

# *Amplificadores clase D de potencia sintonizados*

Departamento de Electrotecnia  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional de La Plata

## **Bibliografía:**

Estado Sólido en Ingeniería de Radiocomunicaciones, Krauss, Bostiann y Raab.  
RF Power Amplifiers, Marian Kazimierczuk, Wiley, 2015.

**Causa de las pérdidas en un clase C:  $V_p$  e  $I_p$  no nulas simultáneamente**  
**(la misma causa de pérdida de potencia en A, B y AB)**

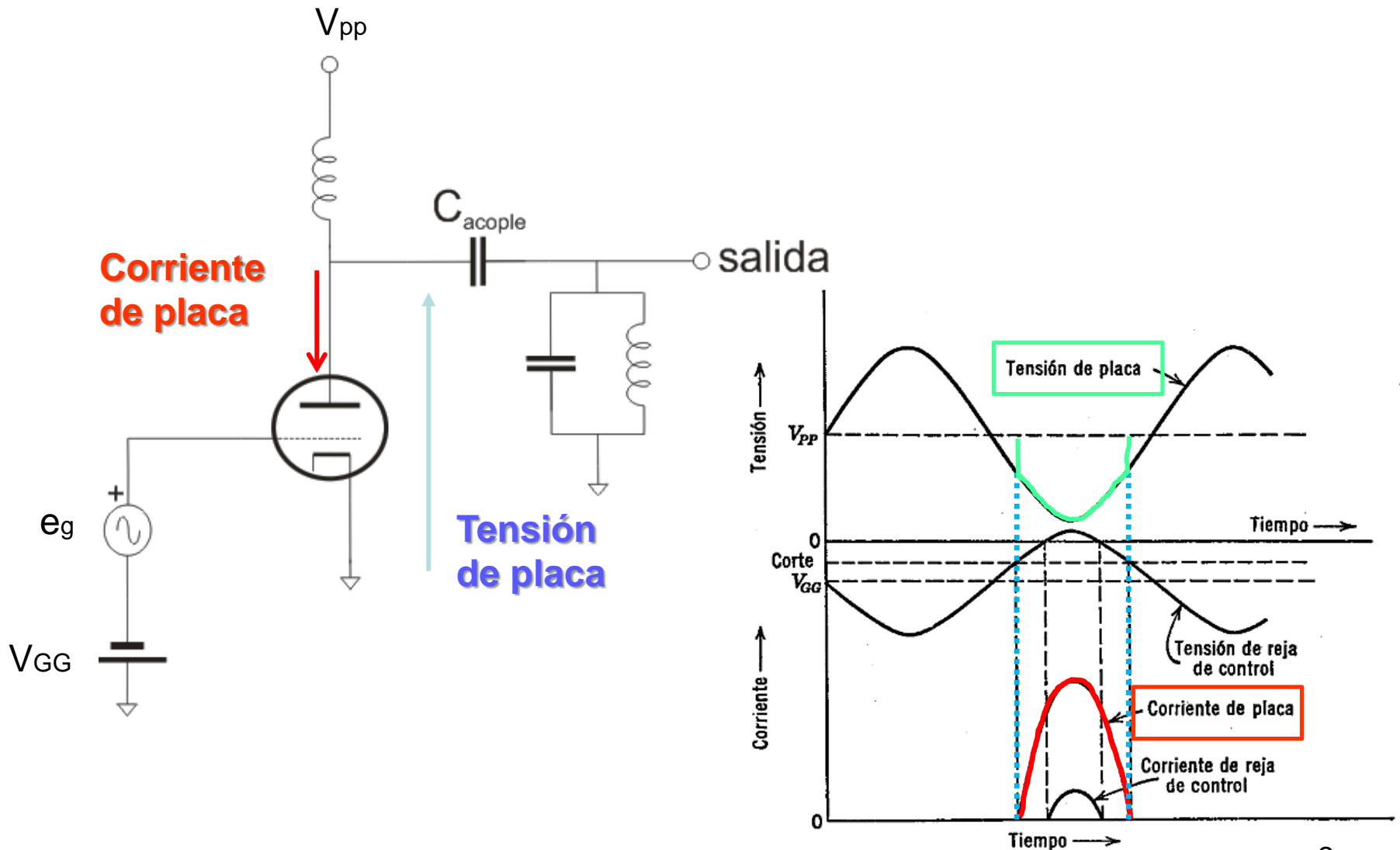
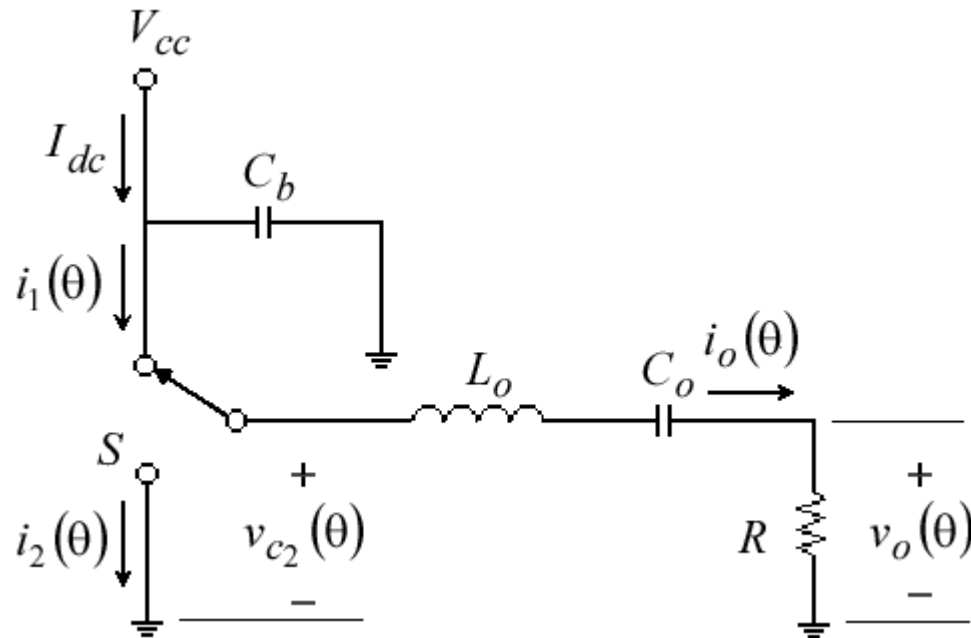


Fig. 12.3. Relación de tensión y corriente en un amplificador clase C.

