

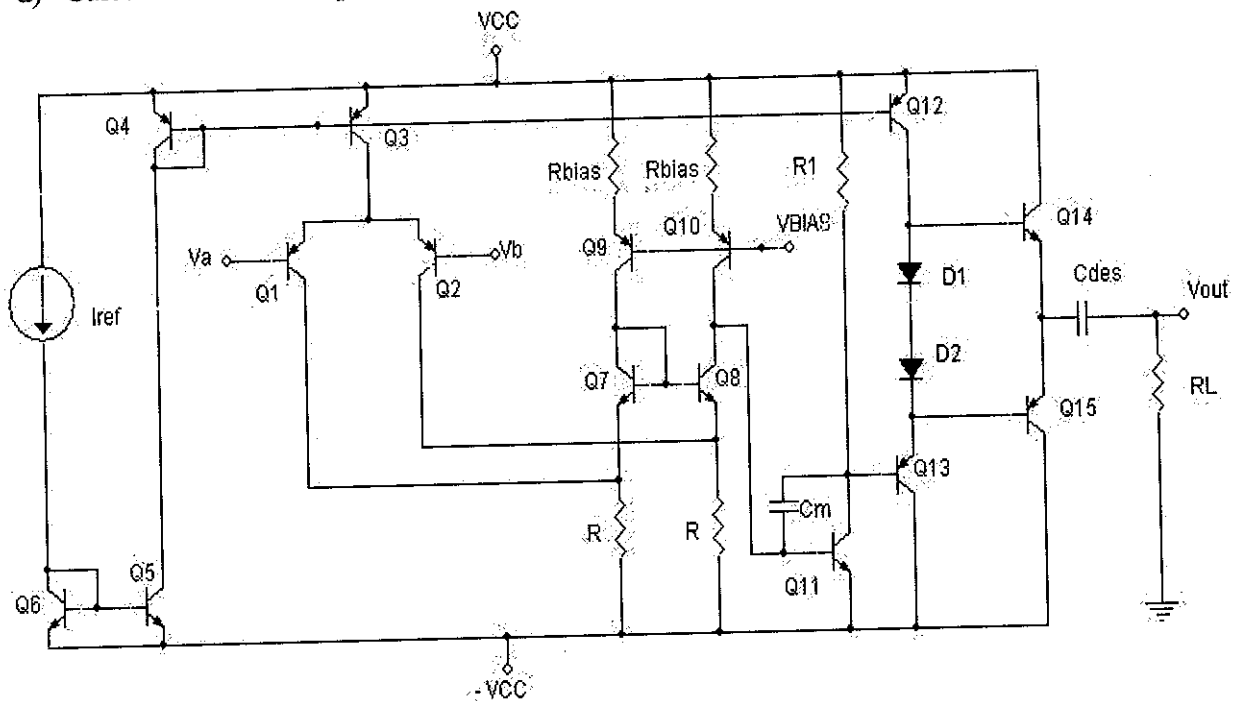
**2<sup>do</sup> Parcial de Electrónica 2**  
**20/11/2010**

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 : (30 puntos)**

Considere el amplificador operacional de la figura. Se supondrá que todos los transistores son idénticos con  $\beta \gg 1$  y que  $V_{BE}$  (transistores npn) =  $V_{EB}$  (transistores pnp) =  $V_{DIODO}$ .

- Indicar cual es la entrada no inversora.
- Calcular la corriente de polarización de base de Q11.
- Hallar la ganancia diferencial  $V_{out} / (V_a - V_b)$  a frecuencias medias.  
Se supondrá  $g_m R \gg 1$ .
- Calcular el  $f_T$  del amplificador.



**Problema 2 : (23 puntos)**

- a) Se sabe que el amplificador de la figura 1 tiene dos polos separados por más de una década y que el polo no dominante se encuentra en 14MHz. Calcule CL para asegurar que el amplificador tenga un margen de fase de 65°.
- b) Para esta parte considere que M4 y M8 tienen VA = 30V. Calcule la ganancia en baja frecuencia.
- c) Si ahora el amplificador se realimenta como en la figura 2 calcule la ganancia, GBW (producto ganancia por ancho de banda), y ancho de banda. Asuma que las resistencias no cargan el amplificador.
- d) Es posible construir un oscilador realimentado el circuito con resistencias? Justifique.

