

**Tema 7:**

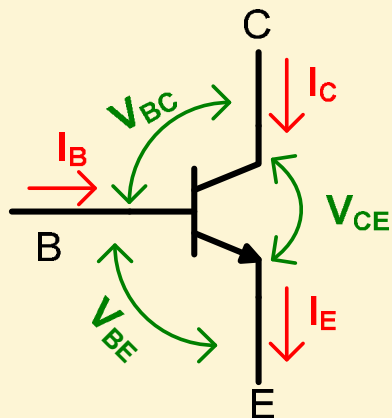
***“El TRANSISTOR  
BIPOLAR -  
Polarización de CD”***

# TBJ- POLARIZACION

TEMA 7

Características comunes a todos los transistores

Para definir un estado de polarización, se deben definir las corrientes y tensiones existentes en el dispositivo, se deben conocer seis variables:  $I_B, I_C, I_E, V_{BE}, V_{BC},$  y  $V_{CE}$



De las seis variables,  $I_B, I_C, I_E, V_{BE}, V_{BC},$  y  $V_{CE}$ , solo son independientes 4, ya que por las leyes de Kirchoff

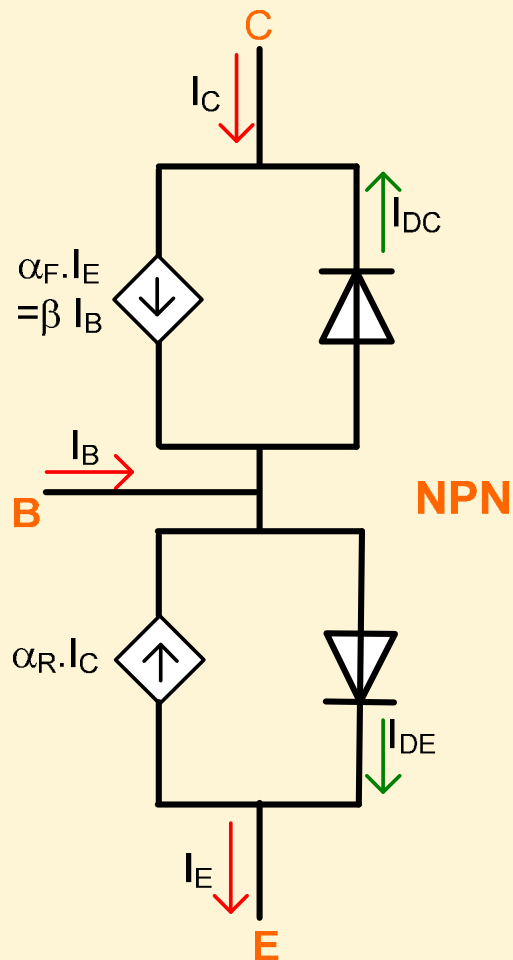
$$I_B + I_C = I_E$$

$$V_{BC} + V_{CE} = V_{BE}$$

Generalmente se trabajara con las variables  $I_B, I_C, V_{BE}$  y  $V_{CE}$

Por tanto se necesitan 4 ecuaciones para resolver las corrientes y tensiones en el transistor.

La temperatura es otro factor importante para la polarización, ya que provoca cambios en las características del dispositivo: la corriente aumenta con la temperatura  $\Rightarrow$  es necesario que el circuito externo de polarización brinde estabilidad de temperatura.



Modelo usado para predecir los modos de operación del TBJ en todos sus modos de operación posibles.

$$I_C = I_S \left( e^{\frac{v_{BE}}{V_\gamma}} - 1 \right) - \frac{I_S}{\alpha_R} \left( e^{\frac{v_{BC}}{V_\gamma}} - 1 \right)$$

$$I_E = \frac{I_S}{\alpha_F} \left( e^{\frac{v_{BE}}{V_\gamma}} - 1 \right) - I_S \left( e^{\frac{v_{BC}}{V_\gamma}} - 1 \right)$$

- $\alpha_F$  tiene unos valores comprendidos entre 0,9 y 0,998.
- $\alpha_R$  es considerablemente menor que 1. Su valor está comprendido entre 0,05 y 0,5.

Para que el transistor funcione en alguna de las regiones, es necesario polarizarlo mediante una red externa de continua.

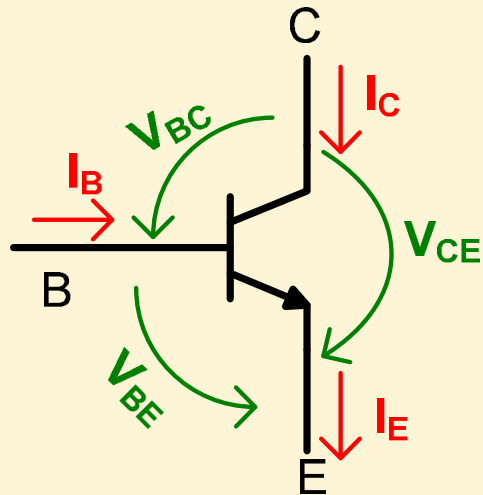
- El circuito de polarización externa es de **continua**.
- Las dos ecuaciones que impone el circuito de polarización en continua se denominan:

**“ ECUACIONES DE POLARIZACIÓN ”**

- Dos ecuaciones la proporciona el modelo del dispositivo.
- Las otras dos ecuaciones la proporcionará el circuito de polarización externa

En Régimen de tensiones y corrientes constantes, en ausencia de señales, **el circuito externo estará compuesto exclusivamente por:**

- Fuentes de tensión continuas y constantes.
- Fuentes de corriente continuas y constantes.
- Resistencias
- Las capacidades se considerarán C.A. Y las inductancias C.C.



Por leyes de Kirchoff :

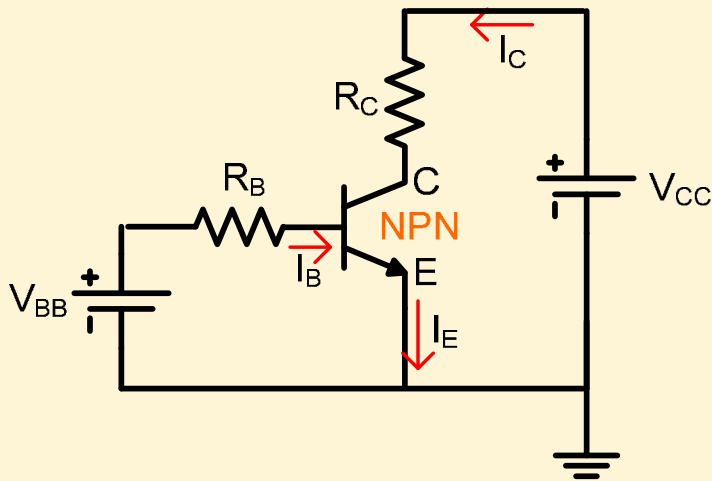
$$I_E = I_B + I_C$$

$$V_{BC} = V_{BE} - V_{CE}$$

Ecuaciones comportamiento:

$$I_B = g(V_{BE}, V_{CE})$$

$$I_C = f(V_{CE}, I_B)$$



### ECUACIONES DE POLARIZACIÓN

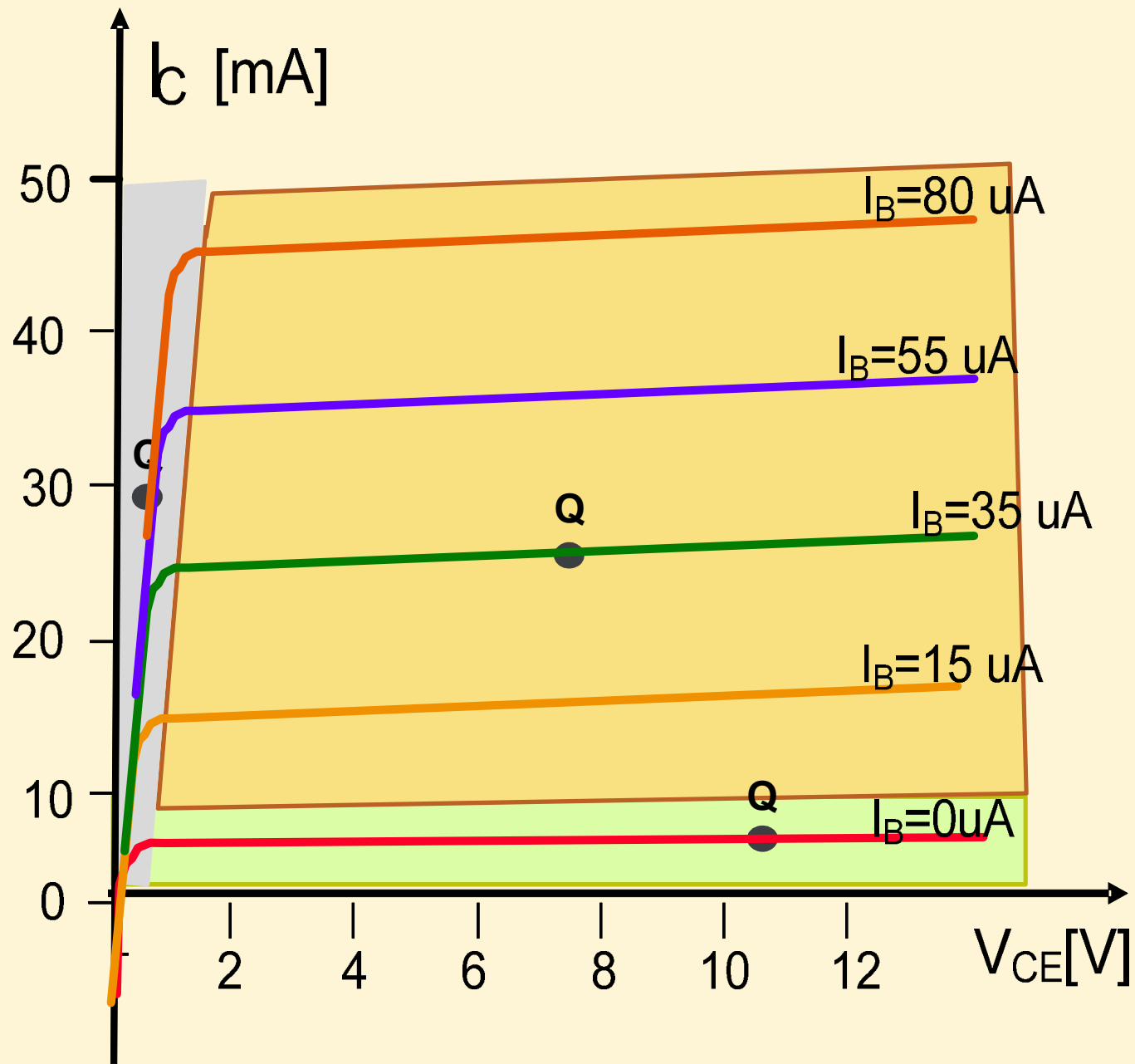
Ecuación circuito de entrada

$$V_{BB} = R_B I_B + V_{BE}$$

Ecuación circuito de salida

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

**Las ecuaciones de polarización solo dependen de la red de polarización externa**



### Cálculo de las corrientes en zona de corte

Particularizando las ecuaciones del transistor para la zona de corte:

$$V_{BE} < V_{\gamma} \quad V_{BC} < V_{\gamma}$$

Por tanto:

$$\text{Si} : V_{\gamma} = 0.7V$$

$$\text{Ge} : V_{\gamma} = 0.3V$$

$$e^{\frac{v_{BE}}{V_{\gamma}}} - 1 \approx -1 \quad \text{y} \quad e^{\frac{v_{BC}}{V_{\gamma}}} - 1 \approx -1$$

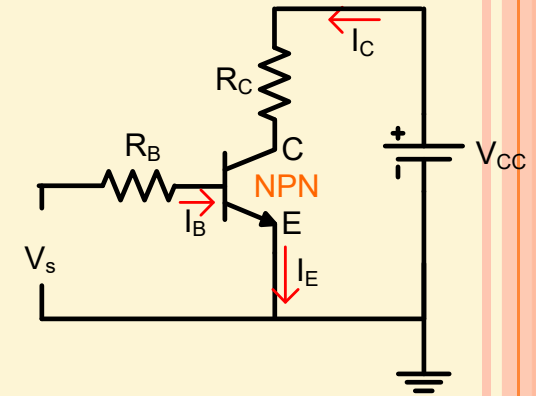
Se obtiene:

$$\left. \begin{matrix} i_C \approx 0 \\ i_E \approx 0 \end{matrix} \right\} i_B \approx 0$$

No fluye corriente por ninguno de los terminales

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

*Muy importante!!*



Para polarizar el transistor en corte basta con no polarizar la unión base-emisor, es decir,  $V_{BE}=0$ .

La juntura CE del transistor se comporta como un **circuito abierto**.



### Cálculo de las corrientes en zona de saturación

Particularizamos las ecuaciones del transistor para la zona de saturación:

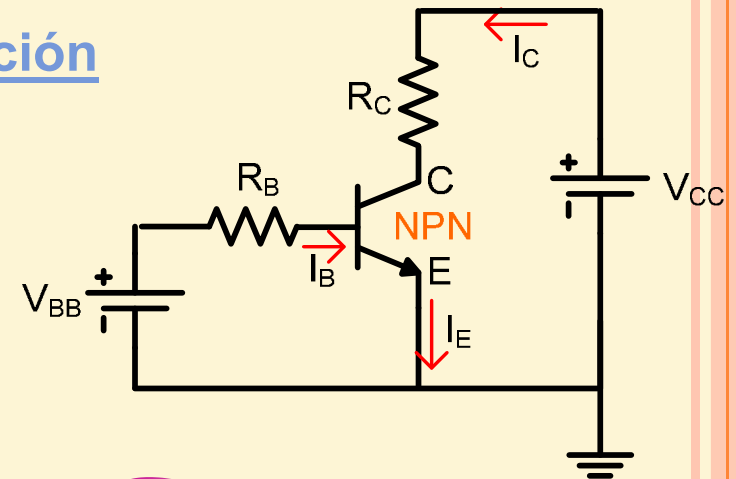
$$V_{BE} \gg V_{\gamma} \quad V_{BC} \gg V_{\gamma}$$

Por tanto:

$$e^{\frac{v_{BE}}{V_{\gamma}}} - 1 \approx e^{\frac{v_{BE}}{V_{\gamma}}} \quad \text{y} \quad e^{\frac{v_{BC}}{V_{\gamma}}} - 1 \approx e^{\frac{v_{BC}}{V_{\gamma}}}$$

Se obtiene:

$$V_{CEsat} = 0,2V; \quad V_{BE} = 0,7V \quad \text{e} \quad I_C \leq \beta I_B$$



*Muy importante!!*

Corrientes de emisor y de colector muy dependientes de las tensiones emisor base y colector base.

El comportamiento de un transistor en saturación es equivalente al de un **circuito cerrado**. En este estado de operación, aunque aumente la corriente de base, la corriente por el colector se mantiene constante.

## MODELO SIMPLIFICADO DEL TBJ EN LA ZONA DE SATURACIÓN

### TEMA 7

La unión base-emisor polarizada directamente y la unión base-colector polarizada también directamente.

$$V_{BE} > V_{\gamma} \qquad V_{BC} > V_{\gamma}$$

En el límite de la región de saturación a la Región activa directa,  $v_{BE}$  vale aproximadamente 0,7 voltios, y  $v_{BC}$  = tensión umbral = 0,5 voltios, por lo que  $V_{CE}$  valdrá 0,2 voltios, por eso se modela la tensión  $V_{CE}$  como una fuente de tensión constante de 0,2 voltios, aunque puede ser menor.

La tensión  $V_{BE}$  en saturación, debido a que la corriente de base suele ser bastante elevada, puede llegar a ser de 0,8 voltios en transistores de baja potencia

### Cálculo de las corrientes en zona de saturación

Escribiendo la ecuaciones de la malla de entrada del circuito de polarización:

$$V_{BB} = R_B I_B + V_{BE}$$

La malla de salida:

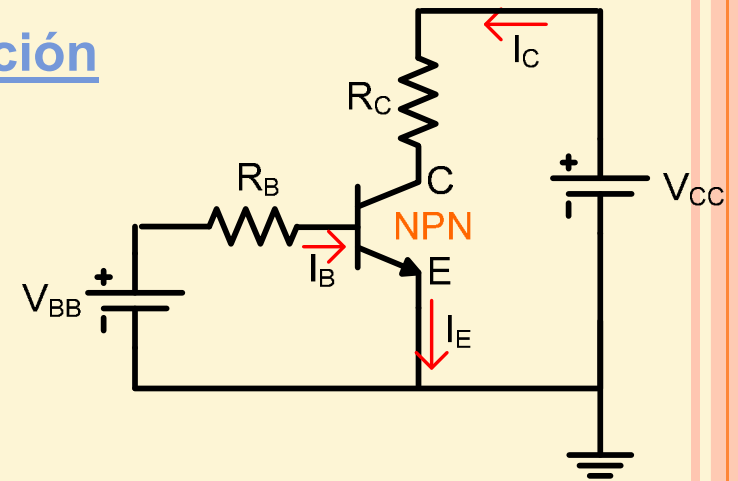
$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$$

Particularizando con:  $V_{CEsat} = 0,2V$ ;  $V_{BE} = 0,7V$  e  $I_C \leq \beta I_B$

$$V_{BB} = R_B I_B + 0,7$$

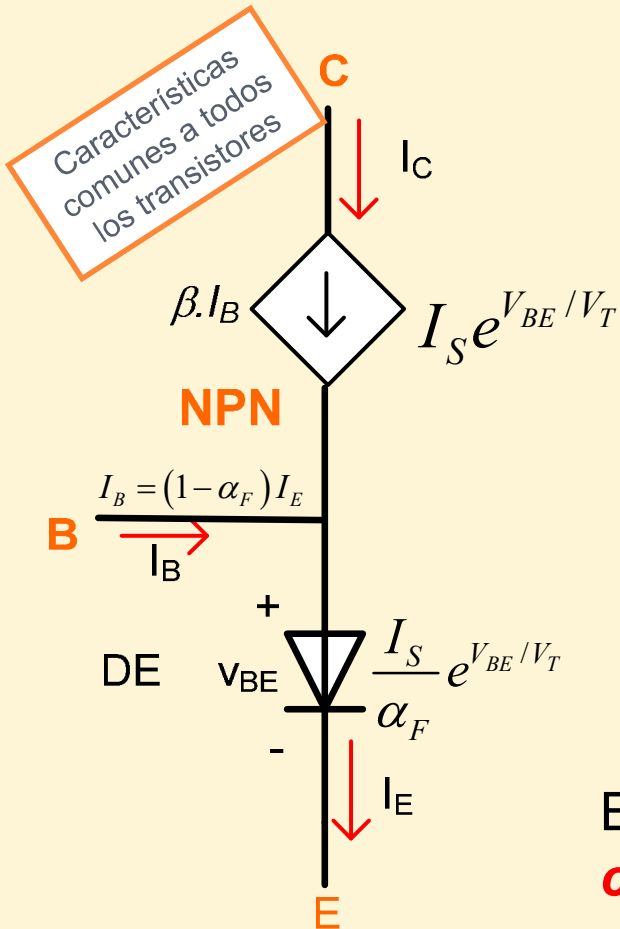
$$V_{CC} = R_C I_C + 0,2$$

$$I_C \leq \beta I_B$$



# TBJ- OPERACIÓN EN REGIÓN ACTIVA DIRECTA TEMA 7

Modelo equivalente del TBJ NPN en Modo Activo Directo



➤ Mientras la unión colector-base se mantenga con polarización inversa, la  $I_C$  será independiente del valor de la tensión del colector-base  $\Rightarrow$  el colector se comporta como una fuente de corriente constante dependiente de  $v_{BE}$

$$I_C = \beta I_B$$

Muy importante!!

