

Amplificadores de Potencia (Clase “A”)

Jesús David Esparza Cabrera

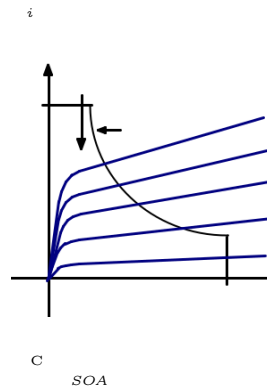
Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara

1 de Octubre del 2019

Los amplificadores de potencia son convertidores que transforman la energía de la fuente de polarización en señal de potencia de salida. Estos pueden ser tipo clase A, AB, B y C. Los cuales tienen distintos parámetros de eficiencia y uso.

- Introducción

Un amplificador de potencia convierte la potencia de una fuente de corriente continua (Polarización V_{CC} de un circuito con transistores) a potencia de salida en forma de señal, lo cual es controlado usando una señal de entrada. Si sobre la carga se desarrolla una gran cantidad de potencia, el dispositivo deberá manejar una gran excursión en voltaje y corriente. Los puntos de operación deben estar en un área permitida de voltaje y corriente que asegure la máxima disipación, (SOA, Safe Operating Area). Se deben considerar los voltajes de ruptura y efectos térmicos permitidos en los dispositivos de estado sólido, las características no lineales en el funcionamiento y usar los parámetros para gran señal del dispositivo. La curva de la Fig. 1 muestra las características de emisor y colector de un transistor delimitada por el SOA, que está definido por la P_{CEMAX} . [1].



1) P_{CEMAX}

P_{CEMAX}

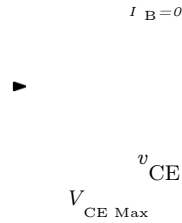


Figure 1: Area Segura de Operación del Transistor.

La corriente i_C y el voltaje V_{CE} no podrán sobrepasar los máximos indicados.

1

- Clasificación de los amplificadores de potencia

Existen cuatro clasificaciones básicas de amplificadores de potencia: A, AB, B y C. En clase A, el amplificador está polarizado de tal forma que la corriente por el colector sustituye durante el ciclo completo de la señal de entrada. Para clase AB, la polarización del amplificador es de tal forma que la corriente de colector solamente sustituye para un lapso menor a los 360° y mayor a los 180° de la onda correspondiente. Para el funcionamiento en clase B, la corriente incluirá solo durante 180° de la onda de entrada. Finalmente, para funcionamiento en clase C, el dispositivo conducirá durante un periodo inferior a los 180° correspondiente a la onda de entrada. La Fig. 2, muestra el comportamiento del dispositivo en las distintas clases.

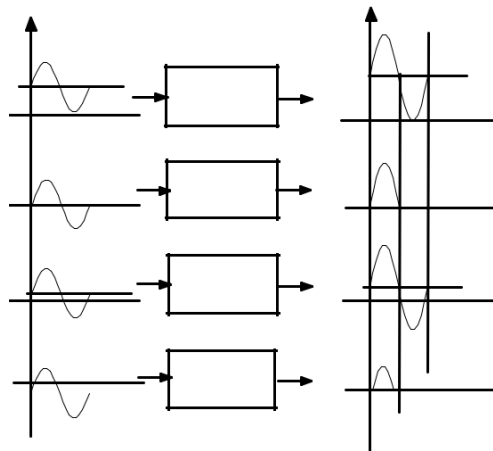
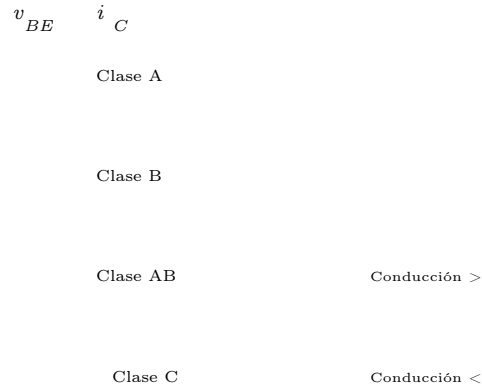


Figure 2: Comportamiento para clase A, AB, B, C.

