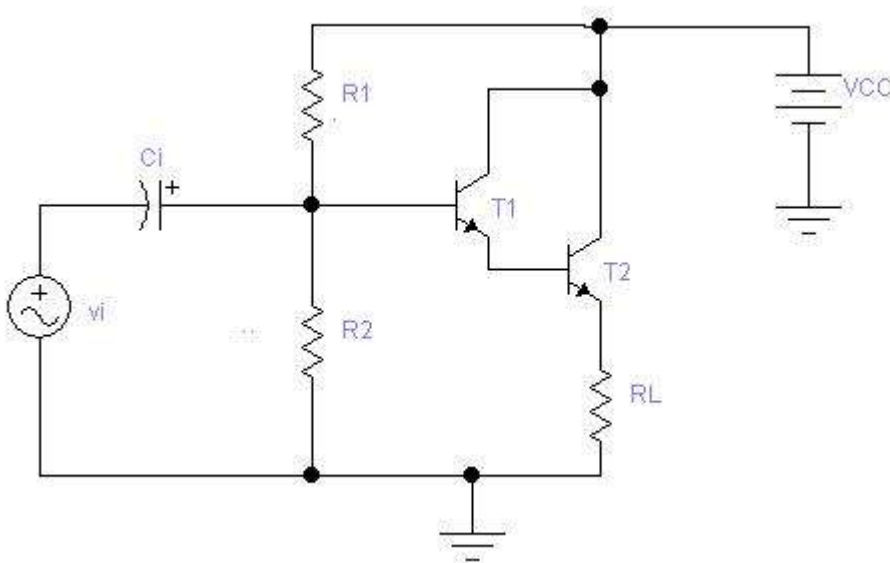
despejando $R_p = R_L - R_c = 38 - 4 = 34$, $R_p = 34\Omega$

En un transformador la relación de vueltas del primario a secundario $n = N_p / N_s$ y $n^2 = R_p / R_s$

$n^2 = 34 / 4 = 8.5$, entonces, $n = 2.9 \approx 3$

1. AMPLIFICADOR CLASE A

El amplificador clase A es un amplificador cuya salida es igual a la entrada pero amplificada sin distorsión, con buena ganancia en potencia. Para mejorar la ganancia en potencia se conectan transistores en forma Darlington con el fin de aumentar la amplificación de corriente, aquí $h_{FE} = h_{FE1} * h_{FE2}$, no hay amplificación de voltaje, por eso se conectan los transistores en configuración colector común (entrada por base salida por emisor), como se indica en la figura siguiente:



Este amplificador se polariza con $V_{CE} = V_{CC} / 2$

$V_{CC} = V_{CE} + V_{RL}$ entonces, $V_{RL} = V_{CC} - V_{CE} = V_{CC} - V_{CC}/2 = V_{CC}/2$

Potencia en la carga:

$PL_{max} = (I_{cmax}^2 / 8) * R_L$, $I_{cmax} = V_{CC}/R_L$

$$P_{Lmax} = V_{CC}^2 / (8 R_L)$$

Potencia de la fuente:

$$P_{CC} = V_{CC} \cdot I_c = V_{CC} \cdot (V_{CE} / R_L) = V_{CC} \cdot (V_{CC} / 2R_L) = V_{CC}^2 / (2R_L)$$

Rendimiento del amplificador:

$\eta = (P_{Lmax} / P_{CC}) \cdot 100\% = (V_{CC}^2 / 8R_L) / (V_{CC}^2 / 2R_L)$ simplificando V_{CC} y R_L , se tiene:

$$\eta = 2/8 = 25\%$$

El rendimiento de un amplificador clase A es tan solo del 25%

EJEMPLO 2:

En el amplificador anterior $V_{CC} = 12V$, $R_L = 16\Omega$

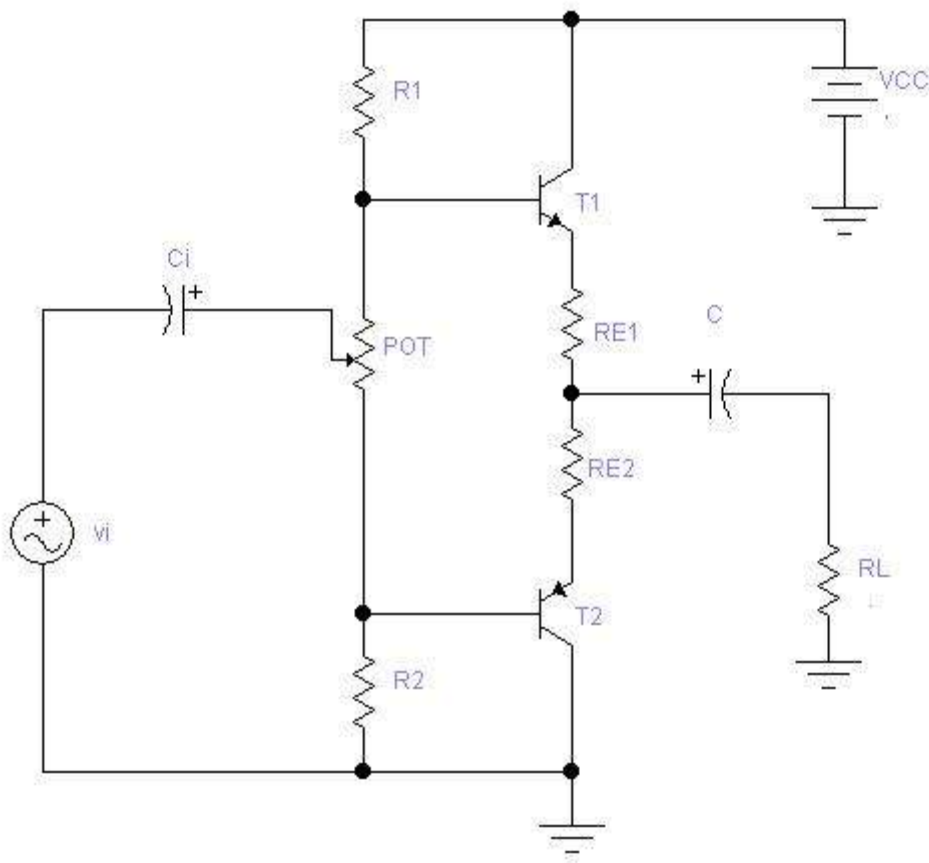
$$P_{Lmax} = V_{CC}^2 / (8R_L) = 12^2 / (8 \cdot 16) = 144 / 128 = 1.125W$$

$$P_{CC} = V_{CC}^2 / (2R_L) = 12^2 / (2 \cdot 16) = 144 / 32 = 4.5W$$

$$\eta = (P_{Lmax} / P_{CC}) \cdot 100\% = (1.125 / 4.5) \cdot 100\% = 25\%$$

2. AMPLIFICADOR CLASE B, CLASE AB

El amplificador clase B funciona con dos transistores trabajando cada uno de ellos con un semiciclo de la señal de entrada. Uno amplifica el semiciclo positivo y el otro amplifica el semiciclo negativo. Para cumplir con esta función uno debe ser NPN y el otro PNP que comúnmente se conocen como transistores complementarios por ejemplo [BD135](#) y el [BD136](#) que son transistores de potencia de 8W. Esta configuración también se denomina de simetría complementaria o push-pull. La configuración básica es la siguiente.



