

# Índice

---

<b><i>TEMA 10: El transistor bipolar en estática</i></b>	<b><i>10.1</i></b>
10.1. INTRODUCCIÓN	<b>10.1</b>
10.2. ESTRUCTURA DEL TRANSISTOR BIPOLAR	<b>10.3</b>
10.3. REGIONES DE FUNCIONAMIENTO	<b>10.5</b>
10.4. FUNCIONAMIENTO CUALITATIVO EN LA REGIÓN ACTIVA	<b>10.7</b>
10.5. DEFINICIONES DE CIRCUITO: PARÁMETROS $\gamma$ , $\alpha_T$ , $\alpha$ Y $\beta$	<b>10.12</b>



# Tema 10

## *El transistor bipolar en estática*

---

### **10.1.- Introducción**

*Con éste se inicia un conjunto de cuatro temas dedicados a otro dispositivo de unión pn: “el transistor bipolar” (BJT → Bipolar Junction Transistor). El BJT es uno de los principales dispositivos semiconductores empleados en la amplificación y conmutación.*

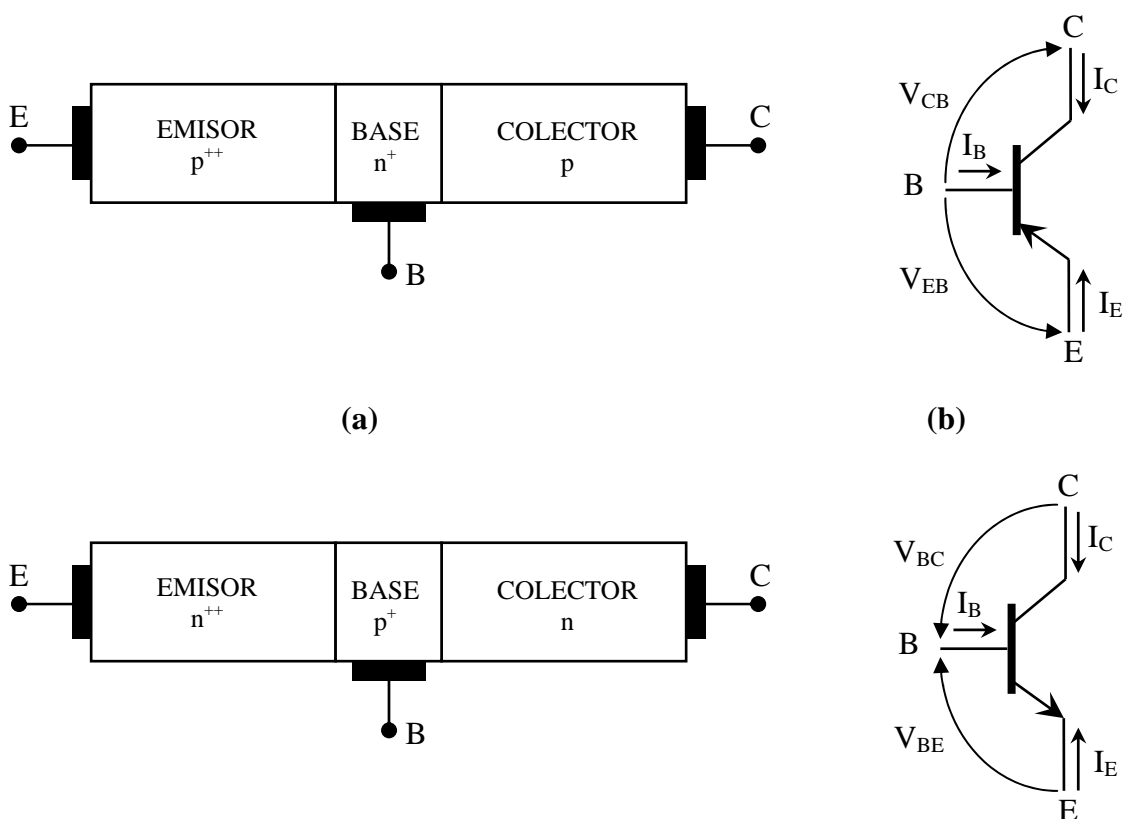
*Existen, como veremos, dos formas básicas del transistor bipolar, la npn y la pnp, denominadas así por las tres capas de semiconductor utilizadas para su construcción. Ambas formas son de uso general como dispositivos discretos individuales y en circuitos integrados. En muchos diseños de circuitos se prefiere la versión npn debido a su ganancia, generalmente más alta, y a su conmutación más veloz.*

