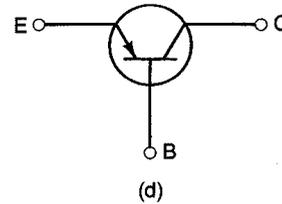
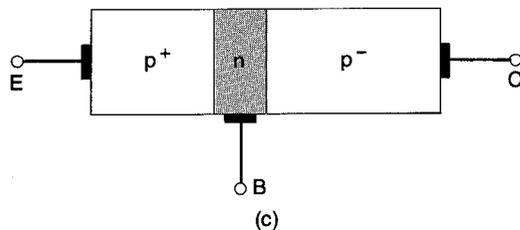
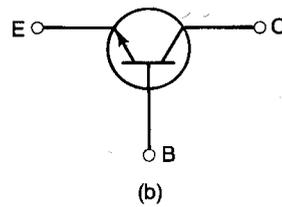
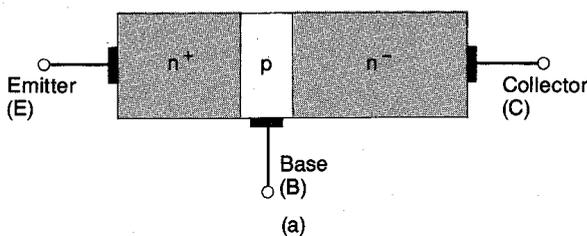


A.2. El transistor bipolar

A.2.1. Introducción

- componente de tres capas semiconductoras colocadas alternativamente
- principal aplicación: amplificador

A.2.2. Caracterización del transistor bipolar



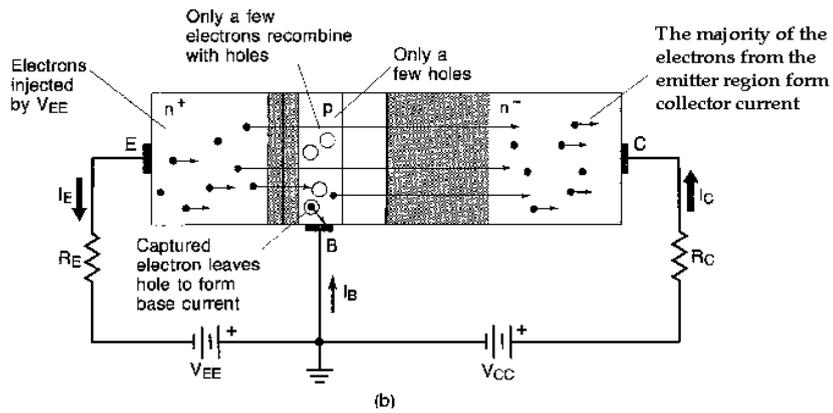
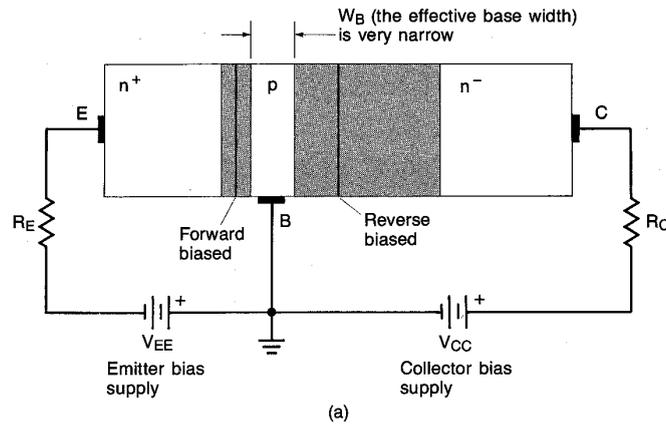
tiene tres terminales:

- *emisor*: inyecta las cargas en el transistor
- *base*: controla las cargas que circulan por el transistor
- *colector*: salida de las cargas del transistor

hay dos tipos de transistores:

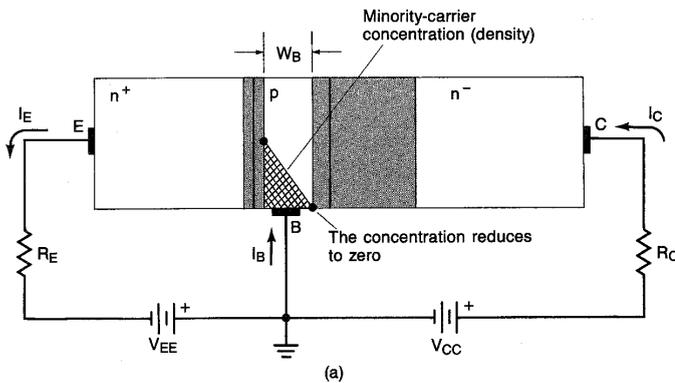
- npn
- pnp

Funcionamiento:



La corrientes cumplen:

$$I_E = I_C + I_B \quad \text{y} \quad I_E \approx I_C$$



La pendiente es directamente proporcional a I_C , I_E e I_B .

La ganancia depende de la configuración:

base común: $h_{FB} \approx a_{DC} = \frac{I_C}{I_E}$

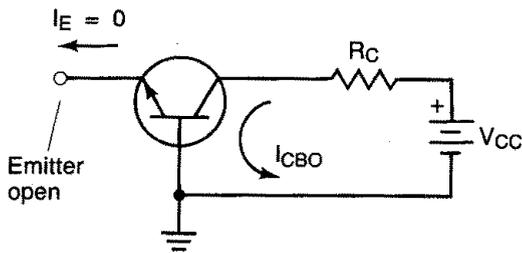
emisor común: $h_{FE} \approx b_{DC} = \frac{I_C}{I_B}$

relación entre las ganancias

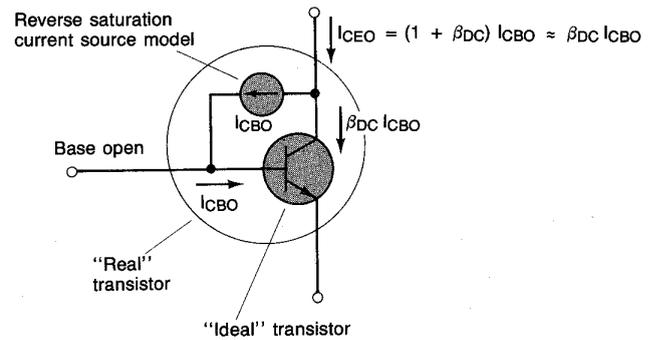
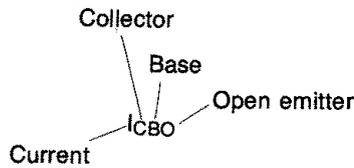
$$a_{DC} = \frac{b_{DC}}{b_{DC} + 1}$$

