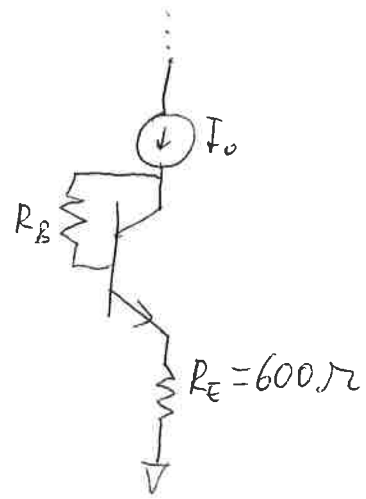
2.- a) En DC:



* $I_0 = I_C + I_B = I_C\left(1+\frac{1}{\beta_F}\right) = 3mA\cdot\left(1+\frac{1}{90}\right) \Rightarrow$

$$\Rightarrow \boxed{I_0 = 3.03mA}$$

* $V_{CE} = V_{BE} + I_B\cdot R_B = 0.7V + \frac{3mA}{90}\cdot R_B \Rightarrow$

$$\Rightarrow \underline{\underline{R_B}} = \frac{(1.5-0.7)V\cdot 90}{3mA} = \underline{\underline{24K}}$$

b) Con este circuito de polarización el transistor siempre está en activa (si conduce). En efecto, como $I_B > 0$ (entrante) entonces $V_C > V_B \Rightarrow$ activa.

Por tanto, el transistor estaría en activa para cualquier valor de R_B.

La única limitación viene impuesta no por el BJT sino por la fuente de corriente, que requiere $V_C < 15V$. Calculemos V_C:

$$V_C = I_E\cdot R_E + V_{BE} + I_B\cdot R_B = \underbrace{I_C(\beta_F^{-1}+1)}_{I_0 = 5mA}\cdot R_E + V_{BE} + \frac{I_C}{\beta_F}\cdot R_B \Rightarrow$$

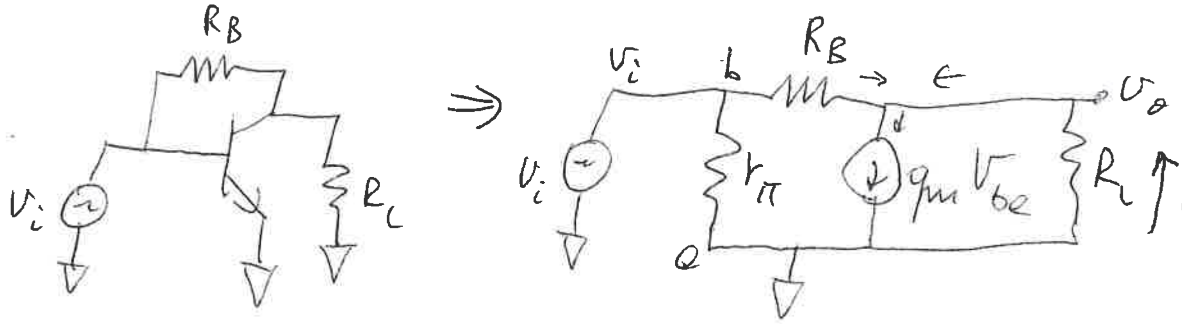
$$\Rightarrow R_B = \frac{V_C - V_{BE} - I_C(\beta_F^{-1}+1)\cdot R_E}{I_C/\beta_F} = \frac{15V - 0.7V - 3V}{55\mu A} = 205.5K\Omega$$

Sólo nos falta I_C: $I_0 = I_C + I_B = I_C\left(1+\frac{1}{\beta_F}\right) \Rightarrow \underline{I_C = 4.95mA}$

$$\boxed{R_B < 205.5K\Omega}$$

(Valores mayores provocan tensiones $V_C > 15V$)

c) Circuito en pequeña señal:



$i_L \neq g_m v_{be}$

¡ojo!

$$v_o = -R_L \cdot i_L \quad (*)$$

$$i_L + i_{R_B} = g_m v_{be} \Rightarrow i_L + \frac{v_i - v_o}{R_B} = g_m \overset{=v_i}{v_{be}} \Rightarrow i_L = g_m \overset{=v_i}{v_{be}} + \frac{v_o - v_i}{R_B}$$

Luego sustituyendo en (*) tenemos:

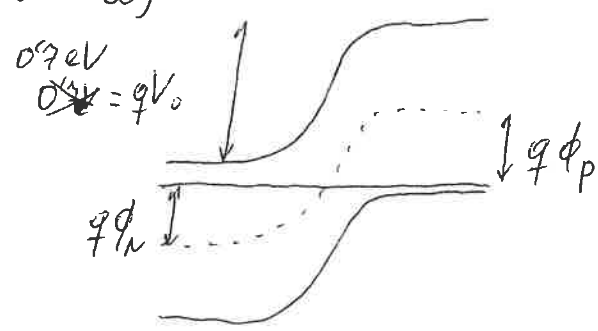
$$v_o = -R_L \cdot \left(g_m v_i + \frac{v_o - v_i}{R_B} \right) = -\frac{R_L}{R_B} v_o - R_L v_i \left(g_m - \frac{1}{R_B} \right)$$

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{-g_m + \frac{1}{R_B}}{\left(\frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_B} \right)} = \frac{-0.115 + 4.2\times10^{-5}}{2\times10^{-5} + 4.16\times10^{-5}} = -1865$$

Calculemos g_m:

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{3\,mA}{26\,mV} = 0.115\,\Omega^{-1}$$

3.- a)



$$qV_0 = q\phi_N + q\phi_p = KT \ln \frac{N_D}{n_i} + KT \ln \frac{N_A}{n_i} \Rightarrow$$

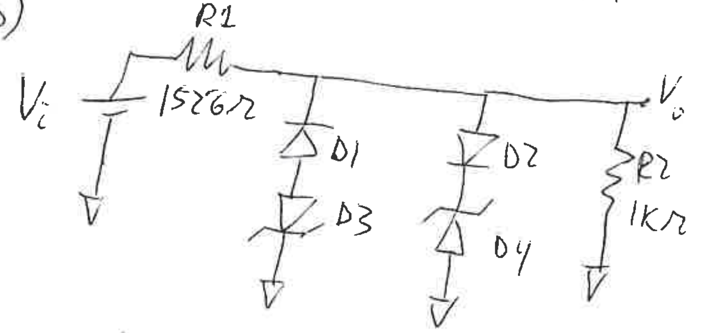
$$\Rightarrow \boxed{qV_0 = KT \ln \frac{N_D N_A}{n_i^2}}$$

$$N_D = N_A \Rightarrow 0'7eV = 25'8meV \ln \frac{N_D^2}{n_i^2} \Rightarrow \ln \frac{N_D}{n_i} = 13'56 \Rightarrow \boxed{N_D = 1'13 \times 10^{16} cm^{-3}}$$

$$N_A = 0'1N_D \Rightarrow 0'7eV = 25'8meV \ln\left(\frac{0'1N_D^2}{n_i^2}\right) \Rightarrow \ln\left(\frac{0'1 \times N_D^2}{n_i^2}\right) = 27'13 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N_D^2 = e^{27'13} \frac{\times n_i^2}{0'1} \Rightarrow \boxed{N_D = 3'57 \times 10^{16} cm^{-3}}$$

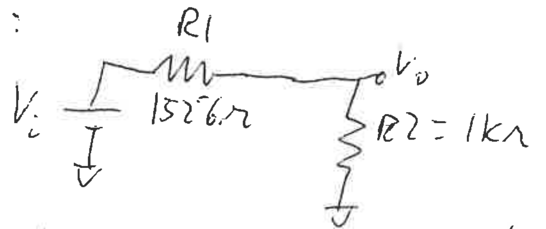
b)



En cada rama, los diodos están enfrentados. Por tanto, una rama con diodos sólo conducirá cuando el zener conduzca en inversa.

La rama formada por D1 y D3 conduce cuando $V_o \leq -3V$
" " " " D2 y D4 " " $V_o \geq 3V$

* Con los diodos cortados ($V_o \in (-3, 3)V$), tenemos el divisor de tensión:



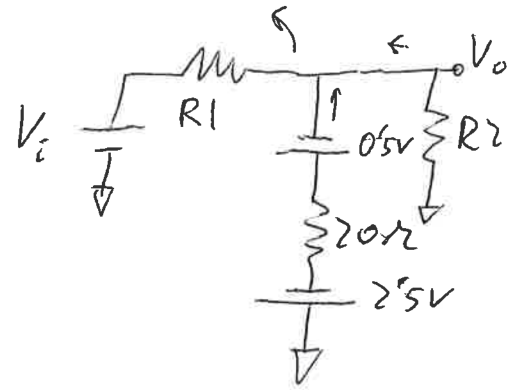
$$V_o = \frac{1K\Omega}{1526\Omega} V_i = 0'867 \cdot V_i$$