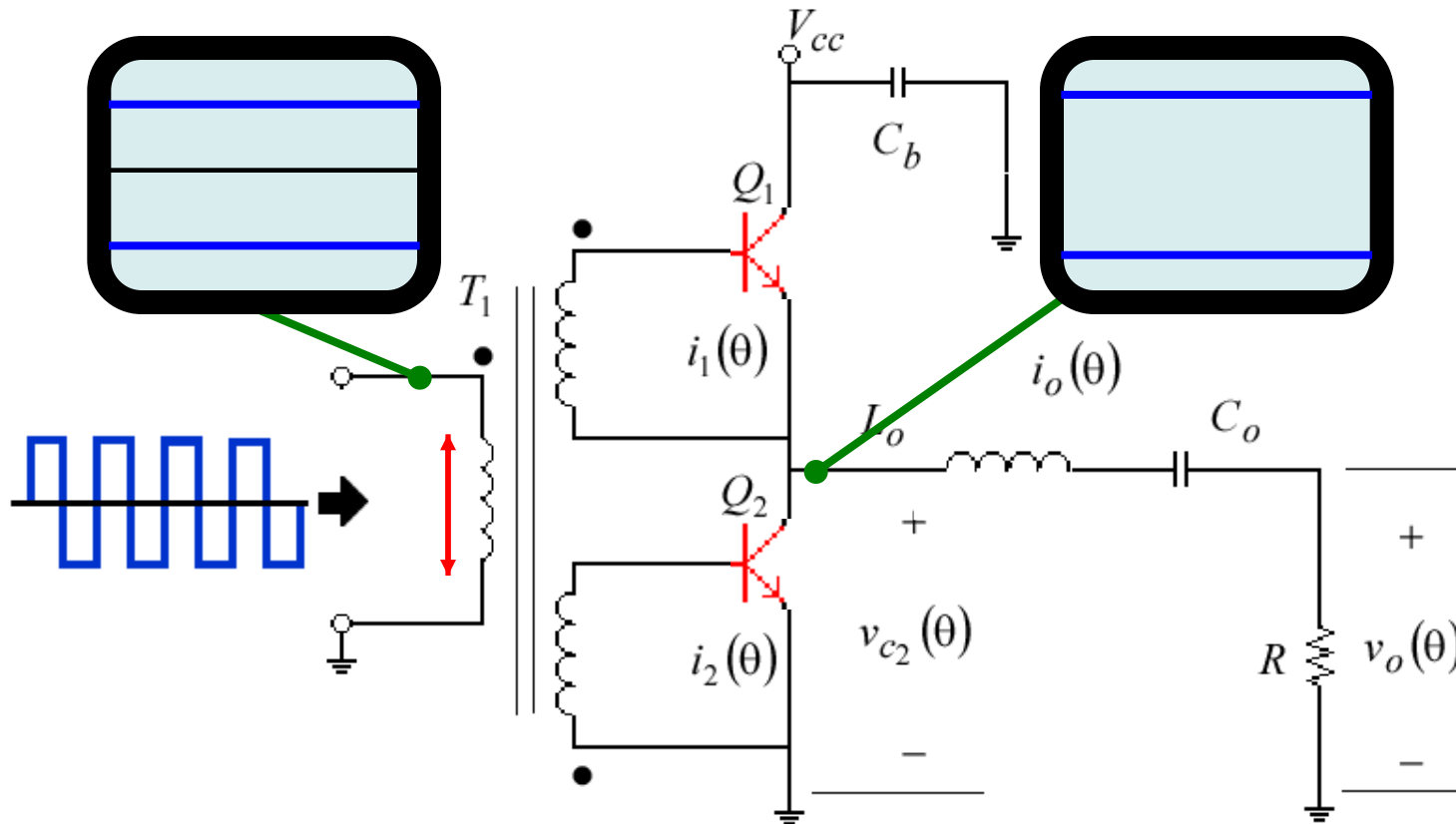
## Amplificador clase D

### Esquema de un amplificador de potencia clase D sintonizado



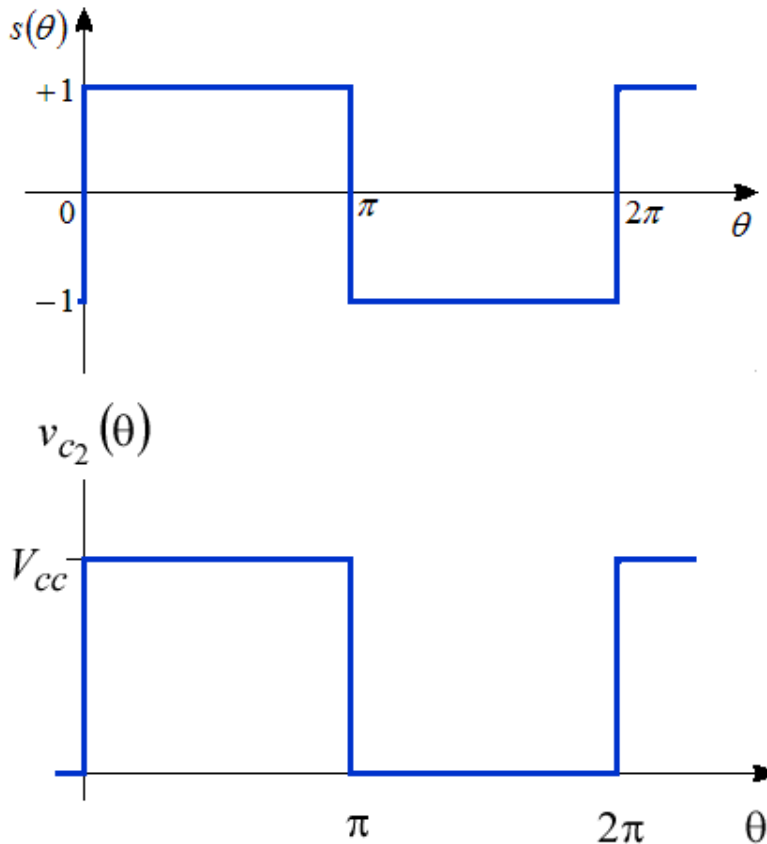
# Amplificador clase D

*Configuración voltaje complementario o conmutador de tensión*



# Amplificador clase D

## Forma de onda del voltaje de colector



Definimos a  $S(\theta)$  como una función de onda cuadrada de amplitud  $\pm 1$ .

La Serie de Fourier de  $S(\theta)$  es:

$$S(\theta) = \frac{4}{\pi} \left( \text{sen}\theta + \frac{1}{3} \text{sen}3\theta + \frac{1}{5} \text{sen}5\theta + \dots \right)$$

Teniendo en cuenta a  $S(\theta)$  podemos expresar a la tensión de colector como:

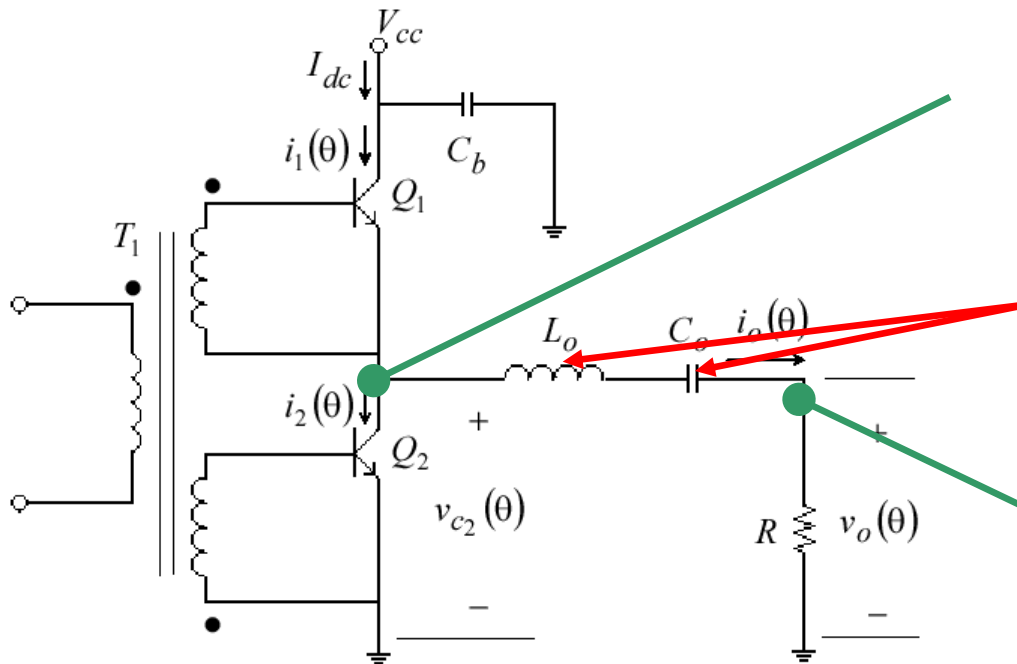
$$v_{c2}(\theta) = V_{cc} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot S(\theta) \right)$$

Que desarrollando nos queda:

$$v_{c2}(\theta) = V_{cc} \left( \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \text{sen}\theta + \frac{2}{3\pi} \text{sen}3\theta + \frac{2}{5\pi} \text{sen}5\theta + \dots \right)$$

