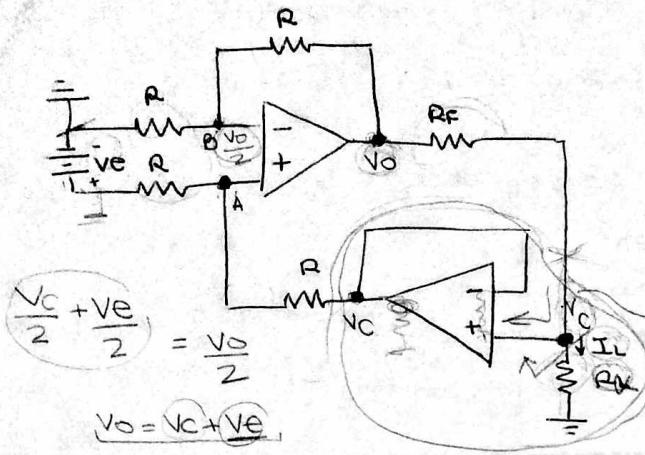


# Ejercicios

①



- a) La corriente  $i_L$  a través de la carga  $R_L$  es independiente del valor de  $R_L$ .
- b) La impedancia de salida es nula.
- c) Es un amplificador cuya ganancia depende fuertemente de  $R_F$ .
- $$\frac{V_o - V_c}{R_F} = \frac{V_c}{R_L}$$
- $$V_o = \left(1 + \frac{R_F}{R_L}\right) V_c$$

a) Resuelvo el circuito por nodos.

$$A) V_A \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \right) - V_e \frac{1}{R} - V_C \cdot \frac{1}{R} = 0$$

$$B) V_A \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \right) - V_o \cdot \frac{1}{R} = 0 \rightarrow V_A \cdot \frac{2}{R} - V_o \cdot \frac{1}{R} = 0 \rightarrow V_A = \frac{V_o}{2}$$

$$C) V_C \cdot \left( \frac{1}{R_F} + \frac{1}{R_L} \right) - V_o \cdot \frac{1}{R_F} = 0 \rightarrow V_o = V_C \cdot R_F \left( \frac{1}{R_F} + \frac{1}{R_L} \right)$$

$$\frac{V_C}{2} \cdot R_F \left( \frac{1}{R_F} + \frac{1}{R_L} \right) \cdot \frac{2}{R} - \frac{V_e}{R} - \frac{V_C}{R_C} = 0$$

$$\left( \frac{R_F(R_F + R_L)}{R_F R_L} - 1 \right) V_C - V_e = 0$$

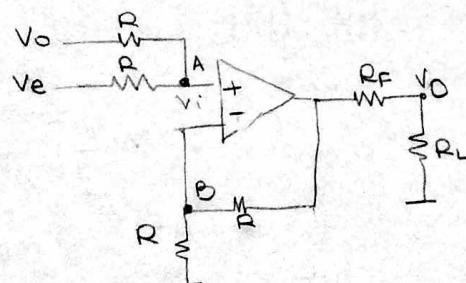
La corriente es indep. de la carga.

$$\frac{R_F^2 + R_F R_L - R_F R_L}{R_F R_L} V_C = V_e$$

$$\frac{R_F}{R_L} V_C = V_e \Rightarrow V_C = \frac{R_L}{R_F} V_e \Rightarrow$$

$$i_L = \frac{V_e}{R_F}$$

Método ② → Simplifico el circuito



$$\Rightarrow V_o \cdot \left( \frac{1}{R_F} + \frac{R_F + R_L}{R_F R_L} \right) = \frac{V_e}{R_F}$$

$$V_o \cdot \frac{R_F + R_L - R_F}{R_L} = V_e$$

$$\Rightarrow V_o = \frac{R_L \cdot V_e}{R_F} \Rightarrow i_o = \frac{V_e}{R_F}$$

$$A) V_A \cdot \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \right) - V_o \cdot \frac{1}{R} - V_e \cdot \frac{1}{R} = 0$$

$$2V_A = V_o + V_e$$

$$B) V_A \cdot \frac{2}{R} - V_o \cdot \frac{1}{R} = 0 \rightarrow V_o = 2V_A = V_o + V_e$$

$$C) V_o \left( \frac{1}{R_F} + \frac{1}{R_L} \right) - V_o \cdot \frac{1}{R_F} = 0$$

$$V_o \cdot \left( \frac{1}{R_F} + \frac{1}{R_L} \right) - (V_o + V_e) \cdot \frac{1}{R_F} = 0$$

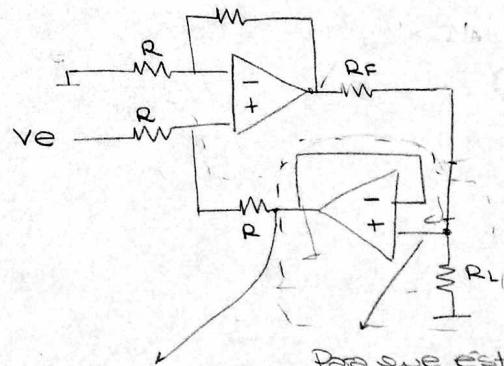
$$V_o \cdot \frac{R_F + R_L}{R_F R_L} - \frac{V_o}{R_F} - \frac{V_e}{R_F} = 0 \Rightarrow i_o \text{ es indep. de } R_L$$

impedancia de salida nula

↳ si la corriente a través de la carga es independiente de  $R_L$

$\Rightarrow$  es una fuente de corriente  $\Rightarrow Z_{out} \rightarrow \infty$

Calculo Ganancia e Impedancia  $\rightarrow$  1º identifico los bloques



Realimentador  $\rightarrow$  Muestreo corriente, suma tensión

Estoy sumando  
a la entrada  
la tensión  $V_o$

Para que esto esté muestreando tensión, debería irse al menos un infinito de corriente  $\times$  acá

