

Examen de Electrónica Avanzada 1
10/02/2020

Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

La prueba es **sin** material.

Los puntajes de los problemas se indican sobre un total de 100 puntos.

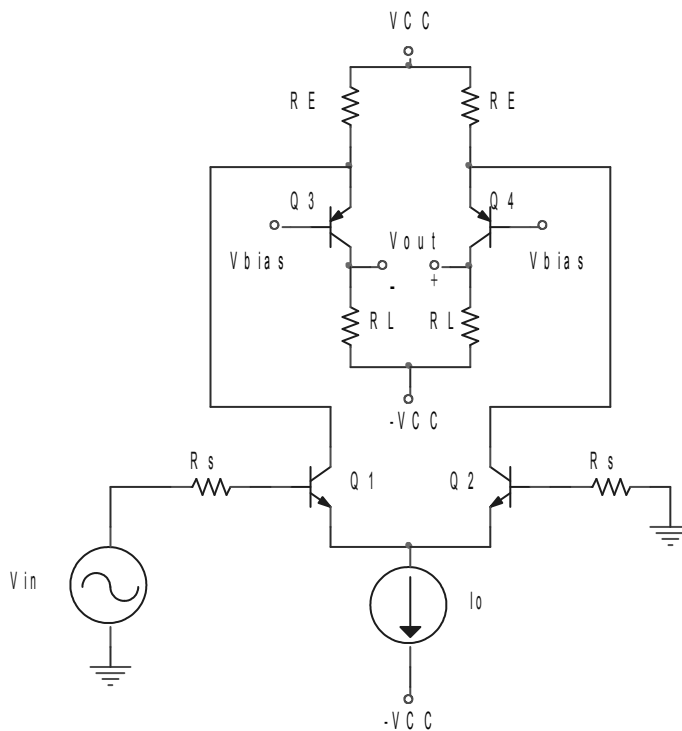
Problema 1 (37 puntos):

En el circuito de la figura:

- Calcular la ganancia V_{out}/V_{in} en baja frecuencia.
- Calcular la frecuencia de corte superior.
- Calcular el f_T del circuito.

Datos: $I_o = 10 \text{ mA}$, $R_L = 50 \Omega$, $R_E = 120 \Omega$, $R_s = 250 \Omega$, $V_{CC} = |-V_{CC}| = 2,5 \text{ V}$, $V_{bias} = 0,8 \text{ V}$.

Q1 a Q4 tienen $f_T = 600 \text{ MHz}$ @ $I_c = 10 \text{ mA}$, $c_{\mu} = 7 \text{ pF}$, $c_{je} = 35 \text{ pF}$, $\beta = 300$, $V_{BE} = V_{EB} = 0,7 \text{ V}$.



Problema 2 (37 ptos):

