

FUNDAMENTOS DE ELECTRÓNICA

Examen 1ª Convocatoria. Primer Parcial (2015-2016)

Apellidos, Nombre:

Compañía:

Sección AGM:

Grupo CUD:

Fecha: 2/2/2016

- Rellene sus datos personales
- Esta hoja será grapada a los folios con las soluciones
- **Comience cada ejercicio en cara nueva de folio**
- Compruebe que tiene todas las cuestiones y ejercicios resueltos
- **El examen deberá ser escrito a bolígrafo**
- **No usar bolígrafo rojo ni Tipp-Ex**
- Se puede utilizar calculadora pero debe ser NO programable

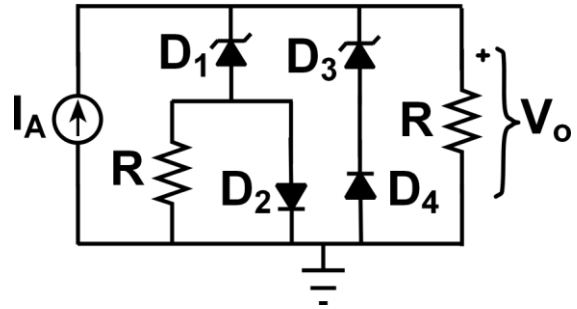
Ejercicio 1	Cuestión 1	Ejercicio 2
/ 3.5	/ 2	/ 4.5
NOTA FINAL		

EJERCICIO 1 (3.5 puntos)

Dado el siguiente circuito basado en dos diodos y dos diodos zener.

Tome los siguientes datos:

- $R = 300 \Omega$
- Para los diodos:
 - Tensión umbral 0.6 V
 - Intensidad máxima 60 mA
- Para los zeners:
 - Tensión umbral $V_Y = 0.8 \text{ V}$
 - Tensión de ruptura $|V_Z| = 5.4 \text{ V}$
 - Intensidad máxima en directa 75 mA
 - Potencia máxima 270 mW



- a) Defina los límites entre regiones de los diodos en función de V_o .
- b) Calcule la relación entre la tensión V_o y la intensidad I_A , la cual puede circular en ambos sentidos $(-\infty, +\infty)$.
- c) Calcule la intensidad I_A máxima y mínima para la cual se alcanza la limitación de corriente máxima de los diodos.

CUESTIÓN 1 (2 puntos)

Cuando la temperatura de un semiconductor de Ge intrínseco se modifica de 300K a 310K , su conductividad se incrementa un 50% .

Calcular:

- a) La anchura de su banda prohibida, E_g .
- b) En el caso del silicio, Si, de $E_g = 1.12 \text{ eV}$, ¿cuál es el porcentaje de cambio de su conductividad para el mismo cambio de temperatura?

Sea un bloque de un material semiconductor base de Germanio. Calcule la concentración de portadores, la posición del nivel de Fermi y la conductividad a temperatura ambiente (300 K):

- c) Para el caso intrínseco.
- d) Con un dopaje mixto homogéneo de impurezas donadoras $N_D = 8 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ y aceptadoras $N_A = 4 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$
- e) Calcule la conductividad si se ilumina el semiconductor del apartado d hasta que se triplica el número de huecos.

Datos:

$$q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}, k = 86.2 \cdot 10^{-6} \text{ eV/K}$$

Germanio:

$$N_C = 1.02 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}, N_V = 5.64 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}, \mu_n = 3900 \text{ cm}^2/(\text{Vs}), \mu_p = 1820 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$$

