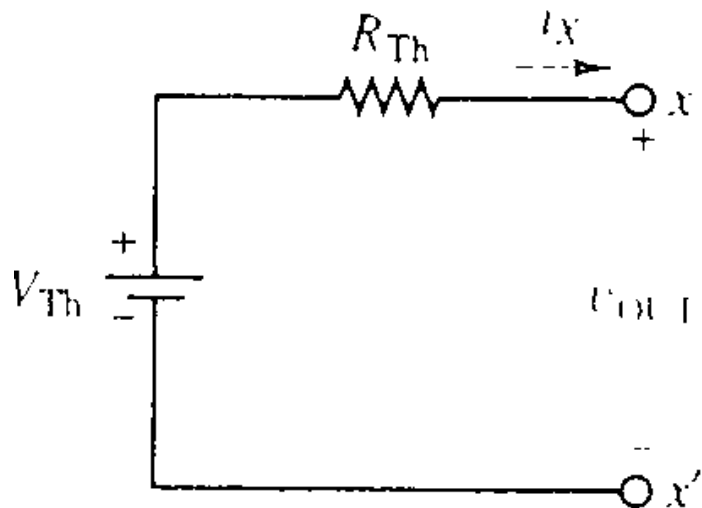


POLARIZACIÓN EN DC DE UN TRANSISTOR BJT

Polarizar un transistor consiste en suministrar las tensiones adecuadas y conectar las resistencias oportunas para que el transistor funcione dentro de los límites indicados en el diseño, de forma que la señal aplicada a la entrada no resulte deformada a la salida.

De acuerdo a cómo se lo polarice puede trabajar en tres zonas: Corte, Activa y Saturación.



$$v_{OUT} = V_{Th} - i_X R_{Th}$$

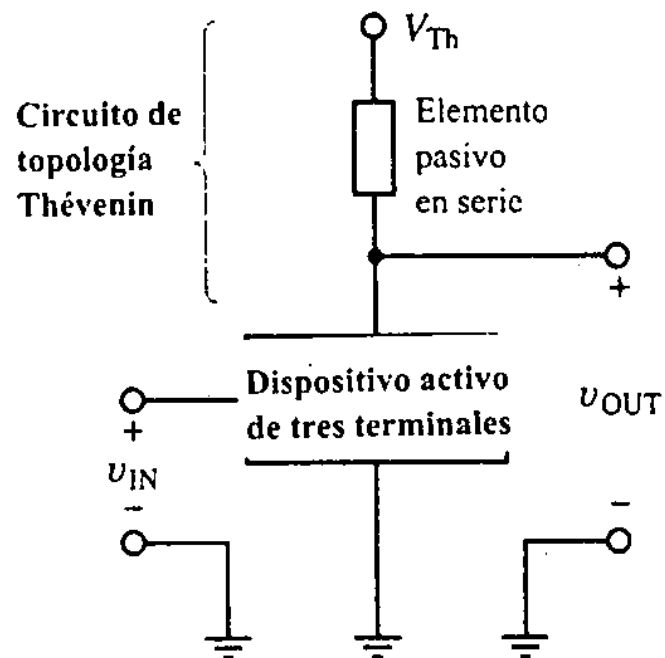
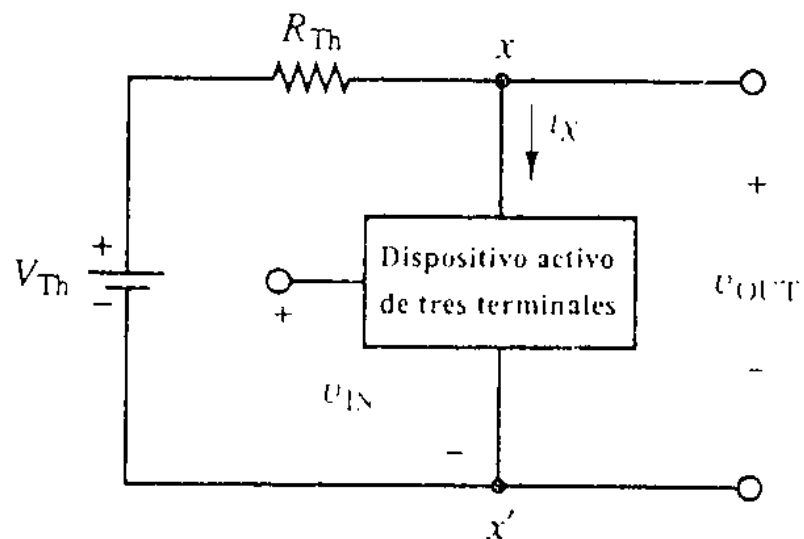
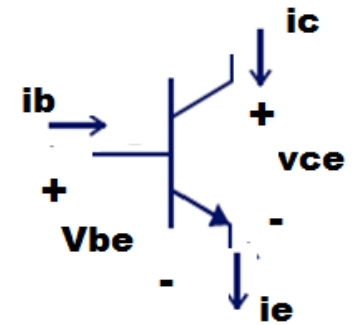


TABLA ZONAS DE FUNCIONAMIENTO DEL BJT NPN



ZONA	CONDICIÓN		ECS DE CORRIENTE	
CORTE	$V_{BE} < V_f$		$I_c = I_e = I_b = 0 \text{ A}$	$V_f = 0.7 \text{ V}$
ACTIVA	$V_{BE} > V_f$	$V_{CE} > 0.2 \text{ V}$	$I_c = \beta_F \cdot I_B$ $I_e = I_B(1 + \beta_F)$ $I_e = I_c(1 + \beta_F) / \beta_F$	$V_{BE} = V_f$ $V_f = 0.7 \text{ V}$
SATURADA	$V_{BE} > V_f$	$I_c < \beta_F \cdot I_B$	$I_c = I_e'$ $V_{CE} = 0.2 \text{ V}$	$V_{BE} = V_f$ $V_f = 0.8 \text{ V}$
LIMITE ON-OFF	$V_{BE} = V_F$		$I_c = I_B = I_E = 0 \text{ A}$	$V_{BE} = V_f$ $V_F = 0.7 \text{ V}$
LIMITE ACTIVA SATURACIÓN	$I_c \geq \beta_F \cdot I_B$		$I_c = I_e' \quad V_{CE} = 0.2 \text{ V}$	$V_{BE} = V_f$ $V_F = 0.7 \text{ V}$

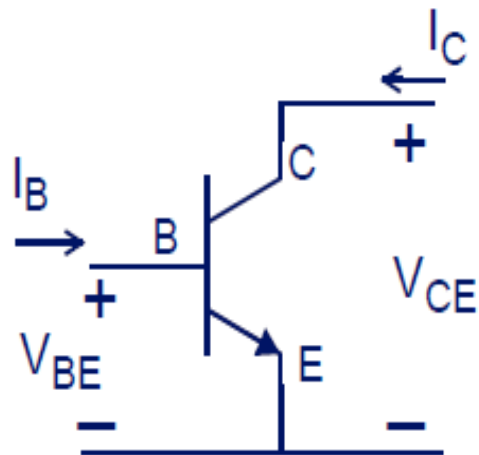
Estas ecuaciones son iguales para el BJT canal PNP, solo cambia dirección de corrientes

EQUIVALENTE CIRCUITAL DEL BJT

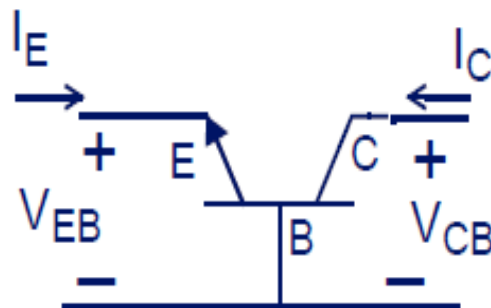
ZONA	CORTE	ACTIVA	SATURACION
MODELO EQUIVALENTE NPN			
MODELO EQUIVALENTE PNP			

Tres configuraciones: **BJT NPN**

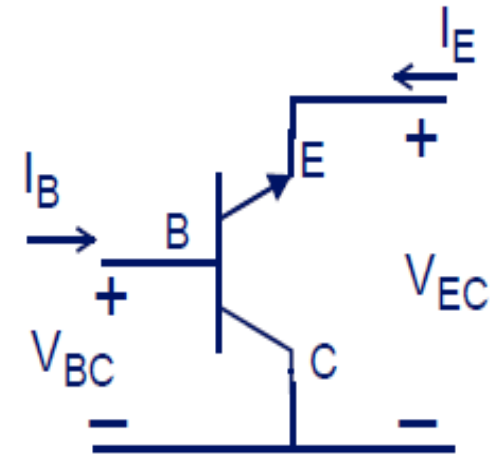
EMISOR COMÚN



BASE COMÚN



COLECTOR COMÚN

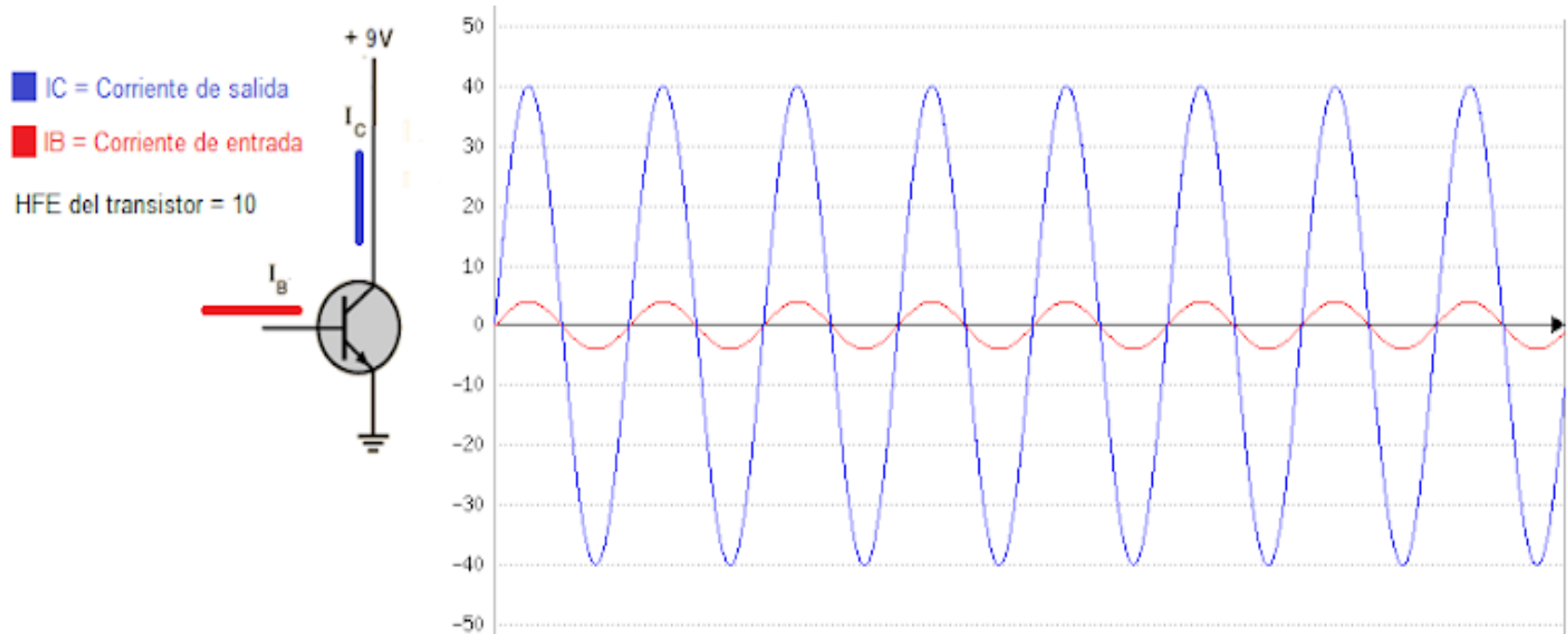


https://www.youtube.com/watch?v=dIV5I9cx_ck

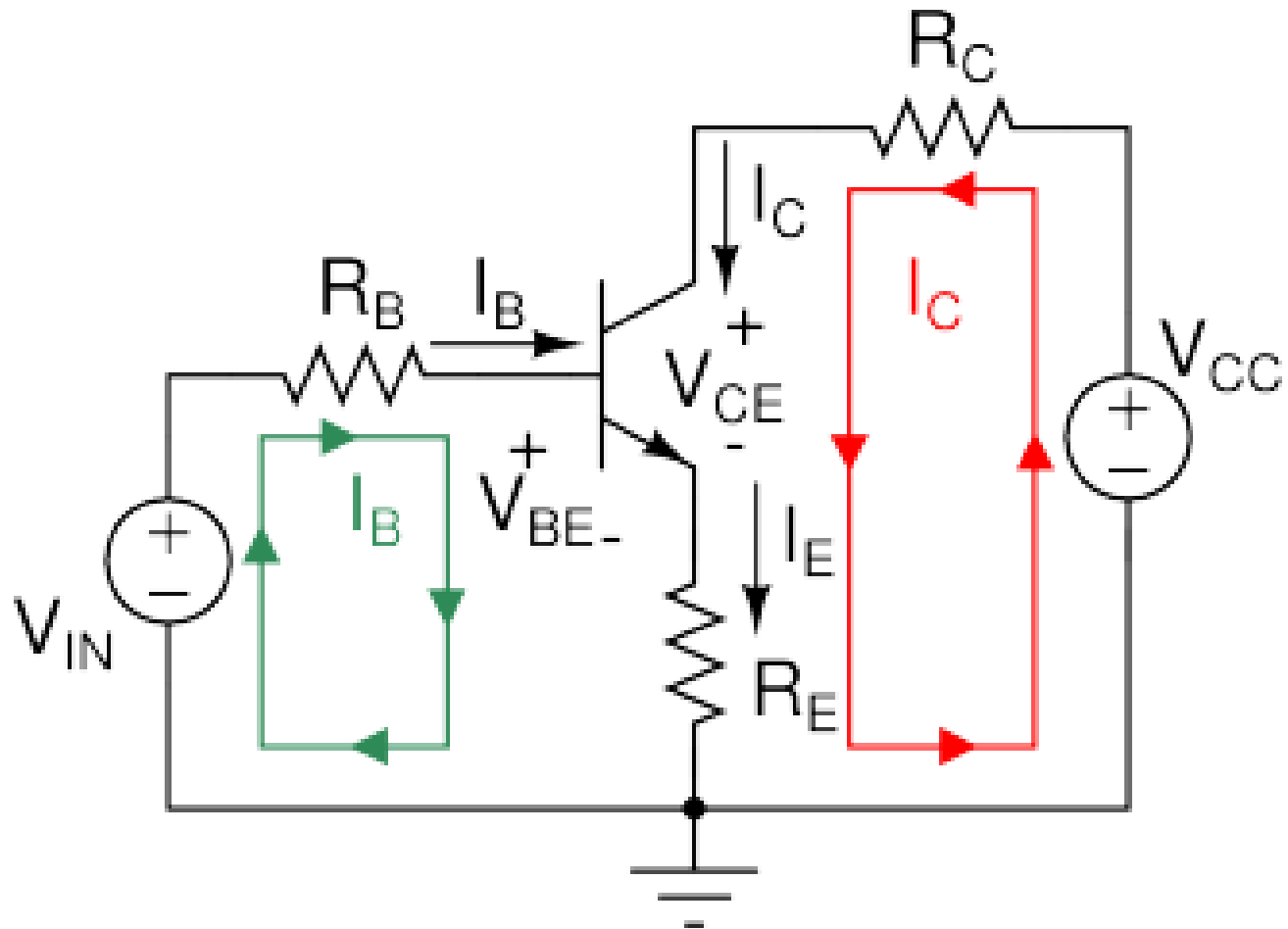
<https://www.youtube.com/watch?v=7Q79fhvoRSs>

