

Examen de Electrónica 2
30/07/2011

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.

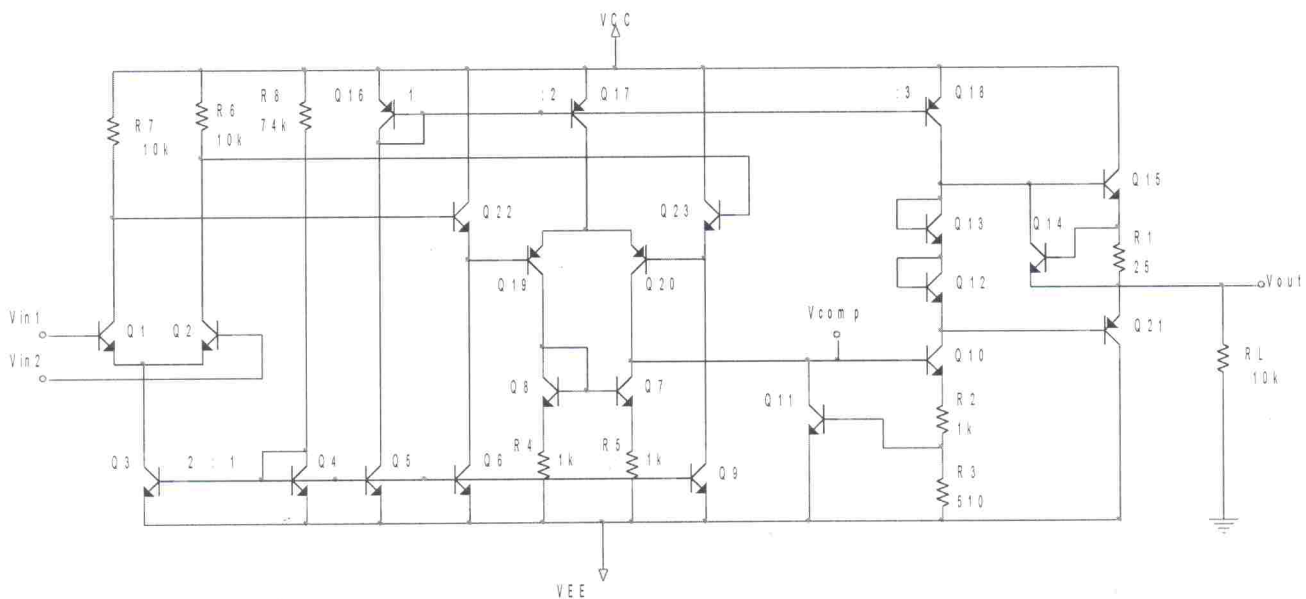
Problema 1 (38 pts):

El circuito de la figura es un amplificador operacional con compensación externa.

- Determine cual es la entrada no inversora.
- Determine la corriente de polarización de los transistores Q3, Q6, Q9, Q17 y Q18.
- Determine qué transistores implementan la protección contra cortocircuitos a la salida del amplificador, cómo la implementan y qué valores máximos de corriente puede entregar y tomar a la salida el amplificador.
- Determine el rango de entrada en modo común del amplificador.
- Determine la ganancia a bajas frecuencias del amplificador.
- La capacidad de compensación externa se conecta entre el pin Vcomp y el pin Vout. Determine el valor de la capacidad necesaria para tener un $f_T=10\text{MHz}$.

Datos:

- $V_{CC}=-V_{EE}=10\text{ V}$
- $V_{BE}=|V_{EB}|=0.7\text{V}$, $V_{CESAT}=0.3\text{ V}$
- Tensión de Early: $V_A=\infty$, excepto para Q18 donde $V_A=25\text{V}$
- $\beta=200$ excepto en Q15 y Q21 donde $\beta=50$



Problema 2 (38 ptos):

