

AMPLIFICADORES LINEALES DE POTENCIA PARA RF

Principios básicos

2

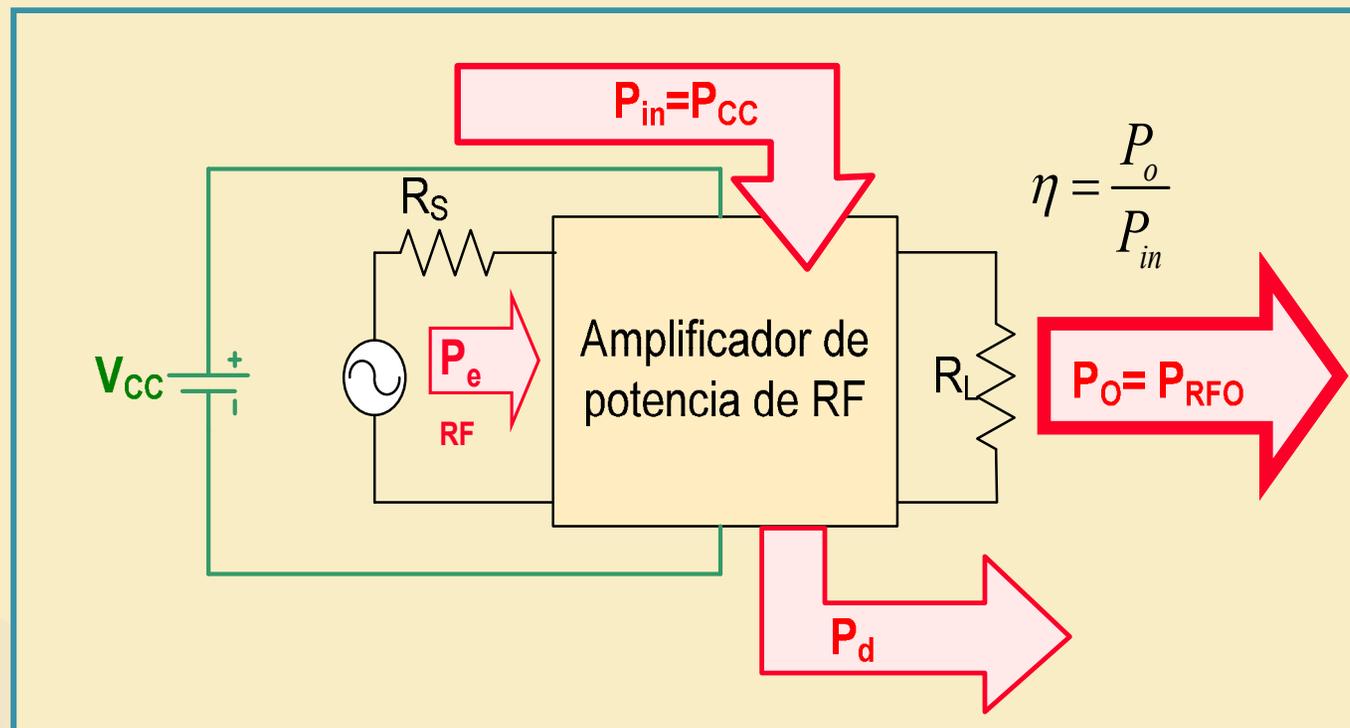
Amplificadores lineales: la forma de onda de la tensión de salida v_O es proporcional a la de entrada v_S .

Amplificadores no lineales: la forma de onda de la tensión de salida v_O no es proporcional a la de entrada v_O .

- **Se usan cuando es necesario un buen rendimiento y potencia y la señal de entrada es suficientemente grande.**
- **Se verán los clase A y B.**
- **Tienen ganancia de potencia apreciables**
- **Producen una réplica aceptable de la señal de entrada**
- **Su carga es un circuito sintonizado (resonante RLC)**
- **Se requiere supresión de armónicas no deseadas**
- **Se usan en la etapa de salida de los transmisores de AM, BLU y otros que requieren de amplificación lineal de amplitud y fase.**
- **La potencia de salida se mide sobre una carga de 50Ω (antena)**

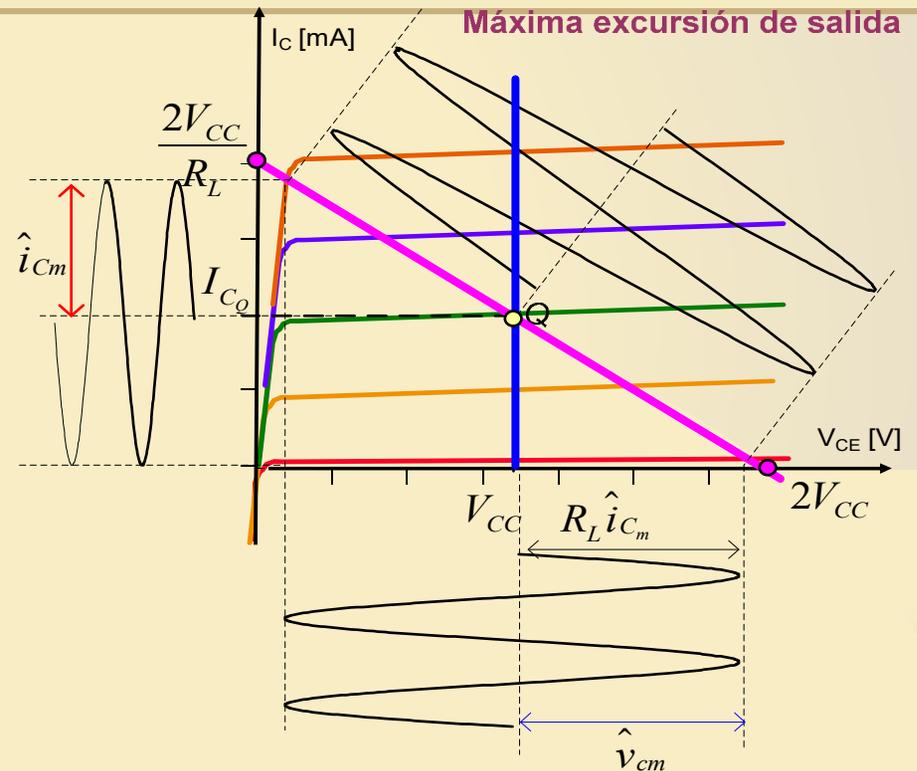
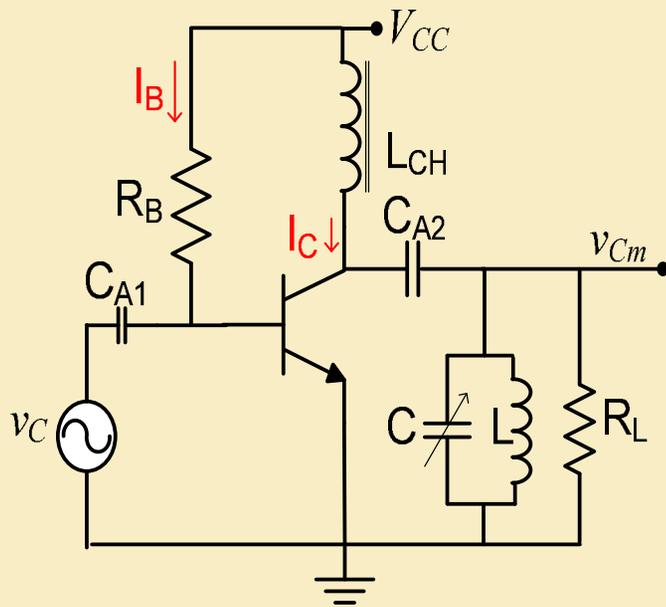
Características fundamentales de los AP RF :

- La señal de excitación es grande
- Trabaja a frecuencias elevadas
- Debe proporcionar potencias de salida elevadas ($\sim 30\text{dBm}$)
- Es muy importante maximizar rendimiento
- Se busca tamaño y costo mínimos