El factor " $\beta$ " se denomina "**ganancia de corriente continua en emisor común**"

➤ Como las corrientes que entran a un TBJ deben ser iguales a las que salen:



$$I_E = I_B + I_C$$

- La corriente de base es una fracción de la corriente de colector
- El valor de  $\beta$  típico va de 50 a 800, según la aplicación.
- La corriente del emisor es la suma de las corrientes que “entran” al TBJ

$$I_C = \frac{\beta}{1 + \beta} I_E$$

Entonces :

$$\text{Si } \beta \geq 100 \Rightarrow I_C \approx I_E$$

Características  
comunes a  
todos los  
transistores

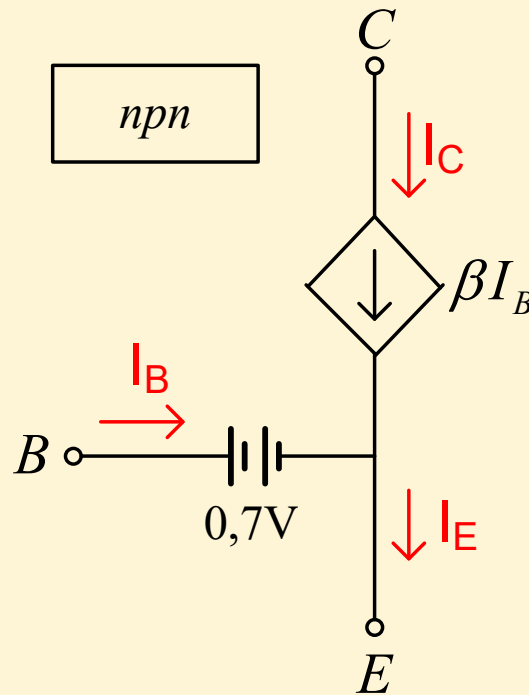
- Los fabricantes brindan como dato a  $h_{FE}$  en vez de  $\beta$ .
- $h_{FE}$  y  $\beta$  no son exactamente lo mismo, aunque a efectos prácticos sus valores son similares cuando  $I_{CO}$  es despreciable.
- Es por ello que en la práctica se habla indistintamente de  $h_{FE}$  y de  $\beta$ .

▪ En rigor:

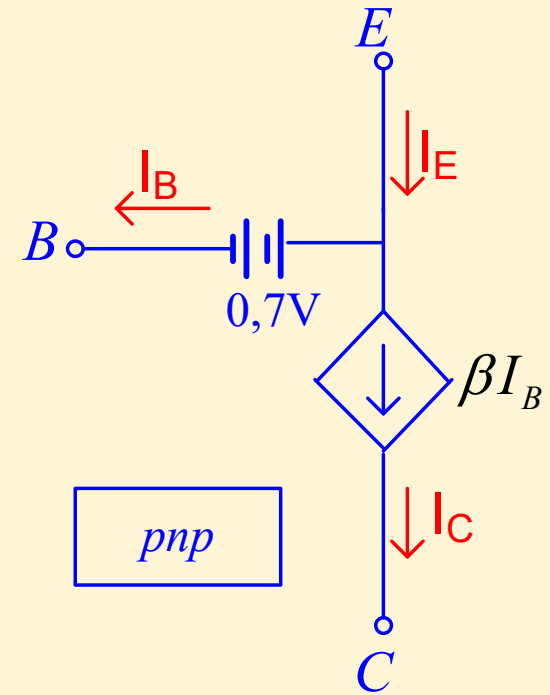
$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} \quad \text{y} \quad \beta = \frac{I_C + I_{CO}}{I_B + I_{CO}}$$

Por tanto, se puede decir que cuando el transistor está polarizado en la R.A.D. el transistor bipolar equivale al siguiente circuito:

Región Activa



$$I_B > 0 \quad V_{CE} > 0,2$$



$$I_B > 0 \quad V_{CE} < -0,2$$

Es decir:

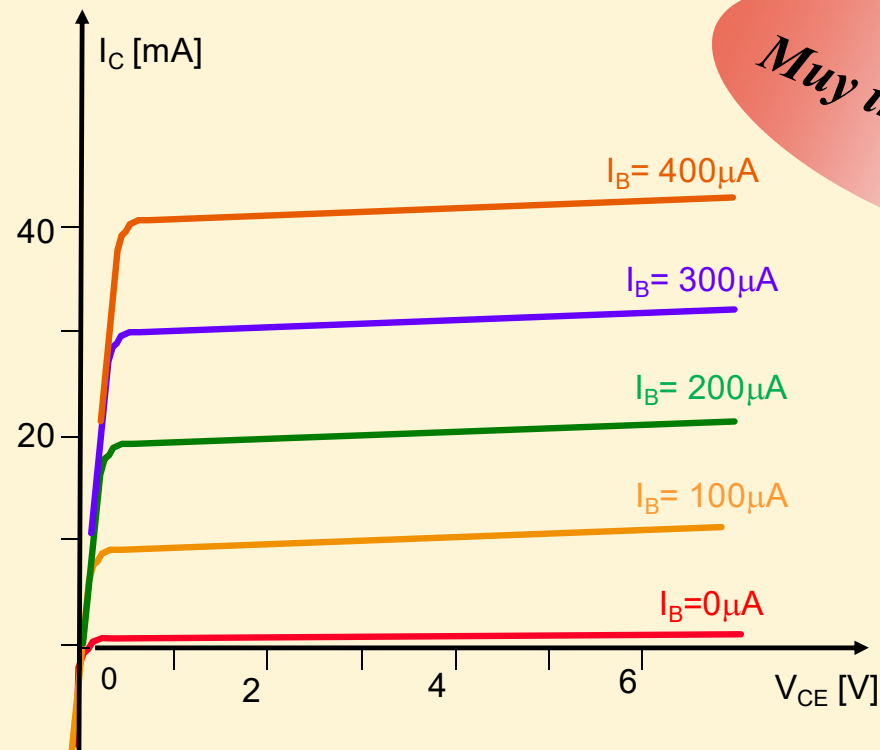
$$I_C = \beta I_B$$

**Por tanto el transistor, polarizado en zona activa, funciona como un amplificador de corriente controlado por corriente**

**Muy importante!!**

**IMPORTANTE:**  $I_C = \beta I_B$  quiere decir que **la corriente de colector depende exclusivamente de la corriente de base** (y que es independiente de la resistencia de colector  $R_C$ )  $\Rightarrow$   
**la corriente de colector de continua  $I_C$  es controlada por la malla de entrada.**

Esto también se puede observar en la característica o gráfica de salida:

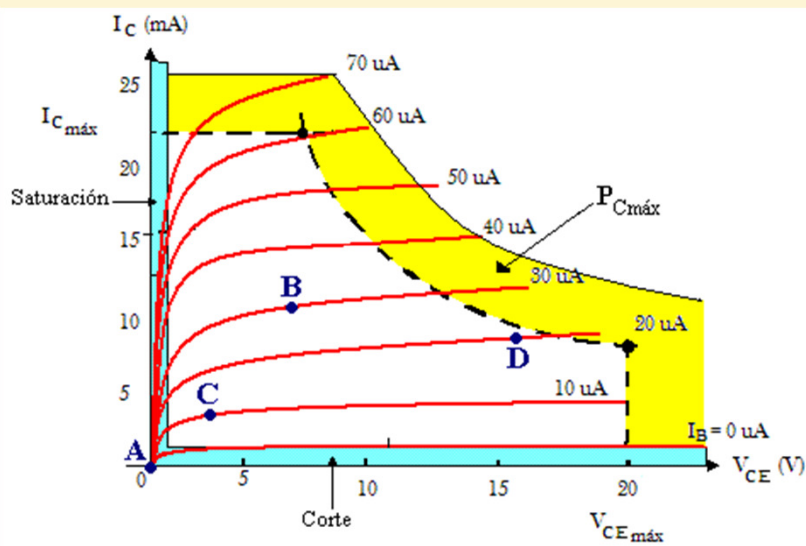


*Muy importante!!*

# POLARIZACIÓN- RESUMEN

TEMA 7

1. Según las tensiones aplicadas entre los terminales del transistor se polarizarán las junturas y se fija la zona de operación
2. Para aplicar estas tensiones en los terminales del TBJ es necesario diseñar un circuito externo de polarización de DC. Este circuito externo fijará el punto de operación deseado
3. Con 4 ecuaciones se resuelve la polarización. Dos ecuaciones la proporciona el modelo del dispositivo  $I_E = I_B + I_C$   $\wedge$   $I_C = \beta I_B$  y dos ecuaciones la proporcionará el circuito de polarización externo.
4. El teorema de superposición puede ser aplicado al circuito

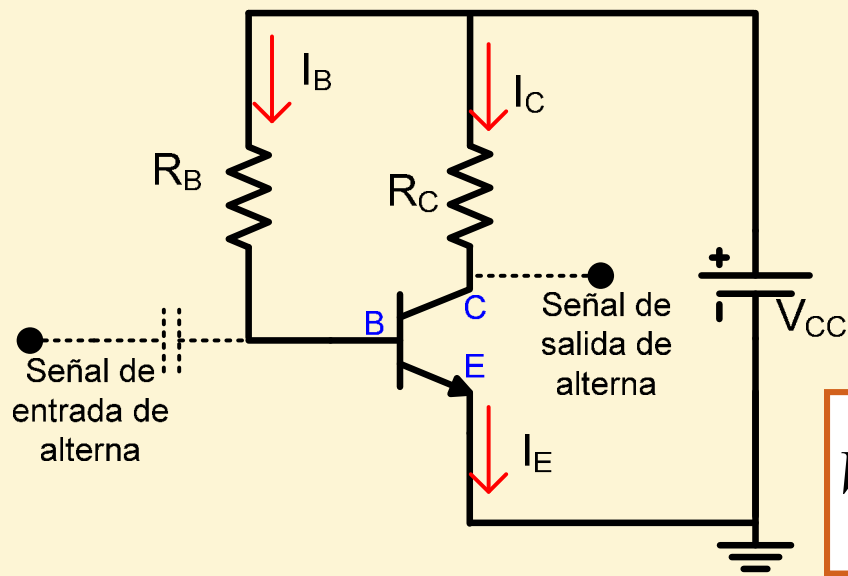


5. Hay 4 configuraciones típicas de circuitos de polarización
6. Cada diseño determinará la estabilidad del sistema.
7. El punto de operación es un punto fijo sobre las características del transistor que definen una región para la amplificación de la señal aplicada.



# CIRCUITO DE POLARIZACIÓN FIJA EN RAD

## TEMA 7



Región de operación	Unión B-E	Unión B-C
Activa Directa	Directo $V_{BE} > V_\gamma$	Inverso $V_{BC} < V_\gamma$

Red o malla de entrada

$$V_{CC} = I_B R_B + V_{BE} \Rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

Red o malla de salida

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} \Rightarrow I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}$$

Modelo del Dispositivo para Región Activa Directa

$$I_B + I_C = I_E$$

$$I_C = \beta I_B$$

Ecuación de la recta de carga:

$$y = mx + b$$

$$I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$

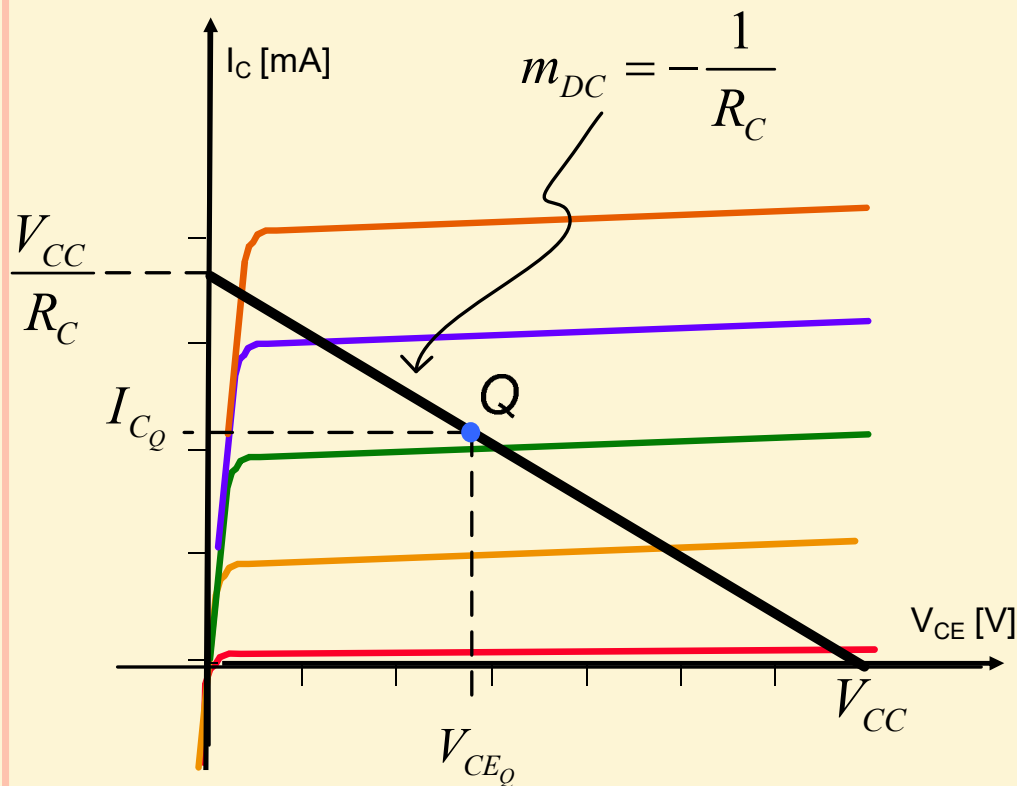
# CIRCUITO DE POLARIZACIÓN FIJA EN RAD

## TEMA 7

La representación gráfica de la ecuación de la malla de salida, se llama:

**Recta de carga estática o de continua.**

**Se grafica encima de las curvas características del dispositivo.**



$$y = mx + b$$

$$I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$

Para  $V_{CE}=0$

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

Para  $I_C=0$

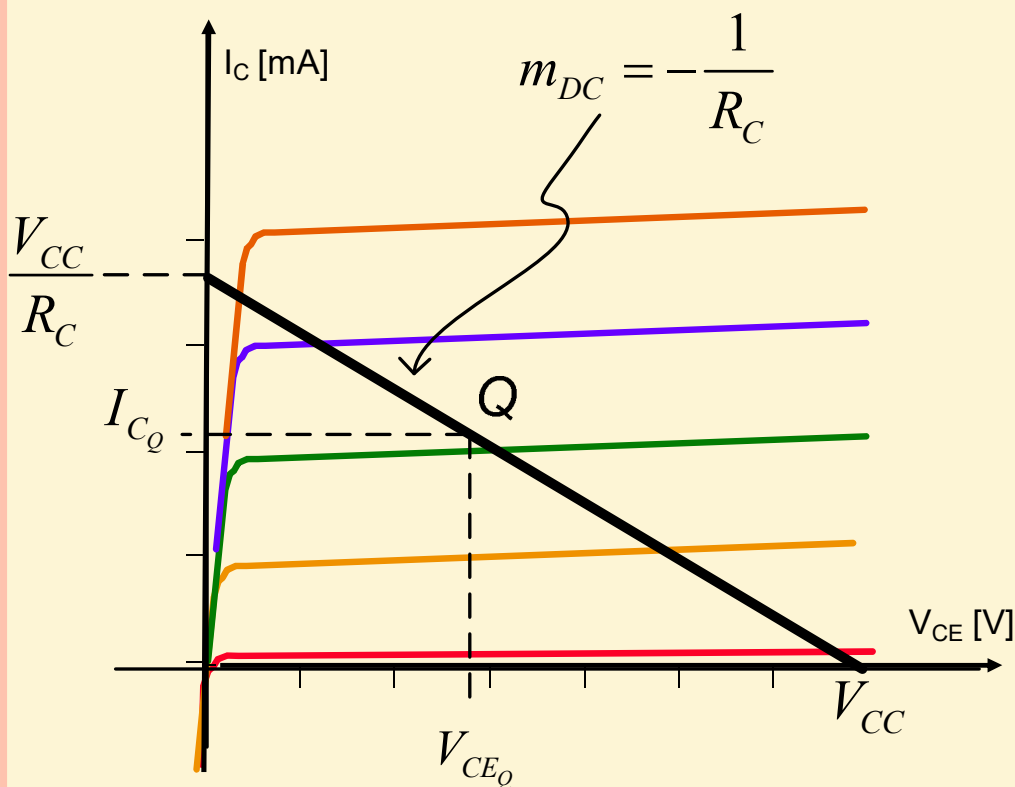
$$V_{CE} = V_{CC}$$

La pendiente de la recta es:

$$m_{DC} = -\frac{1}{R_C}$$

### Recta de carga estática o de continua.

➤ La recta de carga de CD describe todos los valores posibles de tensión y corriente en la malla de salida del circuito



$$y = m x + b$$

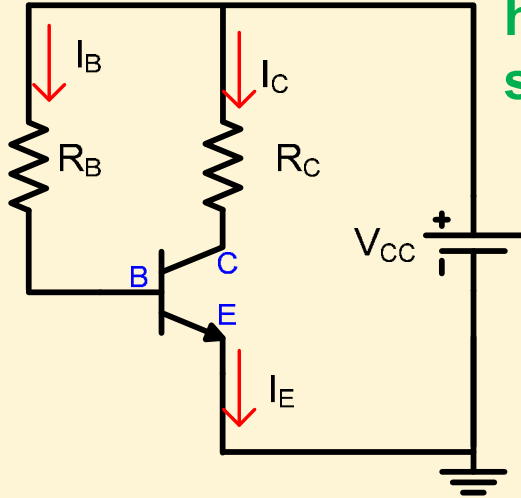
$$I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$

$$m_{DC} = -\frac{1}{R_C}$$

$$b = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

Ejemplo 1: Diseñe el circuito para que el punto de operación sea  $V_{CE} = 5V$ ,  $I_C = 3,5 \text{ mA}$ . Considere  $V_{BE} = 0,7 \text{ mV}$ ;  $\beta = 200$ ;  $V_{CC} = 12V$

El diseño, en este caso, consiste en calcular los elementos externos (resistencias) que hacen cumplir el punto de operación solicitado



$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} \Rightarrow R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = 2K\Omega$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = 1,75 \cdot 10^{-5} \text{ A} = 17,5 \mu\text{A}$$

$$V_{CC} = I_B R_B + V_{BE} \Rightarrow R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = 645,7K\Omega$$

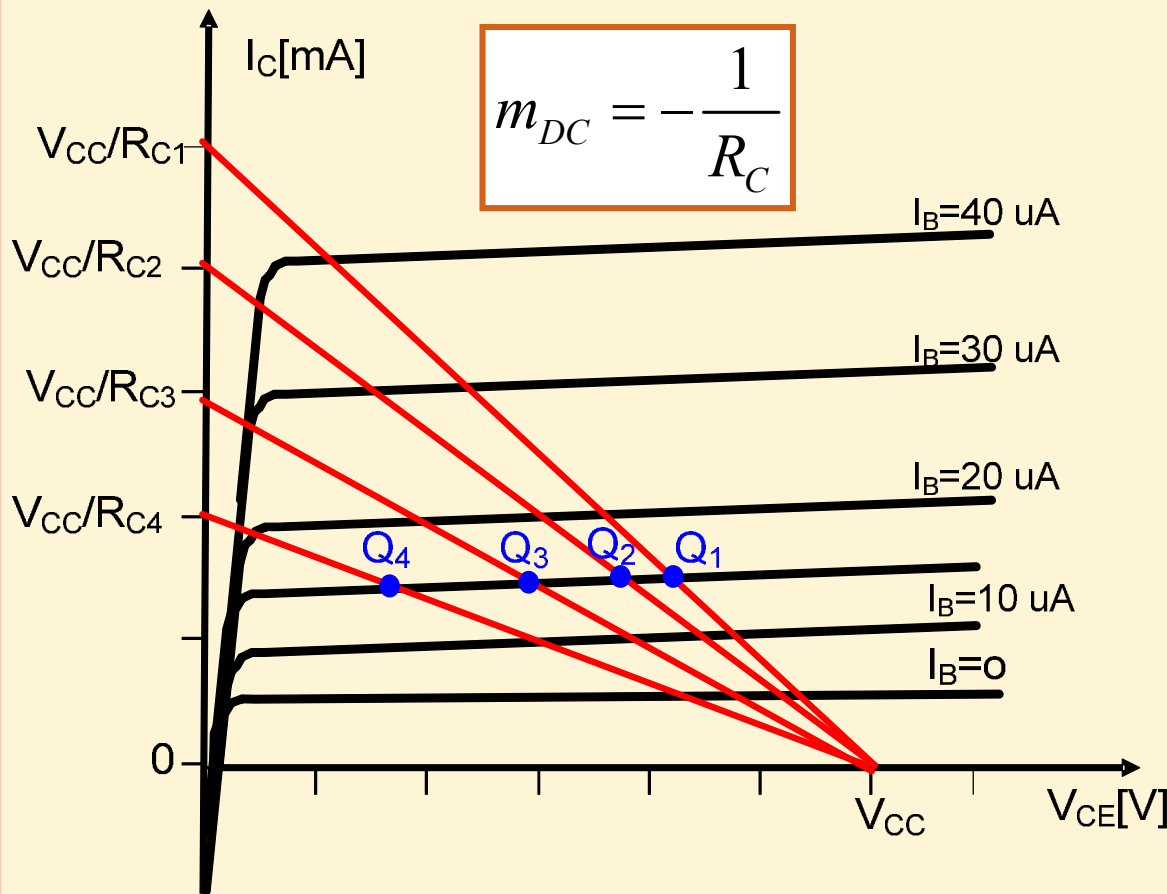
Si se desea cambiar el punto de polarización, se puede cambiar  $R_B$ ,  $R_C$  o  $V_{CC}$ .

Cambiar la resistencia de colector  $R_C$  equivale a cambiar la **pendiente** de la recta de carga. El punto Q queda determinado por la intersección de la recta de carga y la curva de  $I_B$ , puesto que  $R_C$  no interviene en el calculo de  $I_B$

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

$$m_{DC} = -\frac{1}{R_C}$$

$$I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$



Entonces, si se cambia  $R_C$ , cambia el valor de la tensión  $V_{CE}$ , SIN CAMBIAR la corriente de colector  $I_C$

# CIRCUITO DE POLARIZACIÓN FIJA EN RAD

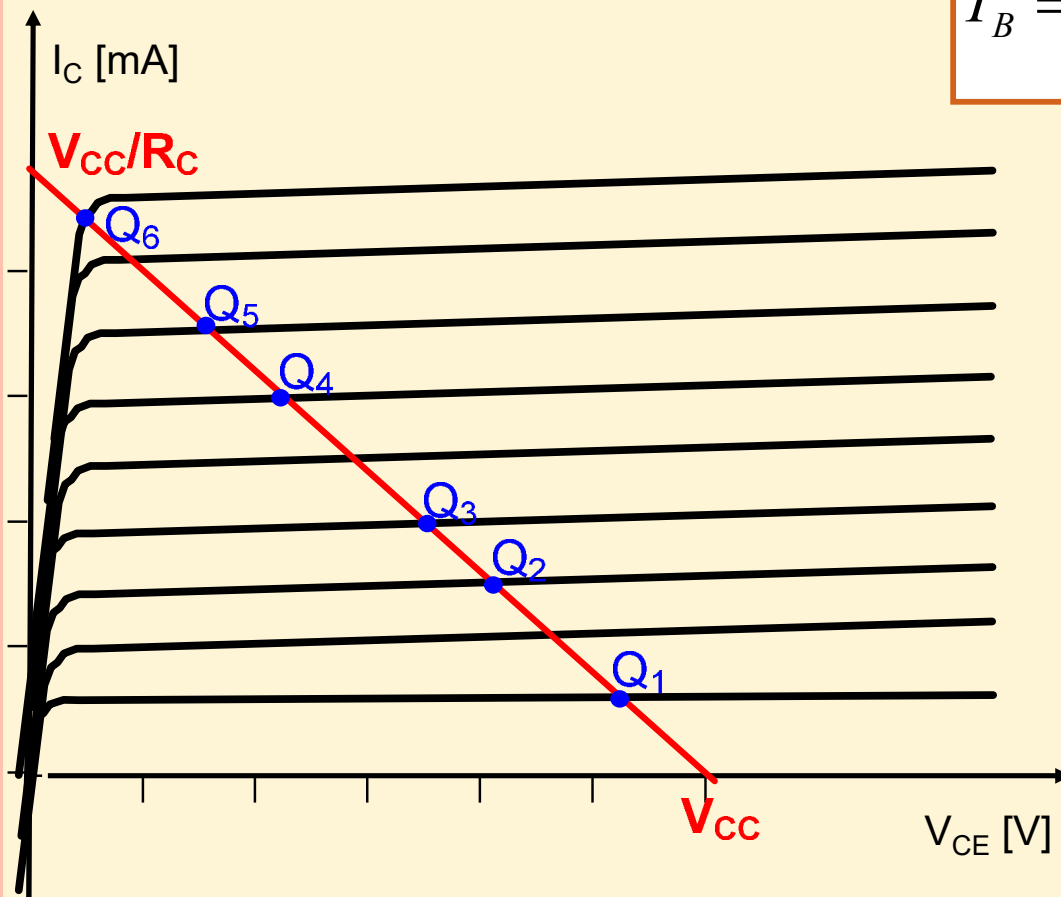
TEMA 7

El cambio de la/las resistencias del circuito de entrada, implicará un cambio de la corriente de base  $I_B$ .

En el gráfico equivale a mover el punto de operación sobre la misma recta de carga

$$I_B = -\frac{V_{BE}}{R_B} + \frac{V_{CC}}{R_B}$$

$$I_C = \beta I_B$$



$$I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$

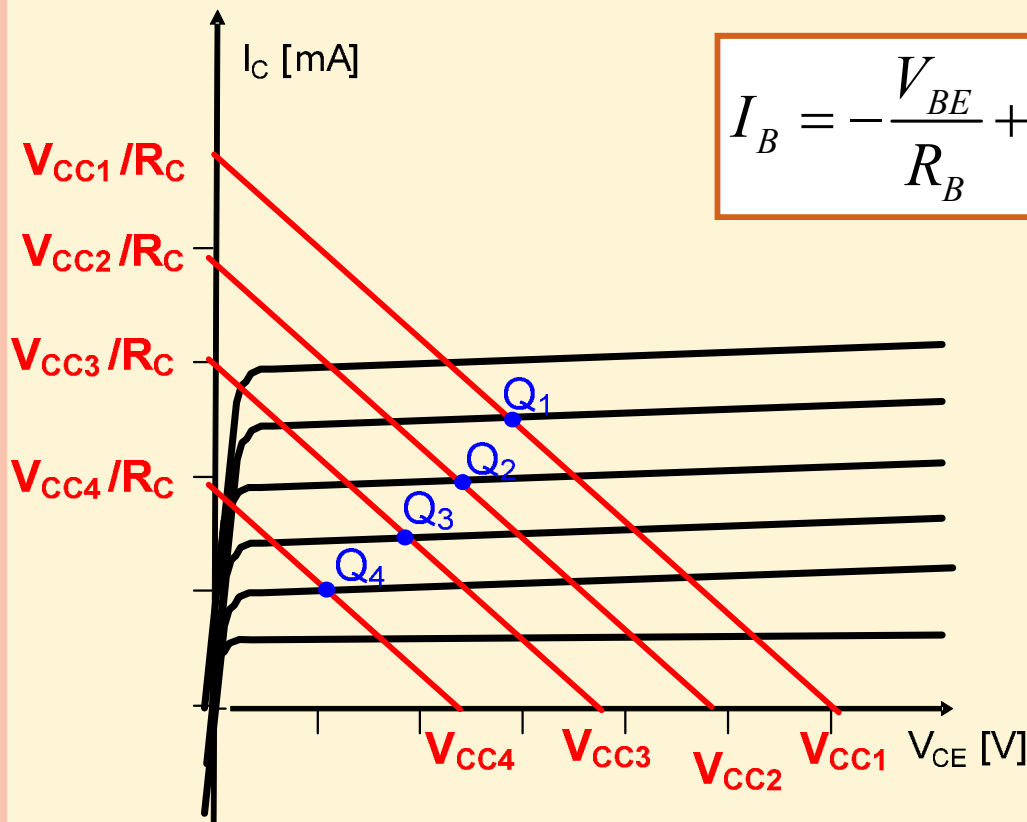
El cambio de  $R_B$ , provoca el cambio del valor de la tensión  $V_{CE}$ , y de la corriente de colector  $I_C$

# CIRCUITO DE POLARIZACIÓN FIJA EN RAD

## TEMA 7

En el gráfico se observa lo que ocurre cuando se cambia exclusivamente la fuente  $V_{CC}$  (sin cambiar la/las resistencias del circuito de entrada, ni la resistencia de colector).

En el gráfico equivale a trazar rectas de cargas paralelas y el punto de operación se moverá como se muestra.

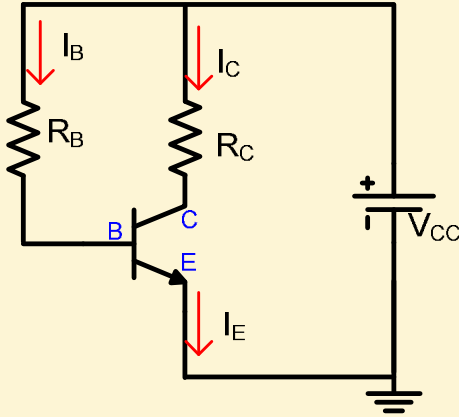


$$I_B = -\frac{V_{BE}}{R_B} + \frac{V_{CC}}{R_B}$$

$$I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C}$$

El cambio de  $V_{CC}$ , provoca el cambio del valor de la tensión  $V_{CE}$ , de la corriente de base  $I_B$  y de la corriente de colector  $I_C$

**Ejemplo 1:** Calcule el punto de operación del circuito, sabiendo  $V_{CC}=12V$ ,  $V_{BE}=0,7\text{ mV}$ ;  $\beta=50$ ;  $R_C=2,2K\Omega$ ;  $R_B=240K\Omega$

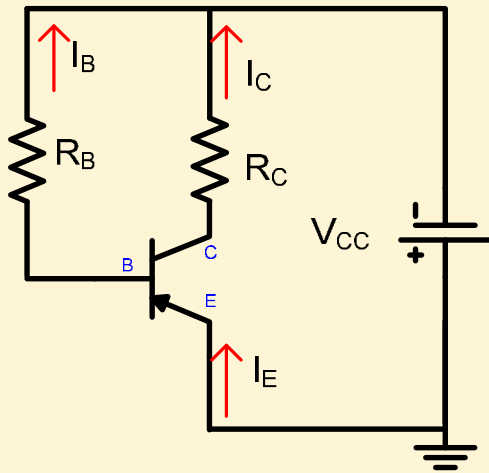


$$V_{CC} = I_B R_B + V_{BE}$$

$$\Rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = 4,71 \cdot 10^{-5} \text{ A} = 47,1 \mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B = 2,35 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 2,35 \text{ mA}$$

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 6,82 \text{ V}$$



**Ejemplo 2:** Calcule el punto de operación del circuito, sabiendo  $V_{CC}=22V$ ,  $V_{BE}=0,7\text{ mV}$ ;  $\beta=120$ ;  $R_C=3,3K\Omega$ ;  $R_B=680K\Omega$

$$V_{CC} = V_{BE} + I_B R_B \Rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = 31,3 \mu\text{A}$$

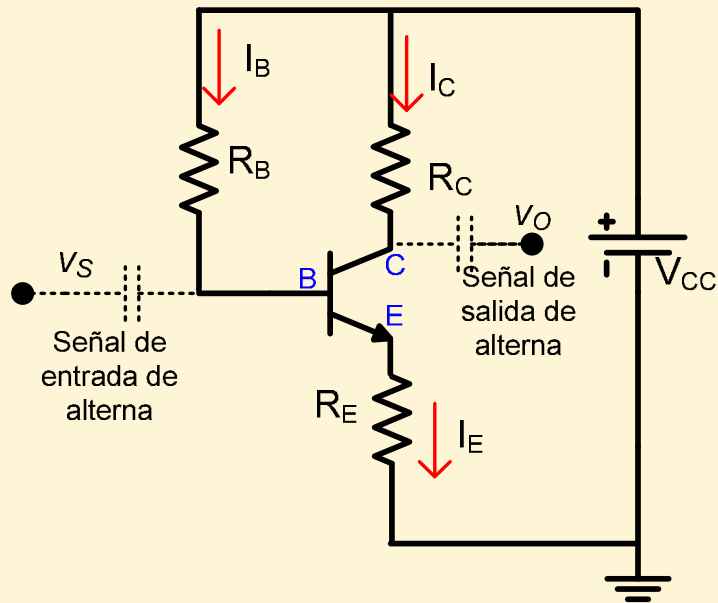
$$I_C = \beta I_B = 3,76 \text{ mA}$$

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} \Rightarrow V_{CE} = -(V_{CC} - I_C R_C) = -9,6 \text{ V}$$



# POLARIZACIÓN FIJA CON RESISTENCIA DE EMISOR EN RAD

## TEMA 7



Región de operación	Unión B-E	Unión B-C
Activa Directa	Directo $V_{BE} > V_{\gamma}$	Inverso $V_{BC} < V_{\gamma}$