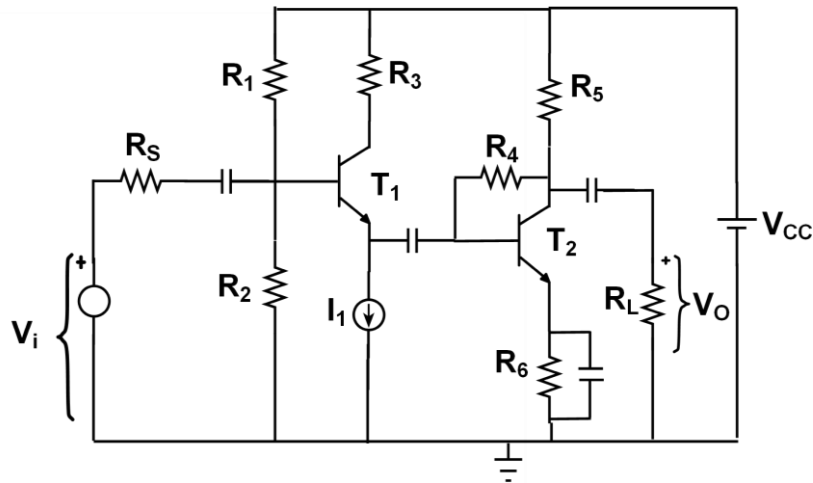
Silicio:

$$N_C = 2.82 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}, N_V = 1.83 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}, \mu_n = 1350 \text{ cm}^2/(\text{Vs}), \mu_p = 500 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$$

Nota: Considerar que estos datos no dependen de la temperatura

EJERCICIO 2 (4.5 puntos)

Sea el siguiente circuito basado en dos transistores bipolares NPN, donde todos los condensadores son de desacoplo.



$I_1 = 6 \text{ mA}$, $V_{CC} = 15 \text{ V}$, V_i fuente de tensión alterna

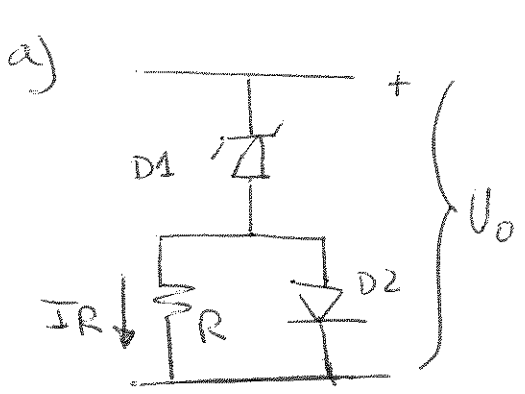
NPN: $\beta_f = 200$, considere $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ si la unión BE está en directa

$R_1 = 1.8 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2.5 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 0.68 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 0.5 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 20 \text{ k}\Omega$, $R_6 = 0.5 \text{ k}\Omega$, $R_L = 4 \text{ k}\Omega$, $R_S = 2 \text{ k}\Omega$

- En qué región nunca estará el transistor T_2 . Justifique su respuesta.
- Calcular el punto de polarización. Resolver sin despreciar la corriente de base.
- Representar el modelo de pequeña señal del circuito.
- Obtener la relación V_0/V_{be2} del circuito en pequeña señal.
- Obtener la ganancia **máxima** ($A = V_0/V_i$) del circuito en pequeña señal.

$$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} \quad r_\pi = \frac{\beta}{g_m} \quad V_T = 25.8 \text{ mV}$$

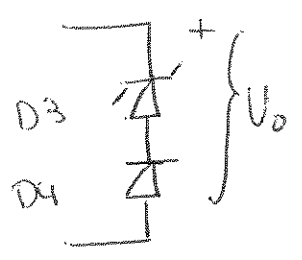
EJERCICIO 1



Si D_2 ON $\rightarrow I_R = \frac{0.6}{R} > 0 \rightarrow$
 $\rightarrow D_1$ EN RUPTURA

limites D_2 $\left\{ \begin{array}{l} \text{ON} \quad V_0 > 6V \\ \text{OFF} \quad V_0 < 6V \end{array} \right.$