*El BJT difiere del diodo en que el transistor puede brindar ganancias de corriente, de voltaje y de potencia. Es un dispositivo activo, mientras que el diodo, al igual que una resistencia, es un dispositivo pasivo. Por lo tanto, se hará especial énfasis en la cualidad del transistor de lograr ganancia.*

*En este primer tema sobre el BJT se definirán los sentidos de los voltajes y corrientes aplicados al dispositivo, y se realizará una descripción cualitativa de la acción del BJT y su fabricación. Se definirán, también, sus cuatro regiones o zonas de funcionamiento centrandó la atención en el “Modo Activo”, para el que se definirán el factor transporte ( $\alpha_T$ ), la eficiencia de inyección ( $\gamma$ ) y la ganancia directa de corriente continua (parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ ).*

## 10.2.- ESTRUCTURA DEL TRANSISTOR BIPOLAR

El transistor bipolar o transistor de unión es un dispositivo semiconductor que contiene dos uniones pn muy próximas entre sí. Esto es, está formado por tres regiones dopadas alternativamente (ver Figura 10.1a). La región intermedia se denomina “base” y es muy estrecha en comparación con la longitud de difusión de minoritarios en ella. Las dos regiones externas constituyen el “emisor” y el “colector”. En principio, podría parecer que estas dos últimas regiones son intercambiables. Sin embargo, en los dispositivos reales, el emisor está más dopado que la base y ésta, a su vez, más dopada que el colector, de ahí que no se pueden intercambiar el emisor y el colector sin modificar las características eléctricas del dispositivo.



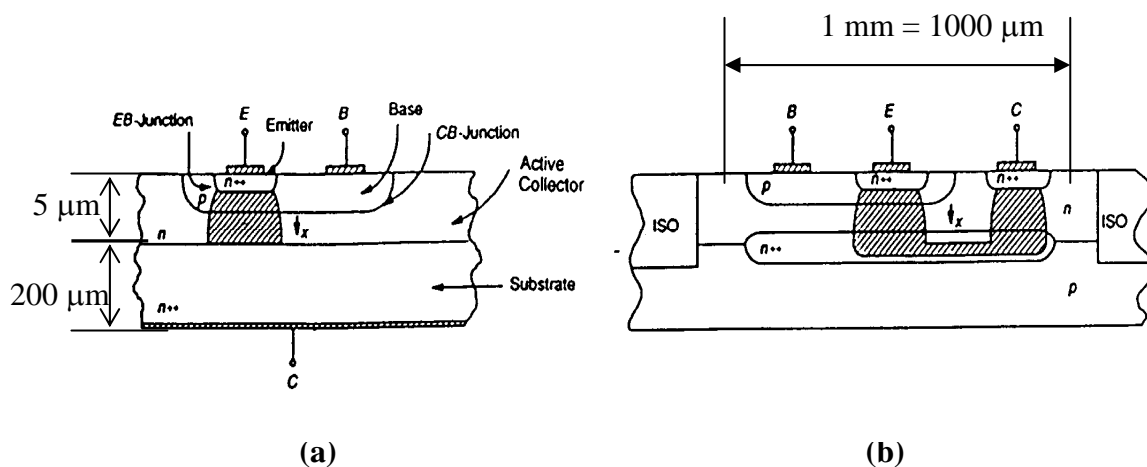
**Figura 10.1.-** Tipos de transistor bipolar: a) Estructura; b) Símbolo de circuito.

En la Figura 10.1b se indican los símbolos de circuito utilizados para designar a los transistores pnp y npn. Por convenio<sup>1</sup>, las corrientes de emisor, base y colector se

<sup>1</sup> Convención estándar del IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

consideran positivas cuando entran al dispositivo. La flecha indica el sentido en el que fluiría la corriente si la unión emisor-base estuviera directamente polarizada.

En las Figuras 10.2a y 10.2b se muestran las estructuras típicas de un transistor  $n^+pn$  discreto y otro integrado. El  $n^+pn$  discreto se construye comenzando por un sustrato  $n^{++}$ , fuertemente dopado, sobre el cual se deposita una capa epitaxial de alta resistividad (bajo dopado) de silicio tipo n en la superficie. La capa epitaxial típica es de 5 a 10  $\mu\text{m}$  de espesor. La región de base tipo p se difunde térmicamente a través de una ventana de óxido. Posteriormente, se difunde el emisor  $n^{++}$  fuertemente dopado. Los contactos metálicos están constituidos por una aleación de Al y Si que hace contacto óhmico en las tres regiones de emisor, base y colector.