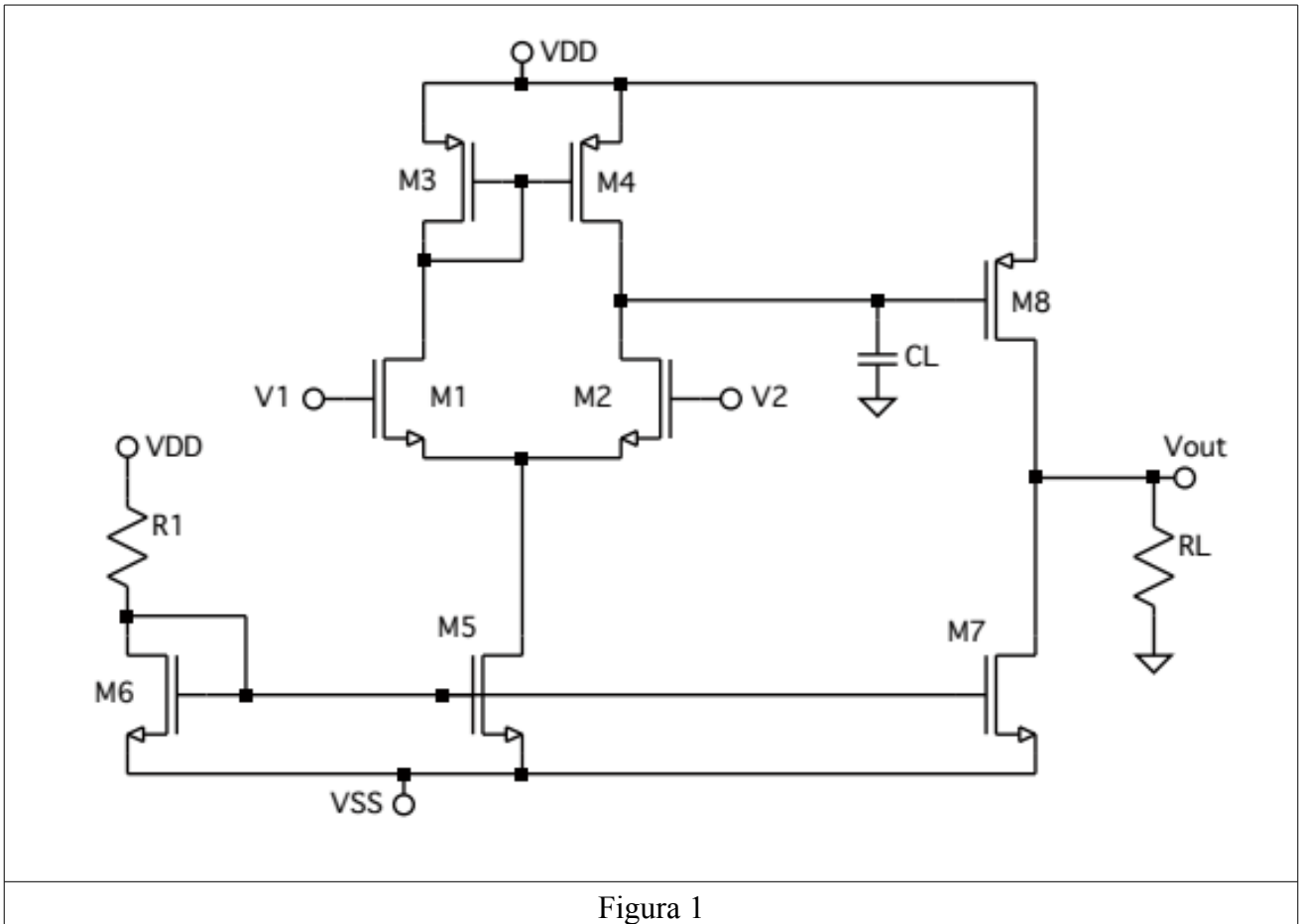
Considere el par diferencial de la Figura 1.

- Determine la corriente de polarización de todos los transistores.
- Hallar la ganancia diferencial $V_{out}/(V_1 - V_2)$ en baja frecuencia.
- Calcule la frecuencia de caída de 3 dB del circuito (f_p).
- Calcule la frecuencia de transición (f_T) del circuito.

- e) Determine el rango de entrada en modo común (ICMR) del circuito. Considere que M7 y M8 están siempre en zona de saturación.

Datos

- $R1 = RL = 10\text{ k}\Omega$, $CL = 1.5\text{ nF}$.
- $VDD = -VSS = 10\text{ V}$.
- Para todos los transistores: $V_{tn} = |V_{tp}| = 1\text{ V}$, $\beta_n = \beta_p = 1\text{ mA/V}^2$, $V_A = 20\text{ V}$, $\delta = 0$.



Pregunta: (26 puntos):

En la Figura 1 se tiene una variación de una etapa de potencia tipo clase AB. El transistor Q4 está implementado con un pnp tipo TIP42 y el Q3 con un npn tipo TIP41, cuya hoja de datos se da en la Figura 2.

Se pide:

- Si se quiere una potencia máxima por la carga de 16W, ¿cuál es el voltaje de la fuente necesario?
- Consideramos ahora amplitudes a la salida entre 0 y la que da la potencia de 16W a la salida. ¿Cuál es la máxima potencia disipada por cada uno de los transistores Q3 y Q4 para entradas en este rango? ¿Cuánto vale en este caso la eficiencia del circuito, despreciando la potencia disipada en las etapas de Q1 y Q2?
- En caso de usar un disipador cuya resistencia térmica con el ambiente es de 2.5°C/W y la resistencia del encapsulado con el disipador es de 2°C/W, ¿cuál es la máxima potencia que puede disipar cada transistor y la temperatura de la juntura en ese caso?