# Amplificador clase D

## Forma de onda del voltaje de colector



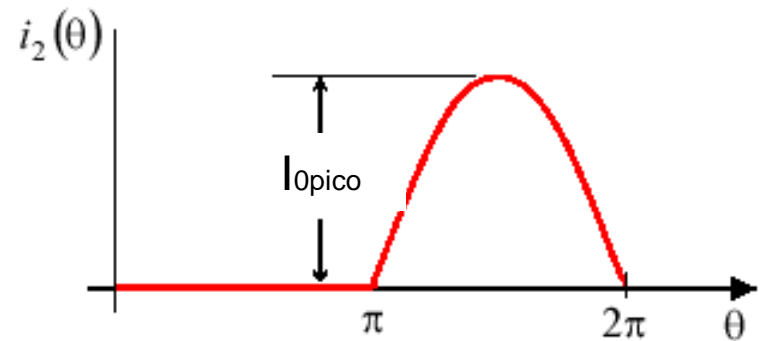
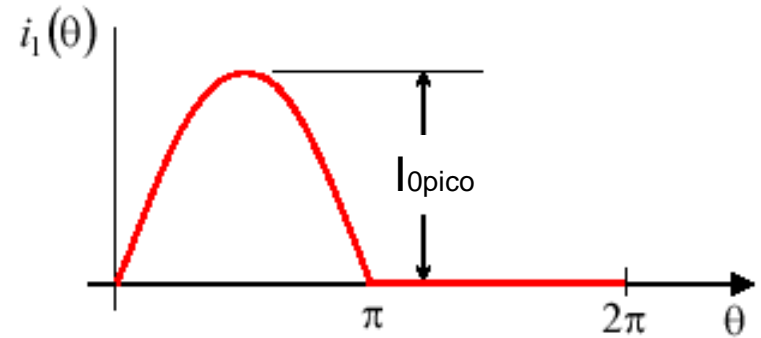
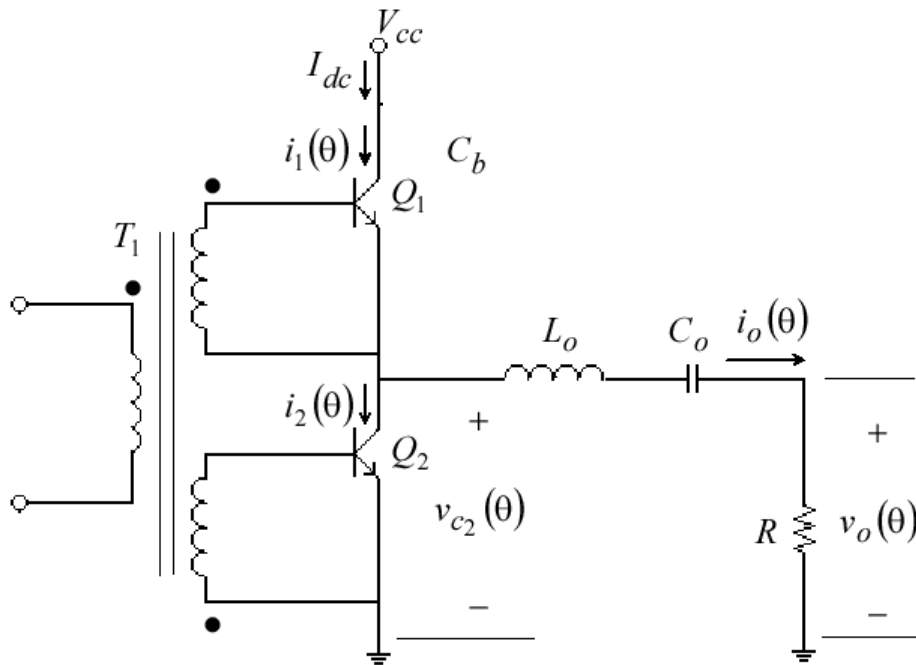
Debido a la existencia del circuito sintonizado, en la carga tendremos solo el primer armónico.

$$v_o(\theta) = V_{cc} \left( \frac{2}{\pi} \sin \theta \right)$$

$$v_{c2}(\theta) = V_{cc} \left( \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sin \theta + \frac{2}{3\pi} \sin 3\theta + \frac{2}{5\pi} \sin 5\theta + \dots \right)$$

# Amplificador clase D

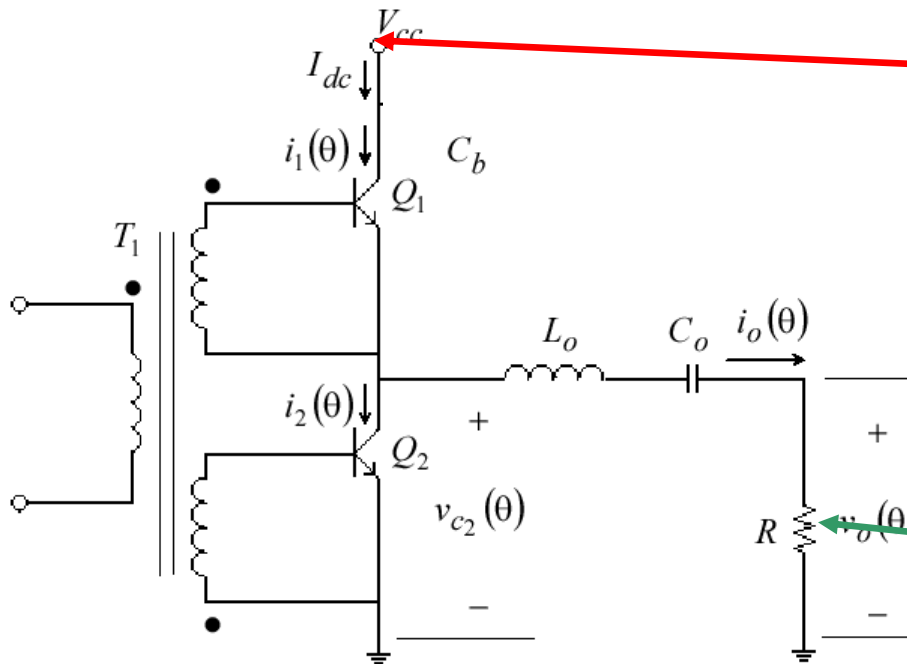
## Formas de onda de las corrientes de colector



$$i_o(\theta) = \frac{v_o(\theta)}{R} = \frac{\frac{2V_{cc}}{\pi} \sin\theta}{R} = \frac{V_{0pico} \sin\theta}{R} = I_{0pico} \sin(\theta)$$

