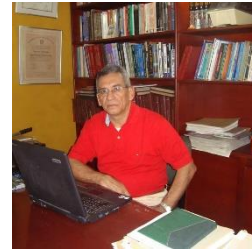


CURSO: SEMICONDUCTORES

3. EL TRANSISTOR



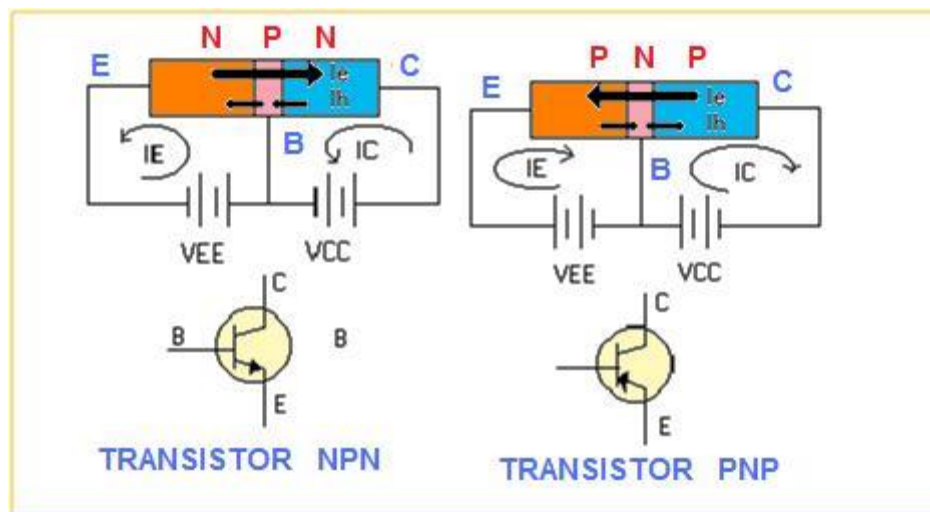
PROFESOR: JORGE ANTONIO POLANÍA

UNIDAD 1: EL TRANSISTOR - TEORÍA

INTRODUCCIÓN

El transistor está formado por dos junturas PN tal como se muestra en la figura y tiene tres terminales: **Base(B)**, **Emisor (E)** y **Colector (C)**. Una juntura está polarizada directamente y la otra está polarizada inversamente. Tiene tres terminales: emisor, base y colector. La juntura polarizada en directo es EB (Emisor-Base) y la polarizada en inverso es la juntura BC (Base-Colector). El transistor puede ser PNP o NPN. En cualquiera de los dos casos, la base es muy delgada con el fin de que los portadores mayoritarios del emisor no se recombinen con los de la base en forma significativa y entonces así pasar la mayoría al colector. La pequeña recombinación que existe en la base forma la corriente de base I_B .

I_C = corriente de colector. I_E = Corriente de emisor I_B = Corriente de base



En cualquiera de los casos NPN o PNP se tiene que:

$$I_E = I_B + I_C$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \quad \beta = \frac{I_C}{I_B} \quad \gamma = \frac{I_E}{I_B}$$

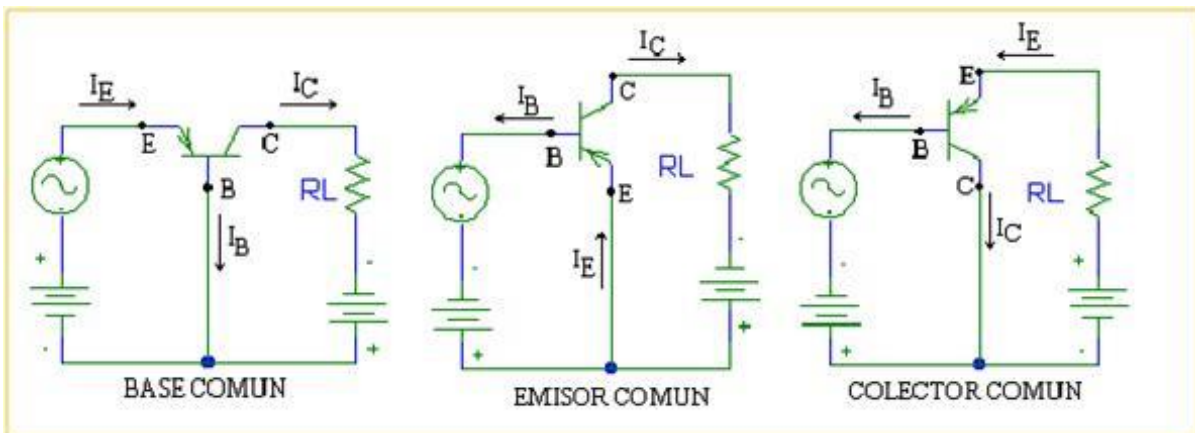
α = ganancia de corriente en base común

β = ganancia de corriente en emisor común

γ = ganancia de corriente en colector común.

