

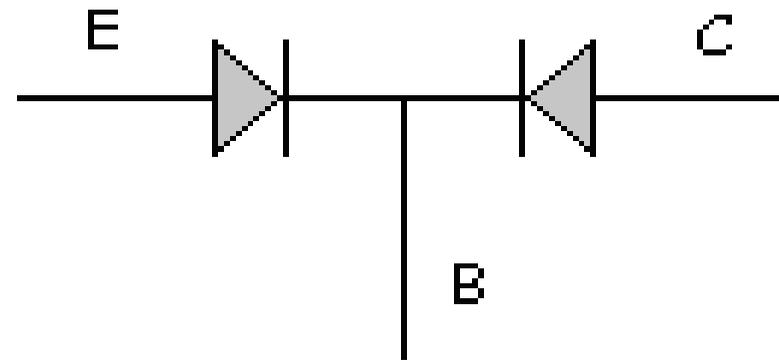
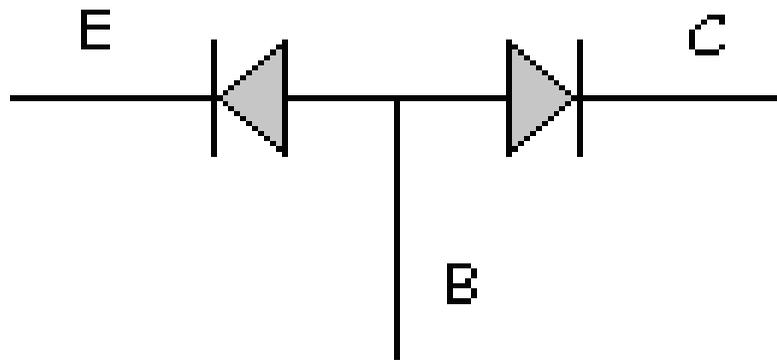
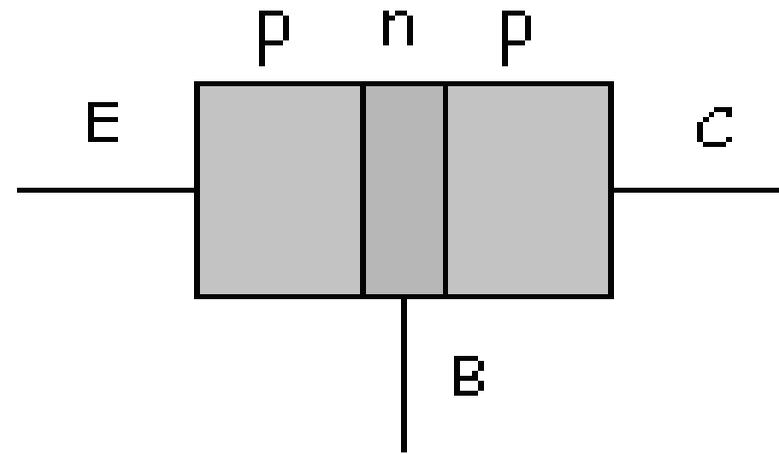
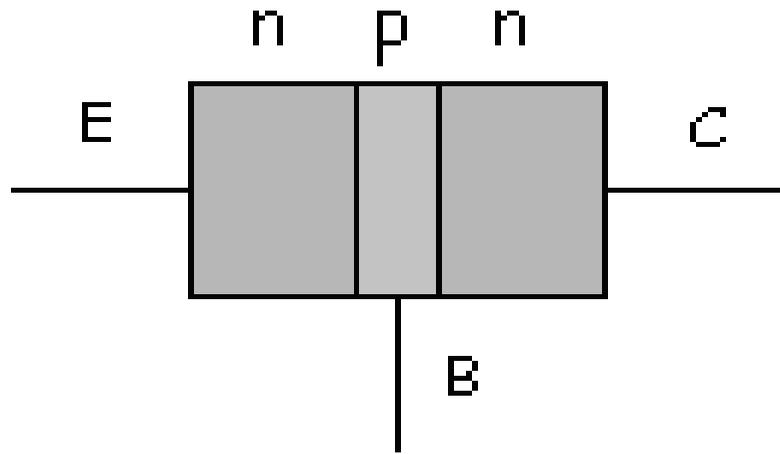
# **EL TRANSISTOR BIPOLAR DE JUNTURA**