Red o malla de entrada →

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

Red o malla de salida →

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

Modelo del Dispositivo para Region Activa Directa →

$$I_B + I_C = I_E$$

$$I_C = \beta I_B$$

# CIRCUITO DE POLARIZACIÓN FIJA CON RESISTENCIA DE EMISOR EN RAD

TEMA 7

$$I_C = \beta I_B \wedge I_E = I_B + I_C \Rightarrow I_E = (1 + \beta) I_B$$
$$I_E = I_B + I_C = \frac{I_C}{\beta} + I_C = \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) I_C$$

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



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

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



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

$$\text{Si } \beta > 100 \Rightarrow I_C \approx I_E$$

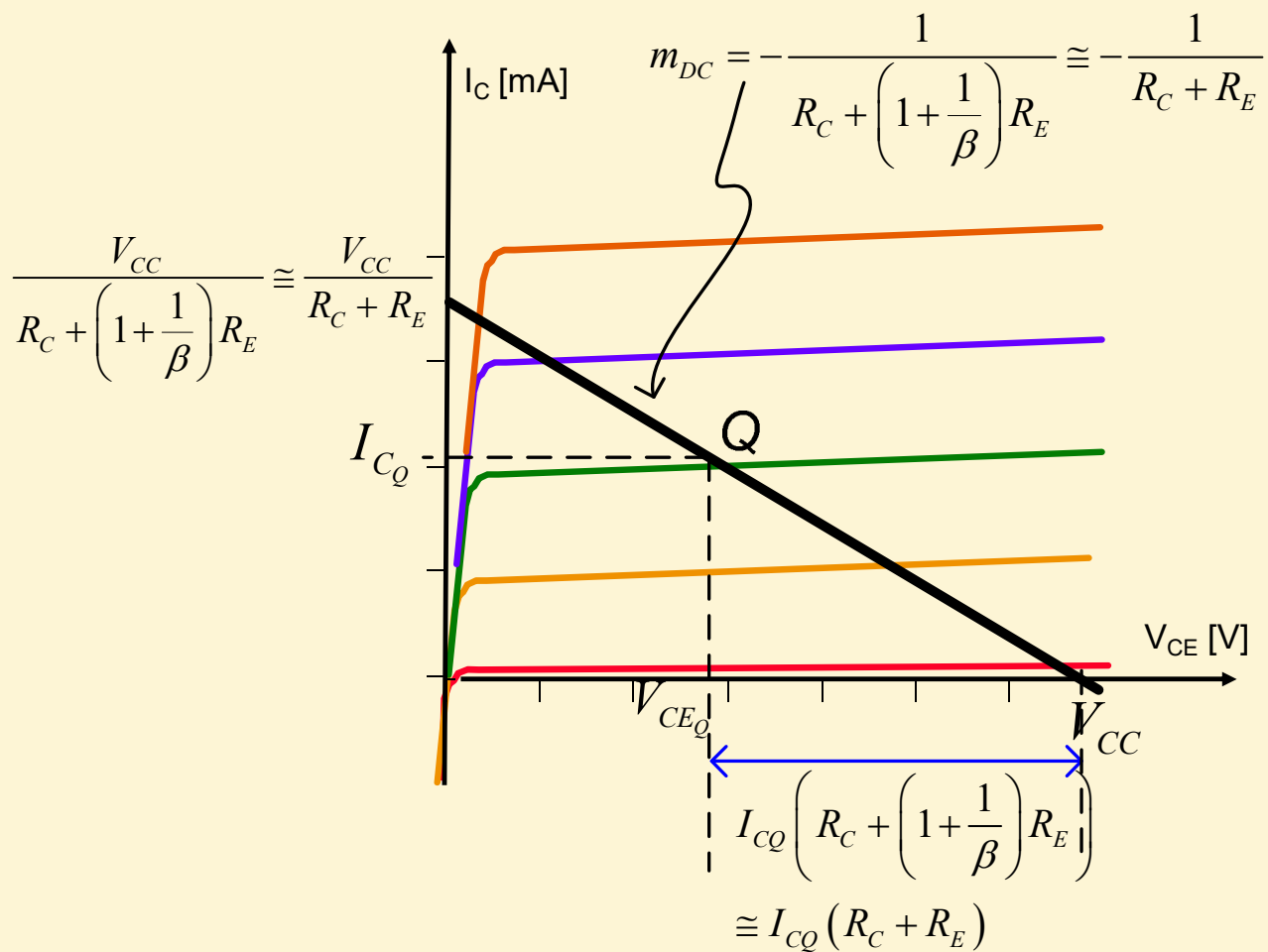
$$V_{CC} \approx V_{CE} + (R_C + R_E) I_C$$

$$V_{CC} \approx V_{BE} + (R_B + \beta R_E) I_B$$

# CIRCUITO DE POLARIZACIÓN FIJA CON RESISTENCIA DE EMISOR EN RAD- RECTA DE CARGA ESTÁTICA TEMA 7

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

$$I_C = -\frac{1}{R_C + R_E} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$



## CIRCUITO DE POLARIZACIÓN FIJA CON RESISTENCIA DE EMISOR EN RAD

El agregado de la resistencia de emisor  $R_E$ , proporciona una **mejor estabilidad del punto de operación**. Esto significa que ante cambios de parámetros externos, tales como tensión de alimentación de fuente, temperatura,  $\beta$ , etc; las tensiones y corrientes de CD toman valores próximos a los calculados para el punto de operación.

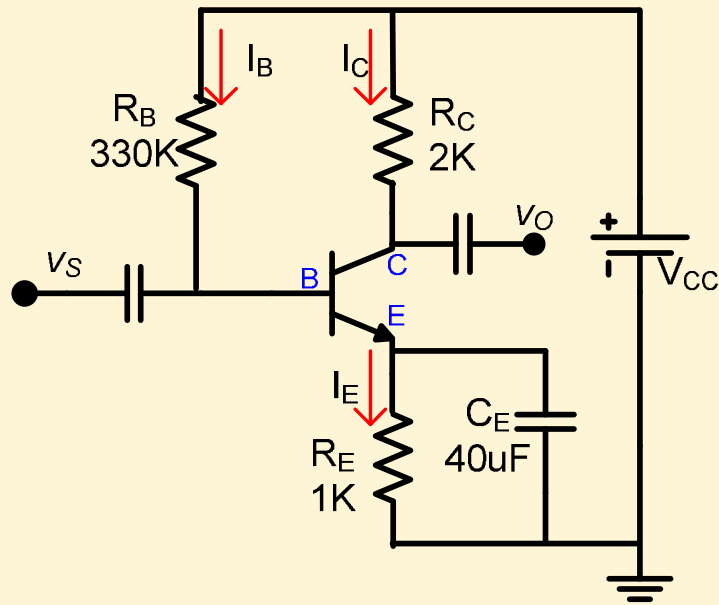
El análisis matemático de la estabilidad, se hará más adelante

### Análisis cualitativo:

- Si  $\beta$  aumenta por efecto de la temperatura, entonces se produce un aumento de la corriente de colector  $I_C$
  - Como  $I_C \approx I_E$ , entonces aumenta la corriente de emisor
  - El aumento de  $I_E$  provoca un aumento en la caída de tensión en  $V_{RE}$ .
  - Como
- $$V_{CC} = V_{BE} + R_B I_B + V_{RE}$$
- Entonces  $I_B$  disminuye
  - Si  $I_B$  disminuye, provoca que  $I_C$  disminuya

# CIRCUITO DE POLARIZACIÓN FIJA CON RESISTENCIA DE EMISOR EN RAD

TEMA 7



**Ejemplo 3:** Calcule la tensión de polarización  $V_{CE}$  y la corriente de polarización  $I_C$  para el circuito de la figura. Considere  $V_{CC} = 12V$ ;  $\beta = 100$

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

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_E} = 26,22 \mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 2,62 mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E)I_C = 4,13V$$

**Si se desea modificar el punto de polarización ya sea aumentando la corriente de colector, o aumentando la tensión colector emisor ¿que componente se debe modificar en un caso u otro?**

# CIRCUITO DE POLARIZACIÓN FIJA CON RESISTENCIA DE EMISOR EN RAD

TEMA 7

## Análisis de la influencia de los parámetros del circuito externo en el valor del punto de polarización

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

$$I_C = \beta I_B$$

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

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

$$m_{DC} = - \frac{1}{R_C + \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) R_E} \cong - \frac{1}{R_C + R_E}$$

### Análisis cualitativo:

- Si se cambia  $R_B$ , cambia  $I_B$ , cambia  $I_C$ , cambia  $V_{CE}$ . No cambia la recta de carga, o sea que el punto se mueve sobre la misma recta de carga, saltando de curva en curva de  $I_B$ .
- Si se cambia  $R_C$ , cambia la tensión colector emisor  $V_{CE}$ . No cambia  $I_B$  y por lo tanto no cambia  $I_C$ . Cambia el valor de la pendiente de la Recta de carga. Cada valor de  $R_C$  genera una recta de carga distinta.
- Si cambia  $R_E$ , cambia  $I_B$  y provoca proporcionalmente un cambio de  $I_C$  y un pequeño cambio de la tensión colector emisor  $V_{CE}$ .
- Si se cambia  $V_{CC}$ , cambia  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $V_{CE}$

# CIRCUITO DE POLARIZACIÓN FIJA CON RESISTENCIA DE EMISOR EN RAD

TEMA 7

## Análisis de la influencia de los parámetros del circuito externo en el valor del punto de polarización

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

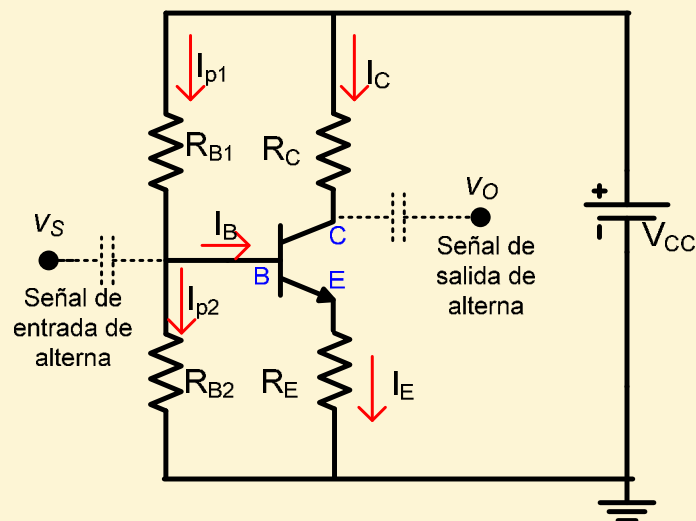
Fuente de corriente controlada por corriente

$$I_C = \beta I_B$$

$$V_{CE} = V_{CC} - \left[ R_C + \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) R_E \right] I_C$$

Debe quedar claro que:

- La corriente  $I_B$  depende de:  $V_{CC}$ ,  $R_B$  y  $R_E$
- La corriente  $I_C$  depende de:  $I_B$
- La tensión  $V_{CE}$  depende de:  $V_{CC}$ ,  $R_B$ ,  $R_C$  y  $R_E$
- Que un cambio de  $I_C$  no implica necesariamente un cambio de  $I_B$
- Pero todo cambio de  $I_B$ , implicara un cambio directamente proporcional de  $I_C$ , mientras se esté en la zona lineal
- La recta de carga depende de  $V_{CC}$ ,  $R_C$  y  $R_E$

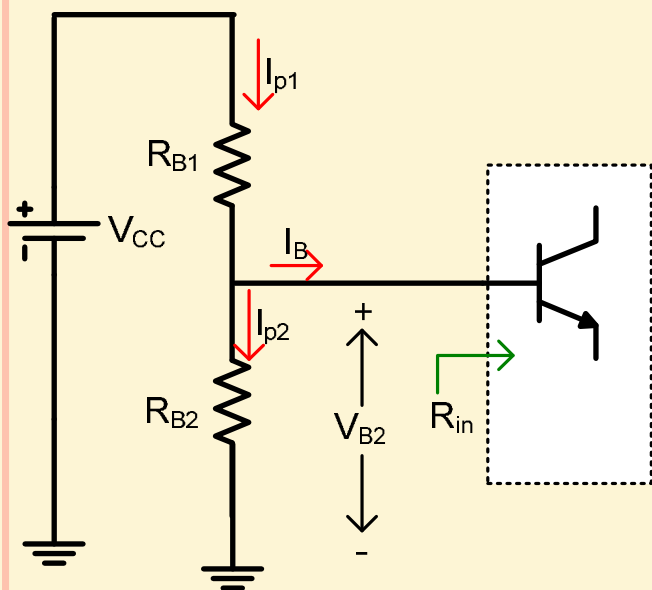


Región de operación	Unión B-E	Unión B-C
Activa Directa	Directo $V_{BE} > V_{\gamma}$	Inverso $V_{BC} < V_{\gamma}$

En los circuitos anteriores los valores de corriente y tensión  $V_{CE}$  de polarización dependen de  $\beta$ , que es sensible a la temperatura

### METODO APROXIMADO

Red o malla de entrada



Si:  $R_{B2} \ll R_{in} \Rightarrow I_{p1} = I_{p2} = I_p$

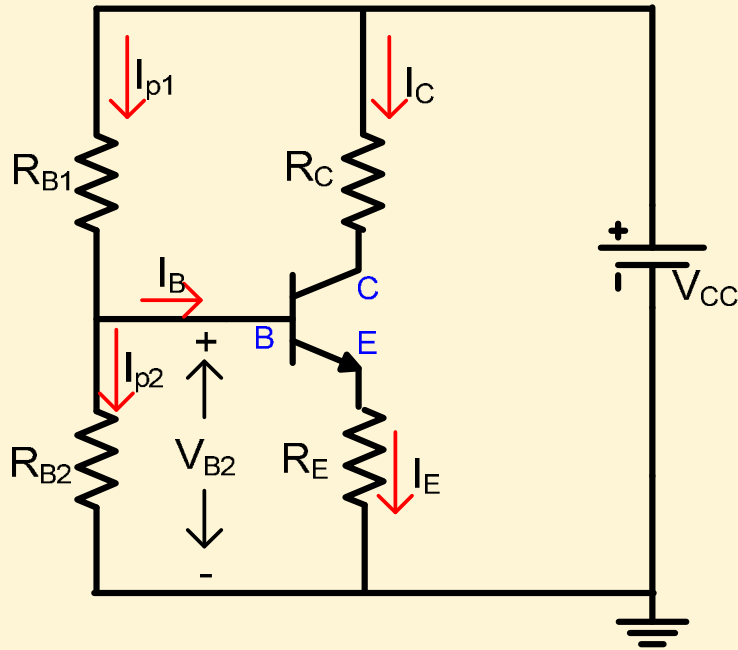
$$R_{in} = (1 + \beta) R_E$$

$$V_{CC} = I_p (R_{B1} + R_{B2})$$

$$V_{RB2} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC}$$



# CIRCUITO DE POLARIZACIÓN INDEPENDIENTE DE $\beta$ TEMA 7



$$V_E = V_{RB2} - V_{BE}$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E}$$

$$V_{Rc} = I_C R_C$$

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

Red o malla de salida

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

Si  $\beta > 100 \Rightarrow I_C \approx I_E$

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

# CIRCUITO DE POLARIZACIÓN INDEPENDIENTE DE $\beta$ EN RAD

TEMA 7

Observar: :

- $\beta$  no se utilizó en las ecuaciones de entrada y salida.
- La tensión de polarización de base  $V_{B2}$  es fija y depende exclusivamente de  $R_{B1}$ ,  $R_{B2}$  y  $V_{CC}$
- Esto implica que la tensión en  $R_E$  es fija y por lo tanto el valor de  $R_E$  impone el valor de la corriente  $I_E$  y por consiguiente de la corriente  $I_C$
- $R_C$  determinará el valor de la tensión de colector y por lo tanto la tensión  $V_{CE}$
- La tensión  $V_{B2}$  se puede ajustar mediante la variación de  $R_{B2}$  o de  $R_{B1}$ , pero es mas sencillo realizar el ajuste con  $R_{B2}$
- La corriente de colector se ajusta con la resistencia  $R_E$
- La tensión  $V_{CE}$  se ajusta por medio de  $R_C$