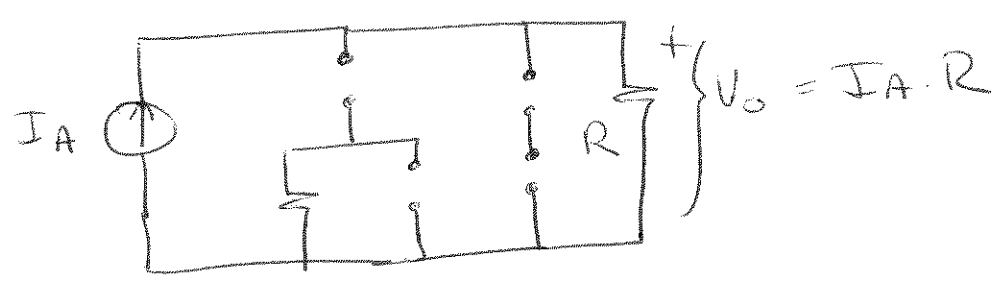
Si D_1 OFF $\left\{ \begin{array}{l} I_R = 0 \\ D_2 \text{ OFF} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \text{limites } D_1 \left\{ \begin{array}{l} \text{RUPTURA} \quad V_0 > 5.4V \\ \text{OFF} \quad -0.8V < V_0 < 5.4V \\ \text{ON} \quad V_0 < -0.8V \end{array} \right. \end{array} \right.$



Si D_3 ON $\rightarrow D_4$ ON
 Si D_3 OFF $\rightarrow D_4$ OFF

limites D_3+D_4 $\left\{ \begin{array}{l} \text{ambos ON} \quad V_0 < -1.4V \\ \text{ambos OFF} \quad V_0 > -1.4V \end{array} \right.$

b) Supongo todos OFF

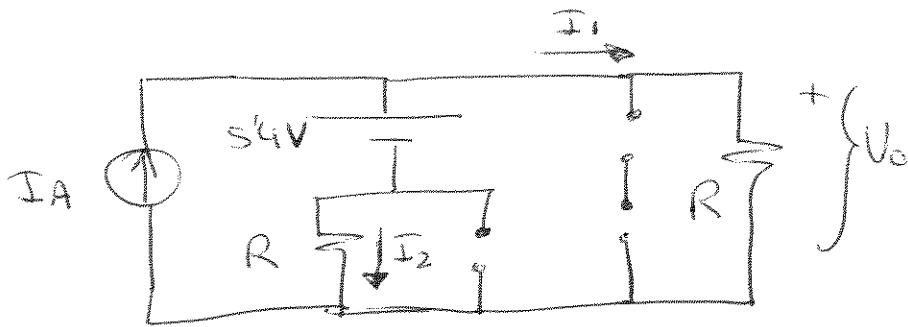


$D_2 \rightarrow V_0 < 6V \rightarrow I_A < 20mA$

$D_1 \left\{ \begin{array}{l} V_0 < 5.4V \rightarrow I_A < 18mA \\ V_0 > -0.8V \rightarrow I_A > -2.6mA \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} -2.6mA < I_A < 18mA \end{array} \right.$

$D_3+D_4 \rightarrow V_0 > -1.4V \rightarrow I_A > -4.6mA$

Si $I_A > 18\text{mA}$ → D1 RUPTURA RESTO OFF



$$I_1 = \frac{V_0}{R}$$

$$I_2 = \frac{V_0 - 5'4}{R}$$

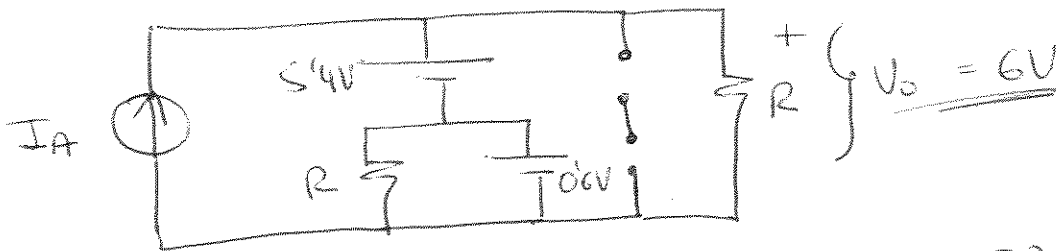
$$\left\{ \begin{aligned} I_A = I_1 + I_2 &\rightarrow I_A = \frac{V_0}{R} + \frac{V_0 - 5'4}{R} \rightarrow \\ &\rightarrow I_A \cdot R = 2V_0 - 5'4 \rightarrow V_0 = 0'5I_A + 2'7 \end{aligned} \right.$$

