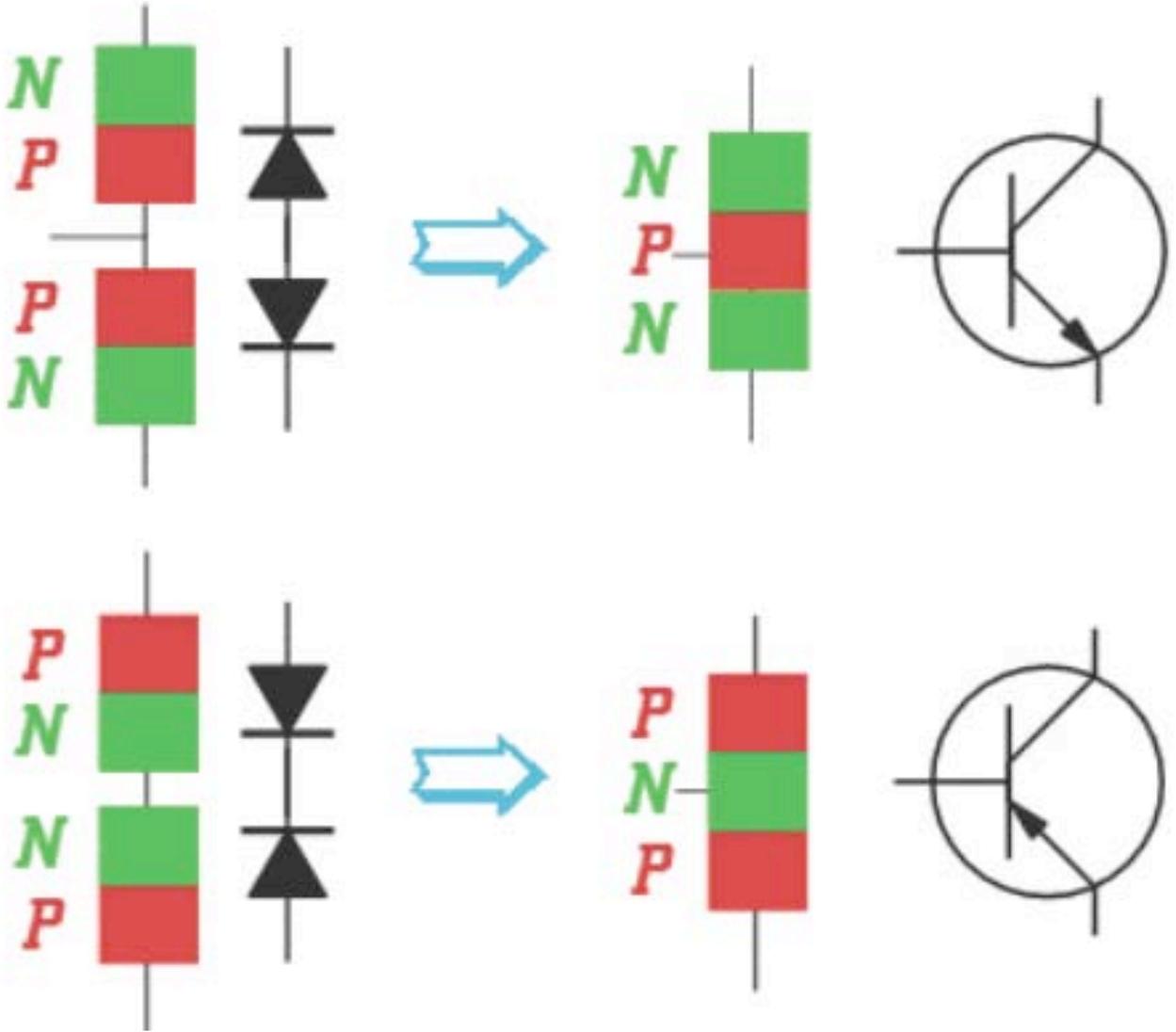
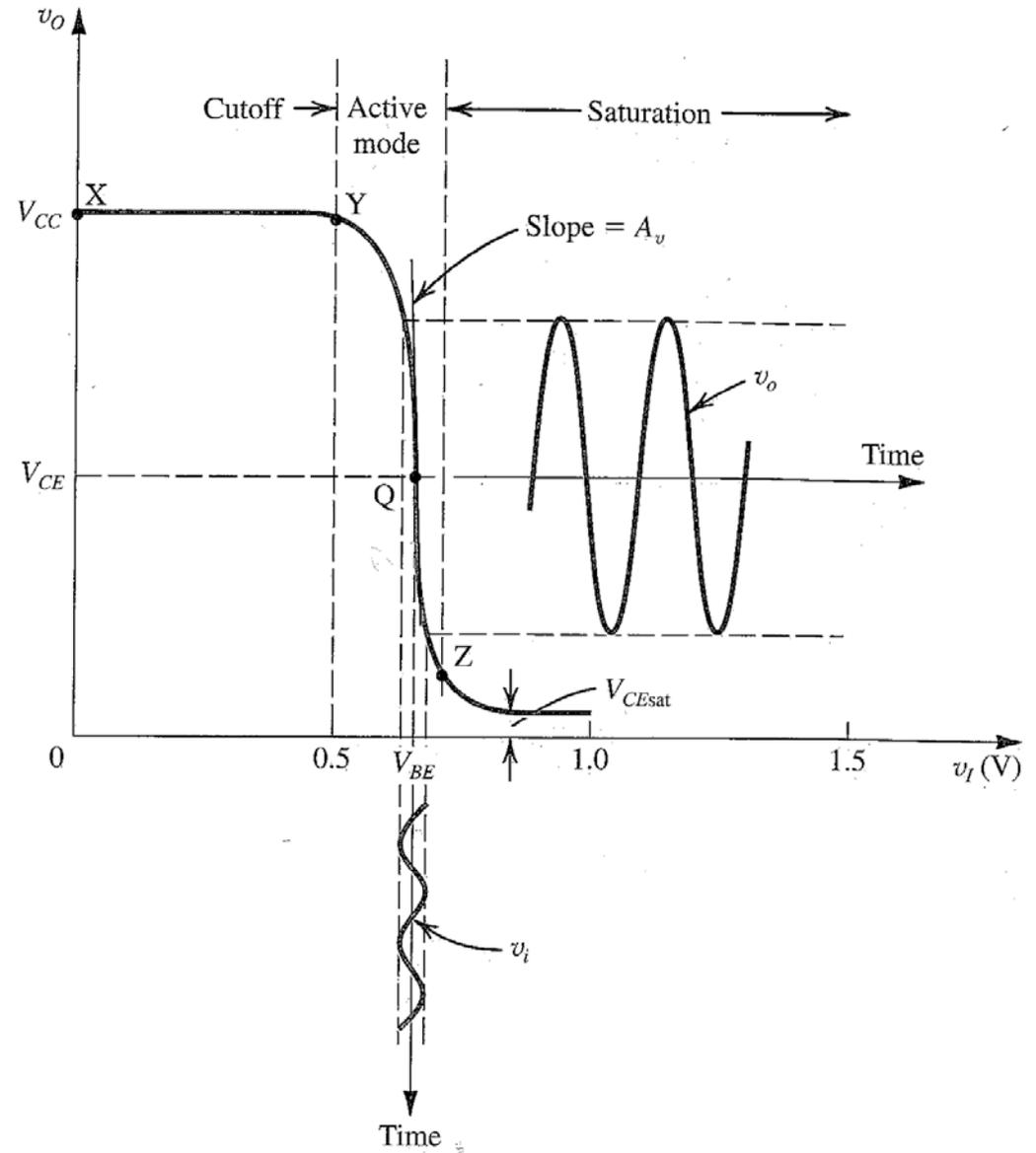
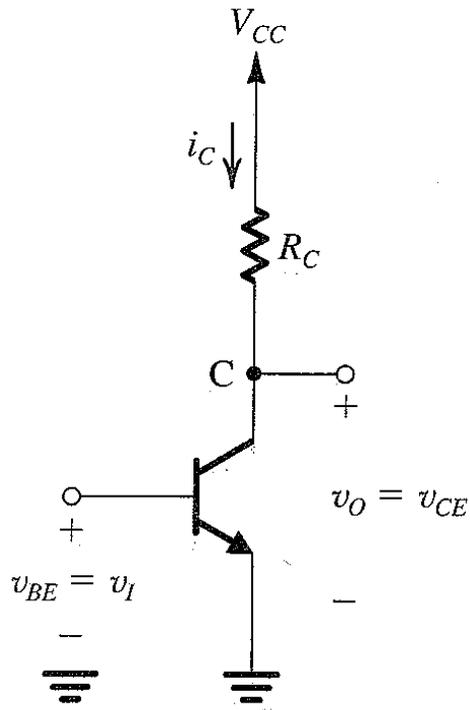