**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 se encuentra conectado.**

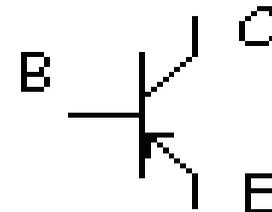
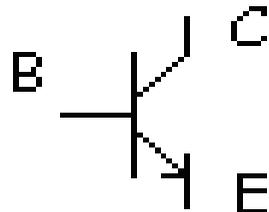
**Un transistor de unión bipolar (TBJ) es un cristal semiconductor en el que una zona tipo P o N esta entre medio de otras dos N o P.**

**Así tenemos dos tipos: NPN o PNP.**



**BASE**

**COLECTOR**



**EMISOR**

**POLARIZAR UN TRANSISTOR** es aplicar tensiones para que las junturas BE y BC (Diodos) trabajen en DIRECTA o en INVERSA. Para eso se necesitan Resistencias y Fuentes.

Según como se colocan esas Resistencias y Fuentes se tiene distintas configuraciones. Ej:

- **POLARIZACIÓN FIJA**
- **POR DIVISOR DE TENSIÓN (sin RE)**
- **POR REALIMENTACIÓN DE COLECTOR**
- **POR REALIMENTACIÓN DE EMISOR**

Polarizar el Transistor logra que este funcione en algunas de las siguientes ZONAS DE TRABAJO.

<b>*ZONA DE CORTE</b>	Como Llave abierta entre Colector - Emisor
<b>*ZONA ACTIVA</b>	Trabaja como AMPLIFICADOR
<b>*ZONA DE SATURACIÓN</b>	Como Llave cerrada entre Colector – Emisor.

### **SATURACION**

El TBJ se comporta como una llave cerrada entre colector y emisor.

JBE en directa (0.7v)  
JBC en directa o cercana

**NO VALE**      **IC = B. IB**

VCE < 0.7v (suponemos 0.1v en los cálculos )

La IC depende del circuito exterior que conforma la malla de salida

### **ACTIVA**

El TBJ puede trabajar como amplificador

JBE en directa (0.7v)  
JBC en inversa (algunos volts)

**VALE**      **IC = B. IB**

0.7v < VCE < Vfuente

**B = HFE =  $\beta$**

### **CORTE**

El TBJ se comporta como una llave abierta

JBE por debajo de 0.7v  
JBC en inversa (algunos volts)

IB (nula o casi nula)  
IC (nula o casi nula)

**NO VALE**      **IC = B. IB**

VCE = V fuente ( o casi)

## OTRA FORMA DE SABER CUANDO UN TBJ SE SATURA:

Un transistor se satura cuando aplicamos una corriente de base  $I_B$  tal que cuando el transistor intente multiplicarla por su  $H_{FE}$  ( $I_C = H_{FE} \cdot I_B$ ) nos dé como resultado una corriente de colector  $I_C$  superior a la que puede circular como máximo.

