



TEMA 3

TRANSISTORES DE UNION BIPOLAR (BJT)

Profesores:

Germán Villalba Madrid

Miguel A. Zamora Izquierdo

Departamento de Ingeniería de la Información y Comunicaciones
Universidad de Murcia

CONTENIDO

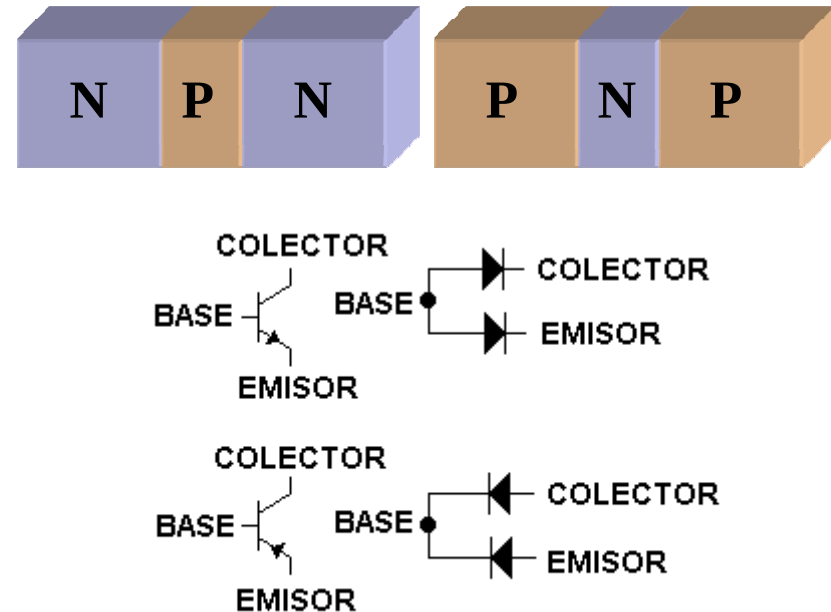
- Introducción
- El transistor de unión bipolar (BJT)
- Configuraciones del transistor BJT.
- Definición de los estados del transistor BJT.
- Configuración del BJT en Emisor Común.
- Circuitos de polarización. Rectas de carga estática.
- El BJT en conmutación.

INTRODUCCION

- BJT (Bipolar Junction Transistor)
- Los transistores de unión bipolares, son dispositivos de estado sólido de tres terminales, núcleo de circuitos de conmutación y procesamiento de señal.
- El transistor se ha convertido en el dispositivo más empleado en electrónica, a la vez que se han ido incrementando sus capacidades de manejar potencias y frecuencias elevadas, con gran fiabilidad. (No existe desgaste por partes móviles).
- Los transistores son dispositivos activos con características altamente no lineales.
- **Efecto Transistor:** el transistor es un dispositivo cuya resistencia interna puede variar en función de la señal de entrada. Esta variación de resistencia provoca que sea capaz de regular la corriente que circula por el circuito al que está conectado. (Transfer Resistor).

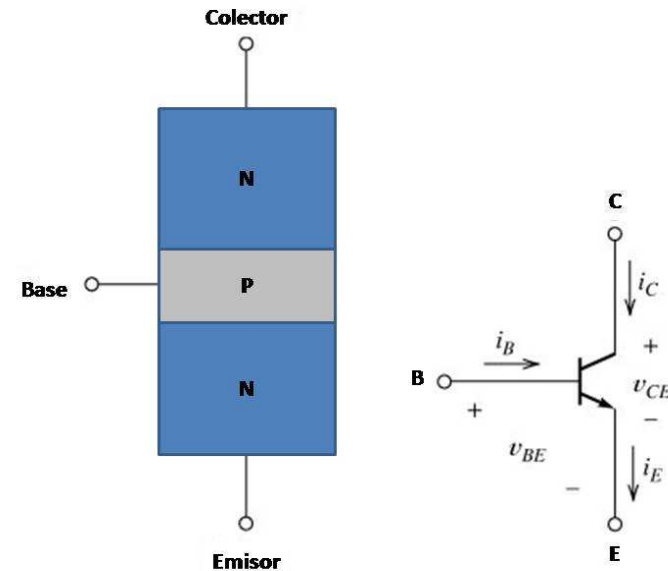
CONSTITUCION INTERNA DE UN BJT

- Es un dispositivo de tres terminales, equivalente a dos diodos PN unidos en sentido opuesto. (Emisor, Base y Colector)
- En función de la situación de las uniones, existen dos tipos: NPN y PNP.
- La unión correspondiente a la Base-Emisor, se polariza en directa; y la Base-Colector en inversa. Así, por la unión Base-Colector circula una corriente inversa.
- En npn, la región de emisor tiene mayor dopaje que la base. Al polarizar la unión Base-Emisor en directa, y la Base-Colector en inversa, los electrones libres que proceden del emisor llegan a la base, con mucho menor número de huecos, por lo que son atraídos por el colector (con alta concentración de impurezas).