EL TRANSISTOR BIPOLAR



OPERACIÓN DE GRAN SEÑAL: LA CARACTERÍSTICA DE TRANSFERENCIA



El transistor de la gráfica tiene la característica de transferencia mostrada

Región de corte: Mientras de entrada V_{BE} no alcanza el valor necesario para que la juntura base-emisor comience a conducir.

Región activa: Zona en la que el transistor está en la zona activa y actúa como un amplificador. La pendiente pronunciada indica que el factor de amplificación es elevado.

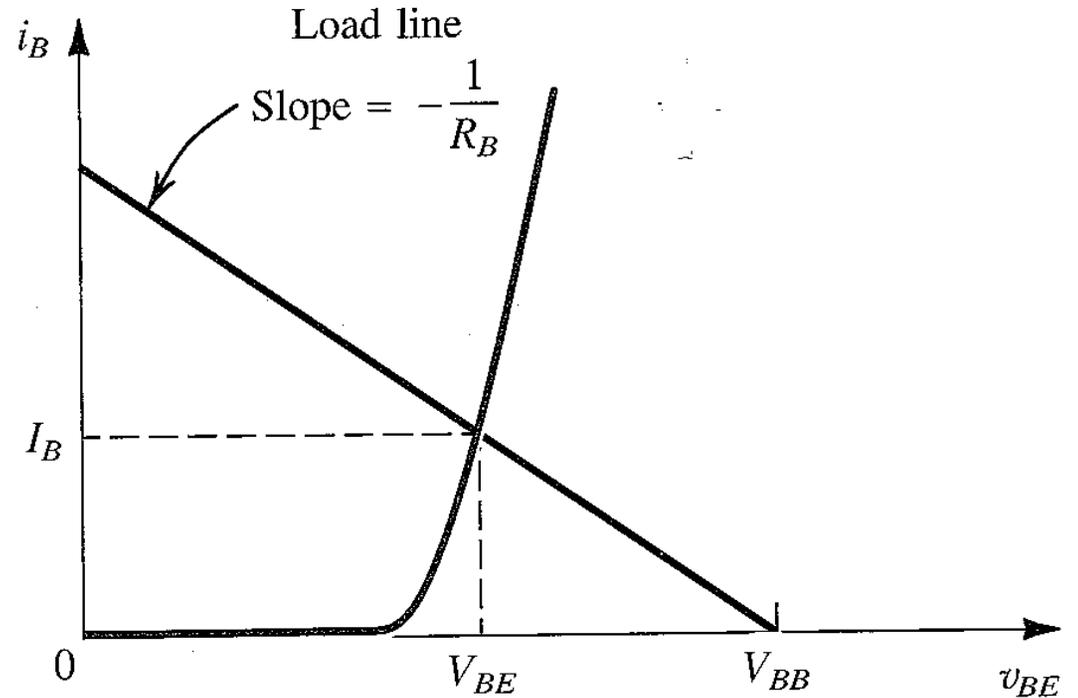
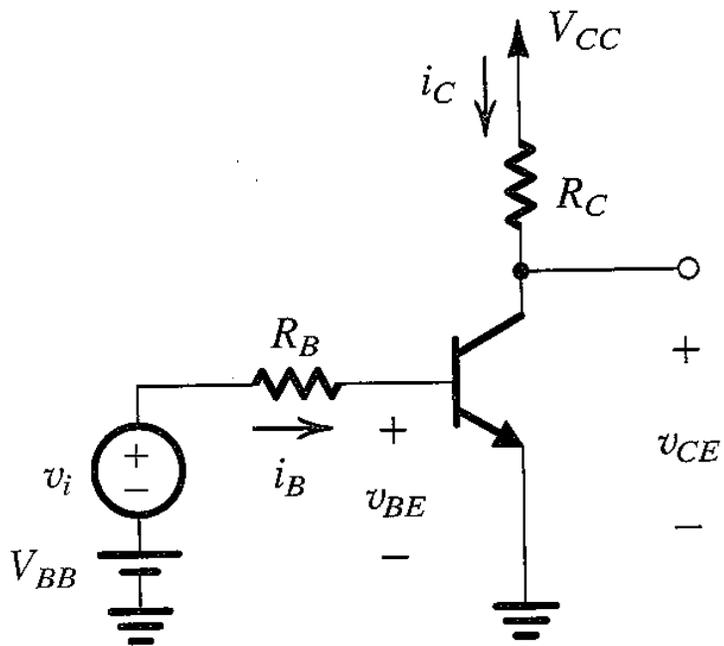
Región de saturación: EL transistor se satura y su voltaje de salida es V_{Esat} .

El transistor como conmutador (switch): Opera entre la región de corte y la de saturación, pasando por la región activa lo mas rápido podsible.

El transistor como amplificador lineal: Opera en la zona activa.

