

FUNDAMENTOS DE ELECTRÓNICA

Examen Primera Convocatoria. Primer Parcial (2014-2015)

Apellidos, Nombre:

Compañía:

Sección AGM:

Grupo CUD:

Fecha: 22/06/2015

- Rellene sus datos personales
- Esta hoja será grapada a los folios con las soluciones
- Comience cada ejercicio en folio nuevo
- 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

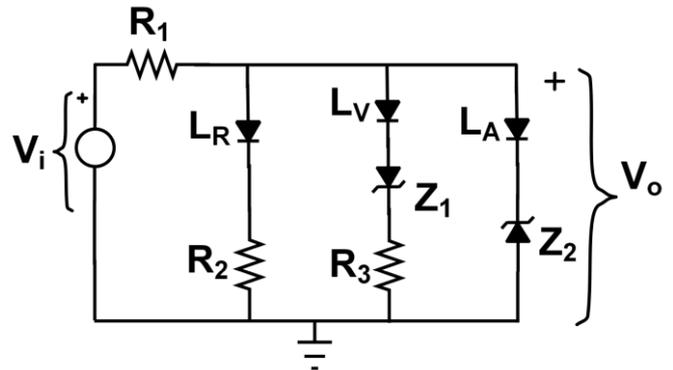
Ejercicio 1	Cuestión 1	Ejercicio 2
/ 3.5	/ 2	/ 4.5
NOTA FINAL		

EJERCICIO 1 (3.5 puntos)

Sea el siguiente circuito basado en diodos LED y diodos zener.

Tome los siguientes datos para los diodos:

- Para los zeners:
 - Tensión en directa $V_f = 0.8 \text{ V}$
 - Tensión de ruptura $|V_Z| = 5.4 \text{ V}$
 - Intensidad máxima en directa 40 mA
 - Potencia máxima 300 mW
- Para los LEDs:
 - Tensión en directa
 - Rojo: $V_f = 2 \text{ V}$
 - Verde: $V_f = 3.2 \text{ V}$
 - Azul: $V_f = 3.6 \text{ V}$
 - Intensidad máxima 50 mA
 - Intensidad óptima 20 mA



Calcule:

- a) Los voltajes V_o mínimos para que se iluminen los LED. **(0.6 puntos)**
- b) El valor de las resistencias R_1 , R_2 y R_3 para los cuales todos los diodos LED lucen de manera óptima cuando $V_i = 15 \text{ V}$. **(0.9 puntos)**
- c) Los voltajes V_i mínimos para que se iluminen cada uno de los LED para el valor de las resistencias calculado en el apartado b. **(1.2 puntos)**
- d) El voltaje máximo V_i derivado de la máxima corriente admitida por los diodos LED para el valor de las resistencias calculado en el apartado b. Compruebe que no se sobrepasan las limitaciones impuestas por los diodos zener. **(0.8 puntos)**

CUESTIÓN 1 (2 puntos)

Tres bloques basados en Germanio presentan distintos dopajes: A no contiene impurezas, B contiene solo impurezas donadoras y C presenta un dopaje mixto con impurezas donadoras y aceptadoras:

A

B
$N_D = 7 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

C
$N_D = 3 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$
$N_A = 5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

- a) Determine la concentración de portadores (electrones y huecos) de los tres bloques a temperatura ambiente (300 K).
- b) Ordene de menor a mayor el nivel de Fermi y la conductividad a temperatura ambiente (300 K). Justifique cualitativa o cuantitativamente su respuesta.
- c) Calcule la concentración de portadores (electrones y huecos) y la concentración de impurezas que presentaría a temperatura ambiente (300 K) un material dopado con un único tipo de impurezas con la misma conductividad que el bloque A.
- d) Calcule la temperatura para la cual dos de los tres bloques (A, B, C) presentan la misma conductividad.

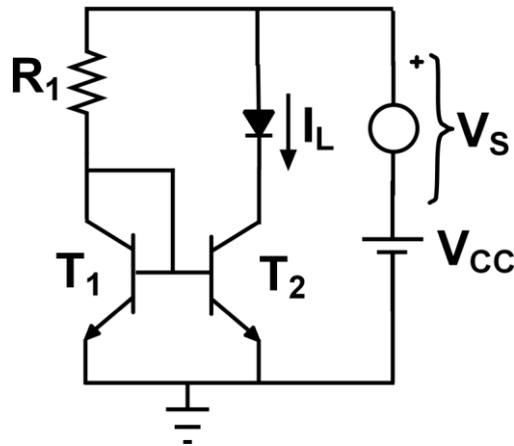
Datos:

$$N_C = 1.02 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}, N_V = 5.64 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}, E_g = 0.67 \text{ eV}$$

$$\mu_n = 3900 \text{ cm}^2/(\text{Vs}), \mu_p = 1820 \text{ cm}^2/(\text{Vs}), q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}, k = 86.2 \cdot 10^{-6} \text{ eV/K}$$

EJERCICIO 2 (4.5 puntos)

Sea el siguiente circuito basado en dos transistores bipolares NPN y un diodo LED.



