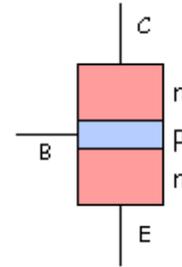


EL TRANSISTOR DE UNIÓN BIPOLAR BJT

El transistor sin polarizar

El transistor esta compuesto por tres zonas de dopado, como se ve en la figura:

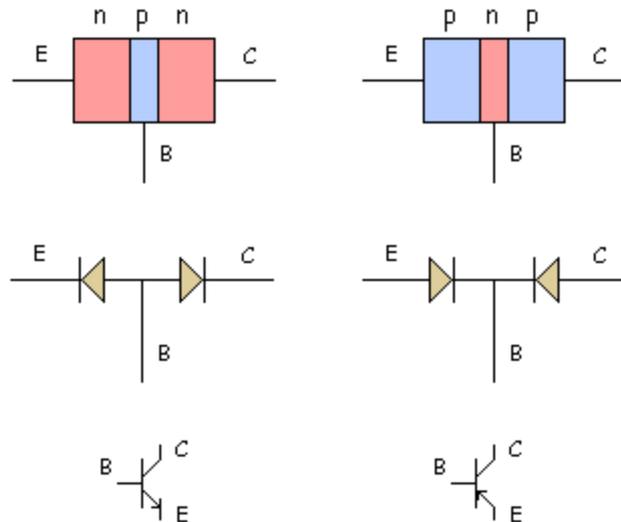
La zona superior es el "Colector", la zona central es la "Base" y la zona inferior es el "Emisor". El Emisor está muy impurificado, la Base tiene una impurificación muy baja, mientras que el Colector posee una impurificación intermedia.



En este ejemplo concreto el transistor es un dispositivo npn, aunque también podría ser un pnp.

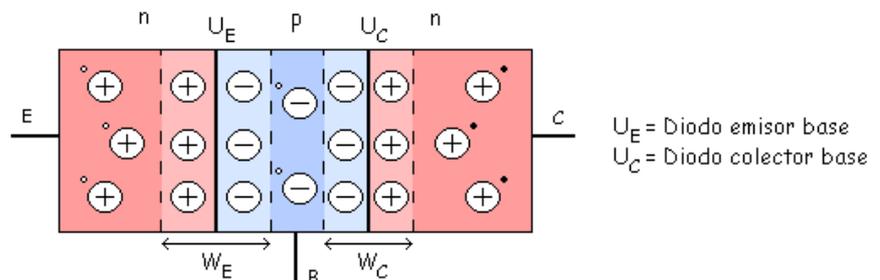
En principio es similar a dos diodos

Un transistor es similar a dos diodos, el transistor tiene dos uniones: una entre el emisor y la base y la otra entre la base y el colector. El emisor y la base forman uno de los diodos, mientras que el colector y la base forman el otro. Estos diodos son denominados: "Diodo de emisor" (el de la izquierda en este caso) y "Diodo de colector" (el de la derecha en este caso).



Antes y después de la difusión

Vamos a hacer un estudio del transistor npn, primeramente cuando está sin polarizar (sin pilas y en circuito abierto) se produce una "Difusión" (como un gas en una botella), donde los electrones cruzan de la zona n a la zona p, se difunden, encuentran un hueco y se recombinan. Esto hace que en las uniones entre las zonas n y p se creen iones positivos y negativos.



Esta difusión y recombinación se da hasta llegar al equilibrio, hasta conseguir una barrera de potencial de 0,7 V (para el Si). Se crean 2 z.c.e., una en la unión E-B (W_E) y otra en la unión C-B.

El transistor polarizado

Si se conectan fuentes de tensión externas para polarizar al transistor, se obtienen resultados nuevos e inesperados. Hay 3 configuraciones:

- Base común (BC).
- Emisor común (EC).
- Colector común (CC).