$$b_{DC} = \frac{a_{DC}}{1 - a_{DC}}$$

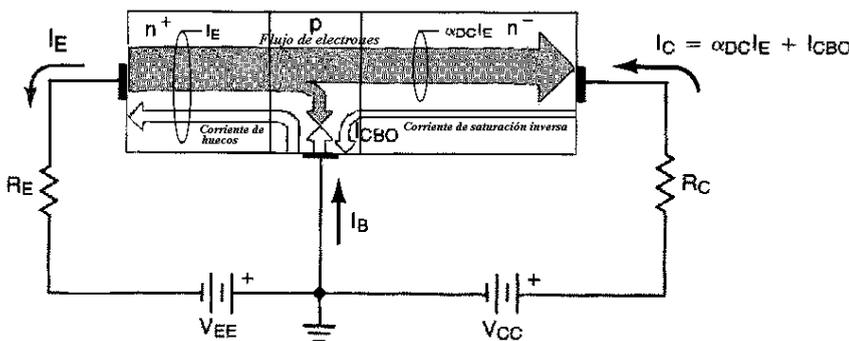
Corrientes de pérdidas:



(a)



$$I_{CEO} = (b_{DC} + 1) I_{CBO}$$

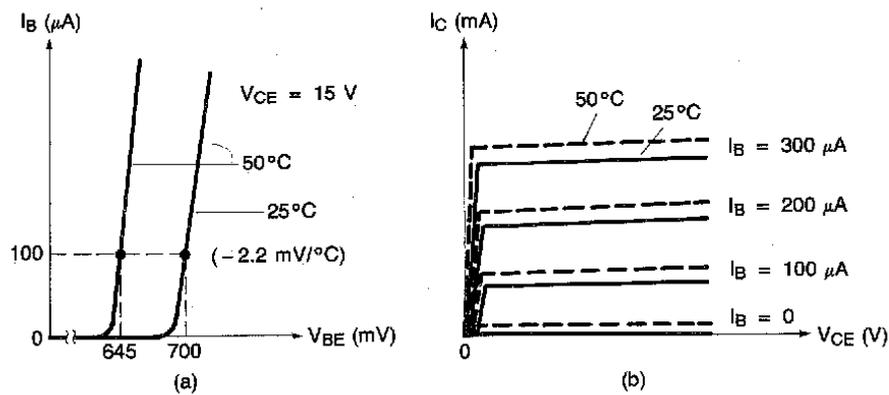


(b)

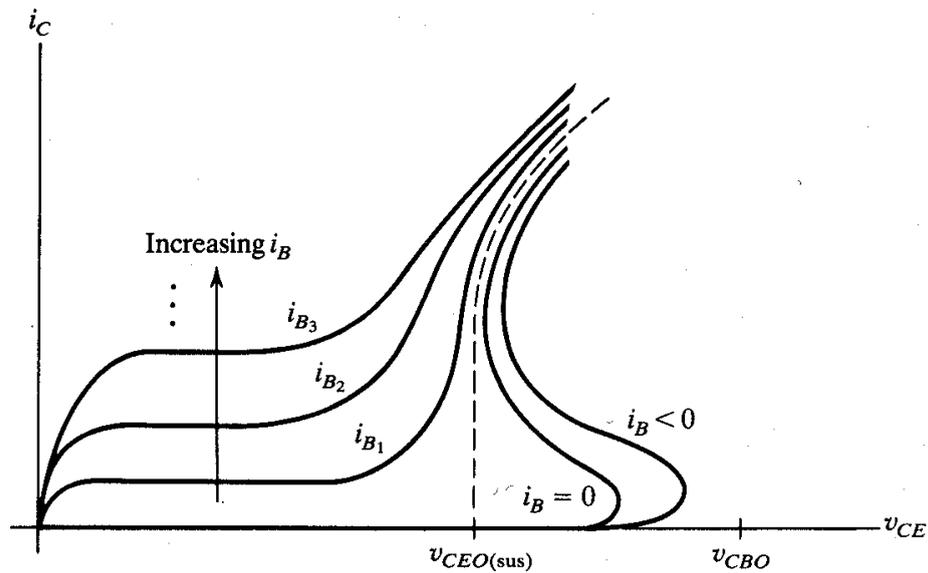
A.2.2.1. Efectos de la temperatura en el transistor

- afecta especialmente a las corrientes de pérdidas

$$I_{CBO}(T) = I_{CBO}(25^\circ C) 2^{\frac{T-25}{8}}$$



A.2.2.2. Tensiones de ruptura del transistor bipolar



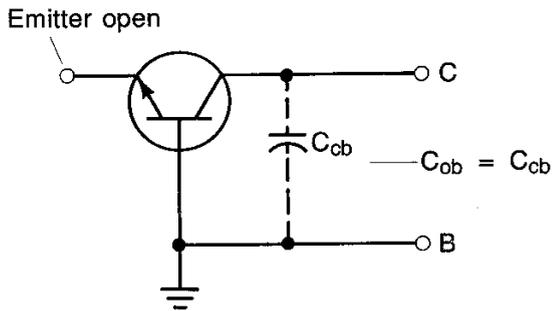
$V_{CEO(sus)}$: tensión de ruptura unión C-B con base en abierto.

V_{CBO} : tensión de ruptura unión C-B con emisor en abierto. 4

V_{EBO} : tensión base-emisor de ruptura (de valor muy bajo)