$V_{CC} = 6\text{ V}$, V_S fuente de tensión alterna, $R_1 = 800\ \Omega$
 NPN: $V_{BE} = 0.6\text{ V}$ si la unión BE está en directa, $\beta = 25$
 LED: $V_\gamma = 2.4\text{ V}$, intensidad óptima 10 mA, intensidad máxima 30 mA

Nota: Tenga en cuenta que como la tensión base-emisor de ambos transistores es idéntica, la corriente de base de ambos transistores también lo será

- Calcule el punto de polarización. Resuelva sin despreciar la corriente de base. **(1 punto)**
- Represente el modelo de pequeña señal del circuito con y sin efecto Early. **(0.5 puntos)**
- Obtenga la relación entre la corriente I_L y la tensión V_S con y sin efecto Early ($V_A = 10\text{V}$). **(1 punto)**

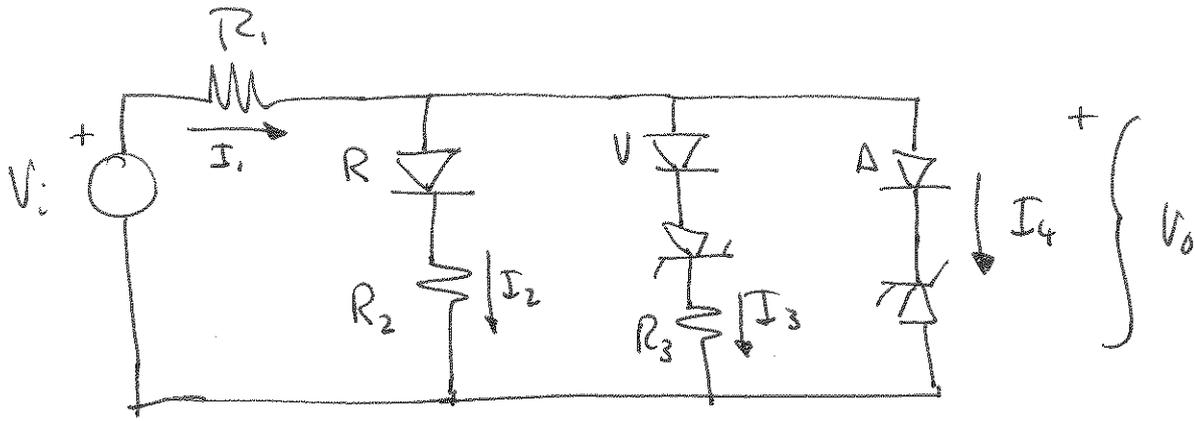
$$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} \quad r_\pi = \frac{\beta}{g_m} \quad r_o = \frac{V_A}{I_{CQ}} \quad V_T = 25.8\text{mV}$$

- Calcule la amplitud máxima de la tensión de entrada V_S debida a la limitación de la amplitud de la tensión base-emisor sin efecto Early: **(0.5 puntos)**

$$v_{be} < 10\text{mV}$$

- Calcule el valor mínimo de V_{CC} para poder aplicar el modelo de pequeña señal. **(0.5 puntos)**
- Calcule el valor máximo de V_{CC} derivado de la limitación del diodo LED. **(0.5 puntos)**
- Teniendo en cuenta el efecto Early en polarización, ¿cuál de los dos transistores presentaría una β mayor? **(0.5 puntos)**

Ejercicio 1



a) ROJO:
$$\left\{ \begin{array}{l} V_f = 2V \\ I_2 \geq 0 \end{array} \right\} \Rightarrow V_o = 2V + I_2 R_2 \geq \underline{\underline{2V}}$$

VERDE:
$$\left\{ \begin{array}{l} V_f = 3'2V \\ V_{f, \text{zener}} = 0'8V \\ I_3 \geq 0 \end{array} \right\} \Rightarrow V_o = 3'2 + 0'8 + I_3 R_3 \geq \underline{\underline{4V}}$$