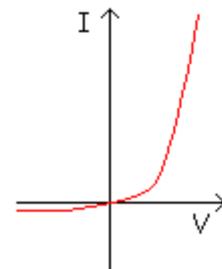
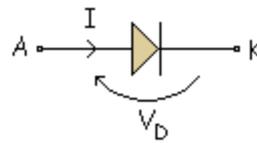
Cada una de estas configuraciones a su vez puede trabajar en 4 zonas diferentes:

🌈Zona ACTIVA:	U_E en Directa y U_C en Inversa.	AMPLIFICADORES
🌈Zona de SATURACIÓN:	U_E en Directa y U_C en Directa.	CONMUTACIÓN
🌈Zona de CORTE:	U_E en Inversa y U_C en Inversa.	CONMUTACIÓN
🌈Zona ACTIVA INVERTIDA:	U_E en Inversa y U_C en Directa.	SIN UTILIDAD

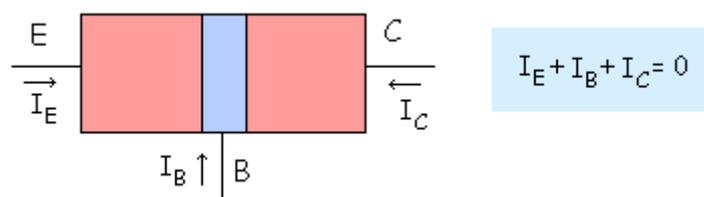
Con esto vemos que el transistor puede trabajar de 12 formas diferentes.

Corrientes en un transistor

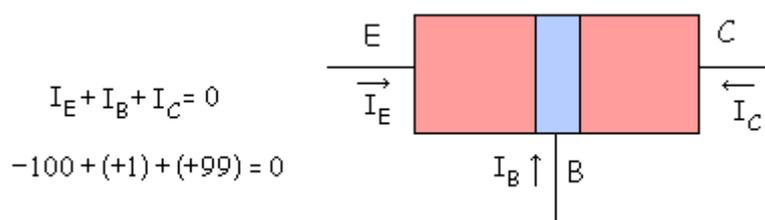
El convenio que teníamos con el diodo era:



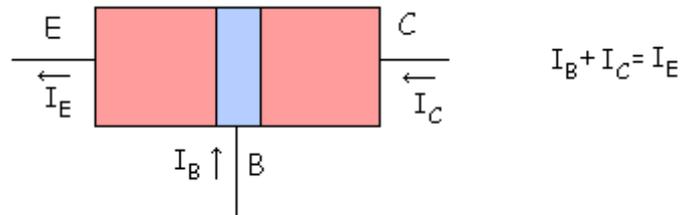
En el transistor también tomamos criterios, todas las corrientes entrantes, es como un nudo.



EJEMPLO: $I_E = 100$ mA, se recombinan el 1 % y no se recombinan el 99 %. Por lo tanto: $I_B = 1$ mA y $I_C = 99$ mA. Los signos como siempre, si va a favor del electrón es negativo y si va en contra positivo.



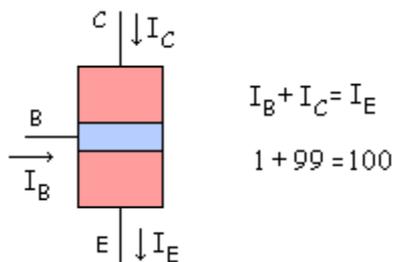
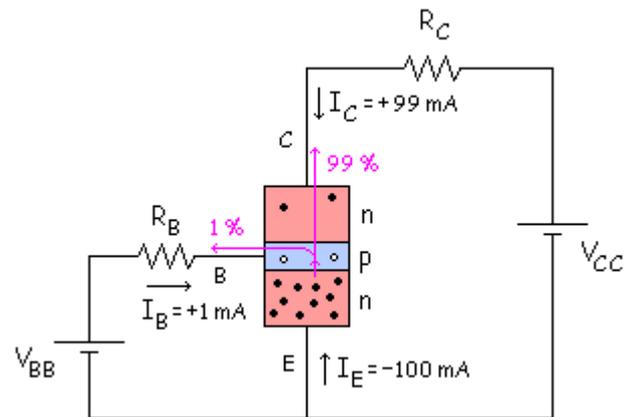
En los problemas por comodidad se suele cambiar de dirección a I_E para que sea positivo.