<https://www.youtube.com/watch?v=IVLwn-Iy6tU>

<https://www.youtube.com/watch?v=pfVUD5FVoB0>



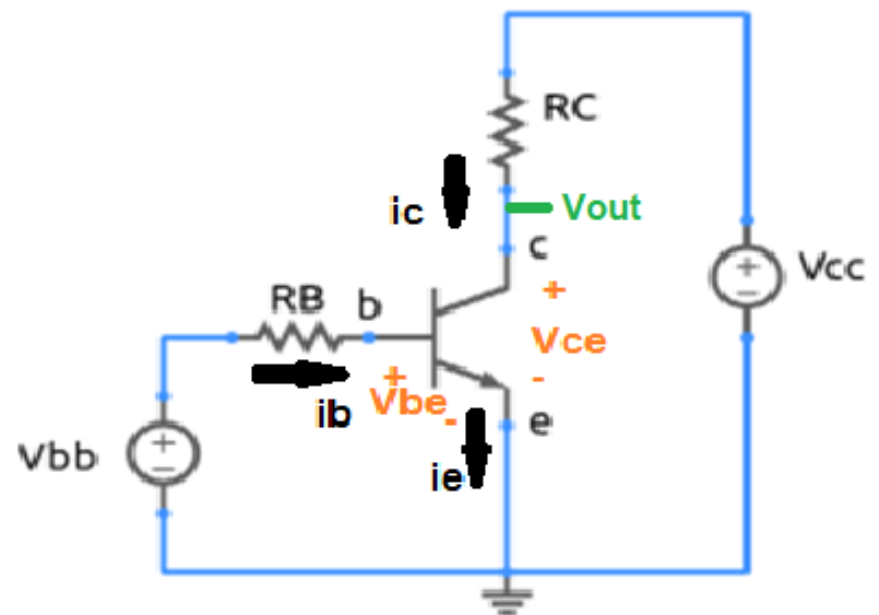
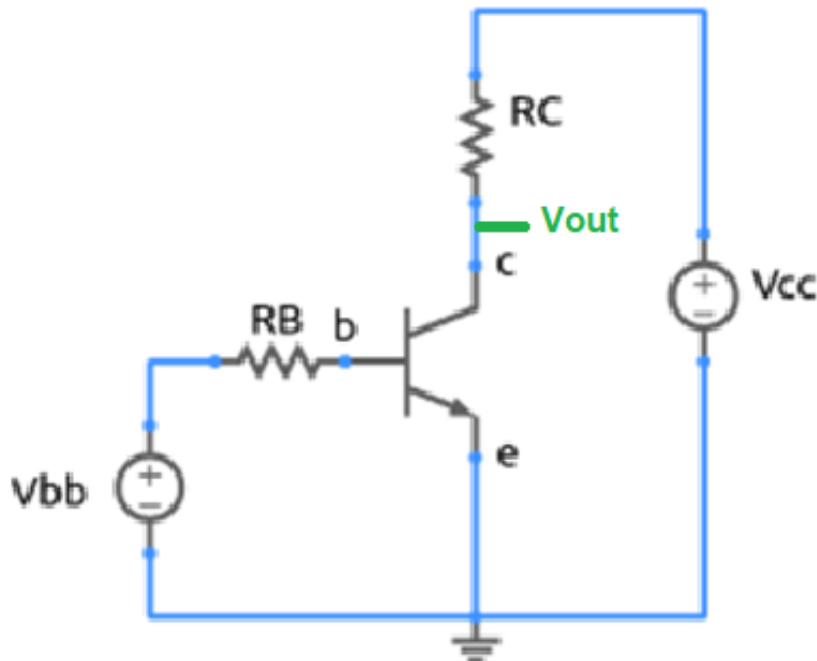
SENTIDO DE LAS CORRIENTES



CIRCUITOS CON SEÑALES EN CORRIENTE DIRECTA

INVERSOR BJT O EMISOR COMÚN NPN

En esta configuración se tiene ganancia tanto de tensión como de corriente. Para todo análisis circuital con transistores, se le deben identificar las corrientes y voltajes tal cual como se observa en la figura. Recuerda que el sentido y polaridad los indica la flecha que tiene el transistor.



Una vez identificadas las corrientes y voltajes se procede a colocar la trayectoria de entrada y salida del circuito y luego aplicar LKV a cada trayectoria.

LKV T1

$$- V_{bb} + R_b \cdot i_b + V_{be} = 0$$

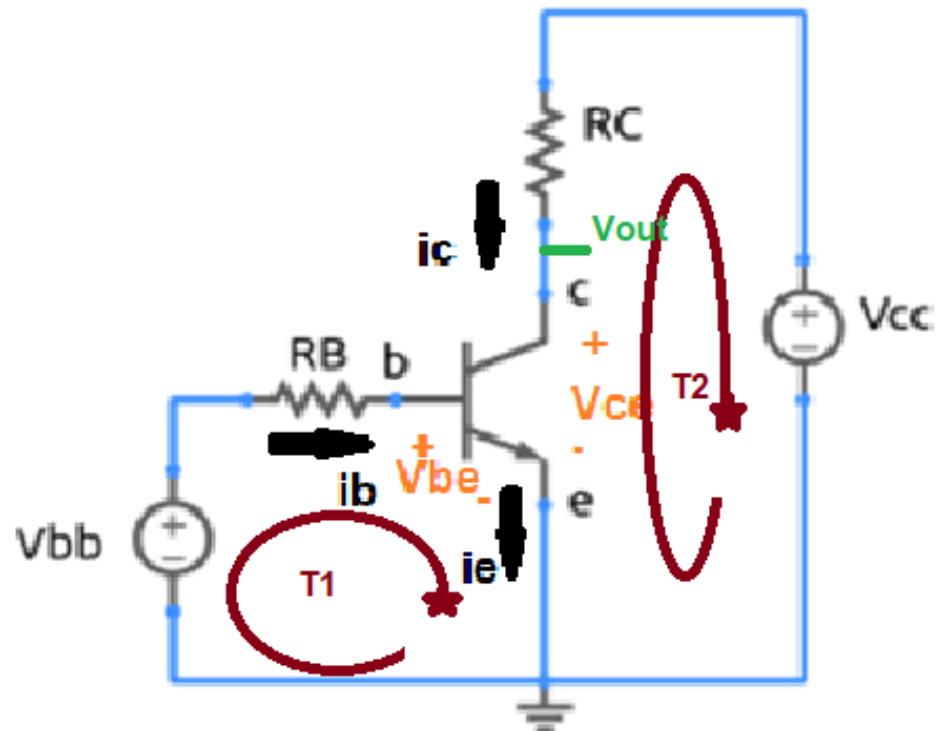
LKV T2

$$- V_{ce} - R_c \cdot I_c + V_{cc} = 0$$

Luego se procede a obtener el voltaje de salida del inversor V_{out}

$$- V_{out} - R_c \cdot I_c + V_{cc} = 0$$

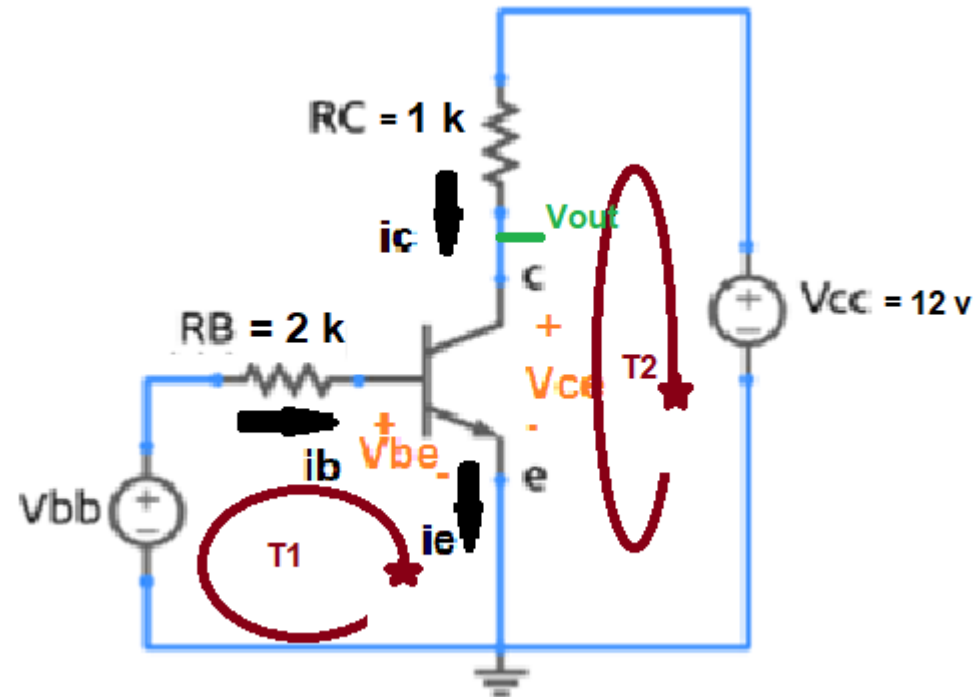
$$V_{out} = V_{cc} - R_c \cdot I_c$$



Definidas las ecuaciones procedemos a aplicar voltajes y definir zonas de trabajo en que deseamos trabaje el transistor.

Lo primero es conocer los límites del circuito encendido apagado y el límite entre activa y saturada. Para ello solo se define la cantidad de corriente que se quiere controlar y escoger una resistencia comercial. Para una corriente de 12 mA escogemos una resistencia de 1 k. Como $V = i \cdot R$,
 $V_{cc} = 12\text{mA} \cdot 1\text{K} = 12\text{ v}$

Note que no se coloca valores en V_{bb} debido a que se buscara el rango de voltaje que debe aplicarse a la base para que cumpla los límites.



ZONA LIMITE ENCENDIDO APAGADO

Según la tabla en esta zona el $V_{be} = V_f = 0,7 \text{ v}$ $I_c = I_e = I_b = 0 \text{ A}$

LKV T1

$$-V_{bb} + R_b \cdot I_b + V_{be} = 0$$

$$-V_{bb} + 2 \cdot 0 + 0,7 = 0$$

$$V_{bb} = 0,7 \text{ v}$$

Este es el valor que debe tener la entrada V_{bb} para que el circuito encienda el transistor.

LKV T2

$$-V_{ce} - R_c \cdot I_c + V_{cc} = 0$$

$$-V_{ce} - 1 \cdot 0 + V_{cc} = 0$$

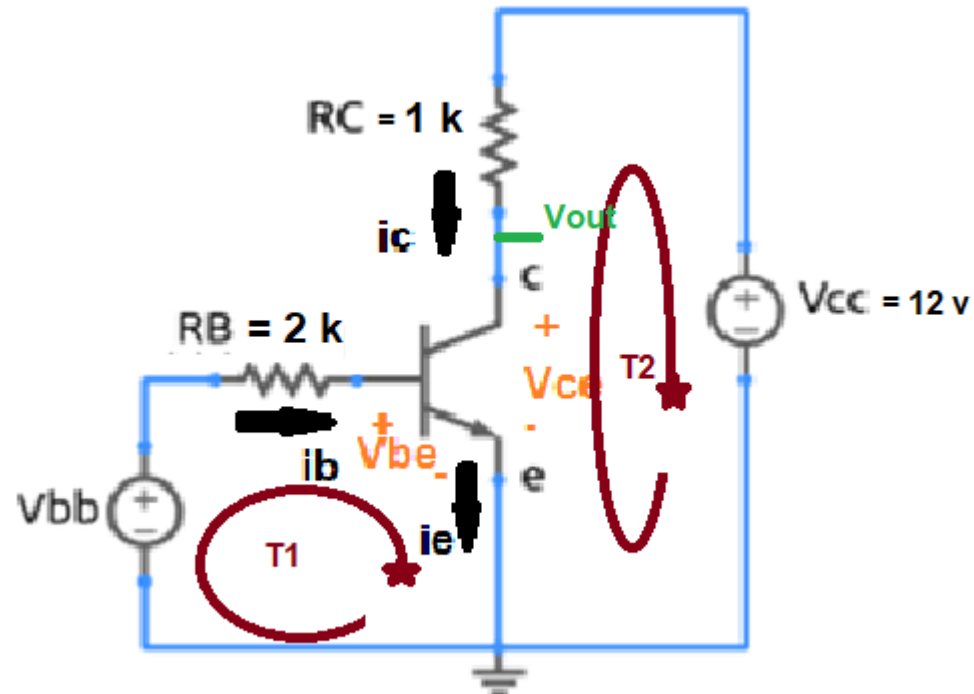
$$V_{ce} = V_{cc} = 12 \text{ v}$$

Este es el valor del V_{ce} en este estado.

Luego se procede a obtener el voltaje de salida V_{out}

$$V_{out} = V_{cc} - R_c \cdot I_c = 12 - 1 \cdot 0$$

$$V_{out} = 12 \text{ v}$$



ZONA LIMITE ACTIVA SATURADO

Según la tabla en esta zona el $V_{ce} = 0,2$ v $V_f = 0,7$ v $I_c = I_e$ $I_c \geq B \cdot I_b$

Para este caso se debe iniciar con la ecs de la T2.