**Figura 10.2.-** Esquema de la sección transversal de estructuras de BJT: (a) BJT discreto y (b) BJT integrado.

En los circuitos integrados, todos los transistores deben compartir un sustrato común por razones tecnológicas. En este caso, se comienza por un sustrato tipo p de alta resistividad. En él se difunde una pequeña región  $n^{++}$  a la que se le denomina capa enterrada. La función principal de ésta, es brindar un camino de baja resistencia para que la corriente de colector alcance el contacto de colector, que ahora queda en la superficie superior. A continuación, se deposita sobre la capa enterrada una capa epitaxial tipo n que será la que constituya la región de colector de bajo dopado. Posteriormente, se difunde la base tipo p seguida de difusiones de impurezas para las regiones de contacto de emisor y colector ( $n^+$ ). El contacto de colector en la superficie

se debe realizar sobre una zona  $n^+$  para asegurar la obtención de un contacto de características óhmicas.

Para lograr el aislamiento eléctrico entre resistencias y transistores (componentes) en un circuito integrado bipolar, se recurre a uniones pn inversamente polarizadas, aislamiento por unión, o bien, al uso de profundas trincheras de  $SiO_2$  como la representada en la Figura 10.2b.

La acción básica del transistor (Figura 10.2a y Figura 10.2b), está confinada a la región rallada, que incluye las regiones activas de emisor, base y colector. Esta dirección es la que se elegirá como dirección de estudio (análisis unidimensional).

### 10.3.- REGIONES DE FUNCIONAMIENTO

Cada una de las uniones de un BJT puede estar polarizada en directa o en inversa. La combinación de estas dos polarizaciones para cada una de las uniones conduce a “cuatro regiones o modos de funcionamiento” en continua (Tabla 10.1).

<b>Polarización de la unión</b>		<b>MODO</b>
<b>Emisor-Base</b>	<b>Colector-Base</b>	
Directa	Inversa	<i>Activo</i>
Directa	Directa	<i>Saturación</i>
Inversa	Inversa	<i>Corte</i>
Inversa	Directa	<i>Activo inverso</i>

**Tabla 10.1.-** Modos de trabajo del BJT

La **región activa**, es la zona de funcionamiento más común del BJT. Casi todos los amplificadores de señal lineales, como los amplificadores operacionales, tienen sus BJT's polarizados en esta región, ya que es en la que se obtiene mayor ganancia de señal y menor distorsión.

Un conmutador cerrado tiene poco o ningún voltaje entre sus bornes aún cuando fluya una corriente elevada. Este comportamiento corresponde al funcionamiento del

BJT en la **región de saturación**. En un circuito lógico, se denomina a esto nivel lógico cero o “bajo”.

El BJT trabajando en el **modo de corte** equivale a un circuito abierto. En los circuitos digitales esto representa el nivel lógico uno o “alto”.

La **región activa-inversa** se utiliza sobre todo en circuitos de lógica digital, como la lógica TTL (transistor-transistor-logic), en la que la ganancia de señal no es un objetivo. En este caso, el emisor y el colector han intercambiado sus papeles y podríamos pensar que el funcionamiento es idéntico. Sin embargo, las características eléctricas del dispositivo se ven modificadas puesto que el dopaje del colector es mucho más pequeño que el del emisor.