1. CONFIGURACIONES

Existen tres tipos de configuraciones como se indica en la figura: Base común (entrada por emisor y salida por colector), emisor común (entrada por base y salida por colector) y colector común (entrada por base y salida por emisor)



Para cualquier configuración, se tiene:

$$I_E = I_B + I_C$$

$$\frac{I_C}{\alpha} = \frac{I_C}{\beta} + I_C \Rightarrow \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

$$\gamma = \beta + 1$$

PROBLEMA 1

Un transistor tiene una ganancia de corriente alfa $\alpha = 0,98$. Calcular la corriente de base I_B para una corriente de emisor de 2.0 mA y también calcular las ganancias de corriente beta (β) y gamma (γ).

Solución

$$I_C = \alpha I_E = 0.98 * 2 \text{ mA} = 1.96 \text{ mA}$$

$$I_B = I_E - I_C = 2 \text{ mA} - 1.96 \text{ mA} = 0.04 \text{ mA} = 0.04 * 1000 = 40 \mu\text{A}$$

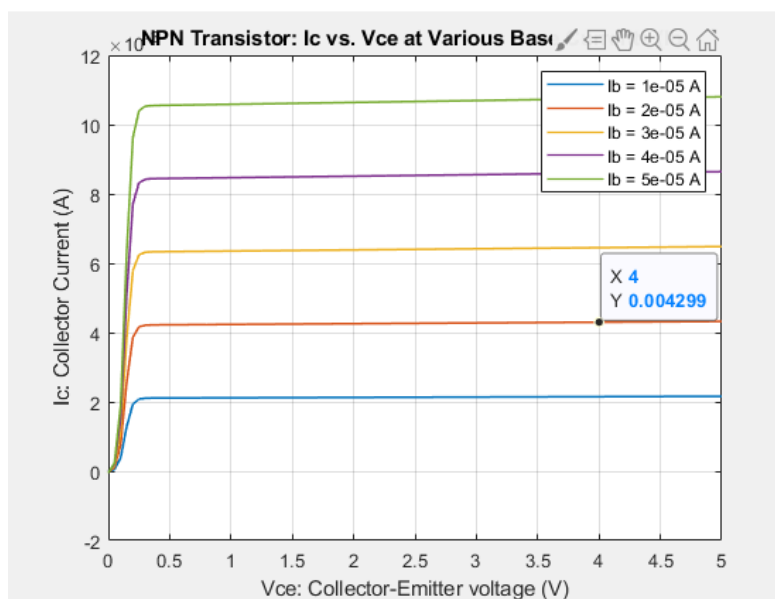
$$\beta = I_C / I_B = 1.96 \text{ mA} / 0.04 \text{ mA} = 49, \text{ o también,}$$

$$\beta = \alpha / (1 - \alpha) = 0.98 / (1 - 0.98) = 0.98 / 0.02 = 49$$

$$\gamma = \beta + 1 = 49 + 1 = 50$$

2. CURVAS CARACTERÍSTICAS

Las “curvas características estáticas” definen las relaciones de régimen permanente entre sus salidas y sus entradas de voltaje y corriente. Constituyen la base para comprender la operación del transistor. Cada configuración, base común, emisor común y colector común tiene sus características de entrada y salida diferentes. A continuación se dan estas curvas características de un transistor en la configuración emisor común.



