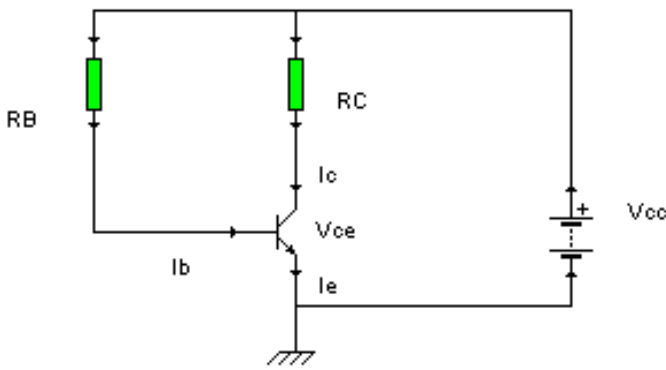


# CIRCUITOS DE POLARIZACIÓN DEL TRANSISTOR EN EMISOR COMÚN

## 1) POLARIZACIÓN FIJA



El circuito estará formado por un transistor NPN, dos resistencias fijas: una en la base  $R_B$  (podría ser variable) y otra en el colector  $R_C$ , y una batería o fuente de alimentación  $V_{CC}$ . Este circuito recibe el nombre de **circuito de polarización fija** y determina el punto  $Q$  de reposo del transistor para unos valores dados de  $V_{CC}$ ,  $R_B$  y  $R_C$ . Es el circuito más sencillo, pero también el más inestable con las variaciones de la temperatura.

### Recta de carga

Del circuito de arriba es fácil obtener la relación que existe entre la corriente de colector  $I_C$  y la tensión colector-emisor  $V_{CE}$  del transistor, aplicando la ley de Kirchoff resulta:

$$\boxed{V_{CC} = V_{CE} + I_C \cdot R_C} \quad \text{ecuación 1.1}$$

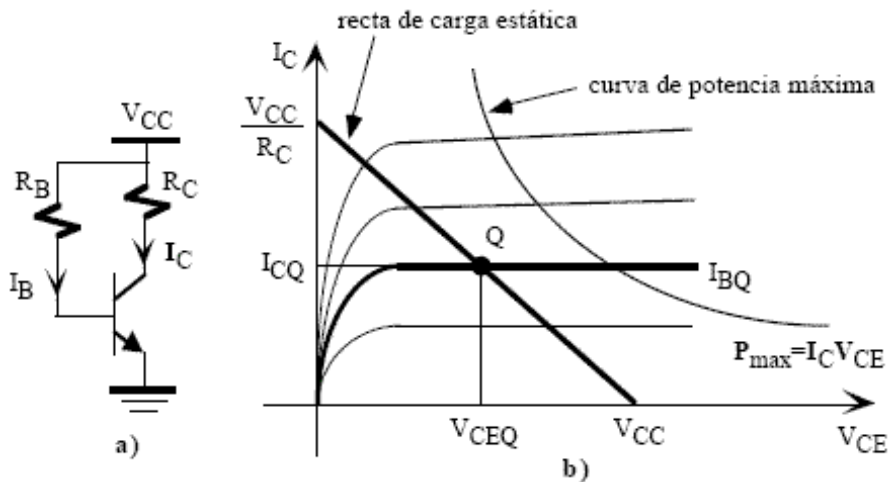
Esta expresión se conoce como **ecuación de la recta de carga**. En ella  $V_{CC}$  y  $R_C$  son constantes, y  $V_{CE}$  e  $I_C$  son las variables. La intersección entre esta recta de carga con la curva característica de salida del transistor determina el punto de reposo  $Q$ . Para trazar la recta en el plano  $I_C = f(V_{CE})$  es suficiente con establecer los puntos de corte con los ejes de coordenadas.

Cuando la corriente de colector es cero  $I_C = 0$ , la tensión colector-emisor es igual al potencial del generador  $V_{CE} = V_{CC}$ :

$$I_C = 0; V_{CE} = V_{CC}$$

Por otro lado, cuando la tensión colector-emisor es igual a cero  $V_{CE} = 0$ , la corriente de colector vale el potencial del generador entre la resistencia de colector  $I_C = V_{CC}/R_C$ :

$$V_{CE} = 0; I_C = V_{CC}/R_C$$



a) Circuito de polarización; b) Representación gráfica del punto de trabajo  $Q$ .