A.2.2.3. Capacidades parásitas del transistor bipolar

- existirá una capacidad parásita entre cada terminal



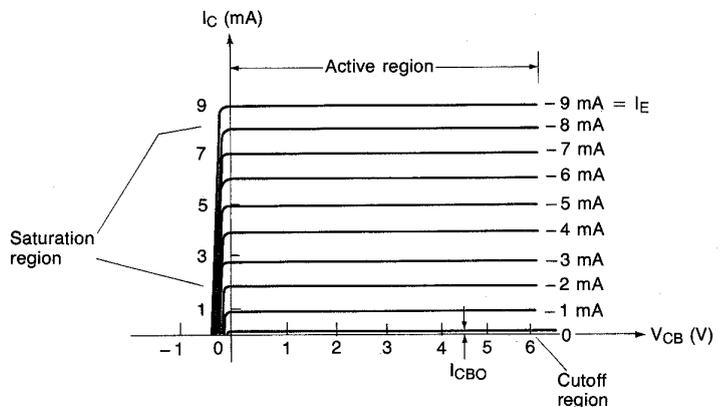
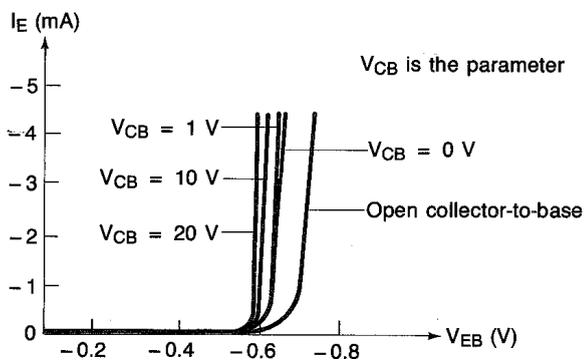
$$C_{be} = \frac{g_m}{2\pi f_T} - C_{ob}$$

C_{ce} : suele ser despreciable

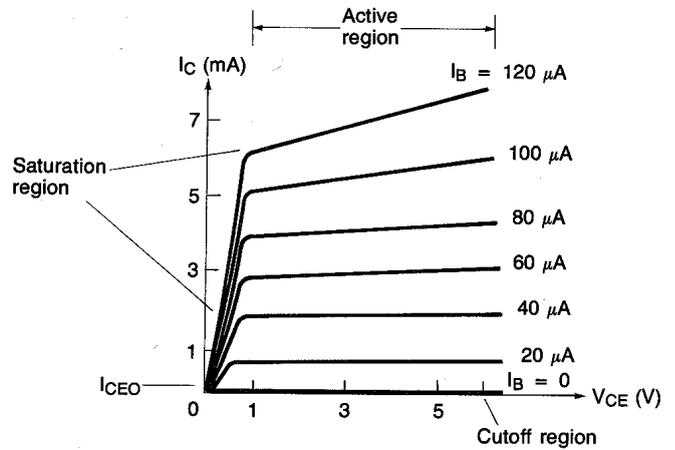
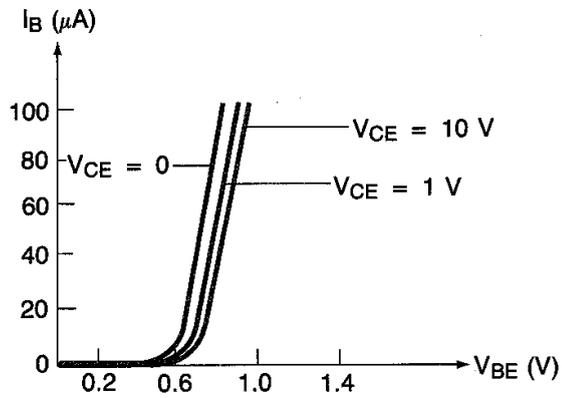
A.2.3. Curvas características

- dependen de la configuración

base común:

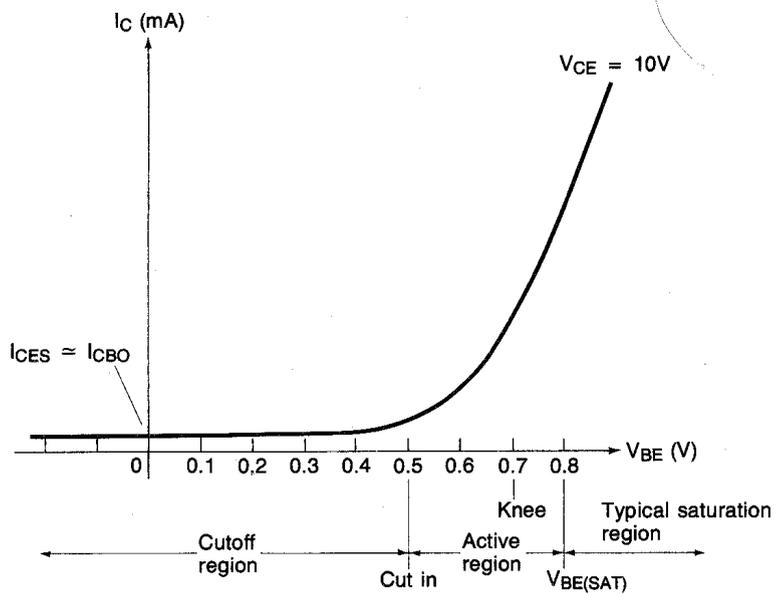


emisor común:



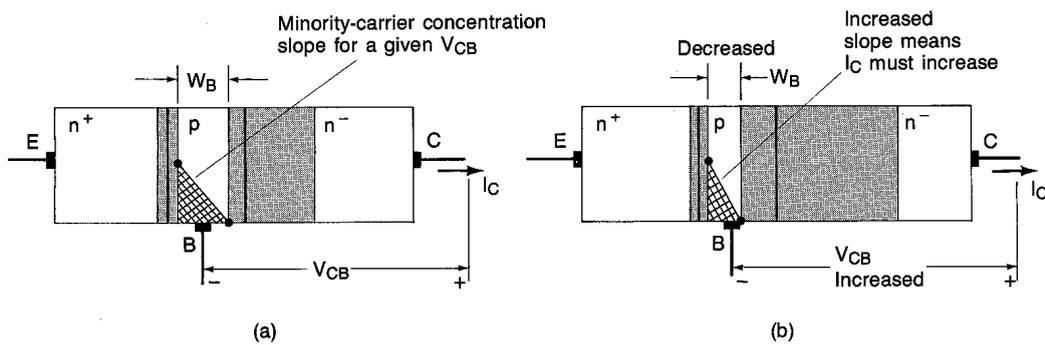
hay tres zonas de funcionamiento:

- corte
- activa
- saturación



Efecto EARLY: modulación de la anchura de la base

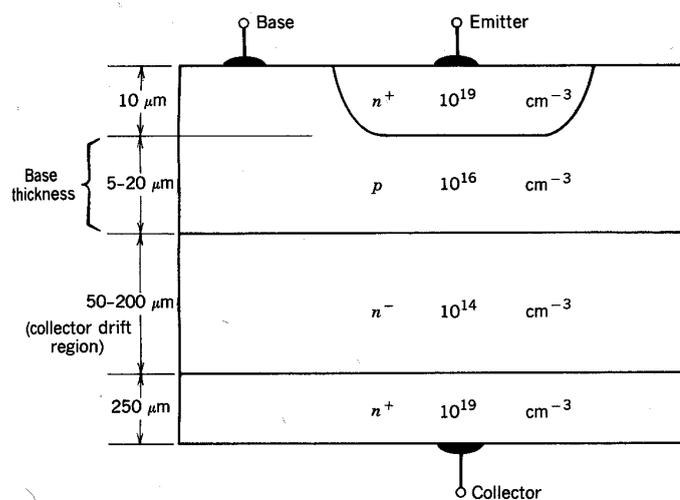
- I_C aumenta al incrementarse V_{CB} o V_{CE} .
- da como resultado un efecto de resistencia de salida