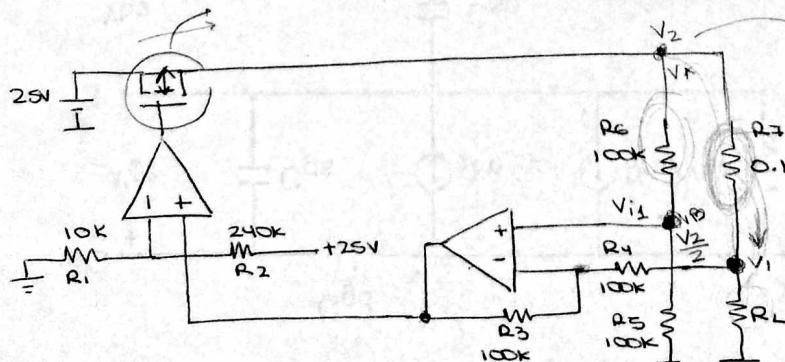
$\rightarrow$  entradas ideales

c) Ganancia depende de  $R$ ?

$$\Rightarrow \frac{i_L}{V_e} = \frac{1}{R_f} \quad \rightarrow \text{NO depende para nada de } R.$$

el opamp controla la corriente en el transistor

②

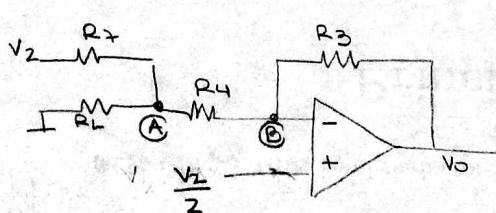


Este OPAMP está configurado como un restador  
 $\Rightarrow$  resta  $V_2 - V_1$ .  
 $\Rightarrow$  puedo saber la corriente sobre  $R_L$ .

$\Rightarrow$  tengo una idea de la corriente por  $R_L$ ?

a) ~~Tensión sobre  $R_L$  es independiente de  $R_L$~~

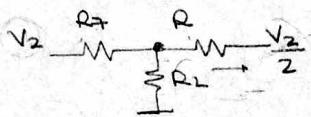
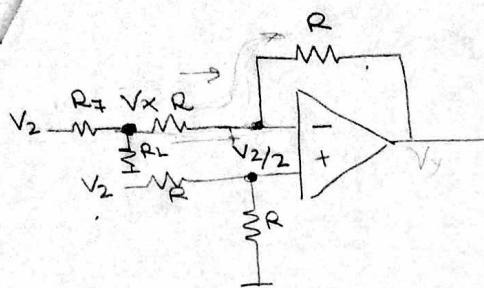
Planteo nodos para el circuito



$$A) \left( \frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R} \right) V_A - \frac{1}{R_4} \cdot \frac{V_2}{2} = 0$$

$$B) \frac{V_2}{2} \left( \frac{2}{R} \right) - \frac{V_o}{R} = 0$$

$$\Rightarrow V_o = V_2$$



$$V_x = V_2 \cdot \frac{R_L / R}{R_L / R + R_7} + \frac{V_2 \cdot R_7 / R_L}{2 \cdot R_7 / R_L + R}$$

$$\Rightarrow I_x = \frac{V_x - V_2}{R} \quad I = \frac{V_2 - V_y}{R}$$

$$I_x \cdot R = V_x - V_2 \quad I_R = V_2 - V_y$$

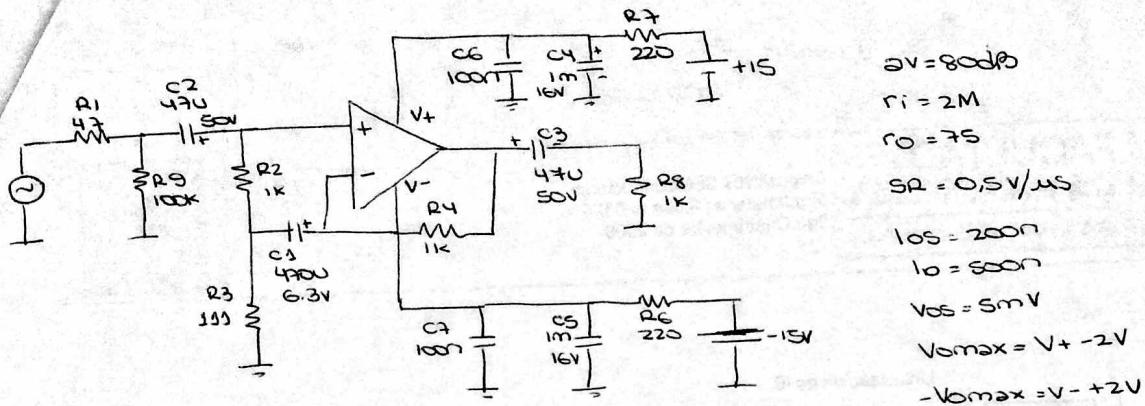
$$\Rightarrow V_x - \frac{V_2}{2} = V_2 - V_y$$

$$V_y = \underline{\underline{V_2 - V_x}}$$

$$\hookrightarrow V_y = 0$$

$$V_x = V_2 \cdot \frac{R_L / R}{R_L / R + R_7} + \frac{V_2}{2} \cdot \frac{R_7 / R_L}{R_7 / R_L + R}$$

$$V_x = V_2 \cdot \frac{R_L / R}{R_L / R + R_7} \approx V_2$$



Zin que ve el generador?

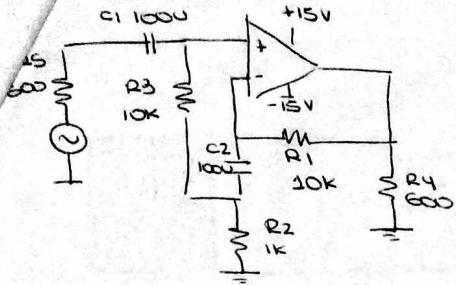
Zo que ve la carga?

Si se aplica una señal de 20 mV a la entrada de generador, la señal de salida es de 10 mV.

En el CDM los errores de g. se sitúan en el rango de 0.5 a 1.5 mV. La señal de salida es menor que el error de g. de la señal de salida de 10 mV.