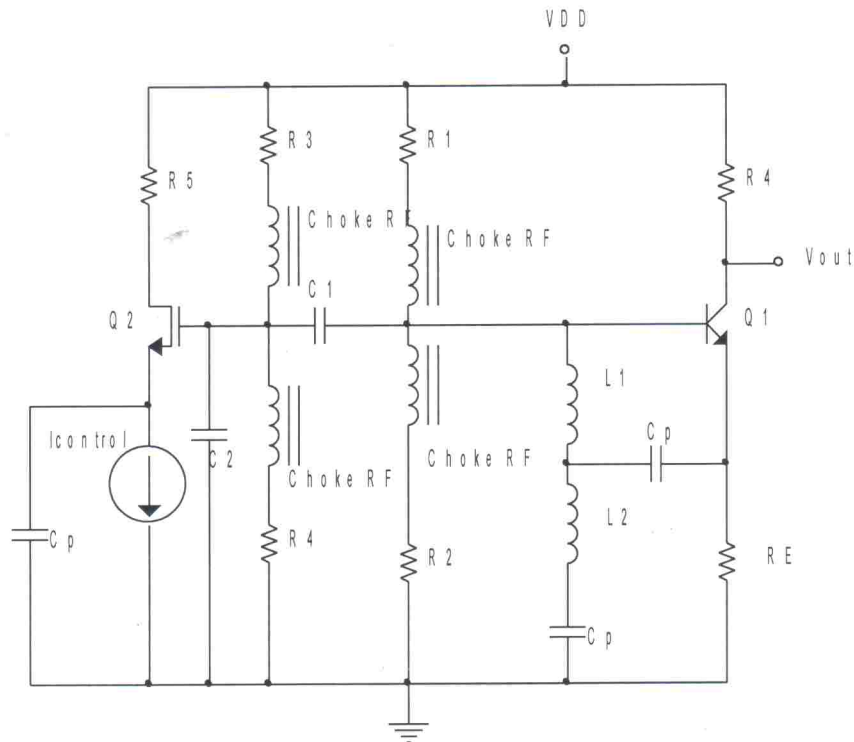
El circuito de la figura es un oscilador del tipo Hartley. En el cual para realizar un ajuste fino en la frecuencia se agrega un condensador variable implementado por Q2.

- a) Calcular frecuencia y condición de oscilación. Exprese el resultado en forma literal suponiendo que el condensador que agrega Q2 es C_{Q2} .
- b) Si la polarización de Q2 es tal que el mismo se encuentra en la zona de saturación calcular el valor de la frecuencia de oscilación cuando $I_{control} = 2mA$.
- c) Calcular el rango de variación de la frecuencia de oscilación si $I_{control}$ varía entre 0.5mA y 3.5mA.

Datos: El β del transistor se podrá considerar muy grande, los condensadores C_p se podrán considerar infinitos. Se supondrá que los inductores Choke RF presentan una impedancia infinita para toda frecuencia > 0 .

Para Q2 : $C_{ox} = 4e-3 \text{ pF}/\mu\text{m}^2$, $\mu_n = 48.4e9 \mu\text{m}^2/\text{V.s}$, $W = 200\mu\text{m}$, $L = 0.5\mu\text{m}$, $C_{gs_overlap} = C_{gd_overlap} = 3.0e-4 \text{ pF}/\mu\text{m}$, $R_5 = 2k\Omega$.

$C_1 = 15\text{pF}$, $C_2 = 5\text{pF}$, $L_1 = L_2 = 50\mu\text{Hy}$.



Pregunta (24ptos):

Se tiene una etapa de salida clase B implementada con un par complementario TIP 41 / TIP 42, (cuyos datos se muestran en la hoja adjunta); alimentado con +/- 15V y cargado con una resistencia de $4\ \Omega$ a tierra.

Calcular:

1. La máxima potencia que se puede entregar a la carga.
2. La máxima potencia que debe disipar cada transistor para todos los valores de amplitud de pico a la salida y la eficiencia del circuito cuando se está disipando esta potencia.
3. Si los transistores están sin disipador y la máxima temperatura ambiente es de 45°C , cuál es la máxima potencia que el circuito puede entregar a la carga sin dañar los transistores y a qué temperatura de juntura corresponde esta potencia.
4. Si los transistores tienen un disipador con una resistencia térmica de $4^{\circ}\text{C}/\text{W}$, en contacto con el encapsulado del transistor con una resistencia térmica de $0.5^{\circ}\text{C}/\text{W}$, cuál es la máxima potencia que el circuito puede entregar a la carga sin dañar los transistores.