# Amplificador clase D

## Ecuaciones de diseño y rendimiento teórico



$$P_i = V_{cc} \cdot I_{DC}$$

Como en un rectificador de media onda

$$\Rightarrow I_{DC} = \frac{I_{0pico}}{\pi} = \frac{2V_{cc}}{R\pi^2}$$

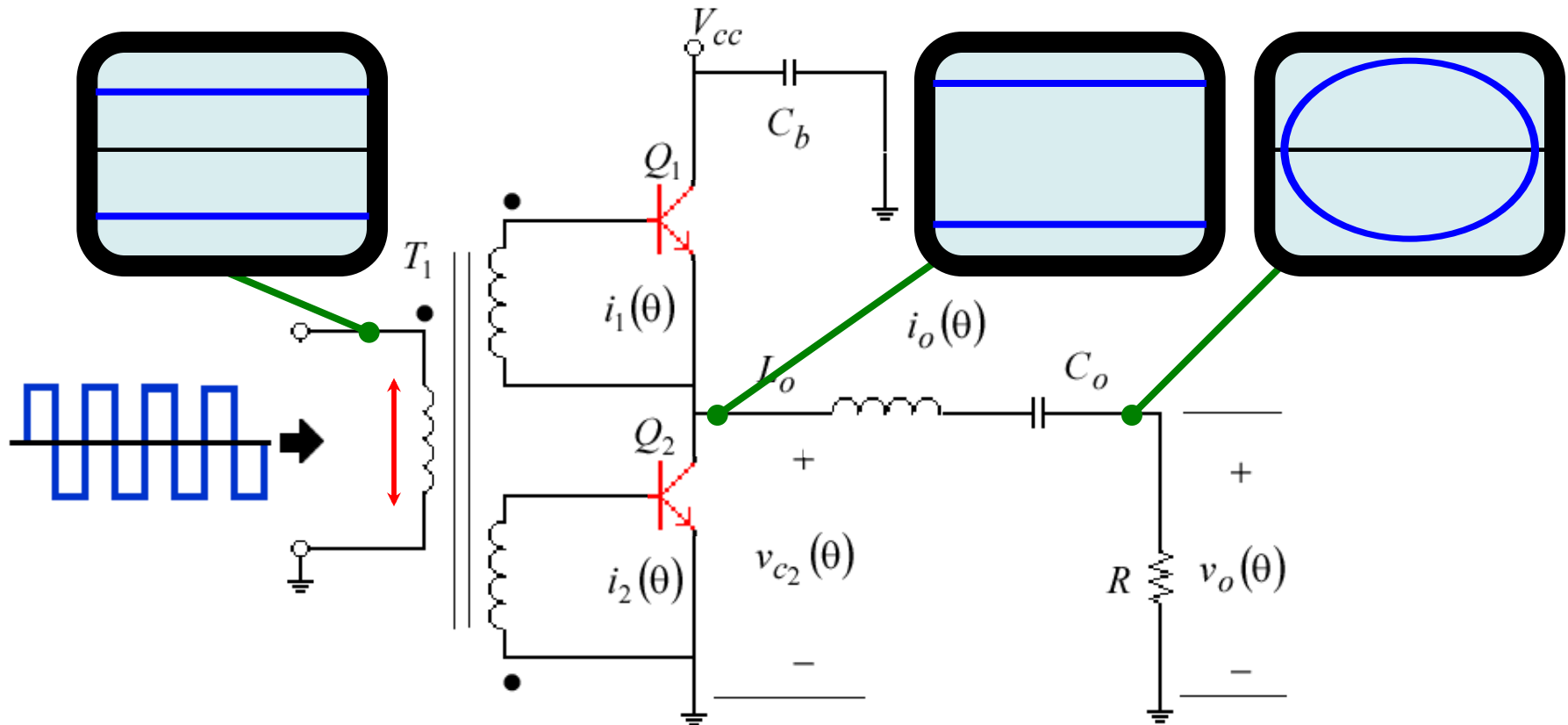
$$\Rightarrow P_o = \frac{V_{0pico}^2}{2R} = \frac{2V_{cc}^2}{R\pi^2} \approx 0.203 \frac{V_{cc}^2}{R}$$

$$\eta[\%] = \frac{P_o}{P_i} \cdot 100 = \left( \frac{\frac{2}{\pi^2} \frac{V_{cc}^2}{R}}{\frac{2}{\pi^2} \frac{V_{cc}^2}{R}} \right) \cdot 100 = 100\%$$



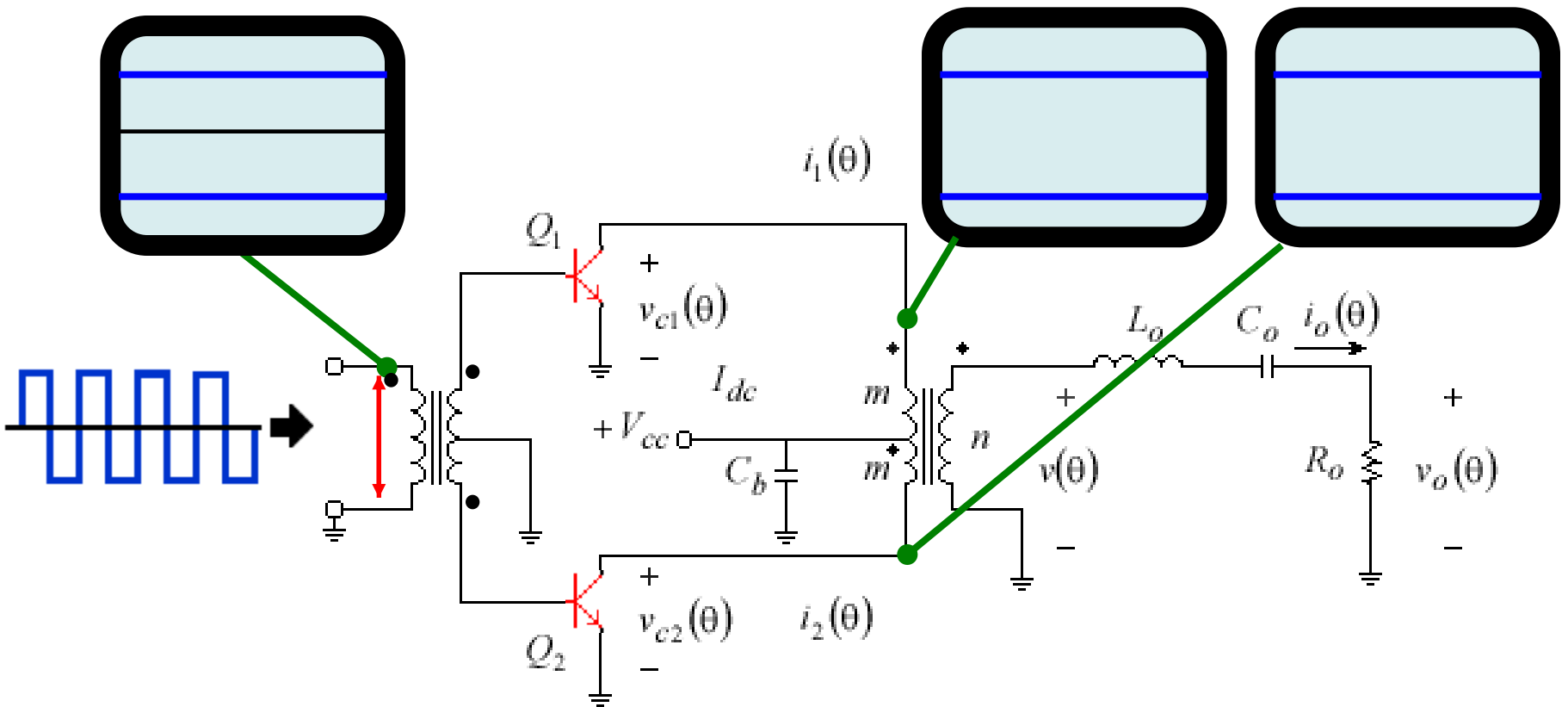
## Amplificador clase D

*Configuración voltaje complementario o conmutador de tensión*



## Amplificador clase D

### Configuración acoplada por transformador



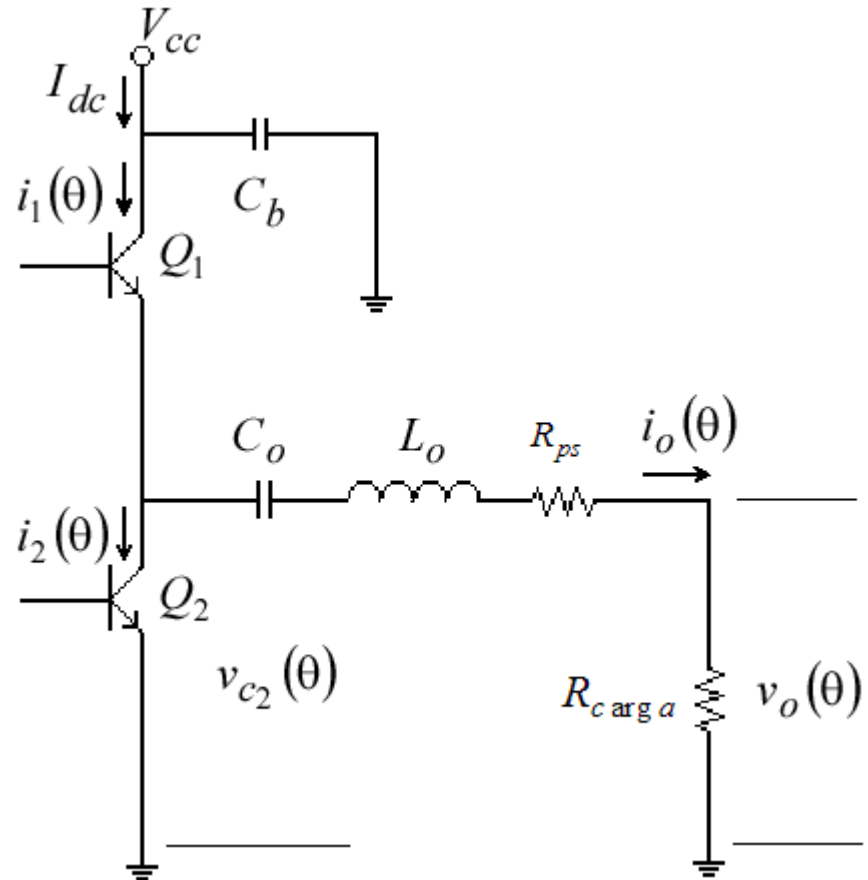
# Amplificador clase D

*Apartamiento de las condiciones ideales*

Fuentes de pérdidas:

- Por conducción en los transistores
- Por Qd finito de L
- Por conmutación en los transistores

$$P_{CARGA} = \eta_{Total} P_{CC} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot P_{CC}$$



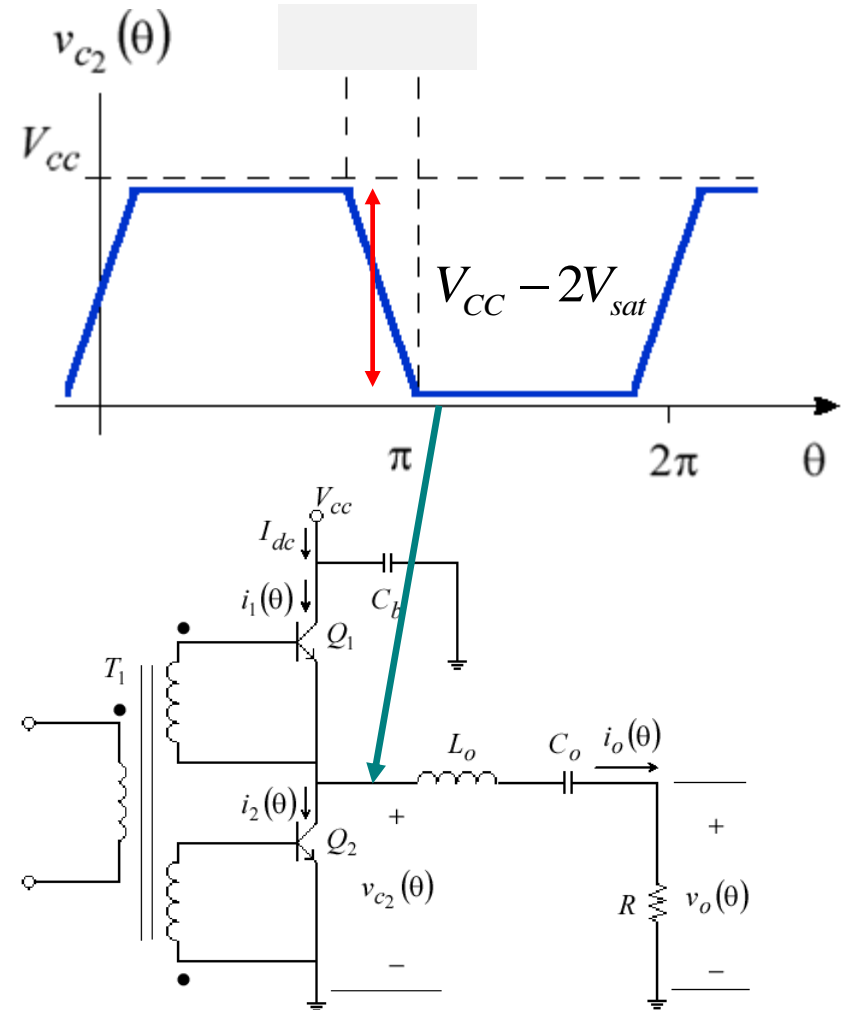
# Amplificador clase D

## Apartamiento de las condiciones ideales

Degradación del rendimiento por la tensión de saturación de los transistores:

$$V_{cc\_efectiva} = V_{cc} - 2V_{sat} = V_{cc} \left( 1 - \frac{2V_{sat}}{V_{cc}} \right)$$

$$\eta_1 = \frac{V_{cc\_efectiva}}{V_{cc}}$$



# Amplificador clase D

## Apartamiento de las condiciones ideales

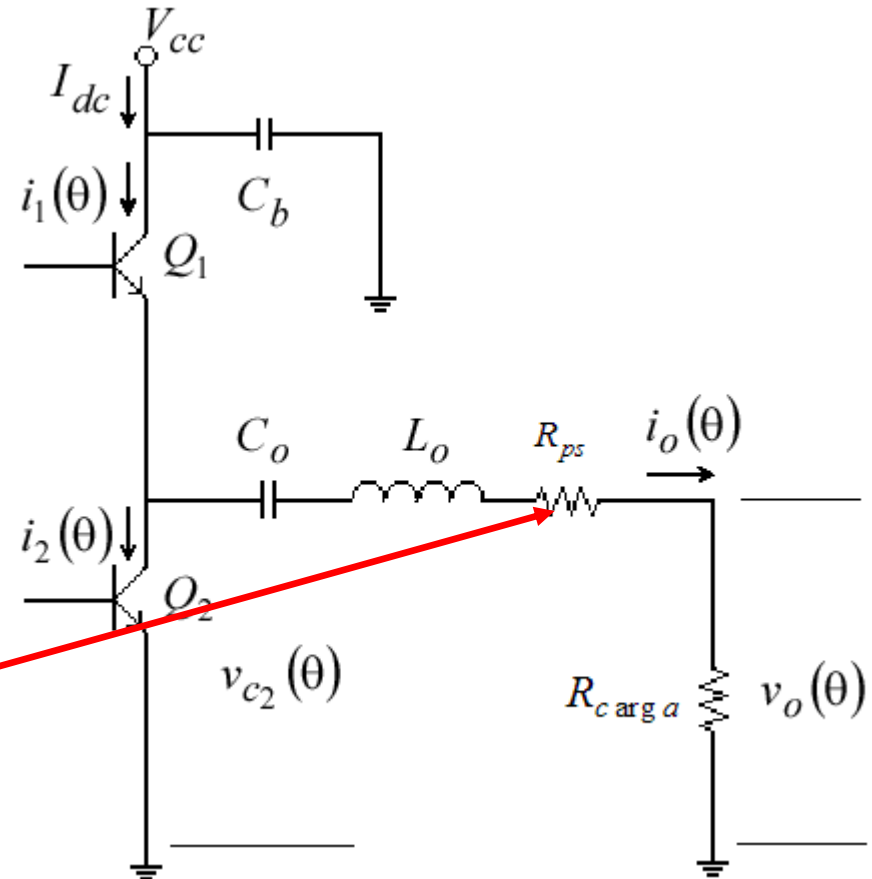
Degradación del rendimiento por las pérdidas en L

$$Q_D = \frac{2\pi \cdot f \cdot L_0}{R_{ps}}$$

$$Q_C = \frac{2\pi \cdot f \cdot L_0}{R_{ps} + R_{carga}}$$

$$\eta = \left(1 - \frac{Q_C}{Q_D}\right) = \frac{R_{carga}}{R_{carga} + R_{ps}}$$