## Método general para resolver un circuito con TBJ:

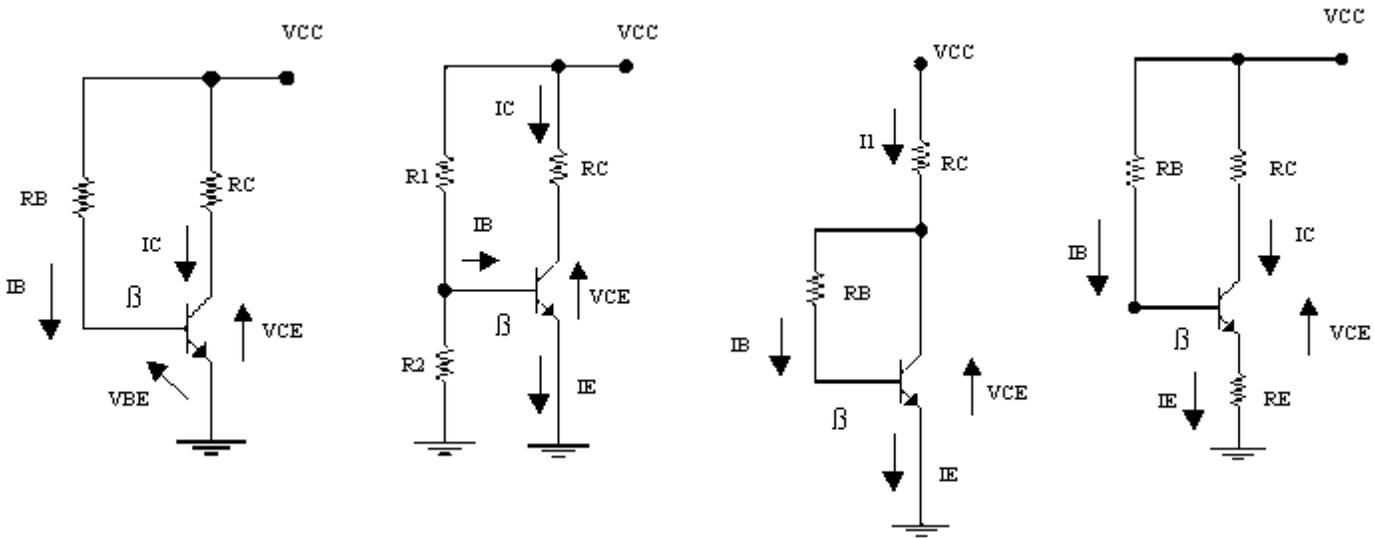
- Circulando por la malla de entrada, aplicando Kirchoff despejar  $I_B$  suponiendo ( $V_{BE} = 0.7v$ ).
- Suponemos que esta en la zona activa, calcular  $I_C$  con
$$I_C = HFE \cdot I_B$$
- Esta última suposición hay que verificarla, para lo cual calculamos  $V_{CE}$ . Circulando por la malla de salida. Para estar en la zona activa se debe verificar que  $V_{CE} > 0.7v$  y menor que  $V_{CC}$  (la fuente).

- Si  $V_{CE}$  no cumple  $> 0.7 \text{ v}$  y  $< V_{CC}$  entonces el TBJ esta saturado, y por lo tanto no es valida  $I_C = H_{FE} \cdot I_B$ .
- Para calcular la  $I_C$  suponemos que como esta saturado la  $V_{CE}$  es baja y  $< 0.7 \text{ v}$ , por ejemplo  $0.1 \text{ v}$ . Despejamos de la malla de salida  $I_C$  (con  $V_{CE} = 0.1 \text{ v}$ ). Esta es la verdadera  $I_C$ .

El apunte Polarizacion.pdf junto con el Verificar le da las herramientas necesarias para resolver los ejercicios.

**POLARIZACIÓN DEL TRANSISTOR** (V.18-10-10)

Si tenemos una sola fuente de tensión y un transistor NPN, las posibles formas de polarizarlo son las siguientes. (Y SUS COMBINACIONES)



POLARIZACIÓN FIJA

POR DIVISOR DE TENSIÓN (sin RE)

POR REALIMENTACIÓN DE COLECTOR

POR REALIMENTACIÓN DE EMISOR

Eligiendo las resistencias adecuadas podremos fijar en cada caso un punto de trabajo  $I_{CQ}$   $V_{CEQ}$  correspondiente a alguna zona de trabajo posible (corte - zona activa - saturación).

**POLARIZACION FIJA**

Circulando por la malla de entrada, es posible despejar  $I_B$ , ( $V_{BE} = 0.7v$ ):

$$VCC - R_B \cdot I_B - V_{BE} = 0 \quad \longrightarrow \quad I_B := \frac{VCC - V_{BE}}{R_B}$$

Si suponemos que esta en la zona activa vale:

$$I_C := \beta \cdot I_B$$

Esta ultima suposición hay que verificarla, para lo cual calculamos  $V_{CE}$ . Para estar en la zona activa se debe verificar que  $V_{CE} > 0.7v$  y menor que  $VCC$  (la fuente).