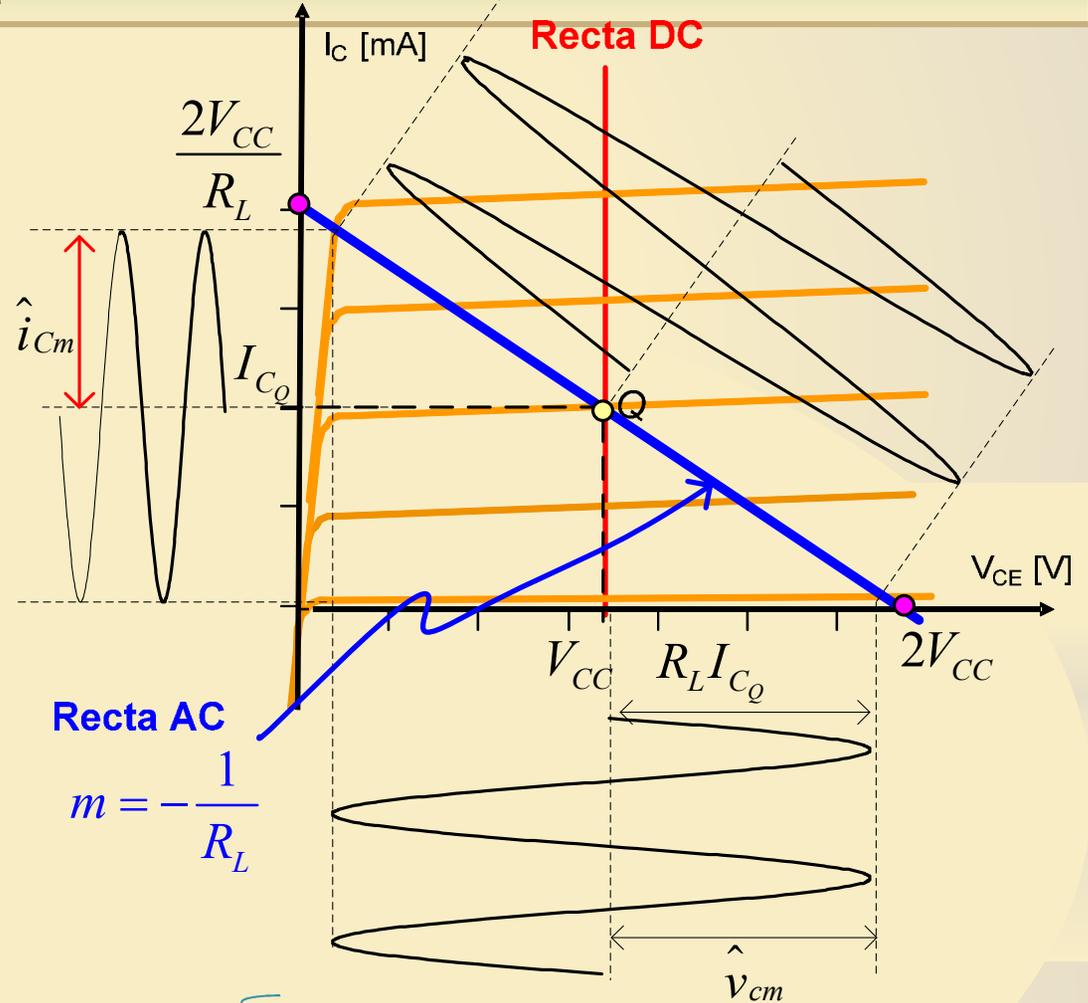
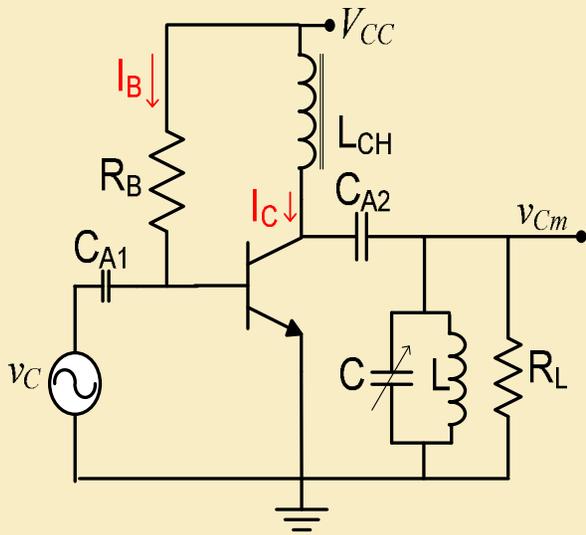
Amplificador Clase A

4



- Toda la componente de alterna de i_C circula por la carga.
- En la bobina, no se disipa potencia.
- La bobina L_{CH} debe presentar una impedancia mucho mayor que R_L a la frecuencia de trabajo.
- El capacitor C_{A2} impide que el colector esté a masa para la componente de continua.

Amplificador Clase A



$$i_c(t) = I_{CQ} - \hat{i}_{Cm} \text{sen} \omega t$$

$$v_C(t) = V_{cc} + \hat{v}_{Cm} \text{sen} \omega t$$

$$v_o(t) = R_L \cdot \hat{i}_{Cm} \text{sen} \omega t$$

Condiciones máximas:

$$V_{Cm \text{ max}} = \hat{i}_{Cm \text{ max}} \cdot R_L \leq V_{CC}$$

$$\hat{i}_{Cm \text{ max}} = \frac{\hat{v}_{cm}}{R_L} = \frac{V_{CC}}{R_L} \leq I_{CQ}$$

Volver a ejemplo

Amplificador Clase A

6

POTENCIA DE ENTRADA:

$$I_{DC} = \frac{V_{CC}}{R_L}$$

$$P_{in} = P_{CC} = V_{CC} \cdot I_{DC} = \frac{V_{CC}^2}{R_L}$$

POTENCIA DE SALIDA:

$$P_O = \frac{\hat{v}_{Cm}^2}{2R_L}$$

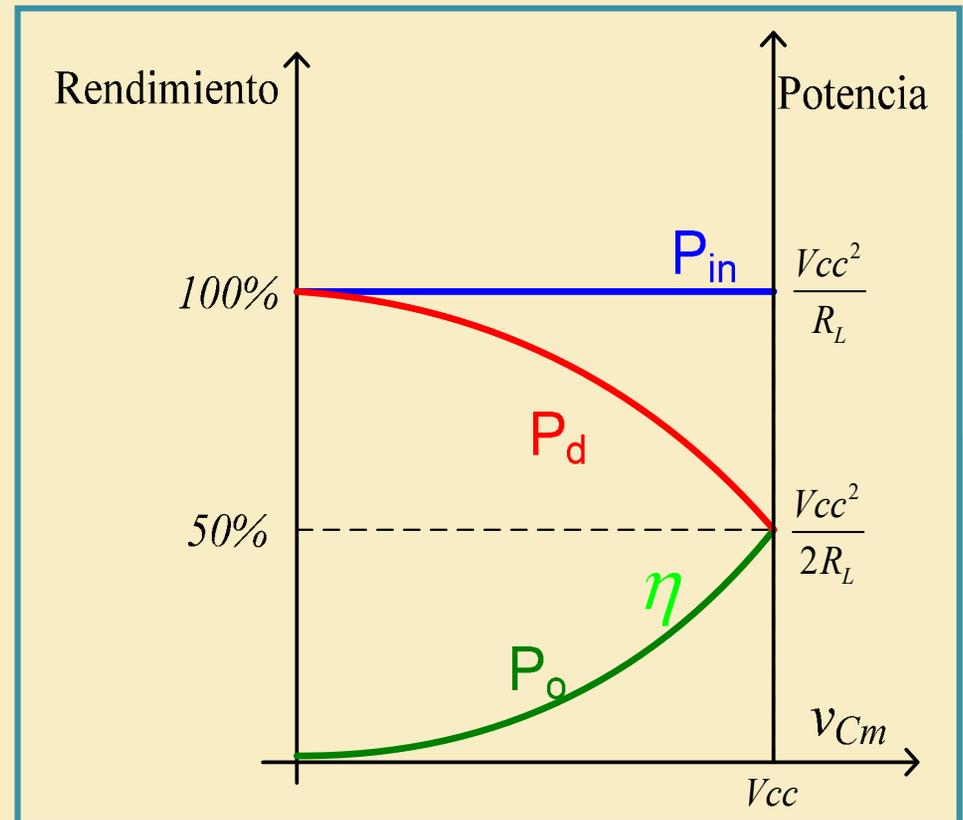
$$P_{O\text{máx}} = \frac{V_{CC}^2}{2R_L}$$

POTENCIA DISIPADA:

$$P_{dis} = \frac{V_{CC}^2}{R_L} - \frac{\hat{v}_{Cm}^2}{2R_L}$$

$$P_{dis\text{máx}} = \frac{V_{CC}^2}{R_L}$$

$$P_{dis\text{máx}} = P_{in}$$



Amplificador Clase A

7

RENDIMIENTO:

$$\eta = \frac{P_o}{P_{in}} = \frac{1}{2} \frac{\hat{v}_{Cm}^2}{V_{CC}^2} \rightarrow \eta_{m\acute{a}x} \leq \frac{1}{2} = 50\%$$

ESPECIFICACIONES DEL TRANSISTOR Q1:

$$V_{CE \text{ M\acute{a}x}} = 2V_{CC}$$

$$I_{C \text{ M\acute{a}x}} = 2V_{CC}/R_L$$

$$P_{d \text{ M\acute{a}x}} = P_{in} = V_{CC}^2 / R_L$$

DISEÑO BOBINA DE CHOQUE L_{CH} :

$$X_{L_{CH}} \gg R_L$$

$$X_{L_{CH}} = 100R_L$$

DISEÑO CIRCUITO TANQUE:

$$\omega_0^2 . L . C = 1$$
$$Q = \frac{f_0}{AB} = \frac{\omega_0 L}{R_L}$$

Generalmente se adopta el AB y luego se calcula L y C

DISEÑO CAPACITOR DE SALIDA:

$$X_{C_A} \ll R_L$$

Se adopto $X_{C_{A2}} = \frac{R_L}{100}$

DISEÑO CAPACITOR DE ENTRADA:

$$X_{C_A} \ll Z_{in} = h_{ie}$$

Se adopta $X_{C_{A2}} = \frac{Z_{in}}{100}$

Uso de los Amplificadores clase A

- * Los amplificadores de potencia de RF en clase A se usan mas comúnmente como amplificadores de excitación en bajo nivel . En estas aplicaciones la potencia consumida por el amplificador clase A es una porción relativamente pequeña de la potencia total del transmisor.
- * Los amplificadores de potencia clase A se utilizan para amplificar señales de frecuencias de microondas, donde resulta difícil emplear otras clases de amplificación.

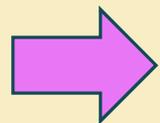
Amplificador Clase A acoplada con transformador¹⁰

Problema: Diseñe un amplificador clase A sintonizado con una potencia de salida de 2W sobre una carga de 50Ω a 15 MHz. Para ello dispone de una fuente de 12V.

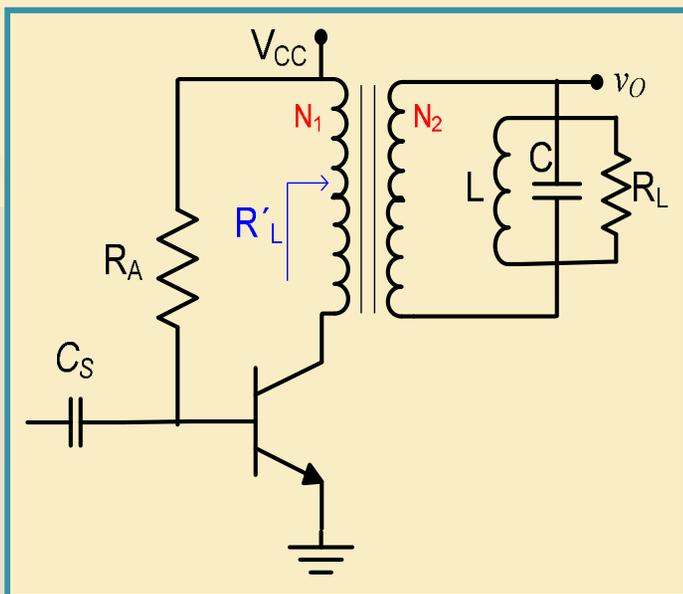
$$P_o = \frac{\hat{v}_{cm}^2}{2.R_L} \Rightarrow \hat{v}_{cm} = \sqrt{2.R_L.P_o} = 14,14[V]$$

$$\Rightarrow \hat{v}_{cm} > V_{cc}$$

No cumple con las condiciones de máximos!!!!!!