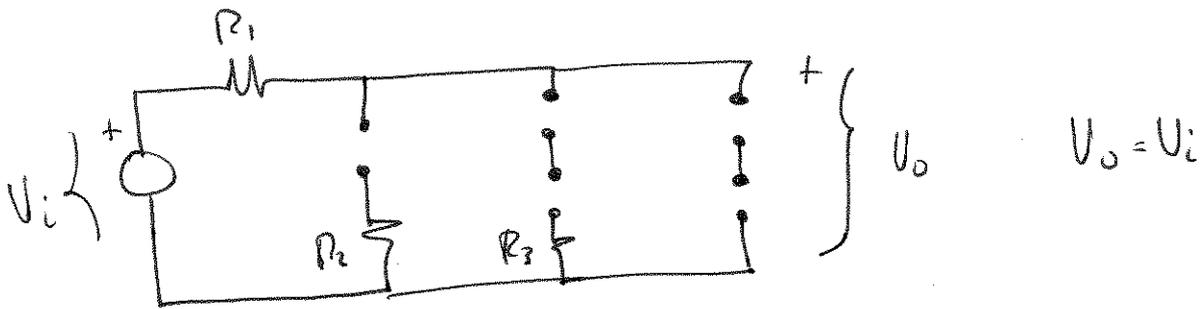
AZUL:
$$\left\{ \begin{array}{l} V_f = 3'6V \\ V_2 = 5'4V \\ I_4 \geq 0 \end{array} \right\} \Rightarrow V_o = 3'6 + 5'4 = \underline{\underline{9V}}$$

b)
$$I_2 = I_3 = I_4 = 20 \text{ mA} \rightarrow V_o = 9V \quad I_1 = 60 \text{ mA}$$

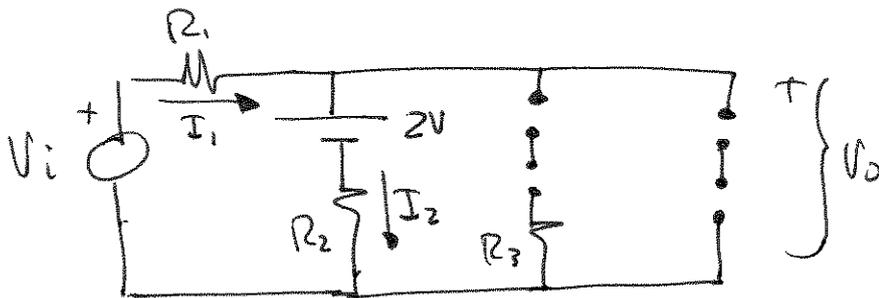
$$R_2 = \frac{9V - 2V}{20 \text{ mA}} = 350 \Omega \quad R_3 = \frac{9V - 4V}{20 \text{ mA}} = 250 \Omega$$

$$R_1 = \frac{15V - 9V}{20 \text{ mA} \cdot 3} = 100 \Omega$$

c) Todos OFF

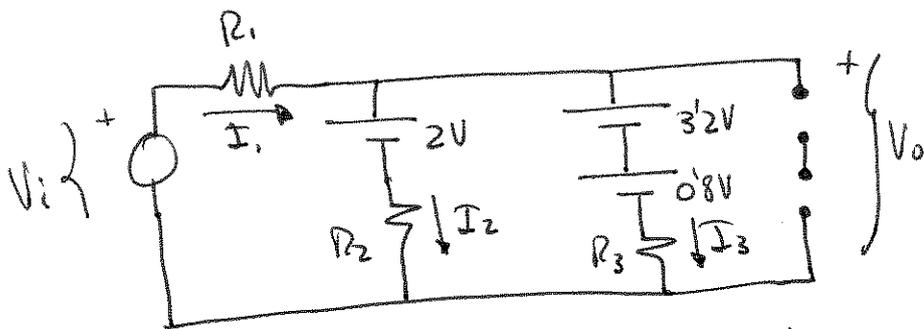


Primero se iluminará el rojo cuando $V_o = 2V \rightarrow \underline{V_i = 2V}$



Ahora se iluminará el verde cuando $V_o = 4V \rightarrow I_2 R_2 = 2V$

$$\rightarrow I_1 = I_2 = \frac{2V}{350\Omega} \rightarrow V_i = R_1 I_1 + V_o = 4.57V$$