En la figura se muestra el circuito de polarización y la **recta de carga estática** con el punto de reposo  $Q$  que representa la intersección de esta recta con la curva  $I_B$  correspondiente. El valor de la corriente de base  $I_B$  se puede calcular aplicando la ley de Kirchoff al circuito de

## CIRCUITOS DE POLARIZACIÓN DEL TRANSISTOR EN EMISOR COMÚN

entrada o de base, así tenemos:

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

ecuación 1.2

Sabemos que el transistor entre base-emisor se comporta como un diodo, así que la tensión base-emisor para el silicio suele ser de 0,7 V, es decir:

$$V_{BE} = 0,7 \text{ V}$$

Entonces para un dado valor constante de la fuente de alimentación  $V_{CC}$  tenemos que la corriente de base solo depende de  $R_B$  y vale:

$$I_B = (V_{CC} - 0,7\text{V}) / R_B$$

Sabemos también que existe una relación entre las tres corrientes del transistor:

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

ecuación 1.3

De la 2ª ley de Kirchoff:

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

La ganancia de corriente del transistor para continua se conoce como  $\beta$  o  $h_{FE}$ , y no tiene unidades ya que relaciona  $I_C/I_B$ .

Con todo esto explicado hasta ahora podemos realizar ya un cálculo de polarización fija. Buscamos o medimos con el polímetro la ganancia de corriente  $\beta$  que para el BC547B está en 200 como valor mínimo. Un dato importante de este transistor es que la corriente de colector máxima es de 100 mA.

### **Ejemplo:**

Los datos del circuito son:

$$V_{CC} = 12 \text{ V}$$

$$R_C = 220 \ \Omega$$

$$R_B = 68\text{k}$$

$$\beta = 200$$

Hallar los valores de  $I_B$ ,  $I_C$  y  $V_{CE}$ .

$$I_B = (V_{CC} - 0,7\text{V}) / R_B = (12\text{V} - 0,7\text{V}) / 68\text{k} = 0,16617 \text{ mA} = 166,17 \ \mu\text{A}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 200 \cdot 0,16617 \text{ mA} = 33,235 \text{ mA}$$

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C \cdot R_C \rightarrow V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 12\text{V} - 33,235 \text{ mA} \cdot 220 \ \Omega = 12 \text{ V} - 7,31 \text{ V} = 4,69 \text{ V}$$

Para trazar la recta de carga, utilizaremos la expresión :