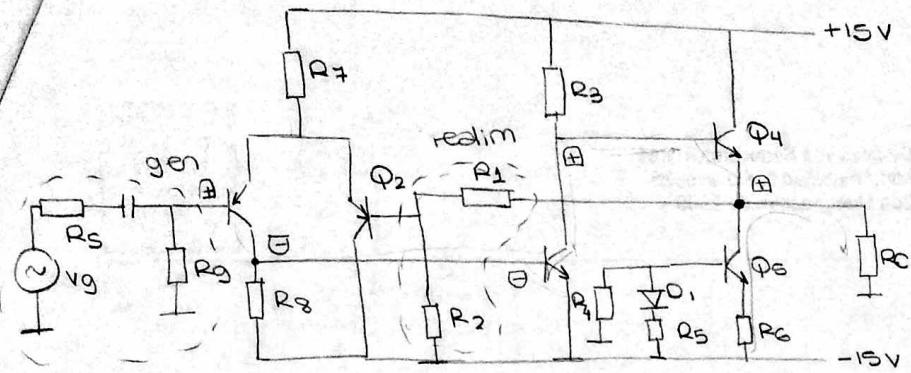


Si se aplica una señal de 20 mV a la entrada de generador, la señal de salida es de 10 mV. Los errores de g. se sitúan entre 0.5 y 1.5 mV. La señal de salida es menor que el error de g. de la señal de salida de 10 mV.

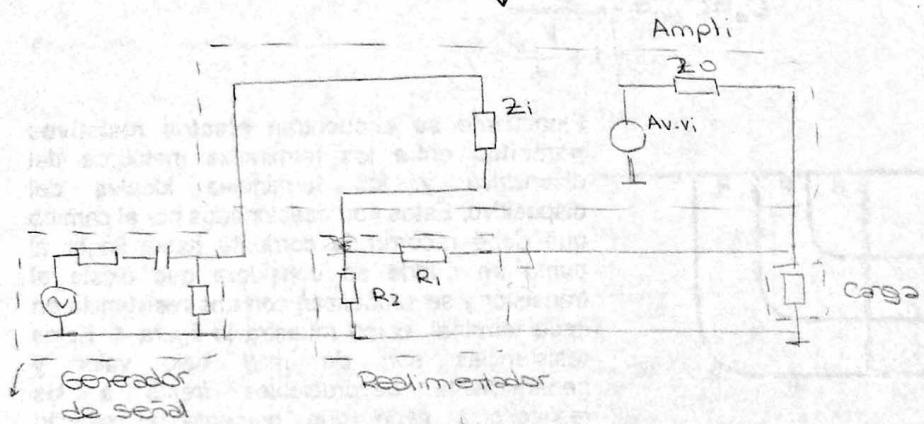


Ganancia de tensión  
 slow rate  
 Imp. de entrada  
 Imp. de salida.

# OS DE REALIMENTACIÓN - Diapos



se puede modelar como:



Equiv de Thévenin del generador

$$\frac{R_s // R_g}{R_s + R_g} \cdot V_g$$

$$R_x = R_1 // R_2$$

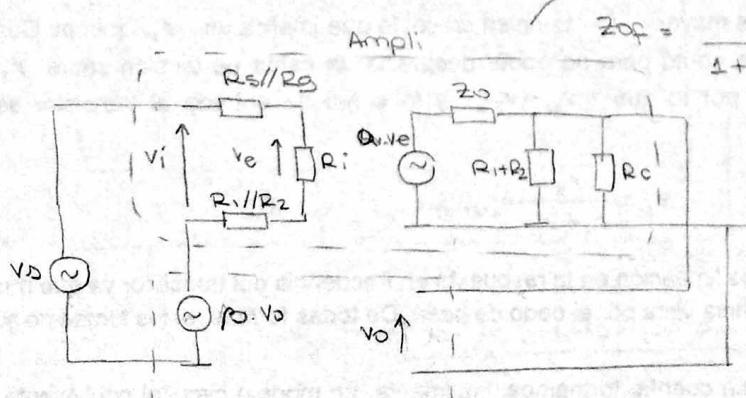
$$R_y = R_1 + R_2$$

$$V_f = \frac{R_2 \cdot V_o}{R_1 + R_2} \cdot f$$

$$\frac{R_1 // R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_o$$

$$R_1 + R_2$$

Reagrupo:



$$Z_{if} = (1 + \alpha f) \cdot (R_s // R_g + R_i + R_1 // R_2)$$

$$Z_{of} = \frac{1}{1 + \alpha f} \cdot (Z_o + (R_1 + R_2) // R_C)$$

$$V_e = \frac{R_i}{R_i + R_s // R_g + R_1 // R_2} \cdot V_i$$

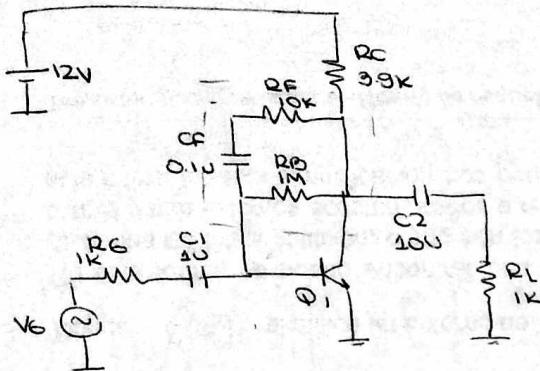
$$A = \frac{V_o}{V_i} = \frac{\frac{(R_1 + R_2) // R_C}{Z_o + (R_1 + R_2) // R_C} \cdot \alpha_v \cdot V_e}{\frac{R_i + R_1 // R_2 + R_s // R_g \cdot V_e}{R_i}} = \alpha_v \frac{(R_1 + R_2) // R_C}{Z_o + (R_1 + R_2) // R_C} \cdot \frac{R_i}{R_i + R_1 // R_2 + R_s // R_g}$$

Para calcularla se desactiva el retroalimentador

Si  $\alpha f \gg 1$

$$\Rightarrow A = \frac{1}{f}$$

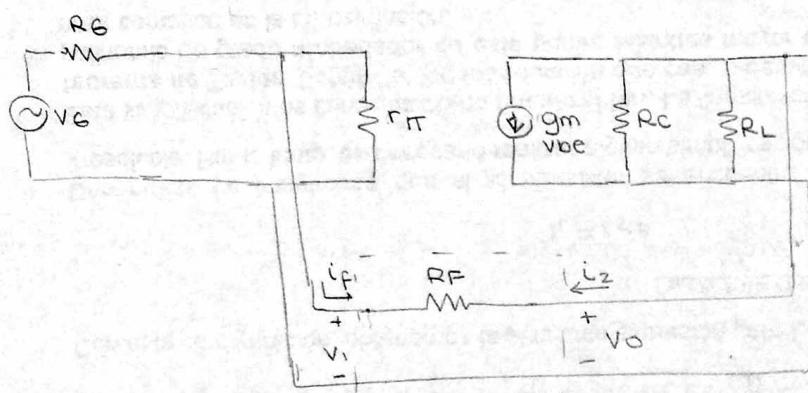
de las diapo.