A.2.4. Tipos de transistores

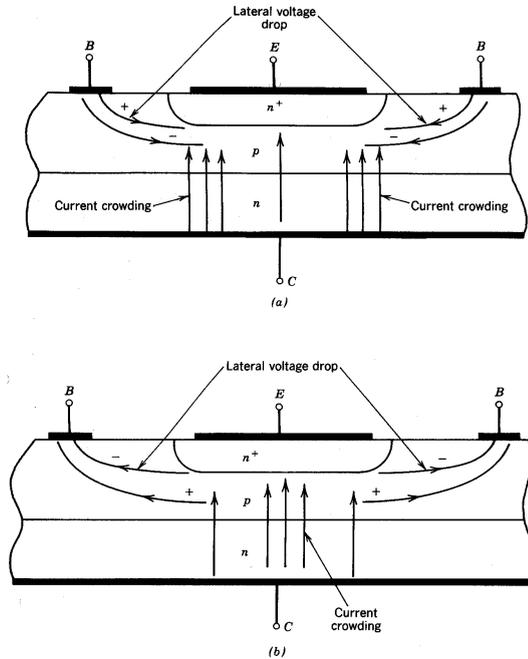
A.2.4.1. El transistor de estructura vertical

- desarrollado para aplicaciones de potencia



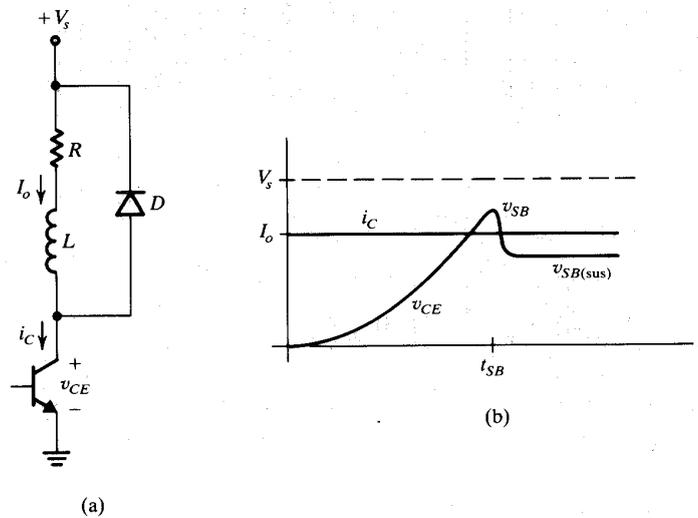
A.2.4.1.1. Fenómeno de concentración de corriente

- es debido a la caída de tensión horizontal por I_B



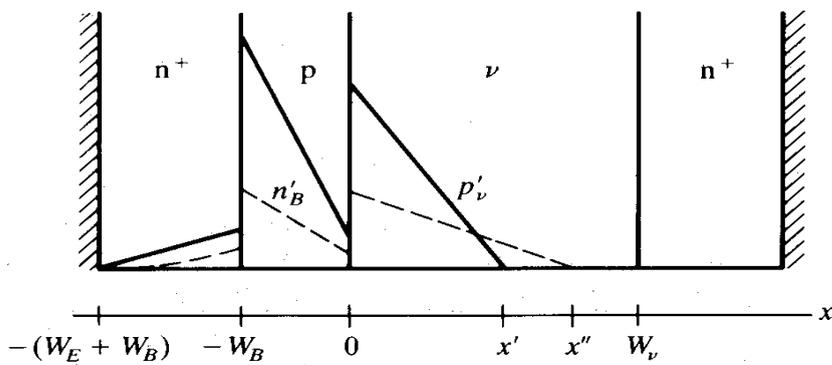
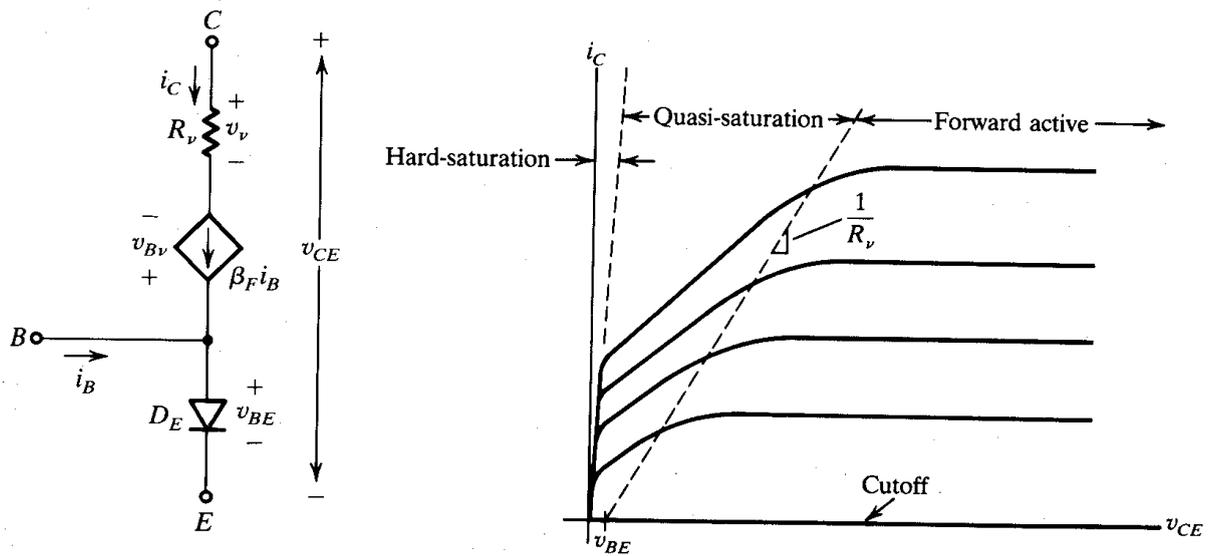
A.2.4.1.2. Fenómeno de segunda ruptura