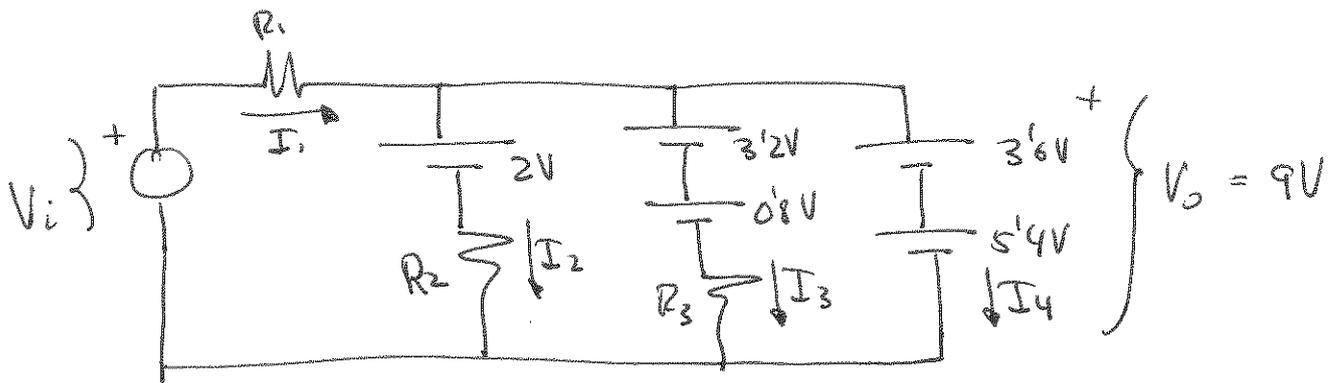


Por último se iluminará el azul cuando $V_o = 9V$

$$\Rightarrow \begin{cases} I_2 R_2 = 7V \rightarrow I_2 = 20mA \\ I_3 R_3 = 5V \rightarrow I_3 = 20mA \end{cases} \left\{ I_1 = I_2 + I_3 = 40mA \right.$$

$$\Rightarrow V_i = I_1 R_1 + V_o = 13V$$

d) hasta $V_i = 18V$ no se ha alcanzado la intensidad máxima. Para $V_i > 18V$



$$I_2 = \frac{9V - 2V}{R_2} = 20mA$$

$$I_3 = \frac{9V - 4V}{R_3} = 20mA$$

no llegan al máximo

Si $V_i \uparrow$ $I_4 \uparrow$ hasta $I_4 = 50mA$

$$\rightarrow I_1 = 20 + 20 + 50 = 90mA \rightarrow V_i = I_1 R_1 + V_0 = \underline{\underline{18V}}$$

Zener 1 $\rightarrow I_{Z1} = I_3 = 20mA < 40mA$ intensidad max. en directa

Zener 2 $\rightarrow I_{Z2} = I_4 = 50mA \rightarrow P = 50mA \cdot 5.4V = 270mW < 300mW$
Potencia máxima

CUESTION 1

a) Δ intrínseco: $n_0 = p_0 = n_i = \sqrt{N_c N_v} e^{-\frac{E_g}{2kT}} = 1.79 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$

B Tipo N
($N_D \gg n_i$)

$$\left\{ \begin{array}{l} n_0 \approx N_D = 7 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3} \\ p_0 \approx \frac{n_i^2}{n_0} = 4.6 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-3} \end{array} \right.$$

C Tipo P
($N_A > N_D$)
($N_A - N_D \gg n_i$)

$$\left\{ \begin{array}{l} p_0 \approx N_A - N_D = 4.7 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3} \\ n_0 \approx \frac{n_i^2}{p_0} = 6.85 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-3} \end{array} \right.$$

b) Nivel de Fermi

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Intrínseco: mitad} \\ \text{Tipo N: } \uparrow \text{ mitad} \\ \text{Tipo P: } \downarrow \text{ mitad} \end{array} \right\} E_{FB} > E_{FA} > E_{FC}$$

Conductividad

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_A = q(\mu_n + \mu_p) n_i \rightarrow \text{menor ya que } n_i \ll \left. \begin{array}{l} n_{0B} \\ p_{0C} \end{array} \right\} \\ \sigma_B \approx q \mu_n n_{0B} \\ \sigma_C \approx q \mu_p p_{0C} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \sigma_B > \sigma_C \\ \left. \begin{array}{l} n_{0B} > p_{0C} \\ \mu_n > \mu_p \end{array} \right\} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow \sigma_B > \sigma_C > \sigma_A$$

c) Bloque $\Delta \rightarrow \sigma_A = q(\mu_n + \mu_p) n_i$

Bloque dopado $\rightarrow \sigma = q(\mu_n n_0 + \mu_p p_0) = q(\mu_n n_0 + \mu_p \frac{n_i^2}{n_0})$