En el semiciclo positivo amplifica T1 y en el semiciclo negativo amplifica T2. El potenciómetro POT se utiliza para ajustar $V_{CE1} = V_{CE2} = V_{CC}/2$. Las resistencias de emisor se utilizan para disminuir la distorsión por cruce que se presenta al pasar los transistores a conducción. La adición de estas resistencias de emisor al amplificador se conoce como amplificación clase AB. El condensador C es de un gran valor para que se cargue a $V_{CC}/2$ y la descarga sea mínima.

Si $V_{CE} = V_{CC}/2$ y $I_{RL} = V_{CE}/(\pi \cdot R_L)$, se tiene, $\pi = 3.14$

Potencia de la fuente:

$$P_{CC} = I_{RL} \cdot V_{CC} = (V_{CC}/2) / (\pi \cdot R_L) \cdot V_{CC} = V_{CC}^2 / (2 \cdot \pi \cdot R_L)$$

Potencia en la carga:

$$P_{Lmax} = V_{CC}^2 / (8 \cdot R_L)$$

Rendimiento del amplificador:

$$\eta = (P_{Lmax} / P_{CC}) \cdot 100\% = (\pi/4) \cdot 100\% = 78.5\%$$

Es un rendimiento superior al de clase A que era del 25%

EJEMPLO 3:

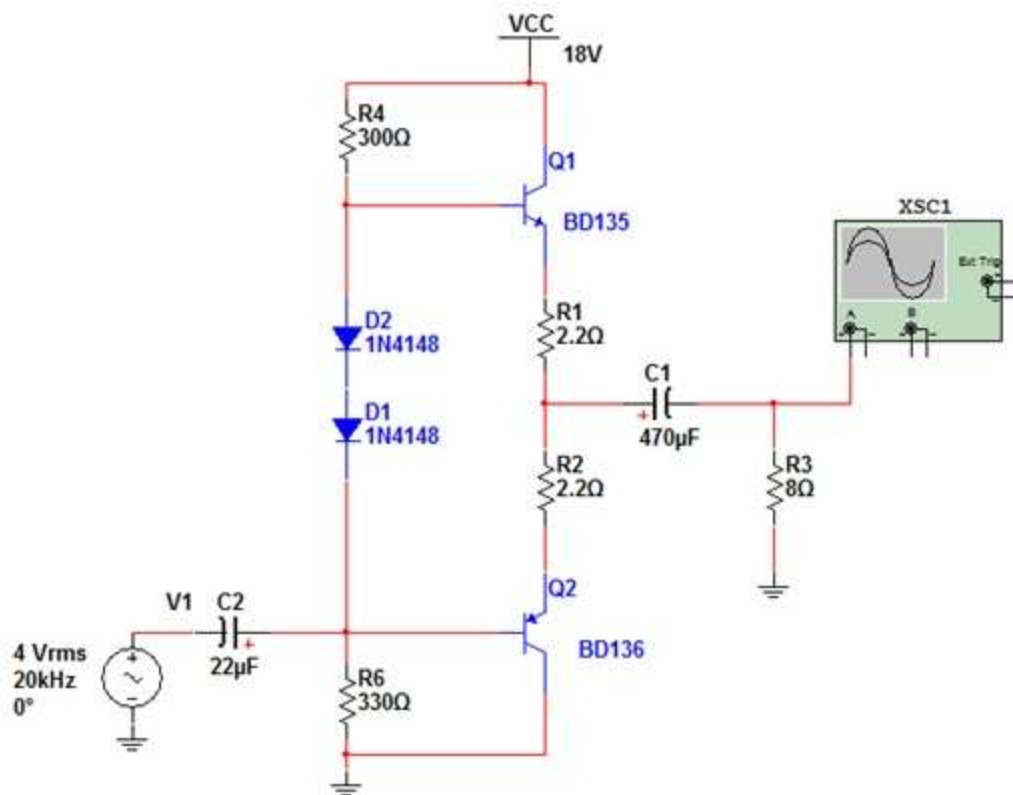
Un amplificador Clase B de simetría complementaria tiene $V_{CC} = 12V$, una resistencia de carga $R_L = 22\Omega$, hallar el rendimiento máximo.

$$P_{Lmax} = \frac{V_{CC}^2}{8 \cdot R_L} = \frac{144}{8 \cdot 22} = \frac{144}{176} = 0.818 \text{ W} = 818 \text{ mW}$$

$$P_{CC} = \frac{V_{CC}^2}{2 \cdot \pi \cdot R_L} = \frac{144}{2 \cdot \pi \cdot 22} = \frac{144}{138.23} = 1.042 \text{ W} = 1042 \text{ mW}$$

$$\eta = \frac{818}{1042} = 78.5\%$$

EJEMPLO 4: DISEÑO



Se tiene un amplificador de potencia clase AB con transistores complementarios BD135 y BD136, que tienen como característica un h_{FE} de 40, Potencia max de

10W, I_c max de 1.5 A. Vamos a diseñar un amplificador para una P_{max} en carga de 5W en una carga de 8Ω . $R_L=8$