Datos: $R_L=2\Omega$, $V_{CC}=V_{EE} \gg V_{BE}$, V_{CEsat}

Nota: Se supondrá que I_{bias} es suficientemente grande para no limitar la potencia que se puede entregar a la carga.

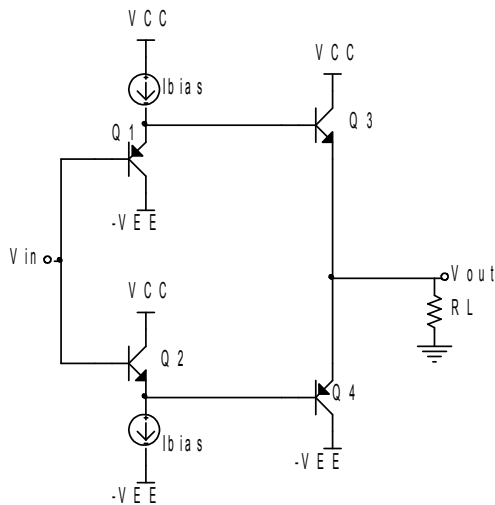


Figura 1

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage TIP41, TIP42 TIP41A, TIP42A TIP41B, TIP42B TIP41C, TIP42C	V_{CE0}	40 60 80 100	Vdc
Collector-Base Voltage TIP41, TIP42 TIP41A, TIP42A TIP41B, TIP42B TIP41C, TIP42C	V_{CB}	40 60 80 100	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	5.0	Vdc
Collector Current- Continuous Peak	I_C	6.0 10	Adc
Base Current	I_B	2.0	Adc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ C$ Derate above 25°C	P_D	65 0.52	Watts W/°C
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ C$ Derate above 25°C	P_D	2.0 0.016	Watts W/°C
Unclamped Inductive Load Energy (Note 1)	E	62.5	mJ
Operating and Storage Junction, Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +150	°C

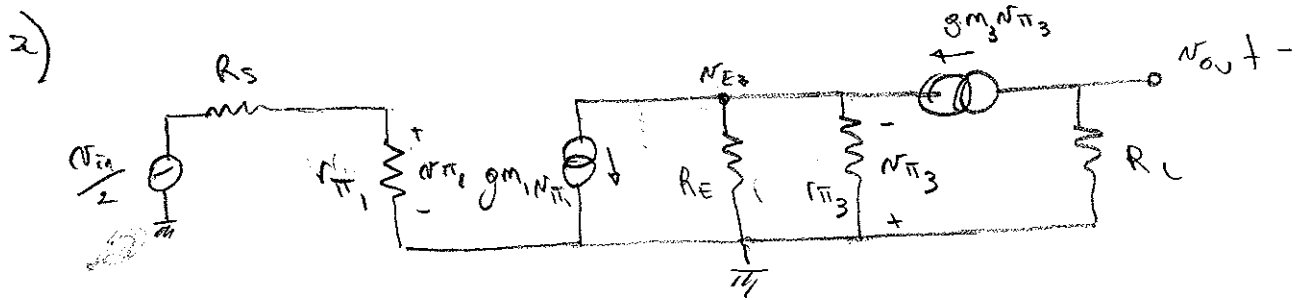
THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.67	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	57	°C/W

1. $I_C = 2.5 A$, $L = 20 mH$, P.R.F. = 10 Hz, $V_{CC} = 10 V$, $R_{BE} = 100 \Omega$.
*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