Por tanto, tenemos en la salida $V_o = \pm 3V$ cuando $V_i = 3'46V$

* $V_i \in [-3'46V, 3'46V] \Rightarrow V_o = 0'867 \cdot V_i$

* $V_i \leq -3'46V \Rightarrow$ D2, D4 OFF, D1, D3 ON

Queda el siguiente circuito:



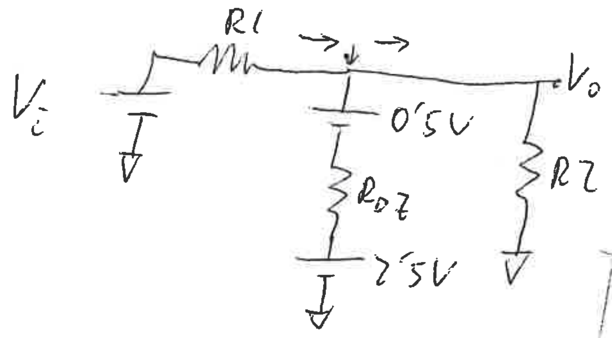
$$\frac{V_o - V_i}{R1} = \frac{-V_o}{R2} + \frac{-3V - V_o}{20\Omega} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_o\left(\frac{1}{152'6\Omega} + \frac{1}{1K} + \frac{1}{20}\right) = \frac{-3V}{20\Omega} + \frac{V_i}{R1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{V_o = 0'113 V_i - 2'61V} \quad \left(V_o = \frac{R1||R2||R_{ZD}}{R1} V_i - \frac{3V}{R_{ZD}} \cdot R1||R2||R_Z\right)$$

(Comprobación $V_o(V_i = -3'46V) = -3V$)

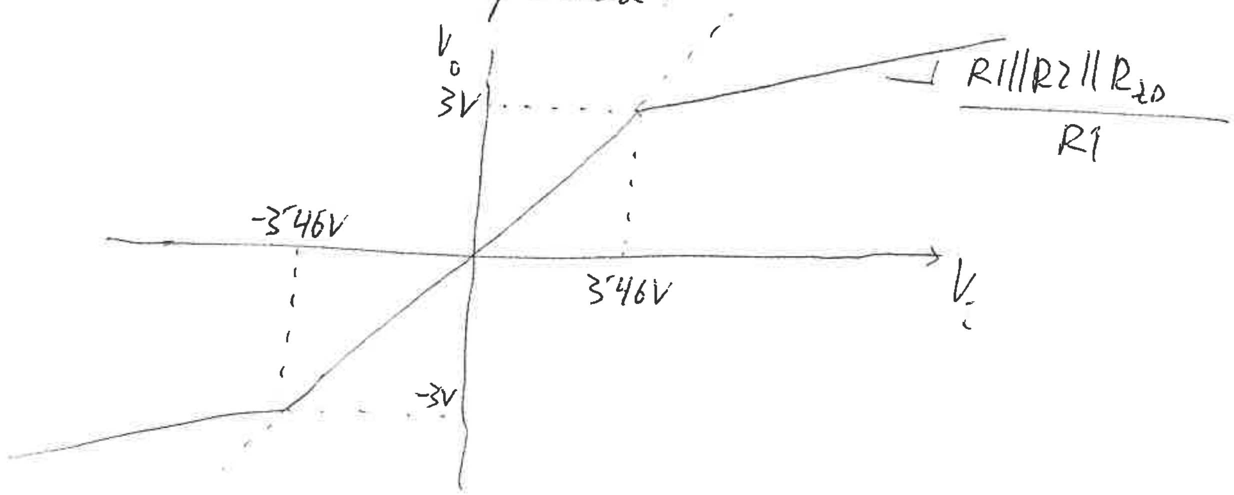
* Análogamente, cuando $V_i \geq 3'46V$ tenemos D2, D4 ON y D1, D3 OFF:



$$\frac{V_i - V_o}{R1} = \frac{V_o - 3V}{R_{DZ}} + \frac{V_o}{R2} \Rightarrow$$

$$\boxed{\begin{array}{l} V_o = \dfrac{R1||R2||R_{ZD}}{R1} V_i + \dfrac{3V}{R_{ZD}} \cdot R_1||R_2||R_{ZD} \\ V_o = 0'113 V_i + 2'61V \end{array}}$$

* Característica de transferencia:



4.-

a) $V_T = V_{FB} + 2\phi_F + \gamma\sqrt{2\phi_F}$

CANAL N

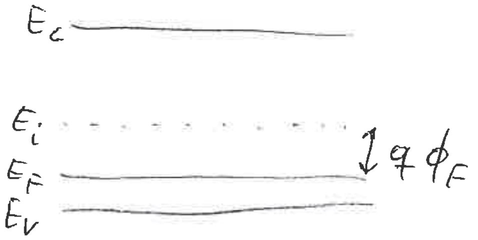
$5'8\cdot 10^{-8}$

- $\gamma = \dfrac{\sqrt{2\varepsilon_{Si}\, q N_A}}{C_{ox}} = \dfrac{\left(2\times 11.9\times 8.85\times 10^{-14}\,\frac{F}{cm}\times 1.6\times 10^{-19}\,C\cdot 10^{16}\,cm^{-3}\right)^{1/2}}{50\,nF/cm^2} =$

$= \underset{50nF}{\overset{1.16}{\cancel{5.8}}}\ \dfrac{(F\cdot C)^{1/2}}{F} = \overset{1.16}{\cancel{1.48}}\ \dfrac{\left(\frac{F}{V}\cdot C\right)^{1/2}}{\frac{F}{V}} = \cancel{8.8}\ V^{1/2}$

$5'8 \rightarrow 10nF$

- Cálculo de ϕ_F:



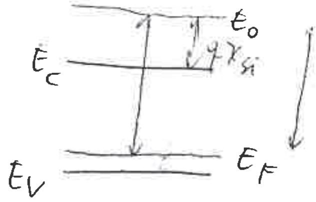
; $p_0 \sim 10^{16}\,cm^{-3} = n_i\, e^{q\phi_F/KT} \Rightarrow$

$\Rightarrow \phi_F = \dfrac{KT}{q}\cdot \ln\dfrac{10^{16}}{1.45\times 10^{10}} = 0.347\,V$

- Finalmente, V_{FB}

$V_{FB} = \phi_M - \phi_S = \phi_M -$

Calculemos ϕ_S



$q\phi_S = q\chi_{Si} + (E_c - E_F) = q\chi_{Si} + E_g - (E_F - E_V) =$

$= 4.05\,eV + 1.1\,eV - 0.179\,eV \Rightarrow \boxed{\phi_S = 4.971\,V}$

Ya que: $E_F - E_V = -KT\ln\dfrac{N_A}{N_V} = 0.179\,eV$

↑

Por tanto, tenemos:

$$V_T = 1V = \phi_M - \phi_S + 2\phi_F + \gamma\sqrt{2\phi_F}$$

$$\Downarrow$$

$$1V = \phi_M - 4.971V\left(+2\times 0.347 + \cancel{5.18}\,\overset{1.18}{\underset{0.858}{}}\cdot\sqrt{2\times 0.347}\right)V =$$

$$= \phi_M - \cancel{6.163}\overset{3.34}{\underset{0'55}{}}V \Rightarrow \phi_M = \cancel{7.163}\;0'44V \rightarrow 10nF$$

$$\boxed{q\phi_M = \cancel{7.163}\,\overset{}{\underset{4.31}{}}eV} \quad 0'44eV$$
$4'31eV \rightarrow Cox = 50n$

OBSERVACIÓN.- Esta función trabajo es demasiado baja, se debe a que el dato de Cox es erróneo (debería ser 50nF/cm²).

b) $\boxed{I_0 = 1mA}$

$V_D = 5V \Rightarrow \boxed{R_D = \frac{5V}{1mA} = 5K\Omega}$

$$I = 1mA = \frac{\beta}{2}\left[V_{GS} - V_T\right]^2 \Rightarrow 1mA = 200\frac{\mu A}{V^2}\left[V_{GS} - V_T\right]^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{GS} - V_T = \pm 2.23V \Rightarrow \boxed{V_{GS} = 3.23V}$$

↳ Absurdo

Si queremos $V_{DS} = 3V \Rightarrow V_S = 2 \Rightarrow V_G = 5.23V$

¿Estará en saturación?

$$\left.\begin{array}{l} V_{DS} = 3V \\ V_{GS} = 3.23V \end{array}\right\} V_{DS} > V_{GS} - V_T = 2.23V \quad \underline{\underline{SI}}$$

Sólo falta diseñar el divisor de tensión:

$$\frac{10 - 5.23}{R_{G1}} = 50\mu A \Rightarrow \boxed{R_{G1} = 95.4K\Omega}$$

$$\frac{5.23}{R_{G2}} = 50\mu A \Rightarrow \boxed{R_{G2} = 104.6K\Omega}$$

c) * $R_{G2} \uparrow \Rightarrow V_G \uparrow$. Mientras esté en saturación $\Rightarrow$

$\Rightarrow V_{GS} = cte$ (porque I_D está fijada) $\Rightarrow V_S \uparrow \Rightarrow V_{DS} \downarrow$

$\Rightarrow$ puede salirse de saturación.