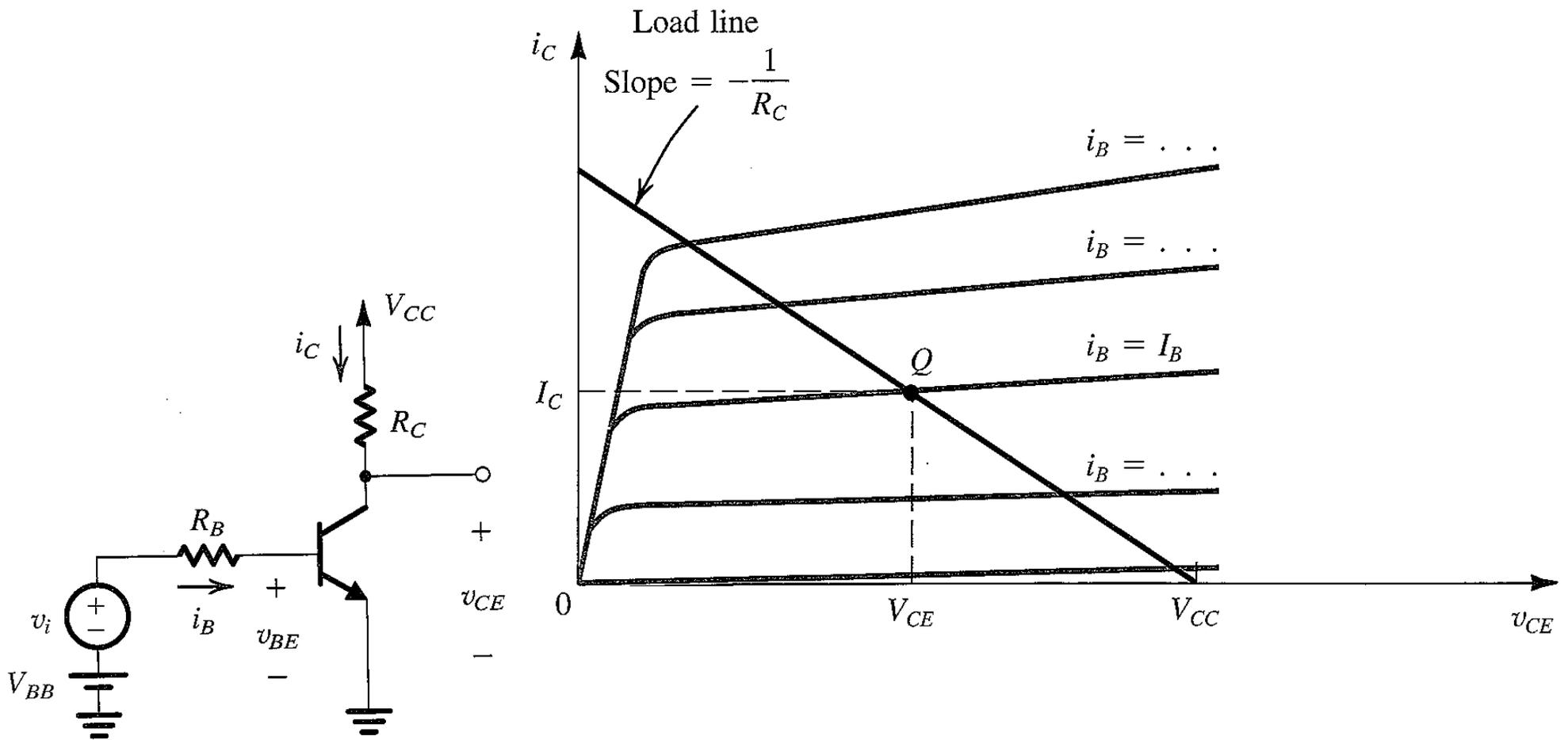
EL BJT COMO AMPLIFICADOR: ANÁLISIS GRÁFICO

Circuito de base

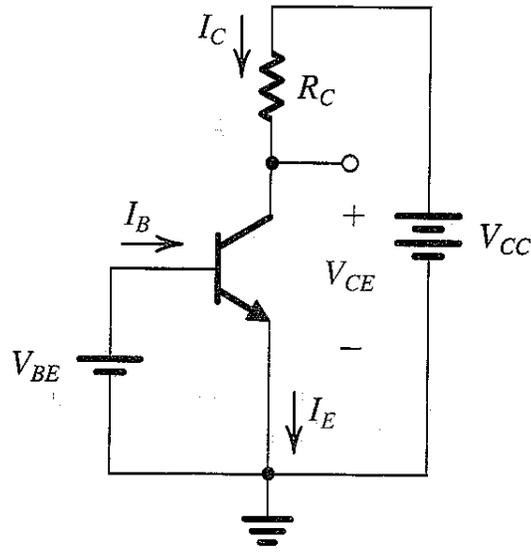
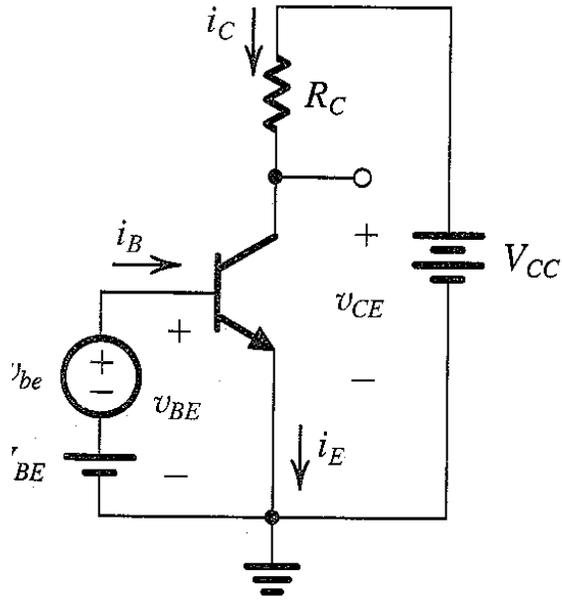


EL BJT COMO AMPLIFICADOR: ANÁLISIS GRÁFICO

Circuito de colector-emisor



EL TRANSISTOR COMO AMPLIFICADOR: TRANSCONDUCTANCIA g_m



$$I_C = I_S e^{V_{BE}/V_T}$$

$$I_E = I_C / \alpha$$

$$I_B = I_C / \beta$$

$$V_C = V_{CE} \approx V_{CC} - I_C R_C$$

$$v_{BE} = V_{BE} + v_{be}$$

$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T} = I_S e^{(V_{BE} + v_{be})/V_T}$$