Los amplificadores tipo AB y B usan configuraciones transistorizadas llamadas push-pull. Cada uno de estos amplificadores posee características de eficiencia y distorsión distintos, por lo cual, sus aplicación será a distintas áreas.

- Relaciones básicas en los amplificadores de potencia

Para el análisis de los amplificadores de potencia se requiere de relaciones asociadas a su funcionamiento y desempeño. Como el amplificador de potencia convierte la potencia de CC de la fuente de alimentación en una señal de potencia en la carga, la eficiencia de este proceso está dada por

$$\begin{aligned} P_{L(CA)} \\ = P_{CC} \end{aligned} \quad (1)$$

2

Donde es la eficiencia, $P_{L(CA)}$, es la potencia media de señal en la carga y P_{CC} , la potencia media de salida en la fuente de alimentación.

La potencia media disipada en el dispositivo de amplificación, considerando un transistor bipolar como dispositivo de potencia, será

$$P_{CE} = P_{CC} - P_L \quad (2)$$

Donde P_{CE} es la disipación media de colector, P_L es la potencia total, es decir, $P_L = P_{L(DC)} + P_{L(CA)}$.

Para la determinación de las potencias se usará (3), donde p es la potencia

instantánea, v e i son el voltaje y la corriente instantáneos.

$$p = vi \quad (3)$$

Sean v e i formas de onda periódica, con componente continua (la cual puede ser cero) y una componente de corriente alterna, no necesariamente sinusoidal

$$v = V_{DC} + v_{CA} \quad (4)$$

$$i = I_{DC} + i_{CA} \quad (5)$$

Luego la potencia media en un periodo T será

$$\begin{aligned}
P &= \frac{1}{Z_0} \int_0^T p \, dt \\
&= \frac{1}{Z_0} \int_0^T v_{DC} i_{DC} + v_{CA} i_{CA} \, dt \quad (6) \\
&= P_{CC} + P_{CA}
\end{aligned}$$

Donde, P_{CC} es la contribución de la componente continua y P_{CA} es la contribución de la componente alterna a la potencia media. Considerando $v_{CA}(t) = V_m \cos \omega t$ y $i_{CA}(t) = I_m \cos \omega t$; reemplazando en (6), se tiene

$$\begin{aligned}
P &= \frac{1}{Z_0} \int_0^T [(V_m \cos \omega t)(I_m \cos \omega t)] \, dt \\
&= \frac{1}{Z_0} \int_0^T V_m I_m \cos^2 \omega t \, dt \\
&= \frac{V_m I_m}{2} + \frac{V_m I_m}{2} \int_0^T \cos 2\omega t \, dt \quad (7)
\end{aligned}$$

Como $\int_0^T \cos 2\omega t \, dt = 0$; entonces

$$\begin{aligned}
P &= V_{DC} I_{DC} + \frac{V_m I_m}{2} \\
&= V_{DC} I_{DC} + V_{rms} I_{rms} \quad (8)
\end{aligned}$$

Cuando una señal de corriente periódica tiene componente continua el valor rms de la forma de onda se expresa como

$$I_{rms} = \sqrt{I_{DC}^2 + I_{1rms}^2 + I_{2rms}^2 + \dots + I_{nrms}^2} \quad (9)$$

Donde I_{DC} , es la componente continua de la señal, I_{1rms} es el primer armónico de la señal, I_{nrms} es el n -ésimo armónico de la señal. Para el caso de una señal sinusoidal con componente continua será

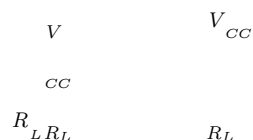
$$I_{rms} = \sqrt{I_{DC}^2 + I_{rms}^2} \quad (10)$$