$P_{Lmax} = V_{CC}^2 / 8R_L$, despejando VCC

$$5 = V_{CC}^2 / (8 \cdot 8)$$

$$V_{CC}^2 = 5 \cdot 64 = 320,$$

$$V_{CC} \approx 18V$$

Para este amplificador,

$$V_{CE1} = V_{CE2} = V_{CC} / 2 = 9V$$

$$I_{cmax} = V_{CE} / R_L = 9 / 8 = 1.1A$$

$$I_{Bmax} = I_{cmax} / h_{fe} = I_{cmax} / \beta$$

$$I_{Bmax} = 1.1 A / 40 \approx 25 mA$$

$$R_B = (V_{CE} - 2V_{BE}) / I_{Bmax}$$

$$R_B = (9 - 1.4) / 25 mA = 7.6 / 25mA$$

$$R_B \approx 300 \Omega$$

$$R_{E1} = R_{E2} = 2.2 \Omega$$

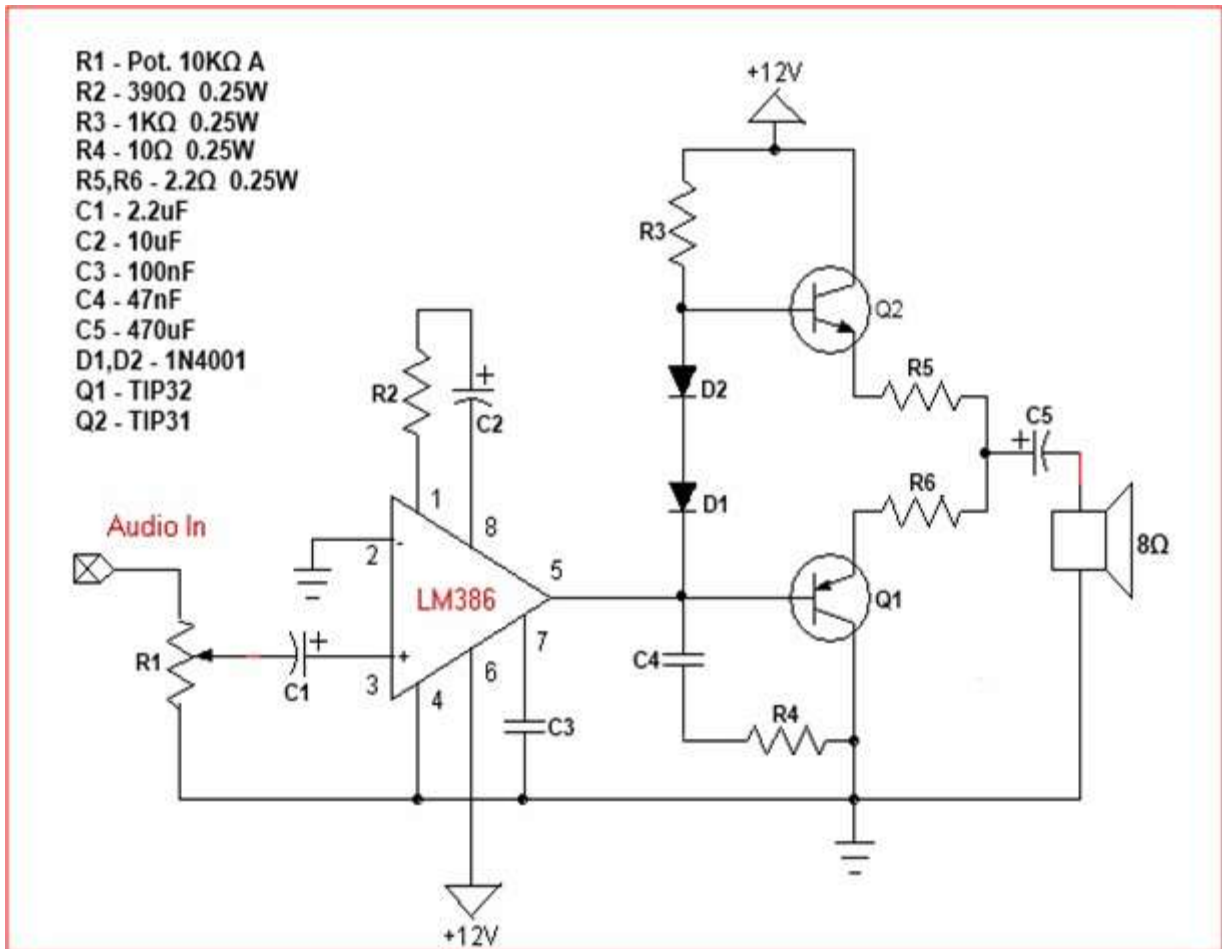
3. AMPLIFICADOR DE POTENCIA LM386

El circuito Integrado LM386, requiere bajo voltaje, tanto en la entrada de audio como en la alimentación. Este es un simple amplificador de audio, que se puede usar para amplificar señales de equipos portátiles, como radios, reproductores mp3, parlantes para PC, etc. que no requieran de alta potencia de salida. La ganancia, se puede variar colocando un potenciómetro de 5K en serie con un capacitor electrolítico de 10 uF, entre los terminales 1 y 8. Si los cortocircuitamos, obtenemos una ganancia muy grande, a punto tal de que distorsione la señal obtenida.

EJEMPLO 5

Diseñar un amplificador de potencia de 2W. El amplificador tiene el amplificador clásico de audio LM386 utilizado como preamplificador de voltaje y una etapa de

salida para una mayor potencia. Q1 y Q2 puede ser TIP31 y TIP32 o TIP41 y TIP42 o cualquier pareja PNP / NPN adecuada.



VCC=12V

Potencia en la carga:

$$PL_{max} = \frac{VCC^2}{8RL}$$

$$= \frac{144}{8 \cdot 8} = 2.25W$$

Potencia en 'fuente:

$$PCC_{max} = \frac{VCC^2}{(6.28RL)} = 2.87W$$

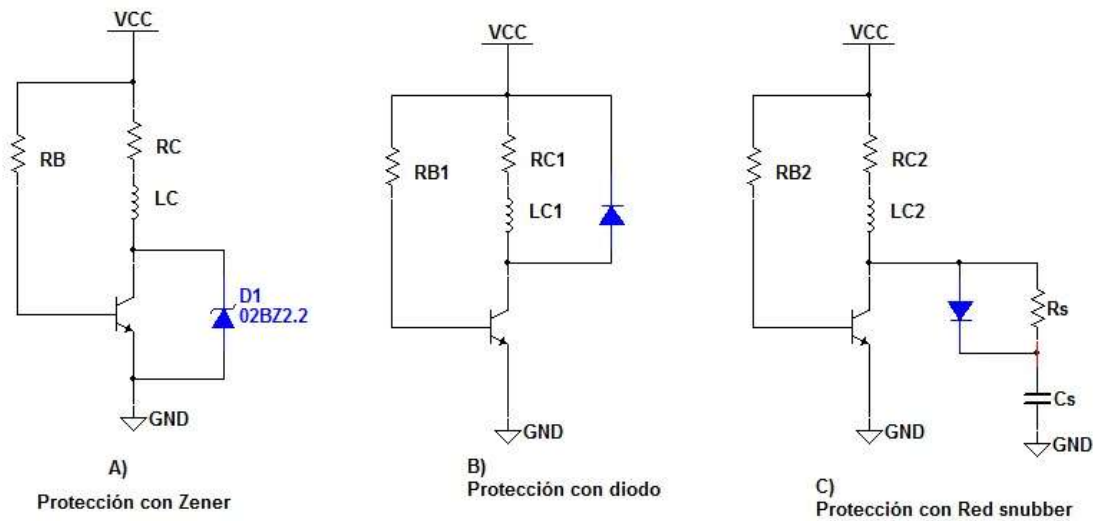
Potencia en los transistores:

$$PD_{max} = 2.87 - 2.25 = 0.62W$$

Transistores de $\frac{620mW}{2} = 310mW$

4. TRANSISTOR CON CARGA INDUCTIVA

Cuando un transistor trabaje con carga inductiva debe protegerse, pues se producen en el colector oscilaciones cuyos picos de voltaje pueden destruirlo. Las siguientes son algunas opciones de protección:

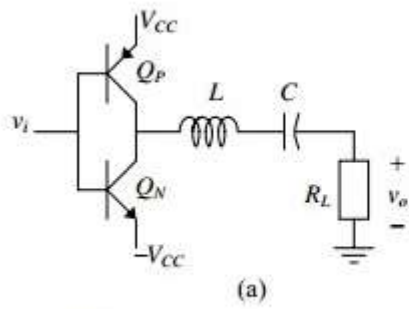


Los valores de R_s y C_s se calculan con las siguientes fórmulas:

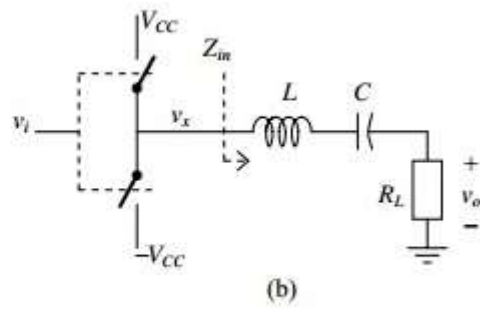
$$C_s = \frac{L \times I_{C(sat)}^2}{V_{cc}^2} \quad \tau_s = R_s \times C_s \leq \frac{\text{tiempo con BJT saturado}}{5}$$

5. AMPLIFICADOR DE POTENCIA CLASE D

Los transistores trabajan conmutación, la señal de entrada debe ser cuadrada de suficiente amplitud para llevar los transistores alternativamente de corte a saturación.