Se debe adaptar impedancia: Red adaptadora de impedancias o acoplar la carga con transformador



$$P_{O\max} = \frac{V_{cc}^2}{2R'_L} = 2W \Rightarrow R'_L = 36\Omega$$

$$\frac{R_L}{R'_L} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \Rightarrow \frac{N_2}{N_1} \approx \frac{7}{6}$$

Como el secundario está sintonizado, sobre el primario solo se refleja la parte resistiva

Amplificador Clase A acoplada con transformador¹¹

Especificaciones de la fuente:

Como se requiere potencia de salida de 2 W, y es un clase A acoplado a transformador:

$$\eta_{\text{máx}} = \frac{P_o}{P_{in}} = 50\% \Rightarrow P_{in} = 2P_o = 4W$$

$$P_{in} = P_{CC} = V_{CC} \cdot I_{DC} = 4W \Rightarrow I_{DC} = \frac{P_{in}}{V_{CC}} = 0,34A$$

ESPECIFICACIONES DEL TRANSISTOR Q1:

$$V_{CE \text{ Máx}} = 2V_{CC} = 24V$$

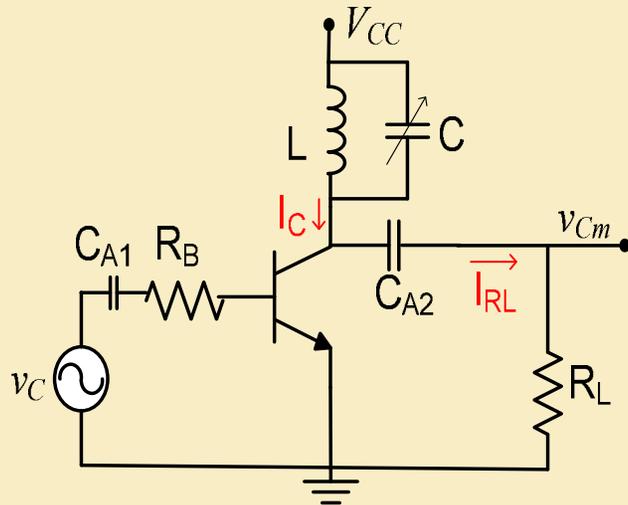
$$I_C \text{ Máx} = 2V_{CC}/R'_L = 1,33A$$

$$P_d \text{ Máx} = P_{in} = V_{CC}^2 / R_L = 4W$$

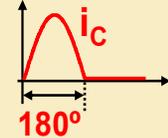
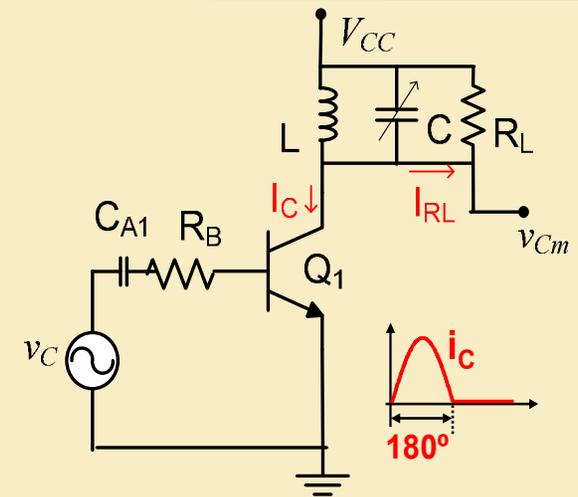
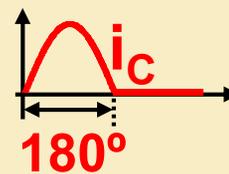
DISEÑO CIRCUITO TANQUE:

$$\omega_0^2 \cdot L \cdot C = 1 \wedge Q = \frac{f_0}{AB} = \frac{\omega_0 L}{R_L}$$

Amplificador Clase B con un único transistor



Equivalente

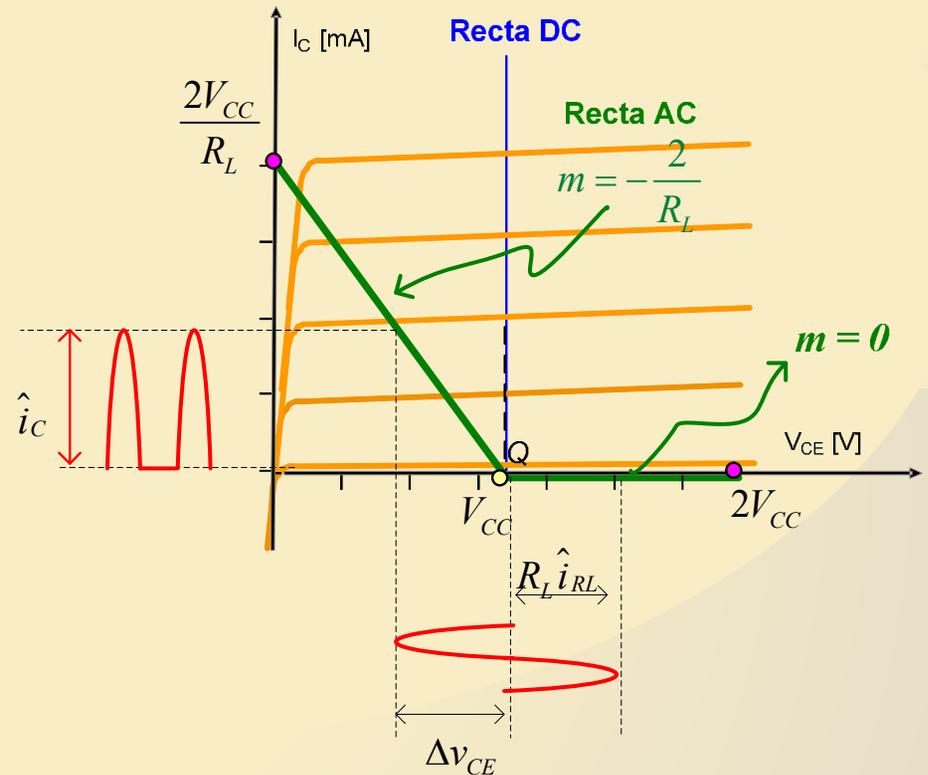


- Toda la componente de alterna de i_C circula por la carga.
- L y C resuenan a la frecuencia de trabajo.