- es a muy altas corrientes que provocan la ruptura por avalancha

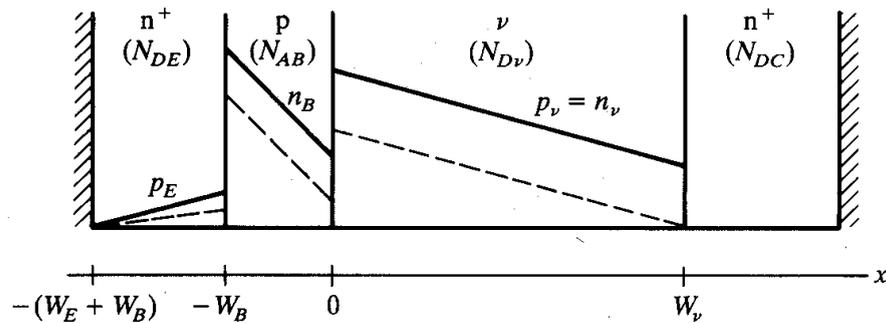


A.2.4.1.3. Fenómeno de cuasisaturación

- es debido a la capa adicional añadida en la estructura vertical y es un estado intermedio entre saturación y modo activo de operación.



cuasisaturación

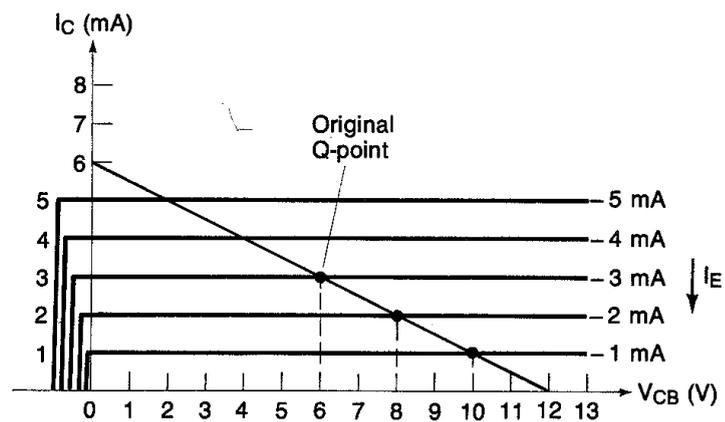
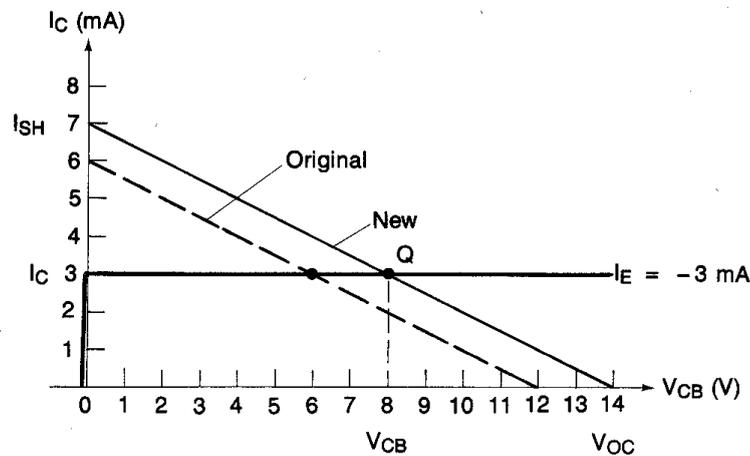


Saturación dura

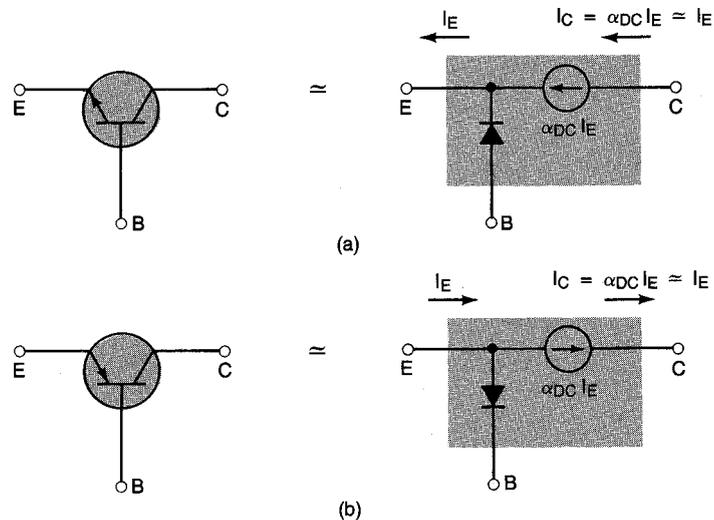
A.2.5. Análisis del funcionamiento en régimen estático

- el modelo más conocido es el de Ebers-Moll

Necesitamos los modelos para analizar los circuitos y evitar que se el punto Q pierda estabilidad



A.2.5.1. Modelo estático del transistor



El diseño sigue los siguientes pasos:

- Analizar el circuito para obtener la corriente de emisor I_E .
- Aplicar la transferencia de corriente aplicando la aproximación de corriente de base despreciable y por tanto $I_C = I_E$.
- Analizar el circuito para obtener la tensión de colector.

A.2.5.2. Circuitos de polarización del transistor

De ellos depende:

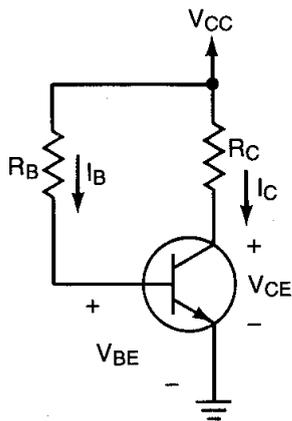
- La sensibilidad con la temperatura y las variaciones de los parámetros.
- La sensibilidad con las variaciones de la tensión de alimentación.

- Las tensiones de alimentación requeridas (bipolar, unipolar, etc)
- Las corrientes de alimentación requeridas.
- El número de componentes del circuito.
- La resistencia de entrada del circuito para la señal de entrada
- La pérdida de ganancia.

