

**Tema 7:**

***“El TRANSISTOR  
BIPOLAR - TBJ”***

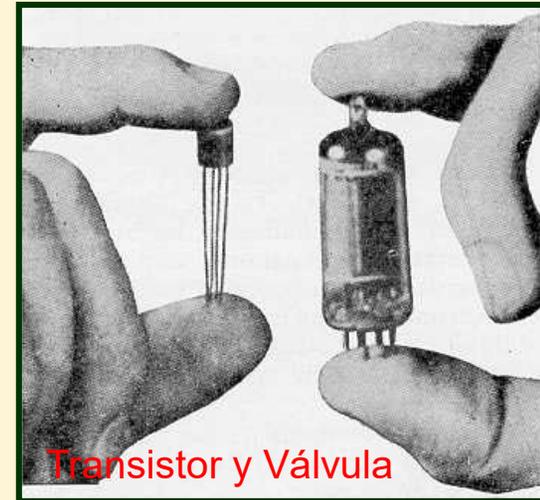
# TRANSISTOR - HISTORIA

## TEMA 7

El desarrollo de la **electrónica** y de sus múltiples aplicaciones fue posible gracias a la invención del transistor, ya que este superó ampliamente las dificultades que presentaban sus antecesores, **las válvulas**.

Las válvulas fueron inventadas a principios del siglo XX. Fueron aplicadas exitosamente en telefonía como amplificadores y posteriormente popularizadas en radios y televisores.

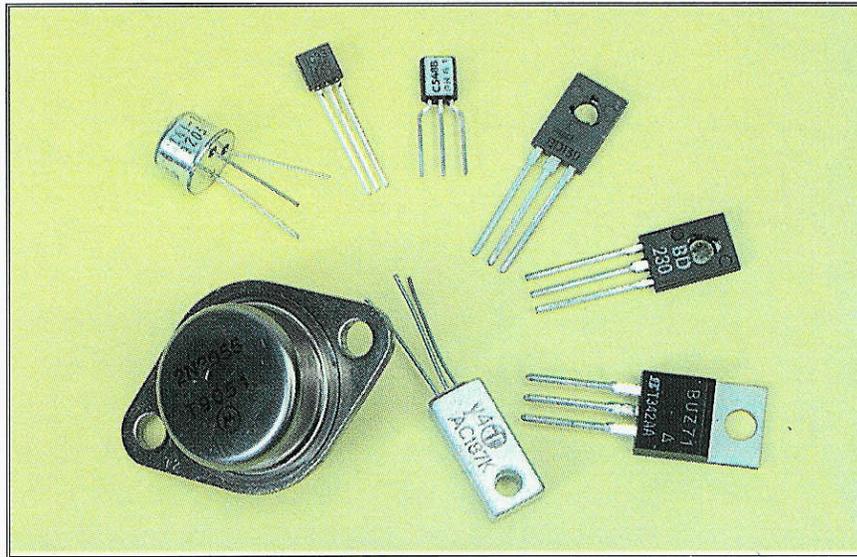
Con válvulas se construyó ENIAC (Electrical Numerical Integrator and Computer) en 1945, equipo destinado a resolver cálculos durante la segunda guerra mundial.



Transistor y Válvula

- 1947: Científicos de Laboratorios Bell: J. Bardeen, W. Bratain y W. Shockley desarrollan el transistor de silicio. Premio Nobel 1956.
- Se considera que el transistor es la invención más significativa del siglo XX
- Los amplificadores operacionales y otros C.I. pueden contener varias centenas de transistores, cada uno de ellos con misiones diferentes:

- El **transistor** es un **dispositivo** electrónico de estado solido, **semiconductor**
- Tienen **tres terminales**: Emisor, Base y Colector
- El término transistor resultados de la contracción en Inglés de dos palabras: transferencia + resistor (resistencia de Transferencia).
- Se denominan bipolares porque su funcionamiento depende del flujo de dos tipos de portadores de carga: electrones y “huecos”.

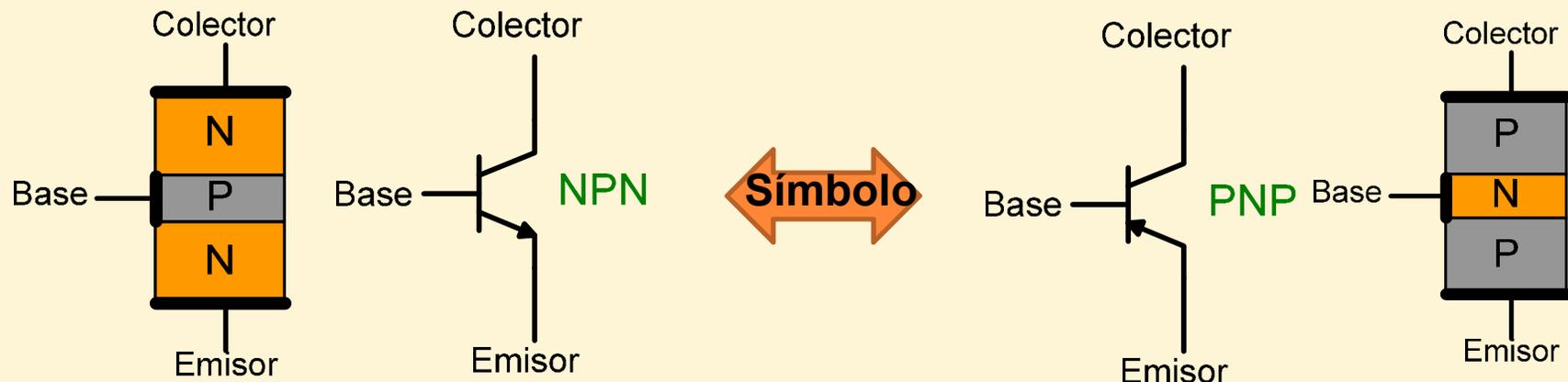


### Principales Aplicaciones

Un transistor bipolar puede ser utilizado como:

- Amplificador de señales
- Llave/ Interruptor electrónico.
- Infinitas aplicaciones lineales y no lineales.

- El TBJ se construye con tres regiones semiconductoras separadas por dos uniones P-N yuxtapuestas que se interrelacionan entre sí.
- Las tres regiones se llaman **Emisor, Base y Colector**.
- La capa del emisor está fuertemente dopada. La del colector ligeramente dopada. La de la base muy poco dopada, y es muy delgada.
- Existen dos tipos de transistores bipolares según su estructura:  
Transistores bipolares NPN y Transistores bipolares PNP

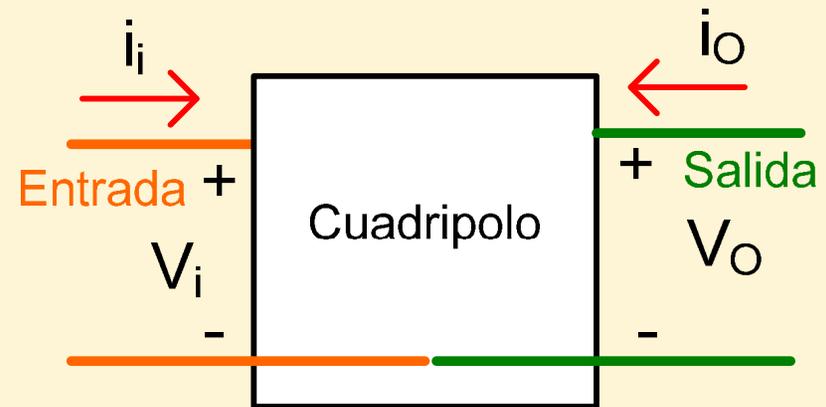


N - material semiconductor con electrones libres en exceso (cargas negativas)

P - material semiconductor con huecos excesivos (cargas positivas)

La configuración de uniones PN, dan como resultado transistores PNP o NPN, donde la letra intermedia siempre corresponde a la característica de la base, y las otras dos al emisor y al colector que, si bien son del mismo tipo y de signo contrario a la base, tienen diferente contaminación entre ellas.

- Dispositivo de tres terminales.
- Dos de los tres terminales actúan como terminales de entrada (control).
- Dos de los tres terminales actúan como terminales de salida.
- Un terminal es **común** a entrada y salida.



Tres terminales:  
Entrada, Salida y  
Común.



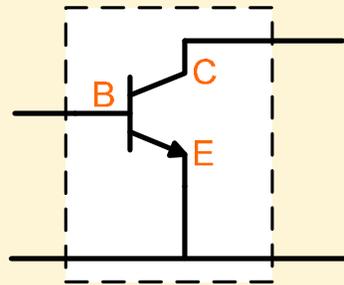
### Configuraciones

EC: el emisor es el terminal común  
CC: el colector es el terminal común  
BC: la base es el terminal común

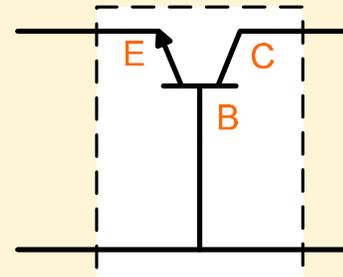
•La potencia consumida en la entrada es menor que la entregada en la salida.