$$D1 \rightarrow V_0 < 6V \rightarrow I_A < 22\text{mA}$$

$$D3 + D4 \rightarrow V_0 > -1'4V \rightarrow I_A > -27'3\text{mA}$$

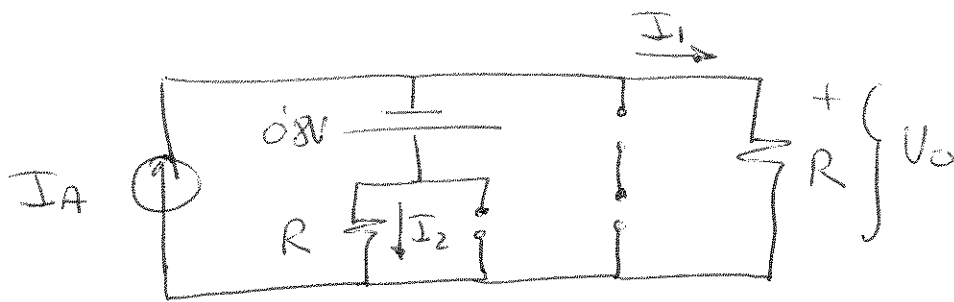
$$\left\{ \underline{18\text{mA} < I_A < 22\text{mA}} \right.$$

Si $I_A > 22\text{mA}$ → D1 RUPTURA D2 ON D3, D4 OFF



$$D3 \text{ y } D4 \rightarrow V_0 > -1'4V \quad \underline{\text{OK}} \rightarrow \underline{22\text{mA} < I_A < \infty}$$

Si $I_A < -2.6 \text{ mA} \rightarrow D_1 \text{ ON}$ REST OFF



$$I_1 = \frac{V_o}{R}$$

$$I_2 = \frac{V_o + 0.8}{R}$$

$$I_A = I_1 + I_2 \rightarrow I_A = \frac{V_o}{R} + \frac{V_o + 0.8}{R}$$

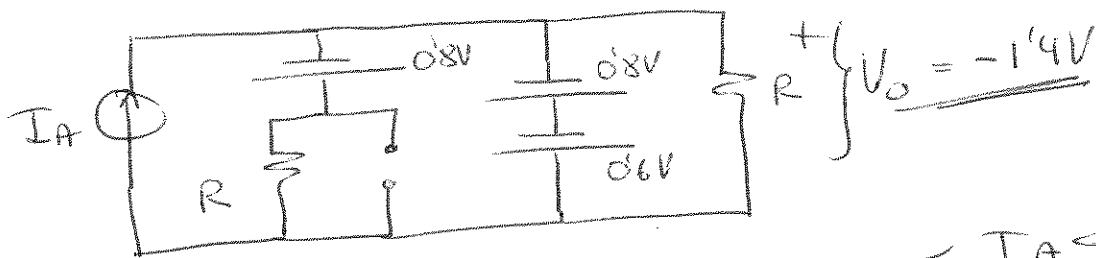
$$\rightarrow 2V_o + 0.8 - I_A R \rightarrow V_o = \underline{\underline{0.15 I_A - 0.4}}$$