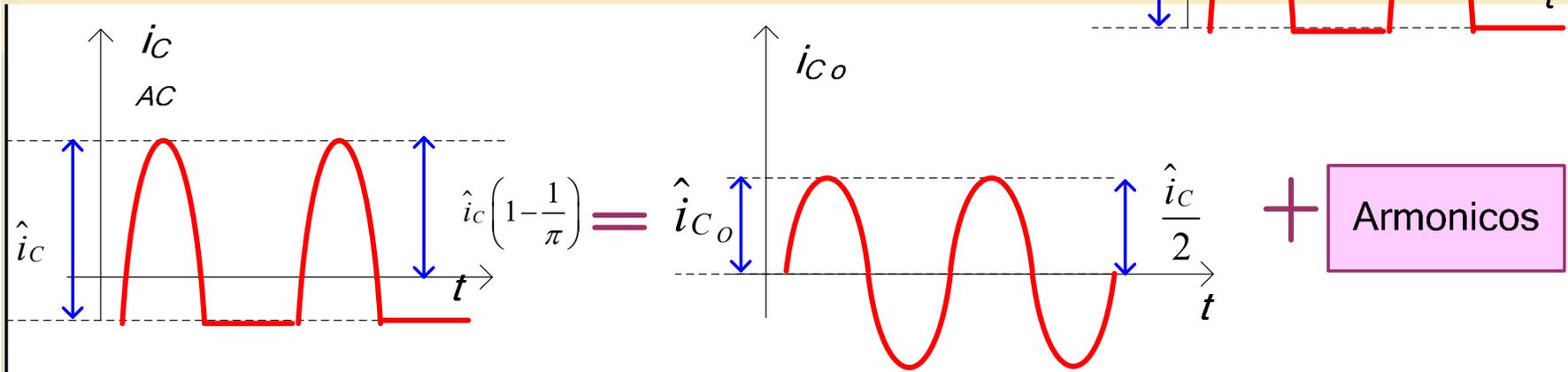
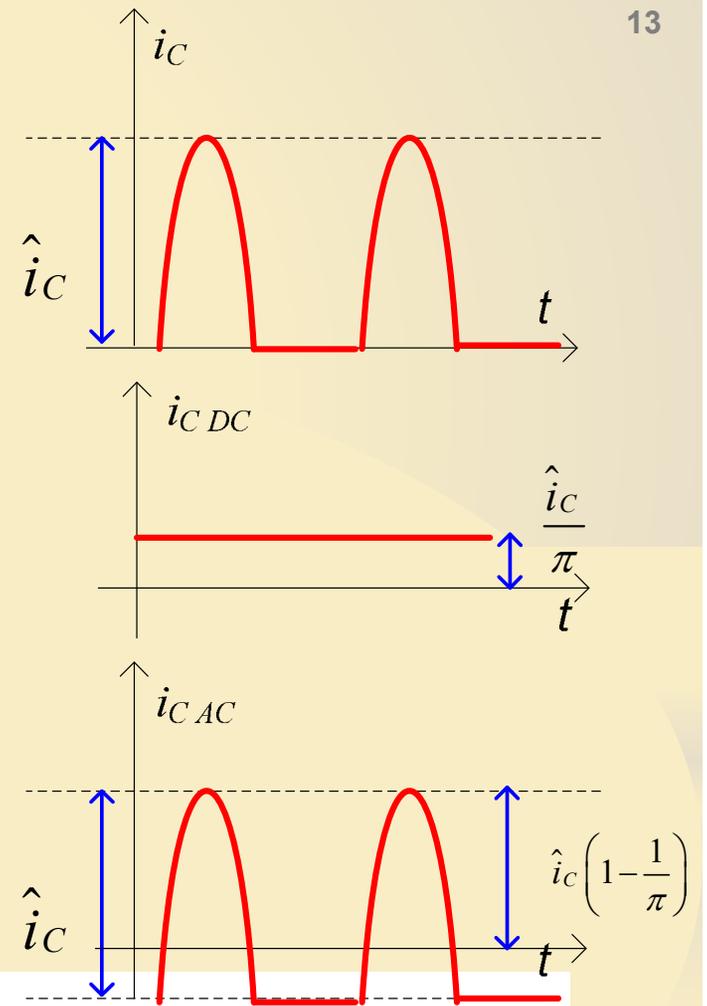
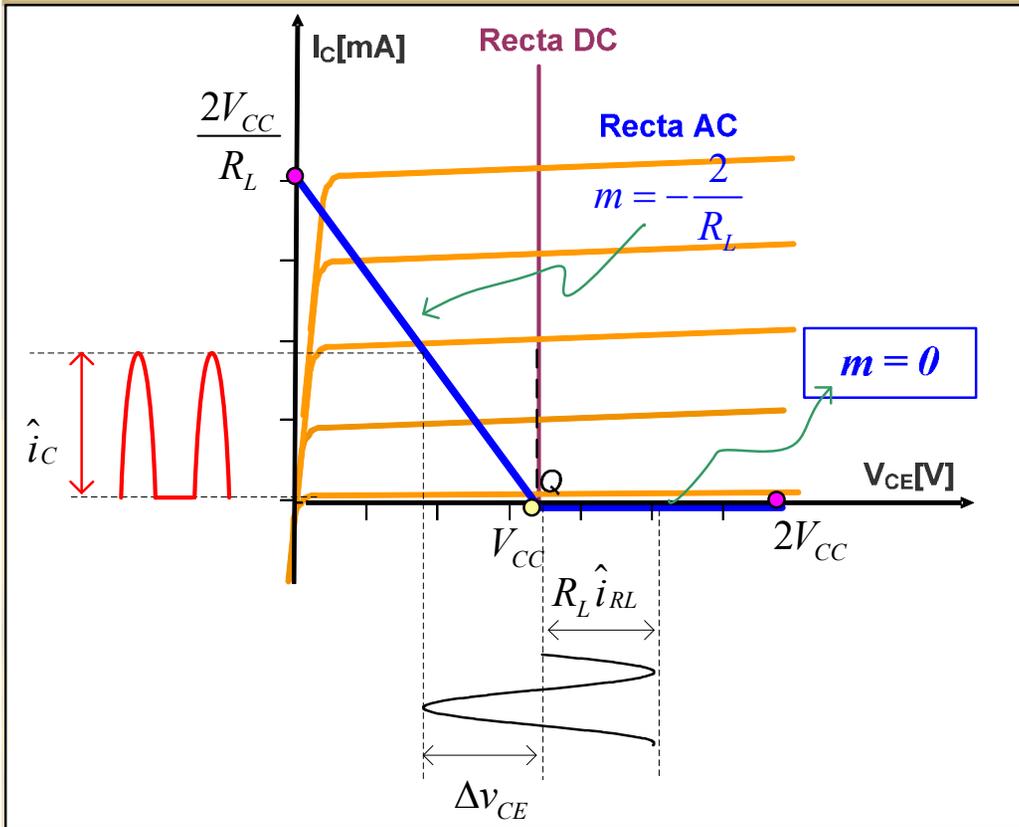
Condiciones máximas:

$$\hat{v}_{Cm \max} = \hat{i}_{RL} \cdot R_L \leq V_{CC}$$

$$\hat{i}_{Cm \max} \leq \frac{2V_{CC}}{R_L}$$

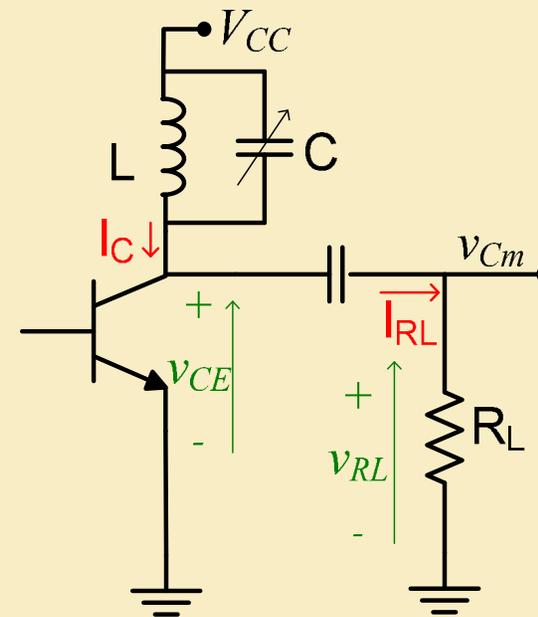
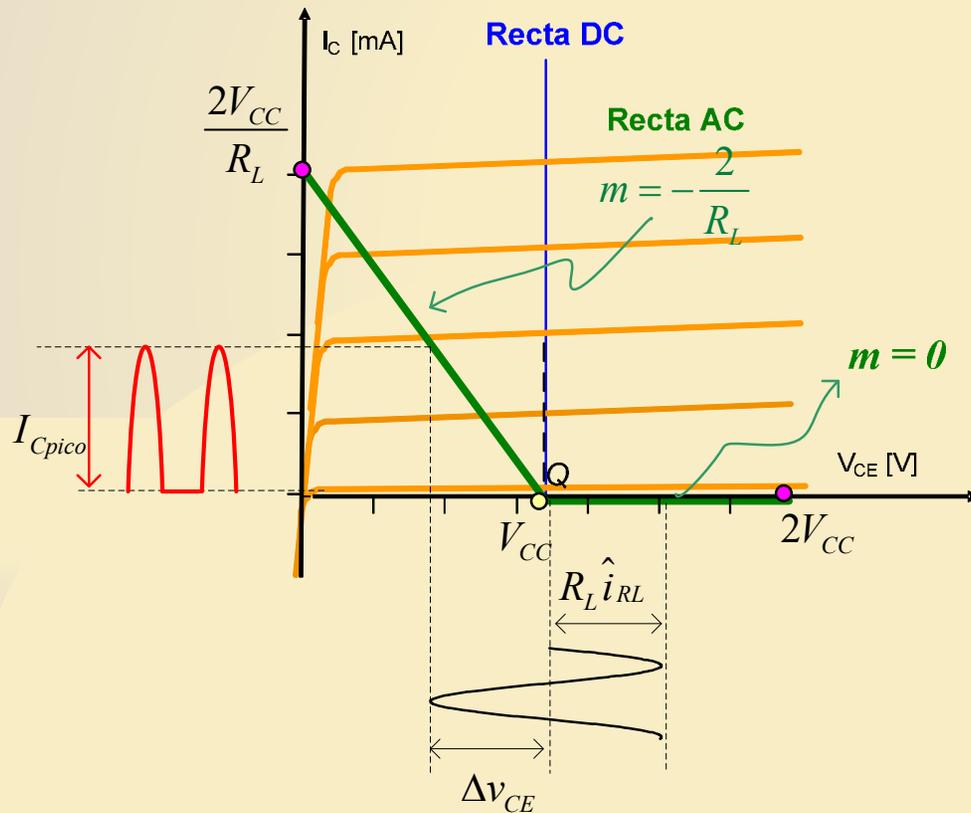


Clase B con un único transistor



Amplificador Clase B con un único transistor

14



Si v_{ce} es la componente de alterna de v_{CE} . Entonces:

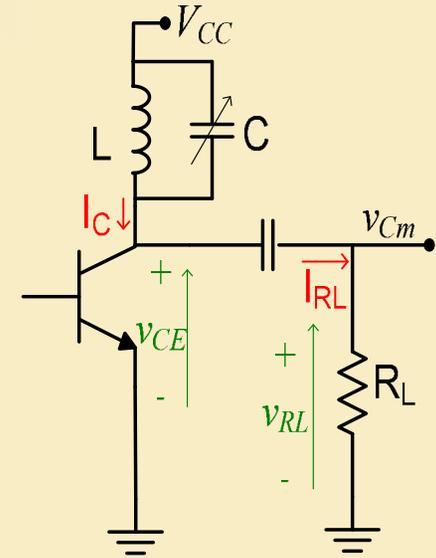
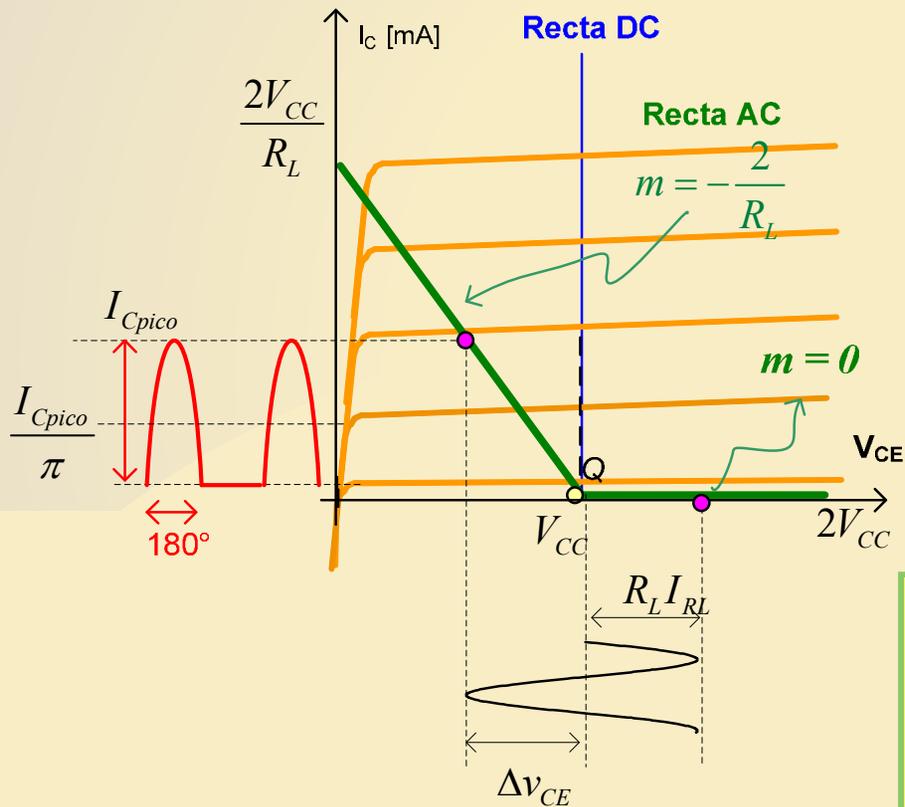
$$v_{ce}(\omega t) = v_{RL}(\omega t) = -R_L \frac{\hat{i}_c}{2} \text{sen} \omega t$$