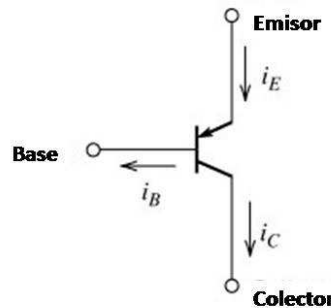
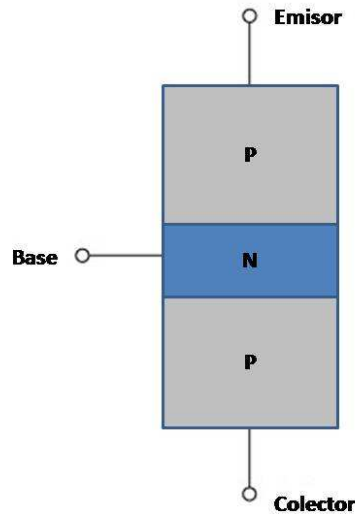


TRANSISTOR BIPOLAR npn

- Está formado por una capa fina tipo p entre dos capas n, contenidas en un mismo cristal semiconductor de germanio o silicio, presentando las tres zonas mencionadas (E, B, C).
- El emisor emite portadores de carga hacia el interior de la base.
- En la base se gobiernan dichos portadores.
- En el colector se recogen los portadores que no puede acaparar la base.
- Unión emisor: es la unión pn entre la base y el emisor.
- Unión colector: es la unión pn entre la base y colector.
- Cada una de las zonas está impurificada en mayor o menor grado. La base 100 veces menos que el colector o emisor.
- La base tiene menor tamaño, después el emisor y a 2 veces de espesor el colector.

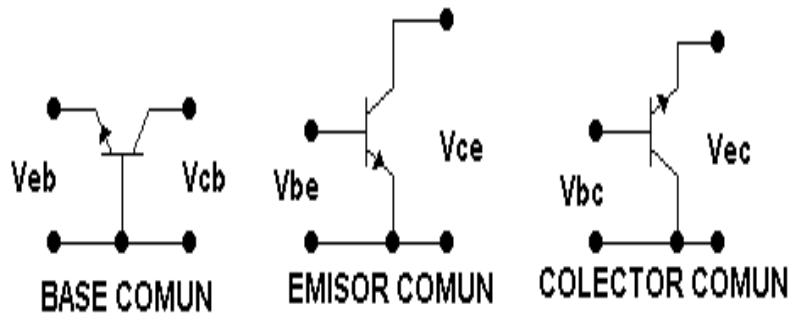


TRANSISTOR BIPOLAR pnp



- El BJT pnp está formado también por un cristal semiconductor con tres regiones definidas por el tipo de impurezas.
 - Las tensiones de continua aplicadas son opuestas a las del npn.
 - Las corrientes fluyen en sentido contrario al del npn.
 - Por lo demás, este dispositivo es similar al npn.
- El BJT pnp desde el emisor emite huecos, controlada por la base. El exceso de huecos que no pueden recombinarse en la base van a parar al colector.

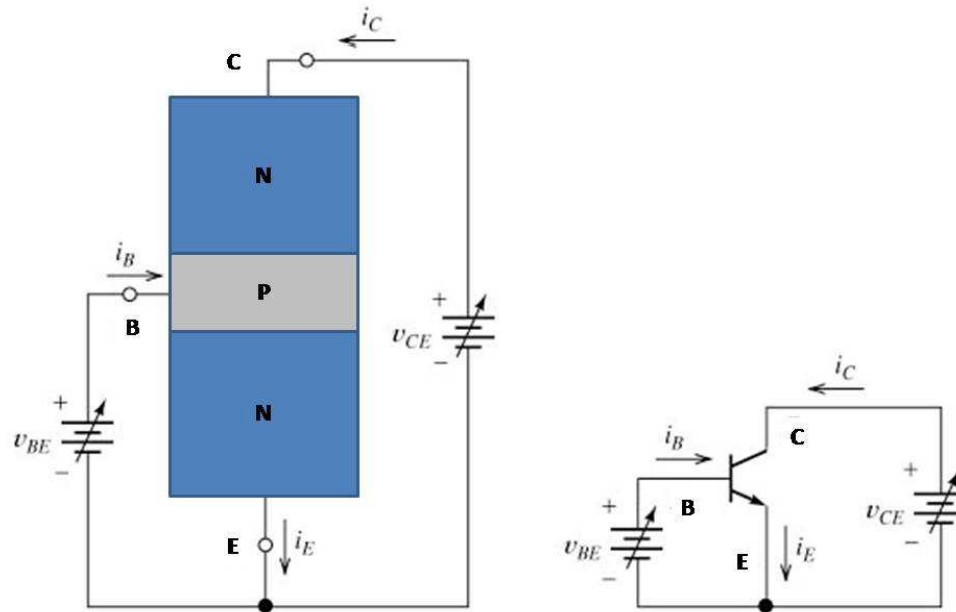
CONFIGURACIONES DEL BJT



- Aunque el transistor posea únicamente tres terminales, se puede realizar su estudio como un **cuadripolo** (dos terminales de entrada y dos de salida) si uno de sus terminales es común a la entrada y salida:
 - Base Común.
 - Emisor Común.
 - Colector Común
- **Base común** (BC): $A_{icc}=1$; R_e pequeña; R_s muy grande.
- **Colector común** (CC): A_{icc} elevada; R_e muy grande; R_s muy pequeña.
- **Emisor común** (EC): A_{icc} elevada; R_e pequeña; R_s grande.
- El montaje EC se aproxima más al amplificador de corriente ideal.
- El montaje BC permite adaptar una fuente de baja resistencia que ataca a una carga de alta resistencia.
- El montaje CC adapta una fuente de alta resistencia de salida a una carga de bajo valor.