Circulando por la malla de salida:

$$V_{CE} := VCC - I_C \cdot R_C$$

Si  $V_{CE}$  no cumple  $> 0.7 v$  y  $< VCC$  entonces el TBJ esta saturado, y por lo tanto no es valida:

$$I_C := \beta \cdot I_B$$

Para calcular la  $I_C$  suponemos que como esta saturado la  $V_{CE}$  es baja y  $< 0.7 v$ , por ejemplo  $0.1 v$ . Así despejamos de la malla de salida  $I_C$  (con  $V_{CE} = 0.1 v$ ):

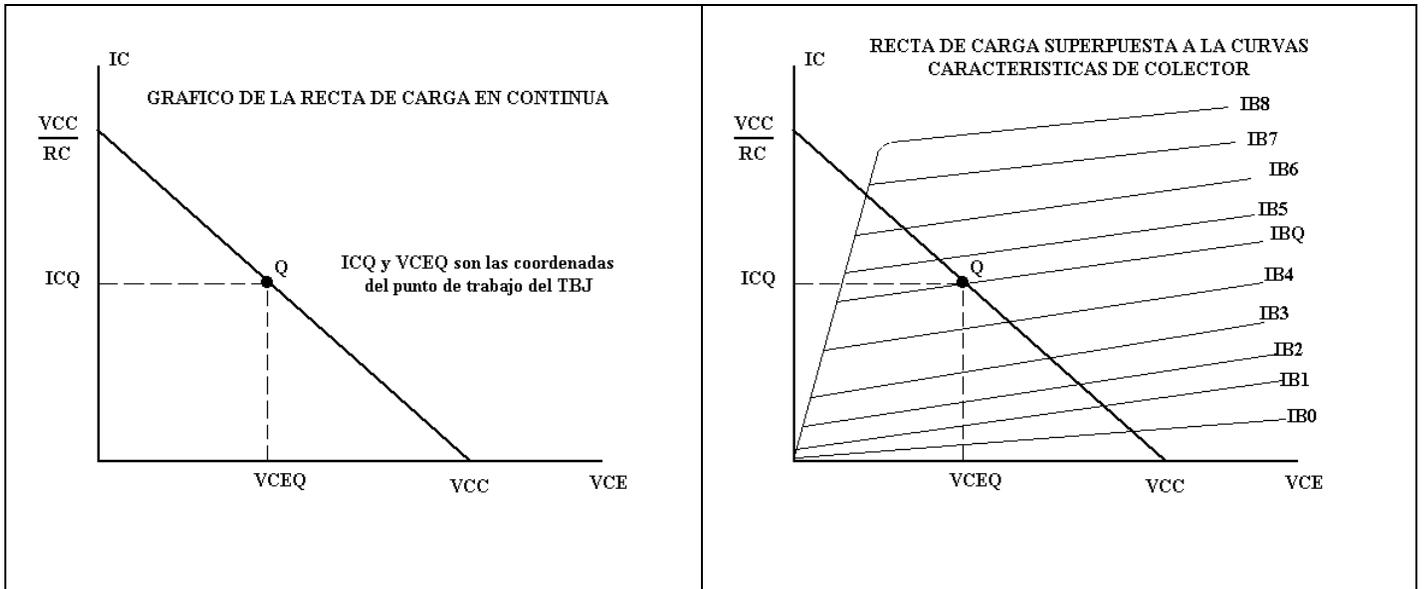
$$I_C := \frac{VCC - V_{CE}}{R_C}$$

**RECTA DE CARGA (EN CONTINUA)**

La recta de carga es la que surge de  $I_C = f(V_{CE})$ , podemos obtener su ecuación a partir de la circulación por la malla de salida y comparandola con la ecuación de una recta:  $Y = m \cdot X + b$   
Los puntos de esta recta corresponden a los posibles puntos de trabajo del TBJ ( $I_{CQ}$ ,  $V_{CEQ}$ ) al variar la  $I_B$ .