Con estas curvas se define un punto de operación del transistor, por ejemplo, para la configuración emisor común si:

$I_B = 20 \mu\text{A}$, $V_{CE} = 4\text{V}$ se tiene que $I_C \approx 4.3 \text{ mA}$

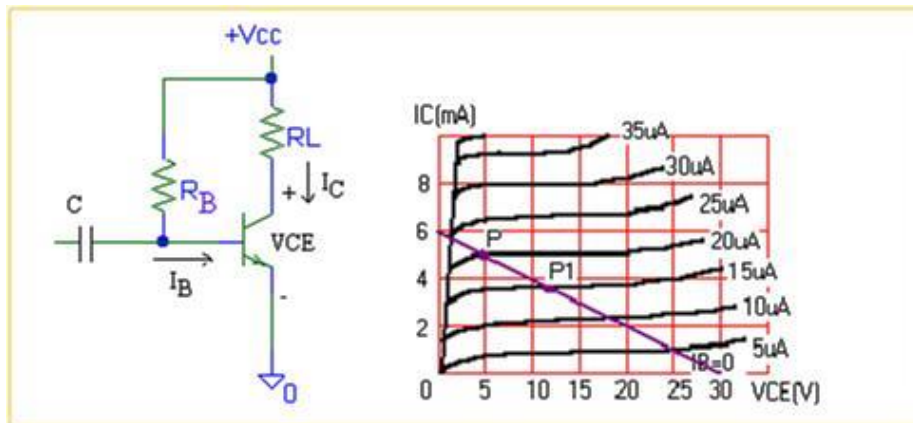
3. PUNTO DE OPERACIÓN

Línea de carga es la que resulta al graficar sobre curvas características la ecuación dada por el circuito de salida. Para el caso de emisor común, la ecuación de la recta de carga es:

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C \cdot R_L$$

si $I_C = 0$, entonces $V_{CE} = V_{CC}$

si $V_{CE} = 0$, entonces $I_C = V_{CC}/R_L$



Las dos expresiones anteriores dan los puntos de corte de la recta de carga en los ejes. El punto de operación es el corte de la línea de carga con la corriente de base.

PROBLEMA 2.

Para el circuito transistorizado de la figura se dan las curvas características del transistor, el cual se ha polarizado con $V_{CC} = 30 \text{ V}$ y se ha colocado una resistencia de carga R_L de 5 K .

Solución

a) Hallar el punto de operación

Variables conocidas: $V_{CC} = 30\text{V}$, $R_L = 5\text{K}$

$30\text{ V} = V_{CE} + 5\text{ K}\Omega \cdot I_C$; cuando $I_C = 0$, entonces $V_{CE} = 30\text{ V}$

cuando $V_{CE} = 0$, entonces $I_C = 30/5 = 6\text{ mA}$.

El punto de operación o de trabajo es el punto de corte entre la línea de carga y la corriente de base que se seleccione.

para $I_B = 15\text{ }\mu\text{A}$, se tiene un punto de operación de,

$V_{CE} = 12\text{ V}$ y $I_C = 3.6\text{ mA}$ (punto P1)

b) Ganancia de corriente

Para el punto P1:

La ganancia de corriente beta,

$$h_{FE} = I_C / I_B = 3.6\text{ mA} / 15\text{ }\mu\text{A} = 3600\mu\text{A} / 15\mu\text{A} = 240$$

c) Voltaje en la carga

El voltaje en la carga en R_L : $V_L = V_{CC} - V_{CE} = 30\text{ V} - 12\text{ V} = 18\text{ V}$, también se puede calcular por Ley de Ohm:

$$V_L = I_C * R_L = 3.6\text{ mA} * 5\text{ K}\Omega = 18\text{ V}$$

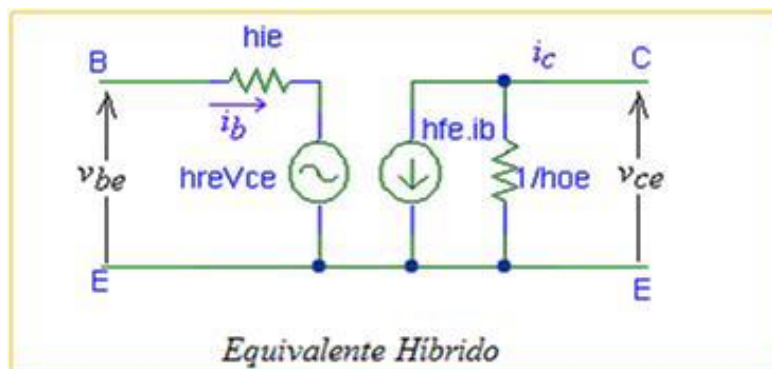
d) Potencia en el colector

La potencia disipada en el colector es igual a:

$$P = V_{CE} * I_C = 12\text{ V} * 3.6\text{ mA} = 43.2\text{ mW}$$

4. CIRCUITO EQUIVALENTE HÍBRIDO π - PARÁMETROS h

Es un circuito equivalente de una configuración emisor-común utilizado para el estudio de señales del circuito transistorizado en corriente alterna.