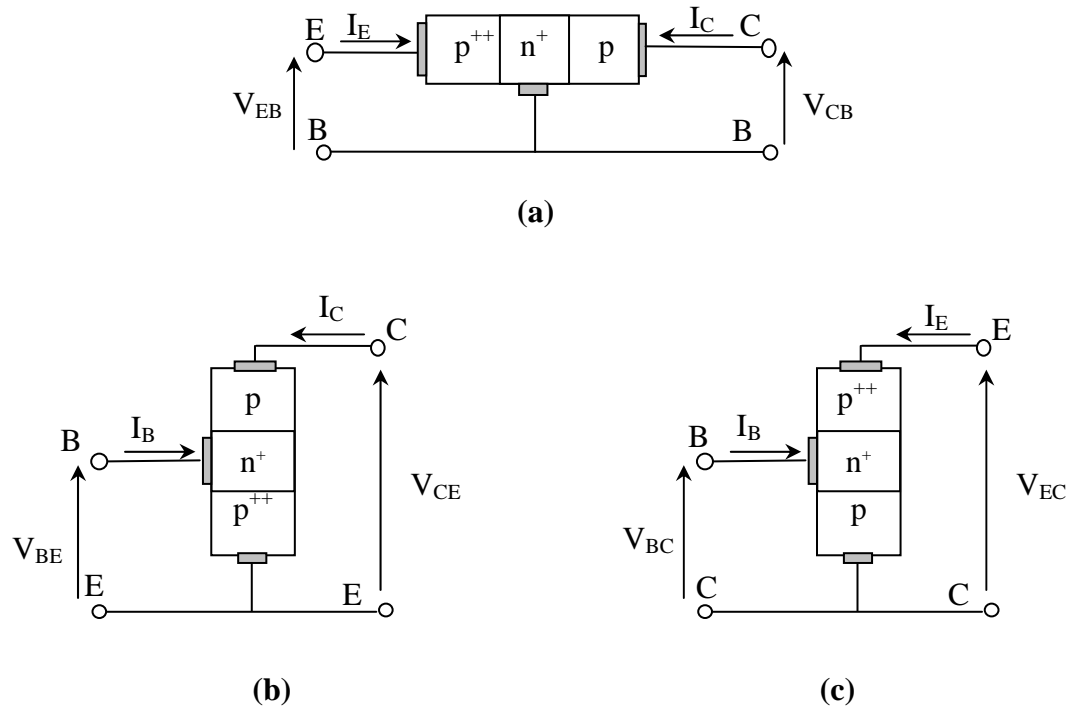
Todos los comentarios anteriores se entenderán mucho mejor cuando se analice el funcionamiento del BJT y se describan sus curvas características.

Finalmente, cabe señalar que, en las aplicaciones de circuito, el BJT funciona típicamente con un terminal común entre la entrada y la salida, ya sea en continua o en alterna. Puesto que el BJT tiene tres terminales, dependiendo de cuál sea el terminal común a los circuitos de entrada y de salida pueden distinguirse tres tipos de configuración: base común, emisor común y colector común. En la Figura 10.3 se han indicado los sentidos positivos de las tensiones y corrientes, es decir, cuando dichas corrientes son entrantes al dispositivo.

Si se conocen dos corrientes (o tensiones), la tercera corriente (o tensión) puede determinarse a través de las leyes de Kirchoff.

En la aplicación del BJT como amplificador, la configuración más utilizada es la de emisor común por razones que se comentarán posteriormente.





**Figura 10.3.-** Tipos de configuración para un transistor pnp: (a) En base común; (b) En emisor común; (c) En colector común.

#### 10.4.- FUNCIONAMIENTO CUALITATIVO EN LA REGIÓN ACTIVA

A pesar de que se ha comentado que la configuración npn es la más utilizada en los circuitos amplificadores, se va a empezar el estudio del BJT por la configuración pnp. Todo lo que se diga va a ser exactamente igual para un npn, sin más que intercambiar los sentidos de las tensiones y corrientes.

Nuestro **punto de partida** es, como siempre, la situación de **EQUILIBRIO TERMODINÁMICO**. En definitiva, lo que tenemos son dos uniones pn muy próximas entre sí y todos los razonamientos que se hicieron para una unión pn en equilibrio, siguen siendo válidos. Es decir, el cálculo del  $\phi_T$  de la unión emisor-base y colector-base,  $\rho(x)$ ,  $\varepsilon(x)$ , etc. se obtendrán exactamente de la misma manera.

Supongamos ahora que se **polariza** el transistor pnp en el **MODO ACTIVO**, es decir, la unión emisor-base en directa ( $V_{EB} > 0$ ) y la unión colector-base en inversa ( $V_{CB} < 0$ ). En la Figura 10.4 se han indicado las polaridades de las tensiones aplicadas y los sentidos de las componentes internas de corriente, así como los sentidos de las corrientes en los terminales de emisor, base y colector para el MODO ACTIVO que se está considerando.

Para explicar lo que sucede, se admitirán como válidas las siguientes hipótesis:

- Los contactos son óhmicos ideales, esto es, no presentan resistencia al paso de corriente en uno y otro sentido.
- Las regiones de emisor, base y colector son homogéneas y extrínsecas.
- Se desprecian las caídas de tensión en las regiones neutras de emisor, base y colector.
- Las uniones son abruptas y planas y en ellas se considera válida la hipótesis de despoblación total (H.D.T.).
- También se despreciarán los procesos de generación y recombinación en las zonas de carga de espacio, esto es, todas las corrientes permanecen constantes al atravesarlas.
- Se supone que el BJT trabaja en baja inyección.