FUNCIONAMIENTO BASICO BJT npn

- En el montaje EC de la figura, se polariza directamente la unión Base-Emisor; e inversamente la unión Base-Colector.
- Se polariza el BJT si V_{be} aprox. 0,6 voltios (polarización directa), y $V_{ce} > V_{be}$ (unión base-colector en inversa).
- La corriente de emisor es aquella que pasa por la unión base-emisor polarizada en directa y depende de V_{be} al igual que en un diodo pn.



ECUACIONES DEL DISPOSITIVO

- Aplicando la 1ª Ley de Kirchhoff al BJT:

$$i_E = i_C + i_B$$

- El parámetro α del BJT es el cociente corriente colector y corriente de emisor:

$$\alpha = i_C / i_E$$

- α oscila entre 0,9 y 0,999. Así pues, es el colector quien proporciona la mayor parte de corriente del emisor.
- La unión pn base – emisor cumple la ecuación (Shockley):

$$i_E = I_{ES} \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

- Sustituyendo la corriente de emisor:

$$i_C = \alpha I_{ES} \left(e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

ECUACIONES DEL DISPOSITIVO

- Para una tensión base emisor superior a unas décimas de voltio, la exponencial hace despreciable la unidad del interior del paréntesis.
- Sustituyendo la intensidad de colector utilizando las dos primeras ecuaciones:

$$i_B = (1 - \alpha)i_E$$

- Definiendo β como:

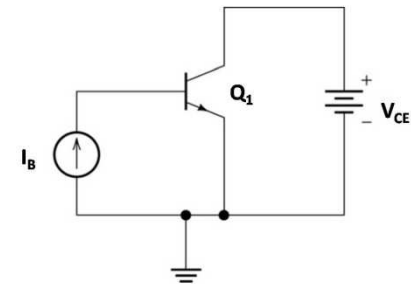
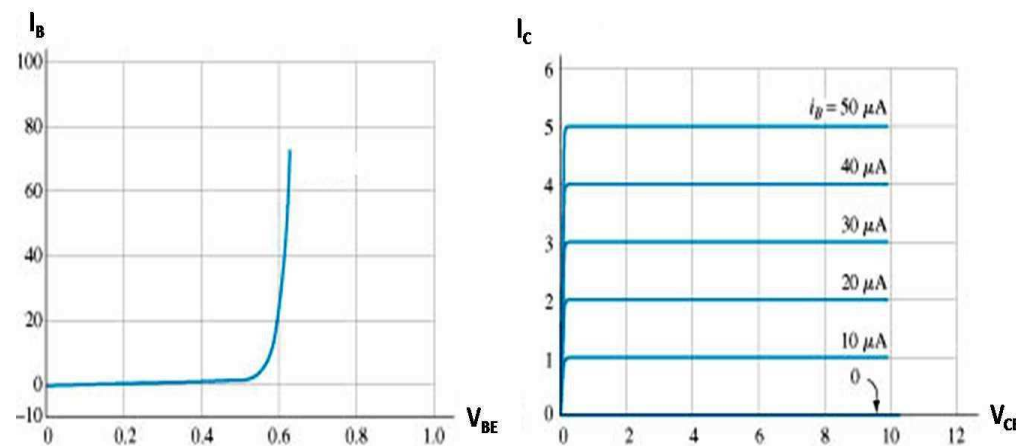
$$\beta = \frac{i_C}{i_B}$$

- La relación entre α y β es:

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

CONFIGURACION DEL BJT EN EMISOR COMUN CURVAS CARACTERISTICAS BASICAS

- El presente circuito permite obtener las curvas de entrada (V_{be} vs. I_b) y de salida (I_c vs. V_{ce}) del BJT en EC.
- Se observa que la característica de entrada, es similar a la del diodo. Así, también disminuirá V_{be} con la temperatura a razón de $2\text{mV}/^\circ\text{K}$.
- Las curvas características de salida muestran la corriente de colector independiente de la V_{ce} , si es mayor de $0,2\text{ v}$.