(a) Amplificador clase D

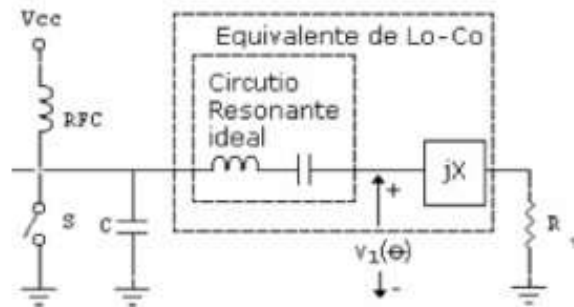
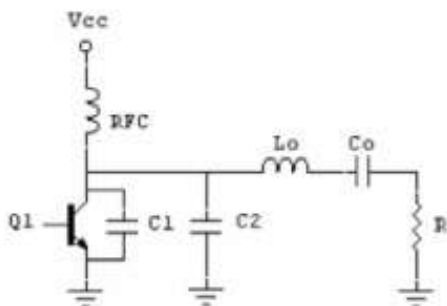


(b) Circuito equivalente

Este tipo de amplificadores no son lineales, solo se pueden aplicar a señales cuadradas o señales digitales. En RF no se pueden emplear por las altas pérdidas en la conmutación de los transistores y por eso se prefieren a los de clase E.

6. AMPLIFICADOR DE POTENCIA CLASE E

Es también un amplificador no lineal pero es más eficiente. Consiste de un transistor en conmutación, un choque de RFC, un condensador C2, un circuito resonante serie y la carga R.



! Amplificador clase E a) Circuito b) Circuito Equivalente

Las ecuaciones son las siguientes:

$$Pot = 0.577 \frac{VCC^2}{R} \quad Idc = \frac{VCC}{1.734 * R}$$

$$Vc(pico) = 3.56 * VCC \quad Ic(pico) = 2.861 * Idc$$

$$X_{RFC} > 10 * R$$

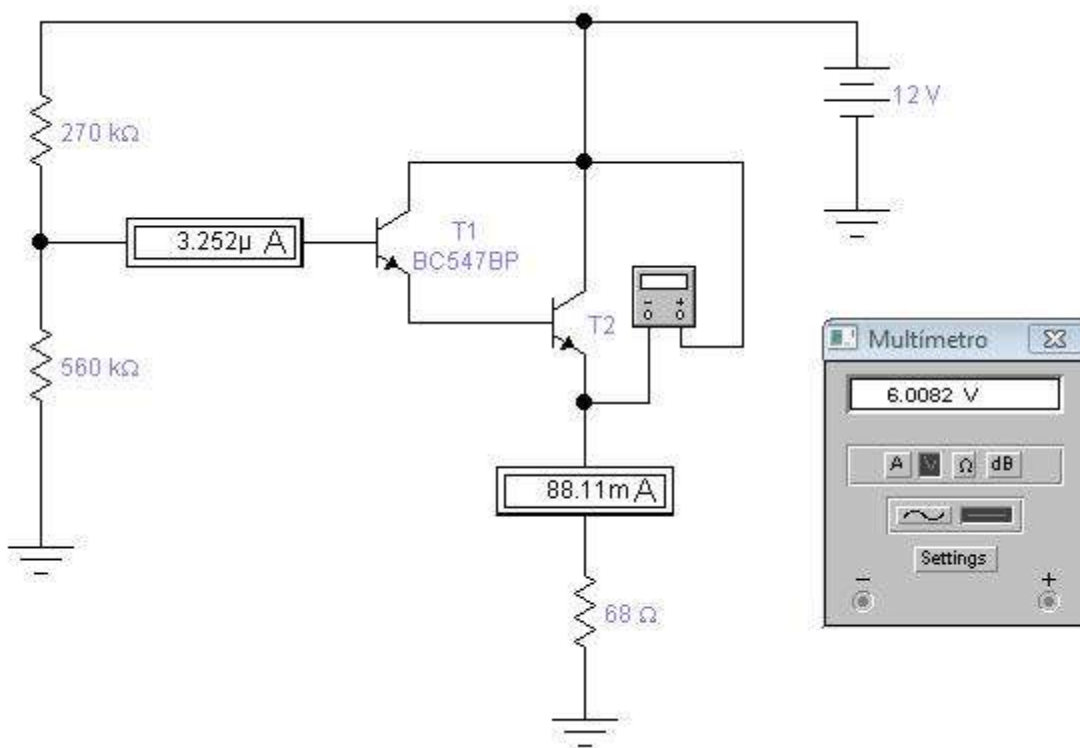
$$C2 = \frac{0.1836}{Ws * R}, \quad Ws \text{ es la frecuencia de resonancia serie}$$

CURSO: ELECTRÓNICA BÁSICA

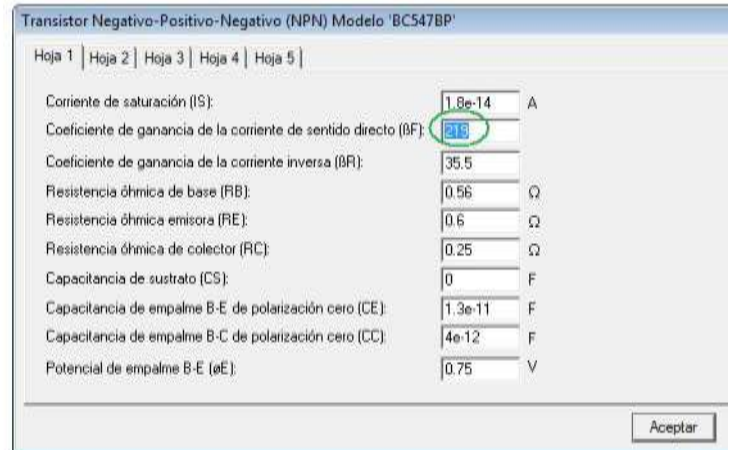
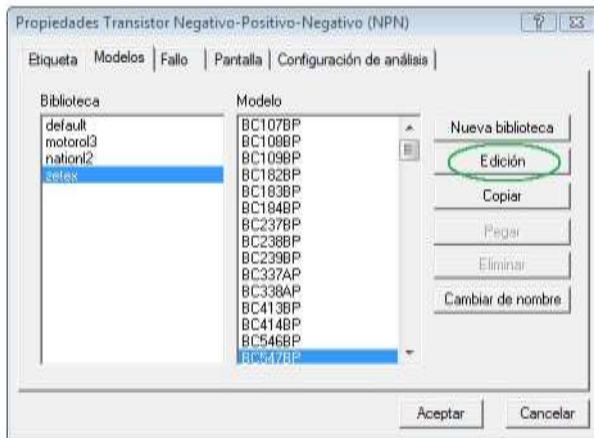
UNIDAD 2: AMPLIFICADOR DE POTENCIA - SIMULACIÓN