Las definiciones de los parámetros h son las siguientes:

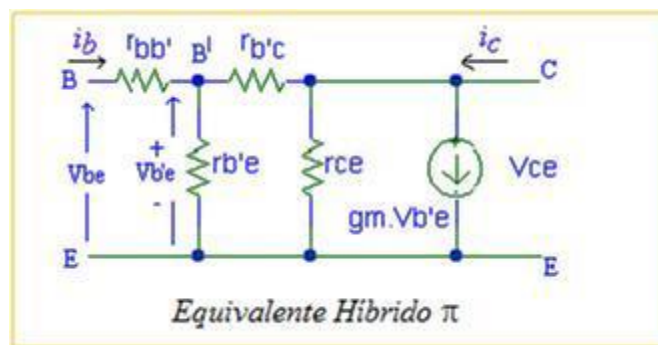
hie: Resistencia de entrada (ohm) = $\Delta v_{be} / \Delta i_b$, cuando $v_{ce} = cte$

hfe: Ganancia de corriente = $\Delta i_c / \Delta i_b$ cuando $v_{be} = cte$

hre: ganancia de voltaje realimentada = $\Delta v_{be} / \Delta v_{ce}$, cuando $I_B = cte$

hoe: conductancia de salida (mhos) = $\Delta i_c / \Delta v_{ce}$ cuando $I_b = cte$.

Otro circuito equivalente para el transistor es el siguiente utilizando parámetros r's.



Estos parámetros pueden ser encontrados a partir de los parámetros r's usando las siguientes transformaciones:

$$g_m = h_{fe} / (h_{ie} - r_{bb'})$$

$$r_{b'c} = (h_{ie} - r_{bb'}) / h_{re}$$

$$r_{b'e} = (h_{ie} - r_{bb'}) / (1 - h_{re}) \approx h_{ie} - r_{bb'}$$

$$r_{ce} \approx 1 / h_{oe}$$

El parámetro g_m se denomina transconductancia y se expresa en unidades mhos (inverso a ohms)

PROBLEMA 3.

Encontrar los parámetros del híbrido π de un transistor si: $h_{ie} = 2700 \Omega$; $h_{re} = 1.8 \times 10^{-4}$; $h_{fe} = 290$; $h_{oe} = 20 \mu\text{mhos}$ y además $r_{bb'} = 250 \Omega$.

Solución

$$g_m = h_{fe} / (h_{ie} - r_{bb'}) = 290 / (2700\Omega - 250\Omega) = 290 / 2450\Omega = 0.118 \text{ mhos}$$

$$r_{b'c} = (h_{ie} - r_{bb'}) / h_{re} = (2700\Omega - 250\Omega) / 1.8 \cdot 10^{-4} = 2450\Omega / 1.8 \cdot 10^{-4} = 13.6 \text{ M}\Omega$$

$$r_{b'e} = (h_{ie} - r_{bb'}) / (1 - h_{re}) = (2700 - 250) / (1 - 1.8 \cdot 10^{-4}) = 2450 / (0.999) = 2452 \Omega$$

$$r_{ce} \approx 1 / h_{oe} = 1 / 20 \cdot 10^{-6} = 50000\Omega = 50 \text{ K}\Omega$$