Figura 2

Problema 1 :



$$I_0 = 10 \text{ mA} \Rightarrow I_{C1} = I_{C2} = 5 \text{ mA} \Rightarrow g_{m1} = g_{m2} = \frac{5 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 0,19 \text{ } \Omega^{-1}$$

$$r_{\pi 1} = r_{\pi 2} = \frac{\beta}{g_{m1,2}} = 1560 \text{ } \Omega$$

$$I_{R_E} = \frac{V_{CC} - (V_{CE3} + V_{EB})}{R_E} = \frac{2,5 - (0,8 + 0,7)}{R_E}$$

$$= \frac{1}{120 \text{ } \Omega} = 8,33 \text{ mA}$$

$$I_{C1} + I_{C3} = I_{R_E} \Rightarrow I_{C3} = I_{R_E} - I_{C1} = 8,33 \text{ mA} - 5 \text{ mA} = 3,33 \text{ mA}$$

$$g_{m3} = \frac{3,33 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 0,13 \text{ } \Omega^{-1}, \quad r_{\pi 3} = \frac{\beta}{g_{m3}} = 2340 \text{ } \Omega$$

$$v_{E3} = -g_{m1} \cdot v_{\pi 1} \cdot \left(R_E \parallel r_{\pi 3} \parallel \frac{1}{g_{m3}} \right) \approx -g_{m1} \cdot v_{\pi 1} \cdot \frac{1}{g_{m3}} = -\frac{g_{m1}}{g_{m3}} v_{\pi 1} = -1,5 v_{\pi 1}$$

$$v_{\pi 1} = \frac{v_{in}}{2} \cdot \frac{r_{\pi 1}}{R_s + r_{\pi 1}} \approx \frac{v_{in}}{2} \cdot 0,86 \Rightarrow v_{E3} = -\frac{g_{m1}}{g_{m3}} \cdot \frac{v_{in}}{2} \cdot 0,86$$

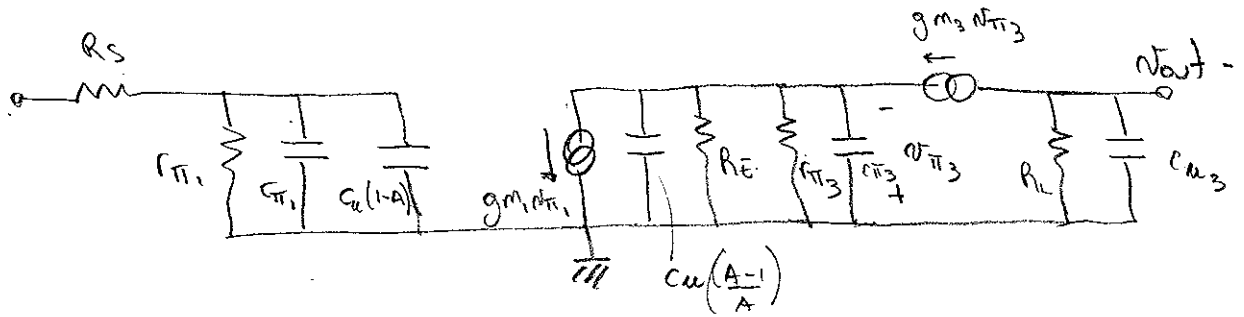
$$v_{out}^- = -g_{m3} v_{\pi 3} \cdot R_L = -g_{m3} \cdot (-v_{E3}) \cdot R_L = -\cancel{g_{m3}} \cdot \frac{g_{m1}}{\cancel{g_{m3}}} R_L \cdot v_{\pi 1} =$$

$$= -g_{m1} R_L \cdot \frac{v_{in}}{2} \cdot 0,86 \approx 4,1 \cdot v_{in} \Rightarrow \frac{v_{out}^-}{v_{in}} = -4,1$$