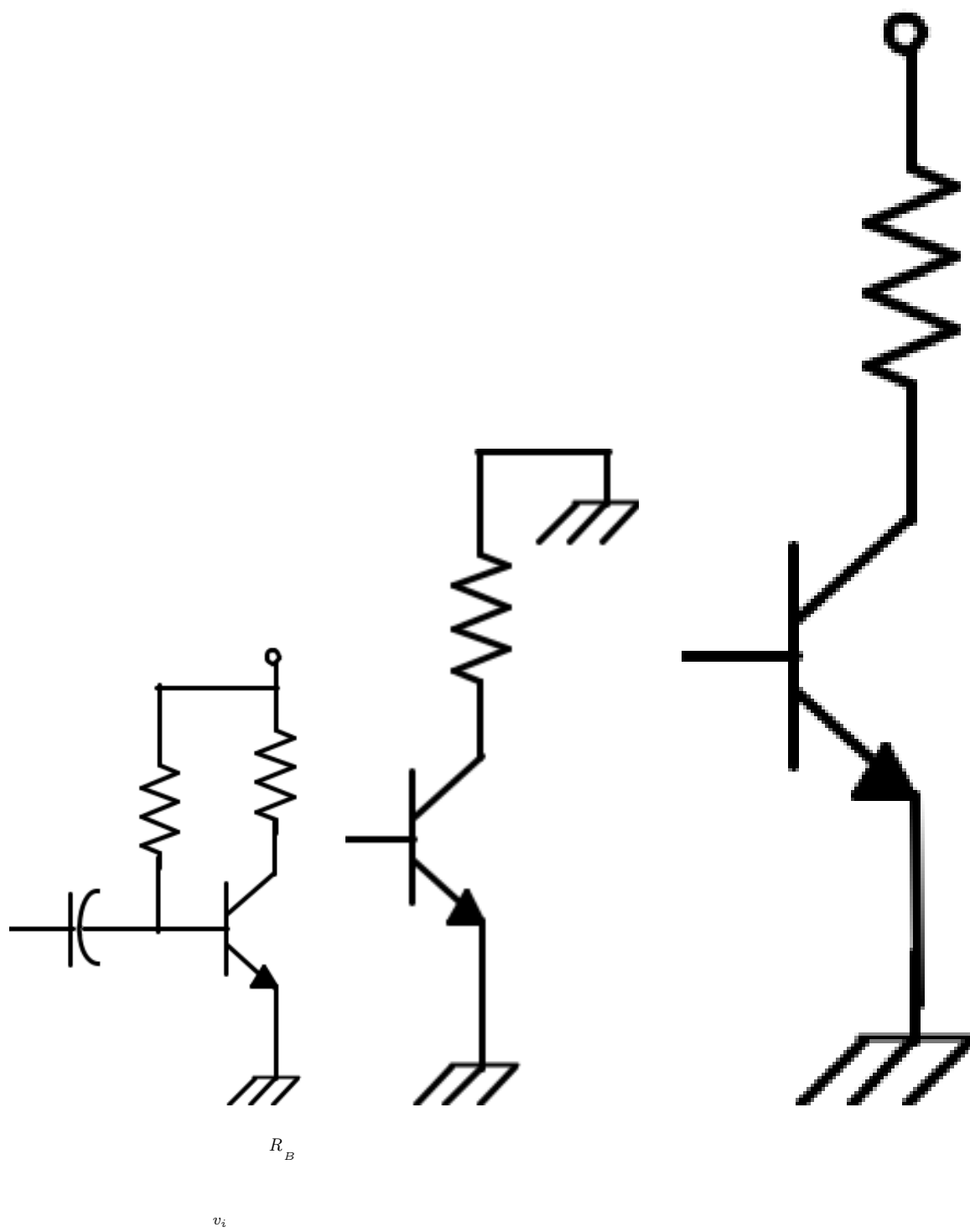
• El amplificador Clase A

En operación clase A, el transistor reproduce toda la señal de entrada, la corriente de colector es distinta de cero todo el tiempo, lo cual se considera muy ineficiente, ya que para señal cero en la entrada, se tiene un $I_{CQ} > 0$, luego el transistor disipa potencia.