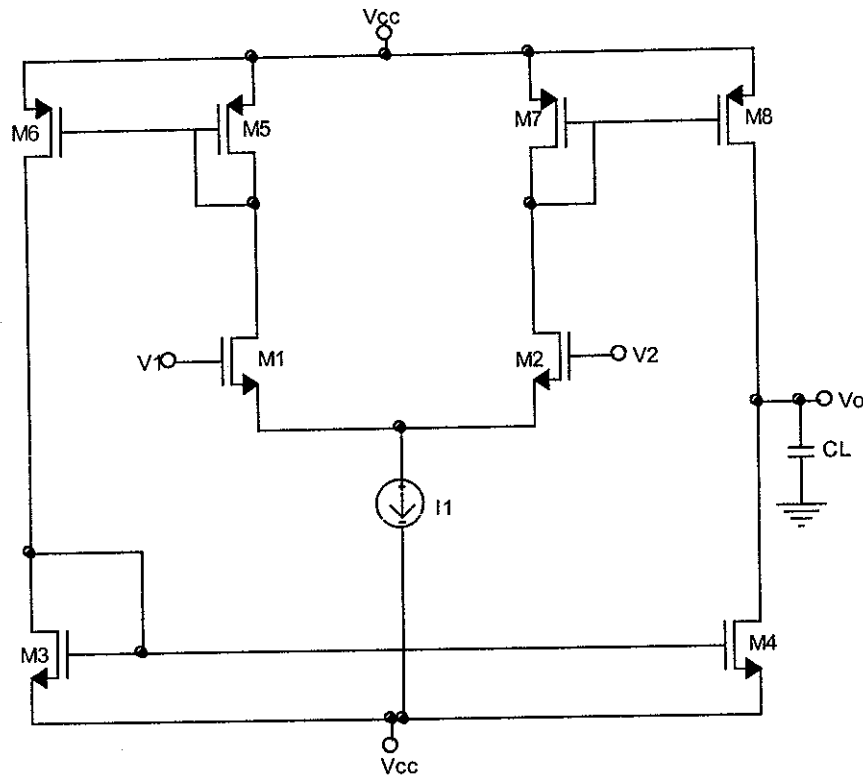


Figura 1

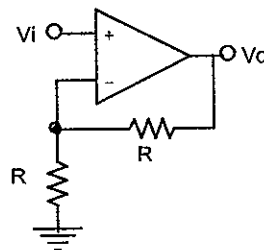


Figura 2

**Datos:** Transistores :  $\beta = 1 \text{ mA/V}^2$  ;  $V_t = 1 \text{ V}$

Todos los transistores son idénticos

Fuente de corriente:  $I_1 = 0,5 \text{ mA}$

Alimentación:  $V_{cc} = 15 \text{ V}$

**Problema 3 : ( 27 puntos)**

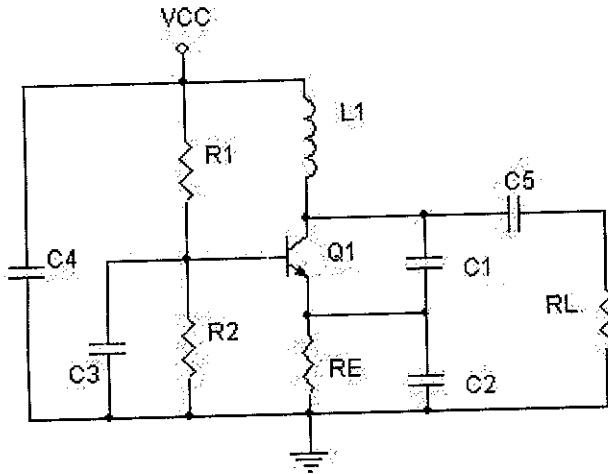
Analice el oscilador de la figura.

- a) Determine la frecuencia y la amplitud de la oscilación sobre la carga RL. Considere un inductor ideal.
- b) Repita la parte a) considerando que el inductor tiene un factor de calidad igual a 50 en la frecuencia de la oscilación.