Características  
comunes a  
todos los  
transistores

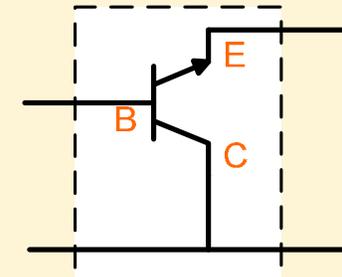
### Configuraciones



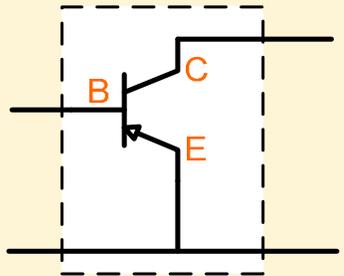
Emisor Común



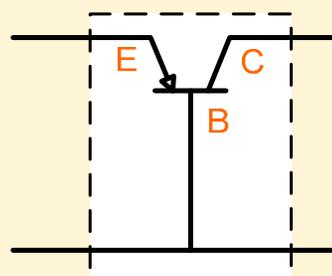
Base Común



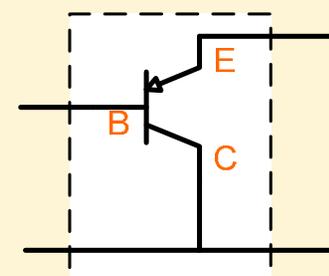
Colector Común



Emisor Común



Base Común



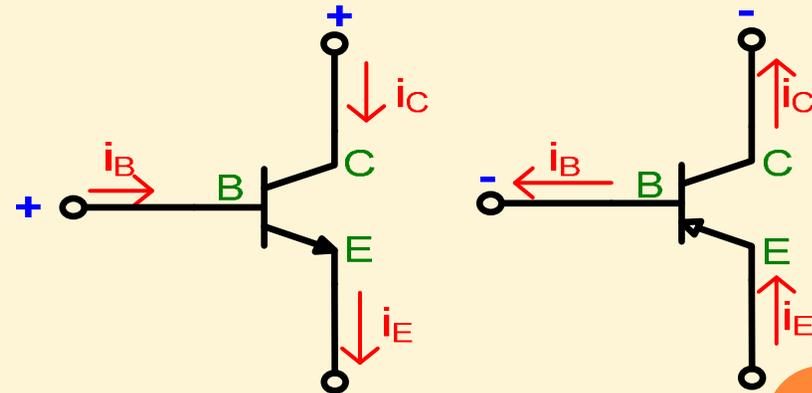
Colector Común

## Corrientes en el transistor

Se cumple que

$$I_E = I_B + I_C$$

- $I_B$  es muy pequeña comparada con  $I_E$  o  $I_C$ .
- El subíndice de letra mayúscula indica valores de cd.



○ Mas adelante se verán criterios para despreciar la corriente de base  $I_B$

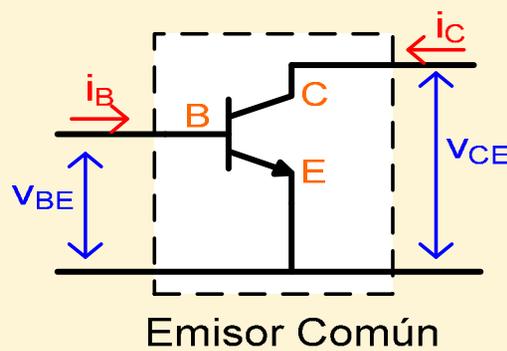
# TBJ- CURVAS CARACTERÍSTICAS EC

## TEMA 7

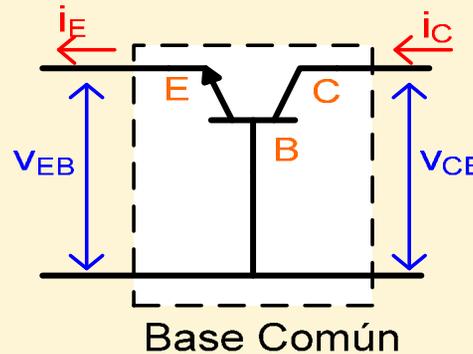
Una manera de estudiar el funcionamiento del dispositivo es mediante las gráficas i-v de entrada y de salida.

El transistor puede describirse mediante dos curvas características: una de entrada, una de salida

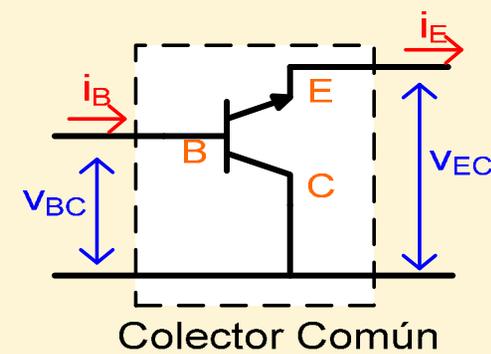
Para ello se deberá considerar las distintas configuraciones, dadas según el terminal que se tome como terminal común:



Entrada:  $i_B$  vs  $V_{BE}$   
Salida:  $i_C$  vs  $V_{CE}$



Entrada:  $i_E$  vs  $V_{EB}$   
Salida:  $i_C$  vs  $V_{CB}$



Entrada:  $i_B$  vs  $V_{BC}$   
Salida:  $i_E$  vs  $V_{EC}$

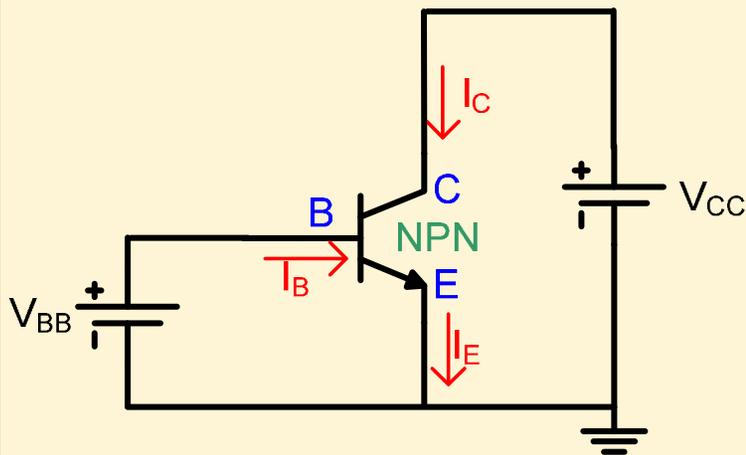
Cada tipo de configuración genera un juego de curvas de los parámetros de entrada y de salida.

# TBJ- CURVAS CARACTERÍSTICAS EC

## TEMA 7

Para iniciar un flujo apropiado de corriente entre la entrada y la salida es necesario “**polarizar**” el TBJ.

Polarizar significa alimentar con tensiones de continua externas al dispositivo en la entrada y en la salida.



La forma normal de alimentar un transistor es aplicando simultaneamente:

- **polarización directa** a la *unión* o *juntura* Emisor-Base, y
- **polarización inversa** a la *juntura* Base-Colector:

En la figura para polarizar se usan dos fuentes de alimentación de continua  $V_{BB}$  y  $V_{CC}$ .

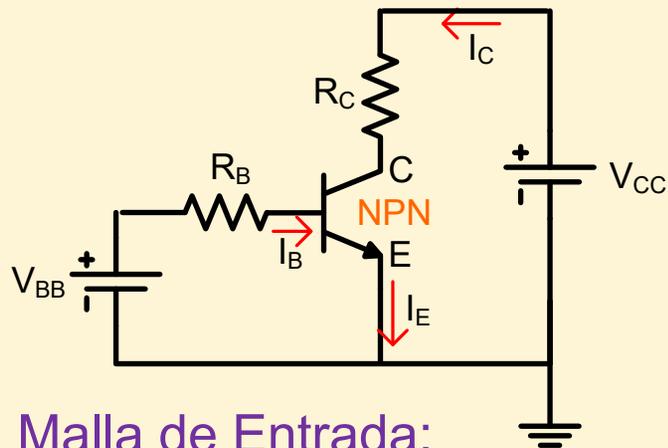
Esta configuración no se usa en la práctica, ya que los circuitos de polarización real usan una sola fuente

Se deberá considerar las distintas configuraciones: EC, BC y CC

Para obtener las curvas de entrada y de salida, se debe polarizar y hacer variar las tensiones y corrientes.