Así de la ecuación :  $VCC - I_C \cdot R_C - V_{CE} = 0$  (malla de salida)

$$I_C := \frac{VCC - V_{CE}}{R_C} \quad \longrightarrow \quad I_C := -\frac{1}{R_C} \cdot V_{CE} + \frac{VCC}{R_C}$$



CÁLCULO DE POTENCIAS

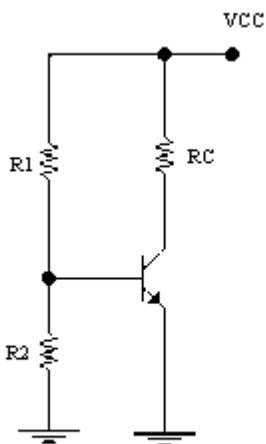
$$PRC := IC^2 \cdot RC$$

$$PRB := IB^2 \cdot RB$$

$$PTBJ := VCE \cdot IC$$

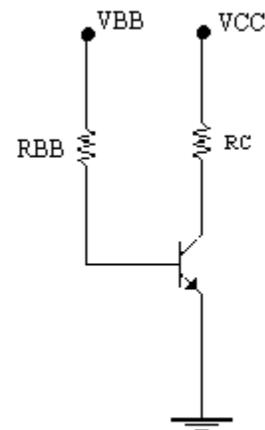
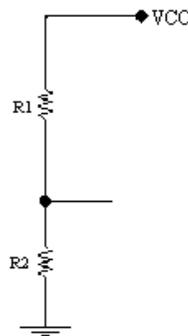
POLARIZACION POR DIVISOR DE TENSION

Al circuito



Se lo debe llevar al equivalente de Thevenin

Donde según el teorema



Circuito equivalente

$$VBB = VTH \text{ y } RBB = RTH$$

Calculando:

$$RTH = R1 // R2$$

$$VTH := \frac{VCC}{R1 + R2} \cdot R2$$

Con el circuito equivalente podemos calcular (con  $V_{BE} = 0.7v$ ) :

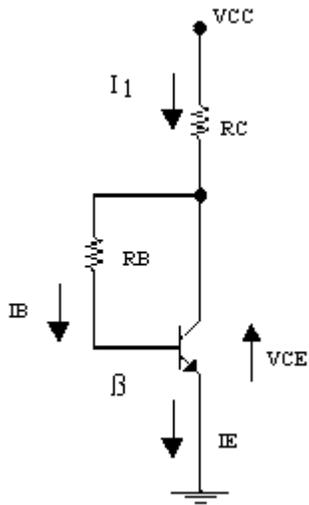
$$IB := \frac{VBB - VBE}{RBB}$$

Si suponemos que esta en la zona activa podemos calcular:

$IC = B \cdot IB$  y luego  $VCE = VCC - IC \cdot RC$  que permite verificar la suposición anterior.

Recta de carga de continua (recta de carga estática) y potencias se calculan ídem al caso anterior de polarización fija.

REALIMENTADO POR COLECTOR



$$I_1 = I_B + I_C \quad I_E = I_B + I_C \quad I_1 = I_E$$

$$I_C = \beta \cdot I_B \quad (\text{Si está en la zona activa})$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_1 \cdot R_C \quad (\text{malla de salida})$$

$$I_1 = I_B + \beta \cdot I_B = I_E \quad (1)$$

Circulando por la malla de entrada

$$V_{CC} - I_1 \cdot R_C - I_B \cdot R_B - V_{BE} = 0$$

reemplazando I1 mediante (1) y sacando factor común IB

$$V_{CC} - I_B \cdot (R_C \cdot (\beta + 1) + R_B) - V_{BE} = 0$$

De aquí despejamos IB

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

Con lo cual podemos calcular IC , IE , I1 y VCE.

Si VCE es > 0.7v y < VCC , el TBJ estará en la zona activa.

**NOTA:** Debemos darnos cuenta que en esta configuración recién analizada, la mínima VCE solo puede ser VCE = 0.7v, lo cual sucede cuando RB = 0 ohms.