Si tomamos

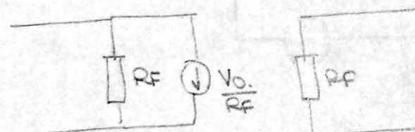
$$R_F = 10k \parallel 1M \approx 9.9k$$

→ muestra tensión y suma corriente

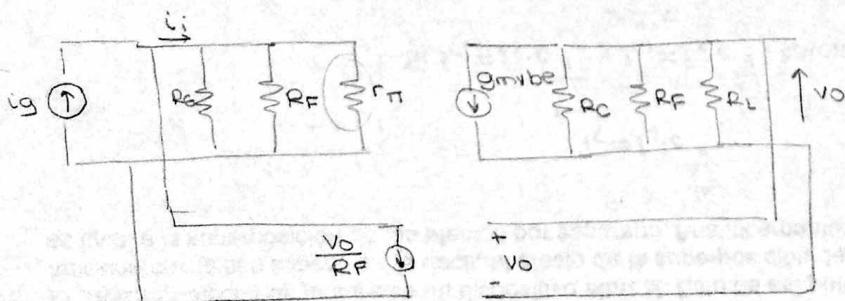


$$\left. \frac{i_F}{V_O} \right|_{V_2=0} = \frac{1}{R_F}$$

Tengo que hallar el equivalente del realimentador



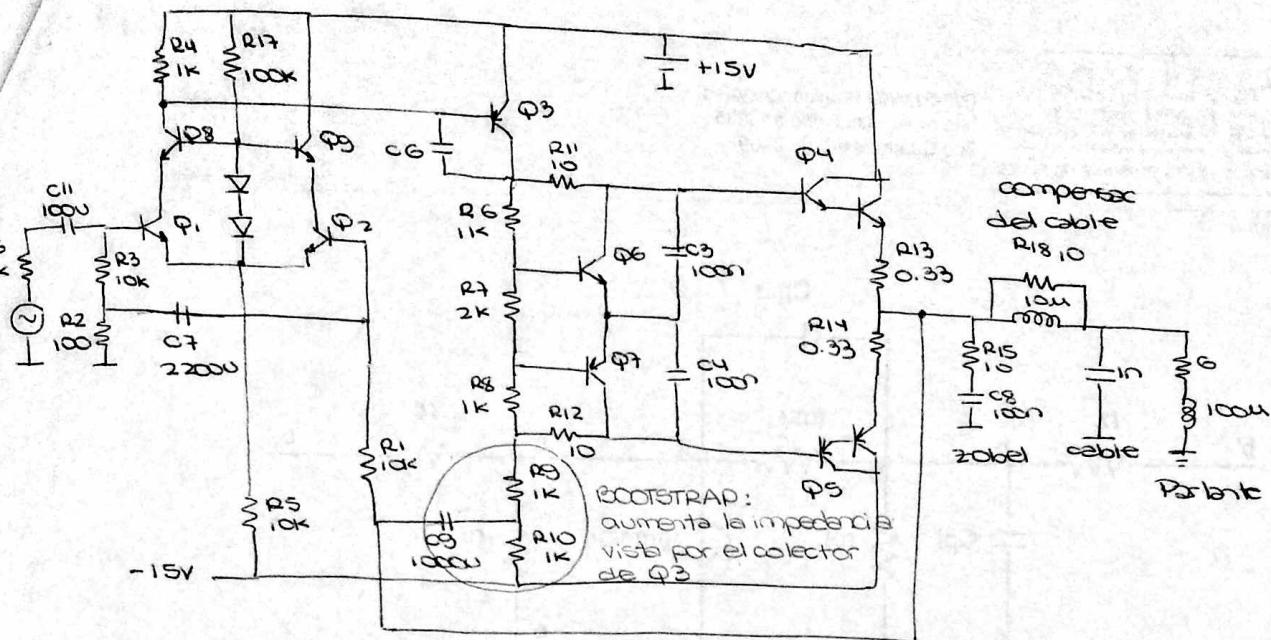
Entonces, el equivalente del circuito considerando un realimentador ideal es:



$$A = \frac{V_O}{I_g} \quad a = \frac{V_O}{i_i} = -\frac{g_m v_{be} (R_C // R_F // R_L)}{v_{be}} = -g_m \cdot (R_C // R_F // R_L) \cdot (R_S / R_F / r_\pi)$$

$$R_{if} = \frac{1}{1 + \alpha_f} \cdot (R_S // R_F // r_\pi)$$

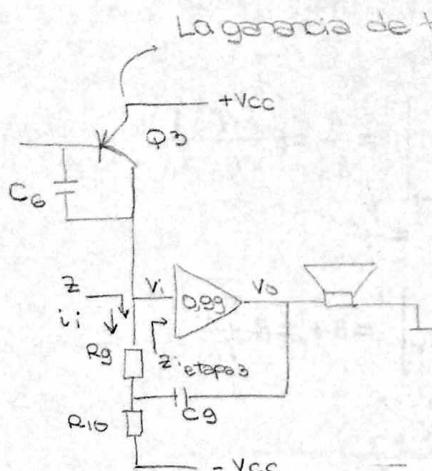
$$R_{of} = \frac{1}{1 + \alpha_f} \cdot (R_C // R_F // R_L)$$



con  $R=2 \rightarrow \text{Gm} = 70 \text{ dB}$ ,  $P_1 = 22 \text{ kV}$ ,  $P_2 = 1.4 \text{ M}$ ,  $P_3 = 70 \text{ M}$

j) El ampli requiere una compensación ( $C_6 > \text{GPF}$ ) para  $R_2 = 100\Omega$ ? Si no calcular la impedancia de salida (que ve el parlante) a 1 kHz

c)  $C_9$ ,  $R_9$  y  $R_{10}$  forman un circuito bootstrap:



La ganancia de tensión de esta etapa es  $\frac{V_o}{V_i} = \frac{Z_{out}}{Z_{in}}$

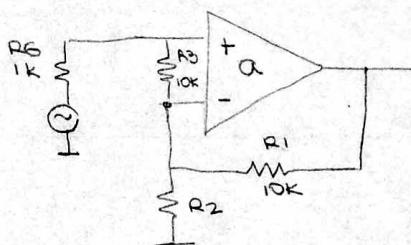
$$V_o = 0.39 V_i$$

f0, f02, Rparlante

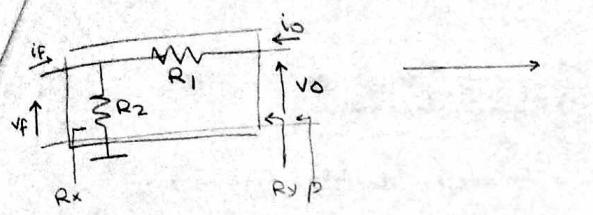
$$G_m = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_g}{R_9}$$

$$\begin{aligned} Z_{in} &= \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_i}{V_o \cdot R_g} \\ &= \frac{V_i}{0.001 V_o} \cdot R_g \\ &= 100 R_g \end{aligned}$$

- Separación del circuito en bloques:



mentador:



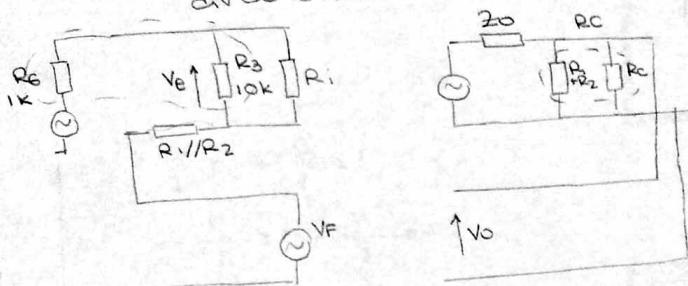
$$\frac{R_1/R_2}{R_1+R_2}$$

$$\frac{R_2}{R_1+R_2}$$

$$f = \frac{R_2}{R_1+R_2} = \frac{100}{10k+100} = 0.9 \cdot 10^{-3}$$

Puedo reescribir el circuito, como generador + ampli + realimentador ideal.

div de tensión?



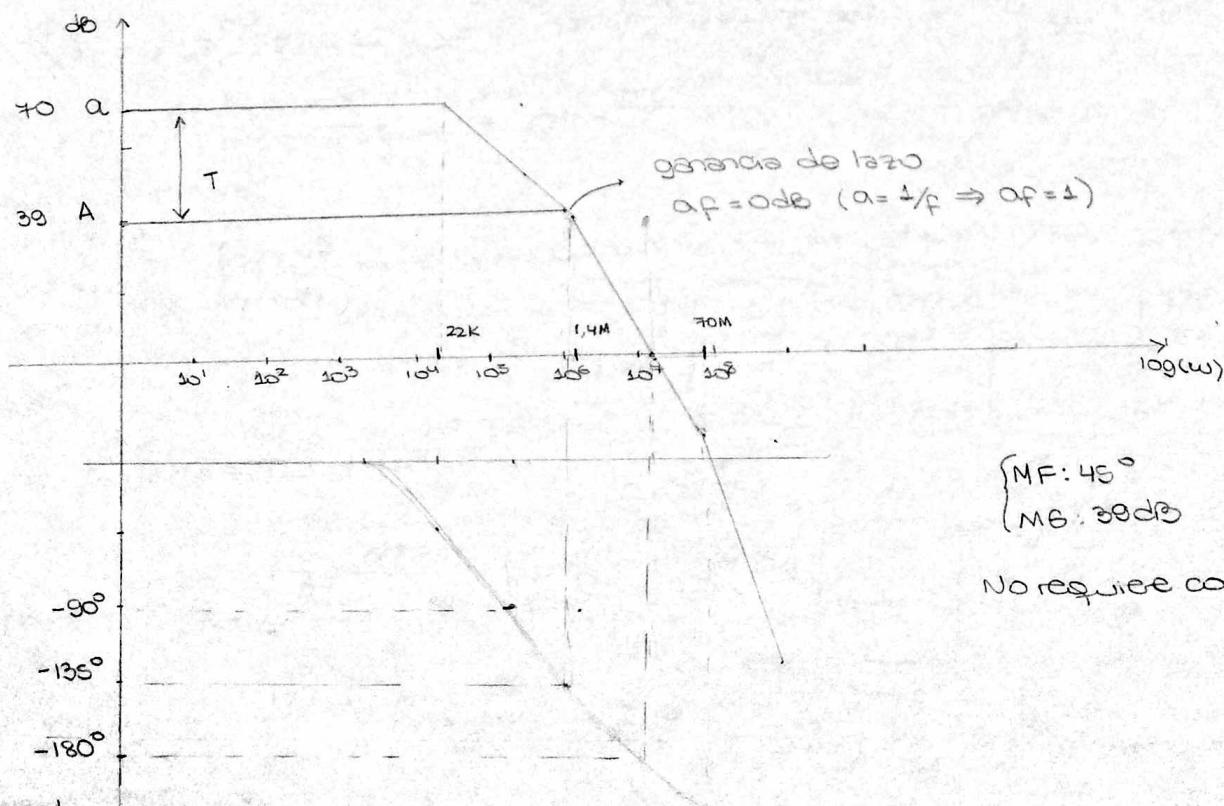
$a_v$  → ganancia del ampli a lazo abierto

$a$  → ganancia del ampli modificado a lazo abierto

$$\rightarrow \text{si } R_2 = 0 \Rightarrow a_v = a$$

$$\Rightarrow T = a_f = \frac{400dB}{3,16 \cdot 10^3} \cdot f = 3,16 \cdot 9,9 = 31$$

$$A = \frac{a}{1+a_f} \approx \frac{1}{f} \approx 101 \rightarrow A \approx 92 \rightarrow 32dB$$