### Característica de entrada: $I_B = f(V_{BE}, V_{CE})$

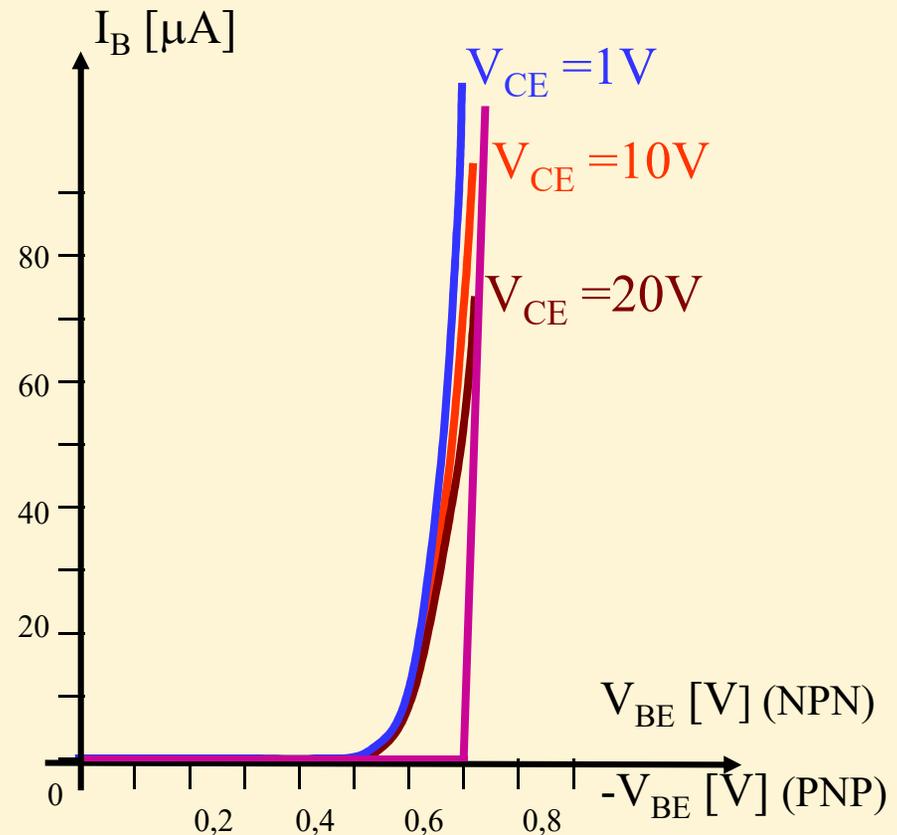
#### Configuración Emisor Común



Malla de Entrada:

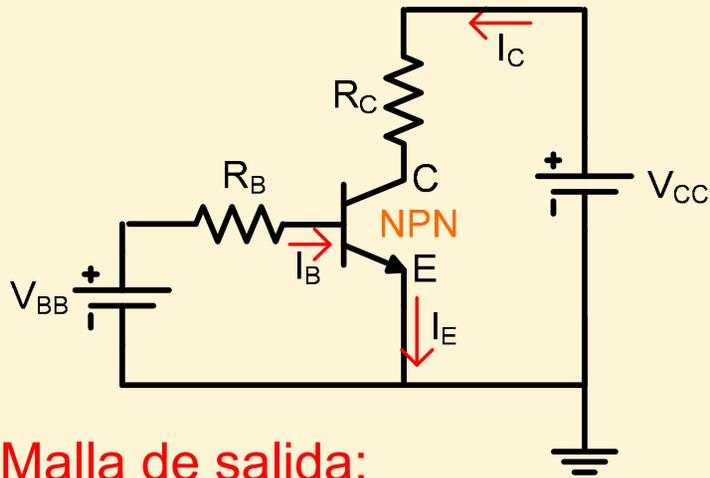
$$V_{BB} = I_B R_B + V_{BE}$$

Observar que la tensión  $V_{BE}$  varía muy poco con  $V_{CE}$ , Por lo que se puede adoptar, en este caso  $V_{BE} = 0.7V$



La característica de entrada es similar a la de un diodo con polarización directa.

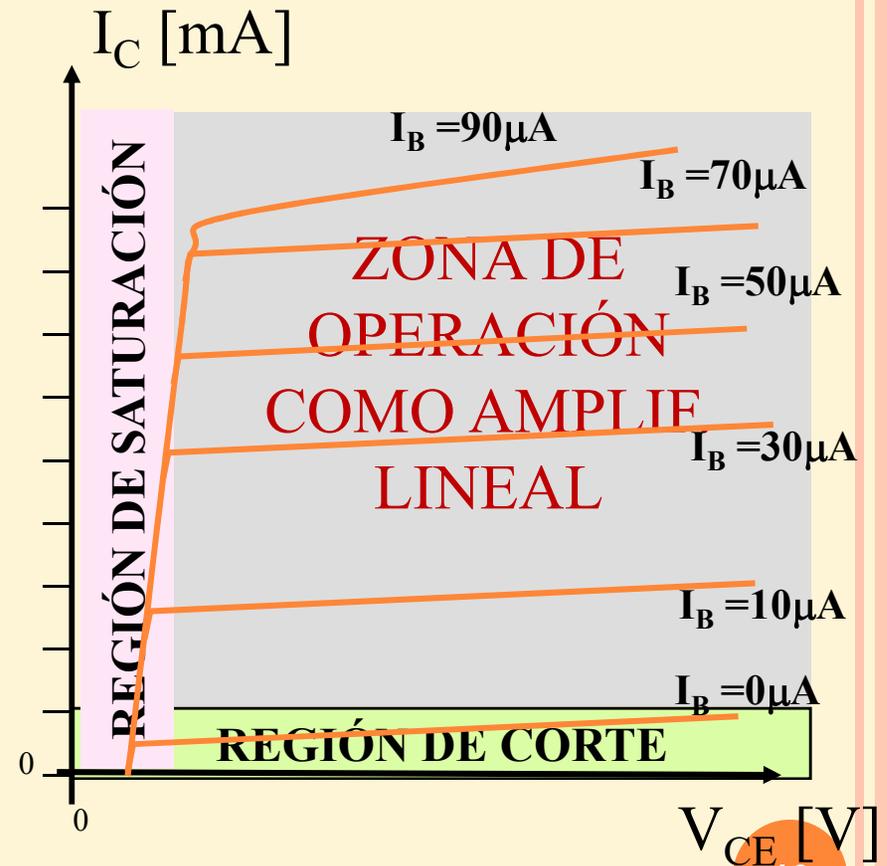
*Características de salida  $I_C = f(V_{CE}, I_B)$*



Malla de salida:

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

Si la corriente en la base se mantiene constante, la corriente de colector incrementa con el aumento de la  $v_{CE}$ , hasta que la corriente de colector alcanza un nivel en el que cualquier incremento de la  $v_{CE}$  no provoca incremento de la corriente de colector.



Cuando el TBJ está en zona activa, se cumple que:

➤ La unión colector-base se polariza 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

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

El factor “ $\alpha$ ” se conoce como “**ganancia de corriente continua en base común**”.

*Muy importante!!*

Entonces:

$$I_C = \alpha I_E = \alpha (I_B + I_C) \Rightarrow I_C = \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_B = \beta I_B \quad \longrightarrow \quad I_C = \beta I_B$$

El factor “ $\beta$ ” se denomina “**ganancia de corriente continua en emisor común**” y es igual a:

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

*Muy importante!!*

Aunque  $\alpha$  es muy poco variable,  $\beta$  es muy sensible a las pequeñas variaciones de  $\alpha$ .

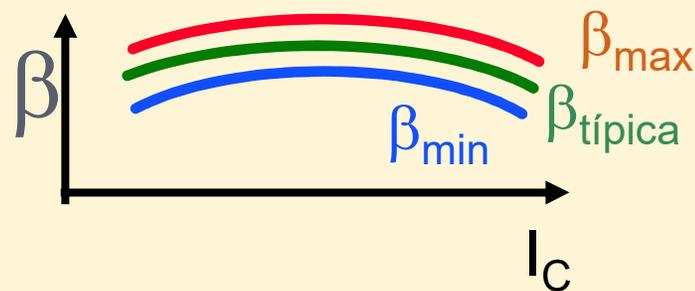
**Ejemplo:**

$$\alpha = 0,99 \quad \beta = 0,99/(1-0,99) = 99$$

$$\alpha = 0,999 \quad \beta = 0,999/(1-0,999) = 999$$

Características comunes a todos los transistores

- $\alpha$  es una constante propia del TBJ
- $\alpha$  va de 0,9 a 0,998.
- $\beta$ : Es un parámetro propio de cada transistor.
- $\beta$ : Varía con la temperatura,  $I_C$ ,  $V_{BE}$ , etc
- **Pequeñas variaciones de  $\alpha$  provocan grandes variaciones de  $\beta$**



- 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

Despejando  $\alpha$  :