Considerar en todo el problema despreciables las tensiones base-emisor y de saturación.

Complementary Silicon Plastic Power Transistors

... designed for use in general purpose amplifier and switching applications.

- Collector-Emitter Saturation Voltage —
 $V_{CE(sat)} = 1.5 \text{ Vdc (Max) @ } I_C = 6.0 \text{ Adc}$
- Collector-Emitter Sustaining Voltage —
 $V_{CEO(sus)} = 60 \text{ Vdc (Min) — TIP41A, TIP42A}$
 $= 80 \text{ Vdc (Min) — TIP41B, TIP42B}$
 $= 100 \text{ Vdc (Min) — TIP41C, TIP42C}$
- High Current Gain — Bandwidth Product
 $f_T = 3.0 \text{ MHz (Min) @ } I_C = 500 \text{ mAdc}$
- Compact TO-220 AB Package

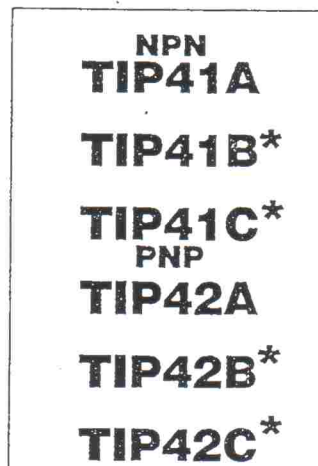
*MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	TIP41A TIP42A	TIP41B TIP42B	TIP41C TIP42C	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	60	80	100	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB}	60	80	100	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	5.0			Vdc
Collector Current — Continuous Peak	I_C	6 10			Adc
Base Current	I_B	2.0			Adc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	65 0.52			Watts W/ $^\circ\text{C}$
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	2.0 0.016			Watts W/ $^\circ\text{C}$
Unclamped Inductive Load Energy (1)	E	62.5			mJ
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +150			$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

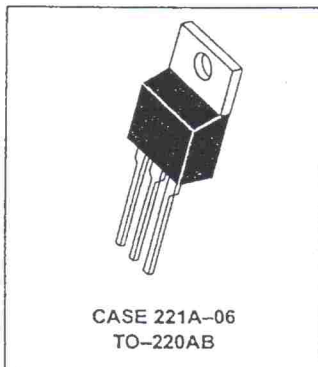
Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.92	$^\circ\text{C/W}$

1) $I_C = 2.5 \text{ A, L} = 20 \text{ mH, P.R.F.} = 10 \text{ Hz, } V_{CC} = 10 \text{ V, } R_{BE} = 100 \Omega$



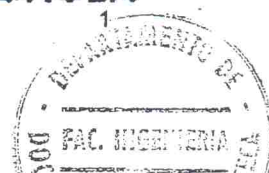
*Motorola Preferred Device

6 AMPERE
POWER TRANSISTORS
COMPLEMENTARY
SILICON
60-80-100 VOLTS
65 WATTS



*preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

REV 1



Problema 1

(a)

$$V_{in} \uparrow \Rightarrow \hat{C}_{c1} \uparrow \Rightarrow N_{b22} \downarrow \Rightarrow N_{b19} \downarrow$$

$$\Rightarrow \hat{C}_{c19} \uparrow \Rightarrow N_{b10} \downarrow \Rightarrow N_{b23} \uparrow \Rightarrow N_0 \uparrow$$

$\rightarrow V_{in}$ es la entrada NO-INVERSA

(b)

$$I_{C4} = \frac{V_{CC} - V_{ES} - V_{RS}}{R_8} \Rightarrow I_{C4} = 260 \mu A$$

$$\Rightarrow I_{C3} = 2 \times I_{C4} = 520 \mu A$$

$$I_{C6} = I_{C9} = I_{C4} = 260 \mu A$$

$$I_{C12} = 2 I_{C4} = 520 \mu A$$

$$I_{C18} = 3 I_{C4} = 780 \mu A$$

(c) La protección la implementa los transistores Q_{14} y Q_{15}

⊗ Protección contra corriente saliente:

Wando I_L es tal que $I_L \times R_L > V_{BE}$, Q_{14} se enciende \rightarrow toma corriente de la base de Q_{15} haciendo que I_L no pueda aumentar

⊗ Protección contra corriente entrante:

Wando hay un pico de corriente entrante, Q_{15} está apagado \rightarrow la corriente por Q_{10} es

$$I_{C10} = I_{C18} + I_L / \beta_{21}$$

Papiror

⇒ wanto $I_{C3} \times R_3 > V_{BE}$ se enciende Q_{11} y forma un puente del nodo N_{b30}

⇒ $N_{b30} \downarrow \Rightarrow N_{out} \uparrow$ y por lo tanto

I_L (entrante) no aumenta más

$$\rightarrow \begin{cases} I_L(out)_{max} = V_{BE}/R_3 = 28 \text{ mA} \\ I_L(in)_{max} = (V_{BE}/R_3 - I_{C3}) \times \beta_{21} = 29,6 \text{ mA} \end{cases}$$

(d)

$$I_{CM}(inf) = V_{EE} + V_{CEsat3} + V_{BE1}$$

$$I_{CM}(inf) = -9 \text{ V}$$

$$I_{CM}(sup) = V_{CC} - \frac{R_2 I_{C3}}{2} - V_{CEsat1} + V_{BE1}$$

$$= 10,7 - 2,6 \text{ V} - 0,3 \text{ V}$$

$$I_{CM}(sup) = +7,8 \text{ V}$$

(e)

$A_v = \infty \rightarrow$ todas las $r_o = \infty$, excepto $r_{o18} = 32 \text{ k}\Omega$ ($V_A = 25 \text{ V}$)

1^a etapa

$$\frac{N_{o1}}{N_{in}} = g_{m1} \times (R_2 \parallel R_{v2ae})$$

2^a etapa:

$$R_{v2ae} = r_{\pi22} + (\beta+1) r_{\pi19} \quad \begin{matrix} \text{suponemos} \\ \text{entrada} \\ \text{diferencial} \end{matrix}$$

$$\frac{N_{o2}}{N_{o1}} = \frac{g_{m22} r_{\pi19}}{g_{m22} r_{\pi19} + 1} \times \frac{g_{m19} \times R_{v3ae}}{\text{segunda etapa}} \quad \text{por dif.}$$

$$r_{\pi22} = r_{\pi19} = 20 \text{ k}\Omega$$

$$\rightarrow R_{v2ae} = (\beta+1) r_{\pi19} = 4 \text{ k}\Omega$$

$$g_{m22} \times r_{\pi19} = \frac{I_{C22}}{V_T} \times \frac{\beta V_T}{I_{C19}} = \beta \Rightarrow g_{m22} r_{\pi19} \gg 1$$

$$\rightarrow \frac{N_{o2}}{N_{o1}} = g_{m19} R_{v3ae}$$

(e) (sigue)

$$3^{\text{a}} \text{ etapa: } R_{V_{3e}} = \overbrace{r_{\pi 5}}^{6,7k} + \overbrace{(\beta+1)(R_2+R_3)}^{302k} = 309,4k\Omega$$

$$R_{C_{10}} = \overbrace{r_{o18}}^{32k} \parallel \overbrace{\beta R_3}^{500k} \quad (\text{se prescibe } R_{V_{3e}} \text{ multiplicador de } V_{3e})$$

$$\Rightarrow \frac{N_{out}}{N_{o2}} = \frac{\beta R_{C_{10}}}{r_{\pi 5} + (\beta+1)(R_2+R_3)} \quad \left[\begin{array}{l} \text{MIENTRAS } I_{C_{23}} > 2,6mA \\ \Rightarrow g_{m_{23}} R_L \gg 1 \\ \Rightarrow N_{out} \approx N_{o5} \end{array} \right]$$

$$\Rightarrow -A_1 = \left| \frac{N_{o1}}{N_{i1}} \right| \approx g_{m1} R_7 = 100 \text{ V/V} \quad (R_7 \ll R_{V_{2e}})$$