$D_2 \rightarrow V_o < 6\text{V} \rightarrow I_A < 42.6 \text{ mA}$

$D_3 + D_4 \rightarrow V_o > -1.4\text{V} \rightarrow I_A > -6.6 \text{ mA}$

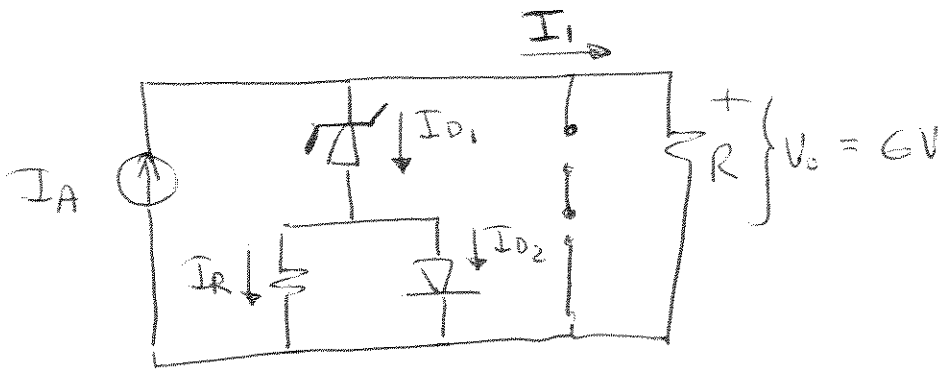
$\left\{ \underline{\underline{-6.6 \text{ mA} < I_A < -2.6 \text{ mA}}}$

Si $I_A < -6.6 \text{ mA} \rightarrow D_1 \text{ ON}$ $D_3 \text{ ON}$ $D_4 \text{ ON}$ $D_2 \text{ OFF}$



$D_2 \rightarrow V_o < 6\text{V} \rightarrow \text{OK} \rightarrow -\infty < I_A < -6.6 \text{ mA}$

g) I_A máxima \rightarrow último circuito $I_A > 0 \rightarrow$
 $\rightarrow D_1$ RUPTURA D_2 ON D_3 OFF D_4 OFF ($I_A > 22$ mA)



D_1 RUPTURA $\rightarrow I_{D1 \text{ MAX}} = \frac{P_{\text{MAX}}}{V_Z} = 50 \text{ mA}$
 $I_{D1 \text{ MAX}} < I_{D2 \text{ MAX}}$

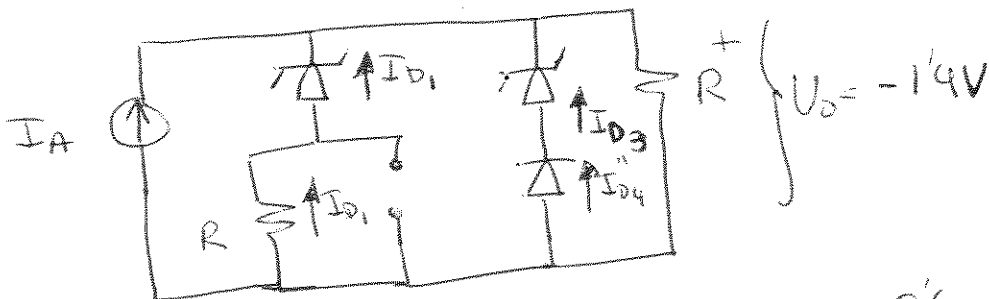
D_2 ON $\rightarrow I_{D2 \text{ MAX}} = 60 \text{ mA}$

$I_R = \frac{0'6}{R} > 0$
 $I_{D1} = I_{D2} + I_R$
 $I_{D1} > I_{D2}$

LIMITA D1

$I_A = I_{D1 \text{ MAX}} + I_1 = 50 \text{ mA} + \frac{6V}{0'3 \text{ k}\Omega} = 70 \text{ mA}$

I_A mínima \rightarrow último circuito $I_A < 0 \rightarrow$
 $\rightarrow D_1$ ON D_2 OFF D_3 ON D_4 ON ($I_A < -66$ mA)



D_1 ON $\rightarrow I_{D1 \text{ MAX}} = 75 \text{ mA} \rightarrow I_{D1} = \frac{0'6}{R} = 2 \text{ mA}$ NO LIMITA

D_3 ON $\rightarrow I_{D3 \text{ MAX}} = 75 \text{ mA}$
 $I_{D3} = I_{D4} \rightarrow$ LIMITA D4