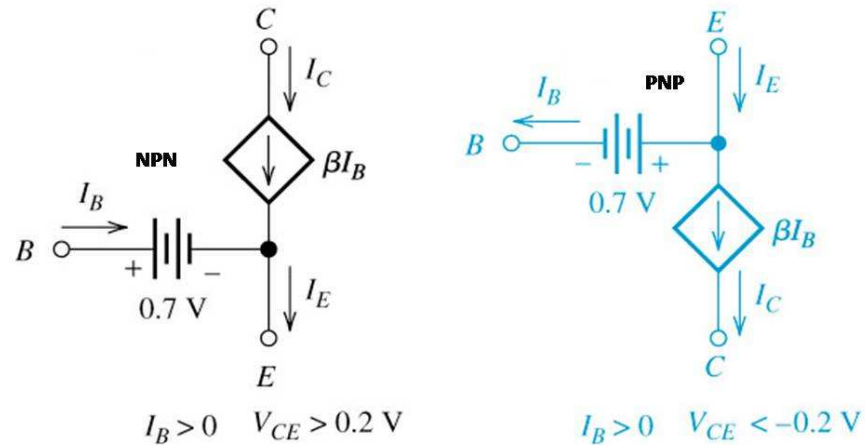


DEFINICION DE LOS MODOS DE TRABAJO DEL BJT

- Según la polarización de cada unión, se obtendrá un modo de trabajo diferente, según la tabla.
- En la región Activa - directa, el BJT se comporta como una fuente controlada. (Amplificación)
- En el modo Corte únicamente circulan las corrientes inversas de saturación de las uniones. Es casi un interruptor abierto.
- En Saturación, la tensión a través de la unión de colector es pequeña, y se puede asemejar a un interruptor cerrado.
- Activo – inverso, no tiene utilidad en amplificación.

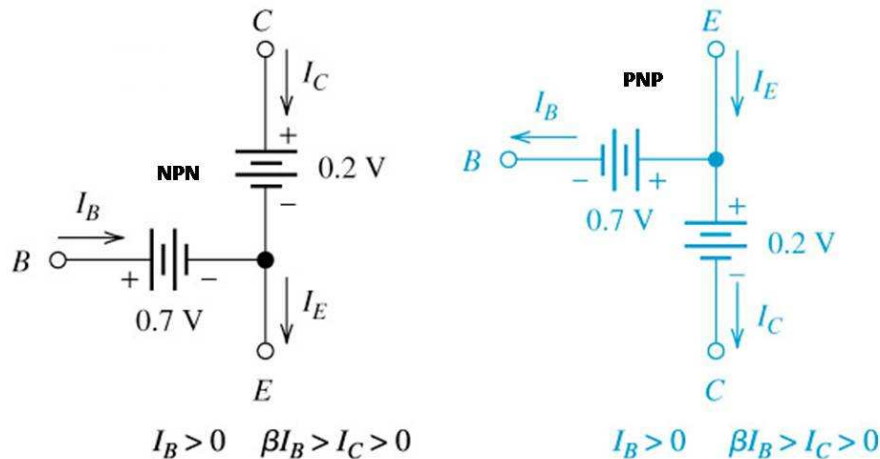
MODO	POLARIZACION DE LA UNION	
	EMISOR - BASE	COLECTOR – BASE
Activo - Directo	Directa	Inversa
Corte	Inversa	Inversa
Saturación	Directa	Directa
Activo - Inverso	Inversa	Directa

MODELOS DE LOS MODOS DE TRABAJO DEL BJT

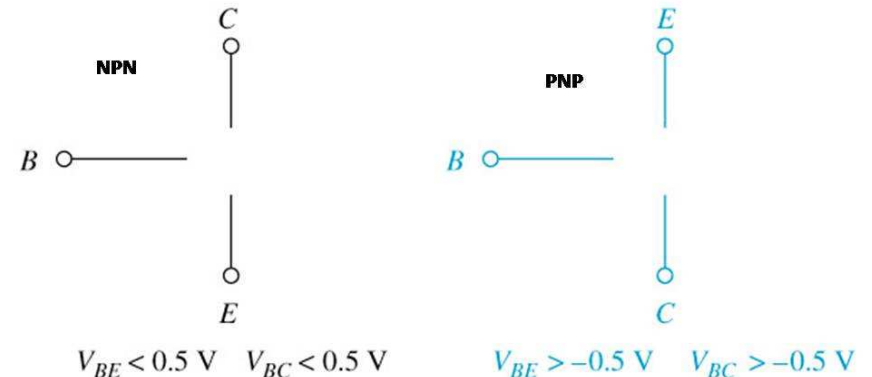


- El transistor BJT se puede sustituir por estos modelos simplificados que facilitan su análisis, según el modo de trabajo en el que se encuentre.