RECTA DE CARGA (EN CONTINUA)

O sea debemos obtener IC = f(VCE)

$$\text{Circulando por la malla de salida:} \quad V_{CC} - I_1 \cdot R_C - V_{CE} = 0 \quad (2)$$

$$\text{Como} \quad I_1 = I_B + I_C \quad \longrightarrow \quad I_1 = (I_C/\beta) + I_C \quad \text{sacando factor común } I_C$$

$$I_1 = I_C \cdot ((1/\beta) + 1) \quad \longrightarrow \quad I_1 = I_C \cdot (\beta + 1) / \beta$$

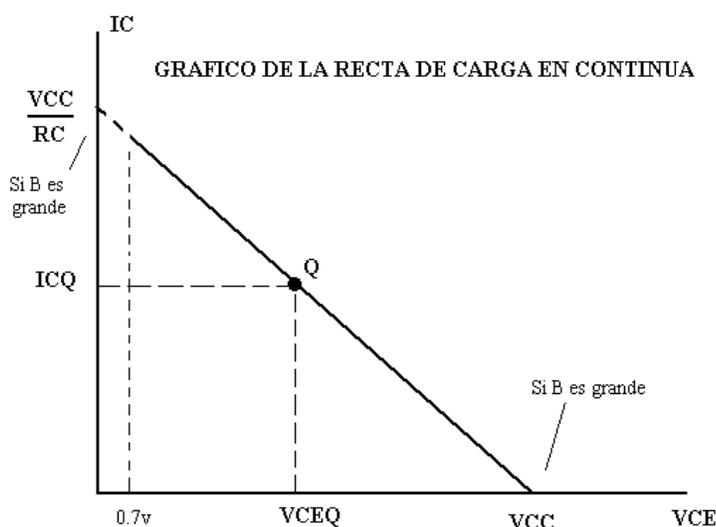
Reemplazando en la (2)

$$V_{CC} - I_C \cdot \frac{(\beta + 1)}{\beta} \cdot R_C - V_{CE} = 0 \quad \longrightarrow \quad I_C := \left( \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} \right) \cdot \frac{\beta}{(\beta + 1)}$$

$$I_C := -\frac{1}{R_C} \cdot \left( \frac{\beta}{\beta + 1} \right) \cdot V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C} \cdot \frac{\beta}{(\beta + 1)}$$

Si B es grande :

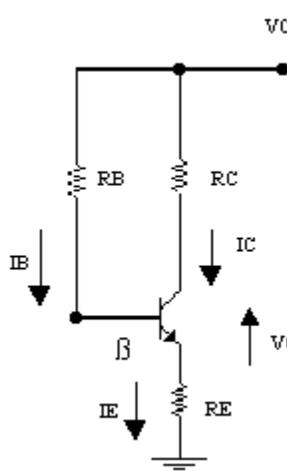
$$\frac{\beta}{(\beta + 1)} \quad \longrightarrow \quad 1$$



$$I_C := -\frac{1}{R_C} \cdot \left( \frac{\beta}{\beta + 1} \right) \cdot V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$

Ecuación de la recta de carga

**REALIMENTADO POR EMISOR**



$V_{CC}$  Cálculo de  $I_B$ :

Circulando por la malla de entrada

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

Por ley de Kirchoff  $I_E = I_B + I_C$

Y suponiendo que esta en la zona activa vale  $I_C = \beta \cdot I_B$

$$I_E = I_B + I_C = I_B + \beta \cdot I_B = I_B \cdot (\beta + 1)$$

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

Despejando  $I_B$ :

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

Circulando por la malla de salida podemos despejar  $V_{CE}$ :

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C - I_E \cdot R_E$$

Si da  $> 0.7V$  nos permite verificar que estaba en la zona activa. De lo contrario se debe proceder como en los primeros casos ya explicados, aunque con precaución ya que este circuito tiene  $R_E$ .

**CALCULO DE ESTE CIRCUITO CUANDO EL TBJ ESTA SATURADO**

Este circuito presenta algunas particularidades en su cálculo cuando el transistor se encuentra saturado, por la presencia de  $R_E$ . Notemos que en la formula arriba mostrada para el calculo de la corriente de base ( $I_B$ ) interviene el  $\beta$  o HFE, por lo cual si el TBJ esta saturado, esta fórmula y su resultado no pueden ser validos. Entonces debemos encontrar otra manera de calcular  $I_B$ ,  $I_C$  e  $I_E$ .