PASO 1: AMPLIFICADOR CLASE A

En Workbench implemente el amplificador clase A de la figura. Utilice como transistores T1 = [BC547](#) , T2 = [BD135](#), VCC = 12V, RL = 68Ω, R1 = 270K, R2 = 560K. es requisito que la polarización del transistor T2 sea de VCC/2=6V, para ello se varía el valor de R2. Compruebe que al variar R2 se varía VCE2.



Seleccione como T1 el transistor BC547, con el valor de hFE medido en el multímetro de 219, clic en el botón de Edición y coloque su valor como se indica en la siguiente figura:



Repita para T2 con $hFE=156$.

Hallar el valor total del hFE del darlington realizando la operación IC/IB . Como $IC = 88.11 \text{ mA}$, entonces:

Calcule en mW la potencia de la fuente que es igual a: $PCC = VCC \cdot IC$

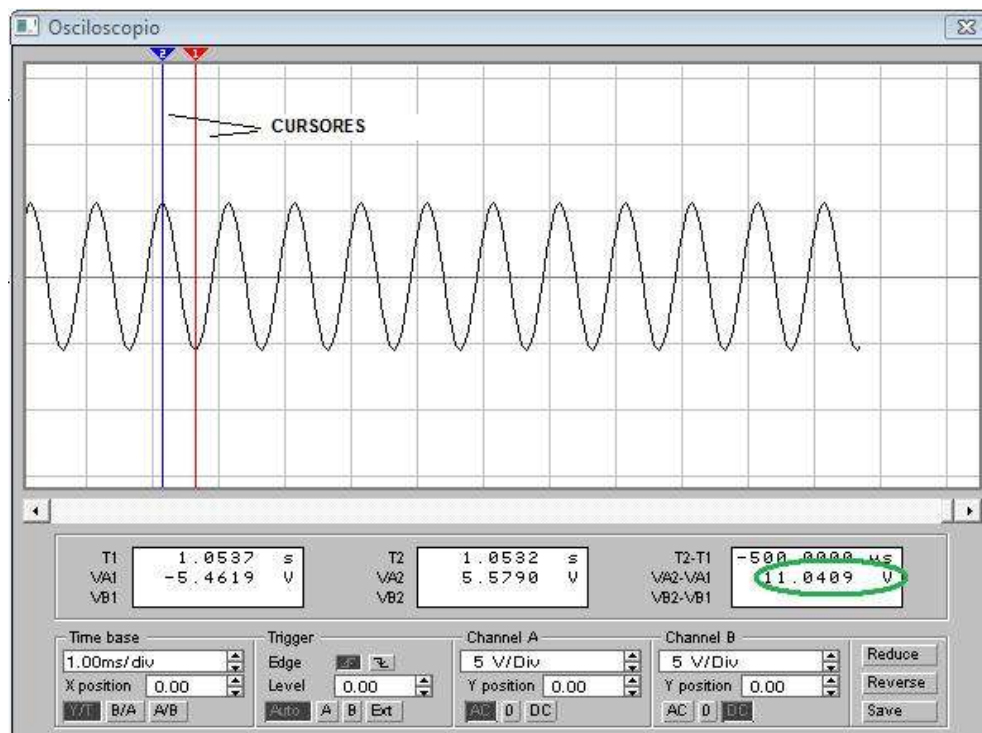
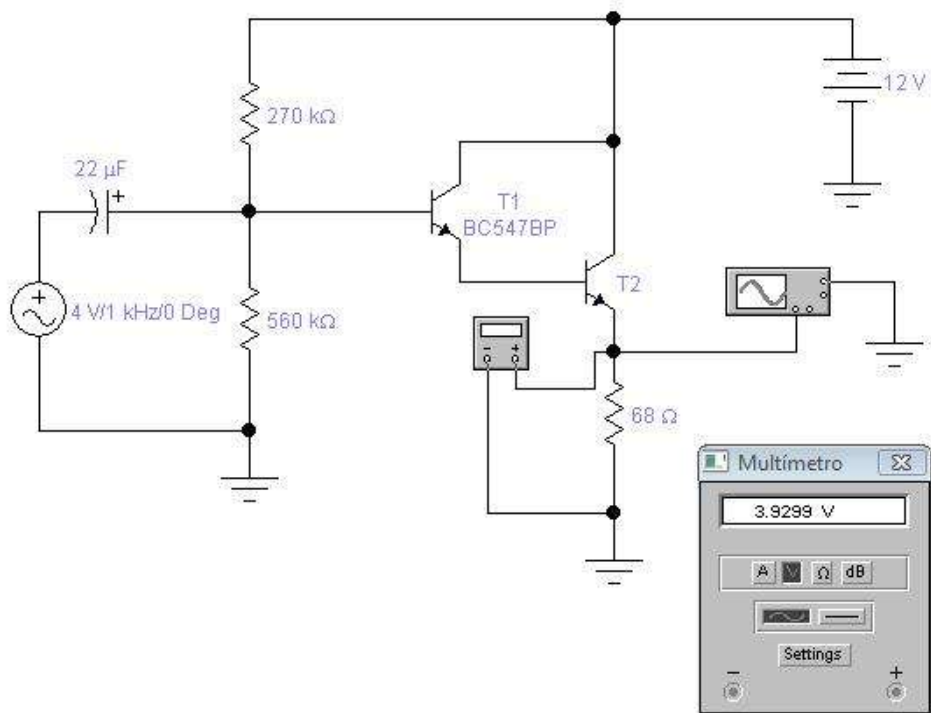
Introduzca una señal de entrada de 1 KHz colocando un condensador de entrada $C_i=22 \text{ uF}$. Coloque el osciloscopio a la salida y aumente el valor de V_i hasta que a la salida sea máxima sin distorsión. Mida el valor del voltaje de CA en la carga de $R_L=68\Omega$.