Configuración en EC

Esta configuración es la más utilizada. Como en la configuración en BC solo analizaremos la zona activa.

Como en el caso anterior solo el 1 % se recombina y el 99 % no se recombina. La dirección de I_E la cambiamos como en la configuración anterior.



Ganancia de corriente β_{cc} :

$$\beta_{cc} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{99}{1} = 99$$

A veces (casi siempre) se desprecia la I_B , por ser muy pequeña, en comparación con la I_C .

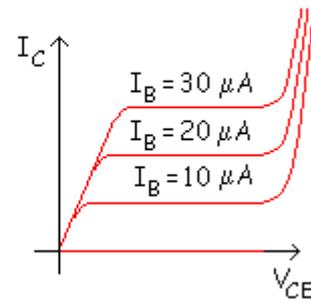
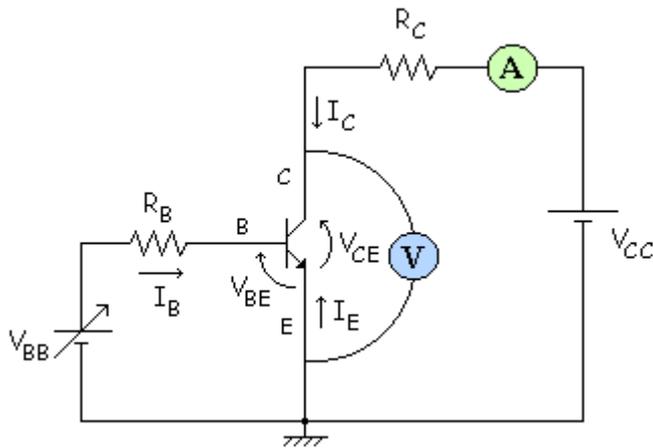
$$\left. \begin{array}{l} \cancel{I_B} + I_C = I_E \\ \cancel{1} + 99 = 100 \end{array} \right\} I_C \approx I_E$$

Curva característica de salida

Analizamos la malla de salida y obtenemos distintas curvas para diferentes valores de I_B .

Ajustando V_{BB} fijo un valor de I_B que voy a mantener constante (por ejemplo $I_B = 10 \mu A$). Ahora variando V_{CC} mido valores de V_{BE} y I_C y obtengo la correspondiente curva

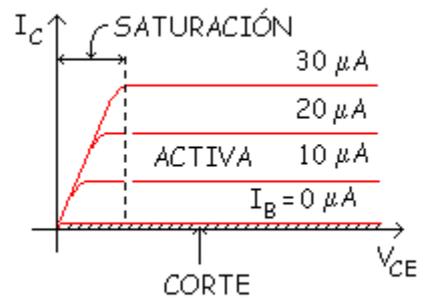
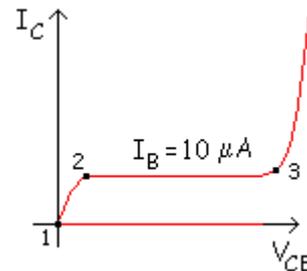
de $I_B = 10 \mu A$. Hago lo mismo para $I_B = 20 \mu A$, etc... Y así sucesivamente para diferentes valores de I_B .



En cada una de estas curvas hay diferentes zonas:

U_E = diodo EB = Unión de Emisor.
 U_C = diodo CB = Unión de Colector.

- Zona entre 1 y 2: ZONA DE SATURACIÓN.
 - U_E directa.
 - U_C directa.
- Zona entre 2 y 3: ZONA ACTIVA.
 - U_E directa.
 - U_C inversa.
- Zona a partir de 3: ZONA DE RUPTURA.
 - U_E directa.
 - U_C muy en inversa.