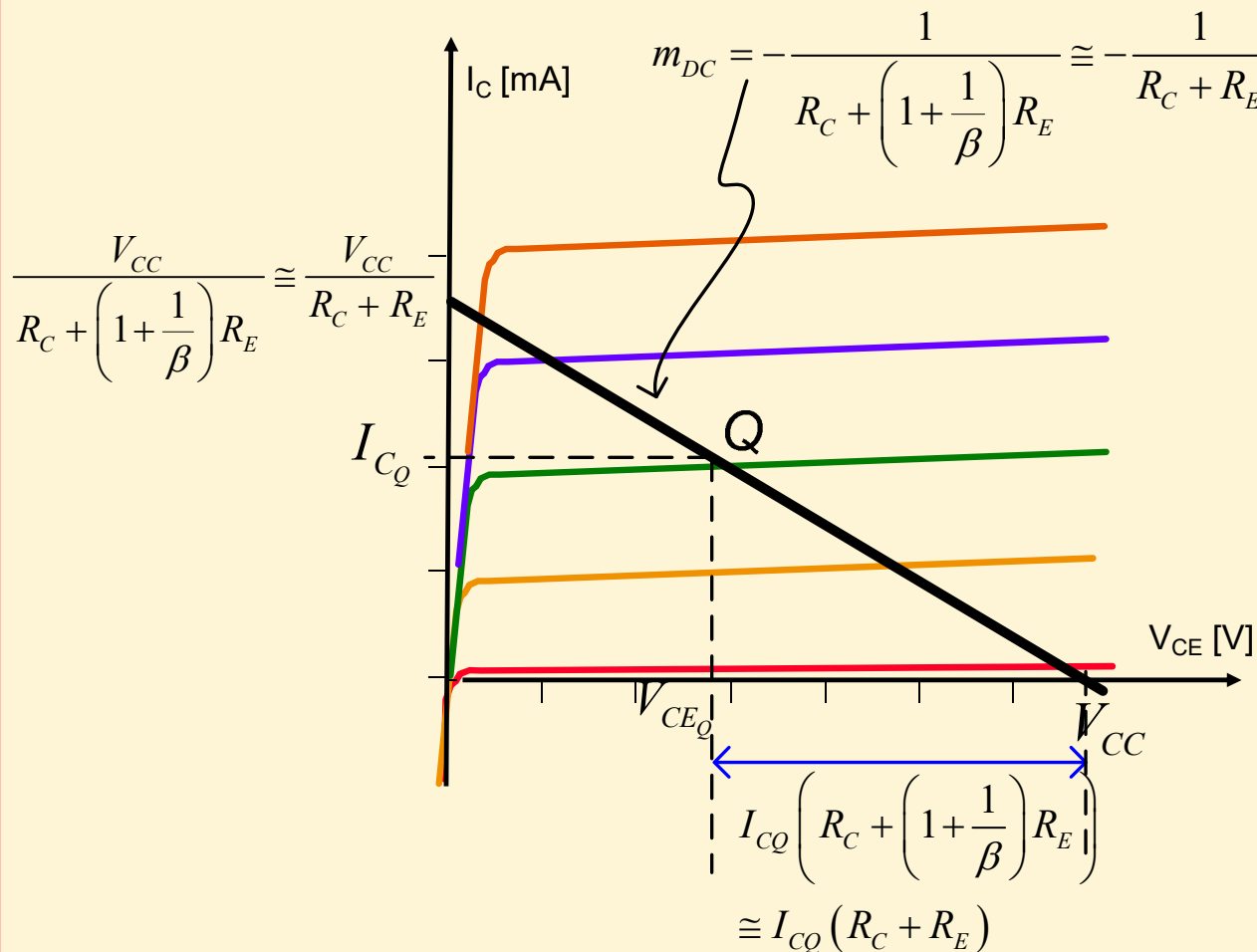
MUY  
IMPORTANTE

# CIRCUITO DE POLARIZACIÓN INDEPENDIENTE DE $\beta$ EN RAD

TEMA 7

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

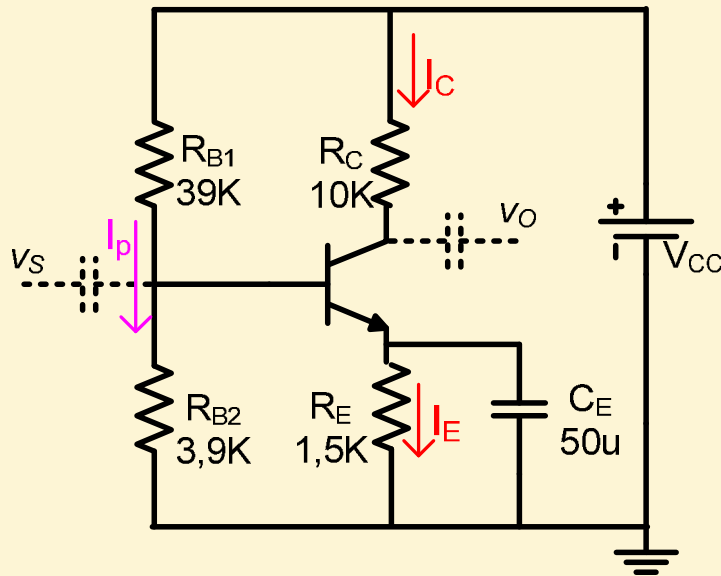
$$I_C = -\frac{1}{R_C + R_E} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$



➤ ES LA MISMA RECTA DE CARGA QUE EN CIRCUITO CON Pz FIJA CON RESISTENCIA DE EMISOR, POR QUE LA MALLA DE SALIDA ES LA MISMA!!!!!!

# CIRCUITO DE POLARIZACIÓN INDEPENDIENTE DE $\beta$ EN RAD- METODO APROXIMADO

TEMA 7



**Ejemplo 7:** Calcule la tensión de polarización  $V_{CE}$  y la corriente de polarización  $I_C$  para el circuito de la figura. Considere  $V_{CC} = 22V$ ;  $V_{BE} = 0,7V$ ;  $\beta = 140$

$$V_{RB2} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} = 2V$$

$$V_E = V_{RB2} - V_{BE} = 1,3V$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{1,3}{1500} = 0,867mA = I_C$$

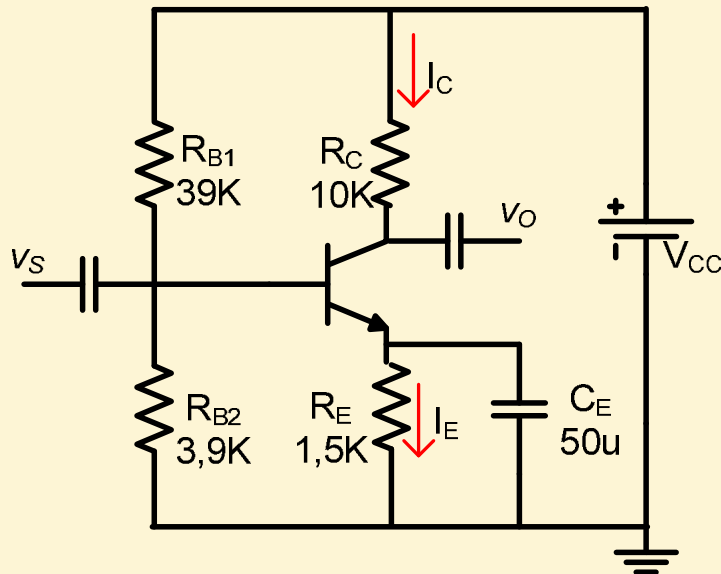
El método aproximado se basa en despreciar la corriente  $I_B$  frente a  $I_p$ . Se supone que  $I_p \geq 10I_B$ . Para que esto ocurra se debe cumplir que  $R_{B2} \ll R_{in}$



$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E) = 12,03V$$

# CIRCUITO DE POLARIZACIÓN INDEPENDIENTE DE $\beta$ EN RAD

TEMA 7



Ejemplo 5: Calcule la tensión de polarización  $V_{CE}$  y la corriente de polarización  $I_C$  para el circuito de la figura. Considere  $V_{CC} = 22V$ ;  $\beta = 140$

$$V_{RB2} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} = 2V$$

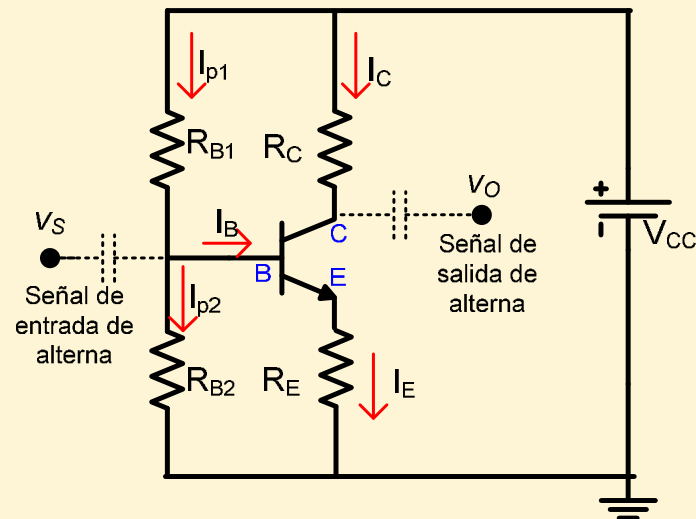
$$V_{RE} = V_{RB2} - V_{BE} = 1.3V$$

$$I_E = \frac{V_{RE}}{R_E} \cong I_C = 0,867mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E) = 12,03V$$

$$I_p = \frac{V_{cc}}{R_{B1} + R_{B2}} = 512,8\mu A$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = 6,19\mu A \quad I_p \gg I_B$$

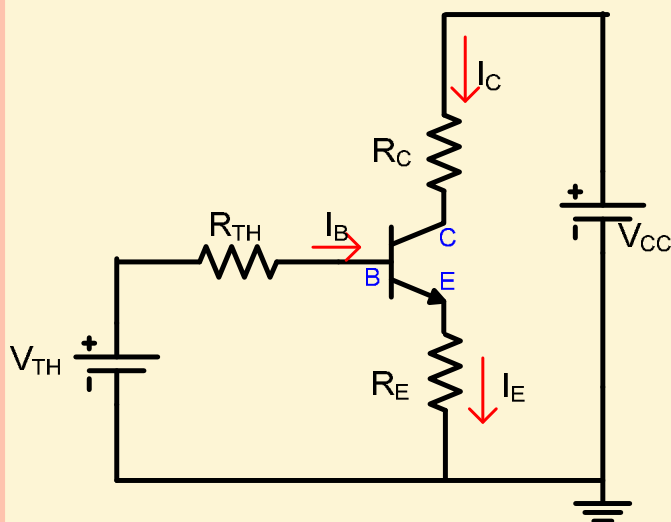


### METODO EXACTO

Red o malla de SALIDA:

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

Red o malla de ENTRADA: se aplica Thévenin:



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

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

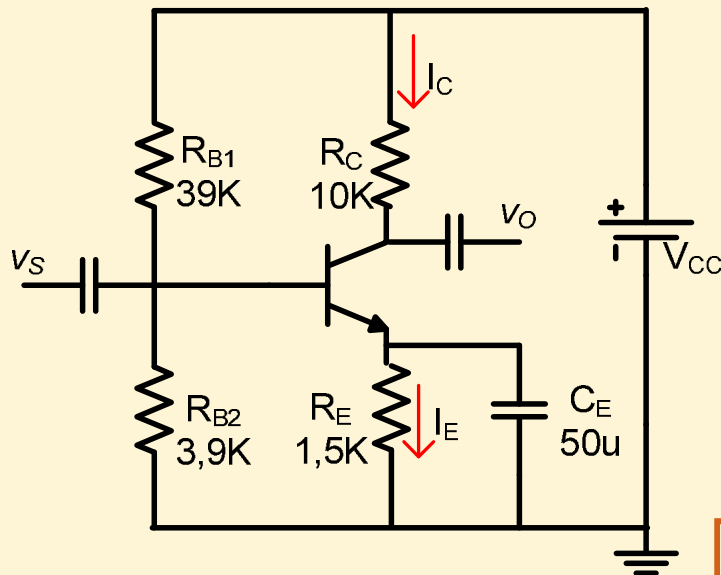
$$V_{TH} = R_{TH} I_B + V_{BE} + I_E R_E$$

$$V_{TH} = V_{BE} + R_{TH} I_B + (1 + \beta) R_E I_B$$

$$V_{TH} = V_{BE} + I_B (R_{TH} + (1 + \beta) R_E)$$

# CIRCUITO DE POLARIZACIÓN INDEPENDIENTE DE $\beta$ EN RAD-METODO EXACTO

TEMA 7



Ejemplo 7: Calcule la tensión de polarización  $V_{CE}$  y la corriente de polarización  $I_C$  para el circuito de la figura. Considere  $V_{CC} = 22V$ ;  $\beta = 140$

$$R_{TH} = \frac{R_{B1} R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = 3,54K\Omega$$

$$V_{TH} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} = 2V$$

$$I_B = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_{TH} + (1 + \beta) R_E} = 6,05\mu A$$



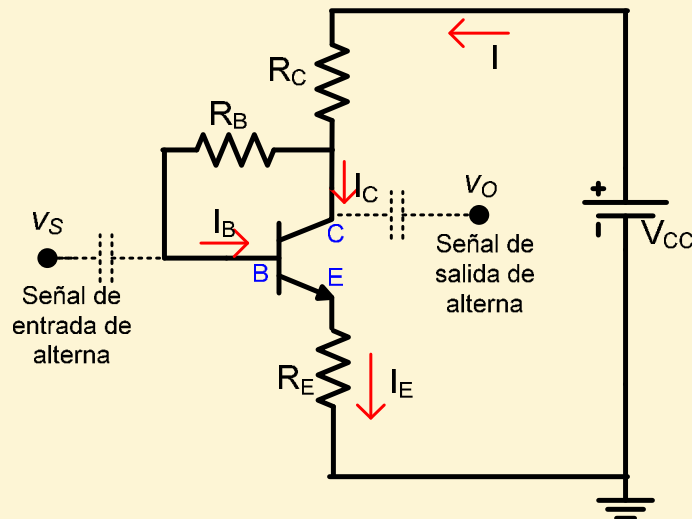
$$I_C = \beta I_B = 0,85mA \cong I_E$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E) = 12,2V$$

Comparar estos resultados con los obtenidos con el método aproximado

# CIRCUITO DE POLARIZACIÓN CON REALIMENTACIÓN BASE-COLECTOR EN RAD

TEMA 7



Red o malla de salida:

$$V_{CC} = IR_C + V_{CE} + I_E R_E$$

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

$$\text{Si } \beta > 100 \Rightarrow I_C \approx I_E \approx \beta I_B$$

Red o malla de entrada:

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

$$I = I_E$$

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

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

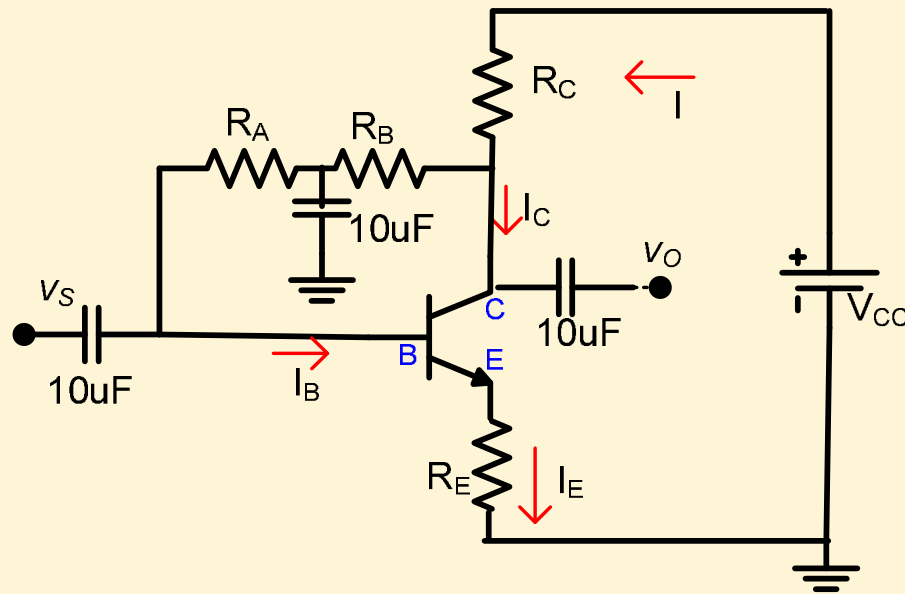
$$I_C = \beta I_B$$

La estabilidad de del punto de operación de CD se ve mejorado, mediante la resistencia  $R_E$  y el lazo de realimentación



# CIRCUITO DE POLARIZACIÓN CON REALIMENTACIÓN BASE-COLECTOR EN RAD

TEMA 7



Ejemplo 1: Calcule la tensión de polarización  $V_{CE}$  y la corriente de polarización  $I_C$  para el circuito de la figura. Considere  $V_{CC}=10V$ ;  $\beta=50$ ;  $R_A=100K\Omega$ ;  $R_B=150K\Omega$ ;  $R_C=3K\Omega$ ;  $R_E=1,2K\Omega$ ;

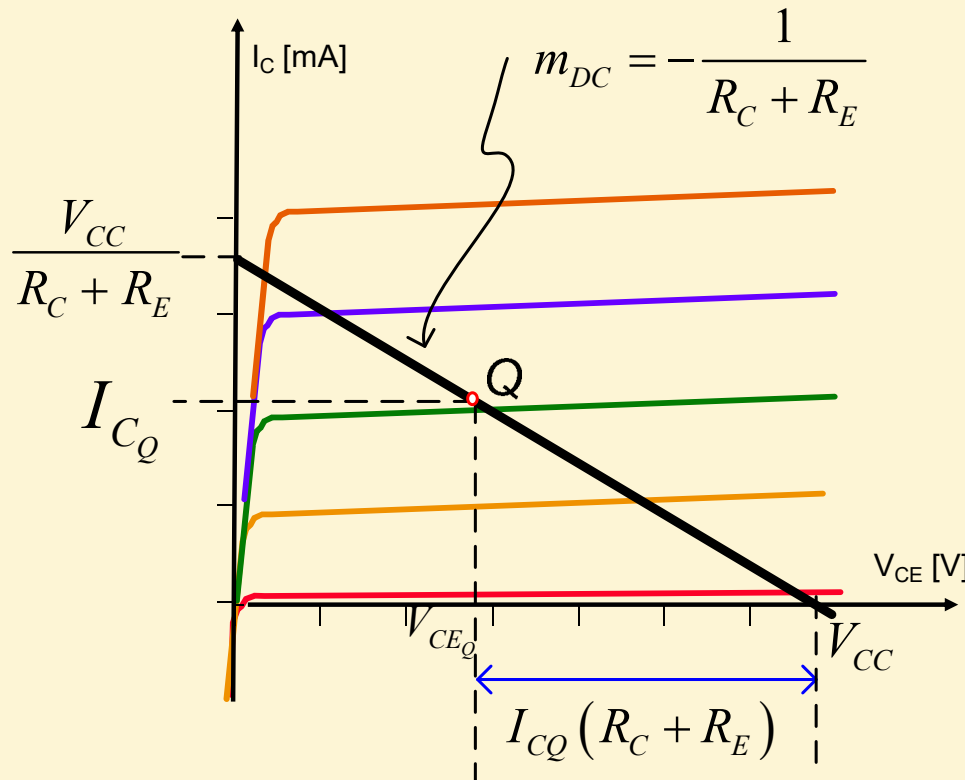
$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)(R_E + R_C)} = 20,03\mu A$$

$$I = I_E = I_B + I_C = (1 + \beta) I_B = 1,02mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_E (R_C + R_E) = 5,72V$$

$$I_C = \beta I_B = 1,0015mA$$

Técnica gráfica para encontrar el punto de operación de un circuito con TBJ (Q)