D_4 ON $\rightarrow I_{D4 \text{ MAX}} = 60 \text{ mA}$

$I_A = -I_{D1} - I_{D4 \text{ MAX}} - \frac{V_0}{R} = -66'8 \text{ mA}$

CUESTIÓN 1

$$a) \quad \sigma_{310} = \sigma_{300} + 0,5\sigma_{300} = 1,5\sigma_{300}$$

$$\sigma = q(\mu_n + \mu_p) n_i = \sigma_0 \cdot e^{-E_g/2kT}$$

Sólo depende de la temperatura n_i

$$n_i = \sqrt{N_c N_v} e^{-\frac{E_g}{2kT}}$$

$$\text{Llamo } \sigma_0 = q(\mu_n + \mu_p) \cdot \sqrt{N_c N_v}$$

$$\Rightarrow \frac{\sigma_{310}}{\sigma_{300}} = \frac{\sigma_0 \cdot e^{-E_g/2kT_{310}}}{\sigma_0 \cdot e^{-E_g/2kT_{300}}} = e^{-\frac{E_g}{2k} \left(\frac{1}{310} - \frac{1}{300} \right)} = 1,5$$

$$+ \frac{E_g}{2k} \cdot 1,075 \cdot 10^{-4} = \ln 1,5$$

$$E_g = \frac{2k \ln 1,5}{1,075 \cdot 10^{-4}} = 0,65 \text{ eV}$$

$$b) \quad e^{-\frac{1,12 \text{ eV}}{2 \cdot k} \left(\frac{1}{310} - \frac{1}{300} \right)} = X = 2,01 \Rightarrow 101\% \text{ cambio en la conductividad}$$

$$a) \quad n_i = \sqrt{N_c N_v} e^{-E_g/2kT} = 2,64 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$$

$$E_i = \frac{E_g}{2} = 0,325 \text{ eV}$$

$$\sigma = q(\mu_n + \mu_p) \cdot n_i = 0,024 \frac{1}{\Omega \cdot \text{cm}}$$

$$d) \quad N_D = 8 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3} \quad N_A - N_D = 3,2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3} \cong n_i$$

$$N_A = 4 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$$

\Downarrow
 portadores mayoritarios
 huecos

$$P_0 = N_A - N_D = 3,2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$$

$$n_0 = \frac{n_i^2}{P_0} = 2,2 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-3}$$

$$P_0 = n_i \cdot e^{(E_i - E_f) / kT} \Rightarrow E_i - E_f = kT \ln \frac{P_0}{n_i} = 0,24 \text{ eV}$$

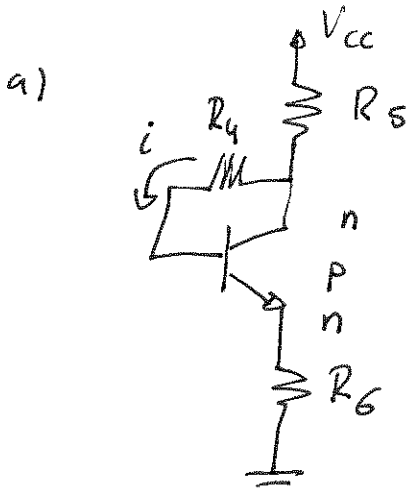
$$\sigma \cong q \mu_p \cdot P_0 = 93,2 \frac{1}{\Omega \text{ cm}}$$

$$e) \quad p = N_A - N_D + 2(N_A - N_D) = 9,6 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$$