Lo que **sí** sigue siendo válido, y siempre lo es, son las **Leyes de Kirchoff**, que a esta altura ya sabemos la importancia de saber manejarlas bien.

Empezamos:

Circulamos por la malla de entrada del circuito:

$$V_{CC} - R_B \cdot I_B - V_{BE} - R_E \cdot I_E = 0 \quad (1)$$

Circulamos por la malla de salida:

$$V_{CC} - R_C \cdot I_C - V_{CE} - R_E \cdot I_E = 0 \quad (2)$$

Por Ley de Kirchoff, siempre es válido:

$$I_E = I_B + I_C \quad (3)$$

Remplazando en la primera y segunda ecuación la ecuación (3)

$$V_{CC} - R_B \cdot I_B - V_{BE} - R_E \cdot (I_B + I_C) = 0 \quad \text{Con } V_{BE} = 0.7v$$

$$V_{CC} - R_C \cdot I_C - V_{CE} - R_E \cdot (I_B + I_C) = 0 \quad \text{Con } V_{CE} = 0.1v \text{ (está saturado)}$$

Nos queda un sistema de 2 ecuaciones con 2 incógnitas, las incógnitas son  $I_B$  e  $I_C$ .

En este punto podemos decir que **"se acabó la electrónica y comienza la matemática"**, ya que debemos resolver un sistema de ecuaciones.

Podemos despejar una incógnita en la primera ecuación y reemplazarla en la otra ecuación, pero este es un método que podríamos llamar de "**fuera bruta**", ya que se puede hacer tedioso y podemos equivocarnos fácilmente, llegando a resultados erróneos.

Existen métodos y programas, incluso algunas calculadoras que resuelven sistemas de ecuaciones.

Nota: en [www.bolanosdj.com.ar](http://www.bolanosdj.com.ar) se puede descargar el programa Ecuaciones Lineales (**ECLINEAL.ZIP**) que una vez instalado en la PC permite resolver sistemas de ecuaciones. También puede utilizar la calculadora del programa de autocorrección Verficar3 del docente.

Pero tanto los métodos como los programas y las calculadoras exigen ordenar previamente el sistema de ecuaciones, de modo que las incógnitas queden en columnas y los términos independientes despejados. El método de Krammer lo pueden repasar del apunte **SOLUCIOECUA3.PDF** de la web del docente.

Aquí aplicaremos el método mencionado para resolver nuestro sistema de ecuaciones, para lo cual previamente ordenaremos el mismo.

Operando sobre la primera ecuación para encolumnar las incógnitas:

$$-R_B \cdot I_B - R_E \cdot I_B - R_E \cdot I_C = -V_{CC} + V_{BE}$$

$$-(R_B + R_E) \cdot I_B - R_E \cdot I_C = -V_{CC} + V_{BE}$$

Operando sobre la segunda ecuación para encolumnar las incógnitas:

$$-R_C \cdot I_C - R_E \cdot I_B - R_E \cdot I_C = -V_{CC} + V_{CE}$$

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

Obtenemos nuestro sistema ordenado

$$\begin{aligned} -(R_B + R_E) \cdot I_B - R_E \cdot I_C &= -V_{CC} + V_{BE} \\ -R_E \cdot I_B - (R_C + R_E) \cdot I_C &= -V_{CC} + V_{CE} \end{aligned}$$

Obtenemos la matriz de los coeficientes y de los términos independientes.

$$\begin{bmatrix} -(R_B + R_E) & -R_E \\ -R_E & -(R_C + R_E) \end{bmatrix}$$

Coeficientes

$$\begin{bmatrix} -V_{CC} + V_{BE} \\ -V_{CC} + V_{CE} \end{bmatrix}$$

Términos independientes

Calculamos el determinante de la matriz de coeficientes

$$DET = -(R_B + R_E) \cdot (-(R_C + R_E)) - (-R_E) \cdot (-R_E)$$

Ahora para calcular  $I_B$  será:

$$I_B = \frac{\begin{bmatrix} -V_{CC} + V_{BE} & -R_E \\ -V_{CC} + V_{CE} & -(R_C + R_E) \end{bmatrix}}{DET}$$