Punto límite:

$$V_{DS} = V_{GS} - V_T \Rightarrow \underbrace{5V}_{\text{Aquí está fijada porque } I_D \text{ y } R_D \text{ están fijadas}} - \cancel{V_S} = V_G - \cancel{V_S} - V_T \Rightarrow$$

$\Rightarrow \boxed{V_G = 6V}$ ¿Para qué valor de R_{G2} se obtiene esta tensión?

$$6V = 10V \cdot \frac{R_{G2}}{95.4K + R_{G2}} \Rightarrow \boxed{R_{G2} = 143.1 K\Omega}$$

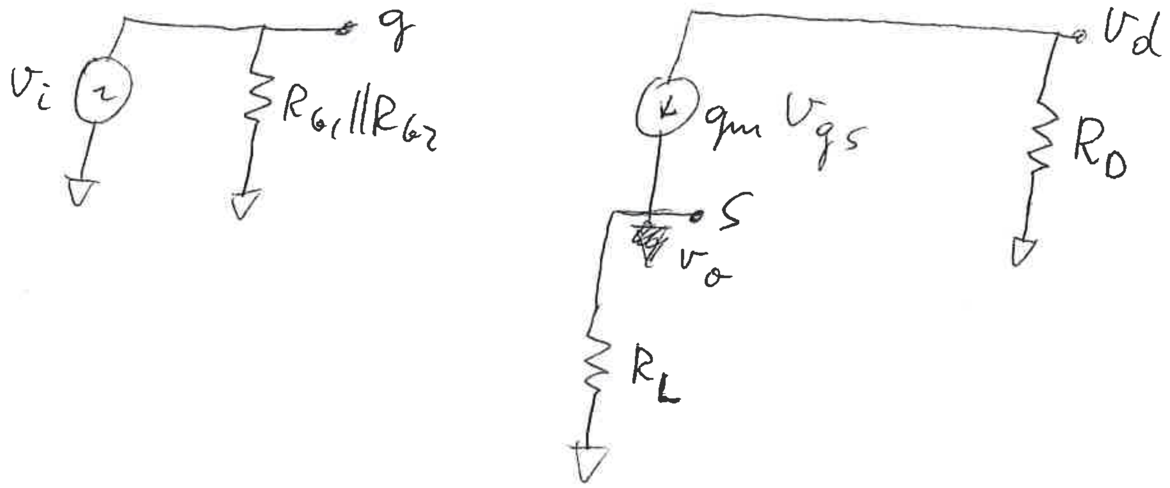
* $R_{G2} \downarrow \Rightarrow V_G \downarrow \Rightarrow V_S \downarrow$ (V_{GS} está fijada).- Si la fuente de corriente fuese ideal no habría limitación de tensión en V_S, pero esta requiere al menos $V_S \geq 0.5 \Rightarrow V_G = 0.5 + V_{GS} = 0.5V + 3.23V = 3.73V$

$\Rightarrow$

$$3.73V = 10V \cdot \frac{R_{G2}}{95.4 + R_{G2}} \Rightarrow \boxed{R_{G2} = 56.75 K\Omega}$$

* Luego $R_{G2} \in [56.75, 143.1] K\Omega$

d) Circuito pequeña señal:



$$v_o = g_m v_{gs} \cdot R_L = g_m R_L (v_i - v_o) \Rightarrow$$

$$(1 + g_m R_L) v_o = v_i \cdot g_m R_L \Rightarrow A_v = \frac{g_m R_L}{1 + g_m R_L} \sim \frac{1}{1 + \frac{1}{g_m R_L}}$$

$$g_m = \frac{2 I_D}{(V_{GS} - V_T)} = \frac{2\,mA}{2.23\,V} = 0.9\,m\mho$$

$$R_L = \cancel{20K}\ 2K$$

$\Big\} \Rightarrow g_m R_L = \cancel{18}\ 1'8$

$\cancel{A_v \approx \frac{18}{19} \approx 1}$ $\quad A_v \simeq \frac{g_m R_L}{g_m R_L + 1} = \frac{1'8}{2'8} = 0'64$