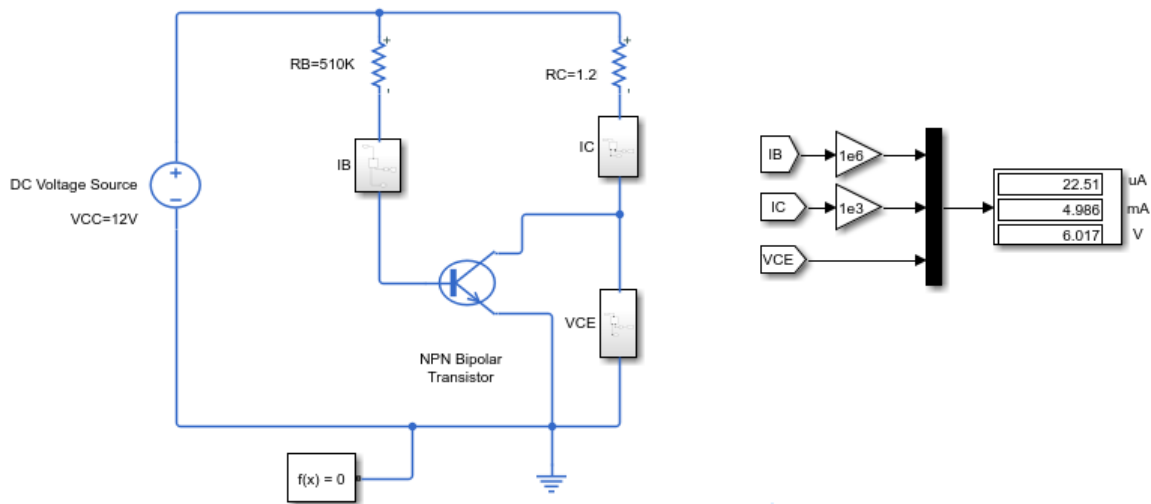
UNIDAD 2: EL TRANSISTOR - SIMULACIÓN

PASO 1: PUNTO DE OPERACIÓN

Utilizando el simulador Matlab realice la simulación del circuito. El transistor se encuentra en la siguiente Librería.

Simscape/Electrical/Electronics and Mechatronics/Semiconductor Devices

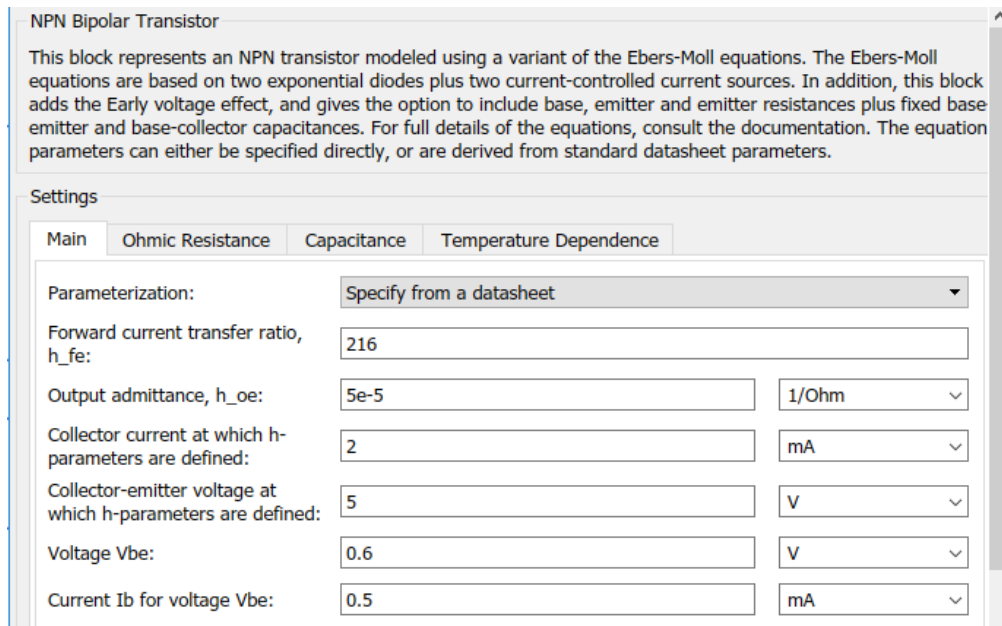
$V_{cc} = 12 \text{ V}$, $R_C = 1.2 \text{ K}\Omega$, $R_B = 510 \text{ K}\Omega$, ponga el valor de $h_{FE} = 216$,