4.1 Amplificador Emisor común

Sea la configuración de emisor común de la Fig. 3a, la cual funciona en clase A. Por simplicidad se hace la resistencia de emisor $R_E = 0$. Se selecciona R_L para máxima potencia de salida, lo que implica que la recta de carga de CA debe pasar por la curva P_{CEMAX} . El circuito equivalente de CC y CA se indica en la Fig. 3b-c.





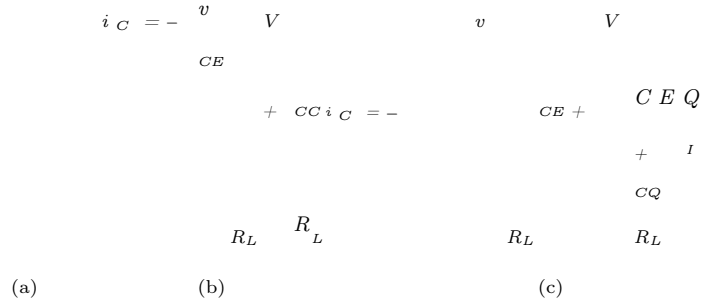
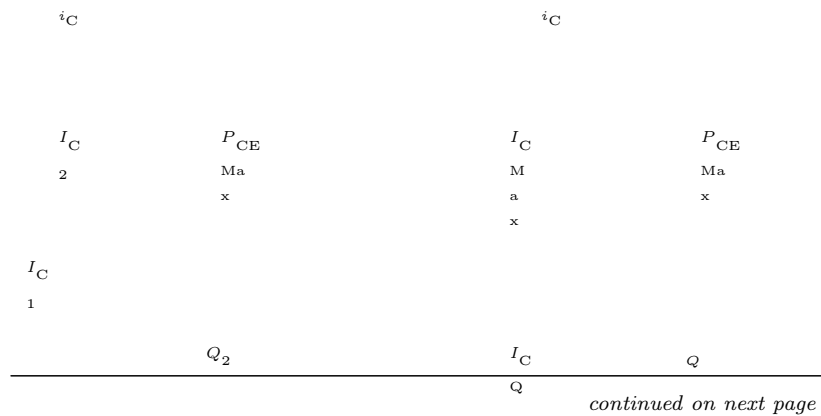


Figure 3: (a) Emisor Común. (b) CC. (c) CA.

Dependiendo del diseño, las rectas de carga estarán en dos puntos de operación Q; los cuales se intersectan con la curva P_{CEMax} ; de acuerdo a la Fig. 4a, se observa que I_{C2} será la máxima corriente permitida para i_C y V_{CE1} será el

4

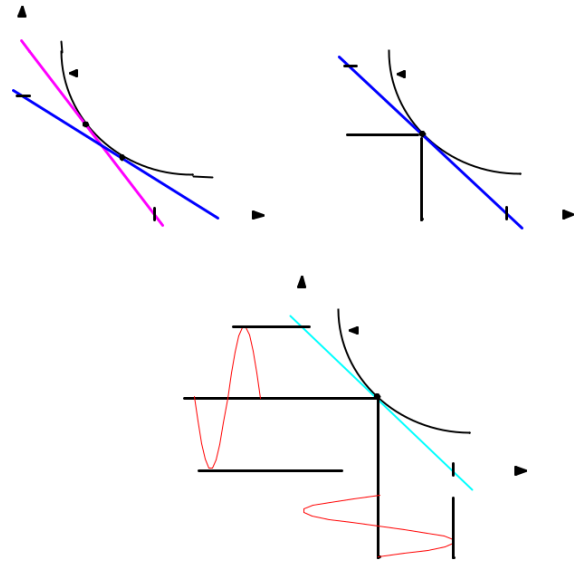
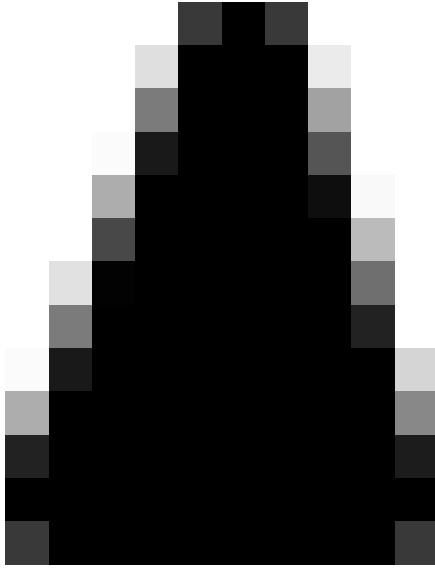
máximo voltaje permitido para v_{CE} : El óptimo elegido será el punto de reposo Q_1 , debido a que $I_{C1} < I_{C2}$, lo cual implica una menor corriente de colector, menor distorsión y una menor corriente de base requerida para obtener I_C . Para que la realización sea factible, V_{CE1} debe ser menor que V_{CEO} , así se tomará que $V_{CE1} = V_{CC}$. Lo cual puede no ser necesariamente efectivo para otras configuraciones en clase A.