$$\hat{v}_{ce} = -\frac{R_L}{2} \hat{i}_c$$

Por tanto:

$$\Delta v_{ce} = \frac{R_L}{2} \hat{i}_c$$



$$P_o = P_{RF} = \frac{\Delta v_{CE}^2}{2R_L} = \frac{(\hat{i}_c R_L)^2}{8R_L} = R_L \frac{\hat{i}_c^2}{8}$$

$$P_{CC} = V_{CC} \frac{\hat{i}_c}{\pi}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_{CC}} = \frac{\hat{i}_c R_L \pi}{8V_{CC}}$$

Como el máximo valor de \hat{i}_{Cpico} es:

$$\hat{i}_{Cm \max} = \frac{2V_{CC}}{R_L}$$

y por tanto:

$$\eta_{\max} = \frac{\pi}{4} = 78,5\%$$

$$P_o = P_{RF} = R_L \frac{\hat{i}_C^2}{8}$$

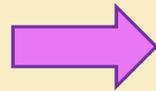
$$P_{CC} = V_{CC} \frac{\hat{i}_C}{\pi}$$



$$P_d = P_{CC} - P_o = V_{CC} \frac{\hat{i}_C}{\pi} - \frac{R_L \hat{i}_C^2}{8}$$

Cuando:

$$\hat{i}_C = \frac{4V_{CC}}{\pi R_L}$$



$$P_{d \max} = \frac{2V_{CC}^2}{\pi^2 R_L}$$

Nótese que:

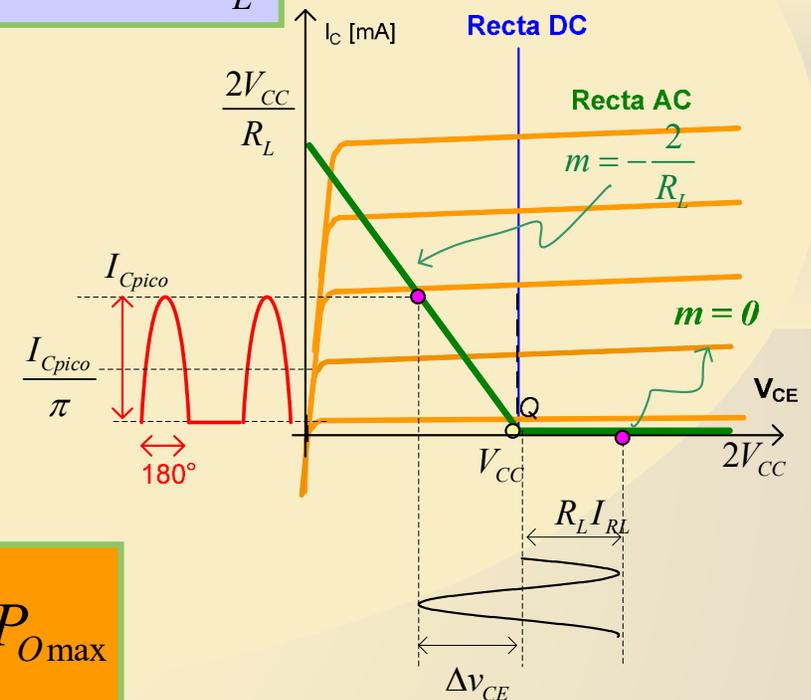
$$\hat{i}_{C \text{ pico } P_{d \max}} < \hat{i}_{C \text{ pico } \max} = 2 \cdot V_{CC} / R_L$$

La potencia máxima de salida es:

$$P_{o \max} = \frac{V_{CC}^2}{2R_L}$$

Por tanto:

$$P_{d \max} = \frac{4P_{o \max}}{\pi^2} = 0,405P_{o \max}$$



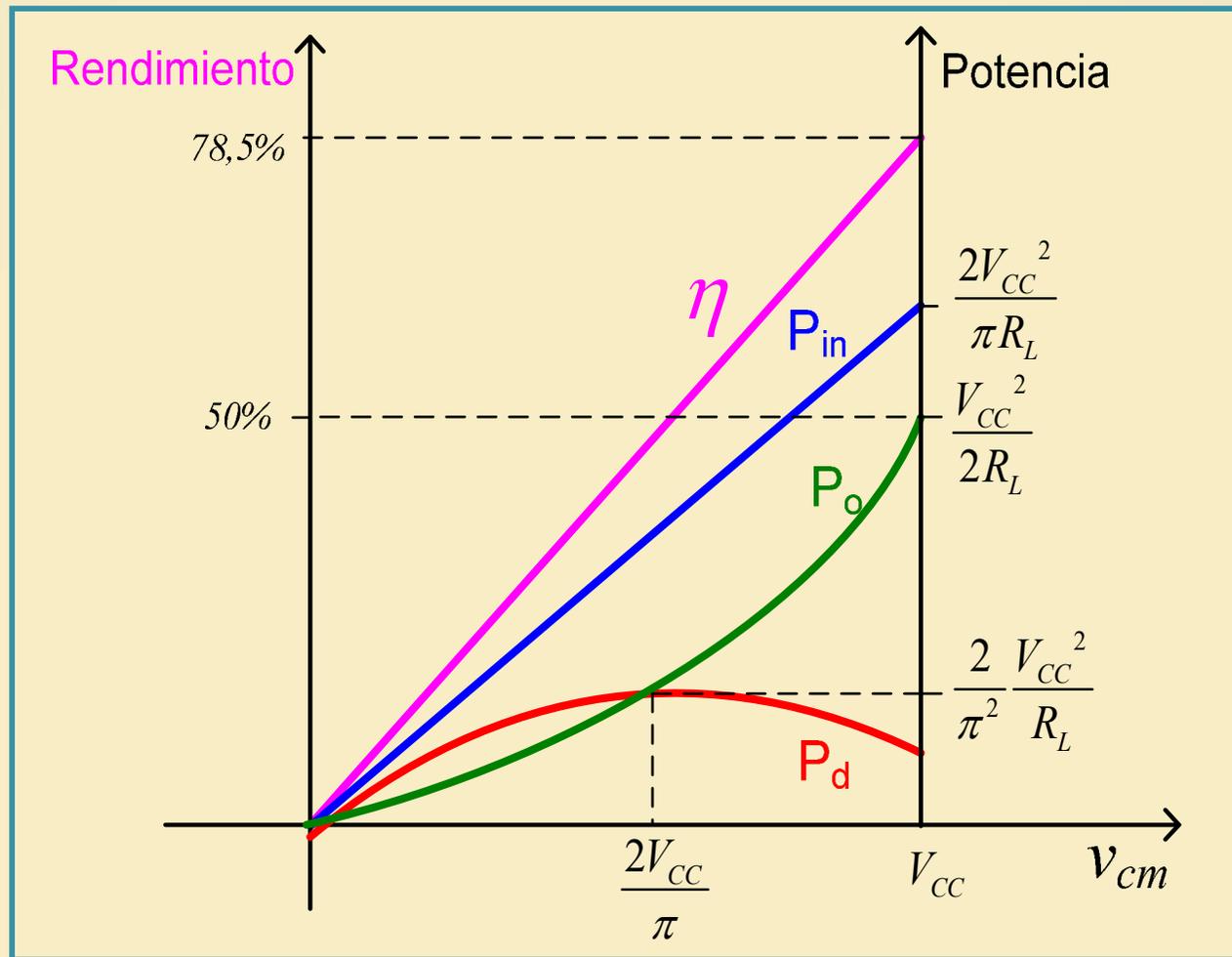
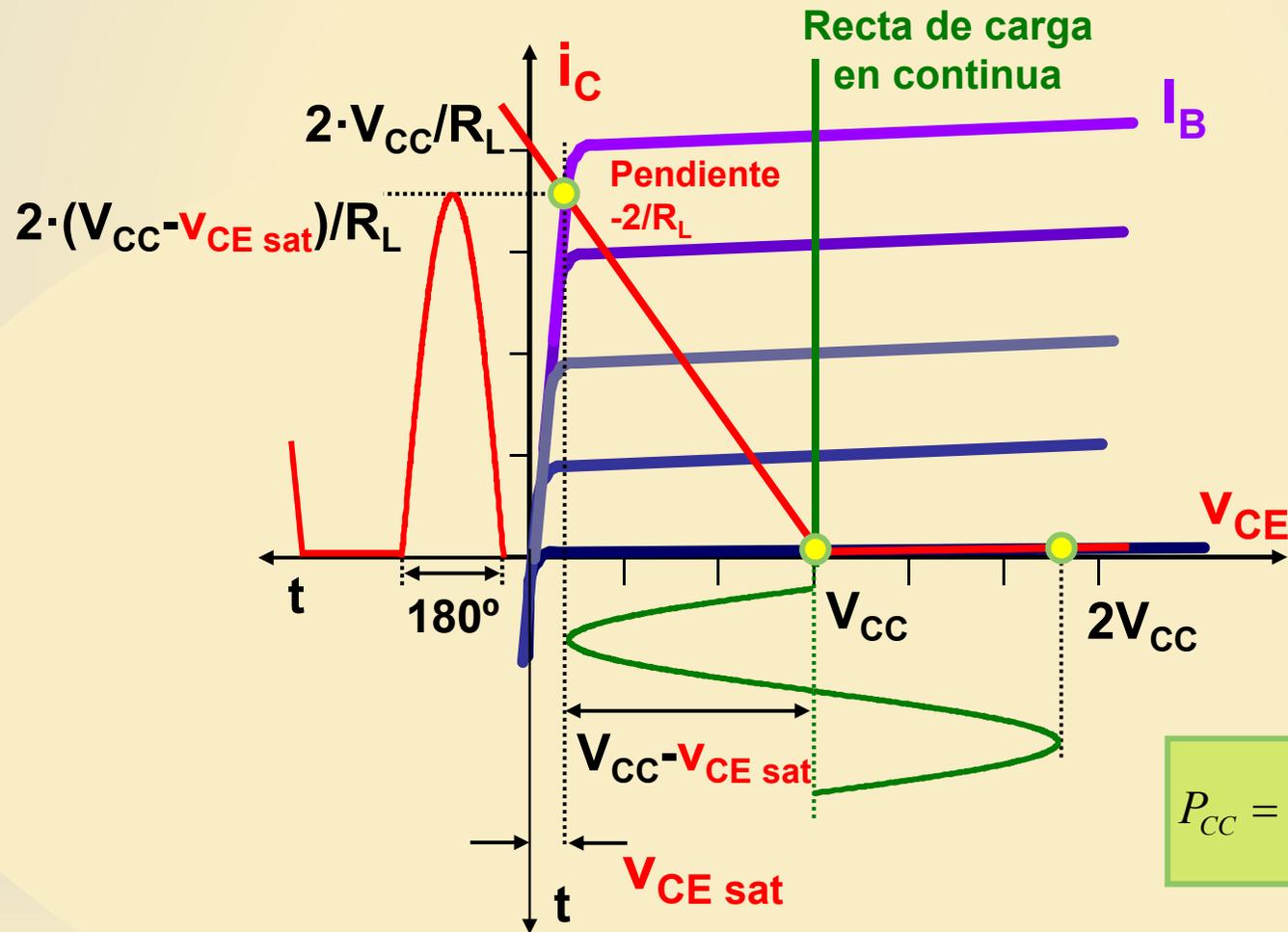