Características del Transistor BC547B NPN de silicio, del Datasheet,

ON CHARACTERISTICS

DC Current Gain ($I_C = 10 \mu\text{A}$, $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$)	BC547A/548A BC546B/547B/548B BC548C	h_{FE}	—	90	—	—
($I_C = 2.0 \text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$)	BC546	110	—	—	450	—
	BC547	110	—	—	800	—
	BC548	110	—	—	800	—
	BC547A/548A	110	180	—	220	—
	BC546B/547B/548B BC547C/BC548C	200 420	290 520	—	450 800	—
($I_C = 100 \text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0 \text{ V}$)	BC547A/548A	—	—	120	—	—
	BC546B/547B/548B	—	—	180	—	—
	BC548C	—	—	300	—	—



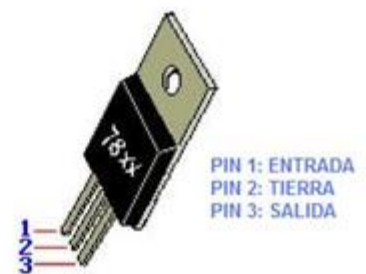
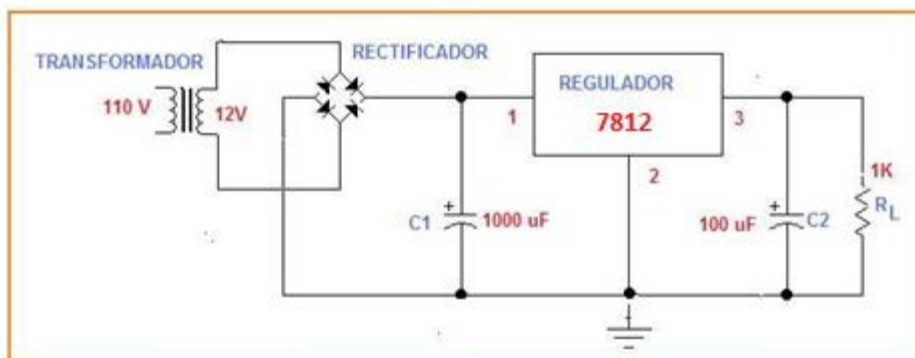
PASO 2: PRUEBA TEÓRICA

Con los valores de $V_{cc} = 12V$, $V_{BE} = 0.6V$, $V_{CE} = 6.0 V$, compruebe el valor de las corrientes I_B e I_C que se obtuvieron en el simulador. Hallar el valor de h_{FE} y la potencia disipada en el transistor, esta no debe ser superior al valor máximo de $P_{Dmax} = 625 mW$ dado en las características del transistor.