**DATOS:**

R1	4,5kOhm	C3	1uF
R2	3kOhm	C4	1uF
RL	2kOhm	C5	1uF
RE	2kOhm	L1	2,5uH
C1	0,4nF	VCC	8,5V
C2	8nF		

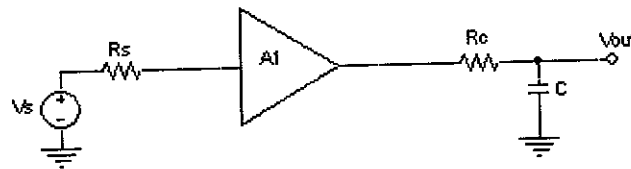
**NOTA:** Recuerde que el factor de calidad de un inductor se puede calcular como  $Q = R_p / (2 \pi f L)$ , siendo  $R_p$  la resistencia de pérdidas en paralelo con el inductor.



$$f = 2 * 11(X) / (X * 10(X)) = Gm/gmq$$

X	f	X	f
0,5	0.9700	10,5	0.1812
1	0.8928	11	0.1733
1,5	0.7948	11,5	0.1662
2	0.6978	12	0.1596
2,5	0.6120	12,5	0.1535
3	0.5400	13	0.1478
3,5	0.4806	13,5	0.1426
4	0.4318	14	0.1377
4,5	0.3913	14,5	0.1331
5	0.3574	15	0.1288
5,5	0.3287	15,5	0.1248
6	0.3041	16	0.1210
6,5	0.2829	16,5	0.1175
7	0.2644	17	0.1141
7,5	0.2482	17,5	0.1110
8	0.2338	18	0.1080
8,5	0.2210	18,5	0.1051
9	0.2095	19	0.1025
9,5	0.1991	19,5	0.0999
10	0.1897	20	0.0975

**Pregunta: (20 puntos)**



- a) Si se tiene un circuito pasabajos de primer orden ¿Cuál es la relación entre el ancho de banda efectivo de ruido del mismo y la frecuencia de corte de -3dB del mismo ?
- b) Determinar la tensión de ruido rms a la salida del circuito de la figura debido a Rc.
- c) Determinar la tensión de ruido rms total a la salida del circuito de la figura.

Datos:

- El amplificador A1 se supondrá que tiene ganancia plana  $A=100V/V$  en todo el ancho de banda de interés, impedancia de entrada infinita y voltaje de ruido  $42nV/\sqrt{Hz}$  y corriente de ruido de  $0.2pA/\sqrt{Hz}$ ,  $T= 290 K$ ,  $k=1.38e-23 J/K$ ,  $R_s=10 k\Omega$ ,  $R_c=1 k\Omega$ ,  $C=1 pF$ .

①  $I_{C3} = I_{R3F} = I_{C42} = I_{C33}$

DC:  $I_B = \frac{V_{DD} - V_{EB} - V_{BIAS}}{R_{BIAS}}$

$I_{C33} = \beta I_{B33} = \beta \frac{I_B}{\beta + 1} \approx I_B$

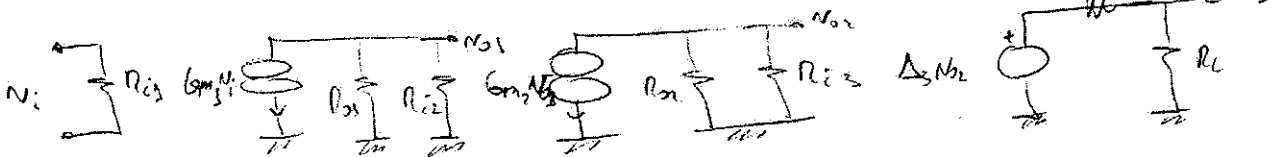
AC:  $i_b = \frac{g_{m3} R}{1 + g_{m3} R} \Delta i$ ,  $\Delta i = g_{m1} N_i$  /  $g_{m1} = \frac{I_{R3F}}{2 V_T}$

BFAD1:  $\Rightarrow G_{m1} = \frac{g_{m1} \cdot g_{m3} R}{1 + g_{m3} R}$

$R_{O1} = \infty$ ,  $R_{E1} = 2 V_T = \frac{4 \beta V_T}{I_{R3F}}$

BFAD2:  $R_{E2} = r_{E33} = \frac{\beta V_T}{I_B}$   
 $G_{m2} = g_{m33} = \frac{I_B}{V_T}$   
 $R_{O2} = R_{E1}$

BFAD3:  $R_{i3} = r_{E13} + (\beta + 1) (r_{E133} + (\beta + 1) R_L) \approx \beta^2 R_L$   
 $A_B = \frac{N_o}{N_i} \Big|_{i_b = 0} = 1$  (seguido < variado)  
 $R_{O3} \text{ ASUMO } \ll R_L$