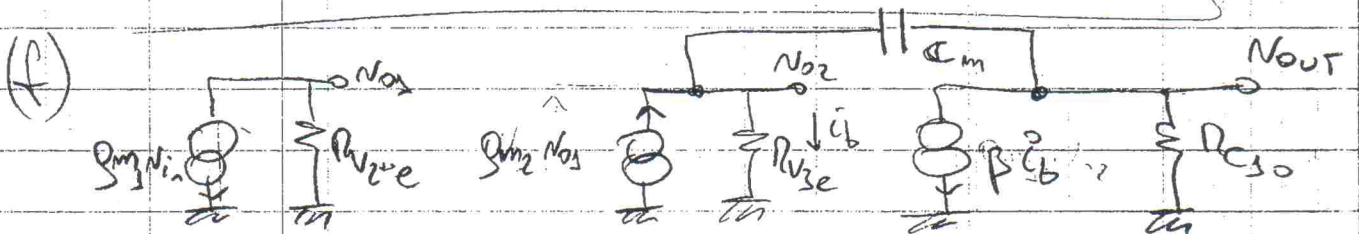
$\hookrightarrow g_{m1} = 0,05 \text{ A/V}$

$$A_2 = \left| \frac{N_{o2}}{N_{o1}} \right| \approx g_{m19} R_{V_{3e}} = 3090 \text{ V/V}$$

$\hookrightarrow g_{m19} = 0,05 \text{ A/V}$

$$A_3 = \left| \frac{N_{out}}{N_{o2}} \right| = 19,4 \text{ V/V}$$

$$\Rightarrow G_{DC} \approx 6 \times 10^6 \text{ V/V} \approx 135,5 \text{ dB}$$



$$\omega_{pols \text{ dom.}} = \frac{1}{R_{V_{3e}} C_m \times A_3}$$

$$G_{DC} = g_{m1} R_7 \times g_{m19} R_{V_{3e}} \times A_3$$

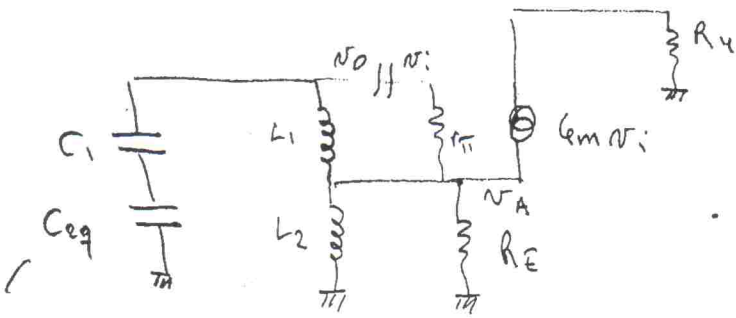
$$\Rightarrow \omega_T = \frac{g_{m1} R_7 \times g_{m19}}{C_m}$$

$$\Rightarrow C_m (f_T = 10 \text{ MHz}) = 15,9 \text{ nF}$$

Requisito

Problema 2 :

2u)



$$C_{eq} = C_2 + C_{Q2}$$

$$g_m V_i = \frac{N_A}{R_E} + \frac{N_A}{L_2 s} + \frac{N_A - N_0}{L_1 s}$$

$$\frac{N_A - N_0}{L_1 s} = \frac{N_0 \cdot C_1 \cdot C_{eq} s}{(C_1 + C_{eq})}$$

$$C_{tot} = \frac{C_1 \cdot C_{eq}}{C_1 + C_{eq}}$$

$$\frac{N_0}{N_i} = \frac{g_m R_E L_1 L_2 s}{L_1^2 L_2 C_{tot} s^3 + R_E L_1^2 C_{tot} s^2 + L_1 L_2 R_E (C_{tot} s^2 + 1) + L_1 L_2 s + R_E L_1}$$

$$I_m = 0 \Rightarrow -R_E L_1 ((L_1 + L_2) C_{tot} s^2 + 1) = 0$$

$$\Rightarrow \omega^2 = \frac{1}{(L_1 + L_2) C_{tot}} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{1}{(L_1 + L_2) C_{tot}}}$$