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

Entonces :

$$Si \quad \beta \geq 100 \Rightarrow I_C \approx I_E$$

Características  
comunes a  
todos los  
transistores

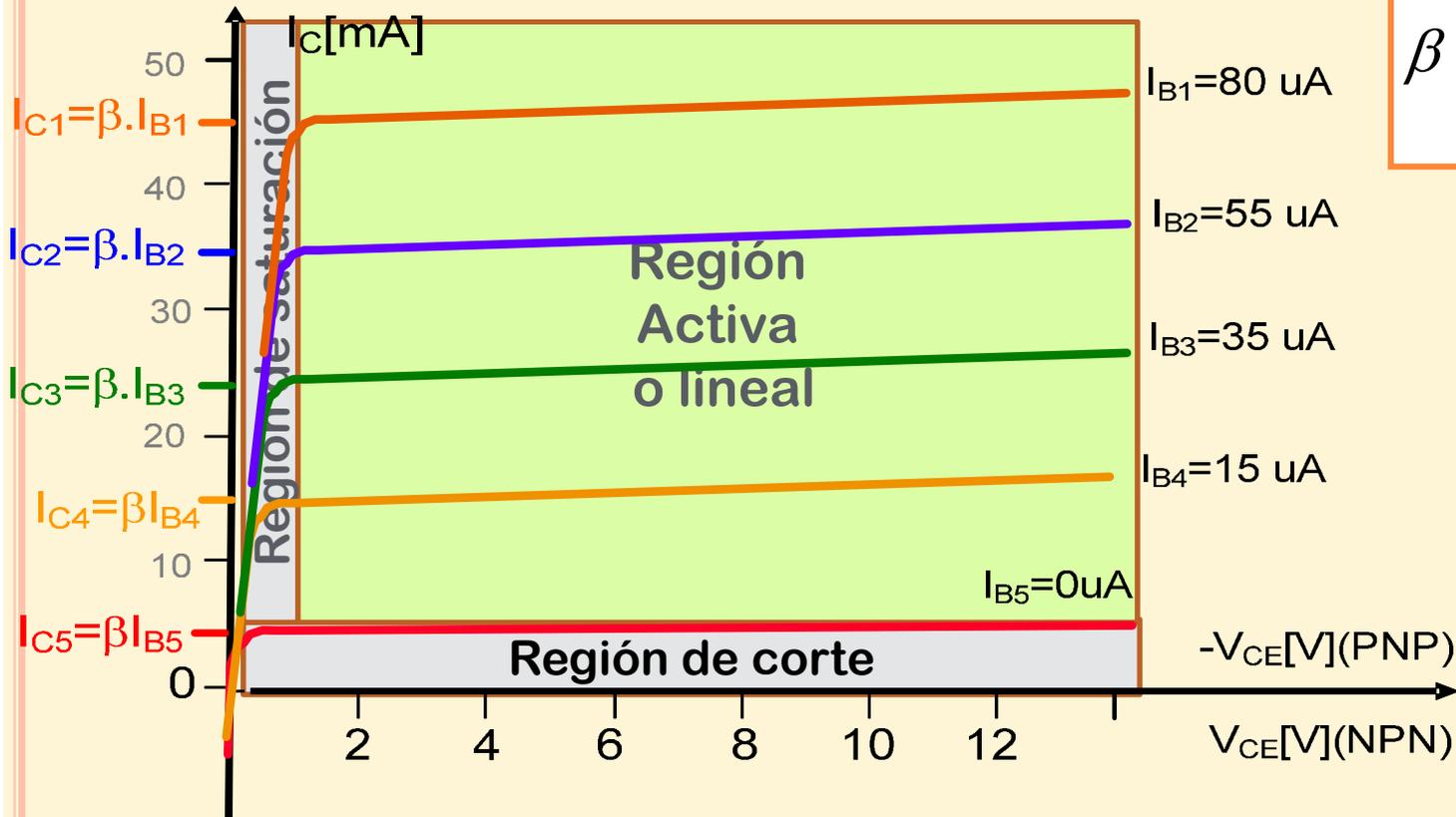
- Los fabricantes brindan como dato  $h_{FE}$  en vez de  $\beta$ .
- $h_{FE}$  y  $\beta$  no son exactamente lo mismo, aunque a efectos prácticos sus valores son similares cuando  $I_{CO}$  es despreciable.
- Es por ello que en la práctica se habla indistintamente de  $h_{FE}$  y de  $\beta$ .

▪ En rigor:

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

# CURVAS CARACTERÍSTICAS EC

TEMA 7



$$\beta = \left| \frac{I_C}{I_B} \right|_{V_{CE} = \text{constante}}$$

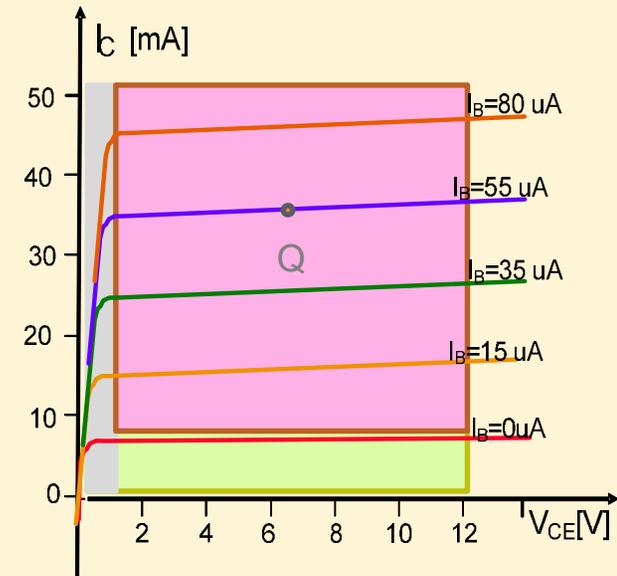
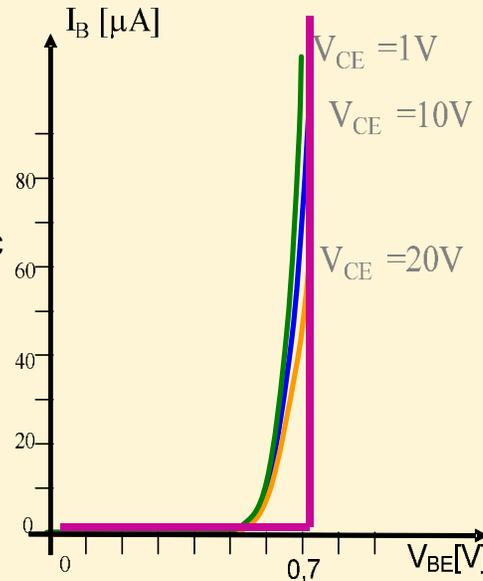
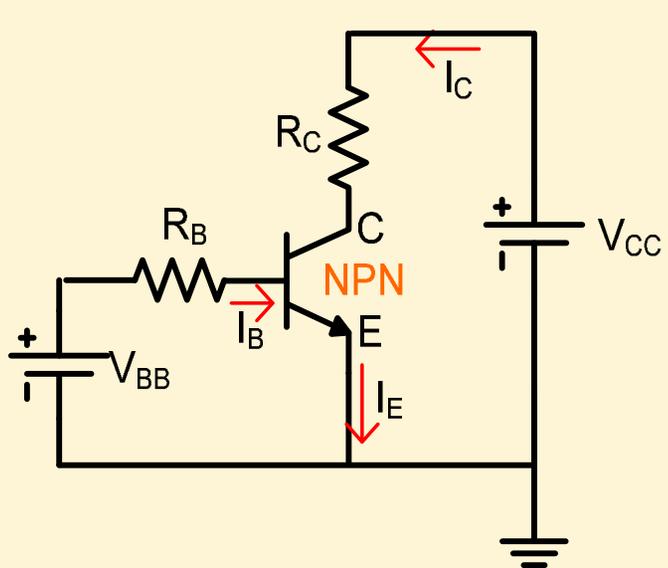
$\beta$  = ganancia de corriente continua.

➤ Punto de operación Q: definido por  $I_B$ ,  $I_C$  y  $V_{CE}$

La corriente de colector  $I_C$ , se relaciona con la corriente de base  $I_B$  mediante el factor de amplificación de corriente en polarización directa  $\beta_F$

- **Zona de corte:** No hay circulación de corriente de base. Se comporta como un *interruptor o llave abierta* y no deja pasar corriente entre el colector y el emisor. La tensión entre el colector y el emisor se hace máximo (como el de la pila) y la **corriente del emisor es mínima**.
- **Zona de saturación:** cuando al transistor le llega una corriente muy alta por la base. Se comporta como un *interruptor cerrado* y deja pasar toda la corriente entre el colector y el emisor. La tensión entre colector y emisor se hace casi cero y origina que la **corriente en el emisor sea máxima**.
- **Zona de amplificación:** cuando al transistor le llega una pequeña corriente por la base que la amplifica y origina una gran corriente de salida. En este caso se comporta como *amplificador*. En este caso existe **ganancia de corriente ( $\beta$ )** que se define como la relación que existe entre la intensidad del colector y la intensidad de la base.