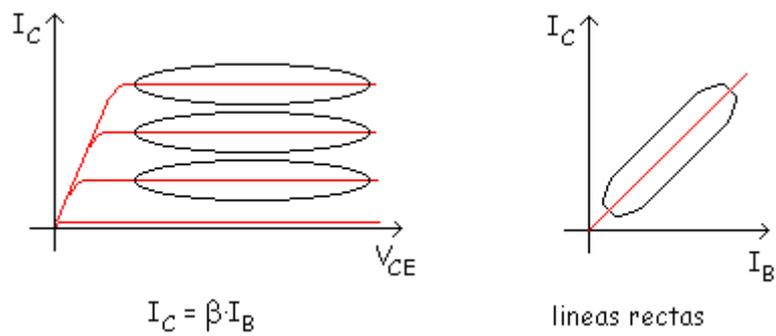


Recordar que en activa conociendo el valor de I_B se puede calcular la I_C ($I_C = \beta_{cc} \cdot I_B$).

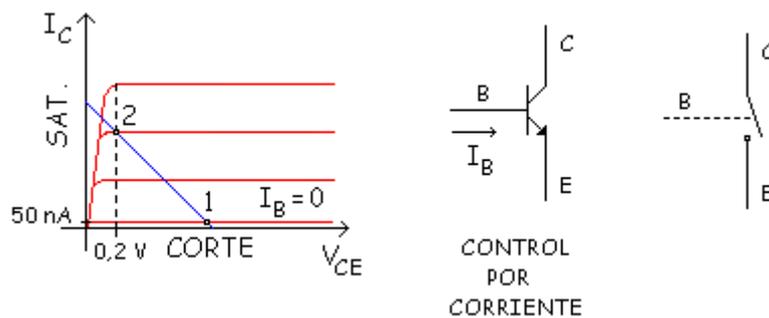
La zona de corte es desde $I_B = 0$ hacia abajo (zona rallada) y no conduce

Veamos para que sirve cada zona:

- **ACTIVA:** Amplificadores y demás Circuitos Lineales

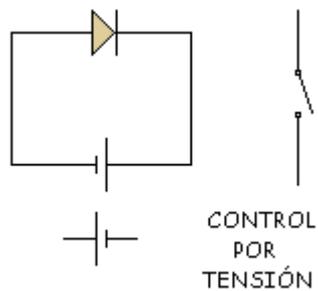


- **CORTE Y SATURACIÓN:** Conmutación (Corte abierto y Saturación cerrado).



En este caso el control es por corriente.

Comparación con el diodo:

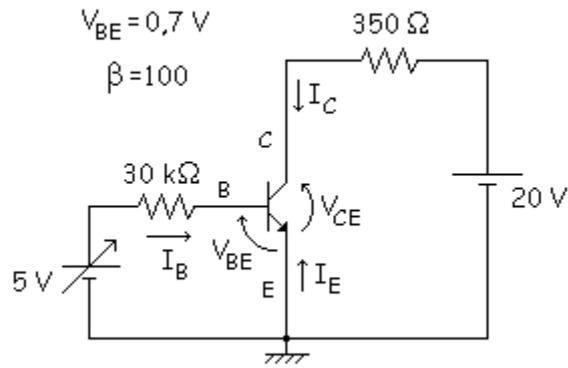


Con el diodo el control es por tensión.

- **RUPTURA:** Avalancha, se destruye el transistor.

Ahora vamos a ver como pasamos de una zona a otra.

EJEMPLO:



$$-5\text{ V} + 30\text{ k}\Omega \cdot I_B + 0,7\text{ V} = 0$$

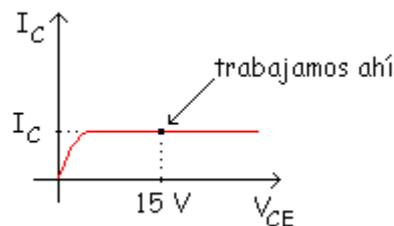
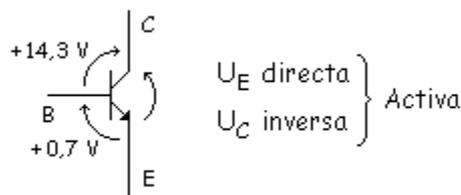
$$I_B = \frac{5\text{ V} - 0,7\text{ V}}{30\text{ k}\Omega} \xrightarrow{\text{ACTIVA}} I_C = \beta \cdot I_B = 14,33\text{ mA}$$

$$-20\text{ V} + 350\ \Omega \cdot 14,33\text{ mA} + V_{CE} = 0 \Rightarrow V_{CE} = 15\text{ V}$$