$$\eta_2 = \frac{R_{carga}}{R_{carga} + R_{ps}}$$



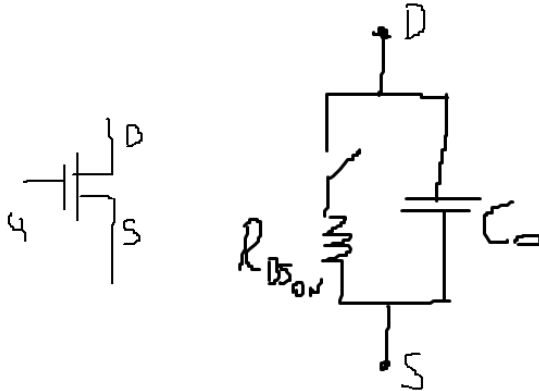
# Amplificador clase D

## Apartamiento de las condiciones ideales

Degradación del rendimiento por velocidad finita de conmutación

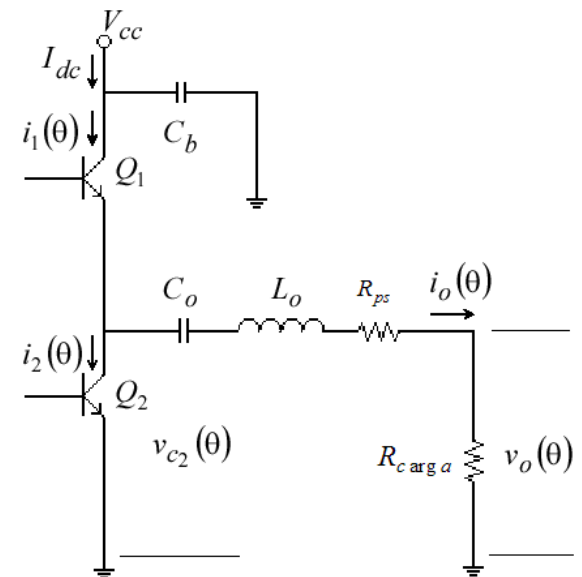
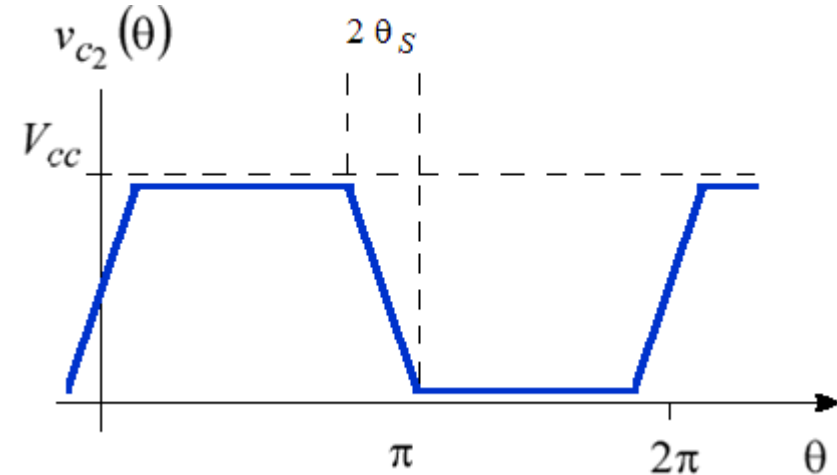
¿Por qué un interruptor disipa potencia durante la conmutación?

¿Por qué la tensión entre bornes no puede variar en tiempo cero?



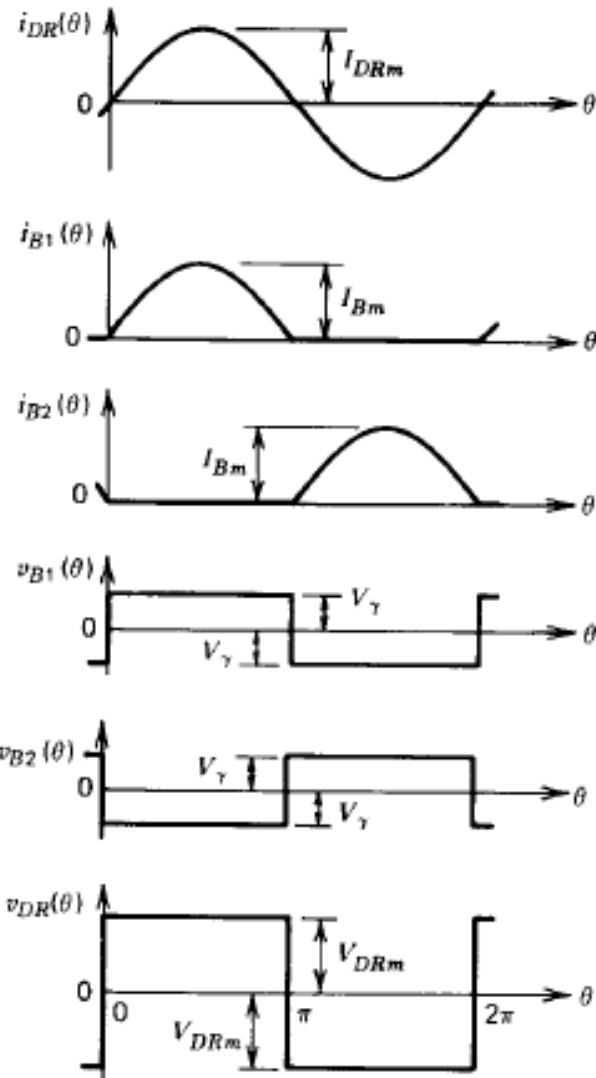
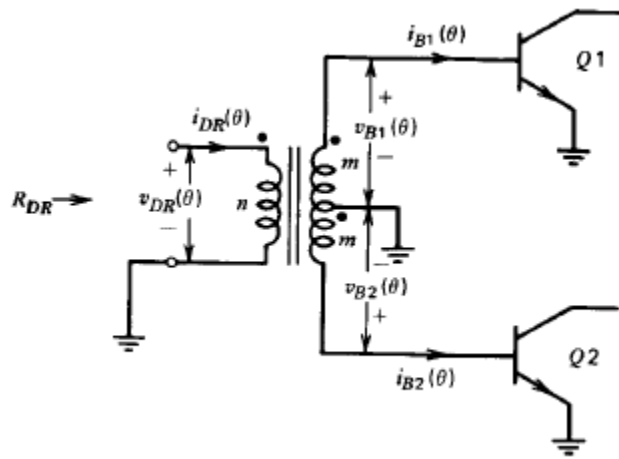
Para tiempos de transición cortos puede aproximarse (Raab, 1981)