Sensibilidad, S , frente a un parámetro x :

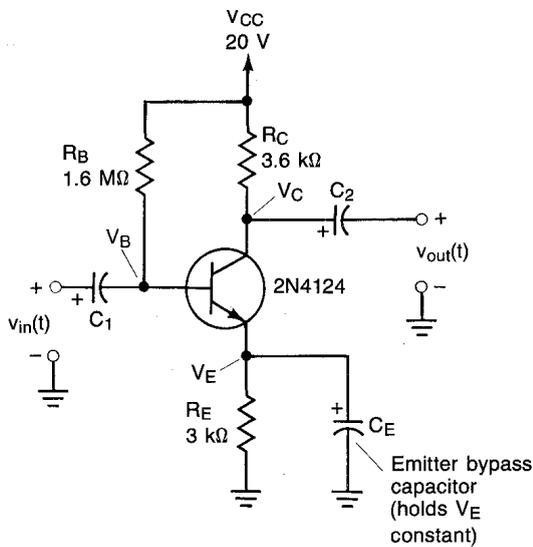
$$S_x = \frac{\partial I_C}{\partial x}$$

A.2.5.2.1. Polarización fija



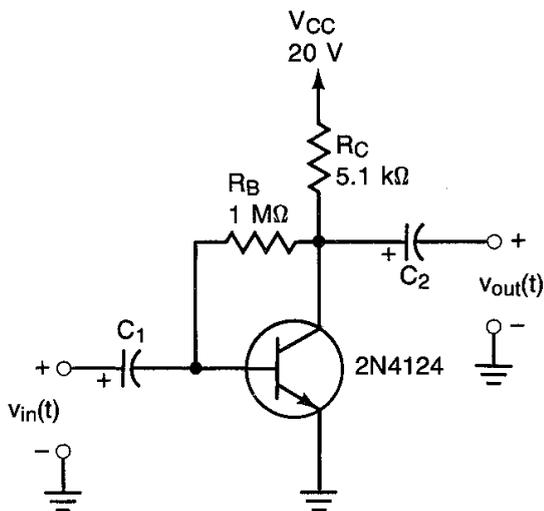
$$S_b = \frac{V_{CC} - v_{BE}}{R_B}$$

A.2.5.2.2. Polarización estabilizada en emisor



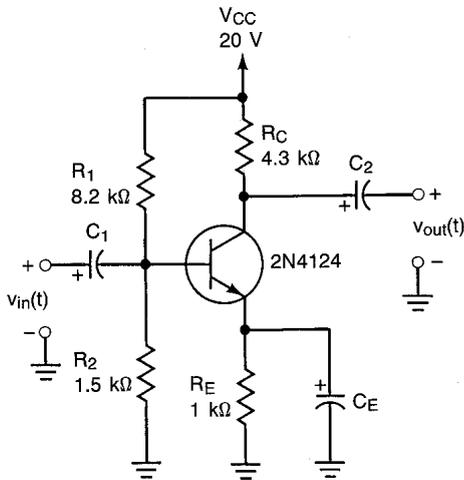
$$S_b = \frac{(V_{CC} - v_{BE})(R_B + R_E)}{(R_B + R_E(1 + \mathbf{b}))^2}$$

A.2.5.2.3. Polarización realimentando tensión de colector



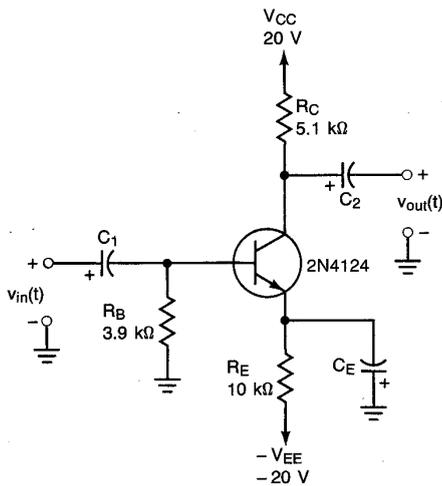
$$S_b = \frac{(V_{CC} - v_{BE})(R_B + R_C)}{(R_B + R_C(1 + \mathbf{b}))^2}$$

A.2.5.2.4. Polarización por divisor de tensión



$$S_b = \frac{(V_{TH} - v_{BE})(R_{TH} + R_E)}{(R_{TH} + R_E(1 + \beta))^2}$$

A.2.5.2.5. Polarización por emisor

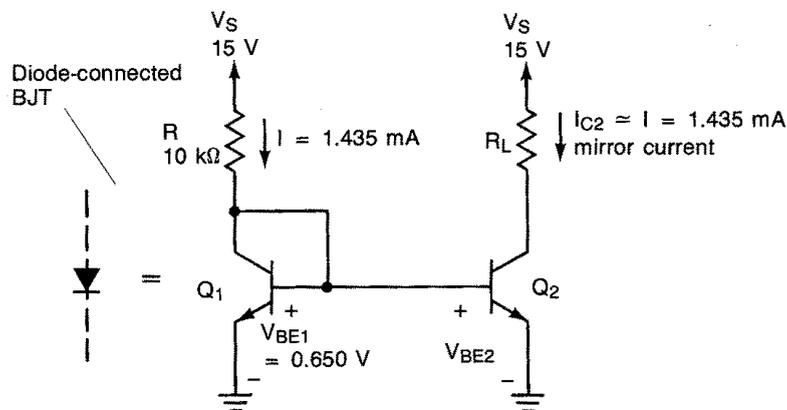


$$S_b = \frac{(V_{EE} - v_{BE})(R_B + R_E)}{(R_B + R_E(1 + \beta))^2}$$

Variaciones del punto Q para distintas polarizaciones si $\Delta\beta = (360 - 120) = 300\%$	ΔI_{CQ} [%]	S_β
Polarización fija	50,0	8,77 μ
Polarización estabilizada por emisor	37,0	8,03 μ
Polarización realimentando tensión de colector	26,0	7,42 μ
Polarización por divisor de tensión	0,63	0,36 μ
Polarización por emisor	0,26	0,18 μ

A.2.5.2.6. El espejo de corriente

- Q_1 actúa como diodo y establece una corriente a través suyo.
- Q_1 genera una caída de tensión V_{BE} en respuesta a esa corriente.
- Como las bases y los emisores de Q_1 y Q_2 están conectados, $V_{BE1} = V_{BE2}$.
- Se genera una corriente de colector por Q_2 según el valor de V_{BE} .
- Como ambos transistores son idénticos, las corrientes serán iguales.