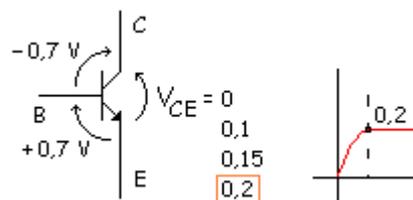
$$I_E = I_B + I_C$$

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = 14,3\text{ V}$$

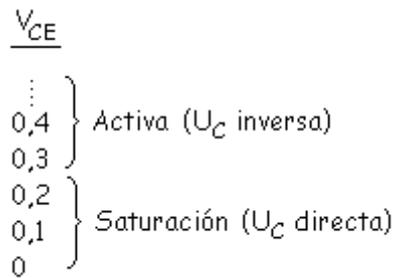
Una vez obtenido esto, el valor y el signo de las tensiones nos dirá en que zona estamos trabajando.



Para pasar de una zona a otra, de saturación a activa, se varía la U_C de directa a inversa.

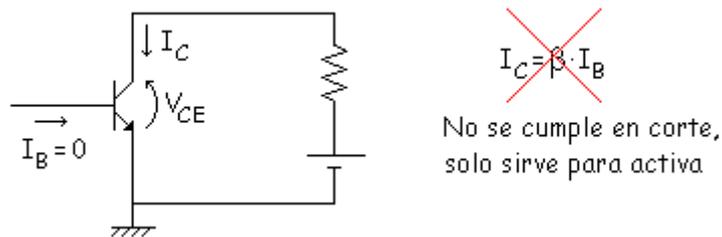


Si la V_{CE} se encuentra entre 0 V y 0,2 V, la U_C está en directa y el transistor está en **Saturación**. Si V_{CE} es mayor o igual a 0,2 V la U_C está en inversa y por lo tanto en transistor está en **Activa**.

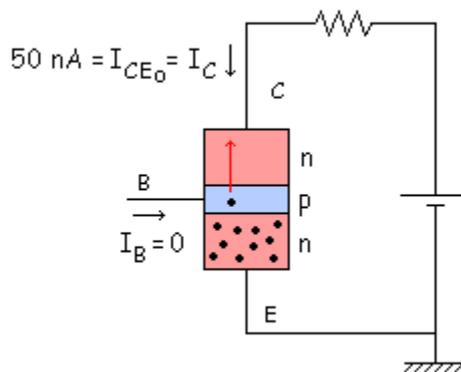


CORTE:

Analizaremos ahora lo que ocurre en Corte.



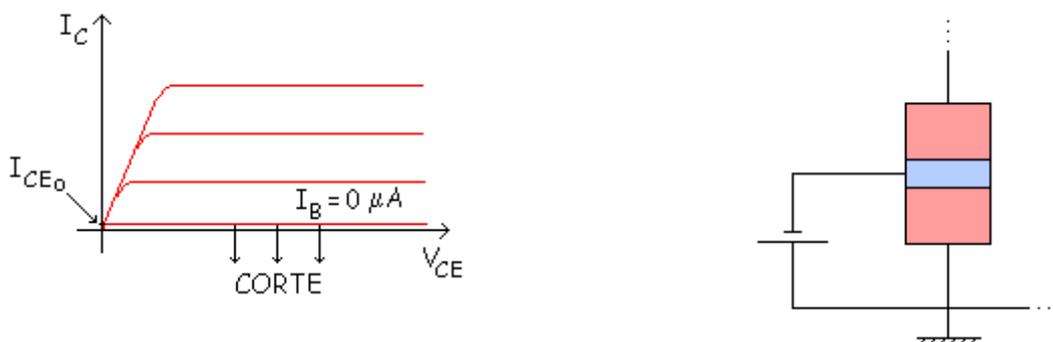
La $I_B = 0$, pero vamos a ver lo que ocurre internamente.