Las características típicas del colector CE, definen sólo la operación completa del dispositivo de transistores. Las restricciones del circuito también deben considerarse en la obtención del punto de operación real denominado *punto de operación Q*

El punto de operación es el punto donde intersectan la recta de carga con la curva de corriente de base del circuito

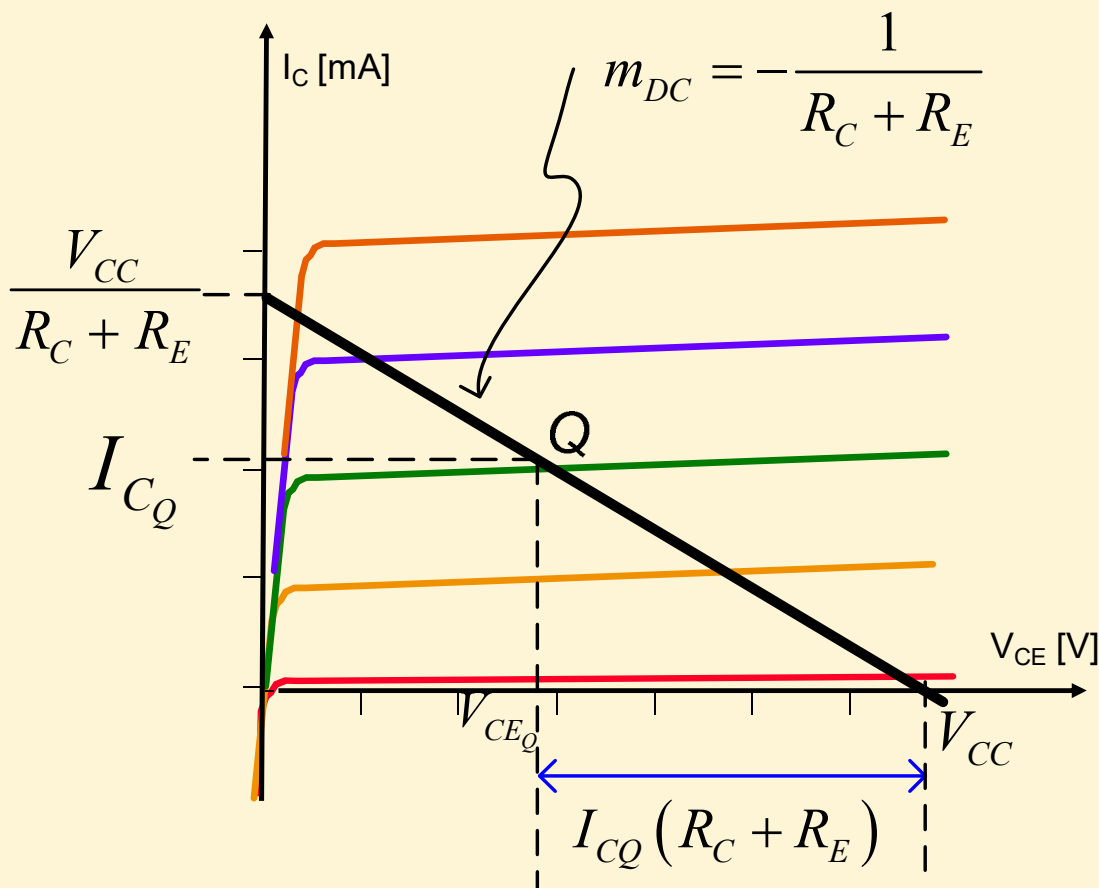
$$I_C = -\frac{V_{CE}}{R_C + R_E} + \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \Leftrightarrow y = mx + b$$

$$m = -\frac{1}{R_C + R_E} \quad b = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

Muy importante

La línea recta que representa la ecuación puede dibujarse sobre las curvas de salida para obtener los dos puntos extremos de la línea recta:

1. Para  $I_C = 0$ ,  $V_{CE} = V_{CC}$
2. Para  $V_{CE} = 0$ ,  $I_C = V_{CC}/(R_C + R_E)$



➤ Aunque se utilizan los mismos ejes de tensión-corriente que los de las características del colector del transistor, la recta de carga de CD no tiene nada que ver con el dispositivo.

- La recta de carga depende sólo de la tensión de alimentación  $V_{CC}$ , y de los valores de las resistencias del circuito de salida ( $R_C$  y  $R_E$ )
- La pendiente de la línea de carga depende únicamente de los valores de las resistencias del circuito de salida ( $R_C$  y  $R_E$ ).
- La operación del circuito depende tanto de las características del transistor como de los elementos del circuito
- La representación gráfica de *ambas* curvas sobre *un mismo juego de curvas* o gráfico permite la determinación del punto Q del circuito.

➤ *La recta de carga de CD describe todos los valores posibles de tensión y corriente en la malla de salida del circuito*

La corriente de colector  $I_C$  puede variar debido a tres factores principales:

1. La corriente de saturación inversa  $I_{CO}$  (tb llamada corriente de fuga) que se duplica por cada incremento de  $10^\circ$
2. La tensión  $V_{BE}$  que disminuye  $2,5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$
3. La ganancia  $\beta$  aumenta con la temperatura

Se puede definir un factor de estabilidad para cada uno de estos parámetros:

$$S(I_{CO}) = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CO}} \right|_{\beta, V_{BE} = \text{cte}} \quad S(V_{BE}) = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}} \right|_{I_{CO}, \beta = \text{cte}} \quad S(\beta) = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta \beta} \right|_{I_{CO}, V_{BE} = \text{cte}}$$

Cuanto mayor es  $S$  peor es la estabilidad del punto de operación.

**El mejor caso o caso ideal se cumple cuando  $S = 1$**

Análisis de  $S(I_{CO})$ :

Si se deriva  $I_C$  respecto de  $I_{CO}$ :

$$I_C = \beta I_B + (1 + \beta) I_{CO}$$

$$S(I_{CO}) = \frac{1 + \beta}{1 - \beta \left( \frac{\partial I_B}{\partial I_C} \right)}$$

$$\frac{\partial I_C}{\partial I_C} = \beta \frac{\partial I_B}{\partial I_C} + (1 + \beta) \frac{\partial I_{CO}}{\partial I_C} \Rightarrow 1 = \beta \frac{\partial I_B}{\partial I_C} + (1 + \beta) \frac{1}{S}$$

En la actualidad el  $I_{CO}$  de los transistores es muy bajo, por lo cual aún cuando  $S$  sea grande el cambio de  $I_C$  no será considerable. **Debido a ello, este factor NO tiene mayor importancia en la actualidad**

Cálculo de S para distintas configuraciones:

**Para el circuito de polarización fija:**

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} \therefore \frac{\partial I_B}{\partial I_C} = 0 \Rightarrow S = 1 + \beta$$

**Para el circuito de polarización fija con resistencia en emisor:**

$$V_{CC} = V_{BE} + R_E I_E = V_{BE} + R_E I_C + R_E I_B \Rightarrow 0 = 0 + R_E + R_E \frac{\partial I_B}{\partial I_C} \Rightarrow \frac{\partial I_B}{\partial I_C} = -1$$

$$S = S(I_{CO}) = \frac{1 + \beta}{1 - \beta \left( \frac{\partial I_B}{\partial I_C} \right)} = \frac{1 + \beta}{1 + \beta} = 1$$

**Para el  
circuito de  
polarización  
independient  
e o Auto  
polarizado:**

$$V_{TH} = R_{TH} I_B + V_{BE} + I_E R_E \therefore V_{TH} = V_{BE} + (R_{TH} + R_E) I_B + R_E I_C$$

$$\text{derivando } 0 = 0 + (R_{TH} + R_E) \frac{\partial I_B}{\partial I_C} + R_E \Rightarrow \frac{\partial I_B}{\partial I_C} = -\frac{R_E}{R_{TH} + R_E}$$

$$S(I_{CO}) = \frac{1 + \beta}{1 - \beta \left( \frac{\partial I_B}{\partial I_C} \right)} = \frac{1 + \beta}{1 + \beta \frac{R_E}{R_{TH} + R_E}}$$

Para que el factor de estabilidad sea próximo al ideal, es necesario que:



$$\frac{R_E}{R_{TH} + R_E} \cong 1 \Rightarrow R_{TH} \ll R_E$$

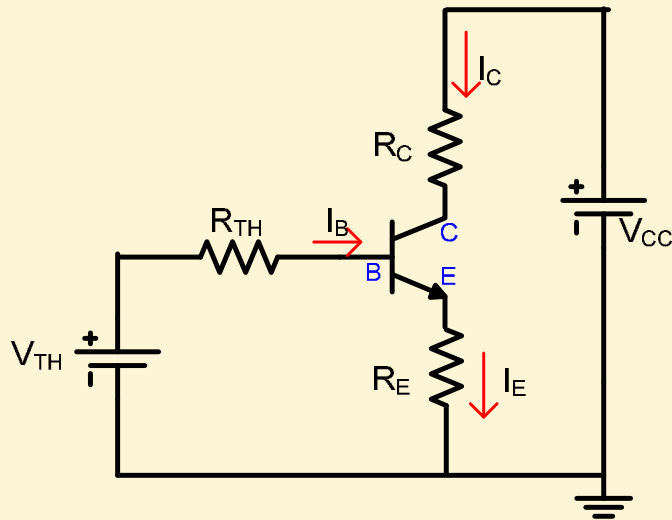
Decir que para obtener la máxima estabilidad es necesario que  $R_{TH} \ll R_E$ . Una forma de cumplir esta condición es hacer  $R_{TH} \rightarrow 0$ , lo cual implica que:

- La estabilidad exige que la tensión en  $R_{B2}$  **NO CAMBIE** a pesar que se modifique la corriente de base  $I_B$
- Para que la tensión en  $R_{B2}$  sea constante e independiente de la corriente de base  $I_B$ , es necesario que esta sea despreciable. O sea:  $I_{RB2} \gg I_B$ .
- En la práctica, para que se pueda cumplir la condición anterior, para hacer el diseño del circuito se adopta  $I_{RB2} \geq 10 I_B$ .
- Otra forma de mejorar la estabilidad es aumentar  $R_E$ , haciendo que se cumpla  $R_E \gg R_{TH}$ . En este caso la tensión  $V_{CE}$  disminuye provocando disminución de la máxima señal de salida
- Para que se cumpla que  $I_B$  es despreciable frente a  $I_{RB2}$ , es necesario que  $R_{B2} \ll (1 + \beta) R_E$ , en este caso la tensión  $V_{RB2}$  se ajusta exclusivamente con  $R_{B1}$  o  $R_{B2}$
- Este análisis es importante para los transistores de potencia que tienen  $I_{CO}$  grandes

Muy importante

# ESTABILIDAD DE LA POLARIZACIÓN ( $V_{BE}$ )

Análisis de  $S(V_{BE})$ : la tensión  $V_{BE}$  disminuye 2,5mV por cada °C. El análisis se debe hacer a distintas temperaturas.



$$S(V_{BE}) = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}} \right|_{I_{CO}\beta = cte}$$

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

$$V_{TH} = V_{BE} + \frac{R_{TH} + (1 + \beta) R_E}{\beta} I_C$$

$$0 = 1 + \frac{R_{TH} + (1 + \beta) R_E}{\beta} \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}}$$

$$S(V_{BE}) = - \frac{\beta}{R_{TH} + R_E (1 + \beta)}$$

Si  $\frac{R_{TH}}{R_E} \ll (1 + \beta)$  y  $\beta \gg 1$

$$\Rightarrow S = - \frac{1}{R_E}$$



**Cuanto mayor es  $R_E$  mas estable el circuito ante la variación de  $V_{BE}$  con la temperatura**

*Muy importante*

Análisis de  $S(\beta)$ : la ganancia de corriente  $\beta$  aumenta con la temperatura. El análisis se debe realizar para distintas temperaturas

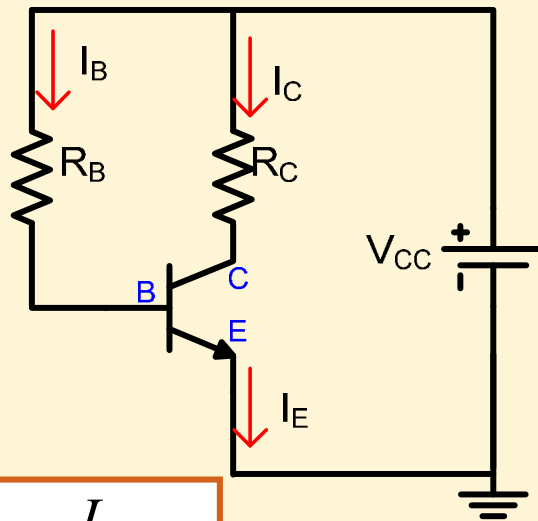


El valor de **beta** es fuertemente dependiente de la temperatura.

➤ En transistores discretos tiene una dispersión en su valor muy importante, incluso para transistores del mismo tipo y a igual temperatura.

En el circuito de polarización fija, la  $V_{CE}$  depende de beta:

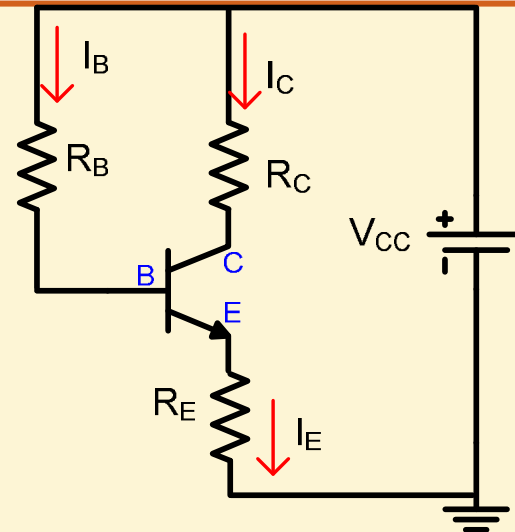
$$V_{CE} = V_{CC} - \beta I_B R_C$$



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

En el circuito de polarización fija con resistencia en emisor :

$$V_{CE} = V_{CC} - \beta I_B \left( R_C + \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) R_E \right)$$



$$V_{BE} = V_{CC} - I_B \left[ R_B + (1 + \beta) R_E \right]$$

En estos circuitos, para garantizar un valor de  $I_{CQ}$  constante, y que se pueda reproducir y conseguir que no varíe, deberá hacerse independiente de beta, con una beta mínima lo suficientemente elevada ya que ésta es muy variable, y por tanto el diseño de la red de polarización deberá ser tal que cumpla:

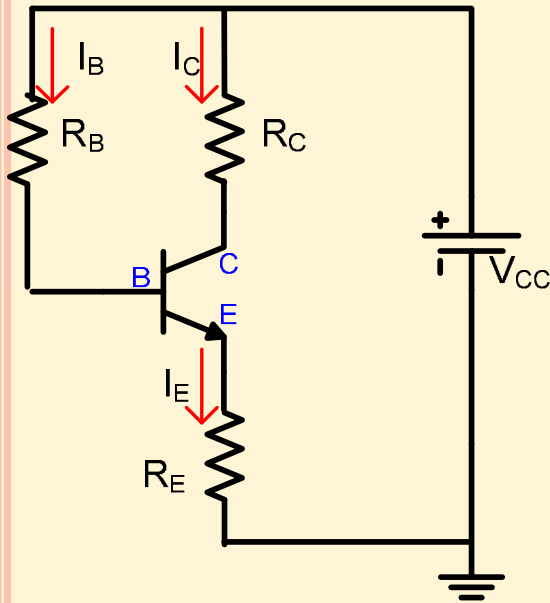
$$\frac{R_B}{\beta} \ll R_E \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \cong R_E \quad (\text{si } \beta \gg 1)$$

Muy importante

- En el diseño, se puede aplicar la relación 1/10 ó 1/20, según el error admisible
- Si se garantiza  $I_{CQ}$  constante,  $V_{CEQ}$  también será constante, siempre que  $\beta \gg 1$

$$V_{BE} = V_{CC} - I_C \left[ \frac{R_B}{\beta} + \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) R_E \right]$$

### Diseño de Circuito de polarización fija con resistencia en emisor



Diseñar el circuito significa que se deben calcular los TODOS los componentes externos del circuito de polarización: Resistencias y fuente alimentación

Polarice el amplificador de la figura en zona lineal. Para ello calcule el valor de las resistencias, sabiendo que  $V_{CC} = 12V$ ;  $\beta = 250$

La malla de salida:  $V_{CC} \approx V_{CE} + (R_C + R_E) I_C$

La malla de entrada:

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

De modelo  $\Rightarrow I_C = \beta I_B$

Las incógnitas son:  $R_B$ ,  $R_C$ ,  $R_E$

✓  $R_E$  brinda estabilidad a la polarización de CD, por lo que a mayor  $R_E$  mayor estabilidad.