$A = G_{m1} R_{i3} \cdot G_{m2} (R_{O2} \parallel R_{i3}) \Rightarrow A = \frac{g_{m1} \cdot g_{m3} R}{1 + g_{m3} R} \cdot r_{E13} \cdot g_{m33} \cdot (R_{E1} \parallel \beta^2 R_L)$

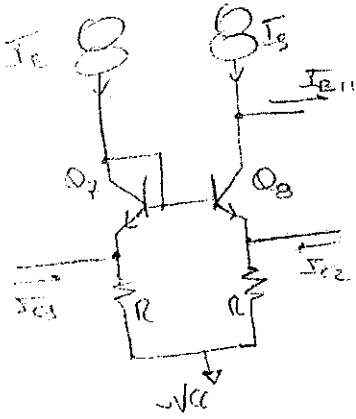
$\Rightarrow A = \beta \frac{g_{m3} R}{1 + g_{m3} R} \cdot g_{m1} (R_{E1} \parallel \beta^2 R_L)$

parte (c)

Ⓐ  $g_{m3} R \gg 1 \Rightarrow G_{m1} = g_{m1}$   
 $\Rightarrow f_T = \frac{1}{2\pi} \frac{g_{m1}}{C_m}$

1

ANÁLISIS DEL CIRCUITO  $Q_1, Q_2$



DC: R's equivalent:

$I_{e1} = I_{c2}$

ASUMO  $I_{e1} = I_{e2}$

$V_{B1} = V_{B2}$

$V_{BE1} = V_{BE2}$

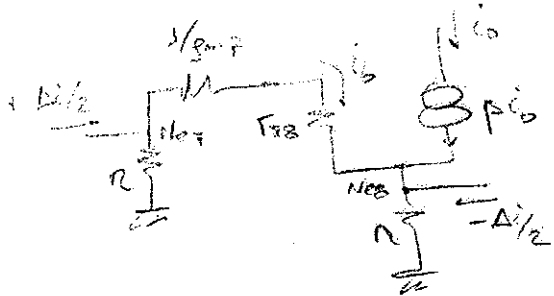
se verifica

$$\Rightarrow \begin{cases} I_{c1} + \frac{I_{e1} + I_{e2}}{\beta} = I_{B1} \Rightarrow I_{c1} = I_{B1} \frac{\beta}{\beta+1} \\ I_{B1} - I_{B2} = I_{C2} \end{cases}$$

$$\Rightarrow I_{B1} \left(1 - \frac{\beta}{\beta+1}\right) = I_{E11} = \frac{2I_{E1}}{\beta+1}$$

parte (b)

AC: cálculo diferencial  $\pm \Delta i/2$



(I)  $\Delta i/2 = \frac{v_{be1}}{R} + i_b = \frac{v_{be1}}{R} + \frac{i_o}{\beta}$

(II)  $i_o \left(\frac{1}{\beta} + \frac{1}{\beta}\right) = \frac{\Delta i}{2} + \frac{v_{be1}}{R} \approx i_o$  (pasa)

(III)  $\frac{i_o}{\beta} = \frac{v_{be1} - v_{be2}}{R} = \frac{(v_{be1} - v_{be2}) g_m}{\beta}$   
 $\frac{1}{\beta} = \frac{1}{\beta+1} + \frac{1}{\beta+1}$  and  $I_{e1} = I_{e2}$

(III)  $\rightarrow v_{be1} = v_{be2} + \frac{i_o}{g_m}$  (I)  $\frac{\Delta i}{2} - \frac{i_o}{\beta} = \frac{v_{be1}}{R} + \frac{i_o}{\beta}$

(II)  $\rightarrow i_o = \frac{\Delta i}{2} + \frac{\Delta i}{2} - \frac{i_o}{\beta} - \frac{i_o}{g_m R} \Rightarrow \Delta i = i_o \left(1 + \frac{1}{\beta} + \frac{1}{g_m R}\right) \approx i_o \frac{g_m R + 1}{g_m R}$

$$\Rightarrow i_o = \frac{g_m R}{g_m R + 1} \Delta i$$

(a)  $V_e \uparrow \Rightarrow I_{e1} \downarrow (\Delta i_b) \rightarrow i_o \downarrow \Rightarrow i_{B1} \uparrow \Rightarrow i_{C1} \uparrow \Rightarrow V_{B13} \downarrow$   
( $i_b = -i_{B1}$ )

$\Rightarrow V_{out} \downarrow \Rightarrow V_e$ : fase INVERSA,  $V_b$ : fase NO-INVERSA parte (c)