Región activa



Región de saturación



Región de corte

RECTA DE CARGA

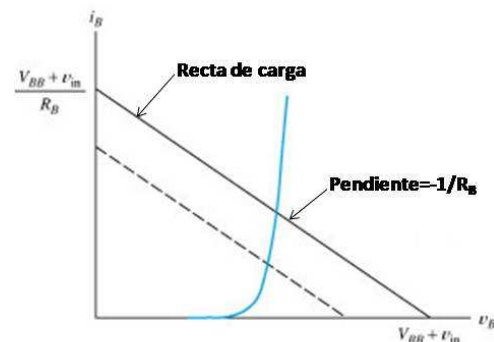
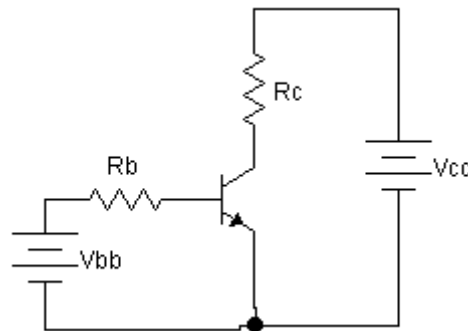
- Al aplicar la 2ª Ley de Kirchhoff a la malla formada por la tensión de alimentación, resistencia de colector, colector y emisor, se obtiene la relación entre la corriente de colector y la tensión colector – emisor, dependiendo de la resistencia de carga (R_C).
- Refleja todos los puntos posibles de funcionamiento que pueden darse cumpliendo la ecuación de malla del colector.
- Para definir la recta de carga, se hallan los dos puntos de intersección de la recta con los ejes.

$$V_{BB} = V_{RB} + v_{BE} = i_B R_B + v_{BE}$$

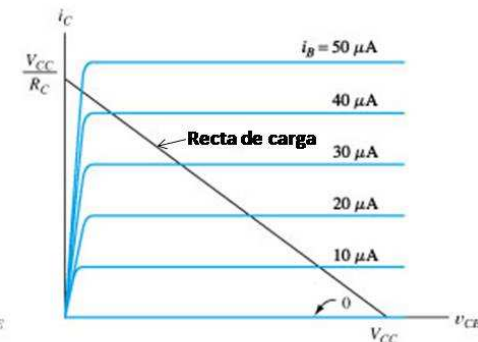
$$\begin{cases} \text{Si } v_{BE} = 0 \Rightarrow i_B = \frac{V_{BB}}{R_B} \\ \text{Si } i_B = 0 \Rightarrow v_{BE} = V_{BB} \end{cases}$$

$$V_{CC} = V_{RC} + v_{CE} = i_C R_C + v_{CE}$$

$$\begin{cases} \text{Si } v_{CE} = 0 \Rightarrow i_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \\ \text{Si } i_C = 0 \Rightarrow v_{CE} = V_{CC} \end{cases}$$



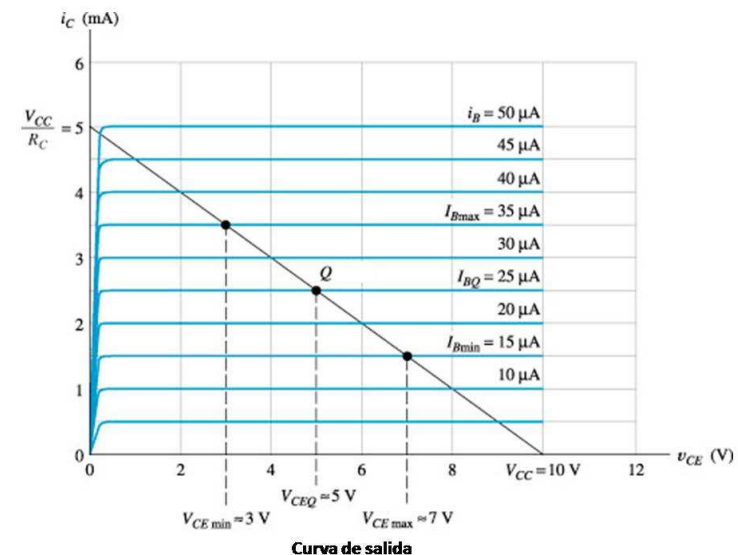
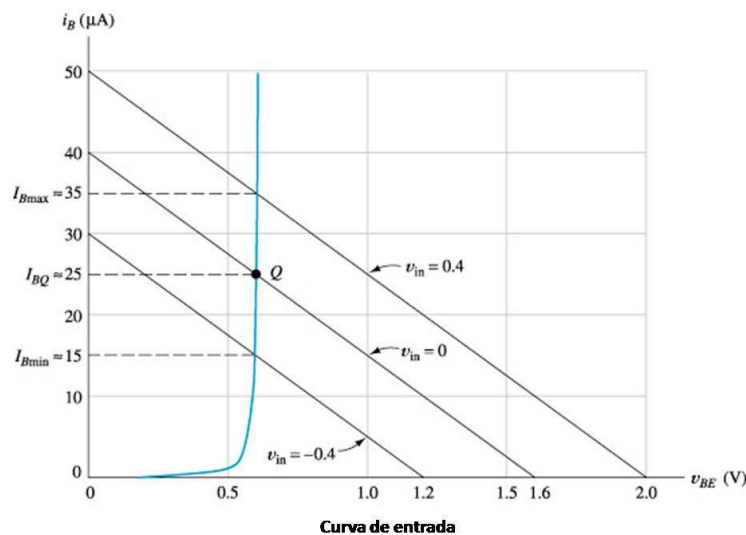
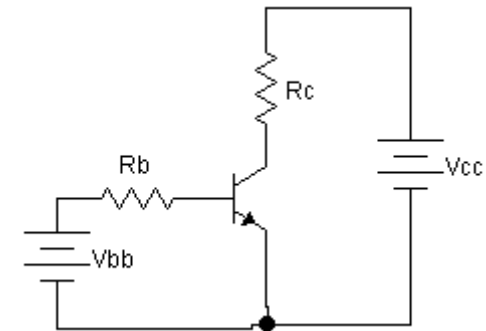
Curva de entrada