$$I_C \cong \beta I_B$$



### Zona Activa

$$V_{BE} > 0 ; V_{BE} \cong 0,7V$$

$$I_B > 0 \quad I_C > 0$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

$$V_{CE} > 0,2V$$

### Zona de Saturación (directa)

$$V_{BE} \cong 0,8V$$

$$I_B > 0 \quad I_C > 0$$

$$I_C < \beta I_B$$

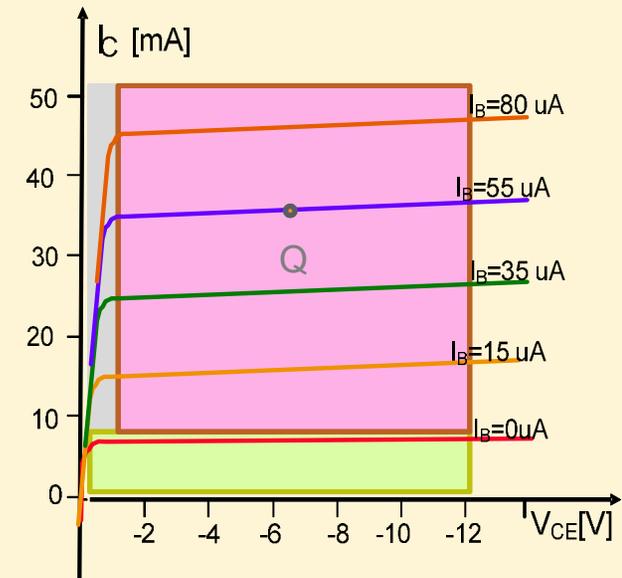
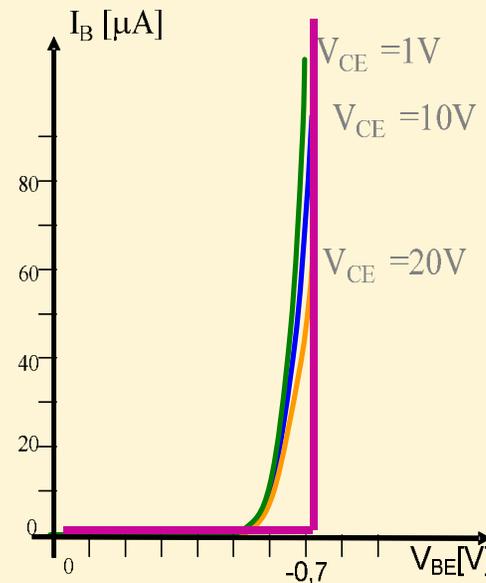
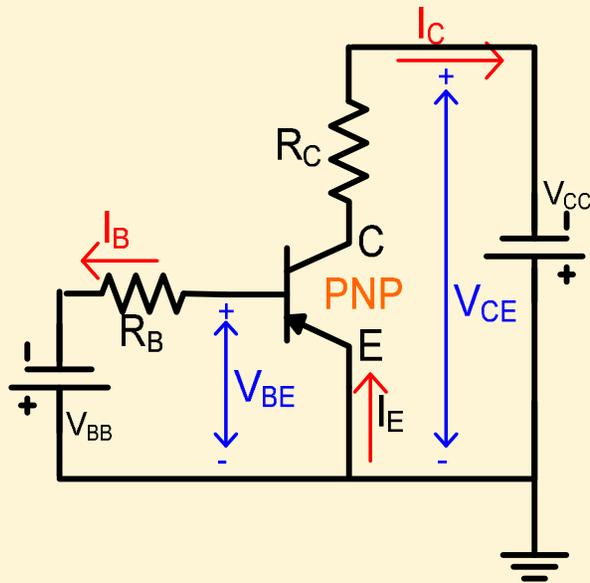
$$V_{CE} > 0; \quad V_{CE} \cong 0,2V$$

### Zona de corte

$$V_{BE} < 0,7$$

$$I_C \cong 0$$

Características aproximadas de entrada y salida del transistor **NPN** en Emisor Común



## Zona Activa

$$V_{BE} < 0; V_{BE} \cong -0,7V$$

$$I_B > 0 \quad I_C > 0$$

$$I_C \cong \beta \cdot I_B$$

$$V_{CE} < -0,2V$$

$$|V_{CE}| > 0,2V$$

## Zona de Saturación

(directa)

$$V_{BE} \cong -0,8V$$

$$V_{CE} < 0$$

$$I_B > 0 \quad I_C > 0$$

$$I_C < \beta I_B$$

$$V_{CE} \cong -0,2V$$

## Zona de corte

$$|V_{BE}| < 0,7$$

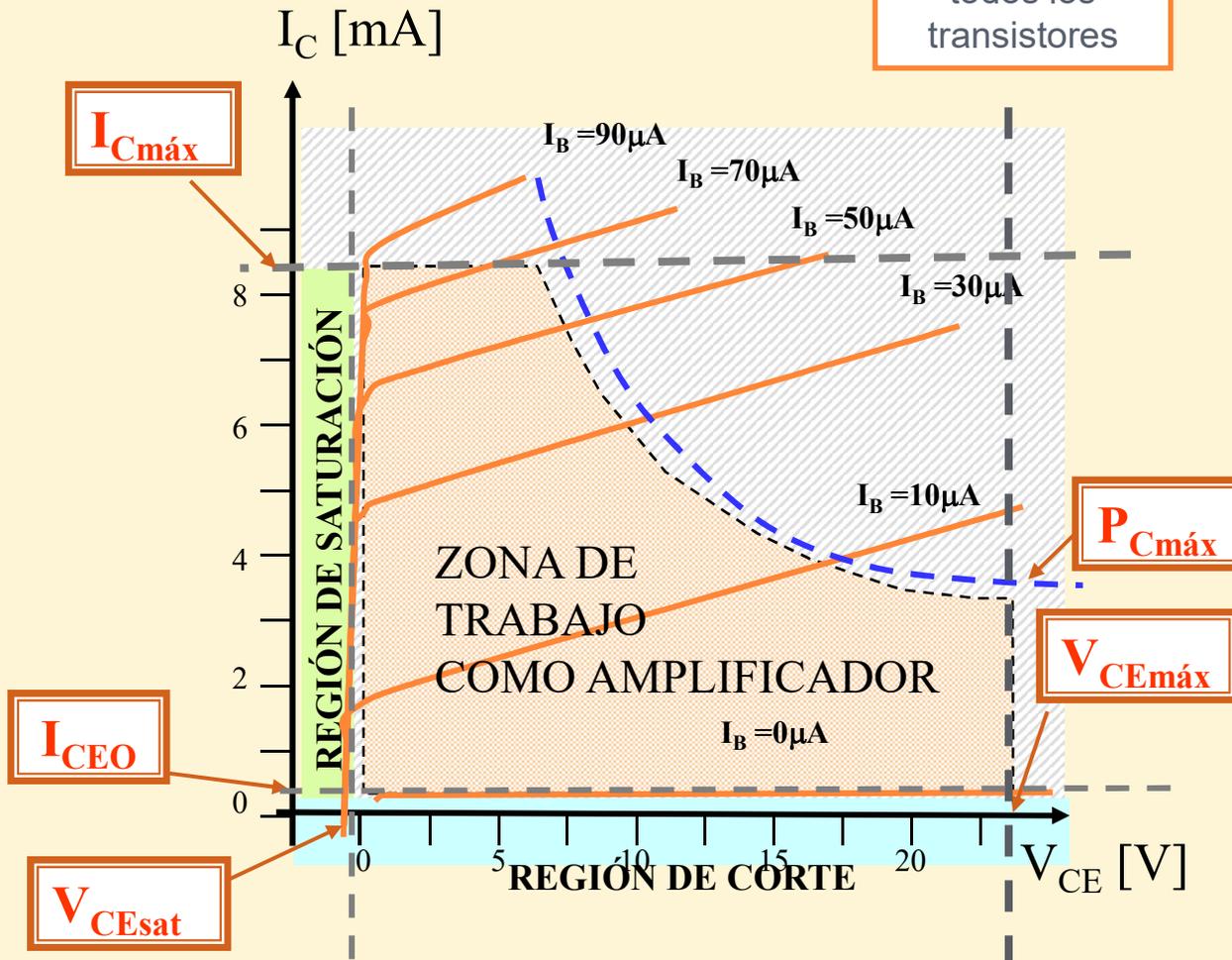
$$I_C \cong 0$$

Características aproximadas de entrada y salida del transistor PNP en Emisor Común

Todos los límites de operación para un transistor vienen definidos en sus hojas de especificaciones técnicas. Entre las más relevantes pueden citarse:

- corriente máxima de colector  $I_{Cmáx}$ : es la máxima corriente que puede circular por el colector. Puede figura en las especificaciones como “corriente continua de colector”.
- Tensión máxima entre colector y emisor,  $V_{CEO}$ : Indica la tensión máxima permitida entre el colector y el emisor, cuando la base está desconectada o polarizada inversamente.
- $V_{CE}$  mínimo: Indica la tensión  $V_{CEsat}$  o tensión mínima que se puede aplicar para no caer en la zona de saturación.  $V_{CEsat} = 0,2V$
- $P_C$  máx: Representa la máxima potencia que puede disipar el colector sin quemarse.  $P_{Cmáx} = v_{CE}i_C$

Características comunes a todos los transistores



El circuito de polarización debe diseñarse para fijar el punto Q dentro del área de operación segura.