# DE COMPENSACIÓN

Ganancia del ampli. en baja freq: 5000  $\rightarrow A_0 \approx 74 \text{ dB}$

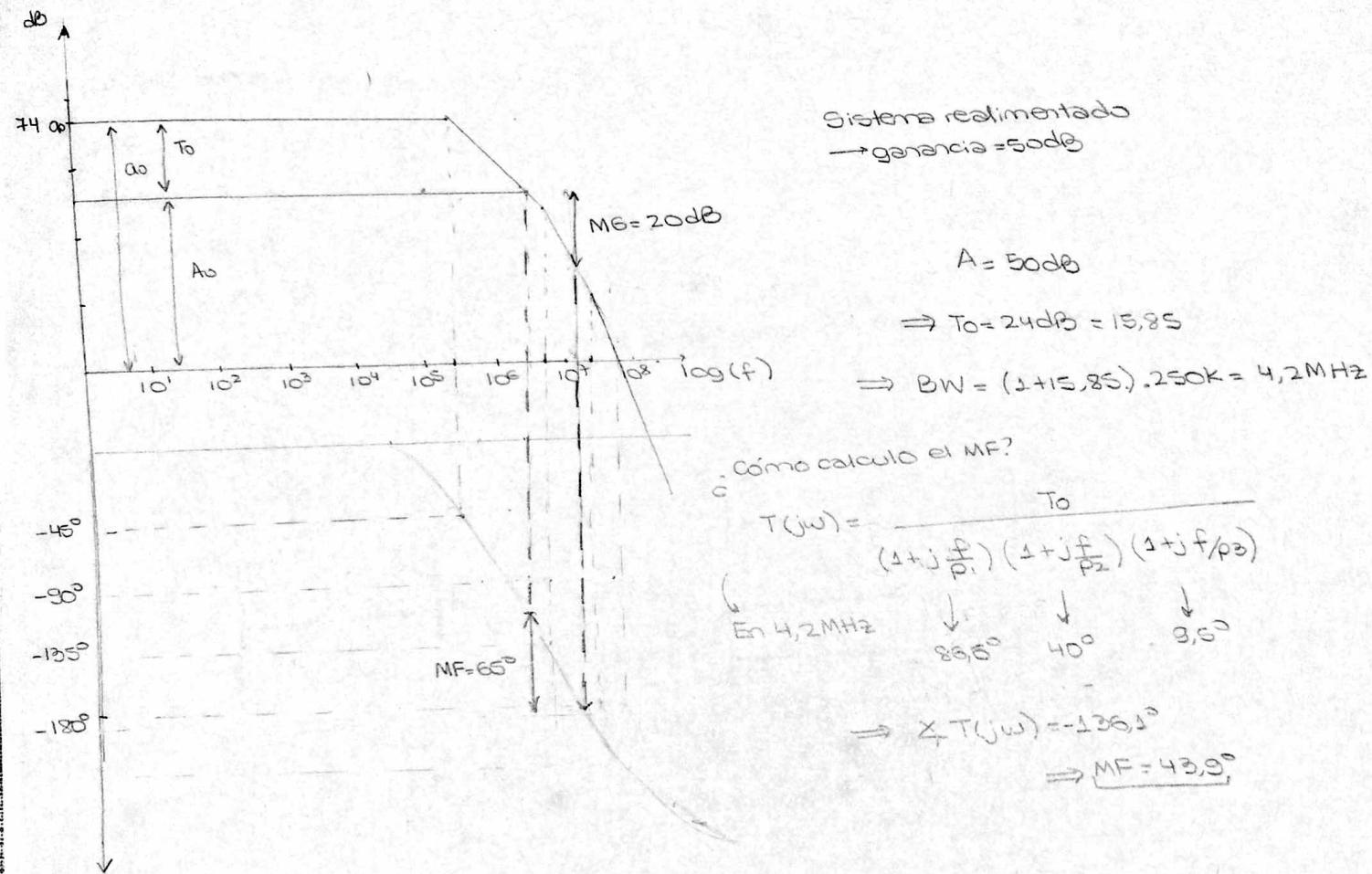
$$\begin{aligned} p_1 &= 250K \\ p_2 &= 5M \\ p_3 &= 25M \end{aligned}$$

forward gain: A

feedback factor: f

$A_0$ : low frequency gain

## DIAGRAMA DE MÓDULO Y FASE



- Compensar por polo dominante para utilizar el amplificador realimentado con ganancia unitaria y un margen de fase de  $45^\circ$ , asumiendo que los polos originales no resultan alterados

Para tener ganancia unitaria y MF de  $45^\circ$ , tengo que agregar un polo dominante  $p_d$  en una frecuencia inferior a  $p_1$  tal que en  $p_d$ :

$$|T(j2\pi p_d)| = 1 \quad \text{y} \quad \angle |T(j2\pi p_d)| = -135^\circ$$

Entonces, para  $f=1$ , esto debe ocurrir para

$$A_0 \cdot p_d = 1 \cdot p_1$$

$$p_d = \frac{p_1}{A_0} = 50 \text{ Hz}$$

→ pensar el ampli realimentado para una ganancia de 20dB y un margen de fase de  $45^\circ$  →  $\angle(T(j2\pi f_2)) = +135^\circ$   $|T(j2\pi f_2)| = 1$

$$P_D \cdot A_0 = P_1 \cdot 20\text{dB} \longrightarrow P_D = \frac{250\text{K} \cdot 20\text{dB}}{74\text{dB}} = \underline{\underline{67,5\text{K}}}$$

$$P_D = \frac{P_1 \cdot 20\text{dB}}{A_0} = \frac{P_1}{\frac{A_0}{20\text{dB}}} \underline{\underline{\frac{6}{10}}}$$