Resulta, entonces, que toda la tensión externa aplicada aparece en las uniones correspondientes.

Al polarizar directamente la unión de emisor se reduce la barrera de potencial, permitiendo el paso de huecos desde el emisor hacia la base,  $I_{pE}$ , y de electrones desde la base hacia el emisor,  $I_{nE}$  (puesto que el emisor está mucho más dopado que la base, resulta que  $I_{pE} \gg I_{nE}$ ). Por lo tanto, la **unión de emisor-base directamente polarizada** crea una **alta corriente de emisor**,  $I_E$ . Al igual que sucede en el diodo,  $I_{pE}$  e  $I_{nE}$  pueden ser obtenidas como corrientes de difusión que crecen exponencialmente con la tensión positiva ( $V_{pn}$ ) aplicada,  $V_{EB}$ .

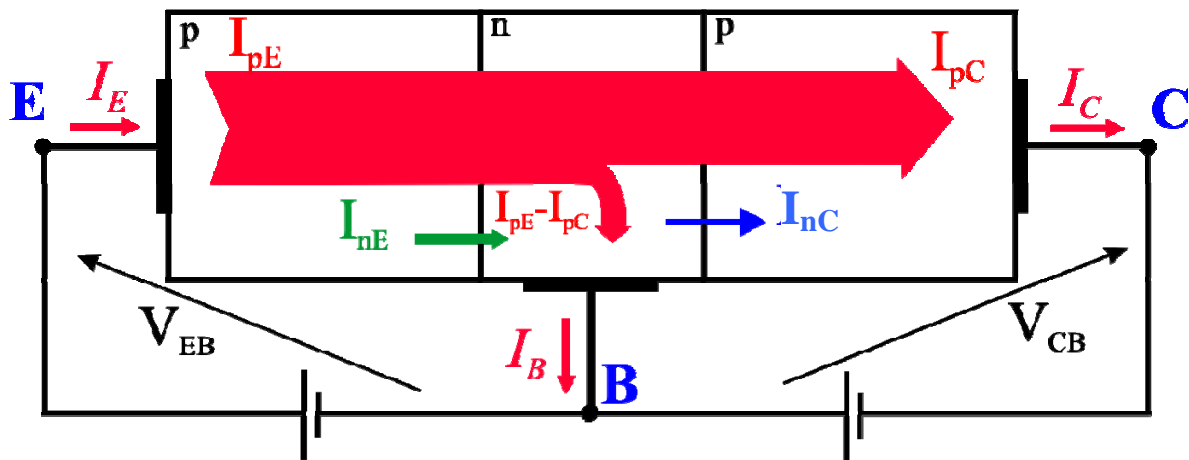


Figura 10.4.- Componentes de corriente en un transistor con la unión de emisor en directa y la unión de colector en inversa.

Por otra parte, la unión de colector se encuentra inversamente polarizada ( $V_{CB} < 0$ ), lo que conduce a un aumento de la barrera de potencial de dicha unión que impide el paso de mayoritarios pero no el de minoritarios. Esto es, **en la base tenemos ahora muchos huecos** ya que estos han sido inyectados desde el emisor que no encuentran mayores dificultades para alcanzar el colector. Puesto que, por razones de diseño la base es estrecha, sólo unos pocos huecos se perderán por recombinación en la base,  $I_{rB} = I_{pE} - I_{pC} < 1\%$ , y la mayor parte de ellos alcanzará y atravesará la unión de colector. Dicha corriente,  $I_{pC}$ , constituye la componente dominante de la corriente de colector,  $I_C$ . Indudablemente, también existirá un pequeño flujo de electrones desde el colector hacia la base. Estos electrones, portadores minoritarios en el colector, son los generados térmicamente en las proximidades del borde de la zona de carga de espacio de la unión de colector por el lado del colector, y constituyen la componente  $I_{nC}$ .

Esta situación, en la cual en una unión en inversa aparece una corriente debido a la inyección de portadores desde otra unión próxima, se denomina efecto transistor. Y en este modo de funcionamiento se encuentra la razón de los términos “emisor” (inyector de portadores) y “colector” (recolector de portadores inyectados en otras regiones).