continued on next page

Q_1

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cc}
 V_C & V_C \\
 E_2 & E_1 v_{CE}
 \end{array} \\
 \\
 \begin{array}{cc}
 (a) & i_C \\
 I_C & V_C \\
 M & C \\
 a & \\
 x = & R_L
 \end{array} \\
 \\
 \begin{array}{cc}
 V_C & I \\
 C & \\
 I & C \\
 C Q = & Q \\
 2R & \\
 L &
 \end{array} \\
 \\
 \begin{array}{cc}
 V_C & V_C \\
 EQ & E \\
 & M \\
 & ax
 \end{array} \\
 \\
 \begin{array}{cc}
 (b) & P_{CE} \\
 & Ma \\
 & x
 \end{array} \\
 \\
 \begin{array}{cc}
 V_C & = & V & v_{CE} \\
 EQ_V & & & \\
 & C & C \\
 & E & C \\
 & M \\
 & ax
 \end{array}
 \end{array}$$



$$V_{CEQ} = \frac{V_{CC}}{2}$$

(c)

(a) Distintos puntos Q. (b) Punto Q para máxima excursión simétrica.

(c) Excursión de la corriente y el voltaje.

Para valores arbitrarios I_{CMax} y V_{CEMax} , el punto Q estará dado por la tangente a la curva P_{CEMax} , en las coordenadas $I_{CQ} = \frac{I_{CMax}}{2}$ y $V_{CEQ} = \frac{V_{CEMax}}{2}$

V_{CEMax} de acuerdo a la Fig.

4b. Se asume que la señal de entrada puede

2

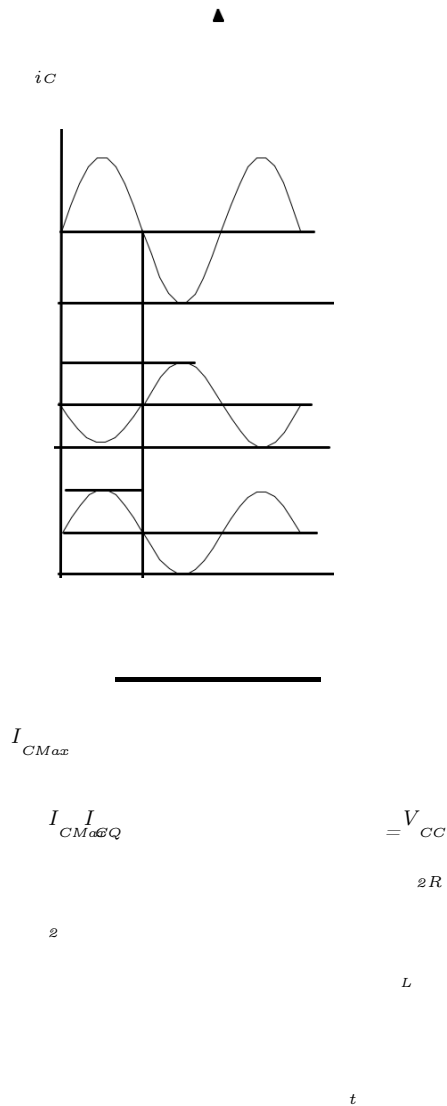
manejar el transistor entre el corte y la saturación, de esta forma para una variación en la corriente de base, se tiene la variación en la corriente de colector, y una variación en la potencia. La recta de carga de CA tiene la misma pendiente que la recta de carga de CC. En la Fig. 4c, se observan la onda de corriente i_C

y v_{CE} : Note que la excursión será simétrica, así de acuerdo se tiene $I_{CQ} = \frac{V_{CC}}{2R_L}$

y $V_{CEQ} = \frac{V_{CC}}{2}$.