$$= I_S e^{(V_{BE}/V_T)} e^{(v_{be}/V_T)}$$

$$i_C = I_C e^{v_{be}/V_T}$$

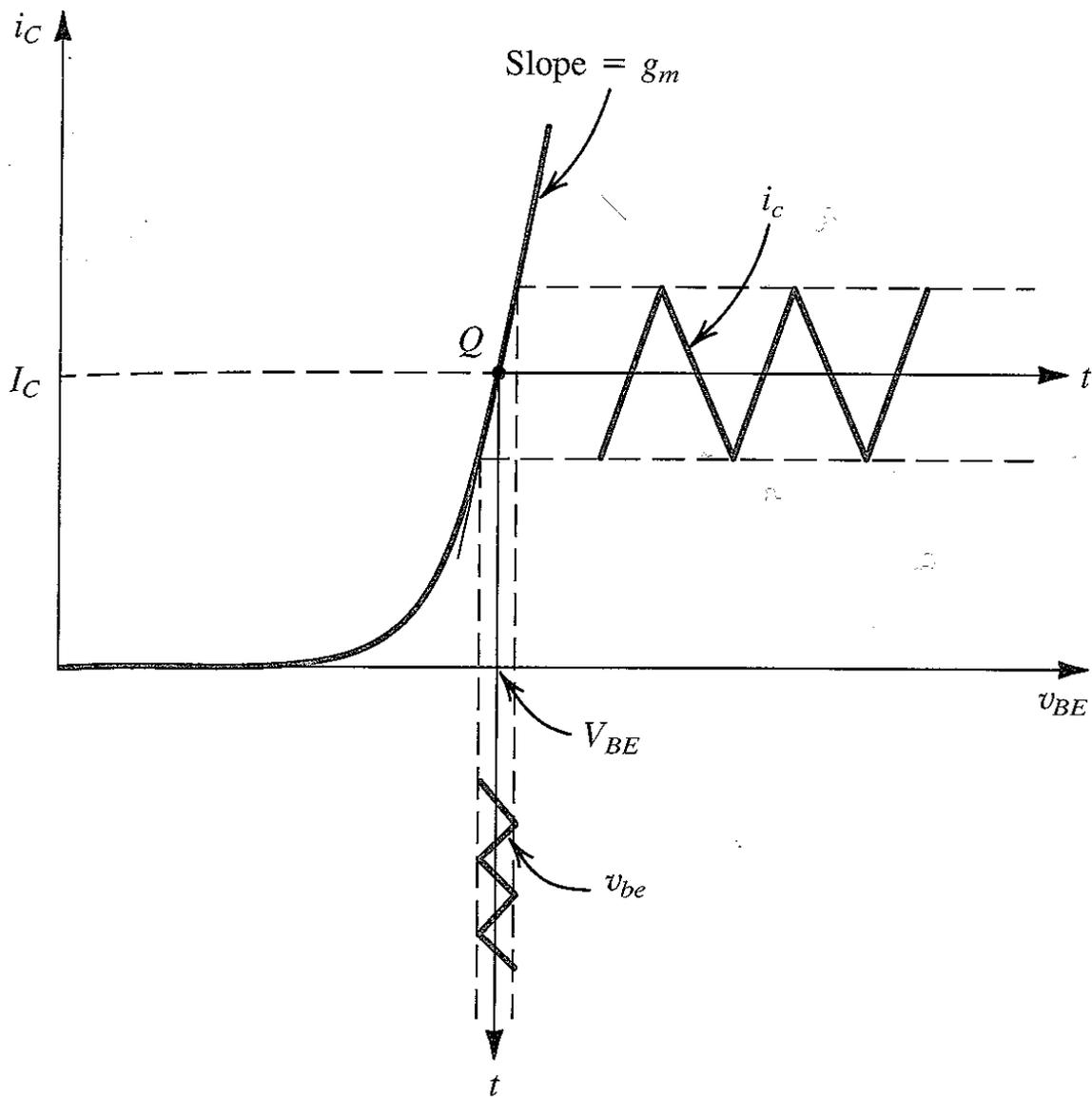
Serie de Taylor

$$i_C \approx I_C \left(1 + \frac{v_{be}}{V_T} \right)$$

$$i_c = \frac{I_C}{V_T} v_{be}$$

$$i_c = g_m v_{be}$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T}$$



$$g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

$$g_m = \left. \frac{\partial i_C}{\partial v_{BE}} \right|_{i_C = I_C}$$

CORRIENTE DE BASE Y RESISTENCIA DE ENTRADA POR LA BASE

$$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \frac{I_C}{\beta} + \frac{1}{\beta} \frac{I_C}{V_T} v_{be} \qquad i_B = I_B + i_b$$

$$i_b = \frac{1}{\beta} \frac{I_C}{V_T} v_{be} \quad \text{Sustituyendo } I_C / V_T \text{ por } g_m \qquad i_b = \frac{g_m}{\beta} v_{be}$$

La resistencia de entrada por la base en el modelo de pequeña señal se define

$$r_\pi \equiv \frac{v_{be}}{i_b}$$

Por lo tanto

$$r_\pi = \frac{V_T}{I_B}$$

CORRIENTE DE EMISOR Y RESISTENCIA DE ENTRADA POR EL EMISOR

$$i_E = \frac{i_C}{\alpha} = \frac{I_C}{\alpha} + \frac{i_c}{\alpha} \quad i_E = I_E + i_e \quad i_e = \frac{i_c}{\alpha} = \frac{I_C}{\alpha V_T} v_{be} = \frac{I_E}{V_T} v_{be}$$

La resistencia de entrada por el emisor en el modelo de pequeña señal se define

$$r_e \equiv \frac{v_{be}}{i_e} \quad r_e = \frac{V_T}{I_E}$$

Recordando que

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \quad r_e = \frac{\alpha}{g_m} \approx \frac{1}{g_m}$$

Para hallar la relación entre r_π y r_e

Por lo tanto:

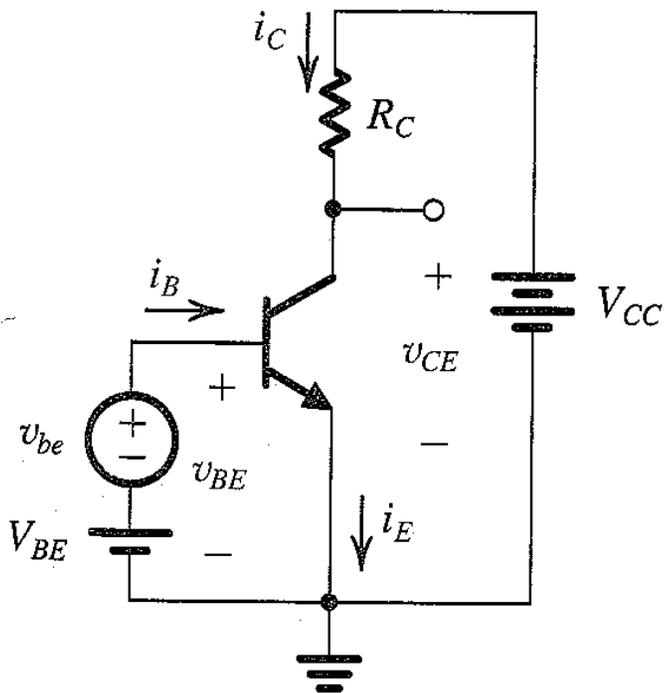
$$v_{be} = i_b r_\pi = i_e r_e$$

$$r_\pi = (i_e / i_b) r_e$$

$$r_\pi = (\beta + 1) r_e$$

GANANCIA DE VOLTAJE

Voltaje de salida



$$\begin{aligned}v_C &= V_{CC} - i_C R_C \\ &= V_{CC} - (I_C + i_c) R_C \\ &= (V_{CC} - I_C R_C) - i_c R_C \\ &= V_C - i_c R_C\end{aligned}$$