Calcule el valor en mW de la potencia máxima en la carga:

$$P_{Lmax} = (I_{Lmax}^2) \cdot R_L = (V_{Lmax}^2) / R_L$$

Encuentre el rendimiento en porcentaje del amplificador clase A:

$$\eta = \text{Potencia máxima en la carga} / \text{Potencia de la fuente}$$

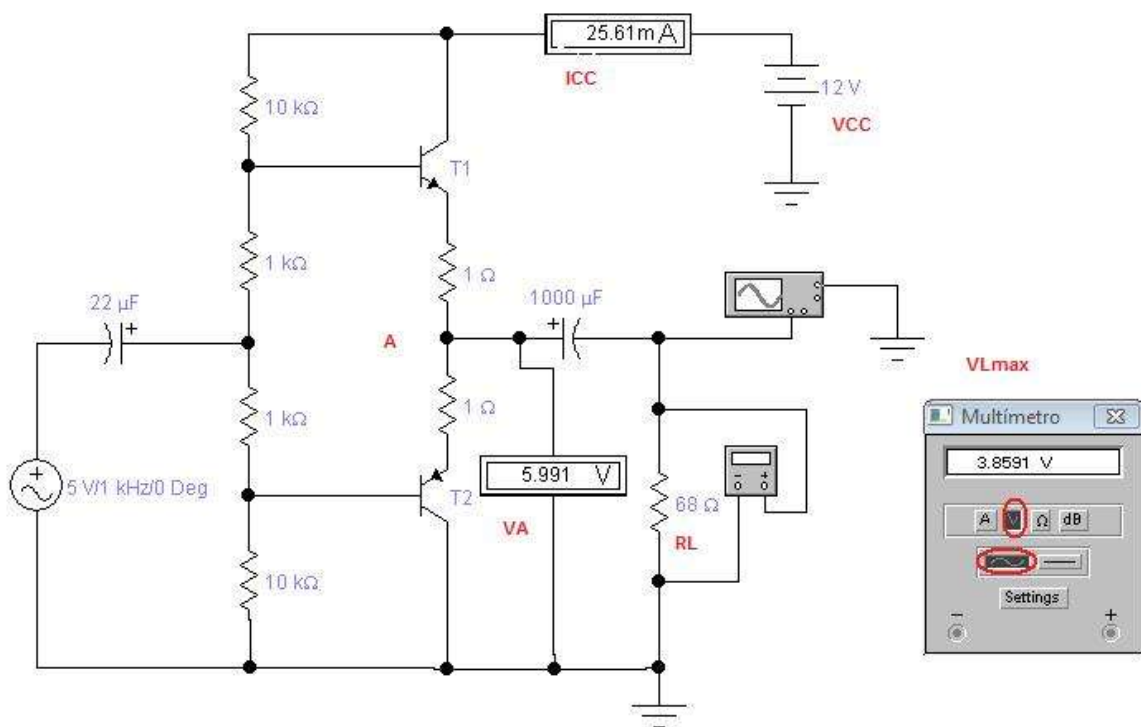


Observe que la señal máxima sin distorsión a la salida es aproximadamente 11 Vpp y a la entrada tenemos una señal de 4 V , o sea, $4 \cdot 2.8 = 11.2$ Vpp. La amplificación de voltaje de este amplificador es de:

$A_v = v_o / v_i = 11 / 11.2 = 0.98 \approx 1$ no hay amplificación de voltaje, debido a que los transistores están en colector común la entrada es por base y la salida por emisor. Lo que importa en amplificadores de potencia es que se amplifique la corriente porque la potencia depende del cuadrado del valor de la corriente.

PASO 2: AMPLIFICADOR CLASE B

Construya en el simulador el amplificador clase B de la figura.



Mida el valor del voltaje en el punto A, debe ser $V_{CC}/2$. Varíe la señal de entrada desde 1V hasta que obtenga una salida máxima sin distorsión. Mida los valores de I_{CC} , V_{Lmax} y calcule lo siguiente:

Potencia de la fuente: $P_{CC} = V_{CC} \cdot I_{CC}$

Potencia de salida máxima: $P_{Lmax} = (V_{Lmax})^2 / R_L$

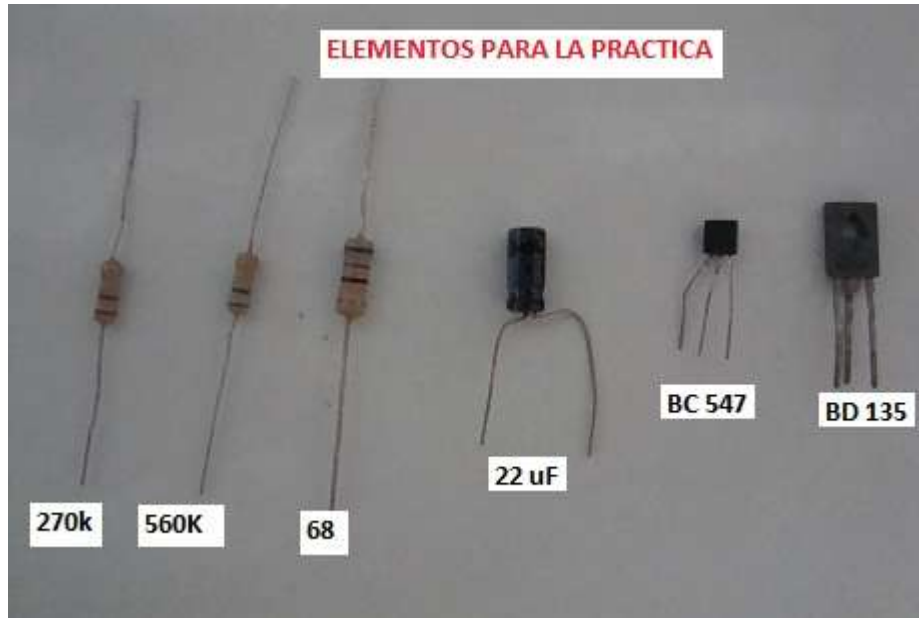
Rendimiento: $\eta = \text{Potencia máxima de salida} / \text{Potencia de la fuente}$

Qué concluye respecto al amplificador anterior de clase A?

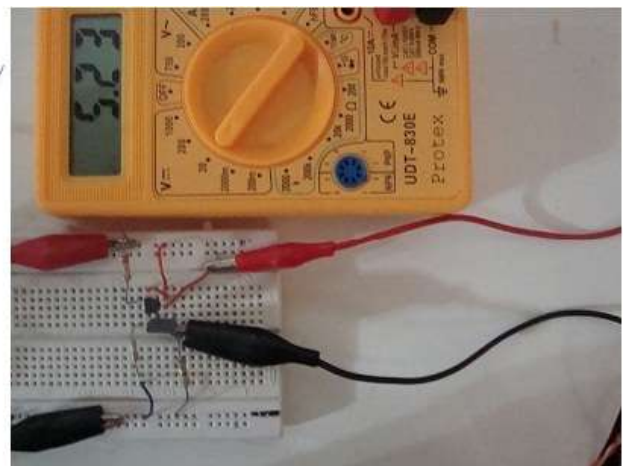
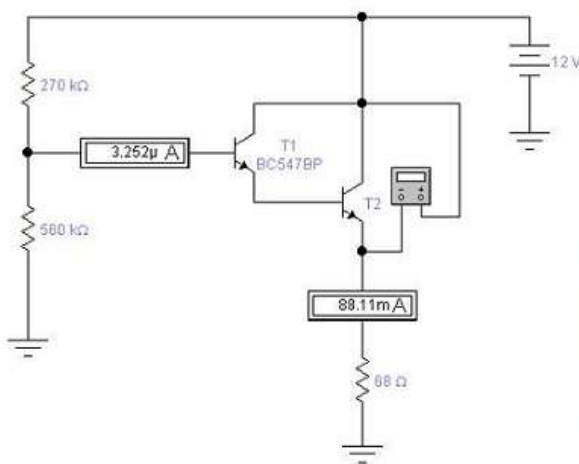
CURSO: ELECTRÓNICA BÁSICA