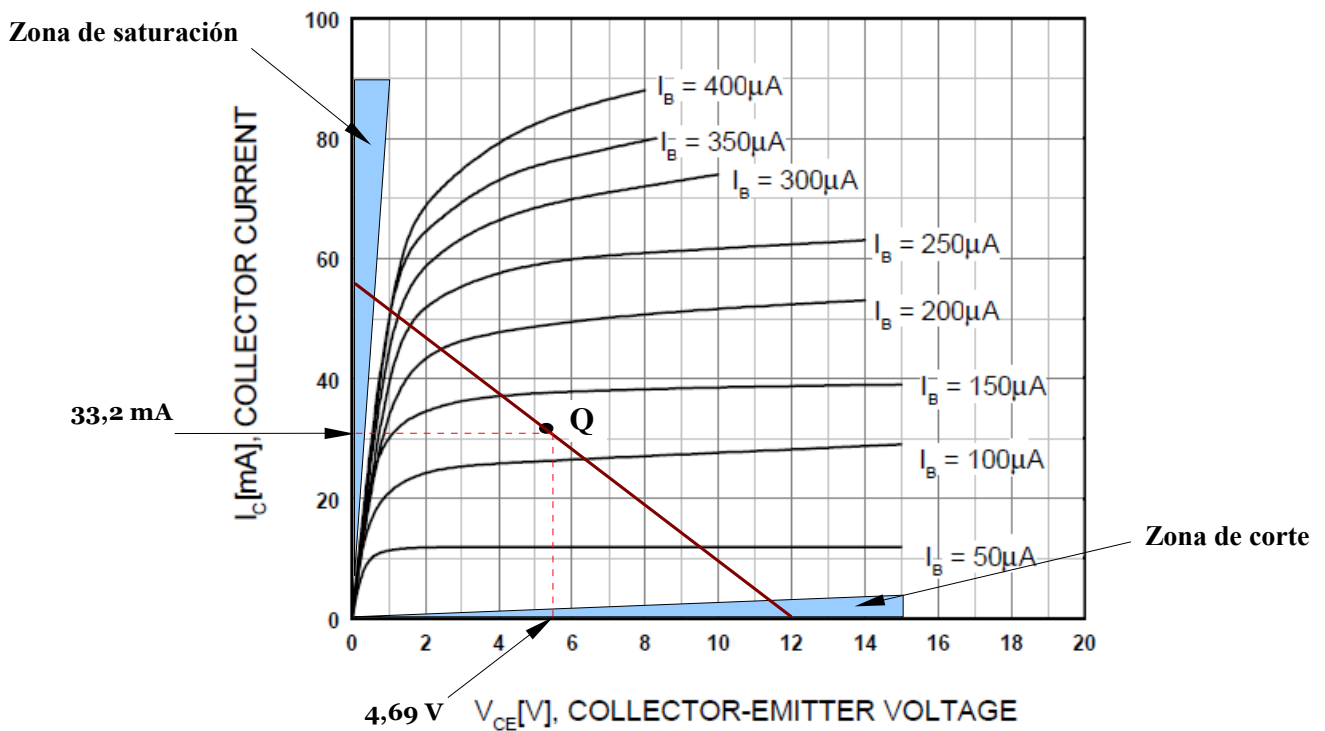
$$V_{CC} = V_{CE} + I_C \cdot R_C$$

Los puntos de corte con los ejes serán en este caso:

- para  $I_C = 0 \rightarrow V_{CE} = V_{CC} = 12 \text{ V}$
- para  $V_{CE} = 0 \rightarrow I_C = V_{CC} / R_C = 12 \text{ V} / 220 \ \Omega = 54,54 \text{ mA}$

Para el BC547B y sus curvas características de salida tendremos la siguiente recta de carga y el punto Q de reposo:

# CIRCUITOS DE POLARIZACIÓN DEL TRANSISTOR EN EMISOR COMÚN



Otro ejemplo:

Un circuito igual al anterior pero esta vez los datos son los siguientes:

$$V_{CC} = 30 \text{ V}$$

$$R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$$

$$R_B = 360 \text{ k}\Omega$$

$$\beta = 80$$

Hallar los valores de  $I_B$ ,  $I_C$  y  $V_{CE}$ , además trazar la recta de carga para los valores calculados.

$$I_B = (V_{CC} - 0,7\text{V}) / R_B = (30\text{V} - 0,7\text{V}) / 360\text{k} = 0,08138 \text{ mA} = 81,38 \mu\text{A}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 80 \cdot 0,08138 \text{ mA} = 6,51 \text{ mA}$$

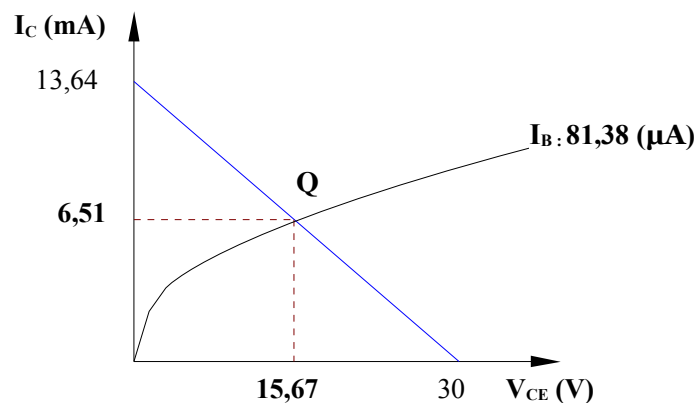
$$V_{CC} = V_{CE} + I_C \cdot R_C \rightarrow V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 30\text{V} - 6,51 \text{ mA} \cdot 2,2 \text{ k}\Omega = 30 \text{ V} - 14,32 \text{ V} = 15,67 \text{ V}$$

De forma análoga al ejemplo anterior, los puntos de cruce con los ejes serán:

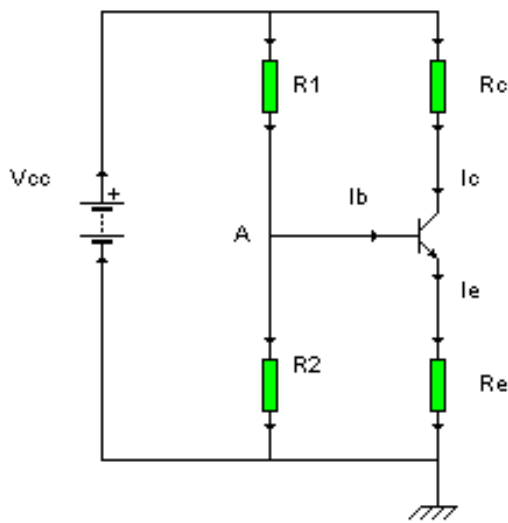
$$V_{CC} = V_{CE} + I_C \cdot R_C$$

Los puntos de corte con los ejes serán en este caso:

- para  $I_C = 0 \rightarrow V_{CE} = V_{CC} = 30 \text{ V}$
- para  $V_{CE} = 0 \rightarrow I_C = V_{CC} / R_C = 30 \text{ V} / 2,2 \text{ k}\Omega = 13,64 \text{ mA}$



## 2) POLARIZACIÓN UNIVERSAL



**Fig.1: Circuito de polarización universal**

En la figura se muestra un circuito con **polarización universal** capaz de compensar los desequilibrios producidos por la  $I_{CB0}^{(1)}$ ,  $\beta$  y  $V_{BE}$ . El circuito está constituido por un divisor de tensión, formado por  $R_1$  y  $R_2$ , conectado a la base del transistor, y por una resistencia de emisor  $R_E$ . Las variaciones de  $I_{CB0}$ ,  $\beta$  y  $V_{BE}$  por efecto de la temperatura se traducen en un aumento de la corriente de colector  $I_C$ . Cuando  $I_C$  tiende a aumentar la caída de tensión en  $R_E$  también aumenta, como la tensión en el divisor de tensión en el punto A es casi constante, el aumento de voltaje en  $R_E$  provoca que disminuya el voltaje entre base-emisor y esto a su vez disminuye la  $I_B$  lo que provoca una reducción de  $I_C$  y esto compensa su subida, en consecuencia manteniéndola estable ante variaciones de la temperatura.

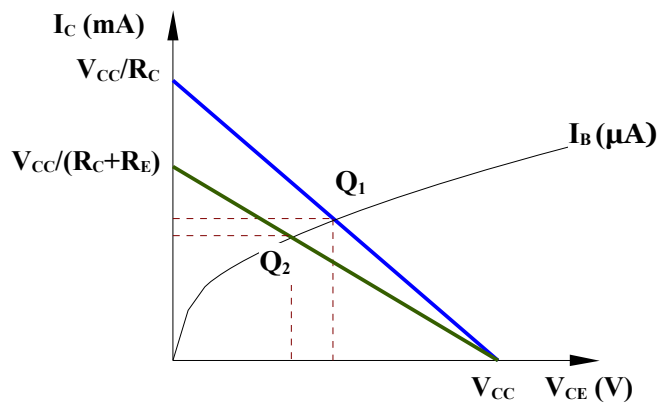
Al utilizar el sistema de polarización universal, la ecuación de la recta de carga viene dada por:

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C \cdot (R_C + R_E) \quad \text{ecuación 2.1}$$

El punto de corte con el eje de ordenadas  $I_C$ , es decir cuando  $V_{CE} = 0$ , tendrá el valor:

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

En la figura siguiente se muestra la recta de carga que corresponde a la ecuación 2.1 (en color verde) junto a la recta de carga de un circuito equivalente donde la  $R_E = 0$  (en color azul).



### Estudio simplificado

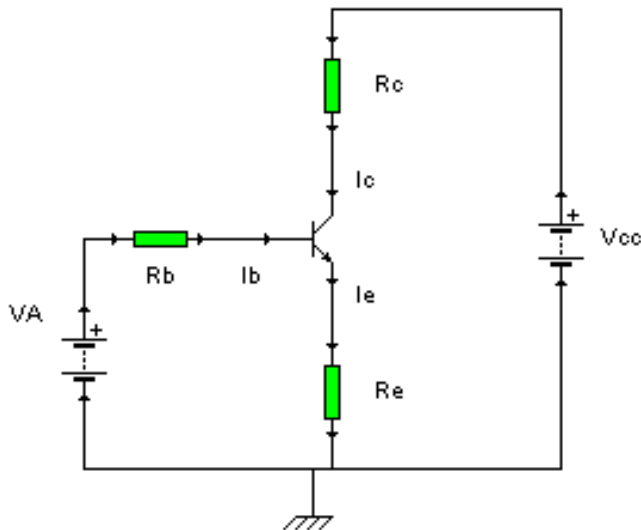
En este apartado haremos un análisis aproximado del circuito de polarización universal y de la estabilidad ante variaciones de la temperatura.