$$\eta_3 = \frac{\sin(\theta_s)}{\theta_s}$$



# Amplificador clase D

Potencia de excitación



$$R_{DR} = \frac{4}{\pi} \frac{n^2}{m^2} \frac{V_\gamma}{I_{Bm}}$$

$$P_{DR} = \frac{2}{\pi} V_\gamma I_{Bm}$$



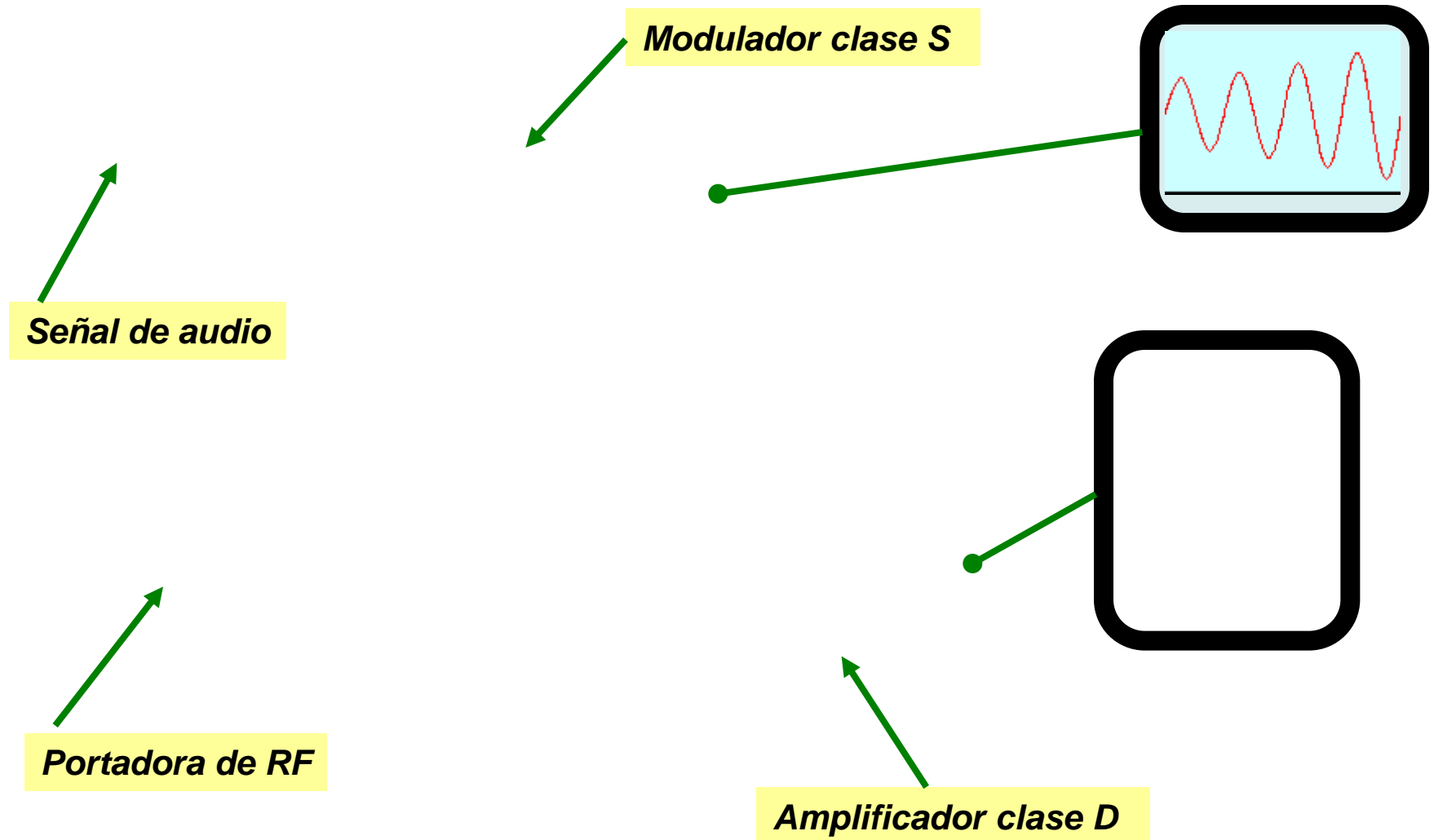
# ***Amplificador clase D***

Dimensionamiento de componentes:

- Tensión pico y RMS sobre los transistores
- Idem diodos en antiparalelo
- Corrientes RMS y pico sobre los transistores
- Corriente RMS sobre L y C
- Corriente media sobre el choke
- Corriente RMS sobre el capacitor de desacople de fuente