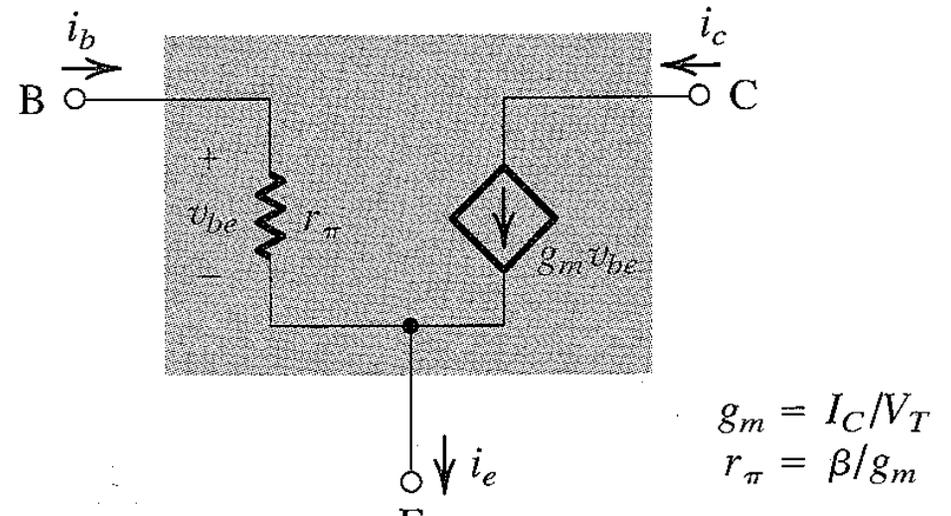
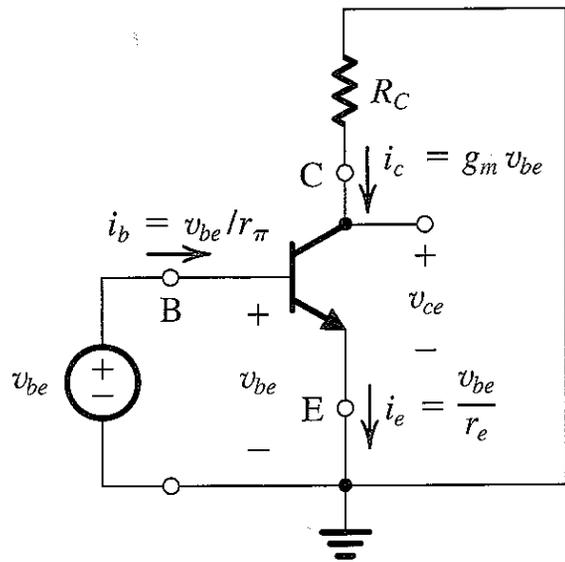
$$\begin{aligned}v_C &= -i_c R_C = -g_m v_{be} R_C \\ &= (-g_m R_C) v_{be}\end{aligned}$$