La Región de operación es el área comprendida dentro de los límites de corriente, tensión y potencia del dispositivo.

El TBJ debe operar dentro de la zona de operación segura, caso contrario el dispositivo se romperá.

Región de Operación Segura (SOAP) = Área naranja + Área verde + Área turquesa

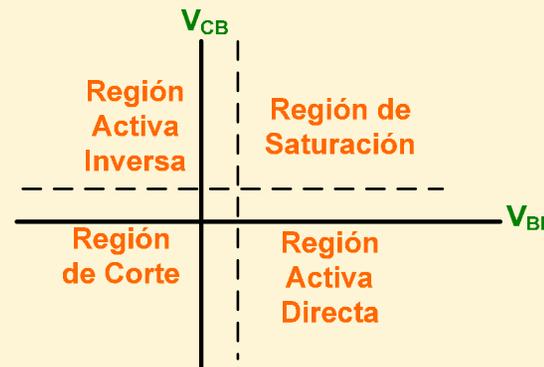
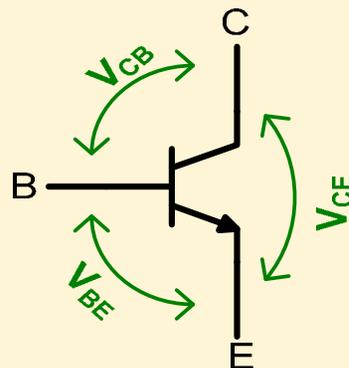
# RESUMEN- REGIONES DE POLARIZACIÓN

## TEMA 7

Alimentar con tensión continua los terminales de entrada y los de salida del transistor se llama “**polarización**” .

La polarización genera un flujo de corriente entre la entrada y la salida. Existen cuatro posibles regiones, según como estén polarizadas las uniones base-emisor y base-colector

APLICACIÓN	REGIÓN DE POLARIZACIÓN	POLARIZACIÓN DE LAS UNIONES	
		UNIÓN B-E	UNIÓN B-C
Funcionamiento como amplificador	REGIÓN ACTIVA DIRECTA	DIRECTA $V_{BE} > V_{\gamma}$	INVERSA $V_{BC} < V_{\gamma}$
No se utiliza	REGIÓN ACTIVA INVERSA	INVERSA $V_{BE} < V_{\gamma}$	DIRECTA $V_{BC} > V_{\gamma}$
Funciona como conmutador (off)	REGIÓN DE CORTE	INVERSA $V_{BE} < V_{\gamma}$	INVERSA $V_{BC} < V_{\gamma}$
Funciona como conmutador (on)	REGIÓN DE SATURACIÓN	DIRECTA $V_{BE} > V_{\gamma}$	DIRECTA $V_{BC} > V_{\gamma}$

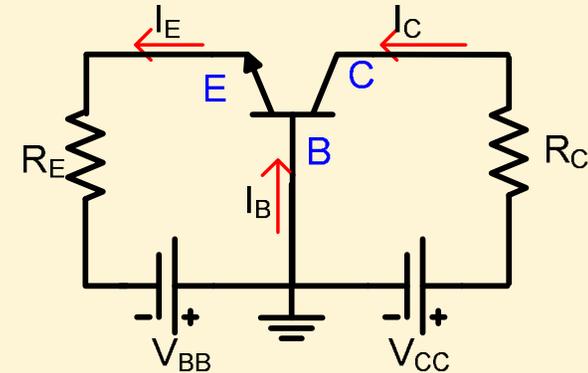
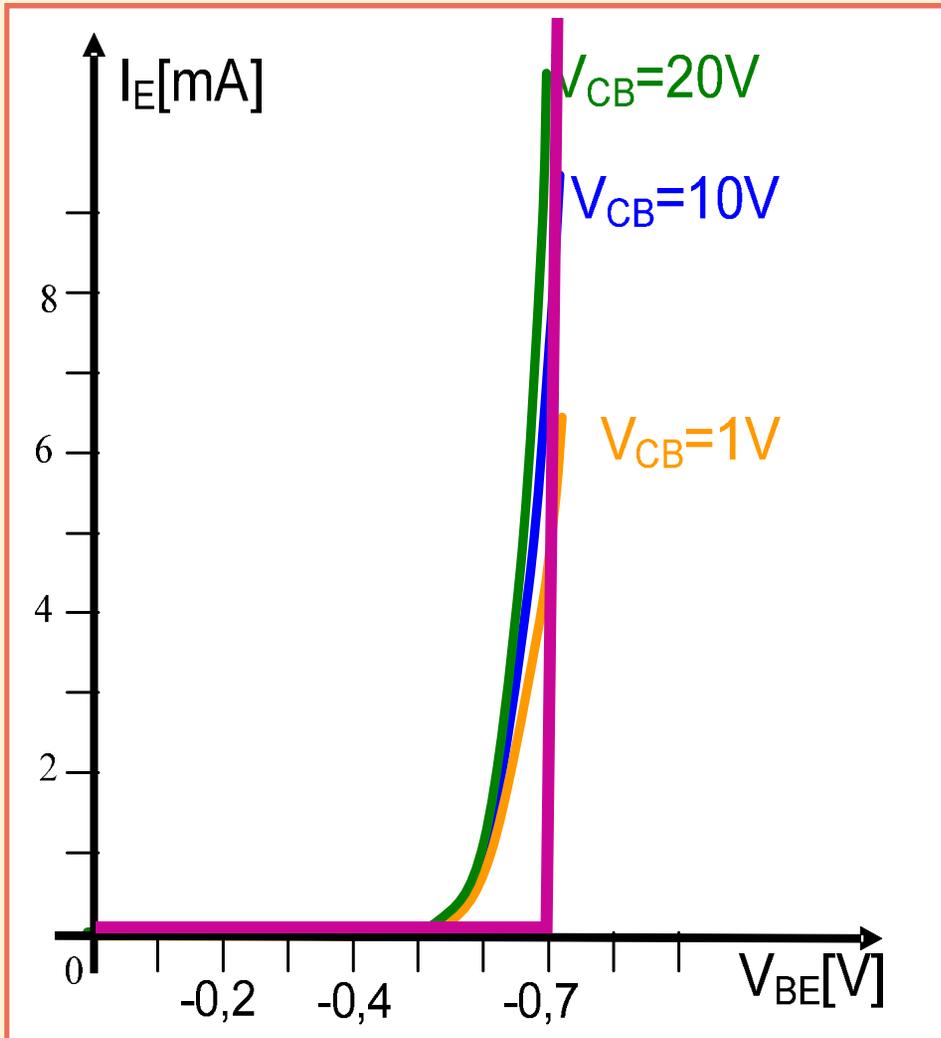


Características comunes a todos los transistores

# CURVAS CARACTERÍSTICAS BC

TEMA 7

Característica de entrada:  $I_E = f(V_{BE}, V_{CB})$

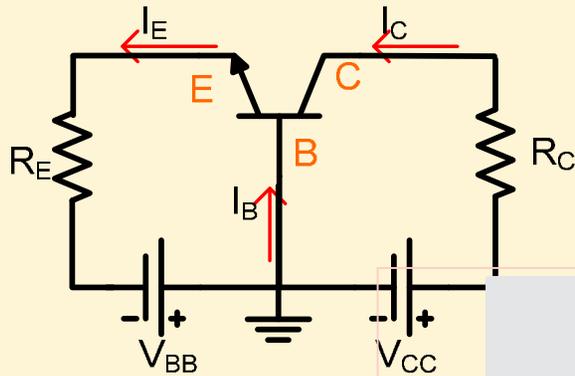


$$I_E \approx \frac{I_S}{\alpha} e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

Observar que la tensión  $V_{BE}$  varía muy poco con  $V_{CB}$ , Por lo que se puede adoptar, en este caso  $V_{BE} = -0.7$  V