GRAFICO DE POTENCIAS Y RENDIMIENTO

Amplificador Clase B con un único transistor

Con transistores reales (no idealizados)



$$P_{o\text{ max}} = P_{RF} = \frac{(V_{CC} - V_{CESat})^2}{2R_L}$$

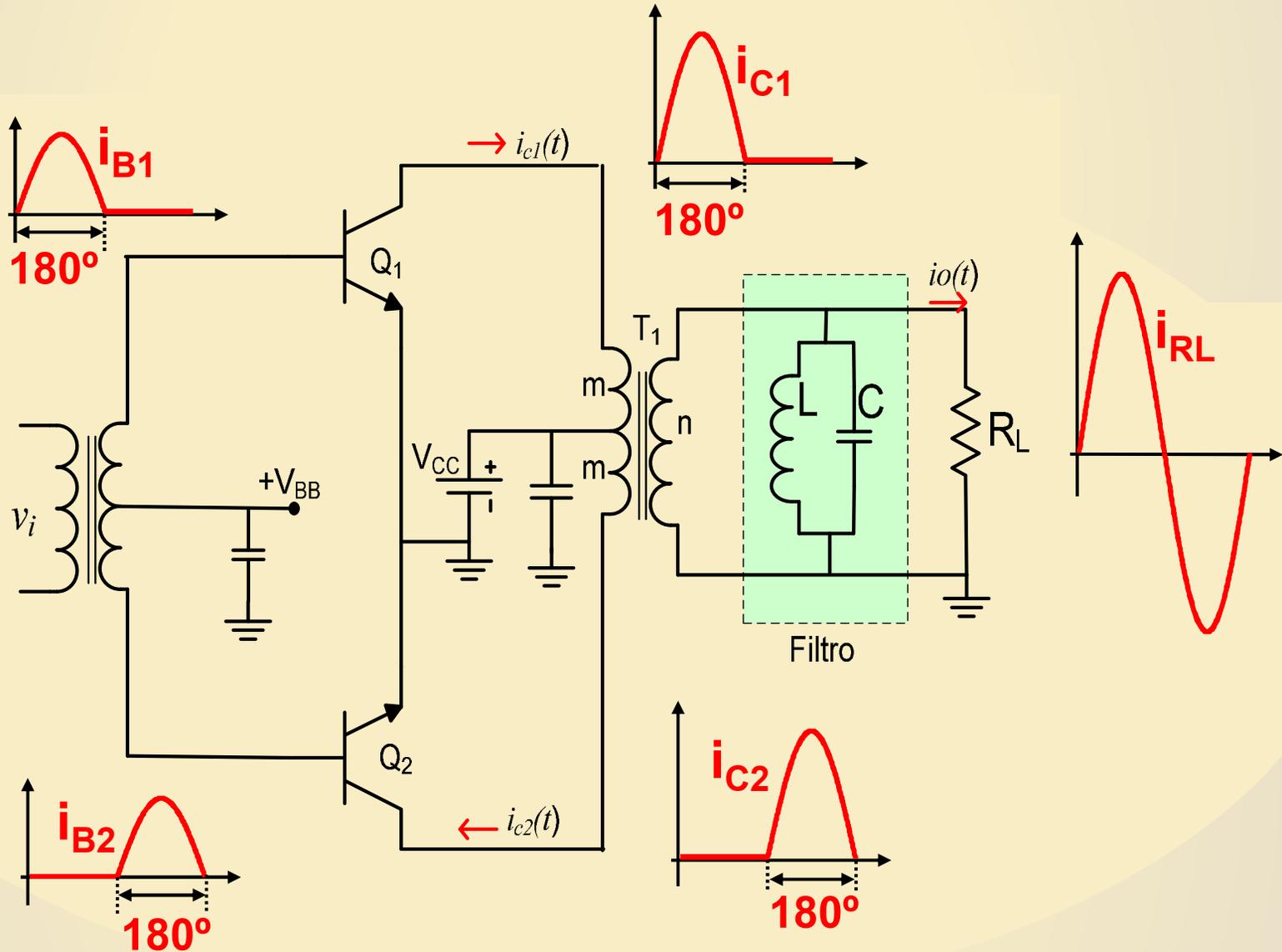
$$P_{CC} = 2V_{CC} \frac{(V_{CC} - V_{CESat})}{\pi R_L}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_{in}} = \frac{\pi (V_{CC} - V_{CESat})}{4 V_{CC}}$$

AMPLIFICADOR CLASE B PUSH-PULL

19

Se usan en aplicaciones lineales de mediana y alta potencia.

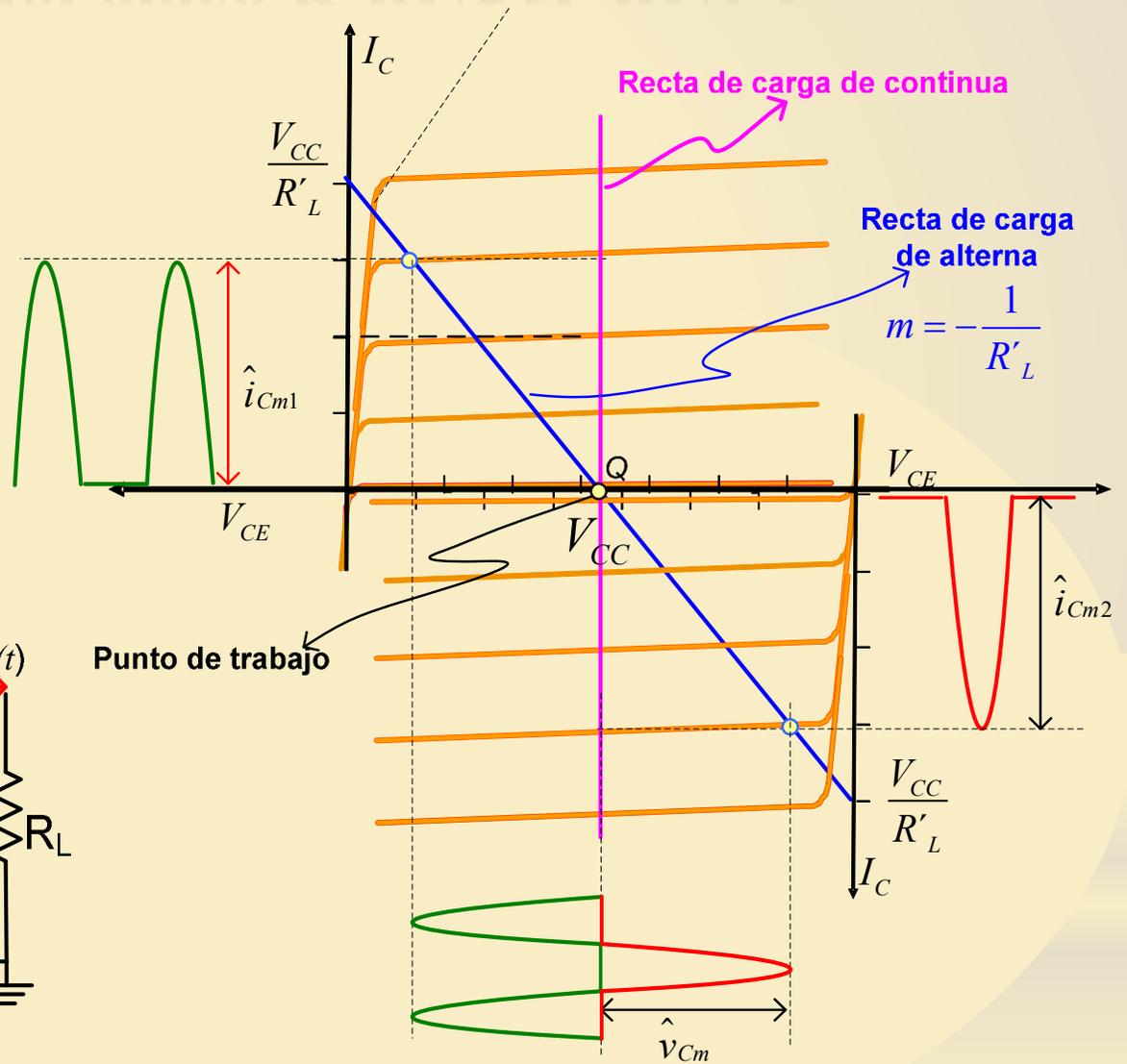
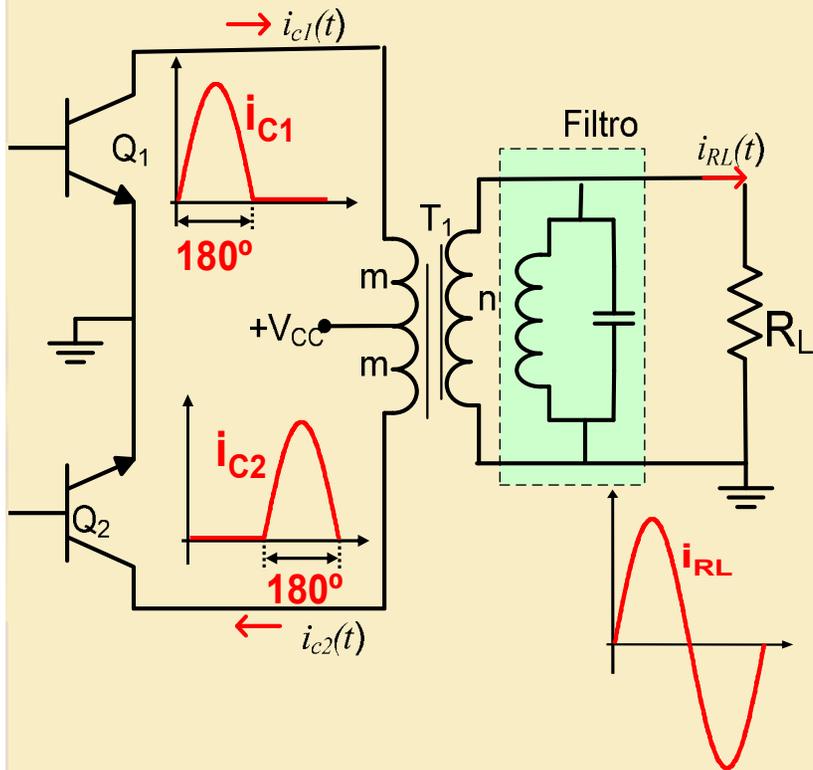