UNIDAD 2: AMPLIFICADOR DE POTENCIA - LABORATORIO

PASO 1: AMPLIFICADOR CLASE A

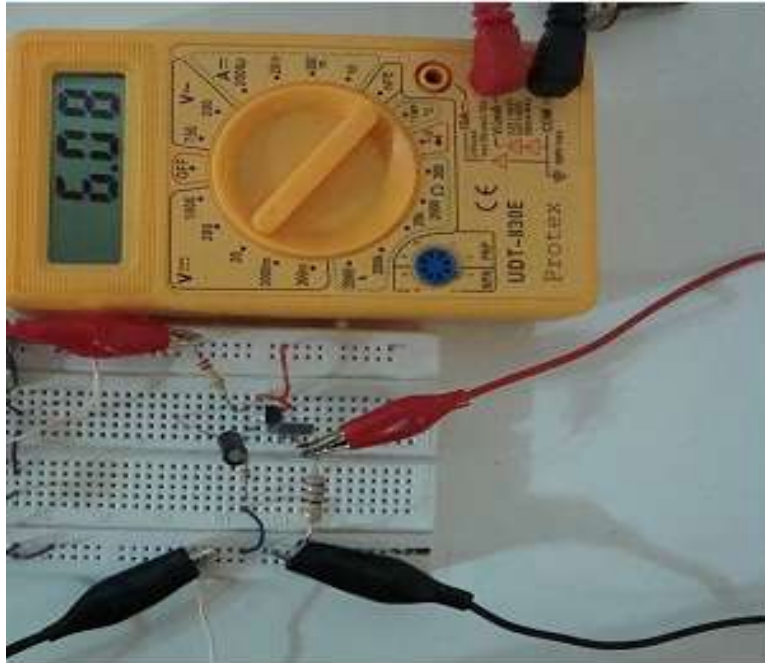


Implemente el amplificador clase A de la figura. Utilice como transistores T1 = [BC547](#) , T2 = [BD135](#), VCC = 12V, RL = 68Ω, R1 = 270K, R2 = 560K. es requisito que la polarización del transistor T2 sea de $V_{CC}/2=6V$, para ello se varía el valor de R2. Compruebe que al variar R2 se varía VCE2.

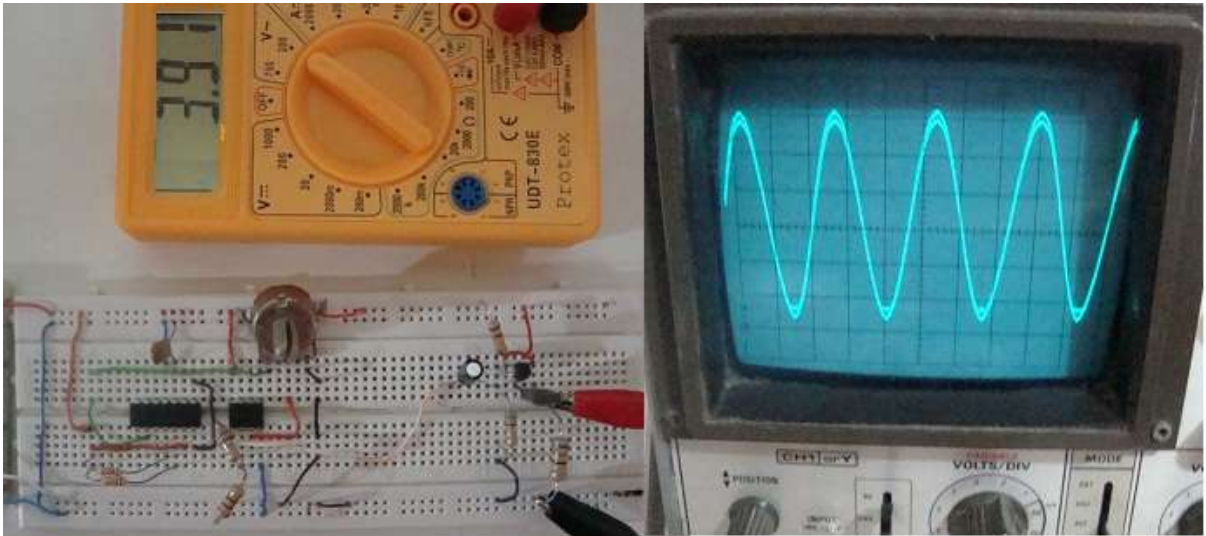


Mida la tensión en RL para hallar indirectamente la corriente I_c ($I_c = V_{RL} / R_L$), halle la potencia de la fuente

$P_{CC} = V_{CC} \cdot I_c$.



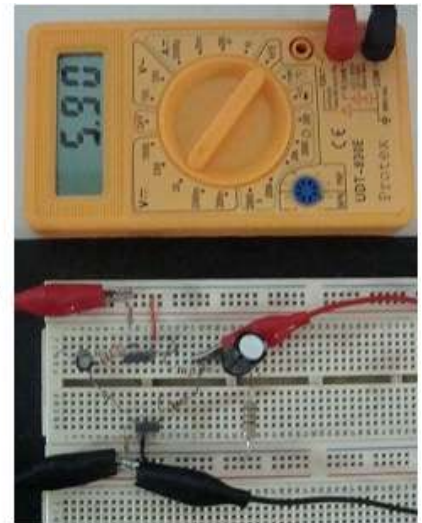
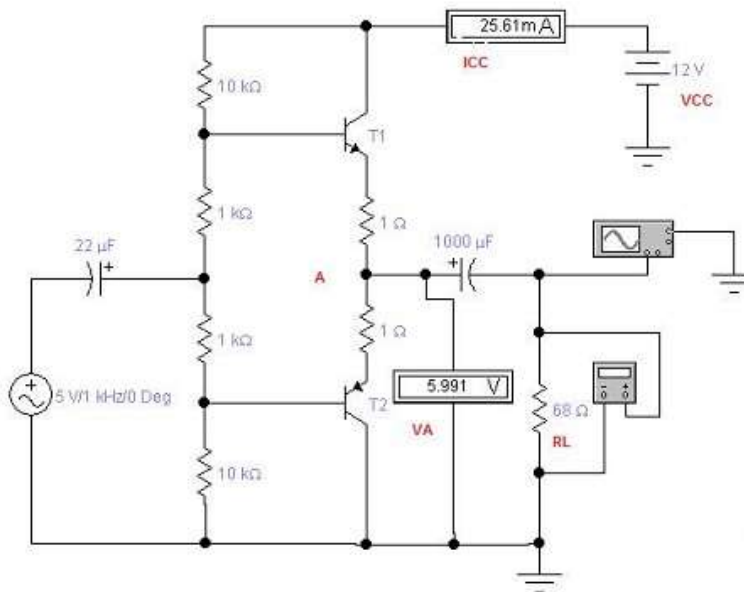
Ahora introduzca la señal senoidal V_i del 8038 y mida con el multímetro en alterna la tensión en RL. Calcule la potencia de la carga $P_L = (V_{Lmax})^2 / R_L$.