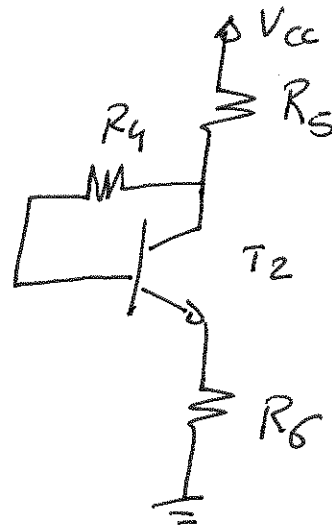
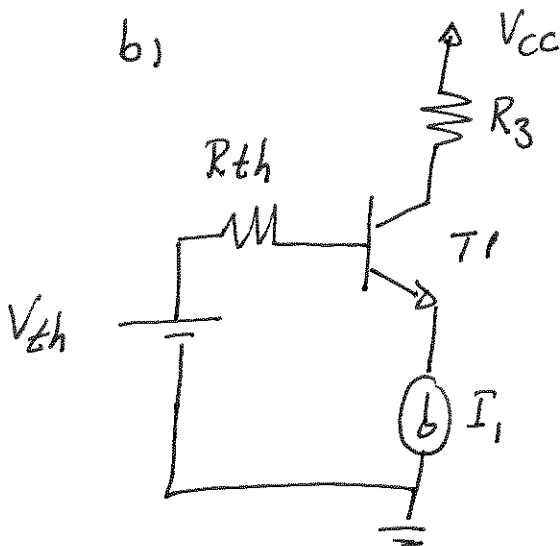
$$n = 2(N_A - N_D) = 6,4 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$$

$$\sigma = q (\mu_n \cdot n + \mu_p \cdot p) = 678,9 \frac{1}{\Omega \text{ cm}}$$

ESERCICIO 2



La corriente i siempre es $i \geq 0$
 $\Rightarrow V_{CB} > 0 \Rightarrow$ Unión Colector-Base
 Siempre en inverso
 Por ello el transistor estará en
 activa o corte, nunca entrará en
 saturación.



$$V_{th} = V_{cc} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 8,7V$$

$$R_{th} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 1,04 \text{ k}\Omega$$

$$T1: I_1 = I_{E1} \Rightarrow I_{B1} = \frac{I_{E1}}{1 + \beta} = 0,03 \text{ mA}$$

$$I_{C1} = \beta I_{B1} = 5,97 \text{ mA}$$

$$V_{th} = I_{B1} \cdot R_{th} + V_{BE1} + V_1 \Rightarrow V_1 = V_{th} - V_{BE1} - I_{B1} \cdot R_{th}$$

$$V_1 = 8V$$

$$V_{CC} = I_{C_1} \cdot R_3 + V_{CE_1} + V_1$$

$$V_{CE_1} = V_{CC} - V_1 - I_{C_1} \cdot R_3 = 2,95V > 0,2V$$

actiuç

$$T2: \text{cn } V_{CC} = (I_{B_2} + I_{C_2}) \cdot R_5 + V_{CE_2} + I_{E_2} \cdot R_6$$

$$V_{CC} = (I_{B_2} + I_{C_2}) \cdot R_5 + I_{B_2} R_4 + V_{BE_2} + I_{E_2} \cdot R_6$$