LKV T2

$$\text{- } V_{ce} - R_c \cdot I_c + V_{cc} = 0$$

$$\text{- } 0,2 - 1 \cdot I_c + 12 = 0$$

$$I_c = 12 - 0,2 / 1k = 12 \text{ mA}$$

LKV T1

$$\text{- } V_{bb} + R_b \cdot I_b + V_{be} = 0$$

$$\text{- } V_{bb} + 2 \cdot I_b + 0,7 = 0$$

$$I_b = (V_{bb} - 0,7) / 2k$$

Ahora procedemos a utilizar la condición

$$I_c = B \cdot I_b$$

El B lo entrega el fabricante y en este caso

$$12\text{mA} = 30 \cdot (V_{bb} - 0,7) / 2k$$

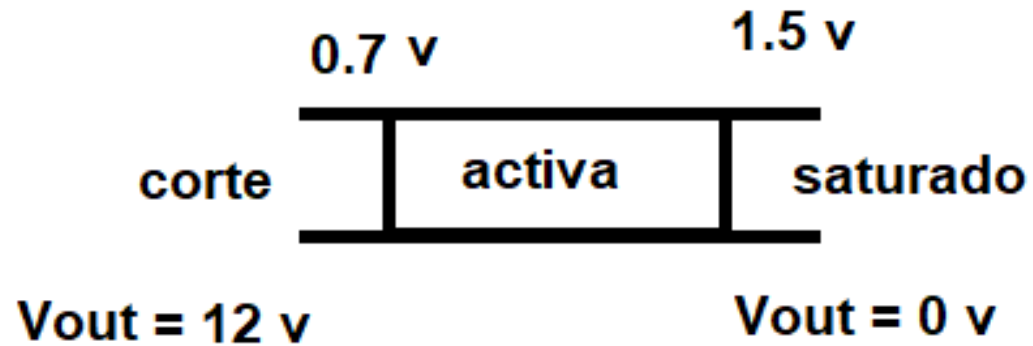
optamos por $B = 30$

$$V_{bb} = 1,5 \text{ v}$$

Luego se procede a obtener el voltaje de salida V_{out}

$$V_{out} = V_{cc} - R_c \cdot I_c = 12 - 1 \cdot 12$$

$$V_{out} = 0 \text{ v}$$



Como se observa el transistor puede trabajar como interruptor, encendiendo la carga conectada a V_{out} en corte y apagándola en limite saturado.

Ahora procedemos a escoger valores de V_{bb} y comprobamos la zona en que se encuentra.

Zona Corte

Asumo $V_{bb} = -1 \text{ v}$

En esta zona $i_c = i_b = i_e = 0 \text{ A}$

LKV T1

$$-V_{bb} + R_b \cdot i_b + V_{be} = 0$$

$$-(-1) + R_b \cdot 0 + V_{be} = 0$$

$$V_{be} = -1 \text{ v}$$

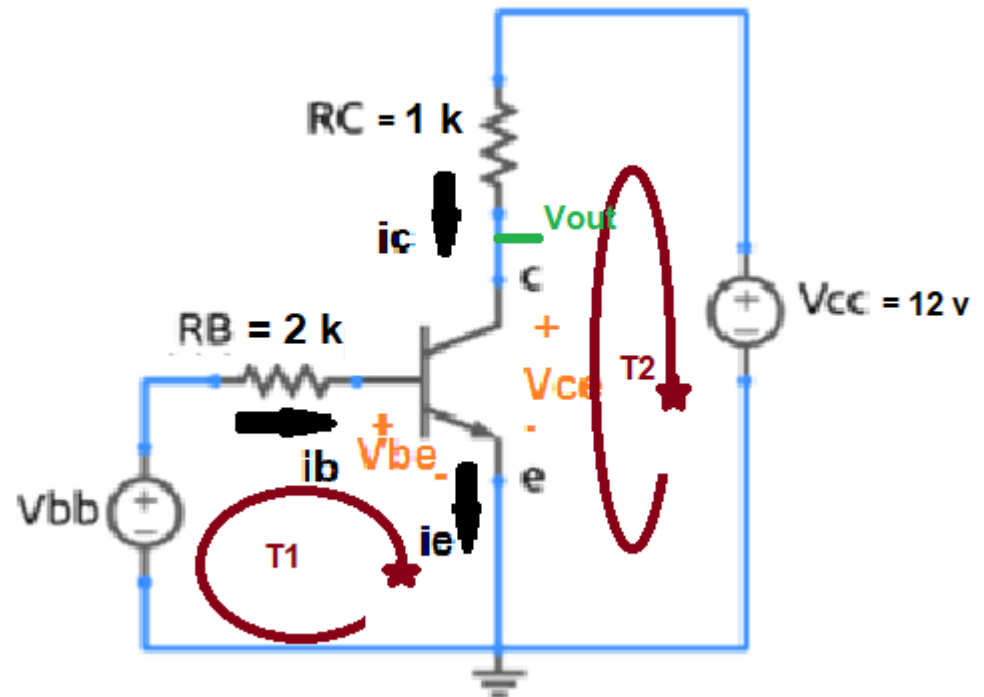
La condición dice $V_{be} < V_f$

$-1 < 0,7 \text{ v}$ si cumple condición y se encuentra en la zona corte.

LKV T2

$$-V_{ce} - R_c \cdot i_c + V_{cc} = 0$$

$$V_{ce} = 12 \text{ v}$$



Luego se procede a obtener el voltaje de salida del inversor V_{out}

$$-V_{out} - R_c \cdot i_c + V_{cc} = 0$$

$$V_{out} = 12 - 1 \cdot 0 = 12 \text{ v}$$

Zona Activa

Asumo $V_{bb} = 1 \text{ v}$

En esta zona $i_c = \beta i_b$, $i_e = i_b(\beta + 1)$,

$V_{be} = V_f = 0,7 \text{ v}$

LKV T1

$$-V_{bb} + R_b \cdot i_b + V_{be} = 0$$

$$-(1) + 2 \cdot i_b + 0,7 = 0$$

$$i_b = 0,15 \text{ mA}$$

$$i_c = \beta i_b = 30 \cdot 0,15 = 4,5 \text{ mA}$$

$$i_e = i_b(\beta + 1) = 4,65 \text{ mA}$$

LKV T2

$$-V_{ce} - R_c \cdot i_c + V_{cc} = 0$$

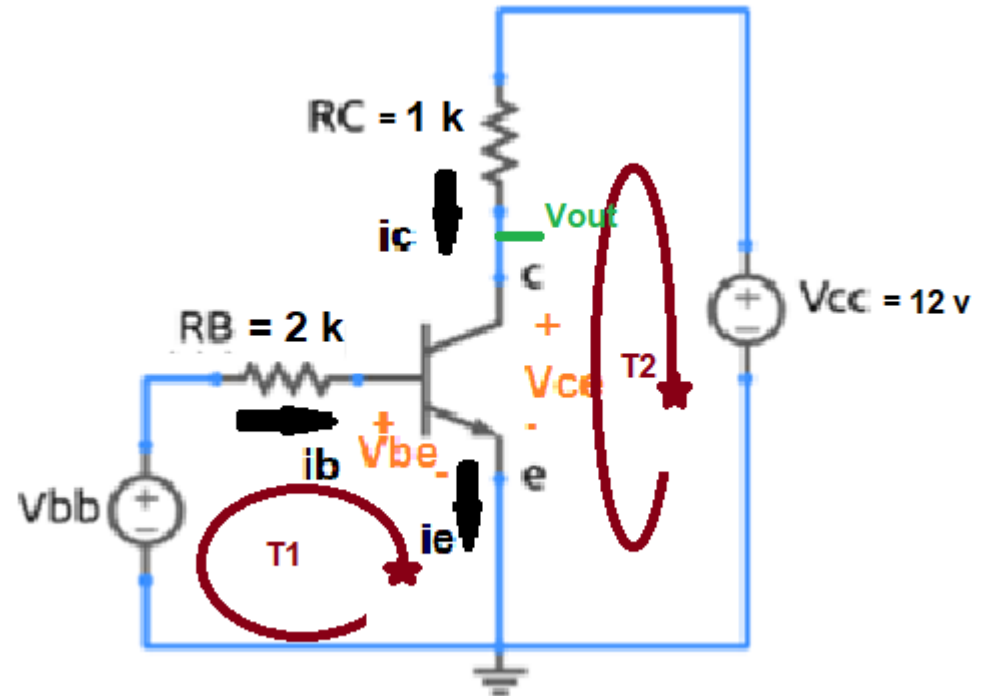
$$-V_{ce} - 1 \cdot 4,5 + 12 = 0$$

$$V_{ce} = 7,5 \text{ v}$$

Procedo a verificar condición

$$V_{ce} > 0,2 \text{ v}$$

$7,5 > 0,2 \text{ v}$ cumple condición



V_{out}

$$-V_{out} - R_c \cdot i_c + V_{cc} = 0$$

$$V_{out} = 12 - 1 \cdot 4,5 = 7,5 \text{ v}$$

La potencia en el transistor será:

$$P_Q = v_{ce} \cdot i_c = 7,5 \cdot 4,5 = 33,75 \text{ mW}$$

Se debe verificar con las especificaciones del fabricante que no supere esta potencia

Zona Saturada

Asumo $V_{bb} = 3\text{ v}$

En esta zona $i_c = i_e$, $V_{be} = 0,8\text{ v}$

LKV T1

$$-V_{bb} + R_b \cdot i_b + V_{be} = 0$$

$$-(3) + 2 \cdot i_b + 0,8 = 0$$

$$i_b = 1,1\text{ mA}$$

LKV T2

$$-V_{ce} - R_c \cdot i_c + V_{cc} = 0$$

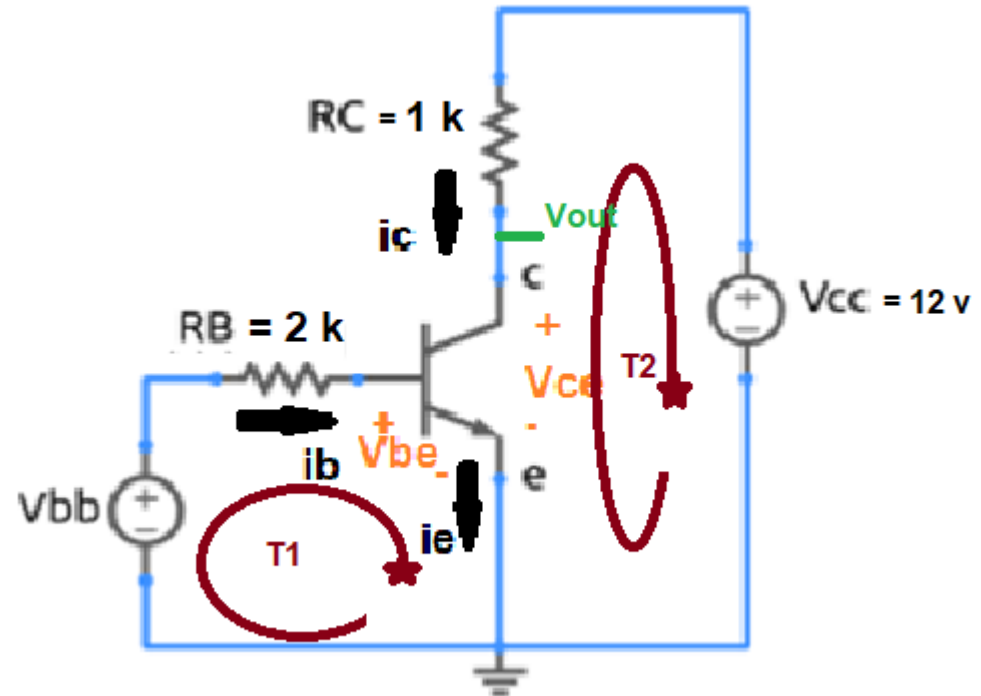
$$-0,2 - 1 \cdot i_c + 12 = 0$$

$$i_c = 11,8\text{ mA}$$

Procedo a verificar condición

$$i_c < \beta \cdot i_b$$

$$11,8 < 30 \cdot 1,1 \text{ cumple condición}$$



V_{out}

$$-V_{out} - R_c \cdot i_c + V_{cc} = 0$$

$$V_{out} = 12 - 1 \cdot 11,8 = 0,2\text{ v}$$

La potencia en el transistor será:

$$P_Q = v_{ce} \cdot i_c = 0,2 \cdot 11,8 = 2,32\text{ mW}$$

Ganancia del inversor

La ganancia se escribe con la letra A_v , en otros libros G , H se define como la derivada del voltaje de salida respecto al de entrada.

$$A_v = dV_o / dV_i = dV_o / dV_{bb}$$

$$V_{out} = v_{cc} - i_c * R_c$$

$$V_{out} = v_{cc} - (B * i_b) * R_c$$

$$V_{out} = v_{cc} - (B * (v_{bb} - v_{be}) / r_b) * R_c$$

V_{cc} y v_{be} son constantes y v_{bb} es lo que se variara.

Despejamos i_b de la T1

$$- V_{bb} + R_b * i_b + V_{be} = 0$$

$$i_b = (v_{bb} - v_{be}) / r_b$$

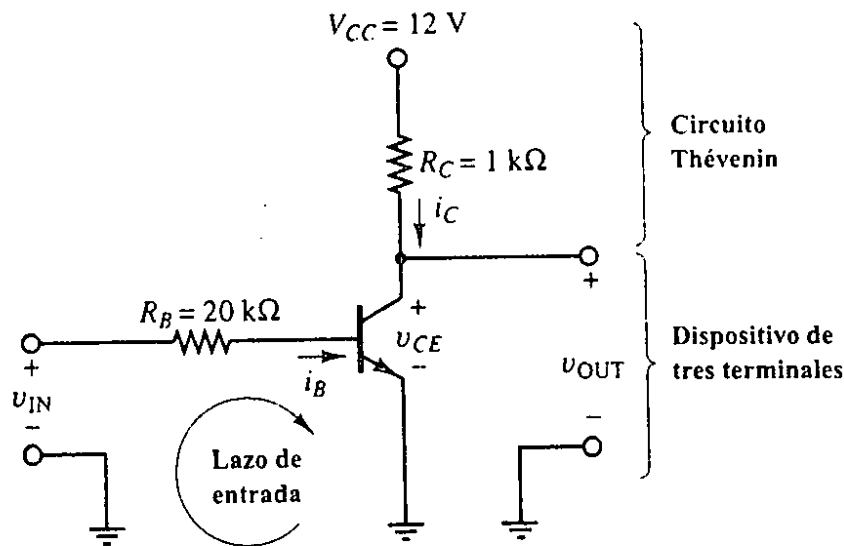
$$A_v = dV_o / dV_{bb}$$

$$= d[v_{cc} - (B * (v_{bb} - v_{be}) / r_b) * R_c] / dV_{bb}$$

$$= [0 - (B * (1 - 0) / r_b) * R_c]$$

$$A_v = - B * R_c / R_b$$

El inversor de la figura 6.4 utiliza un BJT *npn* con $\beta_F = 100$ y $V_f = 0.6 \text{ V}$ como su dispositivo activo. Determine el voltaje de salida cuando $v_{IN} = 1 \text{ V}$, el cambio del voltaje de salida si v_{IN} se incrementa a 2 V , y la característica de transferencia entrada-salida del inversor.