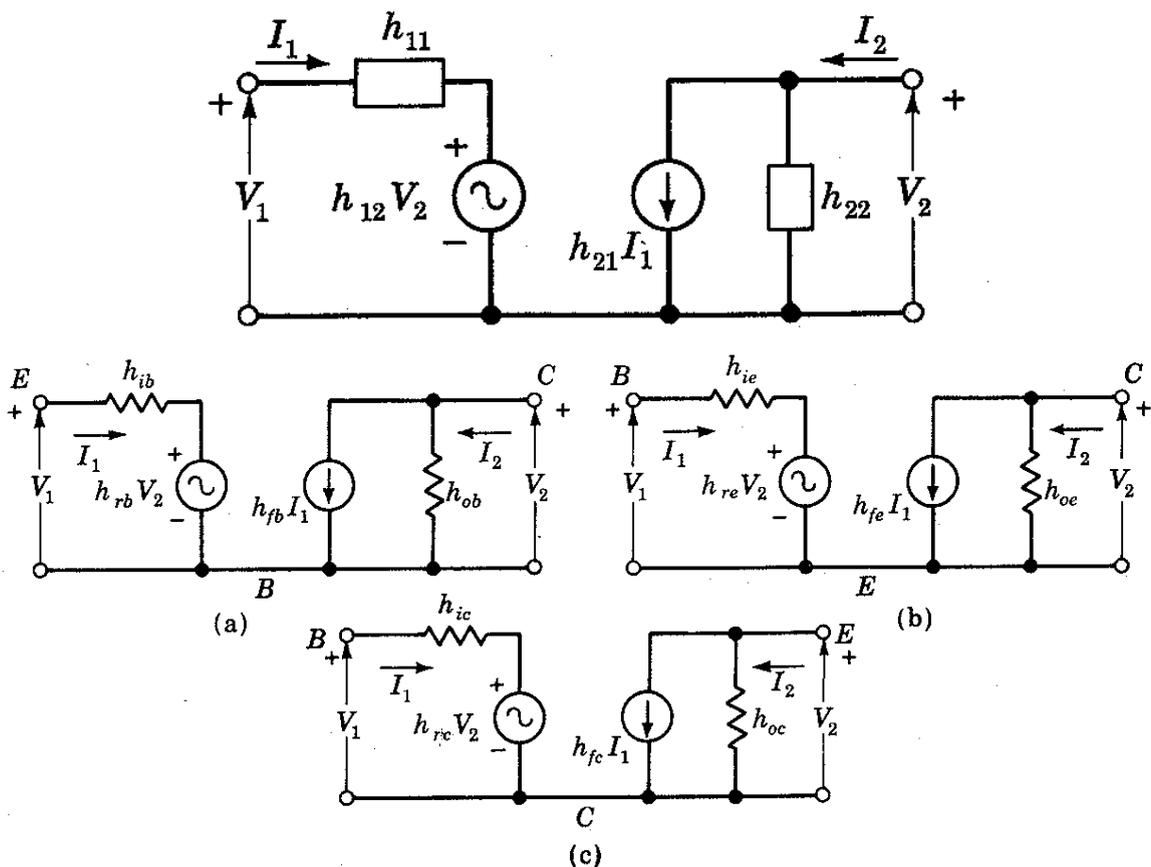
A.2.6. Análisis del funcionamiento en régimen dinámico

- hace referencia al transistor como amplificador

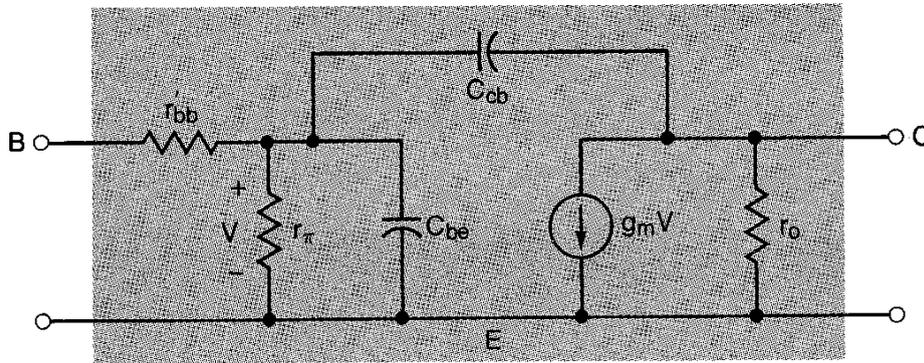
A.2.6.1. El transistor en régimen de pequeña señal

- se utilizan modelos para el estudio de circuitos con transistores
- linealizan el transistor alrededor de su punto Q de operación
- los parámetros del modelo tienen subíndices en minúsculas para indicar que son para régimen dinámico

A.2.6.1.1. El modelo de parámetros h



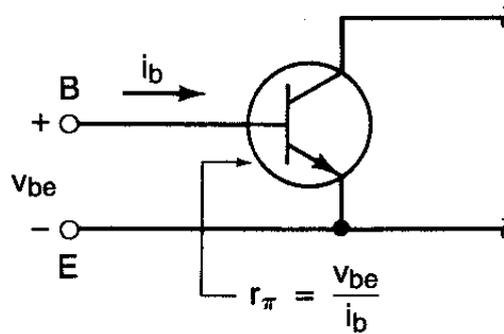
A.2.6.1.2. El modelo híbrido en π



$$g_m = \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}} \approx \frac{I_C}{V_T} \quad \text{con} \quad I_C \approx I_{CES} e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