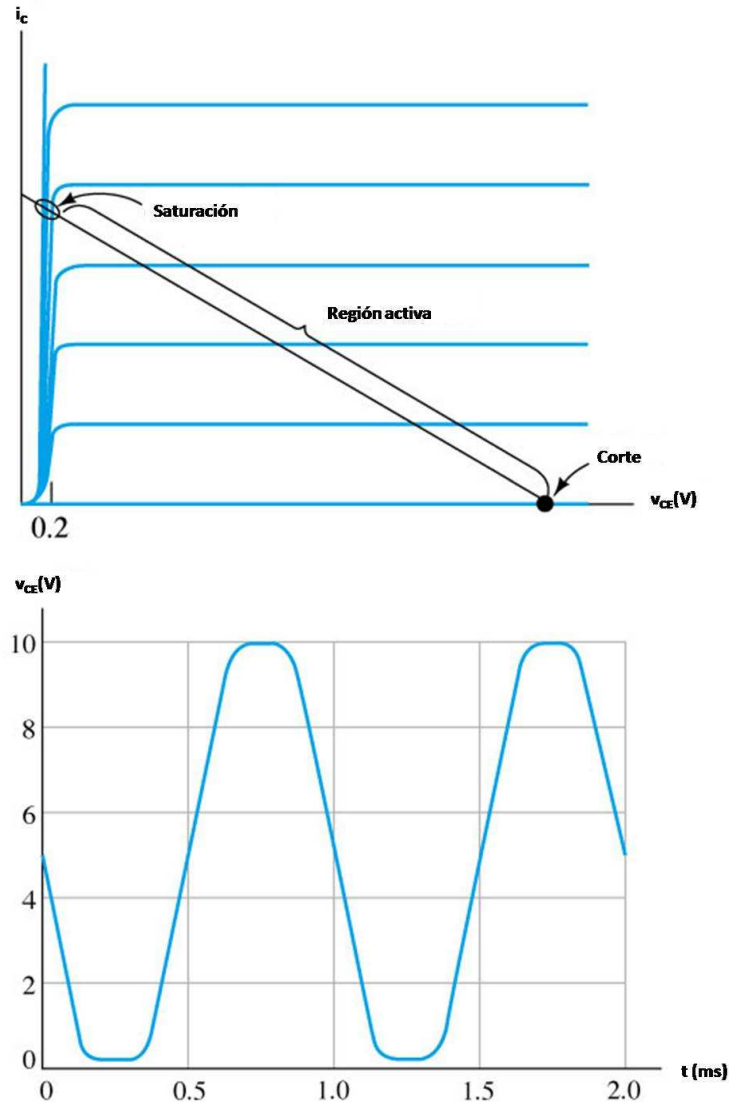
Curva de salida

ANALISIS DE LA RECTA DE CARGA. EJEMPLO

- Determinación gráfica del punto Q, en un circuito en emisor común, donde $V_{CC}=10\text{V}$, $V_{BB}=1,6\text{V}$, $R_B=40\text{k}$, $R_C=2\text{k}$. Analizar la variación del punto Q, si V_{BB} varía en $\pm 0,4\text{V}$.
 - Al variar el valor de la tensión de entrada, cambiará el punto Q en su característica de entrada, además de su posición en la recta de carga de salida.



REPRESENTACION DE LOS MODOS DE TRABAJO DE UN BJT npn EN EMISOR COMUN



- La señal de salida puede no ser exactamente igual a la señal de entrada (senoidal), debido a la no linealidad del transistor. La señal es pues distorsionada.
- Si el punto de trabajo se desplaza hacia $i_c=0$, el transistor se ha llevado al corte.
- Cuando el punto de trabajo se desplaza hacia $V_{ce}=0$, el transistor se ha llevado a saturación.
- La amplificación será razonablemente lineal si la oscilación de la señal se limita a la zona activa (no habrá distorsión).
- Sin embargo, en **conmutación** se trabaja de corte a saturación.

CIRCUITOS DE POLARIZACION. RECTA DE CARGA

- **Punto de trabajo o de reposo (Q)** de un transistor es el punto de la recta de carga que determina el valor de la tensión de colector –emisor y de las corrientes de colector y base.
- Consiste en situar el punto de trabajo en la región característica donde responde con mayor linealidad, de manera que cualquier cambio en la entrada tenga una respuesta proporcional a la salida. Se sitúa en un determinado lugar en la recta de carga.
- El comportamiento del transistor puede verse afectado por la temperatura (modifica la corriente inversa en la unión pn polarizada inversamente). El valor de β no se mantiene constante, pues puede no coincidir entre transistores del mismo tipo, además de modificarse según el punto de trabajo (margen dado por los fabricantes).
- Los circuitos de polarización insensibilizan al transistor frente a variaciones de β .
- La polarización con doble fuente no se suele utilizar por ser caro y complicado de utilizar.