Que lo resolvemos así: 
$$I_B = \frac{(-V_{CC} + V_{BE}) \cdot (-R_C + R_E) - (-V_{CC} + V_{CE}) \cdot (-R_E)}{DET}$$

Y para calcular IC:

$$I_C = \frac{\begin{bmatrix} -(R_B + R_E) & -V_{CC} + V_{BE} \\ -R_E & -V_{CC} + V_{CE} \end{bmatrix}}{DET}$$

Que lo resolvemos así: 
$$I_C = \frac{(-R_B + R_E) \cdot (-V_{CC} + V_{CE}) - (-R_E) \cdot (-V_{CC} + V_{BE})}{DET}$$

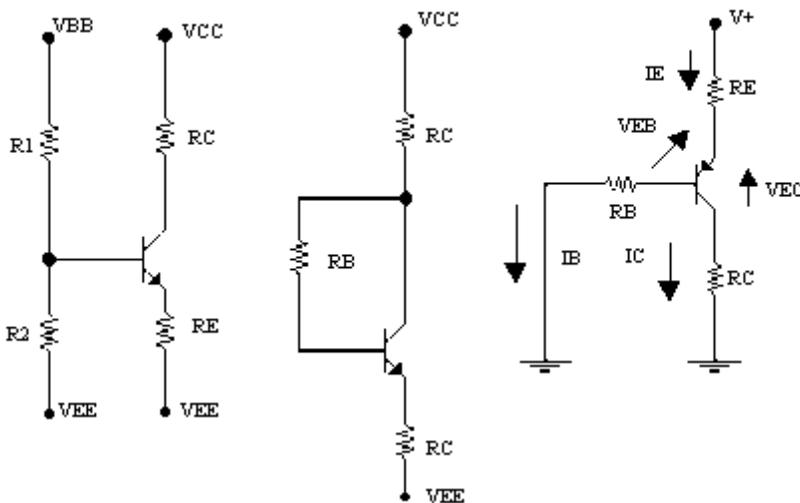
Luego con IB e IC calculamos IE:

$$I_E = I_B + I_C$$

### CONCLUSIONES IMPORTANTES

- Si el TBJ está en la zona activa, entonces la corriente de colector depende solo de la corriente de base  $I_C = B \cdot I_B$
- Un TBJ está saturado si la  $V_{CE} < 0.7v$
- Si  $V_{CE}$  es aproximadamente la tensión de alimentación, entonces el TBJ está en la zona de corte.
- Para que un TBJ este en la zona de corte debemos lograr  $I_B = 0$

### OTROS CASOS DE POLARIZACIÓN (SON COMBINACIONES DE LOS ANTERIORES)



El tratamiento es similar. Se plantean las ecuaciones de circulación de las mallas de entrada y salida, además de la ecuación del TBJ ( $I_C = B \cdot I_B$  si está en la zona activa).

Evidentemente se deben manejar muy bien las leyes de Kirchoff y de ohm.

El último caso es el de un TBJ PNP, veremos sus ecuaciones. (atención con los sentidos de las corrientes y tensiones)

$$I_E = I_C + I_B \quad V_{EB} = 0.7v$$

Si se cumple que  $V_{EC} > 0.7v$  y  $< V_{fuente}$  entonces TBJ en la zona activa y vale la fórmula  $I_C = B \cdot I_B$

Circulando por la malla de entrada:  $V - R_E \cdot I_E - V_{EB} - R_B \cdot I_B = 0$  y suponemos que está en la zona activa vale  $I_C = B \cdot I_B$  entonces  $V - R_E \cdot (B+1) \cdot I_B - V_{EB} - R_B \cdot I_B = 0$  de la cual despejando

$$I_B := \frac{V - V_{EB}}{R_B + (B+1) \cdot R_E} \quad V_{EC} := V - I_C \cdot R_C - I_E \cdot R_E$$

La última ecuación se obtiene circulando por la malla de salida, y es útil para determinar si el TBJ está en la zona activa.