La Fig. 5, muestra las formas de onda a través del tiempo i_C , v_{CE} , p_{CC} . La onda de potencia instantánea de la fuente p_{CC} , estará dada por el producto $V_{CC}i_C$ y tiene la misma forma que i_C . $P_{CE} = i_C v_{CE}$. Note que la forma de onda de P_{CE} tiene una frecuencia el doble de las otras formas de onda.

5



1) i_{CE}

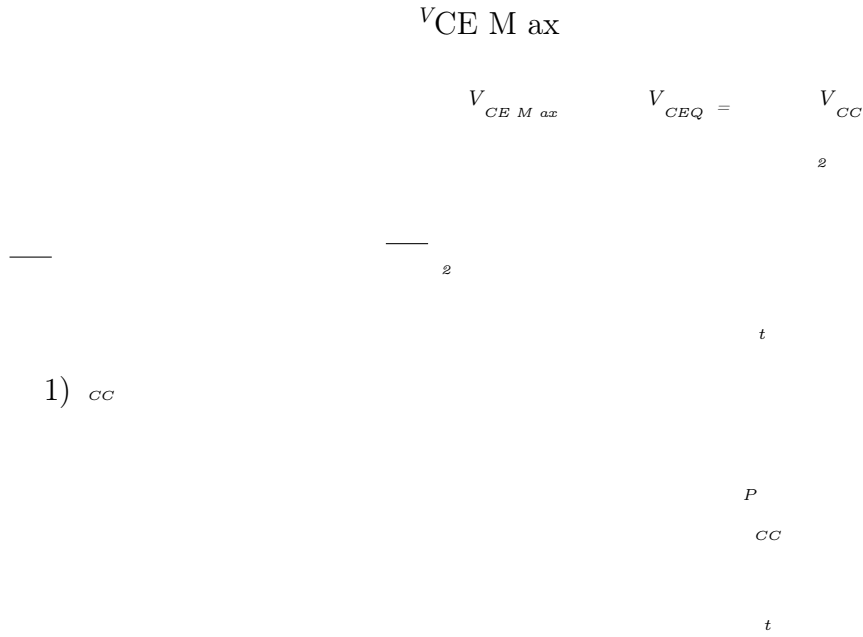


Figure 5: Curvas de i_C , v_{CE} y p_{CC} .

4.1. Determinación de la Eficiencia

La potencia en la carga será:

$$P_L = I_{Crms}^2 R_L \quad (11)$$

Luego de acuerdo a (9) o (10), considerando que la corriente tiene componente continua y alterna, se tiene:

$$P_L = \frac{I_{CQ}^2}{2} + \frac{I_{CQ}^2}{4} = \frac{3}{4} I_{CQ}^2$$

continued on next page

continued from previous page

$$= \frac{I_{CQ}^2 R_L}{2} = \frac{R_L}{2} \frac{V^2}{4R_L^2} = \frac{V^2}{8R_L} \quad (12)$$

Entonces

$$P_L = P_{CC} + P_{L(CC)} = \frac{V^2}{8R_L} + \frac{V^2}{4R_L} = \frac{3V^2}{8R_L} \quad (13)$$

$P_{L(CC)}$

$P_{L(CA)}$

Por otro lado, la potencia promedio entregada por la fuente será

$$P_{CC} = V_{CC} I_{CQ} = \frac{V^2}{2R_L} \quad (14)$$

$2R_L$

6

Finalmente, la eficiencia estará dada por:

$$\eta = \frac{P_L}{P_{CC}} = \frac{\frac{3V^2}{8R_L}}{\frac{V^2}{2R_L}} = 0.75 \quad (15)$$