Como $V_i \geq V_f$, Zona Conducción

$$i_B = \frac{v_{IN} - V_f}{R_B}$$

$$i_B = \frac{1 \text{ V} - 0.6 \text{ V}}{20 \text{ k}\Omega} = 20 \mu\text{A}$$

Me ubico en la zona activa

$$i_C = \beta_f i_B$$

$$= (100)(20 \mu\text{A}) = 2 \text{ mA}$$

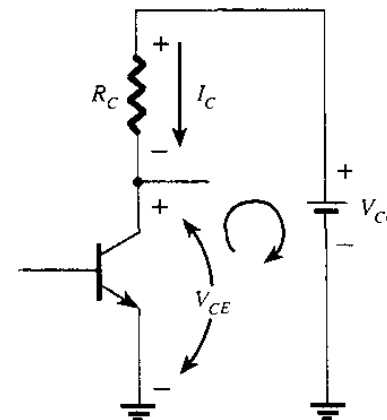
$$V_c - V_{ce} - I_c R_c = 0$$

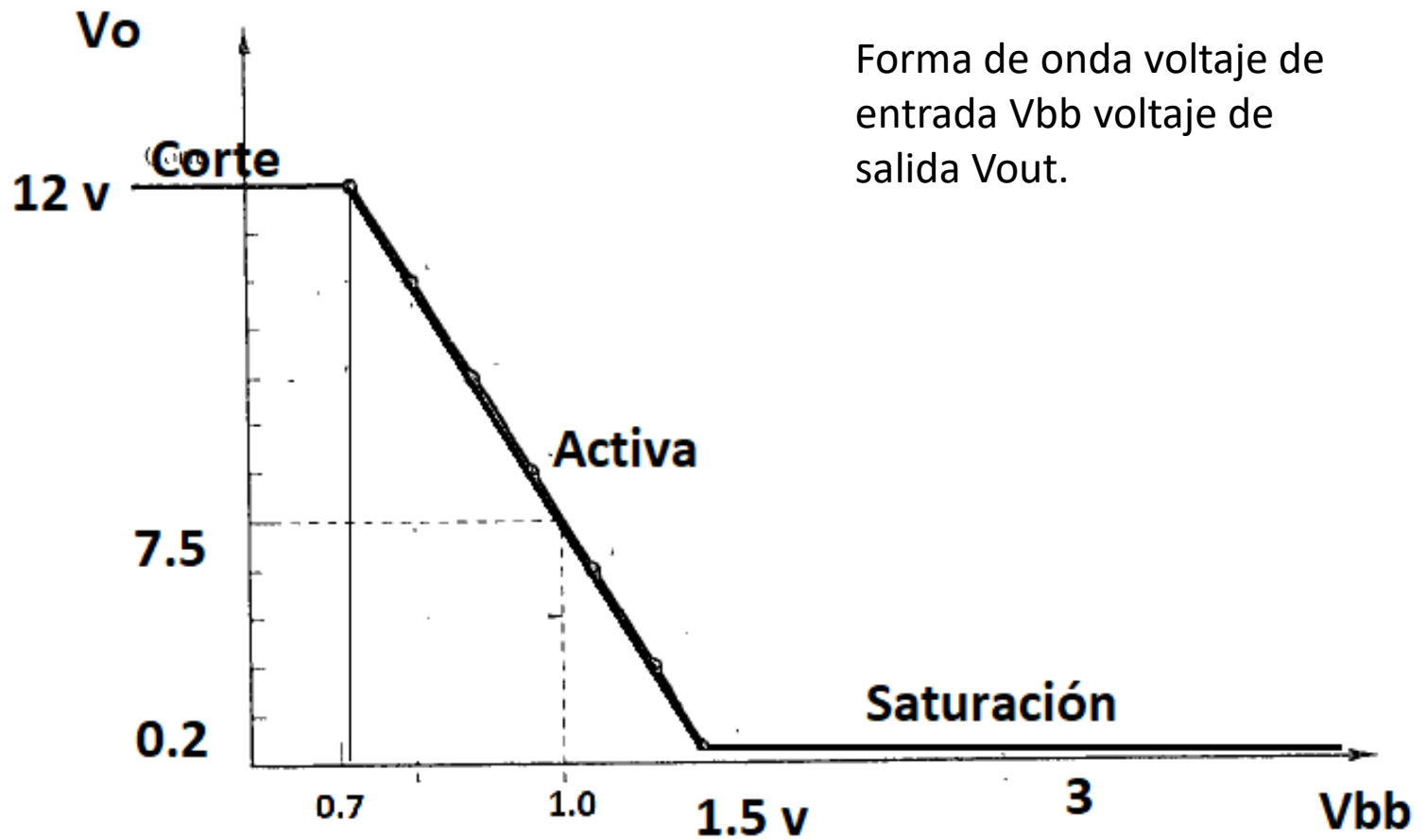
$$V_{ce} = V_c - I_c R_c = 12 - 2 \text{ mA} \cdot 1 \text{ k}\Omega = 10 \text{ V}$$

$$V_{ce} = V_{out}$$

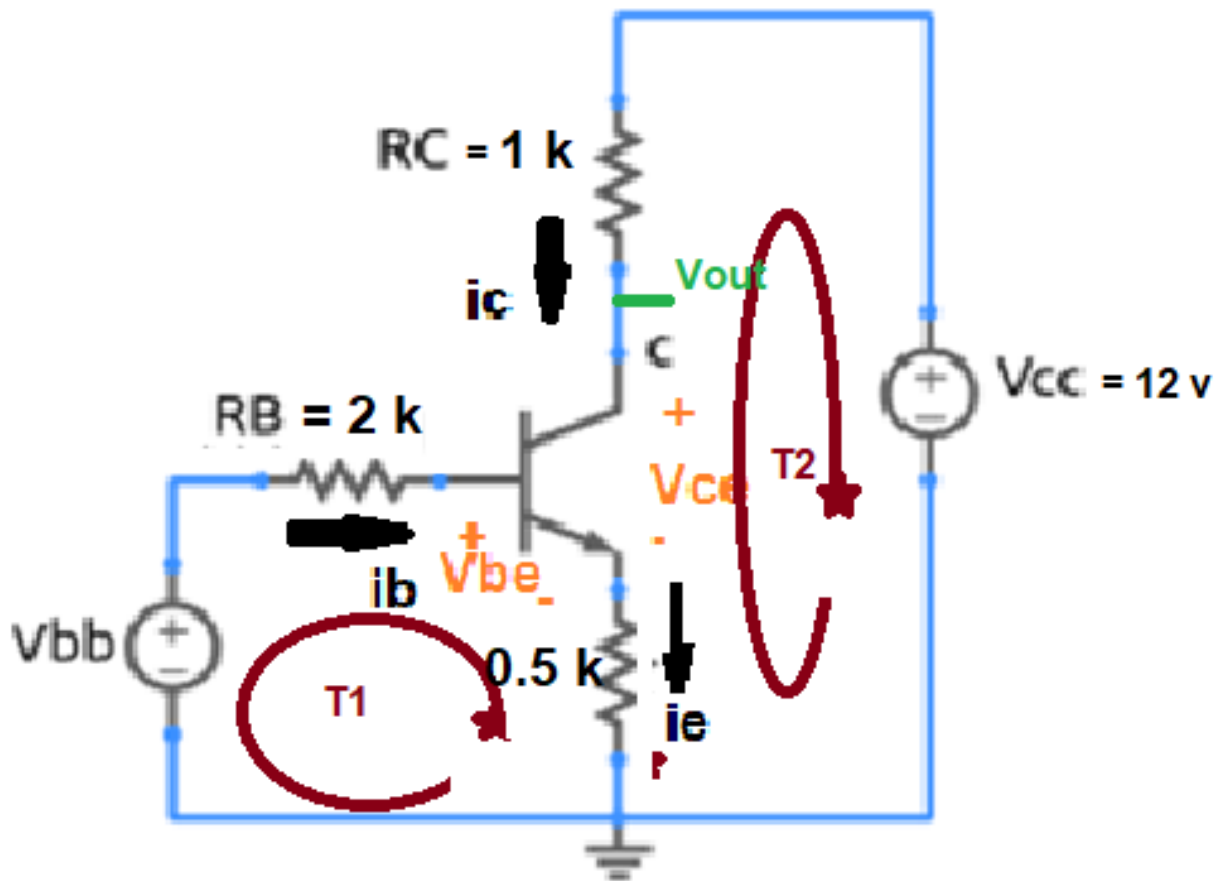
Como $V_{ce} \geq V_{ce_{sat}}$

$10 \text{ V} \geq 0.2$ Cumple y esta en zona activa.





Forma de onda voltaje de entrada V_{bb} voltaje de salida V_{out} .



T1

$$-V_{bb} + 2i_b + V_{be} + 0.5i_e = 0$$

T2

$$-0.5i_e - V_{ce} - 1 \cdot i_c + V_{cc} = 0$$

Limite on-off

$$i_c = i_e = i_b = 0, V_{be} = 0.7$$

$$-V_{bb} + 2i_b + V_{be} + 0.5i_e = 0$$

$$-V_{bb} + 2 \cdot 0 + 0.7 + 0.5 \cdot 0 = 0$$

$$V_{bb} = 0.7 \text{ v}$$

Limite activa sat

$$i_c = i_e, V_{ce} = 0.2 \text{ v}, V_{be} = 0.7 \text{ v}$$

T2

$$-0.5i_e - V_{ce} - 1 \cdot i_c + V_{cc} = 0$$

$$-0.5i_c - 0.2 - 1 \cdot i_c + 12 = 0$$

$$i_c = 7.86 \text{ mA} = i_e$$

T1

$$-V_{bb} + 2i_b + V_{be} + 0.5i_e = 0$$

$$-V_{bb} + 2i_b + 0.7 + 0.5 \cdot 7.86 = 0$$

$$i_b = (V_{bb} - 3.9) / 2$$

$$i_c = \beta \cdot i_b$$

$$7.86 = 30 \cdot (V_{bb} - 3.9) / 2$$

$$V_{bb} = 4.42 \text{ v}$$

Zona Corte

En esta zona $i_c = i_b = i_e = 0A$

T1

$$-V_{bb} + 2i_b + V_{be} + 0.5i_e = 0$$

T2

$$-0.5i_e - V_{ce} - 1 \cdot i_c + V_{cc} = 0$$

Asumo $V_{bb} = 0,5 \text{ v}$

$$-0,5 + 2 \cdot 0 + V_{be} + 0.5 \cdot 0 = 0$$

$$V_{be} = 0,5 \text{ v}$$

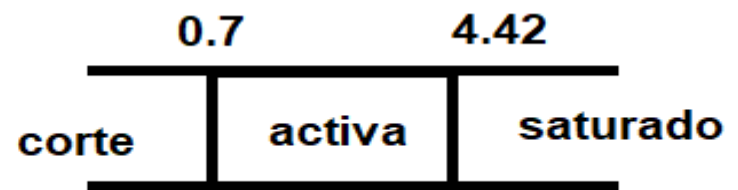
La condición dice $V_{be} < V_f$

$0,5 < 0,7 \text{ v}$ si cumple condición y se encuentra en la zona corte.

LKV T2

$$-V_{ce} - R_c \cdot I_c + V_{cc} = 0$$

$$V_{ce} = 12 \text{ v}$$



V_{out}

$$V_{out} = V_{cc} - R_c \cdot I_c$$

$$V_{out} = 12 - 1 \cdot 0 = 12 \text{ v}$$

Zona activa

Asumo $V_{bb} = 3 \text{ v}$

En esta zona $i_c = \beta i_b$, $I_e = i_b(\beta + 1)$, $V_{be} = V_f = 0,7 \text{ v}$

T1

- $V_{bb} + 2i_b + V_{be} + 0.5i_e = 0$
- $3 + 2i_b + 0,7 + 0.5 \cdot i_b(\beta + 1) = 0$
- $2,3 + 2i_b + 0.5 \cdot i_b(30 + 1) = 0$
- $2,3 + 2i_b + 15,5i_b = 0$

$$I_b = 0,13 \text{ mA}$$

$$i_c = \beta i_b = 30 \cdot 0,13 = 3,9 \text{ mA}$$

$$I_e = i_b(\beta + 1) = 4,03 \text{ mA}$$

T2

- $0.5i_e - V_{ce} - 1 \cdot i_c + V_{cc} = 0$
- $0.5 \cdot 4,03 - V_{ce} - 1 \cdot 3,9 + 12 = 0$

$$V_{ce} = 6,08 \text{ v}$$

$$P_Q = V_{ce} \cdot I_c = 23,73 \text{ mW}$$

V_{out}

$$V_{out} = V_{cc} - R_c \cdot I_c = 12 - 1 \cdot 3,9 = 8,1 \text{ v}$$

Hazlo para zona saturada y entrega resultados en un tiempo de 5 minutos

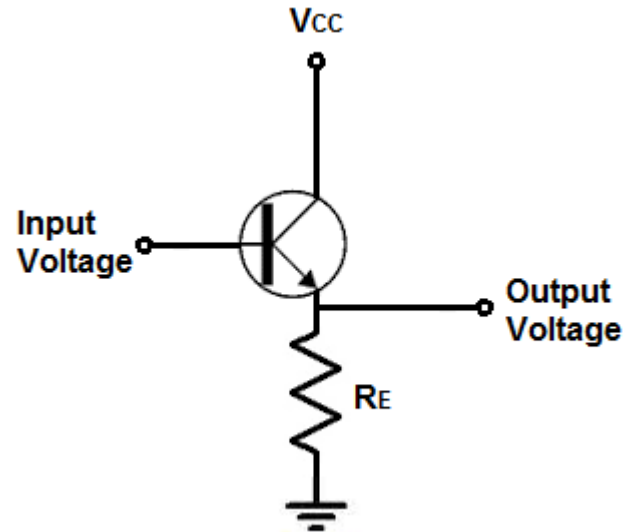
COLECTOR COMÚN O SEGUIDOR DE EMISOR NPN

- $V_{bb} + v_{be} + r_e \cdot i_e = 0$
- $r_e \cdot i_e - v_{ce} + v_{cc} = 0$

En corte $i_e = i_b = i_c = 0$ A

- $V_{bb} + v_{be} + r_e \cdot i_e = 0$
- $V_{bb} + v_{be} + r_e \cdot 0 = 0$
 $V_{bb} = v_{be}$
- $r_e \cdot i_e - v_{ce} + v_{cc} = 0$
- $R_e \cdot 0 - v_{ce} + v_{cc} = 0$
 $V_{ce} = V_{cc}$

- $r_e \cdot i_e + v_o = 0$
 $V_o = r_e \cdot i_e$
 $V_o = r_e \cdot 0$
 $V_o = 0$ v



Lo contrario al inversor en V_o

SEGUIDOR DE EMISOR NPN

- $V_{bb} + v_{be} + r_e \cdot i_e = 0$
- $r_e \cdot i_e - v_{ce} + v_{cc} = 0$

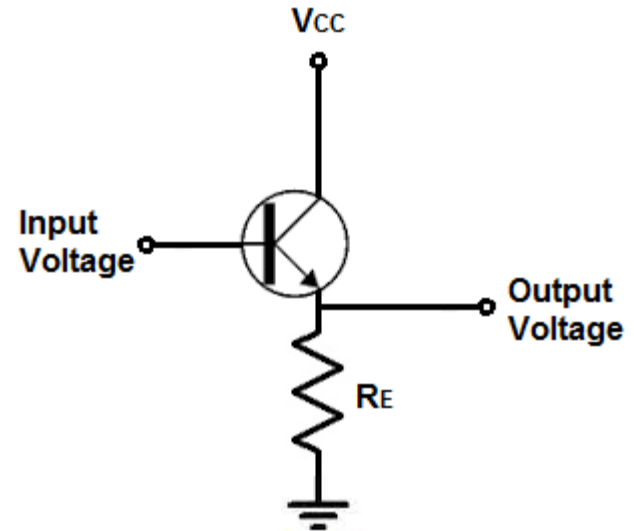
En limite saturación activa
 $i_e = i_c$, $V_{ce} = 0,2$

- $r_e \cdot i_e - v_{ce} + v_{cc} = 0$
- $r_e \cdot i_e - 0,2 + v_{cc} = 0$
 $i_e = (V_{cc} - 0,2) / r_e$

$$V_o = r_e \cdot i_e$$

$$V_o = r_e \cdot (V_{cc} - 0,2) / r_e$$

$$V_o = V_{cc} - 0,2$$



La ganancia de voltaje de un seguidor emisor es exactamente un poco menos de uno.