## ② Ampli de tensión compensado

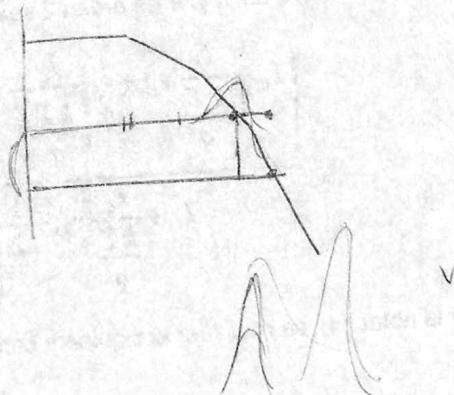
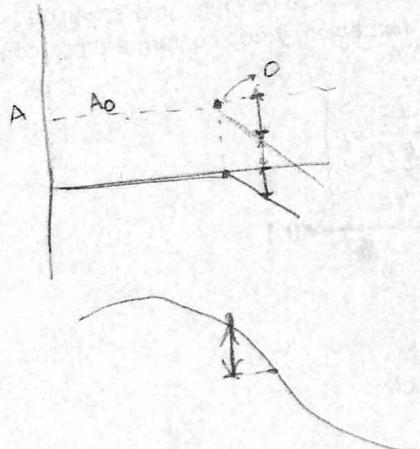
MF =  $45^\circ$

Ganancia de 0 dB

BW = 1MHz

THD = 0,005%

Se quiere modificar el ampli para usarlo en un preampli con ganancia de 40dB.

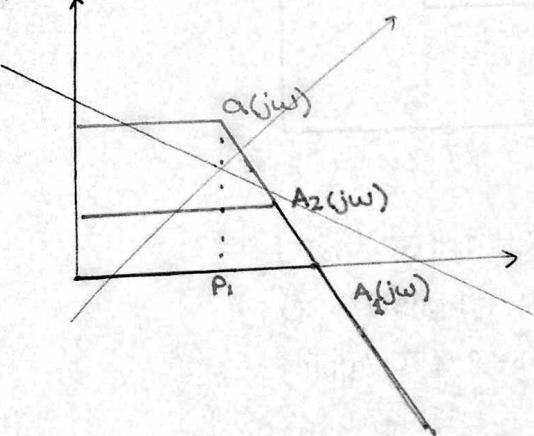


SENSACIÓN (2)

apli de tensión  
 $45^\circ$ ,  $G = 0 \text{dB}$   
 $f_N = 1 \text{MHz}$   
 $\text{THD} = 0,005\%$ .

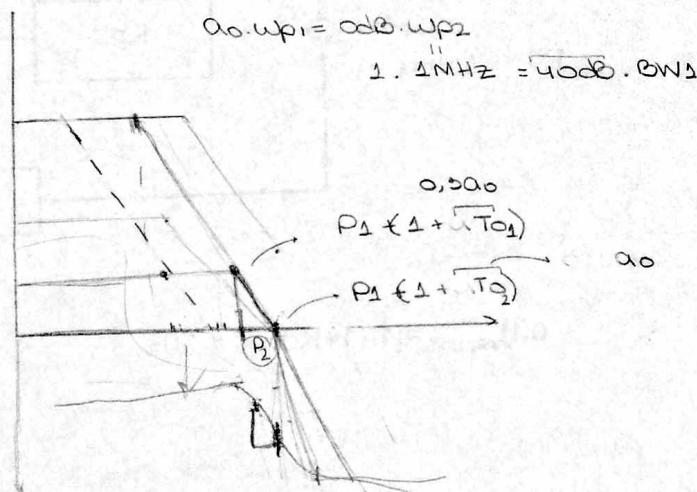
preampi:  $M^2 G = 400 \text{dB}$

a)



50%  
 $\omega$

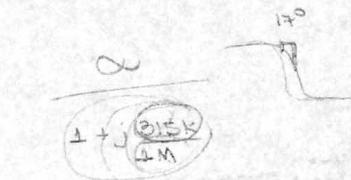
$$A = \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{1}{3,15} = 0,316$$



$$(1 + \alpha_0) \cdot P_1 = 316 \text{K}$$

$$P_1 = \frac{316 \text{K}}{1 + 0,3 \alpha_0} = \frac{1 \text{M}}{1 + \alpha_0}$$

$$0,3(1 + \alpha_0) = 1 + 0,3 \alpha_0$$



$$-y_1 + \alpha x_1 + j\omega y_2 + \alpha x_2 + j\omega$$

$$y_2 - y_1 = -\alpha(x_2 - x_1) \longrightarrow 400 \text{dB} = -20 \text{dB} \cdot (x_2 - 6)$$