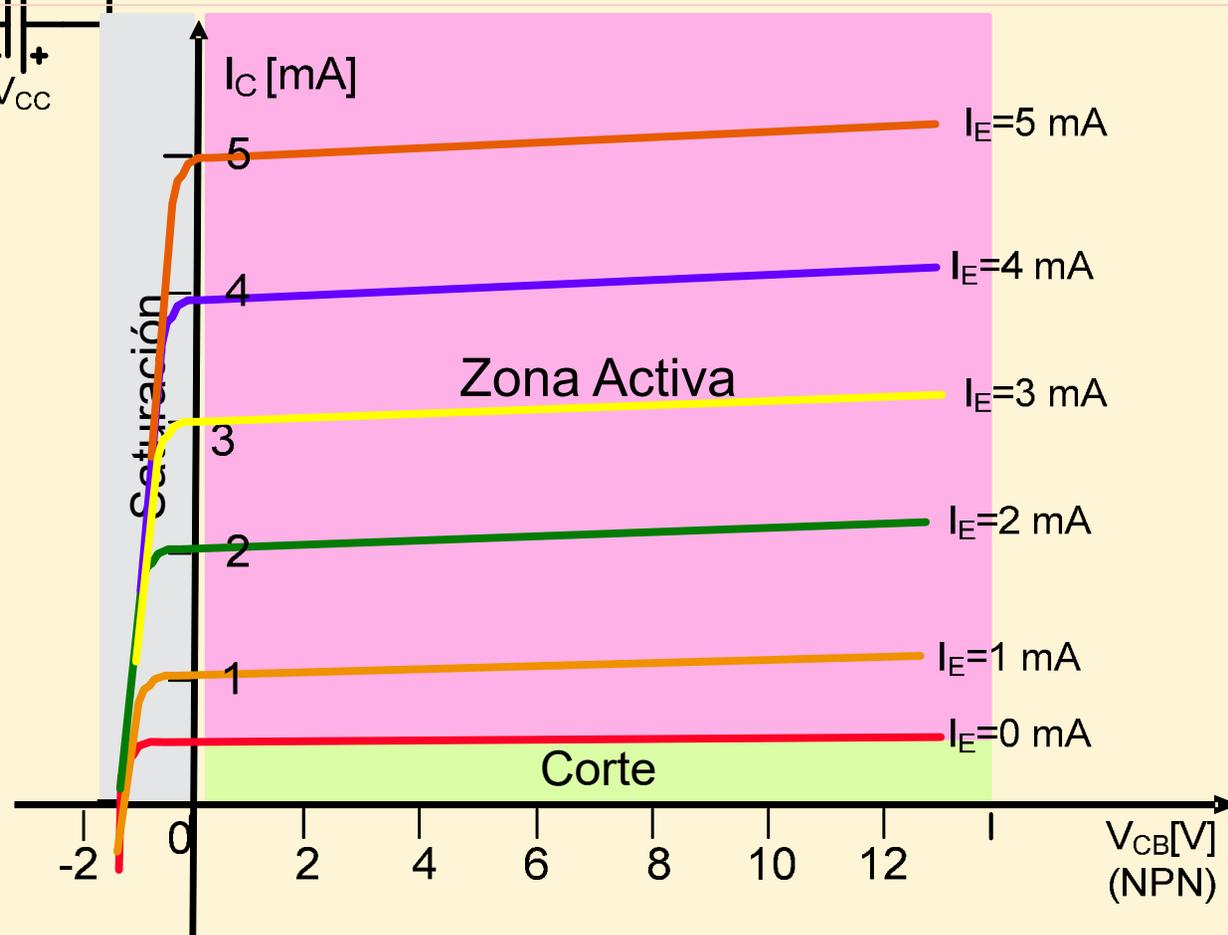
# CURVAS CARACTERÍSTICAS BC

TEMA 7



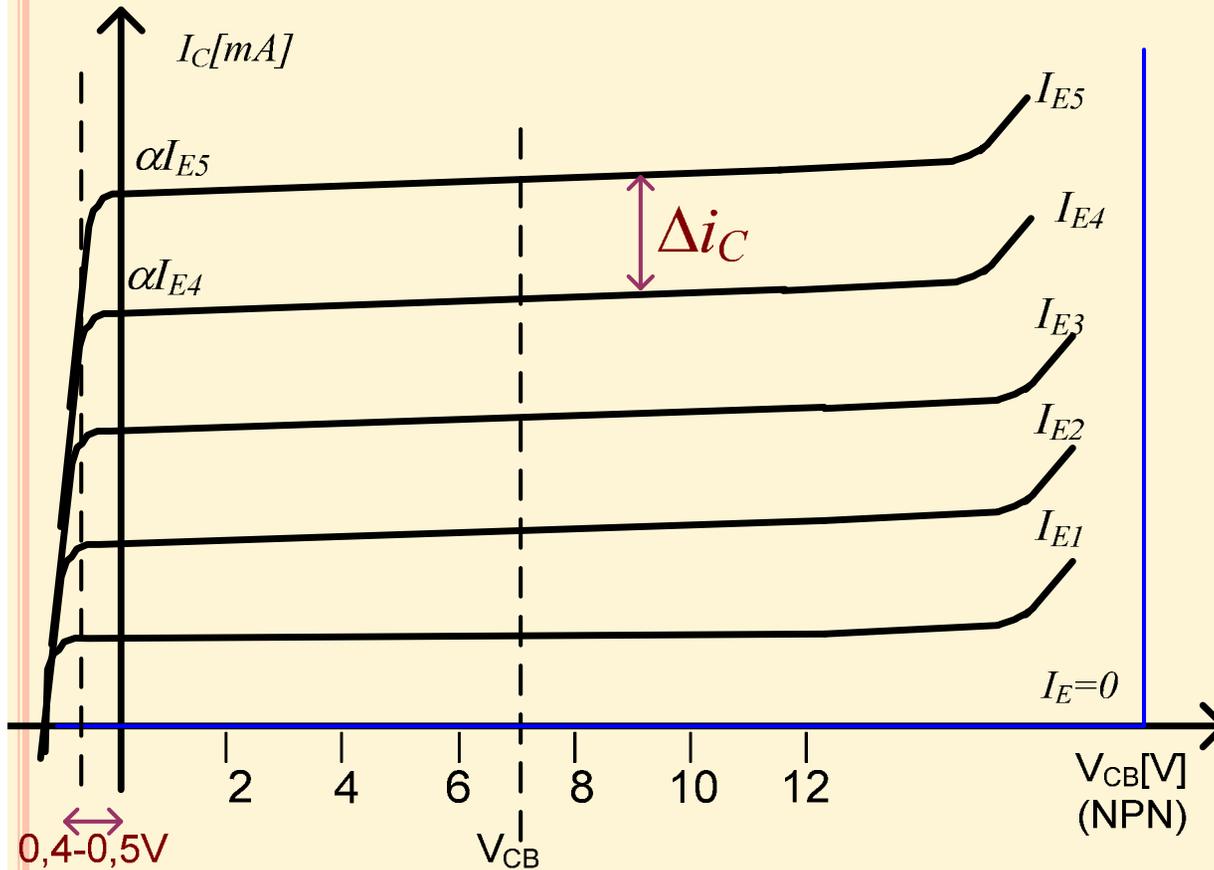
Configuración Base Común

La corriente de colector es constante, por tanto el colector se comporta como una fuente de corriente constante en la región activa.



# CURVAS CARACTERÍSTICAS BC

TEMA 7



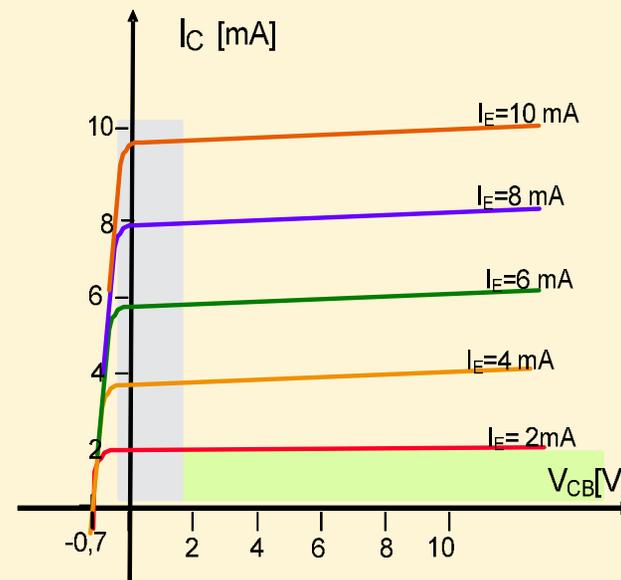
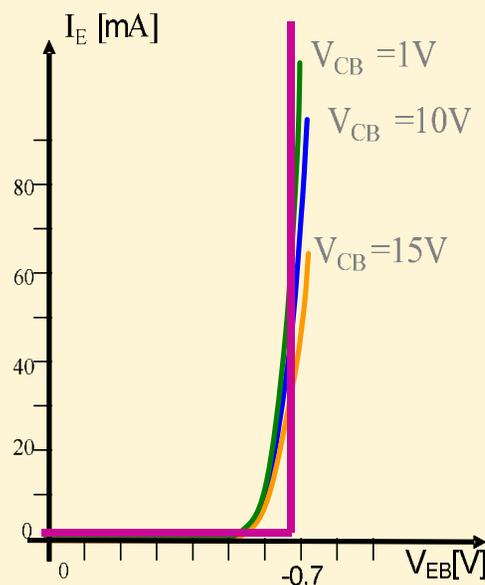
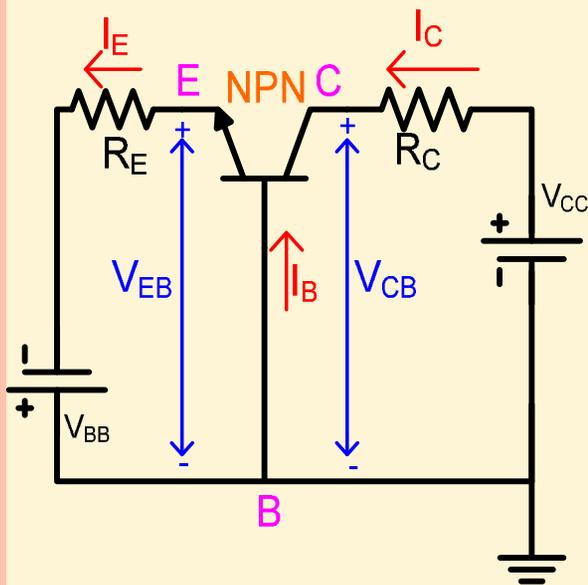
En la región activa de operación, obtenida para aproximadamente  $V_{CE} > -0.4$  V, Se observa en las curvas  $I_C-V_{CB}$ :

➤ Las curvas tienen una pequeña pendiente positiva, lo cual indica que  $i_C$  depende muy poco de  $V_{CB}$  en el modo activo.