Por simetria. $v_{out}^+ = 4,1 \cdot v_{in} \Rightarrow v_{out} = v_{out}^+ - v_{out}^- = 8,2 v_{in}$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{v_{out}}{v_{in}} = 8,2}$$

b)



$$A = -1,5$$

$$f_T = \frac{g_m}{2 \cdot \pi \cdot (C_{\pi} + C_u)} \Rightarrow C_{\pi} + C_u = \frac{g_m}{2 \cdot \pi \cdot f_T} = \frac{10 \text{ mA}}{2 \cdot \pi \cdot 600 \times 10^6 \cdot 26 \text{ mV}} = 102 \text{ pF}$$

$$C_{\pi} = 95 \text{ pF} = 35 \text{ pF} + K \cdot 10 \text{ mA} \Rightarrow K = 6 \text{ pF/mA}$$

$$C_{\pi_1} = C_{\pi} @ 5 \text{ mA} = 35 \text{ pF} + K \cdot 5 \text{ mA} = 65 \text{ pF}$$

$$C_{\pi_3} = C_{\pi} @ 3,3 \text{ mA} = 35 \text{ pF} + K \cdot 3,3 \text{ mA} = 55 \text{ pF}$$

$$f_{p1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_s \parallel r_{\pi_1} \cdot (C_{\pi_1} + (1 + 1,5) \cdot C_u)} = 9,0 \text{ MHz}$$

$$f_{p2} = \frac{g_{m3}}{2 \cdot \pi \cdot (C_{\pi_3} + \frac{1 + 1,5}{1,5} \cdot C_u)} = 305 \text{ MHz}$$

$$f_{p3} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_c \cdot C_{u3}} = 454 \text{ MHz}$$

$$\Rightarrow f_{-3\text{dB}} = 9,0 \text{ MHz}$$

$$c) f_T = G \cdot \text{BW} = 8,2 \cdot 9,0 \text{ MHz} = 73,8 \text{ MHz} \Rightarrow f_T = 73,8 \text{ MHz}$$

$$a) \left. \begin{aligned} V_{GG} &= V_{DD} - R_1 I_{D6} \\ I_{D6} &= \frac{\beta}{2} (V_{GG} - V_{to} - V_{SS})^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{V_{DD}}{R_1} - \frac{V_{GG}}{R_1} = \frac{\beta}{2} (V_{GG} - V_{to} - V_{SS})^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{GG}^2 + 18,2V \times V_{GG} + 79V^2 = 0 \Rightarrow V_{GG} = -7,1V \Rightarrow I_{D6} = 1,8mA$$

$$I_{D5} = I_{D6} = I_{D7} = I_{D8} = 1,8mA$$

$$I_{D1} = I_{D2} = I_{D3} = I_{D4} = \frac{I_{D5}}{2} = 0,9mA$$

$$b) \left. \begin{aligned} g_{m1,2} &= \sqrt{2\beta I_{D1}} = 1,3mS \\ r_{o1,2} &= r_{o3,4} = \frac{V_A}{I_{D1}} = \frac{20V}{0,9mA} = 22k\Omega \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{v_{d2}}{v_1 - v_2} = g_{m1,2} \cdot (r_{o2} \parallel r_{o4}) =$$

$$= 1,3mS \times \frac{22k\Omega}{2} = 14,3V/V$$

$$\left. \begin{aligned} g_{m8} &= \sqrt{2\beta I_{D8}} = 1,9mS \\ r_{o7,8} &= \frac{V_A}{I_{D8}} = \frac{20V}{1,8mA} = 11k\Omega \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{v_{out}}{v_{d2}} = -g_{m8} \cdot (r_{o7} \parallel r_{o8} \parallel R_L) =$$

$$= -1,9mS \cdot (11k\Omega \parallel 11k\Omega \parallel 10k\Omega) = -6,7V/V$$

$$\Rightarrow \frac{v_{out}}{v_1 - v_2} = 14,3 \frac{V}{V} \times (-6,7 \frac{V}{V}) = -96V/V$$

$$c) f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi C (r_{o2} \parallel r_{o4})} = \frac{1}{2\pi \cdot 1,5nF \cdot 11k\Omega / 2} = 19,3kHz$$

$$d) f_T = f_{-3dB} \times \left| \frac{v_{out}}{v_1 - v_2} \right| = 19,3kHz \times 96 \frac{V}{V} = 1,9MHz$$

$$e) V_{GS} = -7,1V \Rightarrow V_{GS5} = -7,1V + 10V = 2,9V$$

$$I_{D1} = \frac{\beta}{2} (V_{GS1} - V_{to})^2 \Rightarrow V_{GS1} = 2,3V$$

$$I_{D1} = 0,9mA$$

Saturación M5: $v_1 > v_{SS} + \underline{V_{DSsat5}} + V_{GS1} = -5,8V \rightarrow \boxed{v_1 > -5,8V}$