Se observa que la amplitud de entrada y salida es la misma. Calcule la eficiencia $\eta = PL/PCC$.

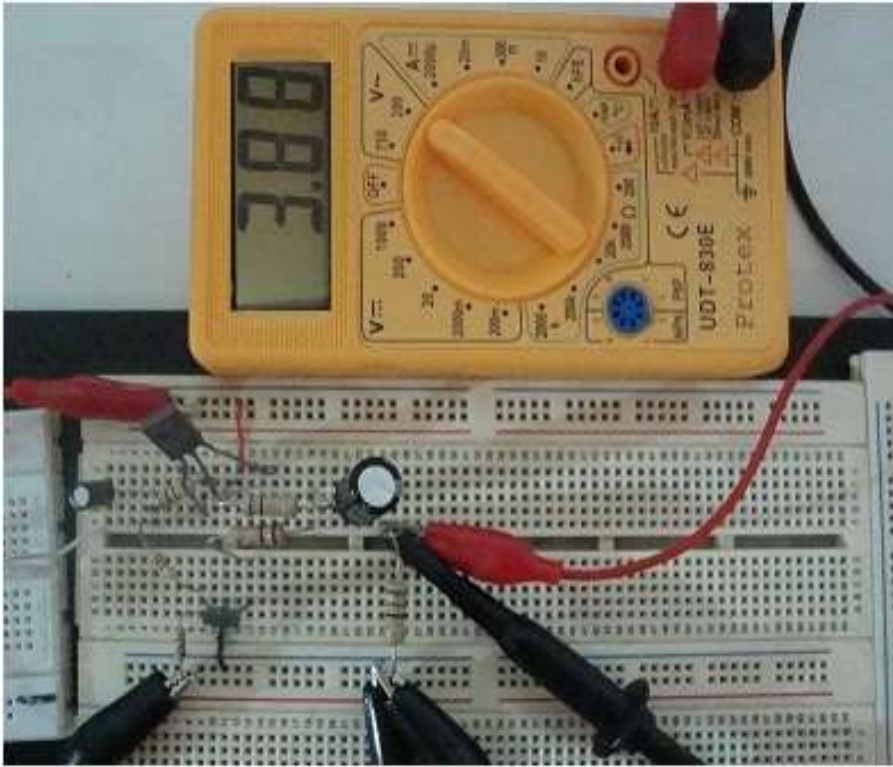
PASO 2: AMPLIFICADOR CLASE B

Construya el amplificador clase B de la figura, mida el valor del voltaje en el punto A, debe ser $VCC/2$.

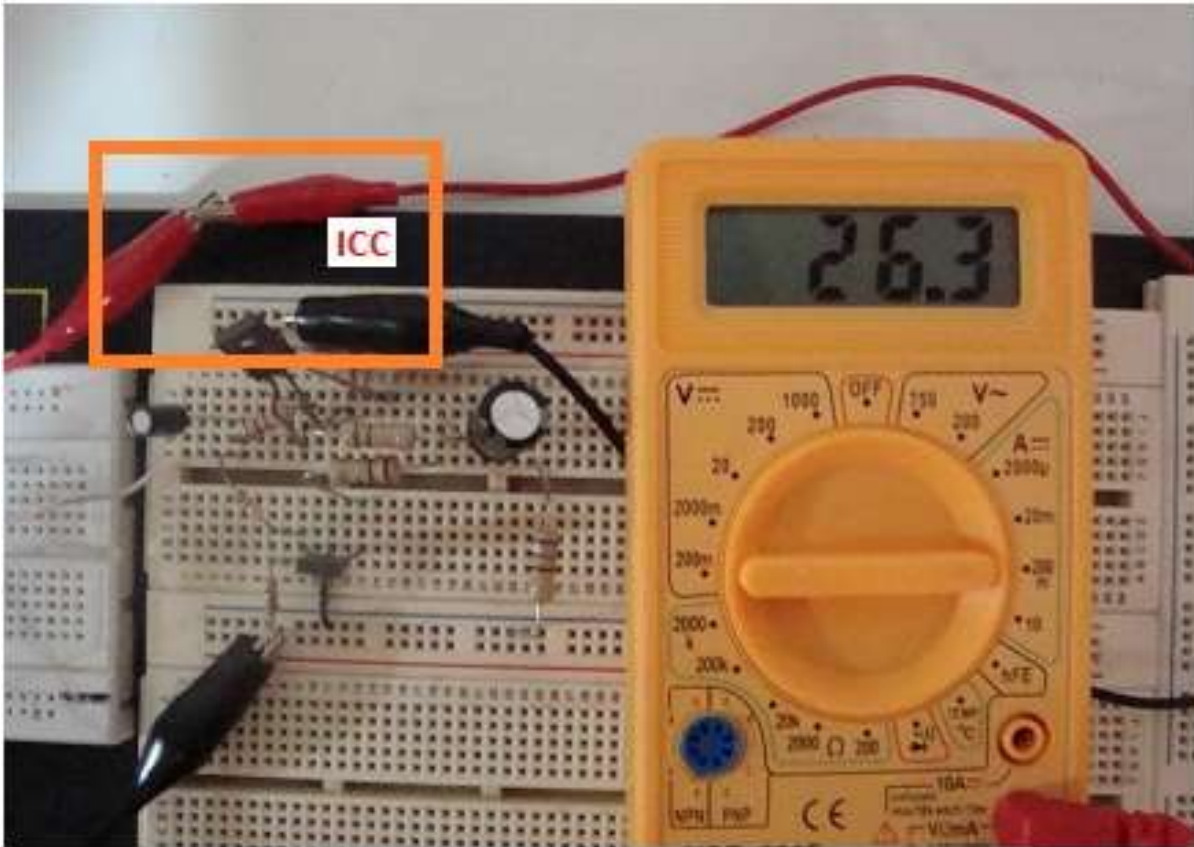


Varíe la señal de entrada desde 1V hasta que obtenga una salida máxima sin distorsión.

Mida los valores de V_{Lmax} , I_{CC} . Recuerde que V_{Lmax} se mide con el multímetro en AC sobre RL.



Para medir I_{CC} debe desconectar el positivo de la fuente y poner en serie el multímetro en modo de amperímetro d.c. Recuerde que esta medición se hace con la señal del generador V_i conectada al amplificador clase B como se muestra en esta figura.



Calcule lo siguiente:

Potencia de la fuente: $PCC = VCC * ICC$

Potencia de salida máxima: $PL_{max} = (VL_{max})^2 / RL$

Rendimiento: $\eta = \text{Potencia máxima de salida} / \text{Potencia de la fuente}$