Su función no es la ganancia de voltaje, sino la ganancia de corriente o potencia, y la adaptación de impedancias

$$\begin{aligned} A_v &= d v_o / d v_i = d(r_e \cdot i_e) / d V_{bb} \\ &= d(r_e \cdot [V_{bb} - V_{be}] / r_e) / d V_{bb} \\ &= d([V_{bb} - 0,7]) / d V_{bb} \\ A_v &= 1 \end{aligned}$$

SEGUIDO DE EMISOR PNP

$$-V_{bb} - V_f - V_{re} = 0$$

$$V_{re} = V_{bb} - V_f$$

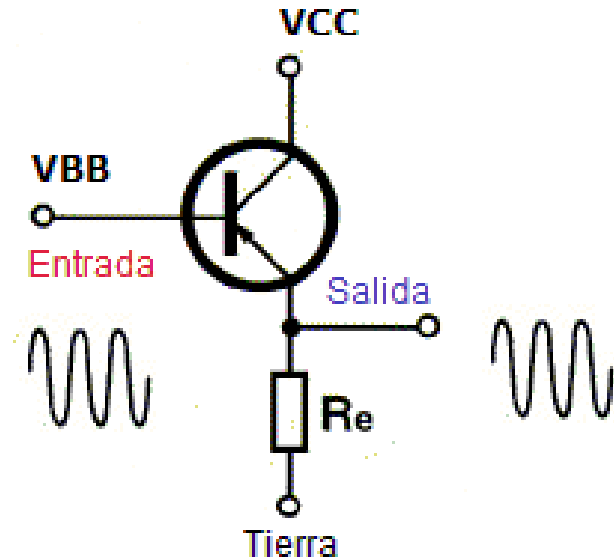
$$\text{Como } V_{re} = V_{out}$$

$$V_{out} = V_{bb} - V_f$$

Si $v_f=0$ ideal

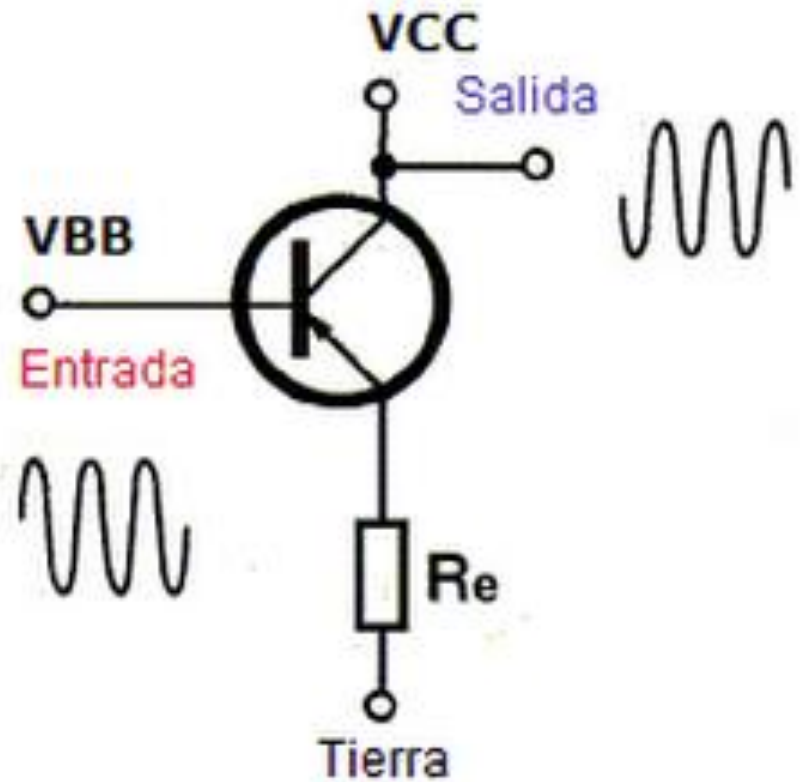
$$\mathbf{V_o = V_{bb}}$$

Esto nos muestra que la señal de salida es la misma de la entrada



EMISOR COMÚN PNP

Realizarlo en su
tiempo independiente



BASE COMÚN

En esta configuración, la señal de entrada ingresa por el Emisor y la señal de salida Sale por el Colector, tiene como característica principal de tener una muy buena amplificación de tensión y de frecuencia.

Posee una impedancia de entrada muy baja, como se puede ver la base esta conectada a tierra por eso es el terminal común

La corriente de base es cero y por ende $i_c = i_e$.

$$i_b = 0$$

$$V_{be} + i_e \cdot r_e = 0$$

$$i_e = -0.7/0.5$$

$$i_e = -1.4 \text{ mA}$$

$$-i_e \cdot r_e - v_{ce} - i_c \cdot r_c + 12 = 0$$

$$-i_e \cdot 0.5 - v_{ce} - i_c \cdot 1 + 12 = 0$$

$$-v_{ce} - i_c \cdot 1.5 + 12 = 0$$

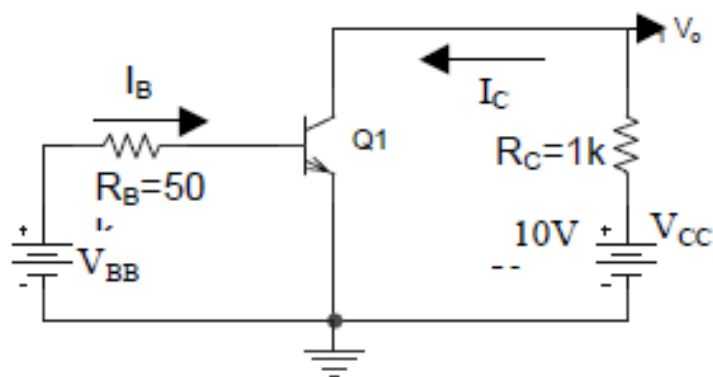
$$-v_{ce} - (-1.4) \cdot 1.5 + 12 = 0$$

$$V_{ce} = 14.1 \text{ V}$$

En el circuito de la fig. el transistor tiene una $\beta = 60$. Expresar los valores posibles de V_{BB} para que el transistor se encuentre:

- a) Zona de corte
- b) Zona activa.
- c) Zona de saturación.
- d) Si $V_{BB} = 5$ Voltios y manteniendo el valor de $R_C = 1\text{ K}$. ¿entre que valores puede variar R_B para que el transistor se encuentre en la zona de activa?
- e) Si $V_{BB} = 5$ Voltios y manteniendo el valor de $R_B = 50\text{ K}$. ¿entre que valores puede variar R_C para que el transistor se encuentre en la zona de saturación?

($V_{BE \text{ activa}} = 0.7$ Voltios, $V_{CE \text{ saturación}} = 0.2$ Voltios, $V_{BE \text{ saturación}} = 0.8$ Voltios,



a) *Zona de corte*

La condición de corte ocurre cuando $V_i < V_f$; en este caso cuando $V_i < 0,7$ v

b) y c) Aquí vamos a ver para que tensión V_{BB} estará en saturación, luego entre el valor de corte y saturación estará la zona activa.

Si $I_{Csat} \leq \beta \cdot I_{Bsat}$ el dispositivo está en saturación en caso contrario en la zona activa.

$$I_{Csat} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_C} = \frac{10 - 0.2}{1} = 9.8mA$$

$$I_{Bsat} = \frac{V_{BB} - V_{BEsat}}{R_B} = \frac{V_{BB} - 0.8}{50}$$

$$\text{Luego tenemos } 9.8 \leq \frac{V_{BB} - 0.8}{50} \cdot 60 \quad V_{BB} \geq \frac{9.8 \cdot 50}{60} + 0.8 = 8.97 \text{ voltios}$$

Entonces para $0.7 \leq V_{BB} \leq 8.97 \text{ Voltios}$ el transistor estará en zona activa.

$V_{BB} \geq 8.97 \text{ voltios}$ el transistor estará en saturación.

d) En este caso la zona de corte no varía, solo varían las zonas de saturación y activa. Calcularemos la zona de saturación para saber la zona activa.

$$I_{Csat} \leq \beta \cdot I_{Bsat} \quad \text{zona de saturación}$$

$$I_{Csat} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_C} = \frac{10 - 0.2}{1} = 9.8mA$$

$$I_{Bsat} = \frac{V_{BB} - V_{BEsat}}{R_B} = \frac{5 - 0.8}{R_B}$$

$$9.8 \leq \frac{5 - 0.8}{R_B} = \frac{4.2}{R_B} \cdot 60$$

$$R_B \leq \frac{4.2}{9.8} \cdot 60 = 25.71K.$$

Luego cuando R_B sea mayor que 27,71 K el transistor va a estar en la zona activa.

e) En este caso la zona de corte no varía solo varían las zonas de saturación y activa. Calcularemos la zona de saturación..

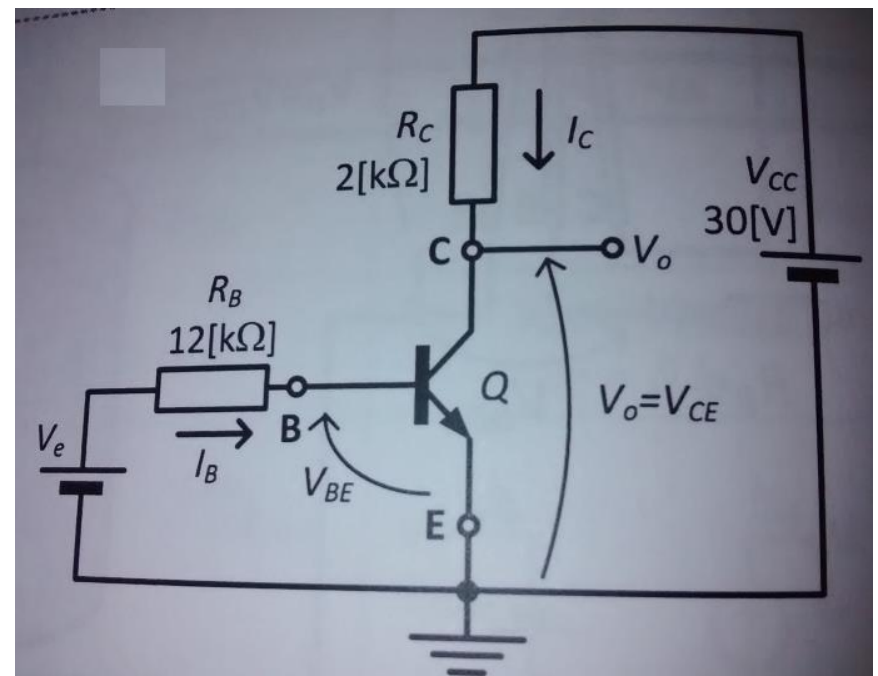
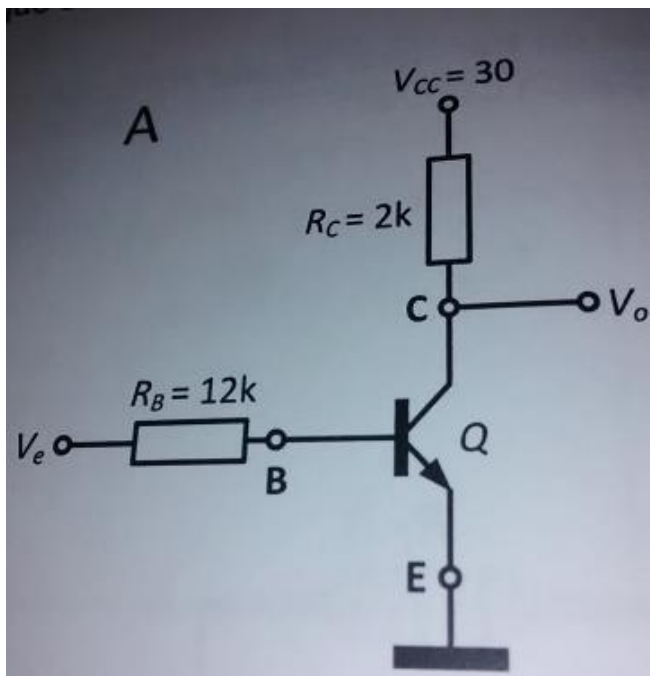
$$I_{Csat} \leq \beta \cdot I_{Bsat} \quad \text{zona de saturación}$$

$$I_{Csat} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_C} = \frac{10 - 0.2}{R_C} = \frac{9.8}{R_C} ; \quad I_{Bsat} = \frac{V_{BB} - V_{BEsat}}{R_B} = \frac{5 - 0.8}{50} = 0.084mA$$

$$\frac{9.8}{R_C} \leq 0.084 \cdot 60 ; \quad R_C \geq \frac{9.8}{5.04} = 1.94k\Omega$$

Luego cuando $R_C \leq 1.94K\Omega$ el transistor estará en la zona activa.