Indudablemente, para que se produzca la interacción entre ambas uniones del BJT, éstas no pueden encontrarse demasiado alejadas, por lo que la anchura de la base debe ser mucho menor que la longitud de difusión de minoritarios en ella. En nuestro caso, en que la base es de tipo n,

$$w_B \ll L_{pB}$$

Esto es, la base ha de ser una región corta. En caso contrario, la recombinación en la región de la base sería importante y disminuiría el efecto transistor. En definitiva, en el límite (si la base es una región larga), lo que tendríamos sería dos diodos conectados en oposición. Es decir, todos los huecos inyectados desde el emisor en la base se recombinarían en ésta y ninguno de ellos conseguiría alcanzar la unión de colector inversamente polarizada.

Por lo tanto, para nuestro BJT pnp polarizado en el MODO ACTIVO resulta que:

$$\begin{aligned} I_E &= I_{pE} + I_{nE} \\ -I_C &= I_{pC} + I_{nC} \\ -I_B &= I_{nE} + I_{rB} - I_{nC} \end{aligned} \quad (10.1)$$

NOTA: Debe resaltarse que el convenio de signos (positivo = entrante) se aplica a las corrientes en los terminales pero no a las componentes internas de corriente. Estas últimas se sumarán o restarán dependiendo de si llevan o no el mismo sentido.

De las condiciones de diseño,  $N_E > N_B > N_C$  y  $w_B \ll L_{pB}$ , se deduce que en el MODO ACTIVO:

- $I_E \cong I_{pE}$  (componente dominante al ser  $N_E > N_B$ )
- $I_B \ll I_E, I_C$
- $I_C \cong I_{pC}$  (componente dominante al ser  $I_{nC}$  una corriente inversa de saturación)

- $I_B \cong I_{nE}$  (componente dominante porque la base es estrecha e  $I_{nC}$  es una corriente inversa de saturación)

Además,  $I_E$  será siempre ligeramente superior a  $I_C$  por dos razones:

1.  $I_{nE}$  (componente interna de  $I_E$ ) no contribuye el efecto transistor (transferencia de corriente de la entrada a la salida). Es decir, no es una de las componentes de  $I_C$ .
2. A pesar de que  $I_{rB}$  es muy pequeña, no será nula: siempre habrá unos pocos huecos que se pierdan por recombinación.

La posibilidad de poder obtener una gran ganancia de corriente del BJT para el dispositivo en emisor común se explica por el hecho de que una pequeña corriente de base,  $I_B$ , brinda electrones para recombinarse con los huecos que provienen del emisor y para inyectar electrones en el emisor. De forma que la relación o ganancia de corriente  $\frac{I_C}{I_B}$  es elevada porque **una unión p<sup>+</sup>n (emisor-base) sólo requiere una pequeña corriente de electrones para conseguir una elevada corriente de huecos**. Dicho de otra forma, una pequeña  $I_B$  fuerza a que la unión emisor-base quede directamente polarizada e inyecte una gran cantidad de huecos que atraviesan la base hacia el colector.

Todo lo que se ha explicado del funcionamiento del transistor p<sup>+</sup>np en el MODO ACTIVO es aplicable al transistor n<sup>+</sup>pn sin más que intercambiar los sentidos de las corrientes y tensiones. Esto es, en un transistor n<sup>+</sup>pn polarizado en el MODO ACTIVO resulta que:

$$V_{BE} > 0 \quad V_{BC} < 0$$

$$I_E < 0 \quad I_B > 0 \quad I_C > 0$$

Cabe señalar, además, que en el MODO ACTIVO y en primera aproximación  $I_C$  es independiente de la tensión inversa aplicada a la unión de colector. Esto es, basta con que dicha unión se encuentre inversamente polarizada (sin importar el valor absoluto de la tensión) para que recoja los minoritarios inyectados en la base por el emisor.

Finalmente, debe señalarse que las ecuaciones (10.1) verifican la 1ª ley de Kirchoff “En un nodo, la suma de todas las corrientes ha de ser cero”. Efectivamente:

$$\begin{aligned}I_E + I_B + I_C &= I_{pE} + I_{nE} - I_{nE} - I_{rB} + I_{nC} - I_{pC} - I_{nC} \\I_E + I_B + I_C &= I_{pE} - I_{rB} - I_{pC} = I_{pE} - I_{pC} - (I_{pE} - I_{pC}) \\I_E + I_B + I_C &= 0\end{aligned}$$

Y por lo tanto, conocidas  $I_E$  e  $I_C$ , otra forma de calcular  $I_B$  sería:

$$I_B = -I_E - I_C$$

expresión en la que hay que tener en cuenta los signos de  $I_E$  e  $I_C$ .