Las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  del circuito de la Figura 1 proporcionan en el punto A un determinado nivel de tensión y que corresponde a la base del transistor. Para hallar ese valor de tensión recurrimos a lo visto en el divisor de voltaje:

De esta manera el circuito simplificado aplicando estos cambios quedará así:

<sup>1</sup>  $I_{CB0}$ : corriente inversa de saturación o corriente de fugas. Se duplica cada vez que la temperatura del transistor sube  $10^\circ\text{C}$

# CIRCUITOS DE POLARIZACIÓN DEL TRANSISTOR EN EMISOR COMÚN



$$V_A = V_{cc} \cdot [R_2 / (R_1 + R_2)] \quad \text{ecuación 2.2}$$

La resistencia equivalente que se observa desde la base del transistor es:

$$R_B = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2) \quad \text{ecuación 2.3}$$

De este circuito podemos obtener la siguiente ecuación:

$$V_A = I_B \cdot R_B + V_{BE} + I_E \cdot R_E \quad \text{ecuación 2.4}$$

En la cual, si  $I_B \cdot R_B \ll V_A$  e  $I_E \approx I_C$ , podemos escribir la siguiente expresión:

$$I_C = (V_A - V_{BE}) / R_E \quad \text{ecuación 2.5}$$

Que nos indica que la corriente de colector  $I_C$  es independiente de la ganancia de corriente en continua  $\beta$  del transistor, y por lo tanto la sustitución de un transistor por otro de la misma serie, con un valor de  $\beta$  distinto no perturba el punto de reposo Q.

## Criterios para el diseño del circuito

La estabilidad del punto de funcionamiento en continua Q es mayor cuanto más grande sea la resistencia  $R_E$ , pero un valor muy elevado de esta reduciría considerablemente la corriente de colector  $I_C$  y en consecuencia la amplitud de una posible señal de salida del amplificador; por esta razón es necesario encontrar un valor de compromiso para la resistencia de emisor  $R_E$ . La  $R_E$  suele ser menor que la  $R_C$ , siendo válida la siguiente regla:

$$R_E \approx 1/4 \cdot R_C$$

de la cual deducimos que la resistencia de emisor debe tener un valor de aproximadamente el 25% del valor de la de colector.

Conocido el valor de  $R_E$  y de la corriente de colector, podemos calcular la caída de tensión sobre  $R_E$ :

$$V_{RE} = I_C \cdot R_E$$

Si despreciamos la caída de tensión en  $R_B$ , es decir  $I_B \cdot R_B$ , el valor de la tensión en la base será la misma que en el divisor de tensión, o sea que  $V_A$ , por lo tanto tendremos:

$$V_A = V_{RE} + V_{BE} = I_C \cdot R_E + V_{BE}$$

La estabilidad del punto de reposo también depende de la relación entre  $R_B$  y  $R_E$ , siendo más estable cuanto menor es dicha relación. Para limitar el consumo de energía de las resistencias del divisor de tensión  $R_1$  y  $R_2$  se suele utilizar una  $R_B$  de valor comprendido entre 5 y 10 veces el valor de  $R_E$ :

$$10 \cdot R_E > R_B \geq 5 \cdot R_E$$

Una vez determinado el valor de  $R_B$ , es fácil obtener los valores de  $R_1$  y  $R_2$  mediante las ecuaciones 2.2 y 2.3.

Veamos un ejemplo de aplicación:

Tenemos un circuito de polarización universal con  $V_{cc} = 20V$ ,  $R_1 = 47k$ ,  $R_2 = 10k$ ,  $R_C = 3k$  y  $R_E = 1k$ . El transistor tiene un  $\beta = 100$ ,  $V_{BE} = 0,7V$  e  $I_{CBO} = 10nA$ .

## CIRCUITOS DE POLARIZACIÓN DEL TRANSISTOR EN EMISOR COMÚN

Aplicando el método simplificado calcular el punto de reposo Q ( $I_C$  y  $V_{CE}$ ).

Aplicamos la *ecuación 2.2* y hallamos:

$$V_A = V_{CC} \cdot [R_2 / (R_1 + R_2)] \rightarrow V_A = 20 \text{ V} \cdot 10 \text{ k} / (47 \text{ k} + 10 \text{ k}) = 3,5 \text{ V}$$

Ahora mediante la *ecuación 2.5* obtenemos la  $I_C$  :

$$I_C = (V_A - V_{BE}) / R_E \rightarrow I_C = (3,5 \text{ V} - 0,7 \text{ V}) / 1 \text{ k} = 2,8 \text{ mA}$$

De la *ecuación 2.1* obtenemos la  $V_{CE}$ :

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C \cdot (R_C + R_E) \rightarrow V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot (R_C + R_E) = 20 \text{ V} - 2,8 \text{ mA} \cdot (3 \text{ k} + 1 \text{ k}) = 8,8 \text{ V}$$

La resistencia equivalente en la base  $R_B$  resulta de la *ecuación 2.3*:

$$R_B = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2) = 47 \text{ k} \cdot 10 \text{ k} / (47 \text{ k} + 10 \text{ k}) = 8,24 \text{ k}$$