Para la figura, Q es un transistor bipolar NPN con una $\beta = 50$, Calcular V_o para
 $V_e = 0 \text{ v}$
 $V_e = 3 \text{ v}$
 $V_e = 12 \text{ v}$



En la practica el comportamiento del transistor para V_{be} se tiene los siguientes casos:

1. Si $V_{be} < V_{beY} = 0,5 \text{ v}$, Q esta en corte (No conduce); $I_b = I_c = 0$; V_{beY} = Tensión de umbral.
2. Si $V_{be} > V_{beY} = 0,5 \text{ v}$; el transistor esta conduciendo, $I_b \neq 0$ e $I_c \neq 0$; en este caso puede estar en dos zonas:
 - a. Zona activa. $V_{be} = V_{beAct} = 0.7 \text{ v}$, $i_c = \beta i_b$, Ganancia de corriente, Adicional
 $V_{ce} \geq V_{ceSat}$ $V_{cesat} = 0.2 \text{ v}$
 - b. Zona saturación. $V_{be} = V_{be sat} = 0.8 \text{ v}$, $V_{ce} = V_{cesat} = 0.2 \text{ v}$, $I_{c sat} \leq \beta I_{b sat}$

Para $V_e = 0 \text{ v}$

$$V_e - I_b * R_b - V_{be} = 0$$

Si $V_e = 0 \rightarrow I_b = 0$, $V_{be} = 0 \text{ v}$; cumpliendo $V_{be} < V_{beY} = 0,5 \text{ v}$, Q esta en corte
 $I_c = 0$

$$V_{cc} - I_c * R_c - V_{ce} = 0 ; \quad V_{cc} = V_{ce} = V_o = 30\text{v}$$

$$V_e = 3 \text{ v}$$

Para este caso $V_{be} = V_e = 3 \text{ v} > V_{beY} > 0.5 \text{ v}$

esta condición tiene a Q en conducción en una de las dos zonas

Supongamos que Q esta en la zona activa, reemplazamos el Q por el equivalente de la zona activa.

En la zona activa $V_{be} = V_{beAct} = 0.7 \text{ v}$

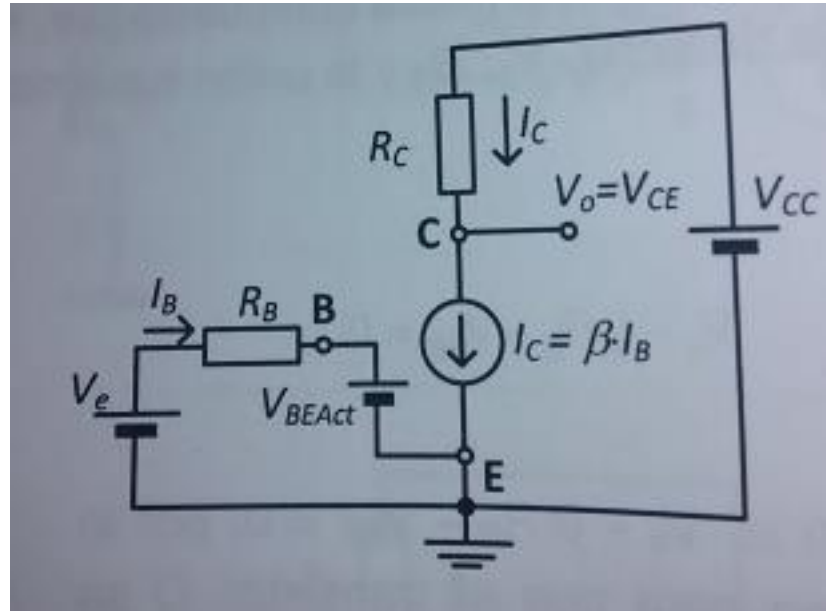
$$V_e - I_b \cdot R_b - V_{be} = 0$$

$$I_b = \frac{3 - 0.7}{12000} = 0.192 \text{ mA}$$

$$I_c = \beta I_b ; I_c = 50 \cdot 0.192 \text{ mA} = 9.58 \text{ mA}$$

$$V_{cc} - I_c \cdot R_c - V_{ce} = 0$$

$$V_{ce} = 30 - 9.58 \cdot 2 = 10.8 \text{ v}$$



Ahora corroboramos si esta o no en esta zona

$$V_{ce} > V_{cesat} = 0.2 \text{ v}$$

$10.8 \text{ v} > 0.2 \text{ v}$ Cumpliendo la condición.

$$V_e = 12 \text{ v}$$

Para este caso $V_{be} = V_e = 12 \text{ v} > V_{beY} > 0.5 \text{ v}$

esta condición tiene a Q en conducción en una de las dos zonas

Supongamos que Q esta en la zona activa, reemplazamos el Q por el equivalente de la zona activa.

$$V_e - I_b \cdot R_b - V_{be} = 0 ; I_b = 12 - 0.7 / 12000 = 0,941 \text{ mA}$$

$$I_c = \beta I_b ; I_c = 50 \cdot 0,941 \text{ mA} = 47,08 \text{ mA}$$

$$V_{cc} - I_c \cdot R_c - V_{ce} = 0 ; V_{ce} = 30 - 47,08 \cdot 2 = -64,16 \text{ v}$$

Ahora corroboramos si esta o no en esta zona $V_{ce} > V_{cesat} = 0.2 \text{ v}$

$-64,16 \text{ v} \geq 0.2 \text{ v}$ No Cumpliendo la condición, el Q esta en la zona de Saturación

En Saturación $V_{ce} = V_{ceSat} = 0.2 \text{ v}$

$$V_{cc} - I_c \cdot R_c - V_{ce} = 0$$

$$I_{csat} = 14,9 \text{ mA}$$

Como esta en saturación debo recalcular I_{bSat} ya que $V_{beSat} = 0,8 \text{ v}$

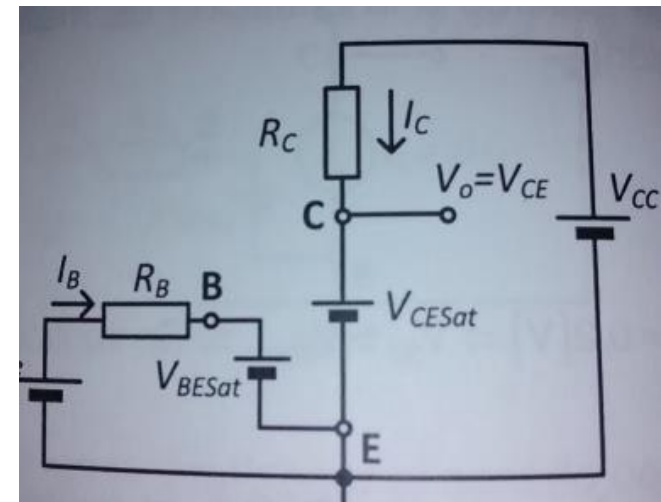
$$V_e - I_b \cdot R_b - V_{be} = 0 ; I_b = 12 - 0.8 / 12000 = 0,933 \text{ mA}$$

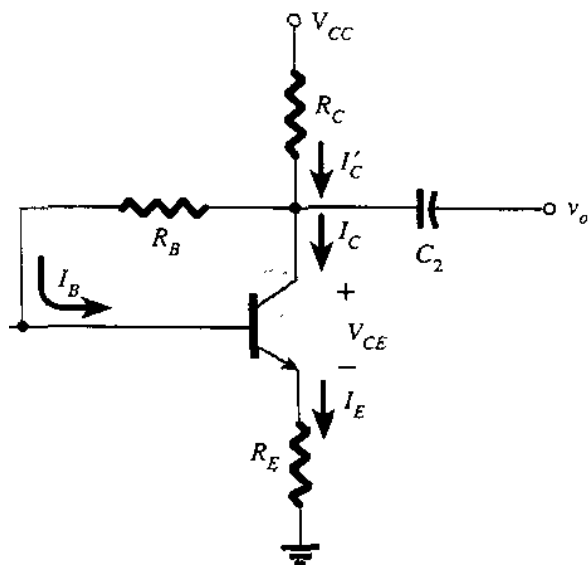
Ahora comprobamos la condición $I_c \leq \beta I_b$

$$14,9 \text{ mA} \leq 50 \cdot 0,933 \text{ mA}$$

$$14,9 \text{ mA} \leq 46,65 \text{ mA} \text{ Si cumple con la zona de Saturación}$$

$$V_o = V_{ce} = 0,2 \text{ v}$$





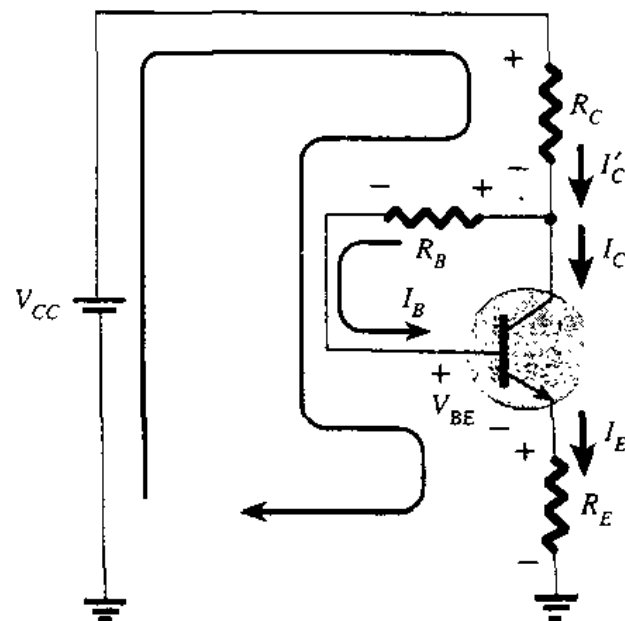
I_C e I_C' supera por mucho el nivel normal de I_B

$$I_C' \cong I_C = \beta I_B \text{ e } I_E \cong I_C$$

$$V_{CC} - \beta I_B R_C - I_B R_B - V_{BE} - \beta I_B R_E = 0$$

$$V_{CC} - V_{BE} - \beta I_B (R_C + R_E) - I_B R_B = 0$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)}$$



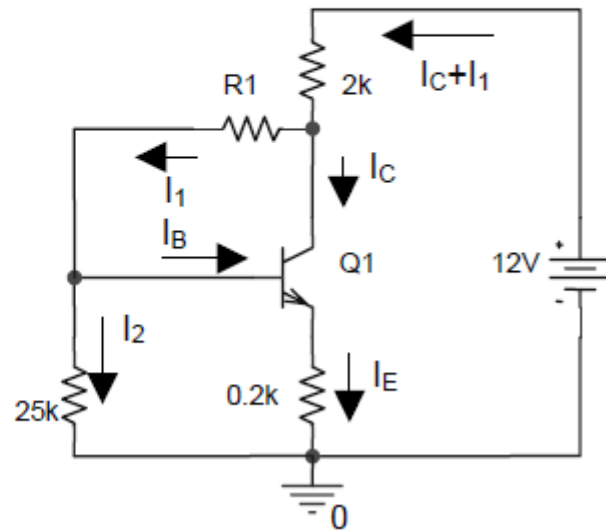
La malla colector-emisor

$$I_E R_E + V_{CE} + I_C' R_C - V_{CC} = 0$$

$$I_C (R_C + R_E) + V_{CE} - V_{CC} = 0$$

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

1.2.- En el circuito de la figura si $\alpha = 0.98$ y $V_{BE} = 0.7$ Voltios, calcular el valor de la resistencia R_1 , para una corriente de emisor 2 mA



$$R_1 = \frac{V_C - V_B}{I_1}$$

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

$$I_B = I_E - I_C = 2 - 1.96 = 0.04\text{mA}$$

$$V_B = V_{BE} + I_E \cdot R_E = 0.7 + 2 \cdot 0.2 = 1.1\text{Voltios} \quad I_2 = \frac{V_B}{25} = \frac{1.1}{25} = 0.044\text{mA}$$

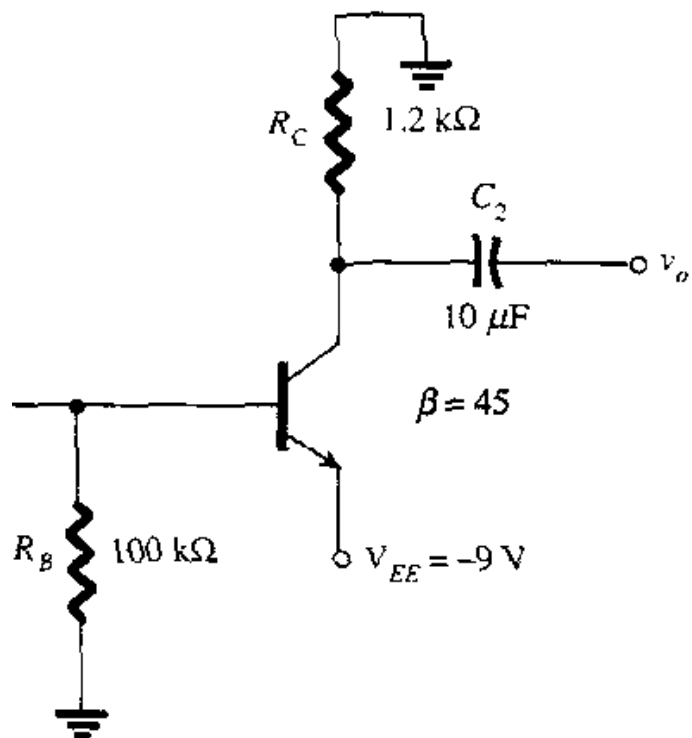
$$I_1 = I_B + I_2 = 0.04 + 0.044 = 0.084\text{mA}$$

$$V_C = V_{CC} - (I_C + I_1) \cdot 2 = 12 - (1.96 + 0.084) \cdot 2 = 7.912\text{Voltios}$$

$$R_1 = \frac{V_C - V_B}{I_1} = \frac{7.912 - 1.1}{0.084} = 81.1\text{K}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 7.912 - 2 \cdot 0.2 = 7.512\text{ Voltios}$$

el transistor está en la zona activa por tener $V_{CE} > 0.2\text{ V}$

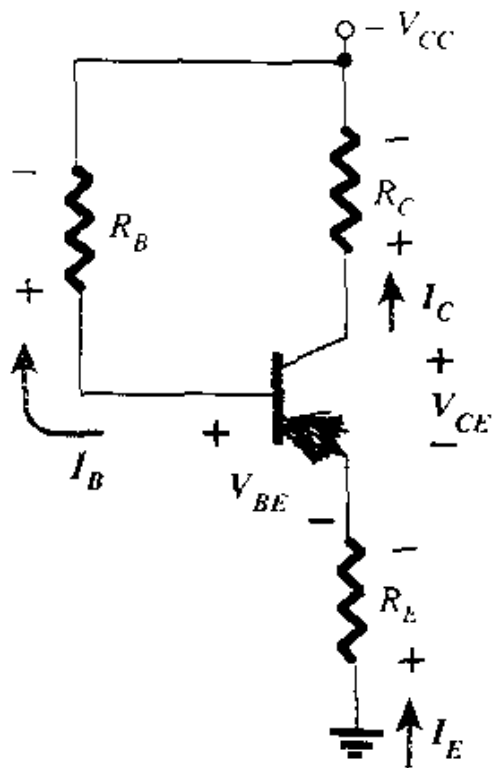


$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_B} = \frac{9 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{100 \text{ k}\Omega} = 83 \text{ }\mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B = (45)(83 \text{ }\mu\text{A}) = 3.735 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned} V_C &= -I_C R_C \\ &= -(3.735 \text{ mA})(1.2 \text{ k}\Omega) \\ &= -4.48 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_B &= -I_B R_B \\ &= -(83 \text{ }\mu\text{A})(100 \text{ k}\Omega) \\ &= -8.3 \text{ V} \end{aligned}$$