POLARIZACION POR RESISTENCIA DE BASE

- Aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff a las dos mallas existentes, se obtiene:

$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} = \Psi(V_{CE}, I_C)$$

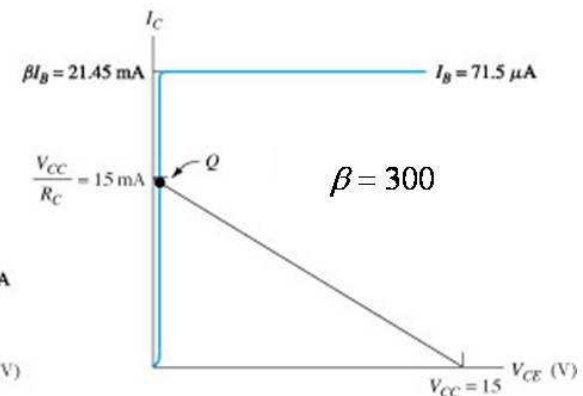
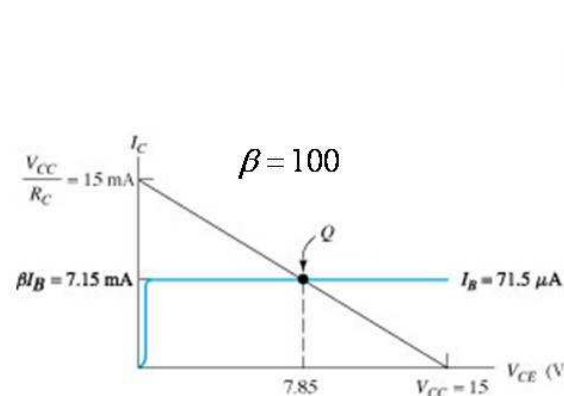
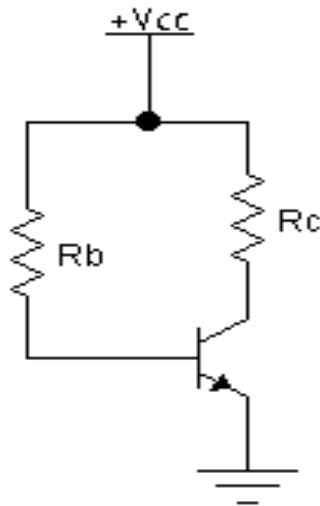
$$V_{CC} = R_B I_B + V_{BE} = R_B \frac{I_C}{\beta} + V_{BE} = \Psi(I_C)$$

- Dado el punto Q deseado, se determina el valor de las resistencias de polarización.

$$R_B = \frac{(V_{CC} - V_{BE})\beta}{I_C}$$

$$R_C = \frac{(V_{CC} - V_{CE})}{I_C}$$

- Se puede comprobar que este circuito no estabiliza frente a variaciones de la β del BJT. Así el punto de trabajo depende del valor de β .



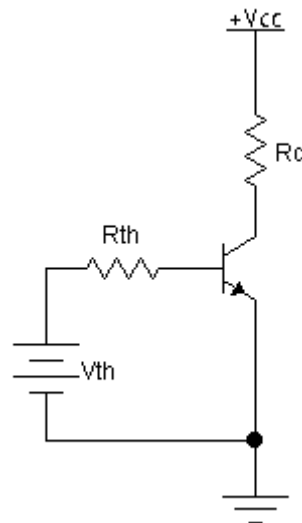
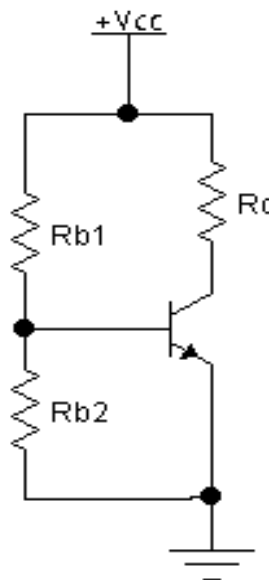
POLARIZACION POR DIVISOR DE TENSION EN LA BASE

- La base se polariza por medio de un divisor de tensión.
- Experimentalmente se recomienda que la corriente que circula por Rb1 sea 10 veces la intensidad de base, de manera que por Rb2 circula 9 veces la Ib. Así, la determinación de Rb2 es inmediata, y por sustitución, también el valor de Rb1.