# Transmisor de AM

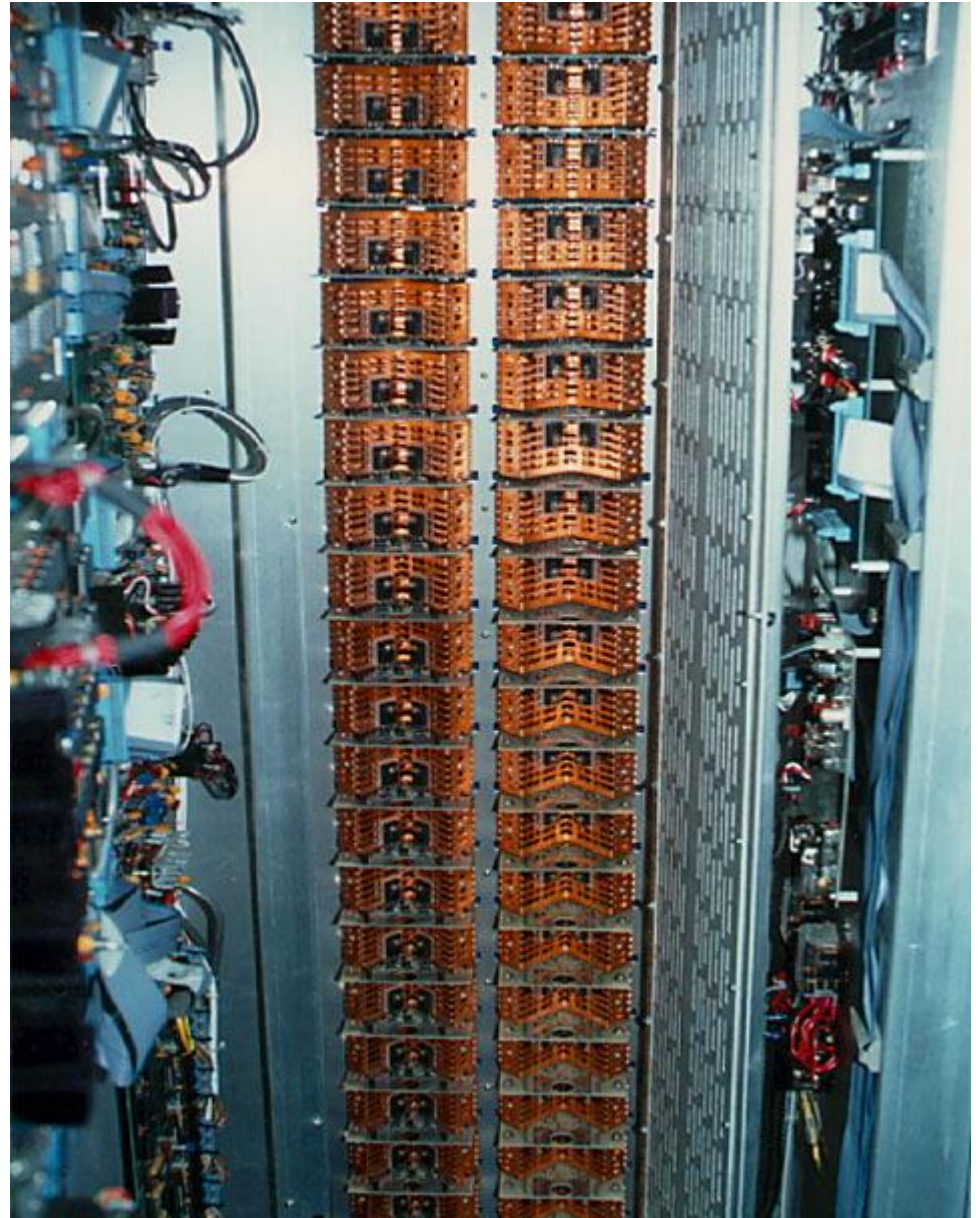


# Transmisor de AM

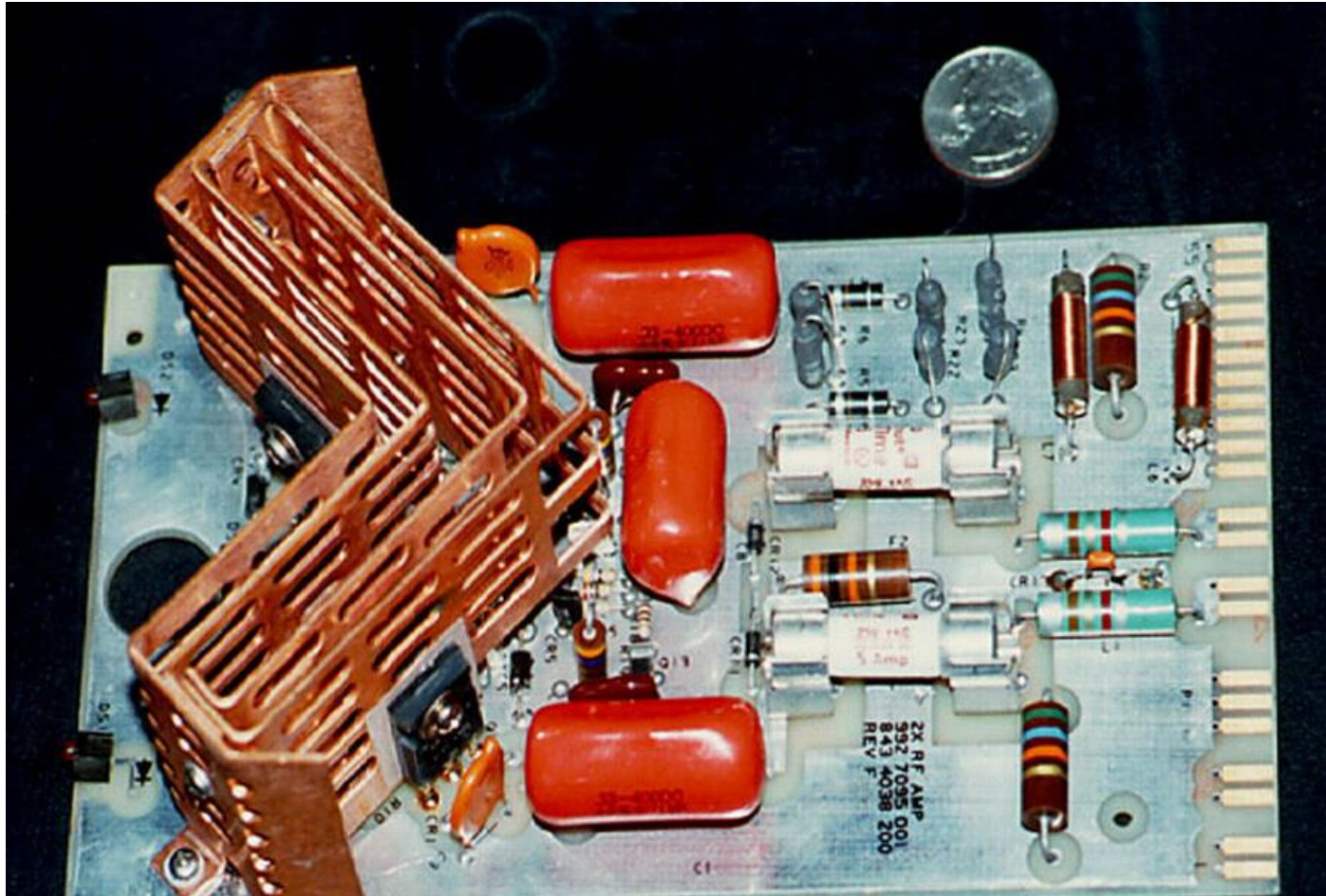
*El tablero integrador controla estas pilas de módulos de salida, un total de 64 módulos por set.*

*Este transmisor contiene dos de estos sets entregando la señal de salida de RF en vez de un enorme tubo o un par de tubos en clase C.*

*Estos operan en clase D, lo que significa que cambian de ON a OFF produciendo una perfecta onda cuadrada, y la potencia de salida es entregada por muchos módulos, cada uno aportando una pequeña parte de la señal total.*



# Transmisor de AM



*Este es uno de los módulos de salida, utiliza 8 transistores y es capaz de entregar aproximadamente 1.5 kW, tanto a la entrada como a la salida tenemos una onda cuadrada cuya frecuencia fundamental es la del transmisor de radio. En el caso de WABC, es 770kHz.*



# Transmisor de AM

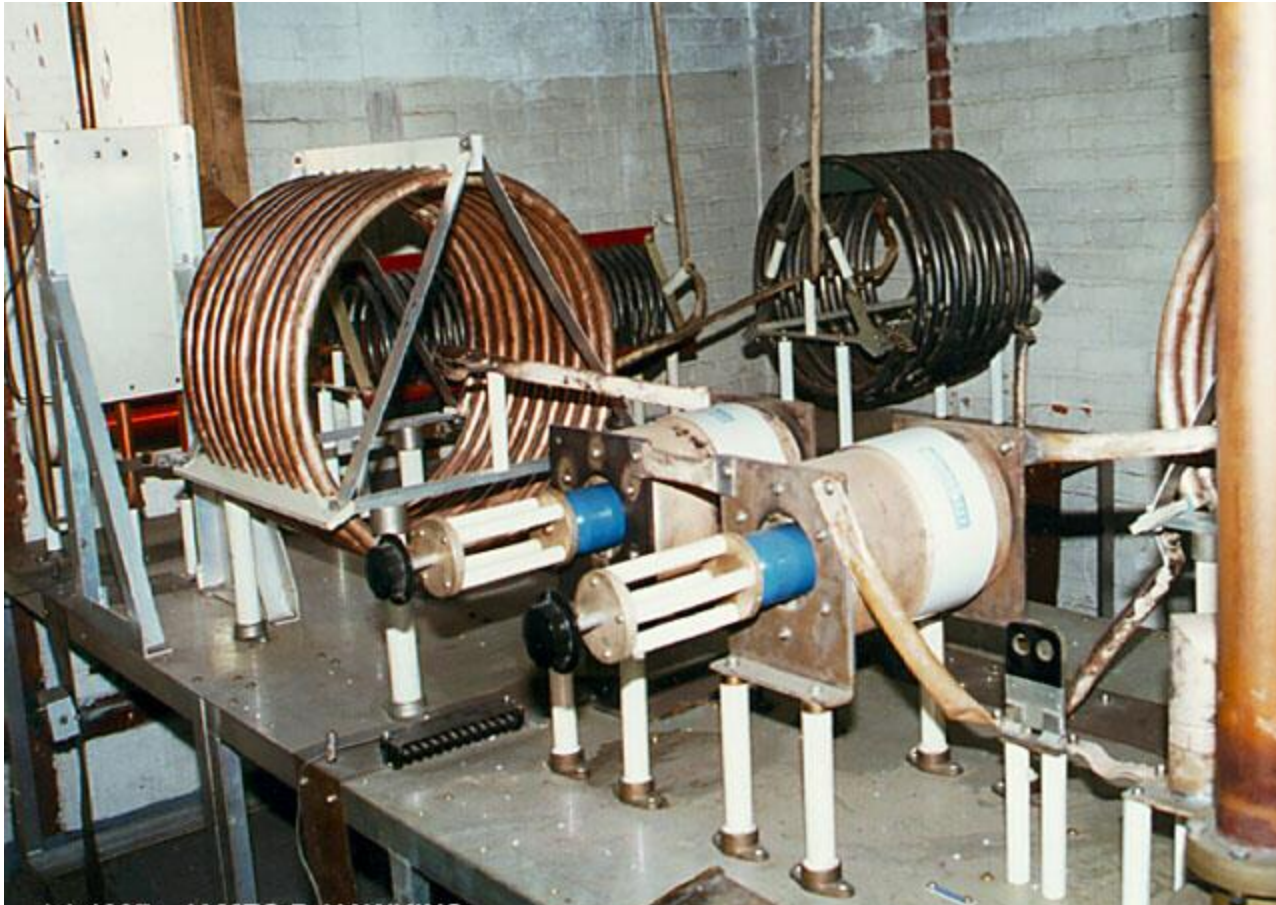


# *Transmisor de AM*





# Transmisor de AM



*Vista de inductores y capacitores dentro de la cabina de ajustes ubicada en la base de la antena. Los dos capacitores de ajuste son al vacío, el inductor oscuro ubicado en la parte trasera forma parte de los filtros de armónicos y dado el fuerte campo magnético en la espiral, la señal de modulación presente podría ser oída, haciendo que la espiral actuara como un parlante.*



*El enorme aislante soportando el peso total de la torre 648 ft, junto con el viento que la mueve. Notar "Johnny Balls" que provee un espacio pequeño lo suficientemente largo para prevenir un arco del normal de 15000 volt de radio de señal, pero suficientemente cerrado para dirigir al tierra relámpagos, protegiendo el equipo de transmisión.*

# Transmisor de AM



*La vista mas amplia muestra la base de la torre, la alimentación llega desde la cabina de ajustes a través de la ventana aislante. La impedancia de la antena es de 121 OHMS*



# Filtros de armónicos



<http://www.telewave.com/index.html>



# *Filtros de armónicos*