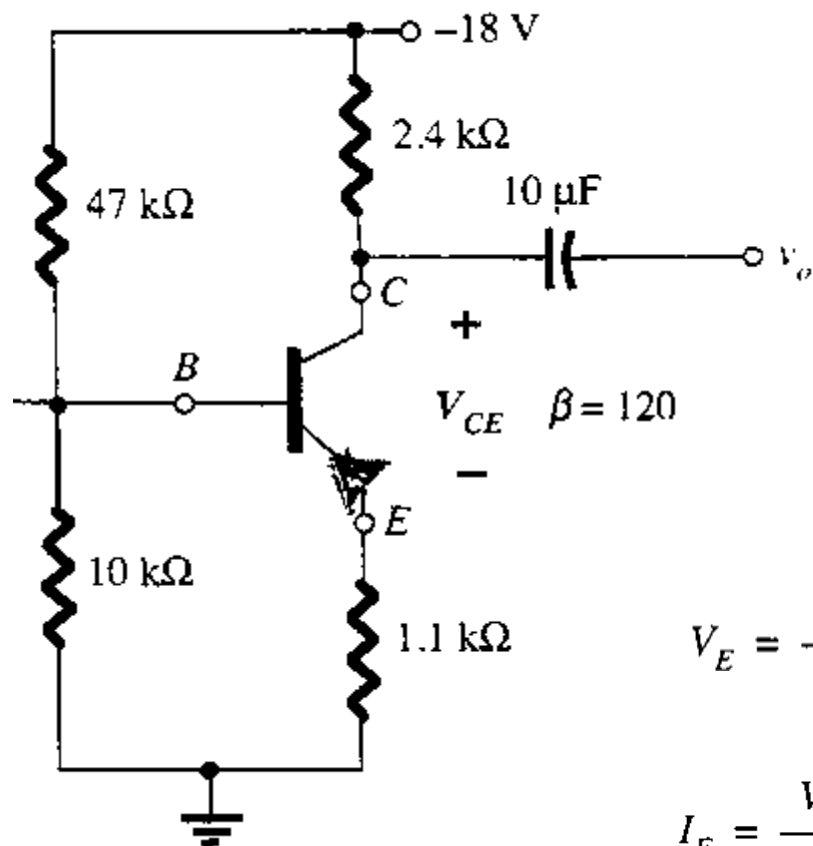


$$-I_E R_E + V_{BE} - I_B R_B + V_{CC} = 0$$

$$I_B = \frac{V_{CC} + V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}$$

$$-I_E R_E + V_{CE} - I_C R_C + V_{CC} = 0$$

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



$$V_B = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{(10 \text{ k}\Omega)(-18 \text{ V})}{47 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} = -3.16 \text{ V}$$

$$+V_B - V_{BE} - V_E = 0$$

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

$$V_E = -3.16 \text{ V} - (-0.7 \text{ V}) = -2.46 \text{ V}$$

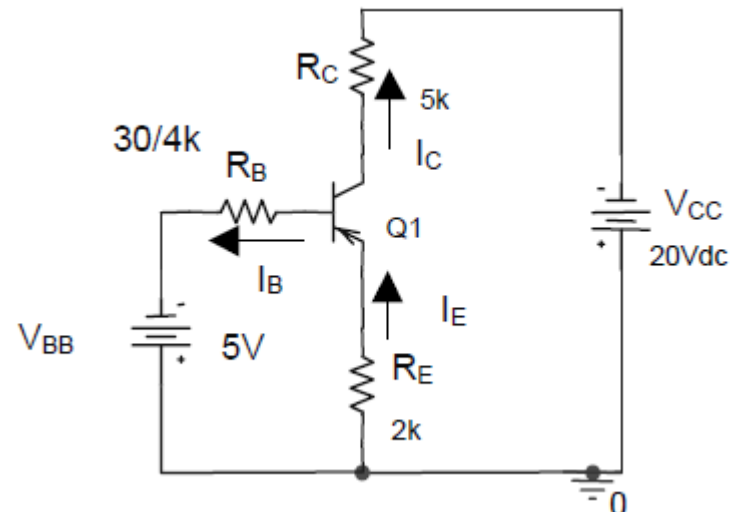
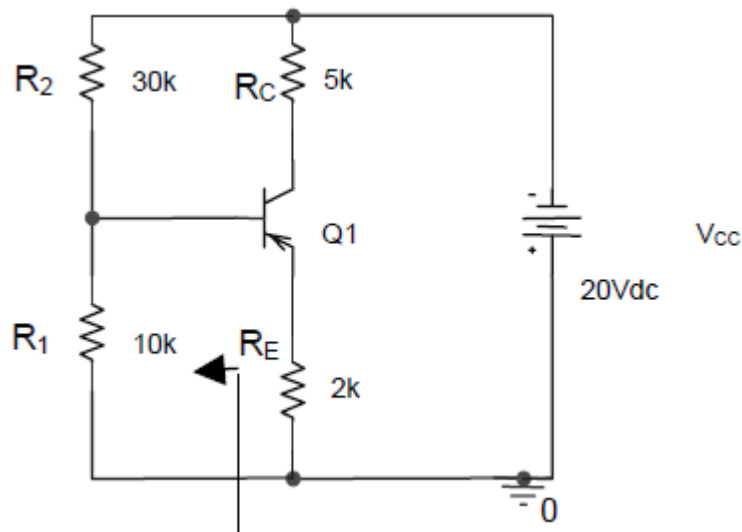
$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{2.46 \text{ V}}{1.1 \text{ k}\Omega} = 2.24 \text{ mA}$$

$$-I_E R_E + V_{CE} - I_C R_C + V_{CC} = 0$$

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

$$= -18 \text{ V} + (2.24 \text{ mA})(2.4 \text{ k}\Omega + 1.1 \text{ k}\Omega) = -10.16 \text{ V}$$

3.2.- El circuito de la figura con un transistor PNP tiene un $\beta = 100$, $V_{BE} = -0.7V$. Calcular todas las intensidades y tensiones en los diferentes puntos.



Lo primero que hay que hacer es el thevenin, desde la base del transistor hacia la izquierda, quedando el circuito de la figura de la derecha:

$$V_{BB} = \frac{V_{CC} \cdot R_1}{R_1 + R_2} = \frac{20 \cdot 10}{10 + 30} = 5V$$

$$R_{BB} = \frac{R_2 \cdot R_1}{R_1 + R_2} = \frac{30 \cdot 10}{10 + 30} = \frac{30}{4} K\Omega.$$

$V_{BB} = I_B \cdot R_B + I_E \cdot R_E - V_{BE} = I_B \cdot R_B + (\beta + 1) \cdot I_B - V_{BE}$ despejando I_B se tiene:

$$I_B = \frac{V_{BB} + V_{BE}}{R_B + (\beta + 1) \cdot R_E} = \frac{5 - 0.7}{\frac{30}{4} + (100 + 1) \cdot 2} = \frac{4.3 \cdot 4}{838} = \frac{8.6}{419} = 0.021 \text{mA}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = \frac{100 \cdot 8.6}{419} = \frac{860}{4.19} = 2.05 \text{mA}$$

$$I_E = (\beta + 1) \cdot I_B = \frac{101 \cdot 8.6}{419} = 2.07 \text{mA}$$

$$V_C = I_C \cdot R_C - V_{CC} = 2.05 \cdot 5 - 20 = -9.75 \text{V}$$

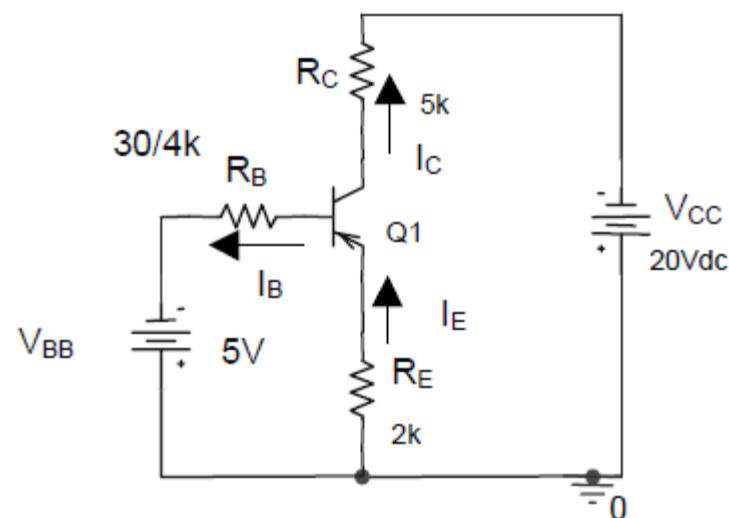
$$V_E = -I_E \cdot R_E = -2.07 \cdot 2 = -4.14 \text{V}$$

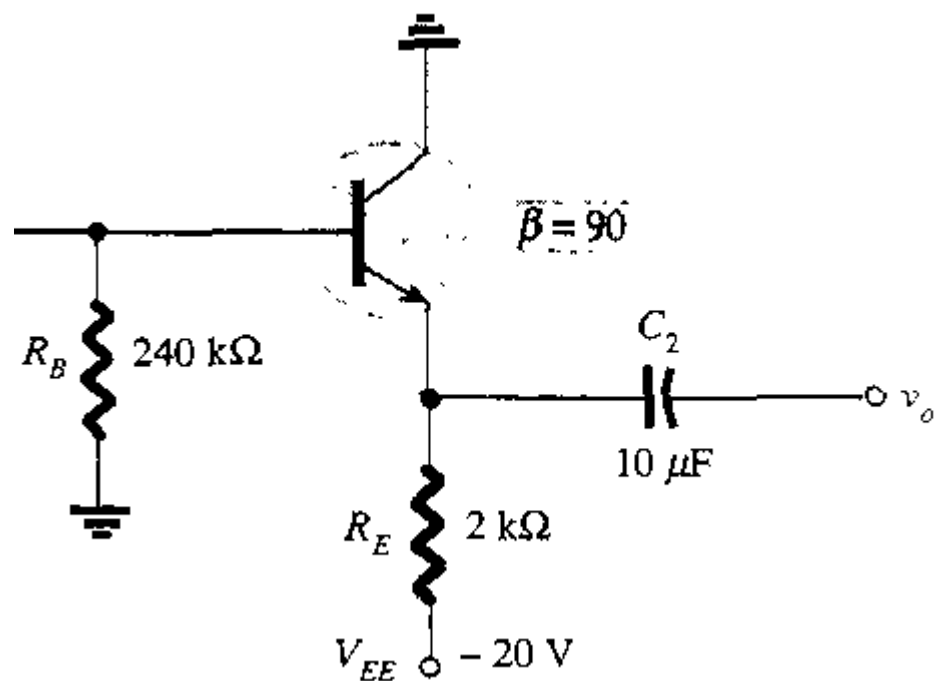
$$V_{CE} = V_C - V_E = -9.75 - (-4.14) = -5.61 \text{V}$$

$$V_B = V_{BE} + V_E = -0.7 - 4.14 = -4.84 \text{V}$$

Para la resistencia R_1 $I_1 = \frac{0 - V_B}{R_1} = \frac{4.84}{10} = 0.48 \text{mA}$.

Para la resistencia R_2 $I_2 = I_1 + I_B = 0.48 + 0.02 = 0.50 \text{mA}$.





$$V_{EE} - V_{BE} - (\beta + 1)I_B R_E - I_B R_B = 0$$

$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}$$

$$= \frac{20 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{240 \text{ k}\Omega + (91)(2 \text{ k}\Omega)} = 45.73 \text{ }\mu\text{A}$$

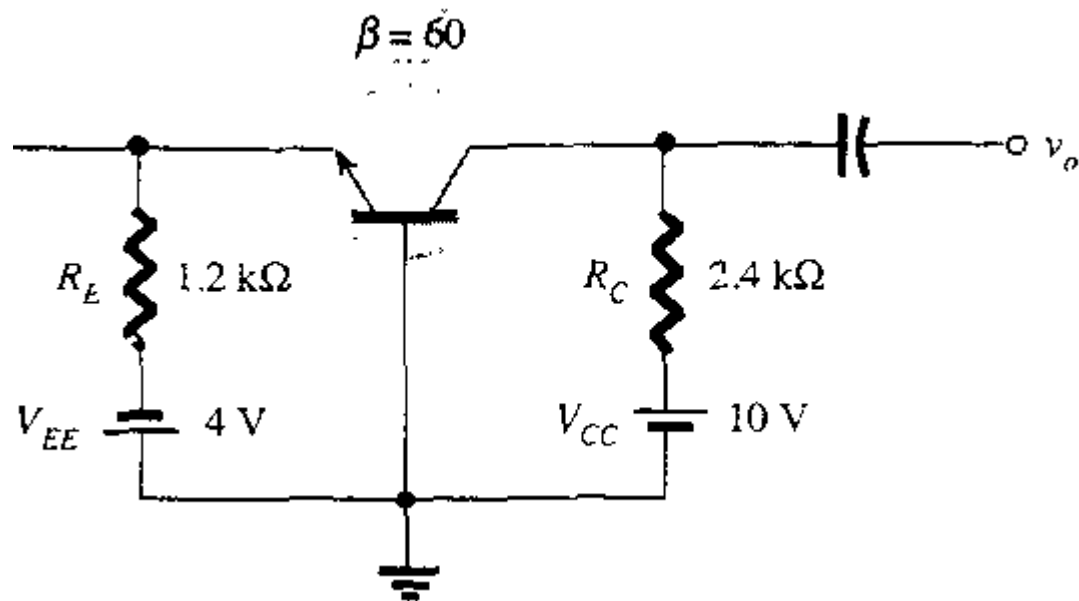
$$I_C = \beta I_B = 4.12 \text{ mA}$$

$$-V_{EE} + I_E R_E + V_{CE} = 0$$

$$V_{CE_Q} = V_{EE} - (\beta + 1)I_B R_E$$

$$= 20 \text{ V} - (91)(45.73 \text{ }\mu\text{A})(2 \text{ k}\Omega)$$

$$= 11.68 \text{ V}$$



$$-V_{EE} + I_E R_E + V_{BE} = 0$$

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E}$$

$$\frac{4 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{1.2 \text{ k}\Omega} = 2.75 \text{ mA}$$

$$-V_{CB} + I_C R_C - V_{CC} = 0$$

$$V_{CB} = V_{CC} - I_C R_C \text{ con } I_C \cong I_E$$

$$= 10 \text{ V} - (2.75 \text{ mA})(2.4 \text{ k}\Omega) = 3.4 \text{ V}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{2.75 \text{ mA}}{60} = 45.8 \text{ }\mu\text{A}$$