- Los dos transistores se excitan desfasados 180°
- Cada uno está activo durante medio ciclo
- Cuando están en región activa, se comportan como fuente de corriente
- Debido a que la corriente de colector es nula cuando la tensión V_{CE} es máxima, su rendimiento es alto.
- Cada TBJ amplifica medio ciclo de la señal de entrada.
- Una vez amplificada eficientemente, la señal es ensamblada.
- Durante un semiciclo dado, medio devanado de T1 lleva corriente. Al siguiente semiciclo, el otro medio devanado lleva corriente

Principios del clase B PUSH-PULL

$$V_{Cm} \leq V_{CC}$$

$$I_{Cm} \leq \frac{V_{CC}}{R'_L}$$



Punto de trabajo

Amplificador Clase B

Formas de onda

- Corriente de salida:

$$i_o(t) = \hat{i}_{Om} \text{sen} \omega t = \frac{m}{n} \hat{i}_{Cm} \text{sen} \omega t$$

- Tensión sobre la carga:
(tensión en el secundario de T1)

$$v_o(t) = \frac{m}{n} R_L \hat{i}_{Cm} \text{sen} \omega t = \hat{v}_{Om} \text{sen} \omega t$$

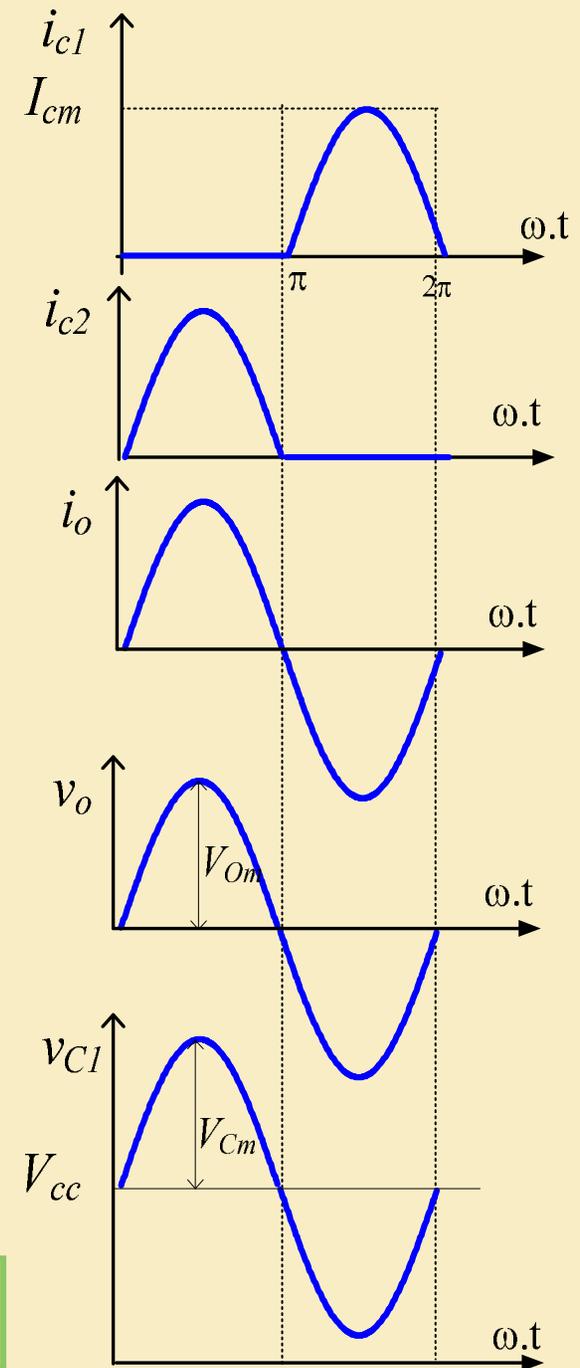
- Tensión en el primario de T1:

$$v'_o(t) = V_{CC} + \hat{v}_{Cm} \text{sen} \omega t$$

- Tensión en el colector de Q1:

$$V_{Cm} = \frac{m}{n} \hat{v}_{Om} = \left(\frac{m}{n} \right)^2 \hat{i}_{Cm} R_L = \hat{i}_{Cm} R'$$

$$\hat{v}_{Cm} \leq V_{CC}$$



Amplificador clase B PUSH-PULL

23

POTENCIA DE ENTRADA:

$$P_{in} = P_{CC} = V_{CC} \cdot I_{DC}$$

$$I_{DC} = \frac{2\hat{i}_{Cm}}{\pi} = \frac{2\hat{v}_{Cm}}{\pi R'_L}$$

$$P_{in} = \frac{2 V_{CC}}{\pi R'_L} \hat{v}_{Cm}$$

POTENCIA DE SALIDA:

$$P_o = \frac{\hat{v}_{Cm}^2}{2R'_L}$$

Suponemos que el rendimiento del transformador es del 100%

$$P_{Om\acute{a}x} \leq \frac{V_{CC}^2}{2R'_L} = \frac{V_{CC}^2}{2\left(\frac{m}{n}\right)^2 R_L}$$

RENDIMIENTO:

$$\eta = \frac{P_O}{P_{in}} = \frac{\pi \hat{v}_{Cm}}{4 V_{CC}} \quad \longrightarrow \quad \eta_{m\acute{a}x} \leq \frac{\pi}{4} = 78,5\%$$

POTENCIA DISIPADA:

$$P_D = P_{in} - P_O \quad \longrightarrow \quad P_D = \frac{2 V_{CC}}{\pi R'} \hat{v}_{Om} - \frac{\hat{v}_{Om}^2}{R'}$$

Para calcular la máxima potencia disipada:

$$\frac{\partial P_D}{\partial \hat{v}_{Om}} = \frac{2 V_{CC}}{\pi R'} - 2 \frac{\hat{v}_{Om}}{R'} = 0 \quad \longrightarrow \quad \hat{v}_{Om} = \frac{2}{\pi} V_{CC} = 0,636 V_{CC}$$

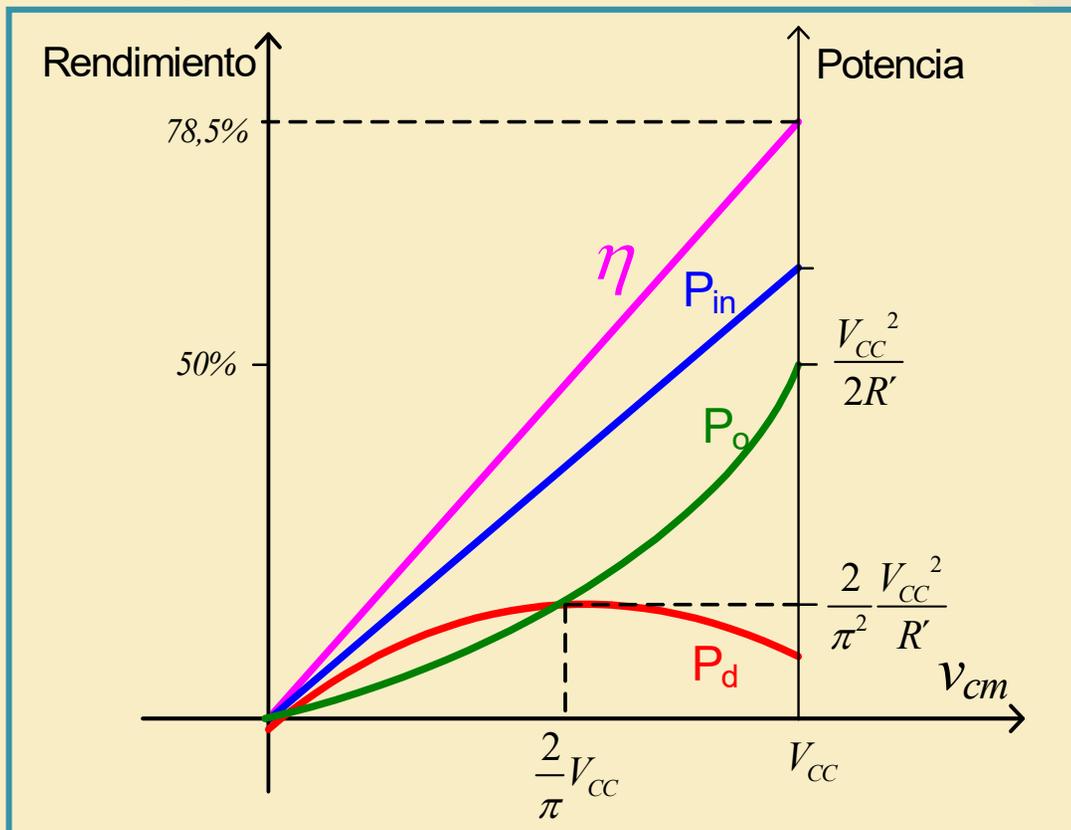
AMPLIFICADOR CLASE B PUSH-PULL

Cuando la señal de entrada vale $0,66V_{cc}$, los transistores están más exigidos, ya que a este valor de tensión ocurre la máxima disipación