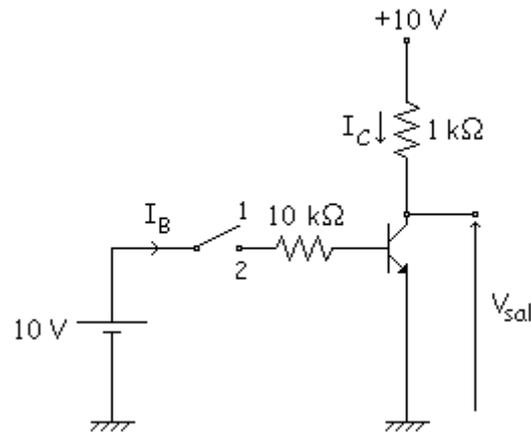
Hay "Portadores minoritarios generados térmicamente" en la zona p de la base que crean una pequeña corriente llamada I_{CE0} (corriente entre colector y emisor, esta "o" significa open = abierto en inglés, y quiere decir que el circuito está abierto por la base).

I_{CE0} = Corriente de corte de minoritarios.

De ese valor hacia abajo se pone una pila que polarice la U_E en inversa, de la siguiente forma:



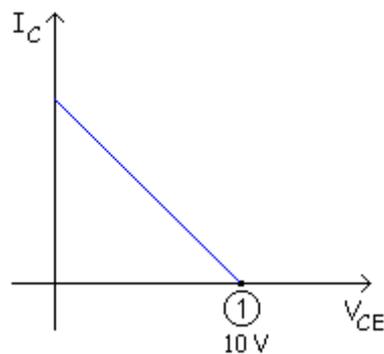
El transistor en conmutación



Tenemos un interruptor en posición 1, abierto:

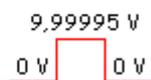
$$I_B = 0$$
$$I_C = 0 \text{ CORTE (el transistor no conduce)}$$

Recta de carga:



Esto era lo ideal, lo exacto sería:

$$\textcircled{1} I_B = 0$$
$$I_C = I_{CE0} = 50 \text{ nA}$$
$$-10 + 1 \cdot 10^3 \cdot 50 \cdot 10^{-9} + V_{CE} = 0 \Rightarrow V_{CE} = 9,99995 \text{ V}$$



Pero para electrónica digital no tiene mucha importancia ese pequeño margen, por lo tanto se desprecia.

Interruptor en posición 2:

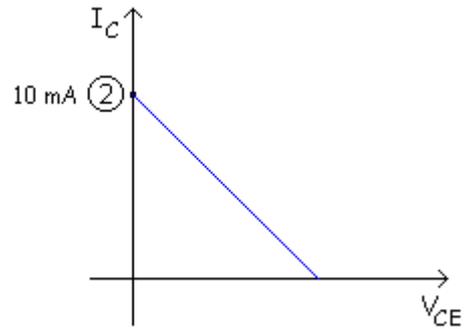
② IDEAL $V_{BE_{sat}} = 0$

$V_{CE_{sat}} = 0$

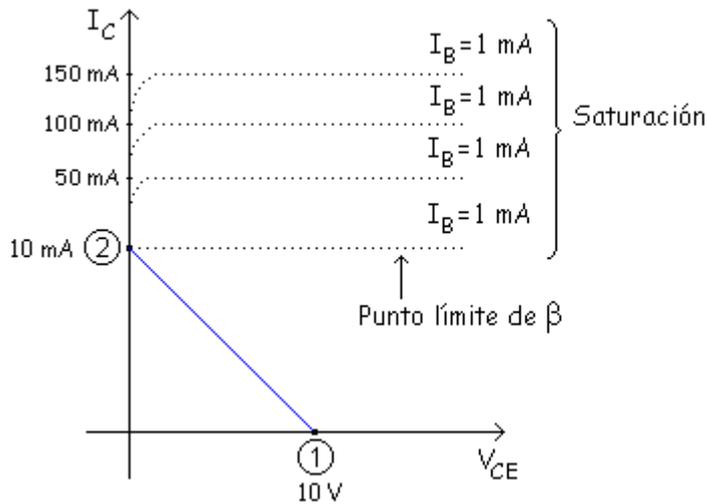
Hipótesis: SATURACIÓN

$I_B = \frac{10-0}{10} = 1 \text{ mA}$

$10 + 1 \cdot I_C + 0 = 0 \Rightarrow I_C = 10 \text{ mA}$

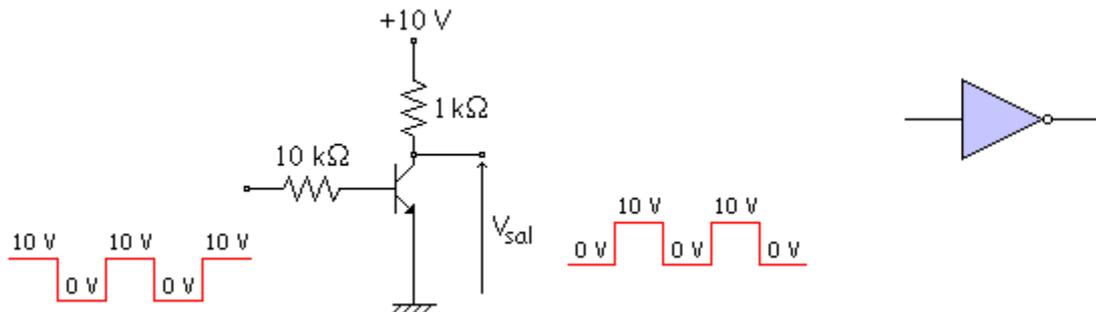


Finalmente tenemos una gráfica de la siguiente forma:



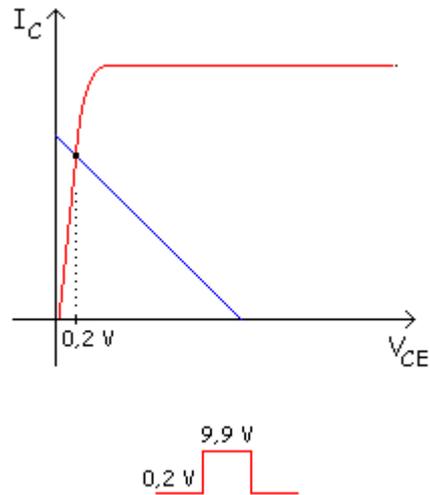
Punto 2 $\frac{I_C}{I_B} = \frac{10}{1} = 10 \text{ mA}$

Aplicación: Si tenemos en la entrada una onda cuadrada.



Me invierte la V_{sal} , invierte la onda de entrada en la salida. Ese circuito se utiliza en electrónica digital.

A ese circuito le llamábamos "Circuito de polarización de base", que era bueno para corte y saturación, para conmutación. Pero este que hemos hecho no es exacto, lo exacto es:



Entonces se cogen los márgenes, pero como están muy separados se desprecia y no se le da importancia a ese pequeño error.

Bibliografía:

http://www.sc.ehu.es/sbweb/electronica/elec_basica/default.htm

Autor: Andrés Aranzabal Olea

Director de proyecto: Carmelo Alonso González



e-mail de contacto: jtpalgoc@sb.ehu.es

**DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA
Y TELECOMUNICACIONES**

**ELEKTRONIKA ETA
TELEKOMUNIKAZIO SAILA**

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica
Industrial

Industri Ingeniaritza Teknikorako
Unibertsitate Eskola

EIBAR

EIBAR