- Para valores relativamente grandes de  $V_{CB}$ , la corriente del colector muestra un incremento rápido, que es un fenómeno de ruptura
- Todas las curvas características intersecan el eje vertical a un valor de corriente igual a  $\alpha I_E$ , donde  $I_E$  es la corriente de emisor constante a la que se mide la curva particular.

# CURVAS CARACTERÍSTICAS BC

TEMA 7



## Zona Activa

$$V_{BE} < 0 ; V_{EB} \cong -0,7V$$

$$I_E > 0 \quad I_C > 0$$

$$I_C \cong \alpha_F \cdot I_E$$

$$V_{CB} > 0$$

## Zona de Saturación

$$V_{BE} \cong -0,8V$$

$$I_C < \alpha_F \cdot I_E$$

$$V_{CE} \cong -0,7V$$

## Zona de corte

$$V_{EB} > -0,7V$$

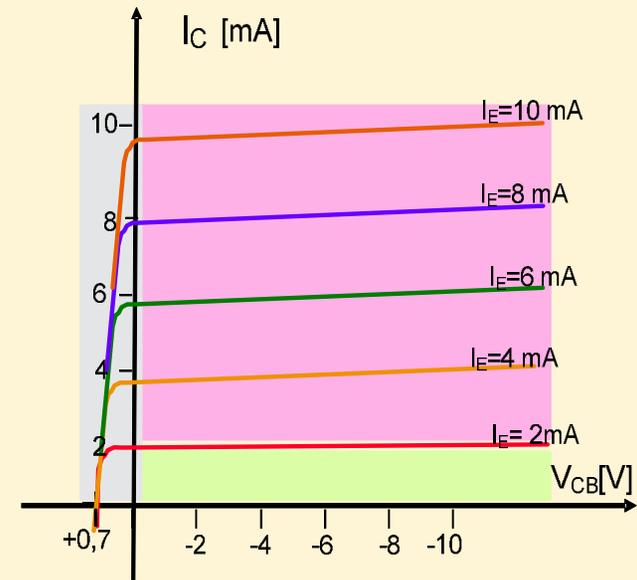
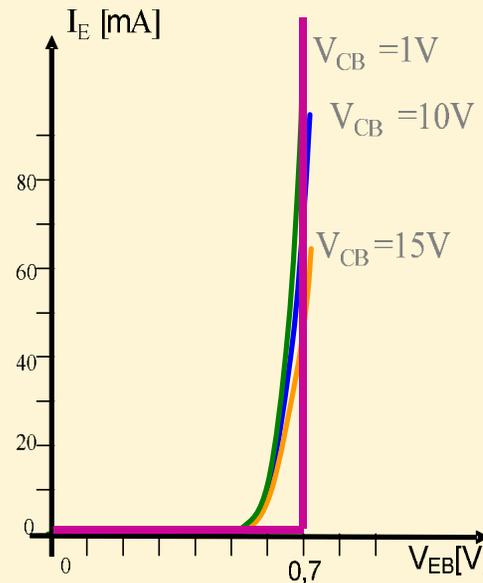
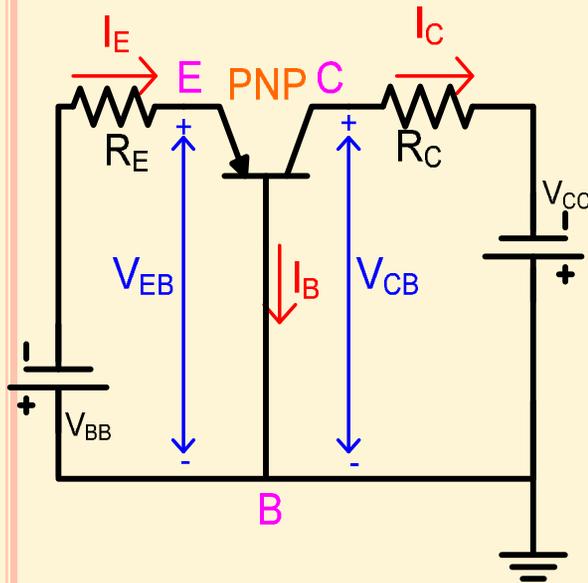
$$I_C \cong 0$$

Características aproximadas de entrada y salida del transistor NPN en Base Común

24

# CURVAS CARACTERÍSTICAS BC

TEMA 7



## Zona Activa

$$\begin{aligned} V_{EB} > 0 \quad V_{EB} \cong 0,7V \\ V_{CB} < 0 \\ I_E > 0 \quad I_C > 0 \\ I_C \cong \alpha_F \cdot I_E \end{aligned}$$

## Zona de Saturación

$$\begin{aligned} V_{EB} \cong 0,8V \\ I_C < \alpha_F \cdot I_E \\ V_{CE} \cong 0,7V \end{aligned}$$

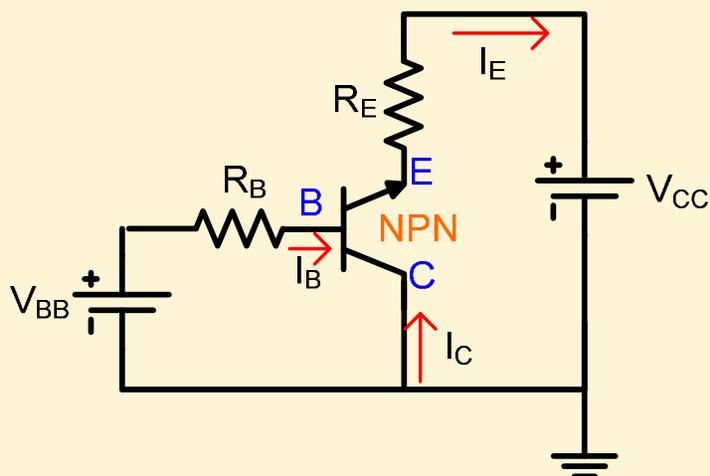
## Zona de corte

$$\begin{aligned} V_{EB} < 0,7V \\ I_C \cong 0 \end{aligned}$$

Características aproximadas de entrada y salida del transistor PNP en Base Común

# CURVAS CARACTERÍSTICAS CC

TEMA 7

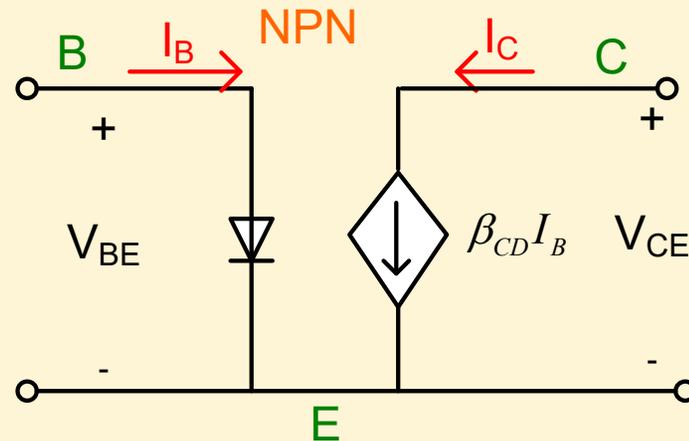


Esta configuración se utiliza para propósitos de acoplamiento de impedancias. Pues tiene alta impedancia de entrada y baja de salida, al contrario de las otras dos configuraciones.

Para la configuración de colector común, las características de salida son una gráfica de  $I_E$  en función de  $V_{EC}$  para un rango de valores de  $I_B$ . Por lo tanto, la corriente de entrada es la misma tanto para las características del emisor común como para las de colector común.

Para todos los propósitos prácticos las curvas características de salida de esta configuración **SON LAS MISMAS** que se usan para **EMISOR COMUN.**

El TBJ en zona activa puede ser considerado un dispositivo con una corriente en el circuito de entrada y una fuente de corriente dependiente en el circuito de salida.



El circuito de entrada es un diodo polarizado en directa a través del cual pasa corriente de base.

El circuito de salida es una fuente de corriente dependiente de la corriente de entrada, con un valor que depende de la corriente de base, e igual a  $\beta_{CD} \cdot I_B$ .