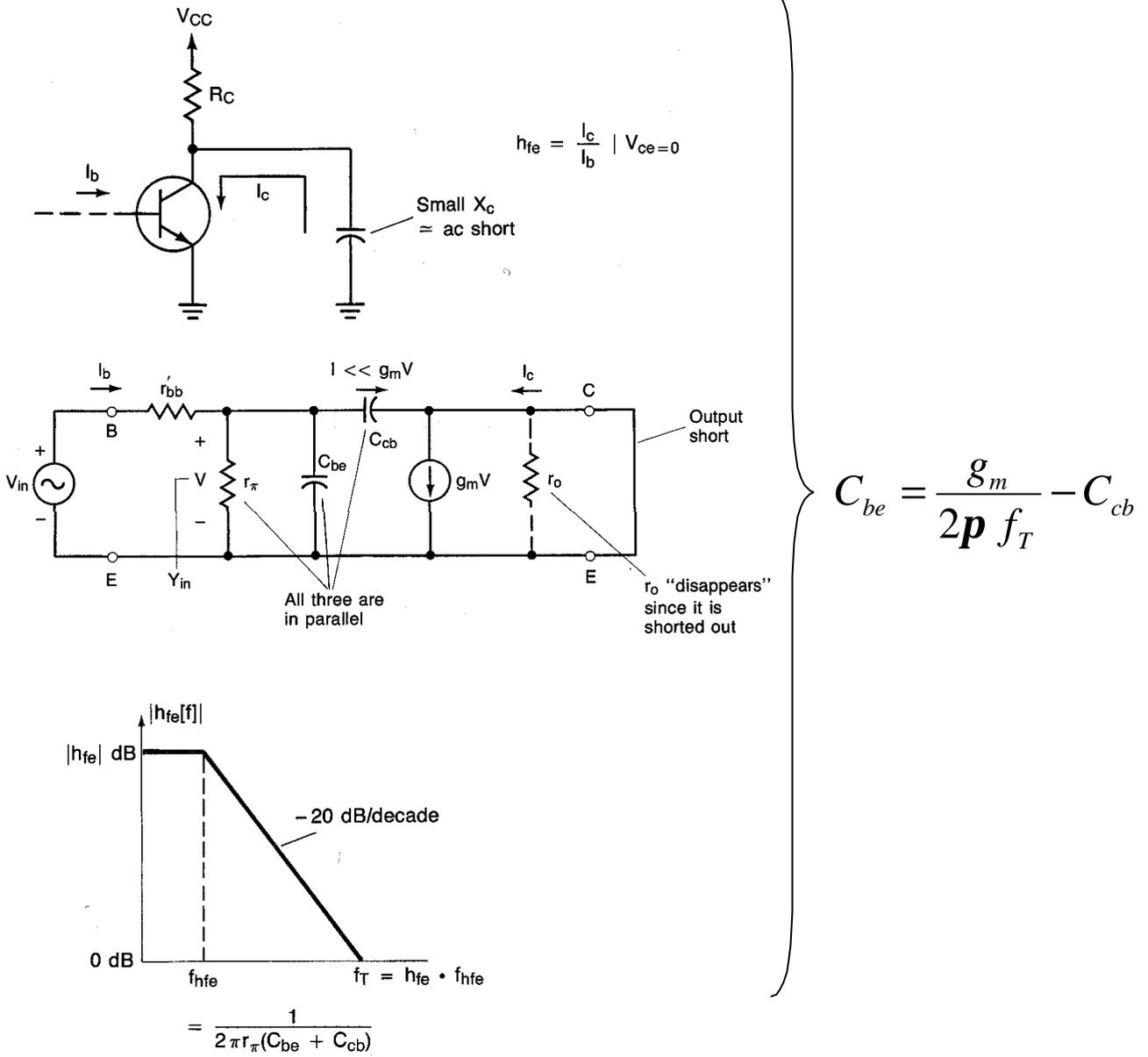
$$r_o \approx \frac{V_A}{I_C} \quad \text{con} \quad V_A = 200V$$

$$r_p \approx \frac{h_{fe}}{g_m} \quad \text{con}$$



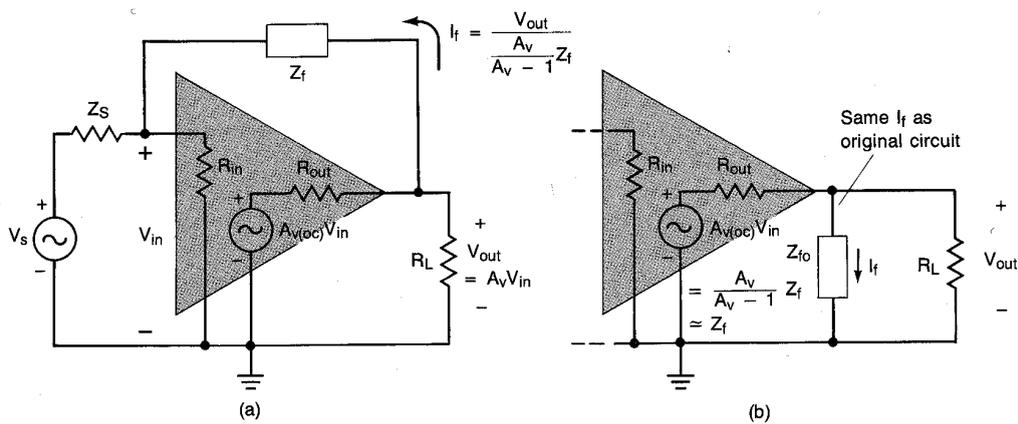
$$r_{b'b} = h_{ie} - r_p \quad \text{y} \quad C_{cb} = C_{ob}$$

Teniendo en cuenta que:

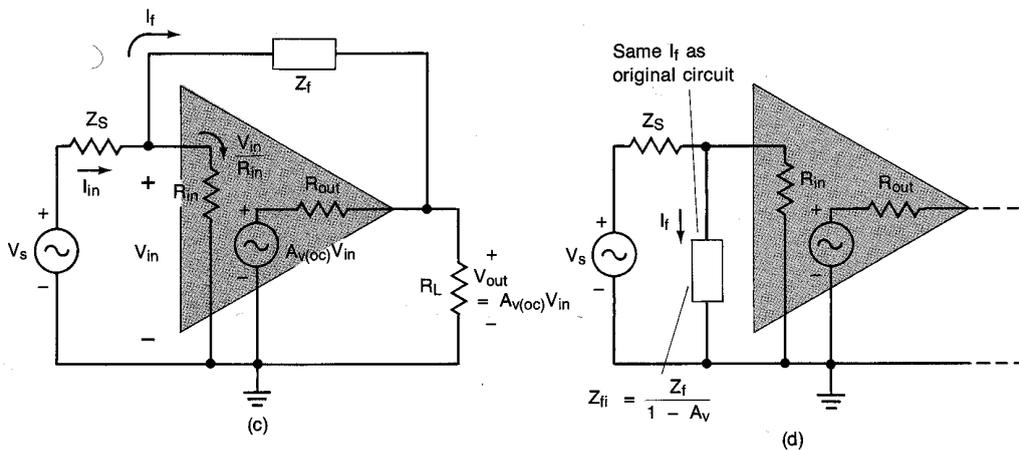


A.2.6.1.3. El teorema de Miller

- permite analizar la impedancia de entrada y salida debido a la realimentación



$$Z_{fo} = \frac{A_v}{A_v - 1} Z_f \approx Z_f$$



$$Z_{fi} = \frac{1}{1 - A_v} Z_f$$

A.2.6.2. El transistor en régimen de gran señal

- ya no permite suponer lineal el transistor

=> aparece distorsión

A.2.6.2.1. El transistor en régimen de conmutación

- caso especial de gran señal
 - muy utilizado en aplicaciones de potencia
- => transistor es un interruptor