## Problema 2

$$a) \quad g_{m1} = g_{m2} = \sqrt{2 \beta I_{D1}} = 7 \times 10^{-4} \text{ A/V}$$

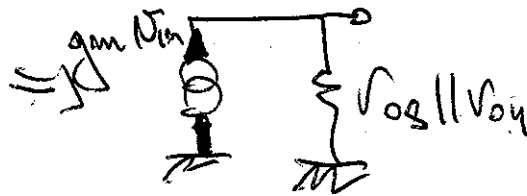
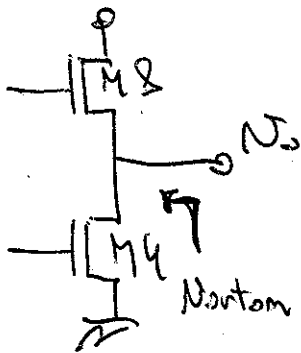
Para que el  $MF = 65^\circ \Rightarrow NDF = 2,2 \text{ pt}$

$$\Rightarrow f_T = \frac{NDF}{2,2} = \frac{14 \times 10^6}{2,2} = 6,36 \text{ MHz}$$

$$f_T = \frac{g_{m1}}{2\pi C_L} \Rightarrow C_L = \frac{g_{m1}}{2\pi f_T} = 17,7 \text{ pF}$$

$$C_L = 17,7 \text{ pF}$$

b)



$$\Rightarrow A_o = g_m R_{o3} || R_{o4} \Rightarrow A_o = 92,4 \text{ V/V}$$

$$c) \quad f_T \text{ es el mismo} \Rightarrow f_{T_e} = 6,36 \text{ MHz}$$


$$A_{op} = \left(1 + \frac{R}{R}\right) = \frac{1}{\beta} = 2 \quad A_{op} = 2$$

$$f_{HP} = \frac{f_T}{A_{op}} = f_{HP} = 3,2 \text{ MHz}$$

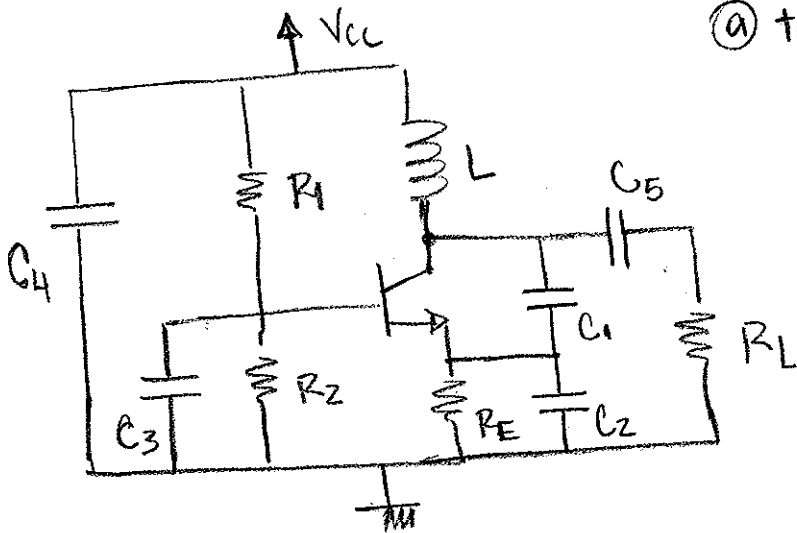
d) Para que un circuito realimentado oscile tiene que tener al menos tres polos (asumiendo ninguno cero) la ganancia en lazo abierto ( $A\beta$ )

Dado que el amplificador tiene dos polos y un  $\beta$  resistivo no agrega ningún polo  $\Rightarrow$

No es posible construir un oscilador realimentado con resistencias

  
Pablo Castro

# Problema 3



① teórico  $\omega_{osc} = \sqrt{\frac{1}{LC} + \frac{1}{R_V R_L C_1 C_2}}$

$\Rightarrow f \approx \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$

**HIPOTESIS**  
 $\frac{1}{LC} \gg \frac{1}{R_V R_L C_1 C_2}$

$\rightarrow \boxed{f = 5,15 \text{ MHz}}$

-  $G_m \approx \frac{N^2}{(N-1)R_L} = 11 \text{ MS.} \quad (N = \frac{C_1 + C_2}{C_1} = 21)$

$I_{DCQ} = \left( \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2} - V_{BE} \right) / R_E = 1,4 \text{ mA} \rightarrow g_{mQ} = \frac{I_{DCQ}}{V_T} = 52 \text{ MS.}$