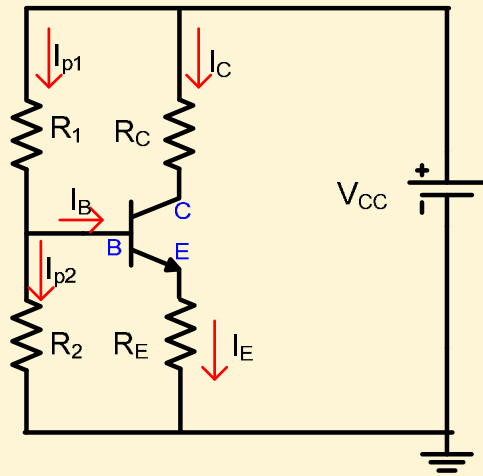
➤ Pero si  $R_E$  es muy grande, la tensión que cae en ella será grande y por lo tanto producirá una tensión de salida chica. O sea limita el intervalo de excursión de la tensión colector-emisor

➤ Entonces, conviene adoptar  $R_E$  grande para máxima estabilidad o  $R_E$  chico para máxima excursión de salida. Se llega a un criterio de compromiso entre estabilidad y excursión de salida

Se adopta la tensión de emisor

$$\frac{V_{CC}}{5} \geq V_E \geq \frac{V_{CC}}{20}$$

- De:  $V_E = (1 + \beta) R_E I_B$  se calcula  $R_E$
- De:  $V_{CC} \approx V_{BE} + (R_B + (1 + \beta) R_E) I_B$  se calcula  $R_B$
- De:  $V_{CC} \approx V_{CE} + (R_C + R_E) I_C$  se calcula  $R_C$



Malla de salida:

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

Malla de entrada:

$$V_{R2} = V_{BE} + I_E R_E = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

Las incógnitas son:  $R_{B1}$ ,  $R_{B2}$ ,  $R_C$ ,  $R_E$

- Entonces, conviene adoptar  $R_E$  grande para máxima estabilidad o  $R_E$  chico para máxima excursión de salida. Se llega a un criterio de compromiso entre estabilidad y excursión de salida.

Se adopta la tensión de emisor

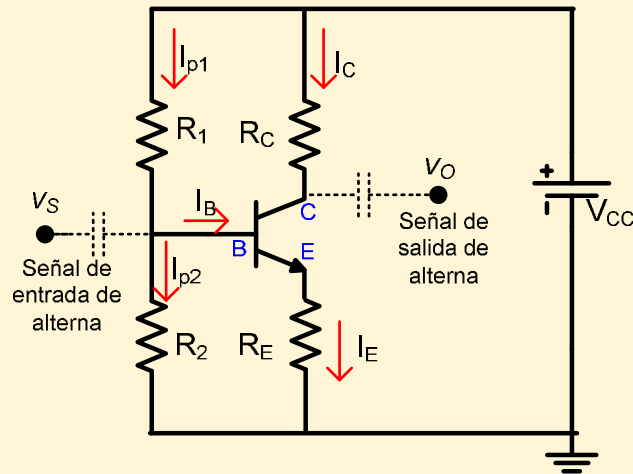
$$\frac{V_{CC}}{5} \geq V_E \geq \frac{V_{CC}}{20}$$

- Para que la tensión en  $R_{B2}$  sea constante e independiente de la corriente de base  $I_B$ , es necesario que esta sea despreciable. O sea:  $I_{RB2} \gg I_B$ . En la práctica, para que se pueda cumplir la condición anterior, para hacer el diseño del circuito se adopta  $I_{RB2} \geq 10 I_B$ .

- Entonces se adopta:

$$I_{p1} = I_{p2} = I_p \geq 10 I_{BQ}$$

### Diseño de Circuito de polarización independiente de $\beta$



Malla de salida:

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

Malla de entrada:

$$V_{R2} = V_{BE} + I_E R_E = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

1. Se adopta  $V_E$ , según el criterio de compromiso entre buena estabilidad y máxima excursión de salida:  $15\% V_{CC} \leq V_E \leq 5\% V_{CC}$

2. Se calcula  $R_E$ : 
$$R_E = \frac{V_E}{\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) I_C}$$

3. Se adopta el valor de  $I_p$ : 
$$I_{p2} \geq 10 I_{BQ}$$

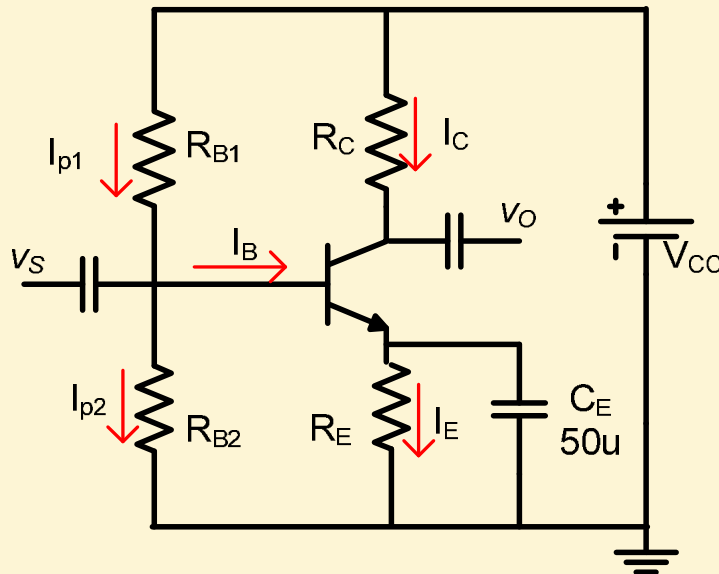
4. Se calcula  $R_2$ : 
$$V_{R2} = V_{BE} + V_E = I_p R_2 \Rightarrow R_2 = \frac{V_{BE} + V_E}{I_p}$$

5. Verifique que : 
$$R_2 \leq 10(1 + \beta) R_E$$

6. Se calcula  $R_1$  y  $R_C$  con las ecuaciones de las mallas de entrada y salida.

# DISEÑO DE CIRCUITO DE POLARIZACIÓN INDEPENDIENTE DE $\beta$ EN RAD

TEMA 7



**Ejemplo 9:** Diseñe el amplificador de la figura para que trabaje en el punto de polarización especificado. Datos:  $V_{CC} = 18V$ ;  $\beta = 250$ ;  $V_{BE} = 0,67V$ ;  $V_{CE} = 8,5V$ ;  $I_C = 5mA$

1) Se adopta:

$$V_E = 10\%V_{CC} = 1,8V$$

2) Se calcula:

$$R_E = \frac{V_E}{I_C} = 360\Omega$$

3) Se calcula:

$$V_{R2} = V_{BE} + V_E = 2,47V$$

4) Se calcula

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = 20\mu A$$

5) Se adopta:

$$I_{p2} = I_{p1} = I_p \geq 10I_{BQ} \Rightarrow I_p = 200\mu A$$

6) Se calcula

$$R_2 = \frac{V_{R2}}{I_p} = 12,35K\Omega$$

7) Se verifica:

$$R_2 \leq 10(1 + \beta)R_E$$

$$12,35K\Omega \leq 90,36K\Omega$$

# DISEÑO DE CIRCUITO DE POLARIZACIÓN INDEPENDIENTE DE $\beta$ EN RAD

TEMA 7

8) Se Calcula

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{R2}}{I_p} = 77,65K\Omega$$

9) Se calcula:

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_E}{I_C} = 1406\Omega$$

## Observaciones:

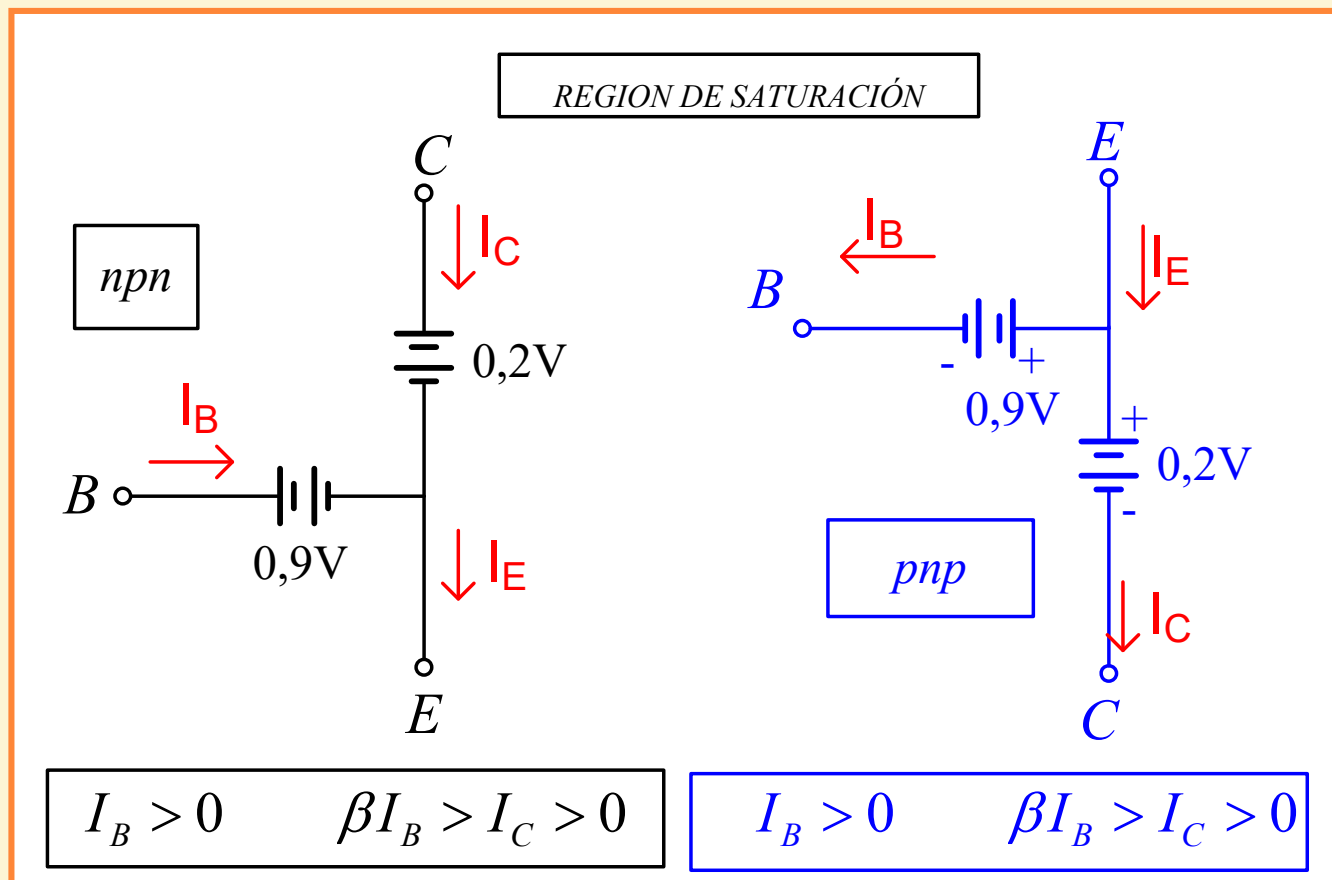
1. La corriente  $I_p$  siempre debe ser mucho menor que la corriente de colector  $I_C$ . Caso contrario se disiparía mucha potencia en las resistencias de polarización de base  $R_1$  y  $R_2$  y el circuito no tendría buen rendimiento. Esto lleva a que las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  siempre sean mucho mayor que  $R_C$ .
2. La resistencia  $R_1$  siempre es mayor que  $R_2$  (salvo para tensiones de fuente  $V_{CC}$  chicas) , ya que la tensión que cae en  $R_2$  siempre será menor.



# MODELO SIMPLIFICADO DEL TBJ EN LA REGIÓN DE SATURACIÓN

## TEMA 7

Región de operación	Unión E-B	Unión C-B
Saturación	Directo $V_{BE} > V_{\gamma}$	Directo $V_{BC} > V_{\gamma}$



# MODELO SIMPLIFICADO DEL BJT EN LA REGIÓN DE SATURACIÓN

TEMA 7

En el límite de la región de saturación a la R.A.D;  $v_{BE}$  vale aproximadamente 0,7V, y  $v_{BC}$  = tensión umbral=0,5V; por lo que  $V_{CE}$  valdrá 0,2 V, por eso se modela la tensión  $V_{CE}$  como una fuente de tensión constante de 0,2V, aunque puede ser menor.

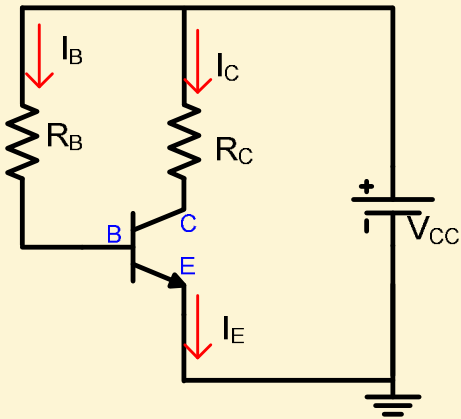
La tensión  $V_{BE}$  en saturación, debido a que la corriente de base suele ser bastante elevada, puede llegar a ser de 0,8V o 0,9V en transistores de baja potencia

## Observación:

Hay que tener en cuenta que los valores de  $V_{BE}=0,9V$  y  $V_{CEsat}=0,2V$  son valores típicos empleados en los cálculos de circuitos.

De todos modos, es conveniente revisar las especificaciones de cada transistor en particular.

# CIRCUITO DE POLARIZACIÓN FIJA EN SATURACIÓN TEMA 7



Región de operación	Unión B-E	Unión C-B
Saturación	Directo $V_{BE} > V_{\gamma}$	Directo $V_{BC} > V_{\gamma}$

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

$$V_{CE\ sat} \approx 0V$$

$$V_{CE\ sat} = 0,2V$$

$$I_{C\ Sat} \approx \frac{V_{CC}}{R_C}$$

$$I_C \neq \beta I_B$$

$$I_C < \beta I_B$$

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

$$V_{BE} + V_{CE} + V_{CB} = 0$$

$$I_E = I_B + I_C$$

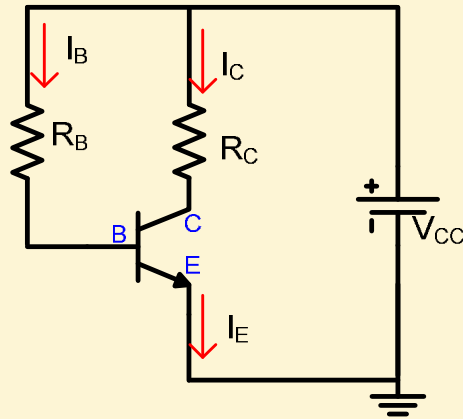
$$V_{BE\ sat} > 0,7V$$

$$V_{BE\ sat} \approx 0,9V$$

**Saturación: Máximos niveles de operación**

# CIRCUITO DE POLARIZACIÓN FIJA EN SATURACIÓN

TEMA 7



Ejemplo: Calcule el valor de las resistencias para que el transistor trabaje en la zona de saturación, sabiendo  $V_{CC}=12V$ ;  $\beta=120$ ;  $I_{cm\acute{a}x}=100\text{ mA}$

Se adopta  $I_{Csat} \ll I_{Cm\acute{a}x} \Rightarrow I_{Csat}=30\text{ mA}$

$$R_C \approx \frac{V_{CC}}{I_{C\text{ Sat}}} = 400\Omega$$

De hoja de datos  $V_{BE\text{ sat}}=0,7V$

$$\Rightarrow V_{CE} = V_{CB} - V_{BE} = 0,5V$$

$$I_B R_B = I_{Csat} R_C - V_{CB} = 11,3V$$

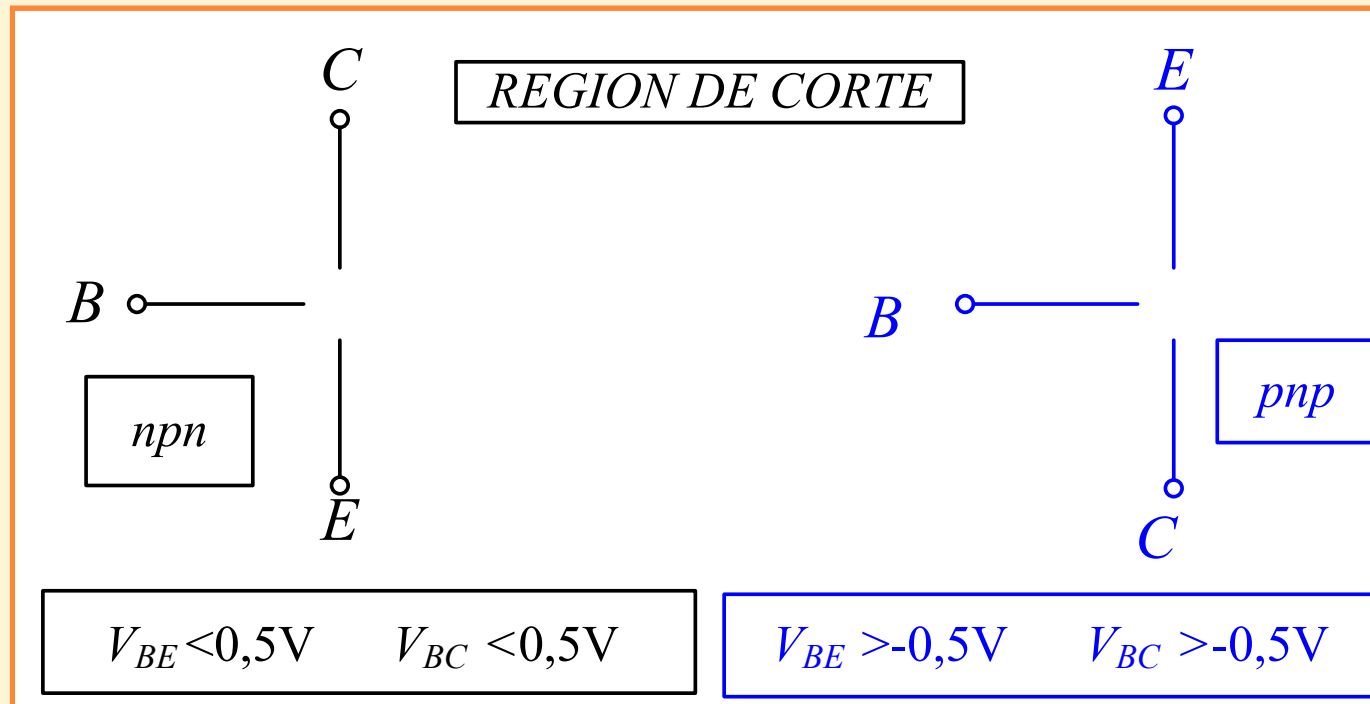
Se adopta  $I_{Bsat} > I_{Csat} / \beta \Rightarrow I_{Bsat} = 1.2mA$

$$I_B R_B = 11,3 \Rightarrow R_B = 10K\Omega$$

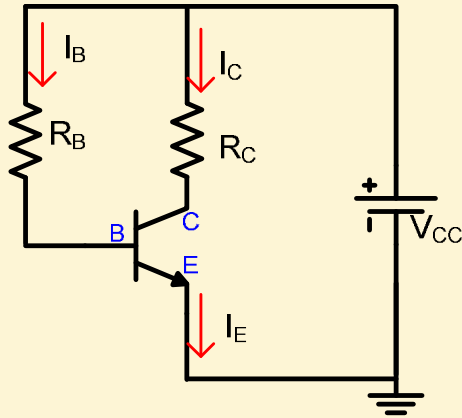
# MODELO SIMPLIFICADO EN LA REGIÓN DE CORTE