$$\frac{g_m R_E L_1 L_2}{L_1^2 L_2 C_{tot} \omega^2 + L_1 L_2} = 1 \Rightarrow g_m R_E = \frac{L_2}{L_1 + L_2}$$

b)



$$C_{gs} = \frac{2}{3} w \cdot L \cdot C_{ox} + C_{gs,ov} \cdot w = 0,33 \text{ pF}$$

$$C_{gd} = C_{gd,ov} \cdot w = 0,06 \text{ pF}$$

$$g_m R_L = \sqrt{2 \mu_n \cdot C_{ox} \cdot \frac{w}{L} \cdot I_D} \cdot R_L = 30$$

$$g_m R_L \cdot C_{gd} = 0,03 \text{ pF} \cdot 36 = 1,08 \text{ pF}$$

$$C_{MOS} = 1,08 + 0,33 = 1,42 \text{ pF}$$

$$C_{eq} = 5 \text{ pF} + 1,42 = 6,42 \text{ pF}$$

$$C_{TOT} = 4,50 \text{ pF}$$

$$f = 47,1 \text{ MHz}$$

c)

$$I_D = 0,5 \text{ mA} \Rightarrow g_m R_L = 17,6$$

$$\Rightarrow C_{MOS} = 0,88 \Rightarrow C_{eq} = 5,88 \text{ pF} \Rightarrow C_{TOT} = 4,5 \text{ pF}$$

$$\Rightarrow f = 48,7 \text{ MHz}$$

$$I_D = 3,5 \text{ mA} \Rightarrow g_m R_L = 46,6$$

$$\Rightarrow C_{MOS} = 2,73 \text{ pF}$$

$$\Rightarrow C_{eq} = 6,73 \text{ pF}$$

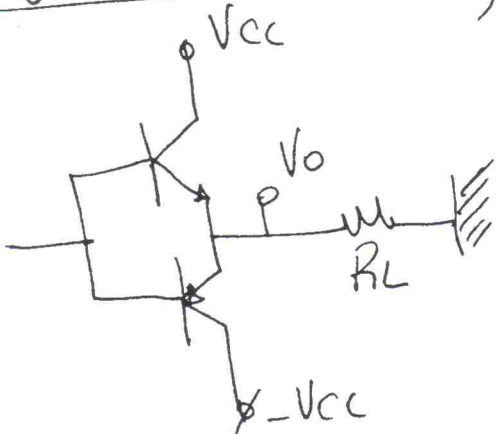
$$\Rightarrow C_{TOT} = 4,65 \text{ pF}$$

$$\Rightarrow f = 46,2 \text{ MHz}$$

Electrónica 2

Pregunta:

2) $P_{m\acute{a}x\text{ carga}} = \frac{V_{cc}^2}{2R_L} = 28W$
 $\hat{V}_o = V_{cc}$



2) $P_{m\acute{a}x\text{ disipada por cada transistor}} = \frac{V_{cc}^2}{\pi^2 R_L} = 5.7W$
 que ocurre cuando $\hat{V}_o = \frac{2V_{cc}}{\pi}$
 y el rendimiento es 50%.

3) $\theta_{jA} = 62.5^\circ C/W$
 $P_{m\acute{a}x\text{ disipable sin disipador}} = \frac{T_{jmax} - T_A}{\theta_{jA}} = \frac{150^\circ C - 45^\circ C}{62.5^\circ C/W} = 1.68W$

$P_{disipada} = \frac{\hat{V}_o V_{cc}}{\pi R_L} - \frac{1}{4} \frac{\hat{V}_o^2}{R_L} = 1.68W$

$\Rightarrow \hat{V}_o = 1.53V \Rightarrow P_L = 0.3W$
 $T_j = 150^\circ C$

4) $\theta_{jA} = \theta_{jc} + \theta_{cs} + \theta_{sa} = 6.42^\circ C/W$
 $\theta_{jc} = 1.82$, $\theta_{cs} = 0.5$, $\theta_{sa} = 4$

$\Rightarrow P_{m\acute{a}x\text{ disipable}} = \frac{150 - 45}{6.42} = 16.35W$

que es mejor que la calculada en 2) $\Rightarrow P_{m\acute{a}x} = 28W$
 como en 2)