$$A_v \equiv \frac{v_C}{v_{be}} = -g_m R_C$$

$$A_v = -\frac{I_C R_C}{V_T}$$

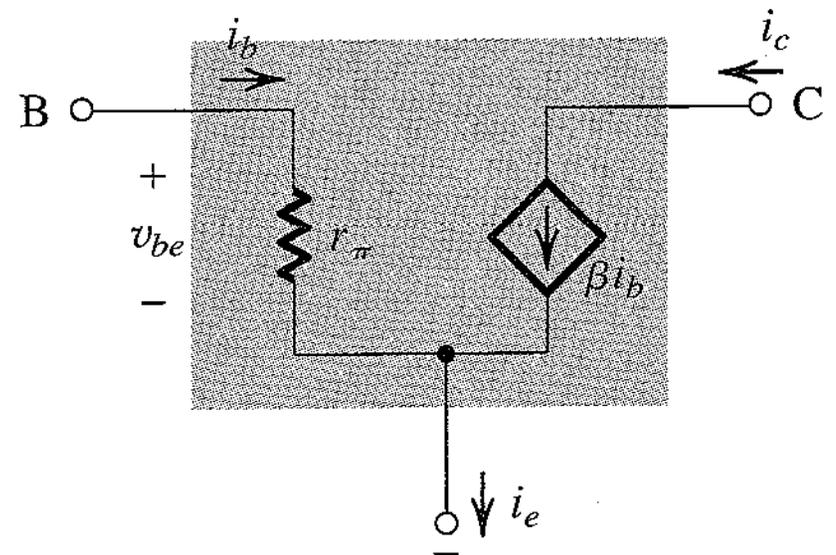
MODELOS DE PEQUEÑA SEÑAL: EL MODELO HÍBRIDO π BÁSICO

Se eliminan las fuentes DC



El modelo también aplica para transistores pnp sin cambio de polaridades

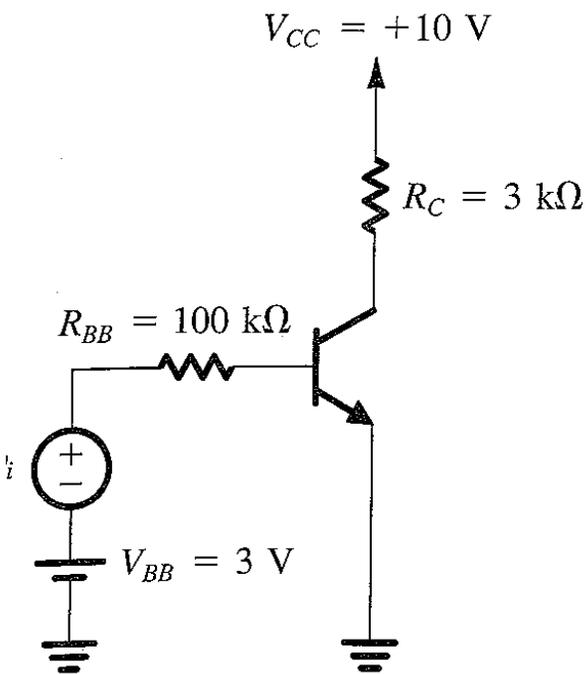
$$g_m v_{be} = g_m r_\pi i_b = \beta i_b$$



APLICACIÓN DE LOS MODELOS EQUIVALENTES DE PEQUEÑA SEÑAL

- 1.- Determinar el punto de operación del BJT considerando solo las fuentes DC.
- 2.- Calcular los valores de los parámetros de pequeña señal: g_m , r_π , r_e
- 3.- Eliminar las fuentes DC sustituyendo las fuentes de voltaje por un cortocircuito y las fuentes de corriente por un circuito abierto.
- 4.- Reemplazar el BJT por uno de sus modelos de pequeña señal.
- 5.- Resolver el circuito para obtener las variables deseadas. Por lo general, aparte de calcular voltajes y corrientes en puntos específicos, hay que determinar la ganancia de voltaje, la ganancia de corriente, la resistencia de entrada y la resistencia de salida del amplificador.

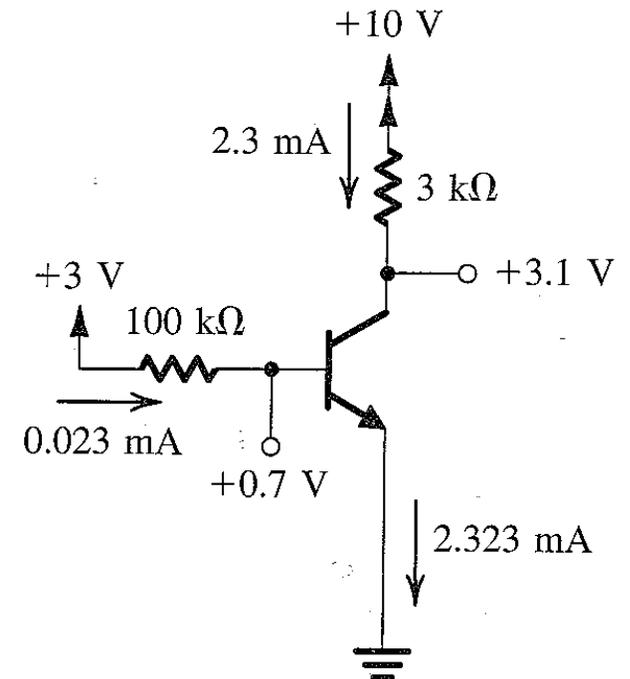
EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LOS MODELOS EQUIVALENTES DE PEQUEÑA SEÑAL 1ª PARTE: ANÁLISIS DC



$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB}} \simeq \frac{3 - 0.7}{100} = 0.023 \text{ mA}$$

$$I_C = \beta I_B = 100 \times 0.023 = 2.3 \text{ mA}$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = +10 - 2.3 \times 3 = +3.1 \text{ V}$$

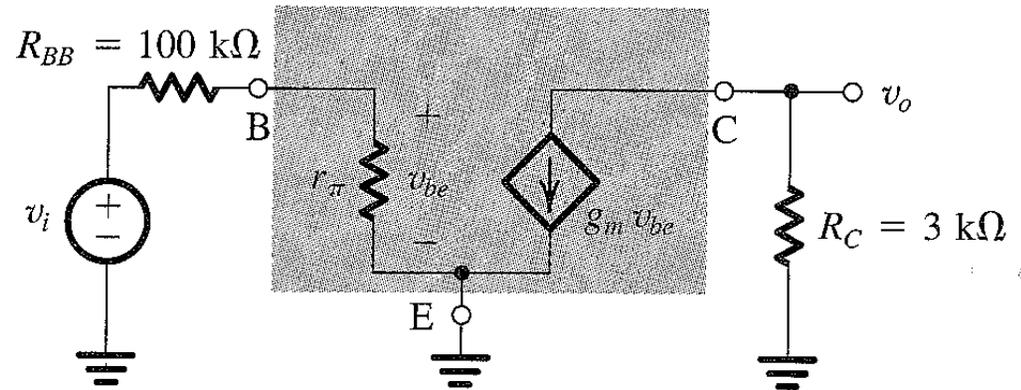


2ª PARTE: ANÁLISIS AC DE PEQUEÑA SEÑAL

$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{25 \text{ mV}}{(2.3/0.99) \text{ mA}} = 10.8 \Omega$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2.3 \text{ mA}}{25 \text{ mV}} = 92 \text{ mA/V}$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{92} = 1.09 \text{ k}\Omega$$