$$V_{GS6} - V_{to} = V_{GS5} - V_{to} = 2,9V - 1V = 1,9V$$

Saturación M1: $v_{DS1} = (V_{DD} - \cancel{V_{GS3}}) - (v_1 - \cancel{V_{GS1}}) > V_{DSsat1} = V_{GS1} - V_{to} \Rightarrow$

$$\Rightarrow v_1 < V_{DD} - V_{GS1} + V_{to} = 8,7V \rightarrow \boxed{v_1 < 8,7V}$$

Saturación M2: $V_{DS2} = V_{G8} - V_{S1}$

$$\left. \begin{aligned} V_{S68} = V_{GS5} = 2,9V &\Rightarrow V_{G8} = V_{DD} - V_{GS5} = 7,1V \\ V_{S1} = V_1 - V_{GS1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_{DS2} = 7,1V - V_1 + 2,3V = 9,4V - V_1$$

$$V_{DSsat2} = V_{GS2} - V_{to} = V_{GS1} - V_{to} = 1,3V$$

$$V_{DS2} > V_{DSsat2} \text{ si } 9,4V - V_1 > 1,3V \Rightarrow \boxed{V_1 < 8,1V}$$

Saturación M4: $V_{SD4} = V_{S68} = 2,9V$

$$V_{SDsat4} = V_{S64} - V_{to} = V_{GS1} - V_{to} = 1,3V$$

$$V_{SDsat4} < V_{SD4} \text{ si } 1,3V < 2,9V \text{ que se cumple.}$$

Nos quedamos con el rango en que se cumplen las tres condiciones

$$\boxed{ICMR = [-5,8V; 8,7V]}$$

Pregunta

a) $P_L^{m\acute{o}x} = 16 \text{ W}$

$$P_L^{m\acute{o}x} = \frac{V_{cc}^2}{2R_L} \Rightarrow V_{cc} = \sqrt{P_L^{m\acute{o}x} \cdot 2R_L} = 8$$

$\hat{V}_o = V_{cc}$

b) $P_{dis. \text{ c/trans}} = \frac{P_s - P_L}{2} = \frac{V_{cc} \hat{V}_o}{\pi R_L} - \frac{\hat{V}_o^2}{4R_L} \Big|_{\hat{V}_o = \frac{2V_{cc}}{\pi}} = \frac{V_{cc}^2}{\pi^2 R_L} = \underline{\underline{3.24 \text{ W}}}$

$$\eta = \frac{\frac{\hat{V}_o^2}{2R_L}}{2V_{cc} \cdot \frac{\hat{V}_o}{\pi R_L}} \Big|_{\hat{V}_o = \frac{2V_{cc}}{\pi}} = \frac{\frac{2V_{cc}}{2R_L \pi}}{\frac{2V_{cc}}{R_L \pi}} = \frac{1}{2} \Rightarrow \boxed{\eta = 50\%}$$

c) Con un disipador: $\theta_{jA} = \theta_{jc} + \theta_{cs} + \theta_{sa}$

$$\theta_{jA} = 1.67 \text{ } ^\circ\text{C/W} + 2.5 \text{ } ^\circ\text{C/W} + 2 \text{ } ^\circ\text{C/W} = 6.17 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$



$$P_{m\acute{o}x}^{c/trans} = \frac{T_{j,m\acute{o}x} - T_A}{\theta_{jA}} = \frac{150^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}}{6.17 \text{ } ^\circ\text{C/W}} = 17.8 \text{ W}$$

En la parte (b) vimos que la máxima potencia que puede disipar c/transistor con las especificaciones dadas es 3.24 W.
Con el disipador podemos alcanzar esa potencia máxima.

$$\text{Por tanto } T_j = P_{m\acute{o}x}^{c/trans} \theta_{jA} + T_A = 3.24 \cdot 6.17 + 40 = \underline{\underline{60 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$