### 10.5.- DEFINICIONES DE CIRCUITO: PARÁMETROS $\gamma$ , $\alpha_T$ , $\alpha$ Y $\beta$

Desde un punto de vista muy básico, cuando el BJT está polarizado en el MODO ACTIVO, lo que interesa es que prácticamente toda la corriente de emisor se convierta en corriente de colector. Sin embargo, ya se ha comentado que estrictamente hablando esto no es posible y existen unas pérdidas. Pues bien, para cuantificar estos efectos se van a definir una serie de **parámetros internos característicos del BJT**. Esto es, unas variables de circuito necesarias para la descripción del BJT en la región activa. (A lo largo de este apartado se va a seguir considerando un transistor pnp).

**10.5.1.- Eficiencia de emisor o eficiencia de inyección,  $\gamma$**

$$\gamma \equiv \frac{\text{corriente de portadores inyectados por el } E \rightarrow B}{\text{corriente total de emisor}}$$

$\Downarrow$  pnp

$$\gamma \equiv \frac{I_{pE}}{I_E} = \frac{I_{pE}}{I_{pE} + I_{nE}} = \frac{1}{1 + \frac{I_{nE}}{I_{pE}}} \quad (10.2)$$

$$\gamma_e \equiv \frac{I_{pE}}{I_{nE}} \quad \text{"relacion de inyeccion"}$$

(cociente entre lo que inyecta el emisor y lo que inyecta la base)

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{1}{\gamma_e}} = \frac{\gamma_e}{1 + \gamma_e} \quad (10.3)$$

Donde interesa que  $\gamma \rightarrow 1 \Leftrightarrow \gamma_e \uparrow\uparrow \Rightarrow N_E \gg N_B$ .

**10.5.2.- Factor de transporte de base,  $\alpha_T$**

$$\alpha_T \equiv \frac{\text{corriente de portadores inyectados que consigue alcanzar la union de colector}}{\text{corriente de portadores inyectados por el } E \rightarrow B}$$

$\Downarrow$  pnp

$$\alpha_T \equiv \frac{I_{pC}}{I_{pE}} = \frac{I_{pC}}{I_{rB} + I_{pC}} = \frac{1}{1 + \frac{I_{rB}}{I_{pC}}} \quad (10.4)$$

$$\beta_b \equiv \frac{I_{pC}}{I_{rB}}$$

$$\alpha_T = \frac{1}{1 + \frac{1}{\beta_b}} = \frac{\beta_b}{1 + \beta_b} \quad (10.5)$$

Donde interesa que  $\alpha_T \rightarrow 1 \Leftrightarrow \beta_b \uparrow\uparrow \Rightarrow I_{rB} \downarrow\downarrow \Rightarrow \text{base corta}$

### 10.5.3.- Parámetros $\alpha$ y $\beta$ de un BJT

De la definición de  $\alpha_T$ , ecuación (10.4), se deduce que:

$$I_{pC} = \alpha_T I_{pE} = \alpha_T \gamma I_E \quad (10.6)$$

Por otra parte,

$$-I_C = I_{pC} + I_{nC} = \alpha_T \gamma I_E + I_{nC}$$

$$I_C = -\alpha I_E - I_{nC} \quad (10.7)$$

$$\boxed{\alpha \equiv \alpha_T \cdot \gamma} \quad (10.8)$$

Por lo tanto, si  $\alpha_T \rightarrow 1$  y  $\gamma \rightarrow 1 \Rightarrow \alpha \rightarrow 1$

Si se define  $I_{CBO}$  como la corriente que circularía por el colector con el emisor en circuito abierto y una polarización inversa de la unión de colector, de la ecuación (10.7) resulta que

$$I_{CBO} \equiv I_{CO} = I_C \Big|_{\substack{I_E=0 \\ V_{CB}<0}} = -I_{nC}$$

con lo que la ecuación (10.7) puede también expresarse de la forma,

$$\boxed{I_C = -\alpha I_E + I_{CO}} \quad (10.9)$$



La ecuación (10.9) es válida única y exclusivamente para el MODO ACTIVO y, a pesar de que ha sido deducida para un transistor pnp, tal y como está expresada es aplicable también a un transistor npn. Esta ecuación nos dice que en el MODO ACTIVO,  $I_C$  e  $I_{CO}$  llevan el mismo sentido, que a su vez es contrario al de la  $I_E$ . A la hora de utilizar esta ecuación, hay que colocar los signos a todas las corrientes.