➔
$$P_{D_{MAX}} = \frac{2}{\pi^2} \frac{V_{CC}^2}{R'}$$

Potencia que deben disipar entre ambos transistores (cada transistor debe poder disipar la mitad)

GRAFICO DE POTENCIAS Y RENDIMIENTO



ESPECIFICACIONES DE LOS TRANSISTORES Q1 y Q2:

$$V_{CEMAX} = 2V_{CC}$$

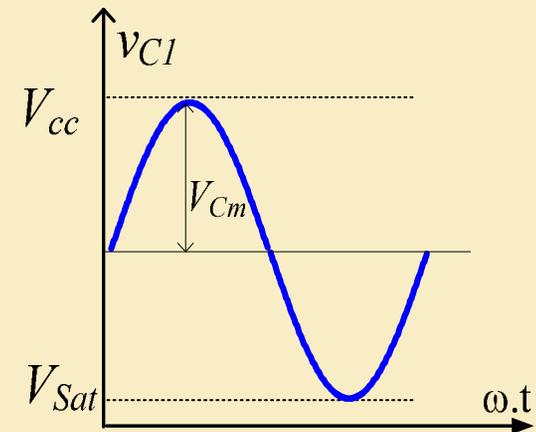
$$I_{CMAX} = \frac{V_{CC}}{R'_L}$$

$$P_{DMAX} = \frac{2}{\pi^2} \frac{V_{CC}^2}{R'_L}$$

Consideraciones prácticas

En la práctica, la operación real de los clase A y B, se aleja de la estudiada, ya que existen:

1) Tensiones de saturación: Pueden ser de hasta 2V. Disminuye el rendimiento pronosticado, la tensión máxima de salida, potencia de salida, y corrientes de salida y entrada serán menores que la previstas



$$\eta = \frac{P_o}{P_{in}} = \frac{\pi}{4} \frac{V_{CC} - V_{Sat}}{V_{CC}}$$

$$\hat{v}_{Cm} \leq V_{CC} - V_{Sat}$$

2) Cargas Reactivas: Si el tanque no está perfectamente sintonizado (desintonía) , impedancia del trafo no despreciable, variación de la Z del filtro con la frecuencia, variaciones de impedancia de antena.

Provocará disminución del rendimiento y aumento de la Potencia disipada.

3) Resistencia de saturación: limita la salida máxima

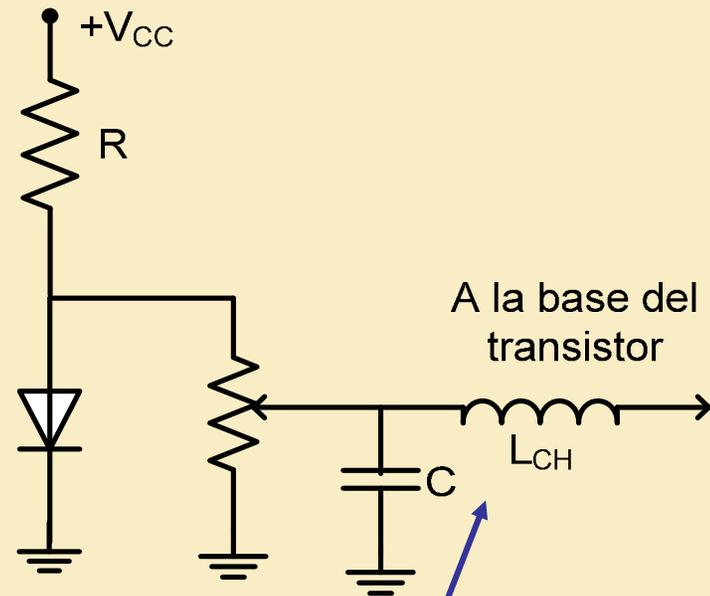
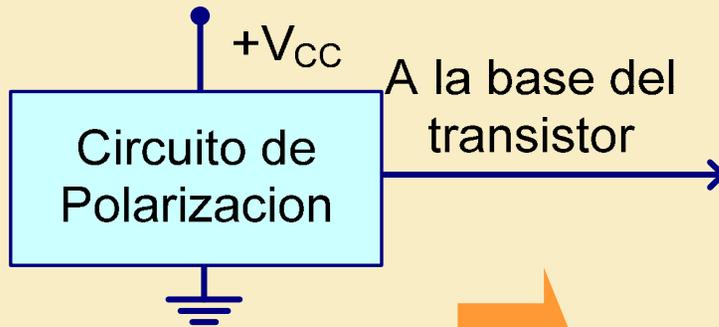
4) Distorsión por intermodulación

5) Distorsión por cruce

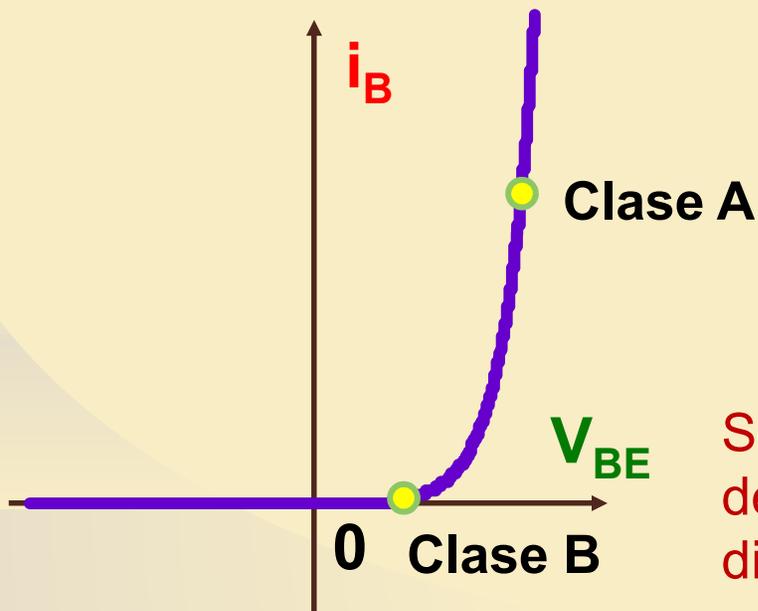
6) Distorsión por falta de linealidad para grandes corrientes

7) Modulación por capacidad parásita de colector.

Circuitos de polarización en clases A y B



Sobra en el caso del *Push-Pull*

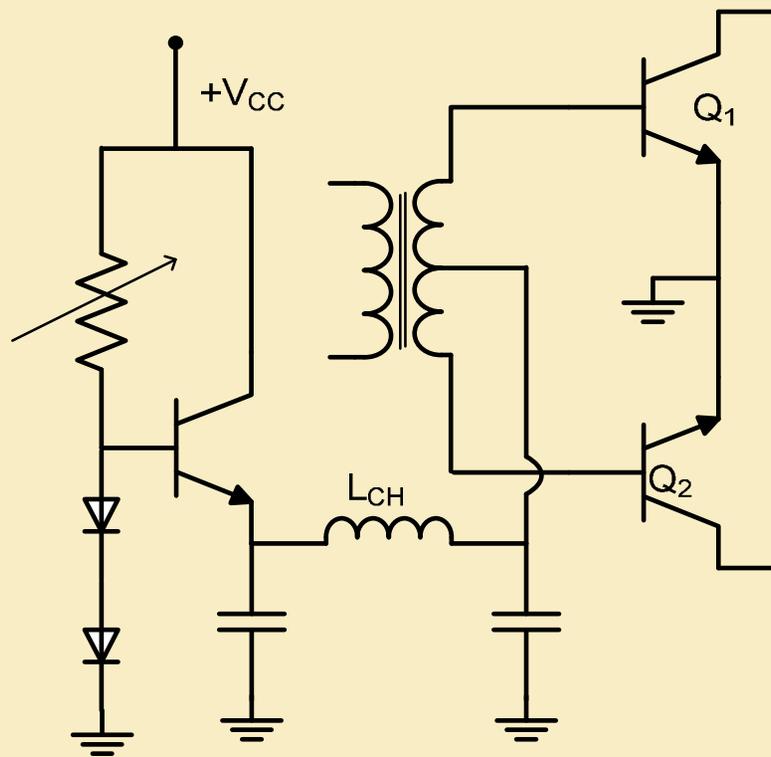


Se usa un diodo de construcción similar a la del transistor de potencia de RF sobre el disipador de calor y polarizando con una corriente constante.

Fuentes de Polarización

La tensión V_{BE} cambia $2\text{mV}/^\circ\text{C}$.

Para evitar el embalamiento térmico, es necesario un circuito que disminuya la V_{BE} cuando aumenta $^\circ\text{C}$



Se trabaja como si fuera una fuente de corriente, pues el TBJ amplifica proporcionalmente a I_B (y no a V_{BE})