$$v_{be} = v_i \frac{r_\pi}{r_\pi + R_{BB}} = v_i \frac{1.09}{101.09} = 0.011 v_i$$

$$v_o = -g_m v_{be} R_C = -92 \times 0.011 v_i \times 3 = -3.04 v_i$$

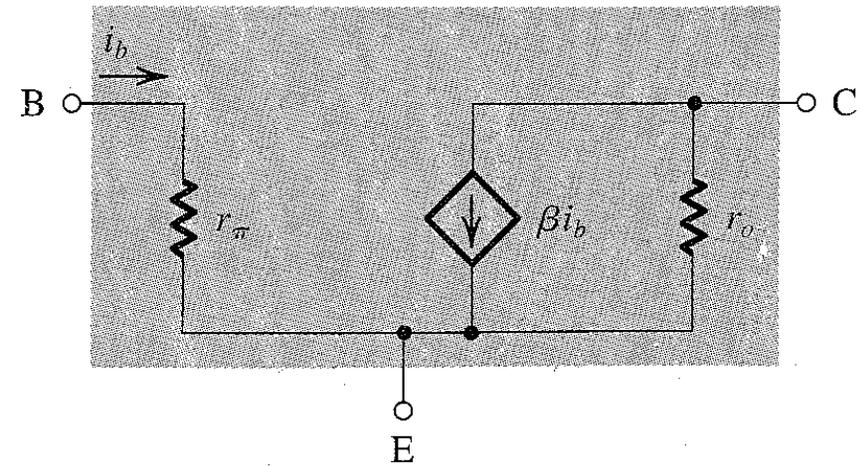
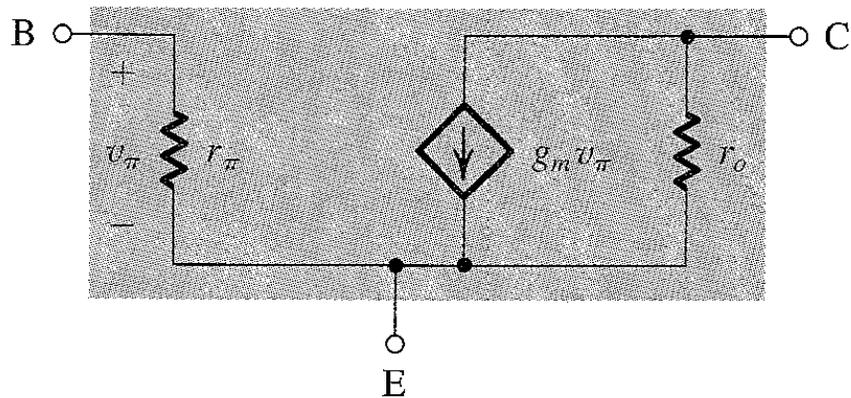
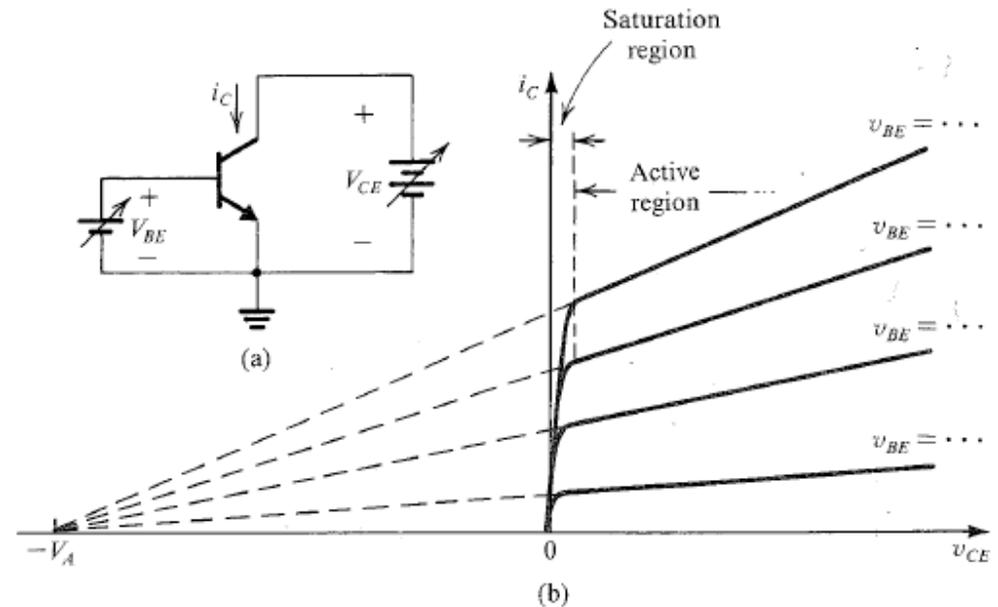
$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -3.04 \text{ V/V}$$

EL EFECTO EARLY EN LOS MODELOS DE PEQUEÑA SEÑAL

La corriente de colector I_C también depende de v_{CE}

La relación entre I_C y v_{CE} es una resistencia cuyo valor es $(V_A + V_{CE})/I_C \approx V_A/I_C$

Esta resistencia se coloca en los modelos entre C y E
También se aplica en los modelos T



EL MODELO HÍBRIDO π PARA ALTAS FRECUENCIAS