## TEMA 7

Región de operación	Unión E-B	Unión C-B
Corte	Inverso $V_{BE} < V_{\gamma}$	Inverso $V_{BC} < V_{\gamma}$



En transistores de Si, a temperaturas no muy elevadas,  $I_B = I_C = 0$



Ejemplo: Calcule el valor de las resistencias para que el transistor trabaje en la zona de corte, sabiendo  $V_{CC} = 12V$ ;  $\beta = 250$ ;  $I_{CBO} = 15 \text{ nA}$

$$I_C \approx \beta I_{CBO} = I_{CEO} = 3,75 \mu A$$

Como  $I_C$  es muy chica, se adopta:  $V_{CE} \approx V_{CC} \Rightarrow V_{CE} = 11V$

$$V_{BE \text{ corte}} < 0,7V$$

$$V_{BE \text{ corte}} \approx 0,45V$$

$$V_{BC \text{ corte}} < 0,7V$$

$$V_{BC \text{ corte}} = V_{BE} + V_{CE} = -11,25V$$



$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_{CEO}} \approx 300K\Omega$$

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

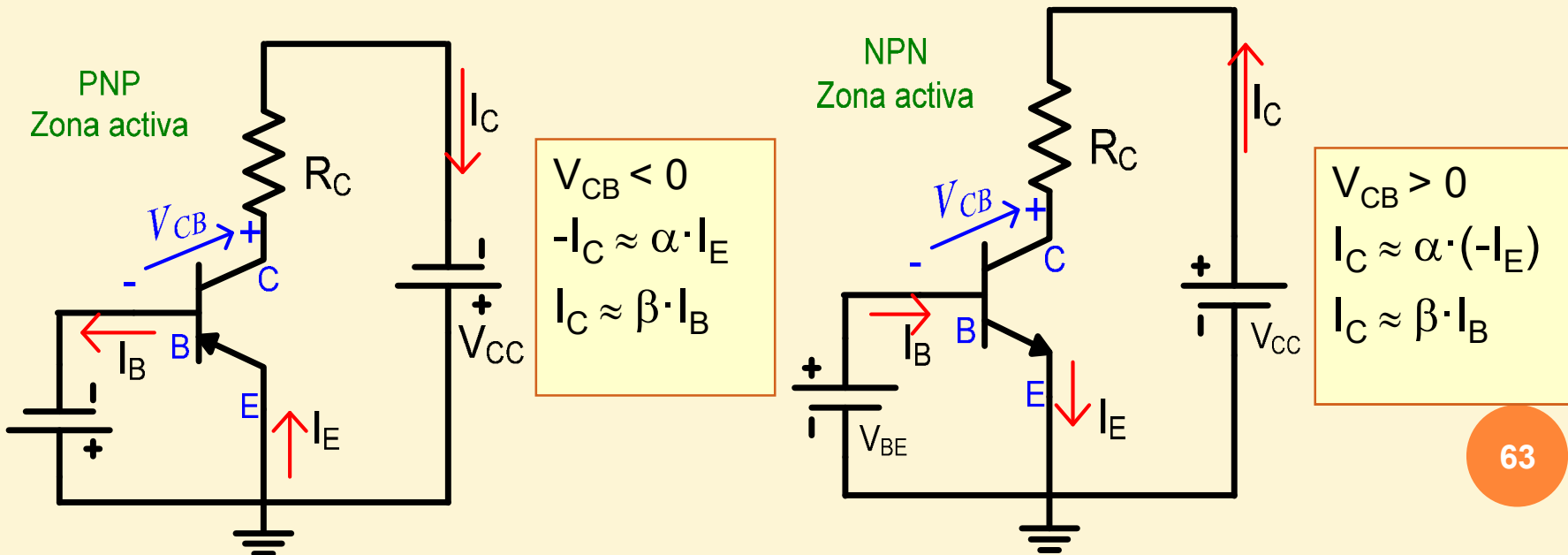


$$R_B \approx \frac{V_{CC}}{I_{BCO}} = 800M\Omega$$

**Corte: Míminos niveles de operación**

Todo lo dicho para transistores NPN se aplica a los PNP sin más que:

- **Mantener** todos los tipos de polarización (directa o inversa).
- **Cambiar** los sentidos de todas las fuentes de tensión que se ha dibujado. Por convenio se mantiene los sentidos con los que se miden las tensiones.
- **Cambiar** los sentidos de todas las circulaciones reales de corriente. Por convenio se mantienen los sentidos con los que se miden las corrientes.



Utilizando el código alfanumérico del transistor se pueden obtener sus características técnicas proporcionadas por el fabricante, consultando un data book o un data sheet.

**$I_{C\ max}$**  Máxima corriente de colector que el transistor puede soportar. Si se excede este valor el TBJ se puede quemar.

**$V_{CEO}$**  Tensión máxima colector– emisor con la base abierta.

**$V_{CBO}$**  Tensión máxima colector– base con el emisor abierto.

**$V_{EBO}$**  Tensión máxima emisor– base con el colector abierto.

**$h_{FE}$  ó  $\beta$**  Ganancia o factor de amplificación de corriente, del transistor.

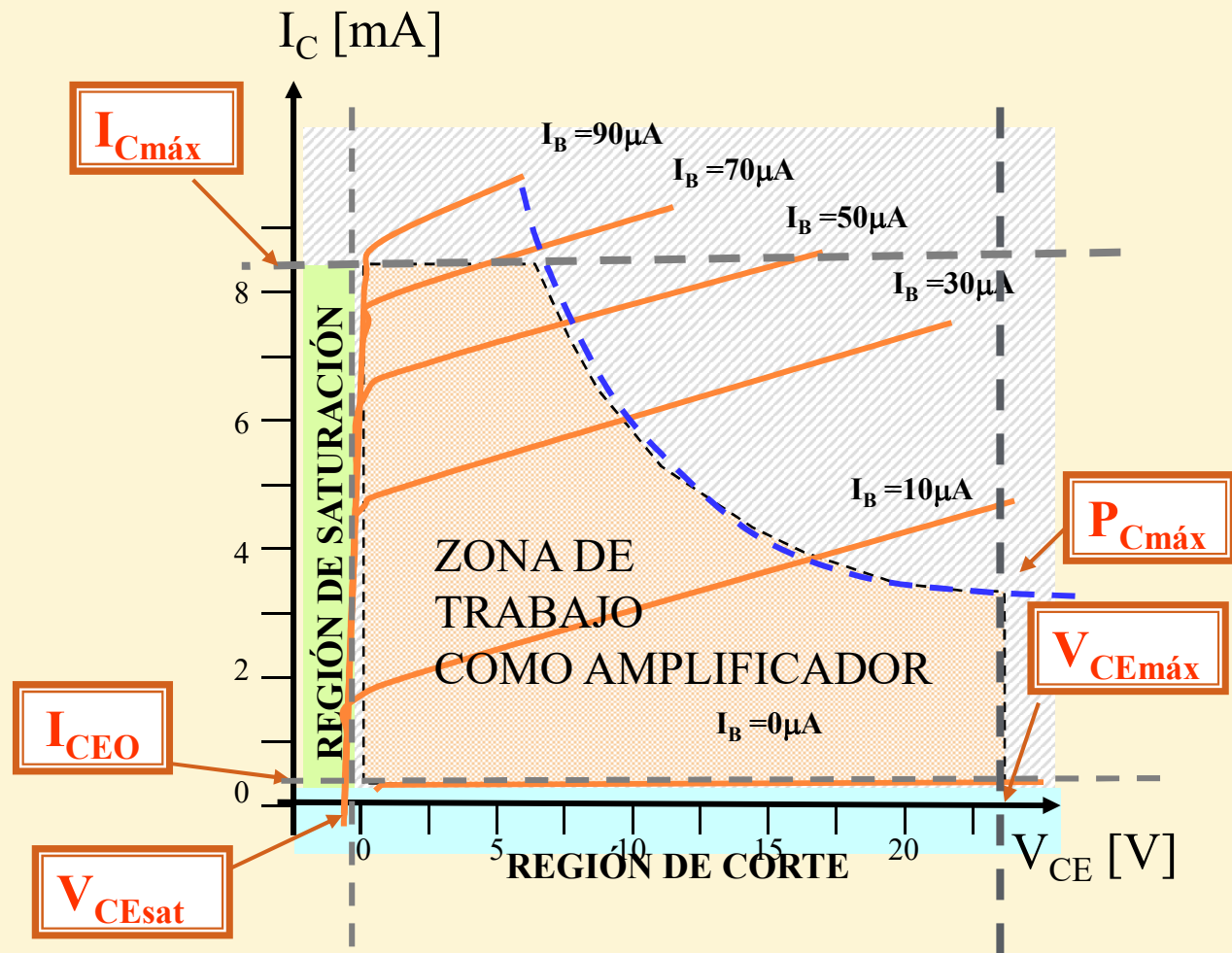
$$h_{FE} = I_C / I_B$$

**$P_{dm\acute{a}x}$**  Potencia máxima que puede disipar el TBJ sin quemarse

**$f_T$**  Frecuencia de ganancia unitaria.



Características comunes a todos los transistores



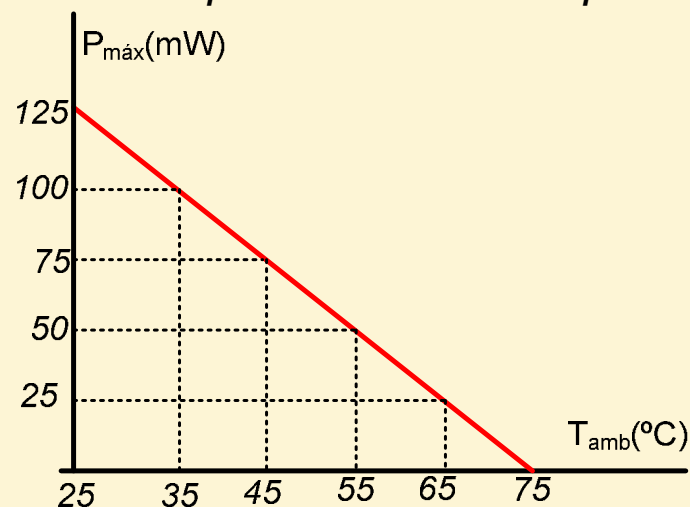
- La  $P_{\text{máx}}$  de trabajo de un transistor es un dato que proporcionan los fabricantes en las hojas de especificaciones técnicas
- Es la potencia máxima que puede desarrollar el transistor sin provocar su destrucción
- El transistor posee una resistencia entre el colector y el emisor, que varía en función de  $I_B$ .
- Por esta resistencia variable circula la corriente  $I_C$ , relativamente grande, que provoca en la misma una potencia calorífica, debido al efecto Joule.
- Esta potencia se calcula:  $P_d = V_{CE} \cdot I_C$
- La potencia disipada se transforma íntegramente en calor, provoca un aumento de la temperatura en el transistor que, en el caso de salirse de los límites admisibles, provocará la destrucción del mismo.

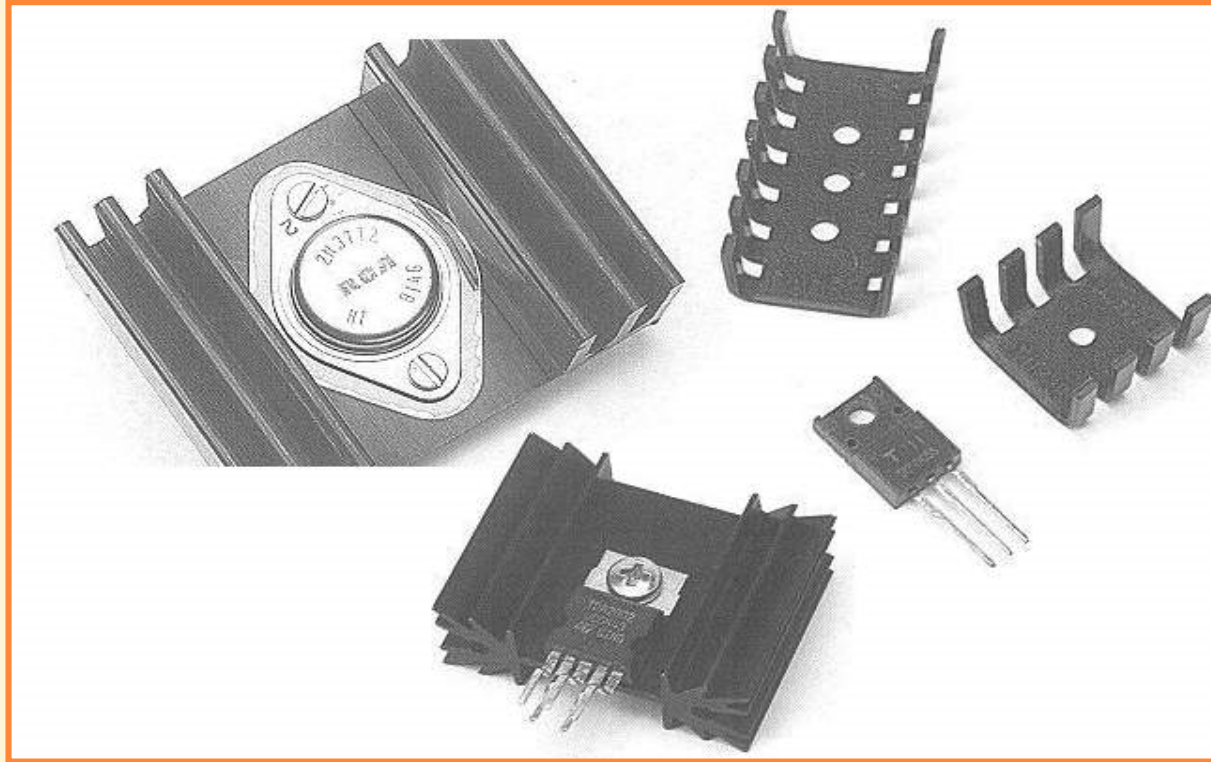
### Trazado de la curva

- Ejemplo, para el transistor BC 107 se indica una potencia máxima de 300 mW.
- La curva de potencia máxima para este transistor será tal que el producto de  $V_{CE}$  por  $I_c$  sea igual a 0,3 W:  $P_{\text{máx}} = V_{CE} I_c = 300 \text{ mW} = 0,3 \text{ W}$
- Se construye una tabla dando valores a  $V_{CE}$ , por ejemplo 0V, 1V, 4V, 6V, 10 V, 15 V y 20 V. Luego se calculan las corrientes máximas que podrán circular por el colector para cada una de estas tensiones, sin que se sobrepase la potencia máxima de 0,3 W
- Una vez hecho esto se llevan los valores obtenidos a la familia de curvas de colector, formando el resultado de la unión de los puntos una hipérbola
- Esta hipérbola divide a la característica en dos zonas claramente diferenciadas: la zona prohibida de funcionamiento, que queda por encima de la misma, en la cual la potencia es superior a 300 mW y, por lo tanto, es hay donde el transistor corre peligro de destrucción por la acción del calor; y la zona de trabajo, que queda por debajo de la hipérbola, y en la cual la potencia es inferior a 300 mW.

### Influencia de la temperatura ambiente en la $P_{\text{máx}}$ de un transistor

- *La potencia máxima que puede disipar, en forma de calor, un transistor depende de la temperatura máxima permitida en la unión del colector  $T_j$  (máx).*
- *Esta temperatura nunca debe ser superada, ya que a partir de ella se puede destruir el transistor.*
- *Este dato aparece en las hojas de características del componente. Para el transistor BC 107 posee una  $T_j$  (máx) de  $175^\circ\text{C}$ .*
- *La  $P_{\text{máx}}$  a la que puede trabajar un transistor también depende de la temperatura ambiente.*
- *Generalmente, en las hojas técnicas se indica la potencia máxima para una temperatura ambiente de  $25^\circ\text{C}$*
- *En algunas hojas de especificaciones técnicas aparece una curva de reducción, como la que se muestra en la figura*





El uso de disipadores o radiadores externos de calor son necesarios para aquellos transistores que trabajan con potencias elevadas para evitar el sobrecalentamiento del componente y su posible destrucción.

Los disipadores ayudan a “disipar” el calor generado en la juntura.

- Nunca se puede sustituir en un circuito un transistor de silicio por uno de germanio o viceversa.
- Tampoco se puede sustituir directamente un transistor NPN por uno PNP o viceversa.
- La letra (A, B, C...) que puede aparecer al final del código alfanumérico indica siempre mejoras en por lo menos 2 parámetros, límites o características del transistor.

Ejemplo: Un BC548A sustituir por BC548.

Un BC548A no sustituir o BC548B