$$20 \text{dB} = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2}$$

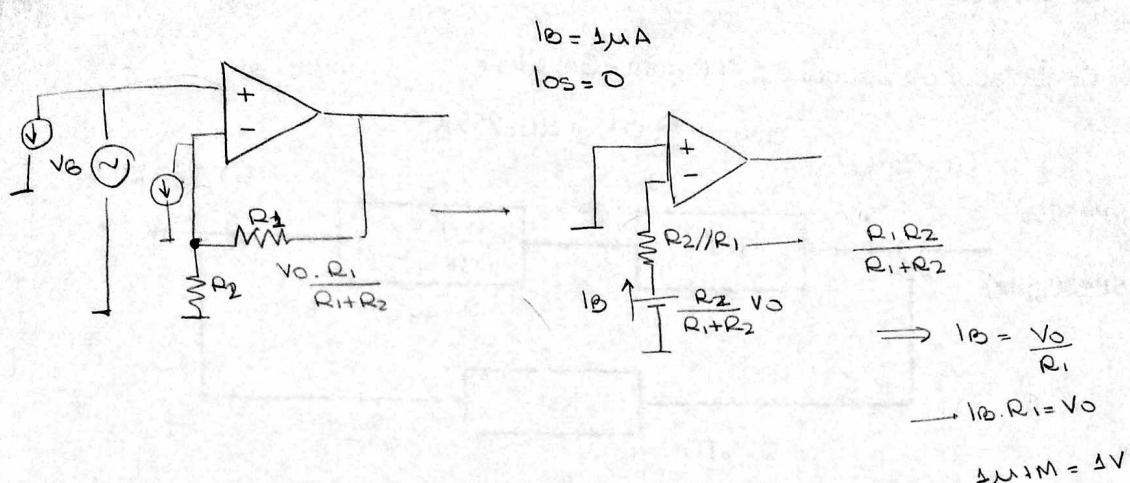
$$X_1 - X_2 = 2$$

$$-2 + 6 = X_2$$

$$4 = X_2$$

(S)  $\omega$

## MIENTRAS DE LA TENSIÓN DE SALIDA EN OP AMPS

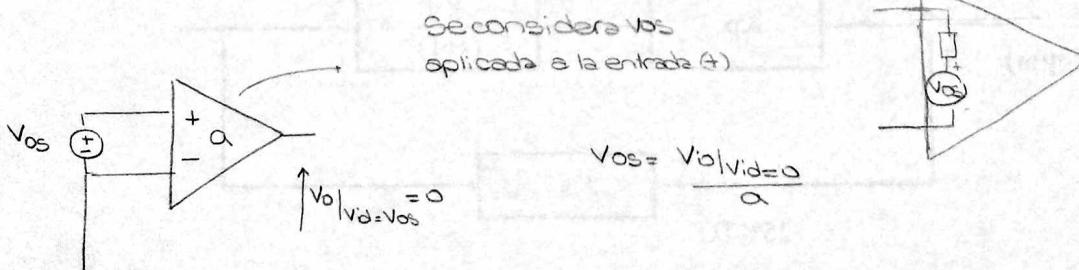


Cómo se compensa el comienzo?

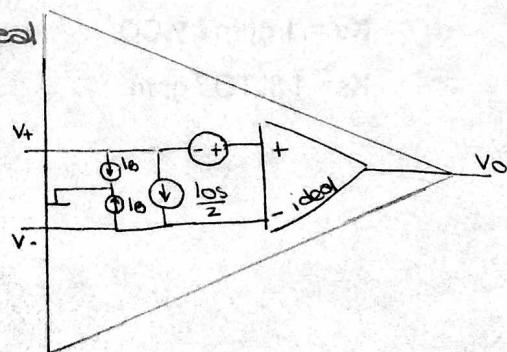
$V_{ID} = 0 \Rightarrow V_+ = V_-$   
 $I_{OS} \cdot R_3 = I_{OS}(R_1 // R_2) + V_0 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$   
 $\text{Si } R_3 = R_1 // R_2$   
 $\Rightarrow \frac{I_{OS}(R_1 // R_2)}{\frac{R_2}{R_1 + R_2}} = V_0 \Rightarrow V_0 = R_1 I_{OS}$   
 $\text{Si } I_{OS} = 0 \Rightarrow V_0 = 0$

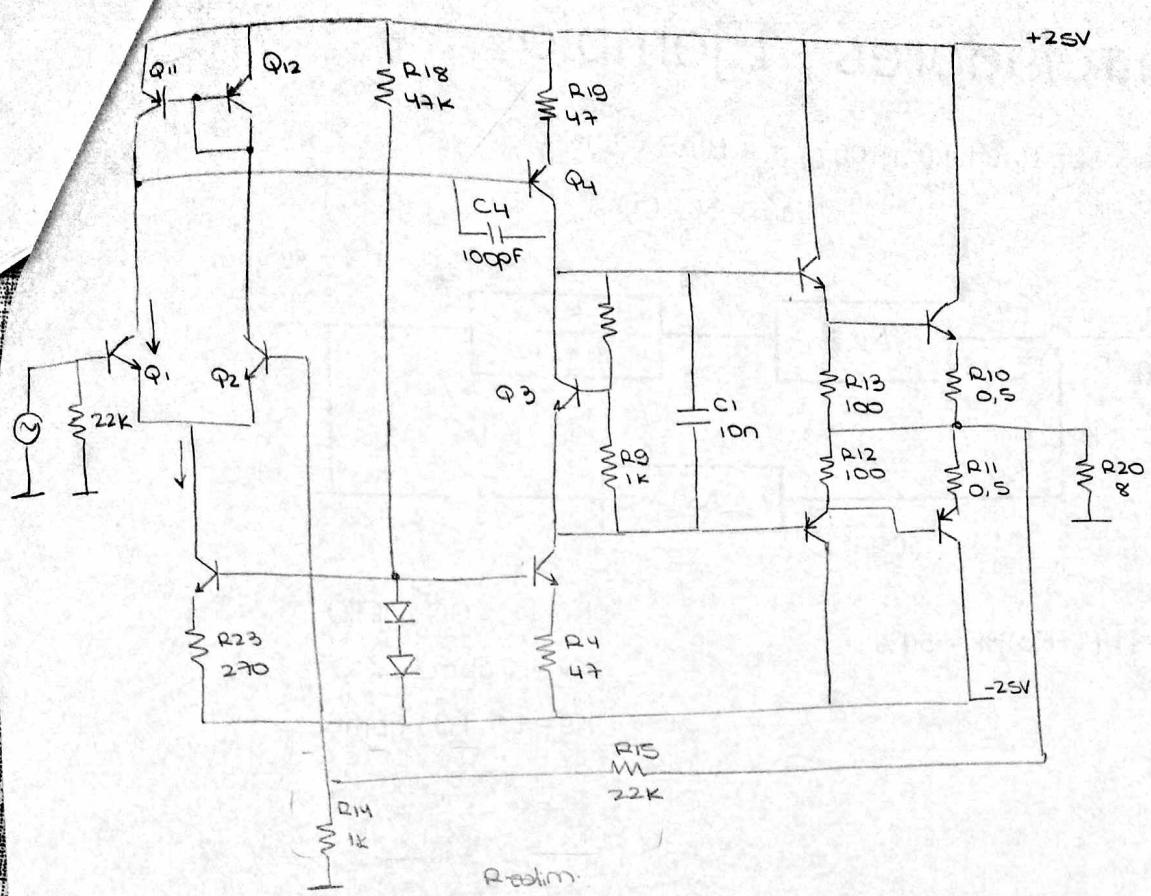
Tensión de offset a la entrada ( $V_{ID} \neq 0$ )

Si  $V_0 \neq 0$ , incluso cuando  $V_{ID} = 0$ , se debe corregir este comienzo aplicando a la entrada una tensión continua.



⇒ Ampli real





R-realim.

Parámetros del ampli sin  
realimentar?

Estepa 1

$$-g_{m1} \cdot [r_{011} \parallel r_{012} \parallel (r_{\pi 4} + \beta R_{19})]$$

Estepa 2

$$-g_{m4}$$