$$V_{CC} = I_{B_2} [(1+\beta)(R_5 + R_6) + R_4] + V_{BE}$$

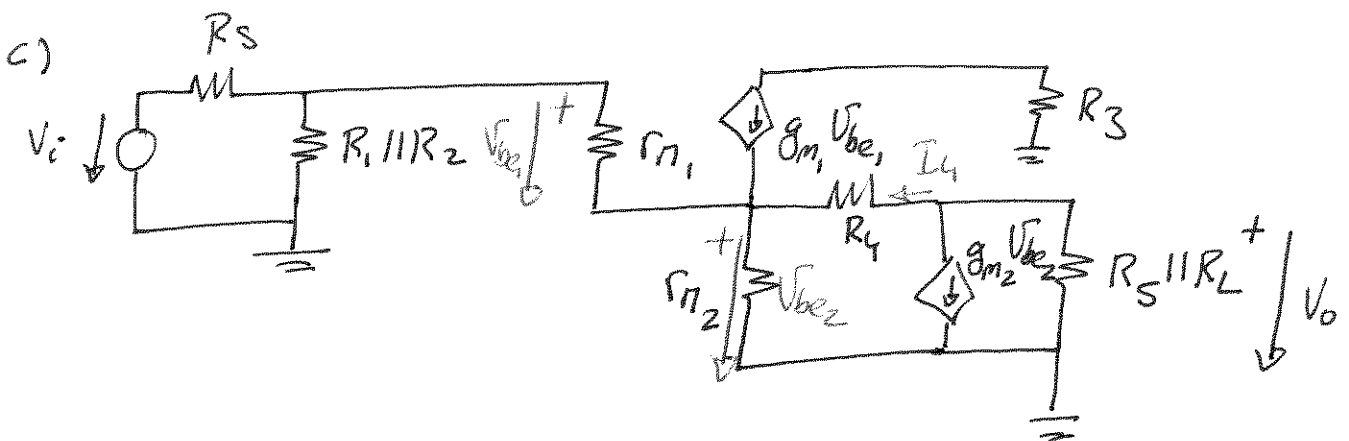
$$I_{B_2} = \frac{V_{CC} - V_{BE_2}}{(1+\beta)(R_5 + R_6) + R_4} = 0,0034 \text{ mA}$$

$$I_{C_2} = \beta I_{B_2} = 0,694 \text{ mA}$$

$$I_{E_2} = I_{B_2} + I_{C_2} = 0,6974 \text{ mA}$$

$$(1) \Rightarrow V_{CE_2} = V_{CC} - I_{E_2} (R_5 + R_6) = 0,7V > 0,2V$$

actiuç



d) Ganancia máxima $\Rightarrow R_S = 0 \quad R_L = \infty$

$$\left. \begin{aligned} V_o &= -I_o R_S \\ I_o &= g_{m2} \cdot V_{be2} + I_4 \\ I_4 &= \frac{V_o - V_{be2}}{R_4} \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_o = -R_S \left[g_{m2} V_{be2} + \frac{V_o - V_{be2}}{R_4} \right]$$

$$V_o \left(1 + \frac{R_S}{R_4} \right) = -V_{be2} \left(g_{m2} R_S - \frac{R_S}{R_4} \right)$$

$$\frac{V_o}{V_{be2}} = - \frac{g_{m2} R_4 R_S - R_S}{R_4 + R_S} = -12,15$$

e) $V_i = V_{be1} + V_{be2}$

$$\frac{V_{be1}}{r_{\pi1}} + g_{m1} V_{be1} + \frac{V_o - V_{be2}}{R_4} = \frac{V_{be2}}{r_{\pi2}}$$

$$V_{be1} \left(\frac{1}{r_{\pi1}} + g_{m1} \right) = \frac{1 + g_{m1} r_{\pi1}}{r_{\pi1}} \cdot V_{be1} = \frac{1 + \beta}{r_{\pi1}} V_{be1}$$

$$g_{m1} r_{\pi1} = g_{m1} \cdot \frac{\beta}{g_{m1}} = \beta$$

$$\frac{(1 + \beta)}{r_{\pi1}} V_{be1} = \frac{V_{be2}}{r_{\pi2}} + \frac{V_{be2}}{R_4} - \frac{V_o}{R_4}$$

$$V_{be2} = -\frac{V_o}{12,15} \Rightarrow V_{be1} = \frac{r_{\pi1}}{1 + \beta} \left[-\frac{1}{12,15 \cdot r_{\pi2}} - \frac{1}{12,15 \cdot R_4} - \frac{1}{R_4} \right] \cdot V_o$$

$$\left. \begin{aligned} \sqrt{b_{e1}} &= -0,009 \cdot \sqrt{V_0} \\ \sqrt{V_0} &= -12,15 \sqrt{b_{e2}} \\ \sqrt{V_i} &= \sqrt{b_{e1}} + \sqrt{b_{e2}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \sqrt{V_i} = \left(-0,009 - \frac{1}{12,15}\right) \cdot \sqrt{V_0}$$

$$\frac{\sqrt{V_0}}{\sqrt{V_i}} = -10,9$$