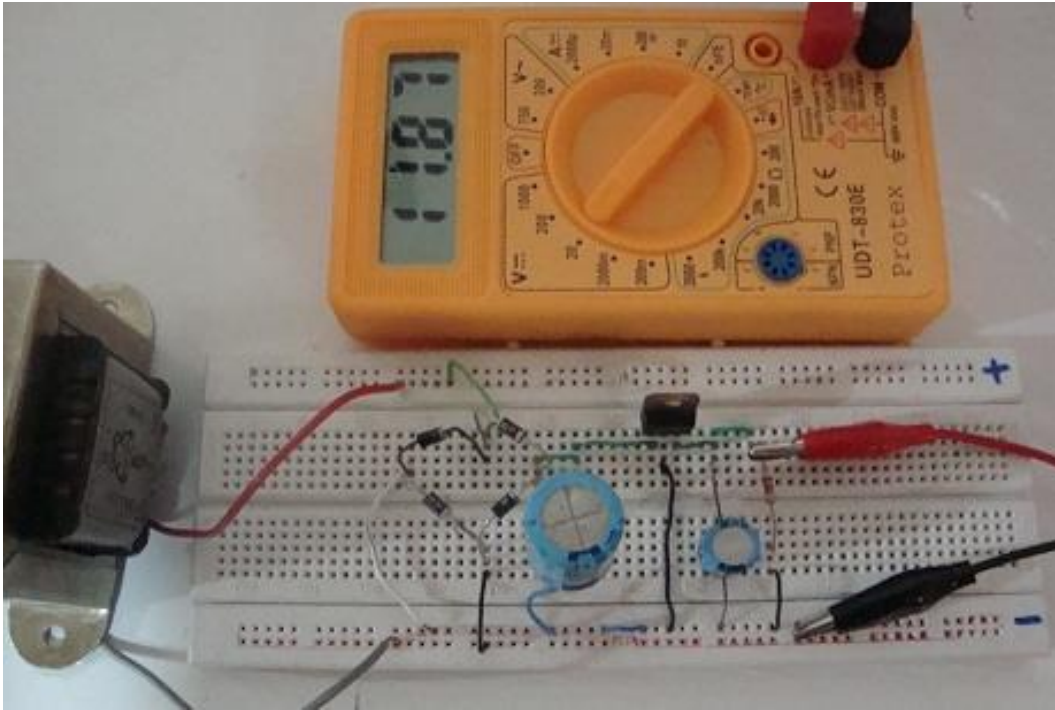
UNIDAD 3: EL TRANSISTOR - LABORATORIO

PASO 1: FUENTE REGULADA

Lo primero que debemos hacer para este laboratorio es fabricar nuestra propia fuente a 12V puesto que con lo aprendido hasta la fecha estamos en capacidad de hacerlo, y también porque la necesitaremos para las prácticas que siguen. Montamos el siguiente esquema



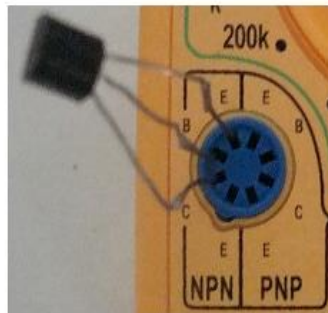
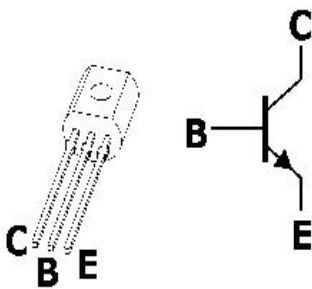
Medimos nuestra salida que debe ser así,



PASO 2:

Mida el parámetro hFE del transistor BC547 con el multímetro en el modo hFE. En las ranuras NPN introduzca los respectivos terminales del transistor como indica la siguiente figura. Recuerde que debe conocer qué pin es el colector, base y emisor para así mismo introducirlos.

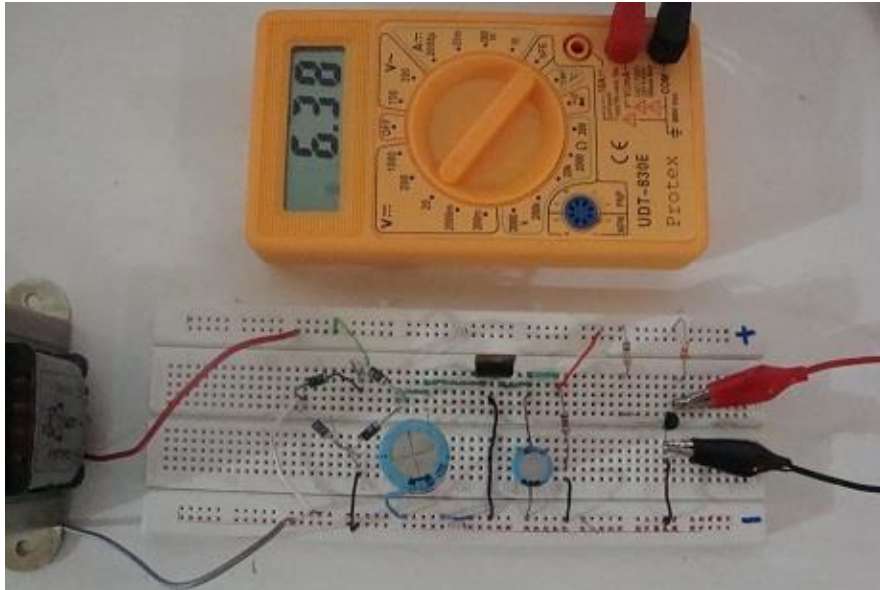
DATA SHEET



PASO 3:

Conecte a la fuente de 12V el circuito montado en la simulación con $R_C = 1.2\text{ K}\Omega$, $R_B = 510\text{ K}\Omega$. Compruebe el valor de las corrientes I_B e I_C que se obtuvieron en el simulador. Hallar el valor de h_{FE} y la potencia disipada en el transistor, esta no debe ser superior al valor máximo de $P_{Dmax} = 625\text{ mW}$ dado en las características del transistor.

Medición de voltaje colector emisor V_{CE}



Medición de corriente de base I_B .