$$V_{BE} = V_{CC} \frac{R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})} = cte$$

$$R_{B2} = \frac{V_{BE}}{9I_B}$$

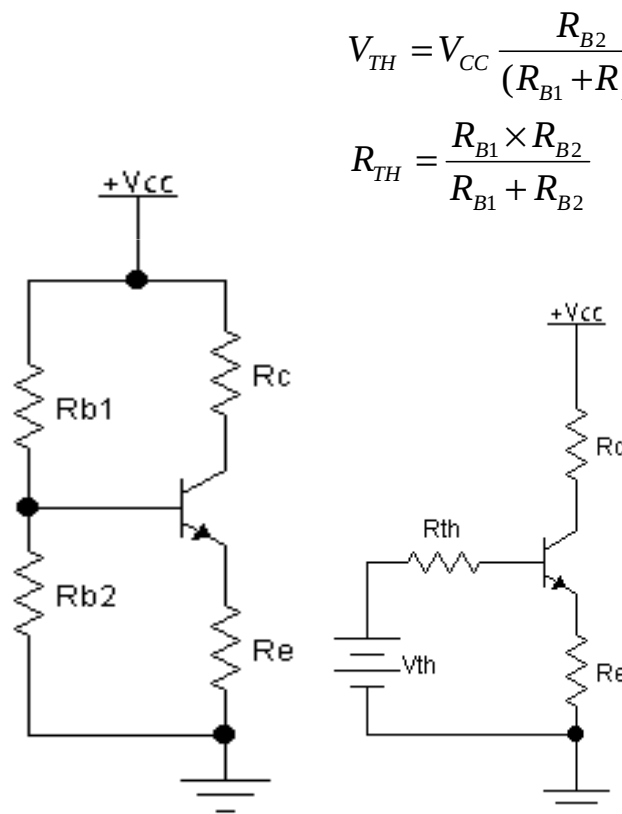
$$R_{B1} = \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{10I_B}$$



- Se observa con el equivalente Thevenin, que en la malla de colector la Ic depende del valor de Ib y de β .
- Se mantiene constante la potencia, al reducirse Vce.

POLARIZACION POR DIVISOR DE TENSION EN LA BASE CON RESISTENCIA DE EMISOR

- Consiste en colocar una resistencia de emisor. La unión de colector se polariza en inversa por medio de V_{CC} y R_C . La unión de emisor se polariza en directa por el divisor de tensión y R_E .



$$V_{TH} = V_{CC} \frac{R_{B2}}{(R_{B1} + R_{B2})}$$

$$R_{TH} = \frac{R_{B1} \times R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

$$V_{TH} = V_{R_{th}} + V_{BE} + V_{RE}$$

$$V_{TH} = I_B R_{TH} + V_{BE} + I_E R_E$$

$$V_{TH} \cong I_B R_{TH} + V_{BE} + \beta I_B R_E$$

$$I_B = \frac{(V_{TH} - V_{BE})}{(R_{TH} + \beta R_E)}; \quad I_C = \beta I_B$$

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

$$V_{CC} \cong I_C (R_C + R_E) + V_{CE}$$

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

- Se demuestra que al aumentar la β , la I_B se hace más pequeña, compensando el aumento de I_C . Si la β se reduce ocurrirá el efecto inverso. Esta realimentación del sistema se debe a R_E .

POTENCIA DISIPADA POR UN BJT

- En un BJT se disipa potencia como consecuencia de un paso de corriente existiendo una caída de potencial.
- Los puntos donde se disipa potencia son las dos uniones (de emisor y de colector).

$$P_{BE} = V_{BE} I_E \text{ (unión emisor)}$$

$$P_{CE} = V_{CE} I_C \text{ (unión colector)}$$

- Al ser la tensión base-emisor mucho menor que la colector-emisor, se puede simplificar la potencia disipada como:

$$P = V_{CE} I_C$$

- La temperatura a la que trabaja el transistor se ve afectada por el calor que se genera en él cuando circula una determinada intensidad. Esto influye de manera significativa en los transistores, ya que la corriente inversa de saturación aumenta con la temperatura, aumentando así la corriente de colector para la misma intensidad de base (aumenta β).
- Existen pues sistemas para compensar las variaciones debidas a la temperatura.

EL BJT EN CONMUTACION

- Los circuitos de conmutación son aquellos en los que el paso de bloqueo a saturación se considera inmediato, es decir, el transistor no permanece en la zona activa.
- Los circuitos típicos del transistor en conmutación son los multivibradores y la báscula de Schmitt.
- Los multivibradores se aplican en los sistemas electrónicos de temporización, generación de señales cuadradas, intermitencias, etc.
- Las básculas de Schmitt tienen su principal aplicación en sistemas de detección que utilizan sensores, de forma que se comporta como un interruptor activado por las variaciones de algún parámetro físico detectado por el sensor.
- El transistor BJT en CORTE.
- El transistor BJT en SATURACION.

EL BJT EN CORTE Y SATURACION

- CORTE:
 - El BJT en corte tiene su I_b a cero amperios.
 - La I_c es igual a la de fugas: I_{ceo} (del orden de nA a $T=300^\circ\text{K}$)
 - La tensión V_{ce} es V_{cc} si se desprecia la caída producida por la corriente de fugas.
 - El BJT se comporta como un interruptor abierto.
- SATURACION:
 - En esta zona la V_{ce} es aproximadamente de 0,2 voltios.
 - La I_c es aproximadamente igual a V_{cc} dividido por la suma de resistencias en la malla de colector – emisor.
 - Se comporta como un interruptor cerrado.
- El tiempo de conmutación de un estado a otro limita la frecuencia máxima de trabajo.