$2R_L$

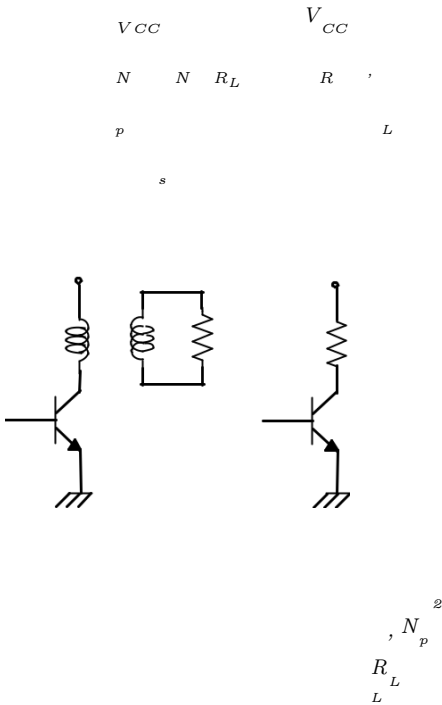
La eficiencia de este amplificador es baja, 25% , esto debido principalmente a que se mantiene una corriente de reposo en la carga, la cual no es usada (desperdiciada).

La potencia disipada en el transistor será:

$$\begin{aligned}
 P_{CE} &= P_{CC} - P_L \\
 &= \frac{V_{cc}^2}{2R_L} - \frac{V_{cc}^2}{4R_L} = \frac{V_{cc}^2}{4R_L} \quad (16)
 \end{aligned}$$

4.2 Configuración emisor común con transformador de acoplo

Sea el circuito de la Fig. 6a. Una forma de mejorar la eficiencia del amplificador clase A es usar el acoplo de la carga mediante un transformador. ¿Cómo es eso?



(a) Amplificador acoplado por transformador. (b) Equivalente.

Para CC y CA se obtienen los circuitos equivalentes de la Fig .7.



$$V_{CC} \quad v \quad = V_{CE} = V_{CEQ}$$

$$R_L'$$

$$V_{CEQ} \quad V_{CEQ} \quad V_{CC}$$

$$V_{CEQ} \quad V_{CEQ} \quad V_{CC}$$

(a)

(b)

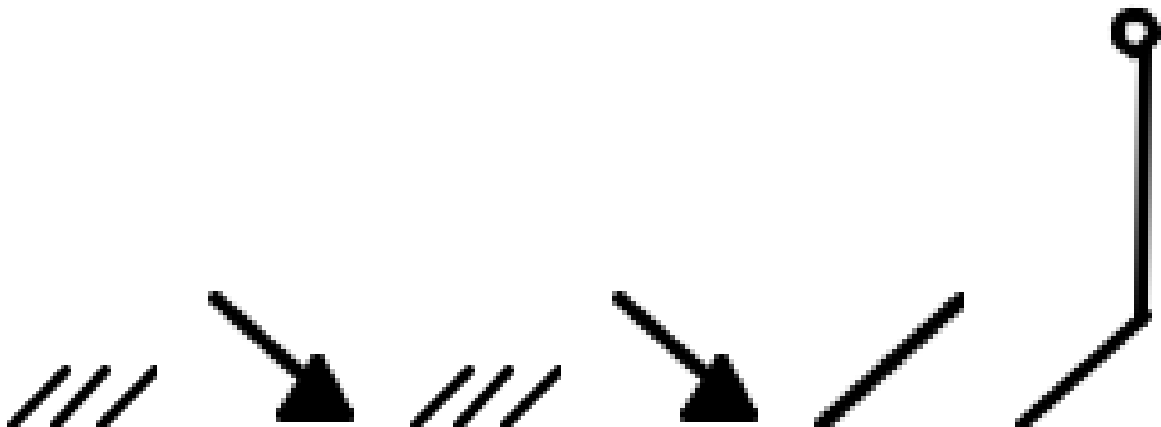


Figure 7: Equivalentes de CC y CA