$\rightarrow \frac{G_m}{g_{mQ}} = 0,2123 \xrightarrow{\text{TABLA}} \boxed{X = 9}$

(COMO  $R_E I_{DCQ} = 2,7 \text{ V} > 0,5 \text{ V}$ )  
 $\rightarrow \frac{G_m}{g_m} \approx \frac{G_m}{g_{mQ}}$

$\rightarrow \boxed{E_t = N \times V_T = 4,9 \text{ V}}$

Verifico hipotesis

$\frac{1}{LC} = 1 \times 10^{15} \text{ (rad/s)}^2 \quad \frac{1}{R_V R_L C_1 C_2} = 1,8 \times 10^{12} \text{ (rad/s)}^2 \quad \checkmark$

②  $Q(L) = 50 = \frac{R_p}{2\pi f_{osc} L} \rightarrow \boxed{R_p = 4 \text{ k}\Omega}$

$R_p$  queda en paralelo a  $R_L \Rightarrow$  se tiene  $R'_L = R_L \parallel R_p = 1,35 \text{ k}\Omega$   
 El cambio en la carga afecta a la amplitud de oscilación.

Repetiendo el  
 Razonamiento

$G_m = 16 \text{ MS} \rightarrow \frac{G_m}{g_{mQ}} = 0,3 \rightarrow X = 6 \Rightarrow \boxed{E_t = 3,3 \text{ V}}$

G.F. ERRO.



Pregunta



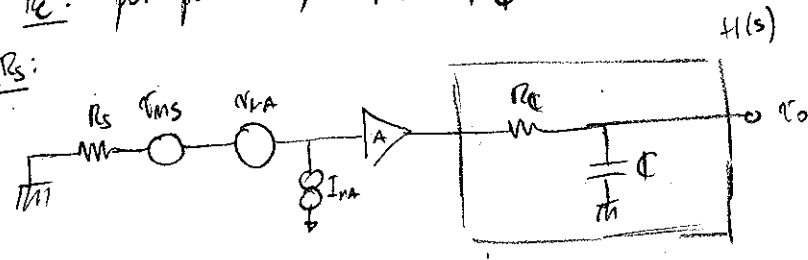
$$S_{Rc} = 4kTRc$$

RUIDO  $\frac{kT}{C} \Rightarrow \boxed{V_{0,Rc}^{rms} = \sqrt{\frac{kT}{C}}} \Rightarrow \boxed{V_{0,Rc} = 63 \mu V_{rms}}$

(c) Identifico fuentes de ruido:  $R_s, A, R_c$ , calculo los aportes a la salida y después los sumo (cuadráticamente)

$R_c$ : por parte  $\Rightarrow V_{0,Rc}^{rms} = \sqrt{\frac{kT}{C}}$

$A, R_s$ :



$$S_{R_s} = 4kTR_s$$

Voy a calcular el ruido equivalente a la salida de  $H(s)$

$V_{0,ne} \quad \square \quad H(s) \quad \rightarrow \quad V_o \quad / \quad V_{0,ne} = (V_{rms} + V_{Ina} + R_s I_{na}) \cdot A \Rightarrow S_{ne}(f) = A^2 (4kTR_s + S_{Ina} + R_s^2 S_{Ina})$

$V_{0,ne}^{rms} = \int_0^{f_{top}} S_{ne}(f) \cdot |H(f)|^2 \cdot df = S_{ne} \cdot \int_0^{f_{top}} |H(f)|^2 \cdot df \stackrel{\text{PARTE a)}}{=} \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{2\pi RC} \Rightarrow V_{0,ne}^{rms} = \sqrt{\frac{S_{ne}}{4RC}}$

Sumo cuadráticamente:

$$V_{0,tot}^{rms} = \sqrt{\frac{kT}{C} + \frac{S_{ne}}{4RC}} = \sqrt{\frac{kT}{C} + \frac{A^2 (4kTR_s + S_{Ina} + R_s^2 S_{Ina})}{4RC}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\left( V_{0,tot}^{rms} \right)^2 = \frac{4kTRc + A^2 (4kTR_s + S_{Ina} + R_s^2 S_{Ina})}{4RC}} \Rightarrow \boxed{V_{0,tot} = 70 mV_{rms}}$$

(a)  $\boxed{BW = \frac{\pi}{2} \cdot f_{-3db}} \rightarrow \text{teórico.}$