Seguidor de corriente BJT (Amplificador de base común)

BJT operando en la región activa

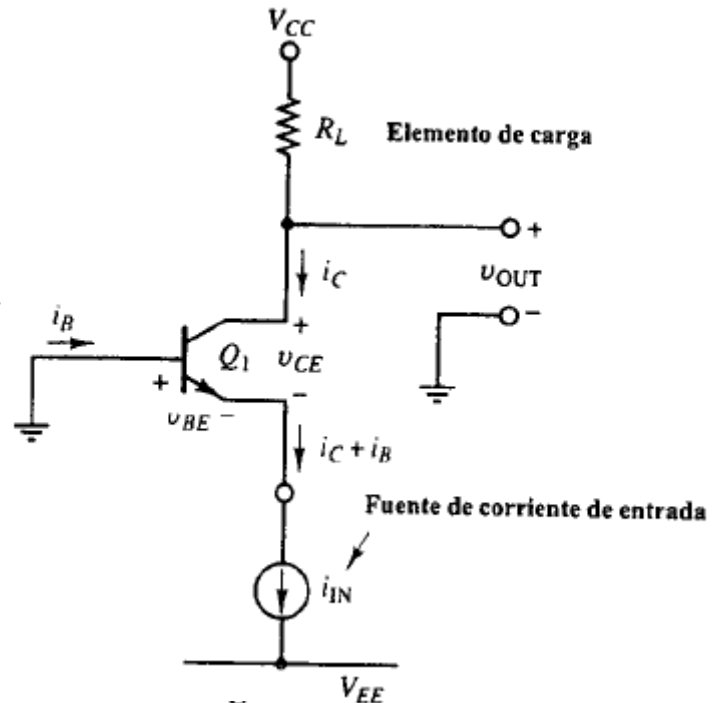
$$i_B = \frac{i_{IN}}{\beta_F + 1}$$

$$i_C = \frac{\beta_F}{\beta_F + 1} i_{IN}$$

$$v_{OUT} = V_{CC} - i_C R_L = V_{CC} - \frac{\beta_F}{\beta_F + 1} R_L i_{IN}$$

Para una β_F grande, la ecuación anterior se simplifica a

$$v_{OUT} \approx V_{CC} - R_L i_{IN}$$



La transición al corte ocurre cuando $i_{IN} = 0$ y está acompañada por la condición

$$v_{OUT} = V_{CC} \text{ (no hay caída de voltaje a través de } R_L \text{).}$$

BJT operando en la región de saturación

$$v_{OUT} = -V_f + V_{sat}$$

$$v_{CE} = V_{sat}$$

$$V_f + V_{IN} + V_{EE} = 0 ; V_{EE} \ll V_f$$

$$V_{IN} = -V_f$$

$$-V_{IN} - V_{sat} + V_{out} = 0$$

El valor de v_{IN} correspondiente a la entrada en saturación puede determinarse combinando las ecuaciones

$$v_{OUT} = V_{CC} - i_C R_L = V_{CC} - \frac{\beta_F}{\beta_F + 1} R_L i_{IN} \quad v_{OUT} = -V_f + V_{sat}$$

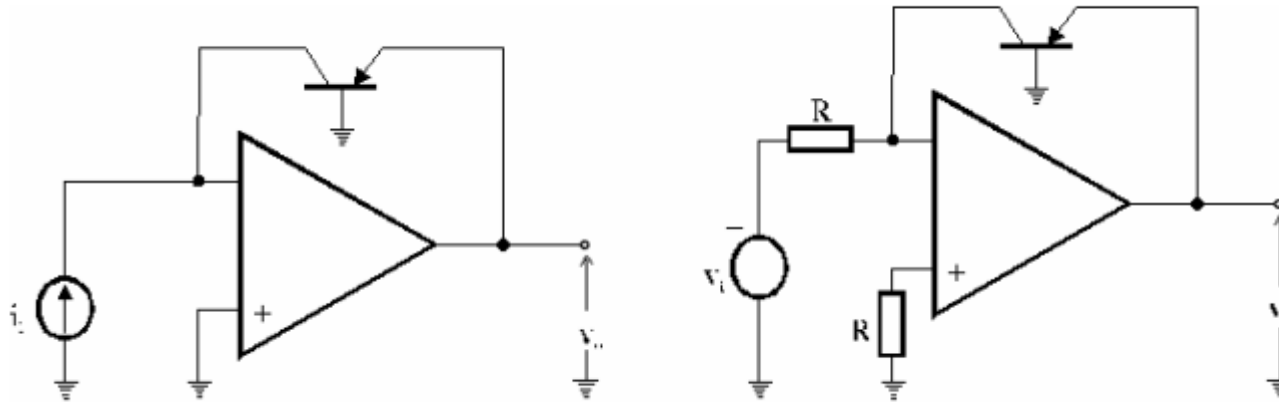
$$V_{sat} - V_f = V_{CC} - \frac{\beta_F}{\beta_F + 1} R_L i_{IN-sat}$$

$$i_{IN-sat} = \frac{V_{CC} - V_{sat} + V_f}{R_L} \frac{\beta_F + 1}{\beta_F}$$

$$i_C = \frac{\beta_F}{\beta_F + 1} i_{IN}$$

$$i_{C-sat} = \frac{\beta_F}{\beta_F + 1} i_{IN-sat} = \frac{V_{CC} - V_{sat} + V_f}{R_L}$$

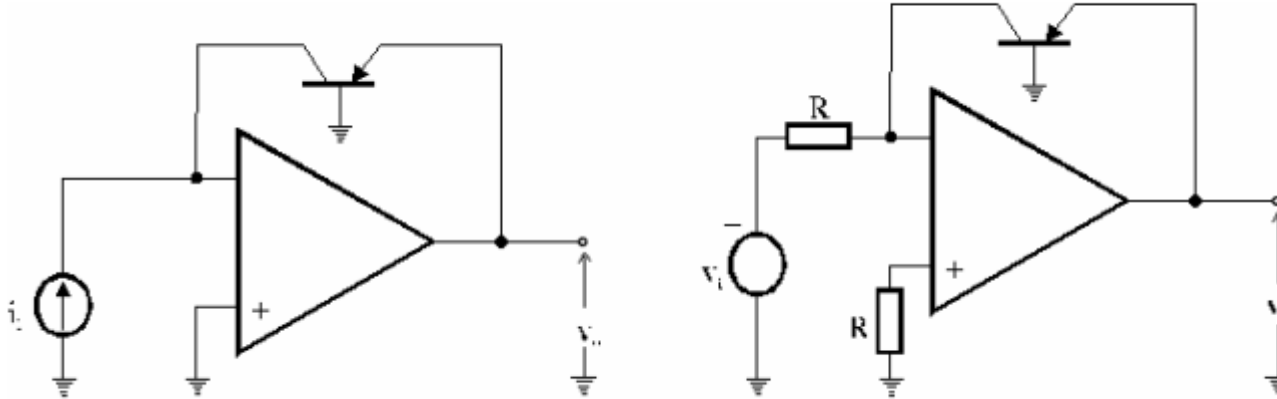
AMPLIFICADOR LOGARÍTMICO



En la figura se muestra el amplificador logarítmico básico, basado en las características del transistor bipolar. a este circuito se le suele llamar configuración transdiodo.

La salida es siempre v_{be} , y el bucle de realimentación de alta ganancia introducido a través del amplificador operacional, obliga que la intensidad de colector en el transistor sea igual que la intensidad de entrada.

AMPLIFICADOR LOGARÍTMICO



$$I_e = I_b + I_c \quad I_b = 0, \quad I_e = I_d \text{ diodo}$$

$$I_e = I_c$$

AN Vn

$$-I_i - I_c = 0$$

$$-I_i = I_s [\exp(v_o/n \cdot V_T) - 1]$$

$$-(I_i / I_s) + 1 = \exp(v_o/n \cdot V_T)$$

$$-\text{Logn}(I_i / I_s) + 1 = \text{Logn} \exp(v_o/n \cdot V_T)$$

$$-n \cdot V_T \cdot \text{Logn}[(I_i / I_s) + 1] = V_o$$

$$\begin{aligned} I_d &= I_s [\exp(v_d/n \cdot V_T) - 1] \\ &= I_s [\exp(v_o/n \cdot V_T) - 1] \end{aligned}$$

$$0 - v_o + v_{be} = 0$$

$$V_o = v_{be}$$

Amplificador Exponencial (Antilogarítmico)

$$I_e = I_b + I_c \quad I_b = 0, \quad I_e = I_d \text{ diodo}$$

$$I_e = I_c$$

$$0 - V_o + V_{be} = 0$$

$$V_o = V_{be}$$

$$\begin{aligned} I_d &= I_s [\exp(V_d / n V_T) - 1] \\ &= I_s [\exp(V_o / n V_T) - 1] \end{aligned}$$

AN V_n

$$-I_c - (V_n - V_o) / R_1 = 0$$

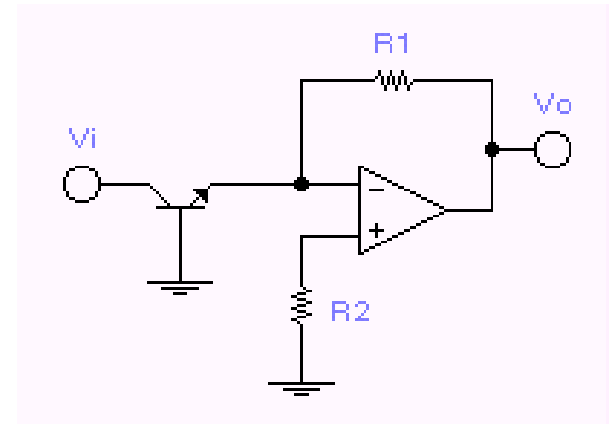
$$-I_c - (0 - V_o) / R_1 = 0$$

$$-I_c - V_o / R_1 = 0$$

$$-I_c R_1 = V_o$$

$$-I_s [\exp(V_o / n V_T) - 1] R_1 = V_o$$

$$V_o = -R_1 I_s [\exp(V_o / n V_T) - 1]$$



EFFECTO EARLY

Una vez polarizado el transistor en su zona de funcionamiento se pueden producir variaciones no deseadas de las corrientes en el mismo debidas a variaciones en la tensión colector-base. Estas variaciones de corriente son consecuencia de la modulación de la anchura de la base, también conocida como Efecto Early.

FENÓMENOS DE AVALANCHA Y PERFORACIÓN

El transistor bipolar, como cualquier dispositivo en cuya estructura existan uniones PN polarizadas, tiene unas limitaciones físicas de funcionamiento debidas a los fenómenos de avalancha que se pueden producir al aplicar tensiones elevadas a las uniones.

CONSIDERACIONES SOBRE POTENCIA

La potencia disipada por cualquier componente viene dada por la ecuación: $P = V \cdot I$

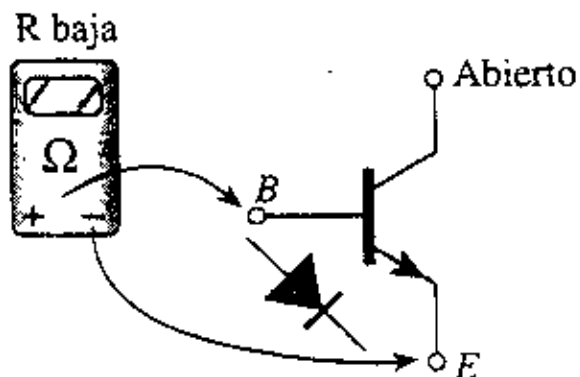
en el caso particular de un transistor bipolar

$$P = V_{CE} \cdot I_C$$

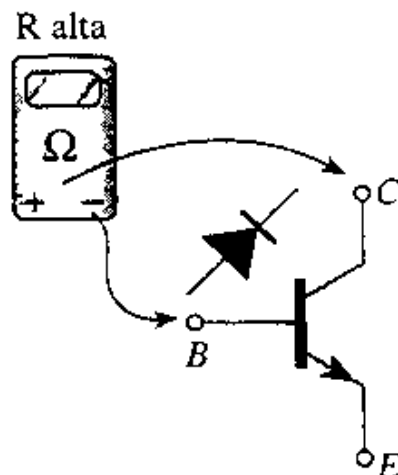
PRUEBA DE TRANSISTORES

Medidores digitales avanzados

Óhmetro



lectura que, por lo regular, caerá en el rango de $100\ \Omega$ a unos cuantos kilohms.



lectura que suele exceder los $100\ \text{k}\Omega$.

TRABAJO GRUPAL BJT

Inversor BJT pág. 368 libro guía, ejercicios 6.1 al 6.24. Debe entregar 2

Seguidor de voltaje BJT pág. 374 libro guía, ejercicios 6.60 al 6.80. Debe entregar 2

Seguidor de corriente BJT pág. 379 libro guía, ejercicios 6.94 al 101 entregar 2

Configuración Cascode BJT pág. 380 libro guía ejercicios 6.102 al 6.106 entregar 2

Circuitos de polarización estabilizando emisor pág. 207 libro complementario, ejercicios del 6 y 9. Entrega 2. **Circuitos de polarización por divisor de voltaje** pág. 208 libro complementario, ejercicios del 12 al 14. Entrega 2.

Polarización por retroalimentación de voltaje pág. 209 libro complementario, ejercicios del 22 y 23. Entrega todos. **Diversas configuraciones** pág. 210 libro complementario, ejercicios del 27 al 31. Entrega todos.

Operación de diseño pág.. 210 libro complementario, ejercicios del 32 al 35. Entrega todos. **Transistores PNP** pág. 213 libro complementario, ejercicios del 44 al 46. Entrega todos.