**pnp MODO ACTIVO**

$$I_E > 0$$

$$I_C < 0$$

$$I_{CO} < 0$$

**nnp MODO ACTIVO**

$$I_E < 0$$

$$I_C > 0$$

$$I_{CO} > 0$$

De la ecuación (10.9) se deduce que:

$$\boxed{\alpha = -\frac{I_C - I_{CO}}{I_E - 0}} \quad (10.10)$$

Es decir, el parámetro  $\alpha$  es el cociente (cambiado de signo) entre la variación experimentada por la corriente de colector y la variación de la corriente de emisor cuando esta varía desde 0 hasta un determinado valor  $I_E$ . De ahí que se denomine **“ganancia directa de corriente en base común para gran señal”**.

La interpretación física del parámetro  $\alpha$  puede deducirse sin más que desarrollar la ecuación (10.8). En efecto,

$$\alpha \equiv \alpha_T \cdot \gamma = \frac{I_{pC}}{I_{pE}} \cdot \frac{I_{pE}}{I_E}$$

$$\boxed{\alpha = \frac{I_{pC}}{I_E}} \quad (10.11)$$

Es decir, el parámetro  $\alpha$  es la fracción de la corriente de emisor que alcanza y atraviesa

la unión de colector. Constituye, por lo tanto, una medida cuantitativa de las pérdidas producidas en la transferencia de corriente desde la unión de emisor a la unión de colector. Se trata, por ello, de un parámetro íntimamente vinculado al efecto transistor que deberá hacerse tan próximo a la unidad como lo permitan las condiciones de diseño.

En ocasiones resulta útil utilizar un nuevo parámetro,  $\beta$ , definido como

$$\boxed{\beta \equiv \frac{\alpha}{1 + \alpha}} \quad \text{o bien} \quad \boxed{\alpha \equiv \frac{\beta}{\beta + 1}} \quad (10.12)$$

Introduciendo esta definición en la ecuación (10.9) resulta,

$$I_C = -\frac{\beta}{\beta + 1} I_E + I_{CO}$$

Puesto que en todo BJT se cumple

$$I_E + I_B + I_C = 0 \quad \Rightarrow \quad I_E = -I_B - I_C$$

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

$$\boxed{I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{CO}} \quad (10.13)$$

La ecuación (10.13) es totalmente equivalente a la ecuación (10.9) y tal y como está expresada es aplicable a un transistor pnp y npn. La ecuación (10.13) pone de manifiesto que, en el MODO ACTIVO,  $I_C$ ,  $I_B$  e  $I_{CO}$  llevan el mismo sentido.

Despejando  $\beta$  de la ecuación (10.13) resulta:

$$\boxed{\beta = \frac{I_C - I_{CO}}{I_B - (-I_{CO})}} \quad (10.14)$$

La ecuación (10.14) es homóloga a la ecuación (10.10) y nos dice que el parámetro  $\beta$  representa la relación entre la variación experimentada por la corriente de colector y la corriente de base desde los valores correspondientes al corte del transistor,  $I_E = 0$ ,  $I_C = I_{CO}$  e  $I_B = -I_{CO}$ , hasta los valores de funcionamiento  $I_E$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  en el MODO ACTIVO. De ahí que el parámetro  $\beta$  se denomine **“ganancia directa de corriente en emisor común para gran señal”**.

La ecuación (10.14) pone de manifiesto lo comentado anteriormente: que con una pequeña corriente de base se puede controlar una gran corriente de colector y de este modo obtener efectos de amplificación muy notables.

Por lo tanto, se puede concluir que para favorecer el efecto transistor interesa disminuir al máximo las componentes de la corriente de base, lo que se traduce en valores grandes de  $\gamma_e$ ,  $\beta_b$  y  $\beta$  o, lo que es equivalente, valores próximos a la unidad de  $\gamma$ ,  $\alpha_T$  y  $\alpha$ . Esto conduce a dos condiciones de diseño características del BJT:

1. Unión de emisor fuertemente asimétrica con el emisor mucho más dopado que la base ( $N_E \gg N_B$ )  $\Rightarrow \gamma \cong 1$ .
2. La base ha de ser una región corta ( $w_B \ll L_{pB}$ )  $\Rightarrow \alpha_T \cong 1$ .

Ambas condiciones de diseño han de cumplirse simultáneamente.