$$\Rightarrow (\mu_n + \mu_p) n_i = \mu_n n_0 + \mu_p \frac{n_i^2}{n_0} \rightarrow$$

$$(\mu_n + \mu_p) n_i n_0 = \mu_n n_0^2 + \mu_p n_i^2$$

$$\Rightarrow \mu_n n_0^2 - (\mu_n + \mu_p) n_i n_0 + \mu_p n_i^2 = 0$$

$$\Rightarrow n_0 = \frac{(\mu_n + \mu_p) n_i \pm \sqrt{(\mu_n + \mu_p)^2 n_i^2 - 4 \mu_n \mu_p n_i^2}}{2 \mu_n} =$$

$$= \frac{(\mu_n + \mu_p) n_i \pm \sqrt{(\mu_n^2 + \mu_p^2 + 2 \mu_n \mu_p) n_i^2 - 4 \mu_n \mu_p n_i^2}}{2 \mu_n} =$$

$$= \frac{(\mu_n + \mu_p) n_i \pm \sqrt{(\mu_n^2 + \mu_p^2 - 2 \mu_n \mu_p) n_i^2}}{2 \mu_n} =$$

$$= \frac{(\mu_n + \mu_p) n_i \pm (\mu_n - \mu_p) n_i}{2 \mu_n} = \begin{cases} n_i \rightarrow \text{intrínseco} \\ \frac{\mu_p}{\mu_n} n_i < n_i \rightarrow \text{Tipo P} \checkmark \end{cases}$$

$$n_0 = \frac{\mu_p}{\mu_n} n_i = 8'35 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-3}$$

$$p_0 = \frac{\mu_n}{\mu_p} n_i = 3'84 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} N_D = p_0 - n_0 \approx 3 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3} \end{array} \right.$$

d) Dos bloques tendrían la misma conductividad a la misma temperatura si

Intrínseco $\Rightarrow \Delta$

Dopado tipo P $\Rightarrow C$

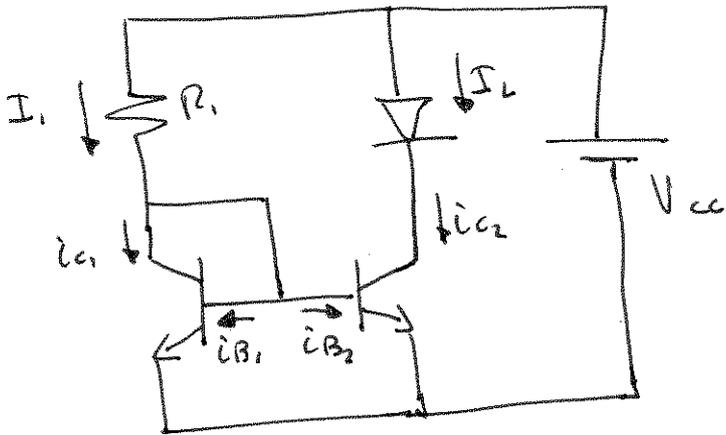
$$\text{Condición: Impurezas} = \frac{\mu_n}{\mu_p} n_i = \frac{\mu_p}{\mu_n} n_i$$

$$\text{Bloque C: impurezas} \rightarrow 4'7 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3} \rightarrow n_i = 2'8 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

$$\Rightarrow T = \frac{-E_g}{2k \ln \frac{n_i}{N_c N_v}} = 693'8 \text{ K}$$

EJERCICIO 2

a)



$$V_{BE1} = V_{BE2} \rightarrow i_{B1} = i_{B2}$$

$$I_1 = i_{c1} + i_{B1} + i_{B2}$$

$$V_{cc} = I_1 R_1 + V_{BE}$$

Si T1 ACTIVA: $i_{c1} = \beta i_{B1}$
 T2 ACTIVA: $V_{BE1,2} = 0.6V$
 $i_{c2} = \beta i_{B2}$

$$V_{cc} = (\beta + 2) i_{B1} R_1 + V_{BE}$$

$$\rightarrow i_{B1} = i_{B2} = 250 \mu A \Rightarrow i_{c1} = i_{c2} = 6.25 mA$$

$$V_{CE1} = V_{BE1} = 0.6V > 0.2V \quad \text{OK ACTIVA}$$

$$V_{CE2} = V_{cc} - V_{\gamma} = 3.6V > 0.2V \quad \text{OK ACTIVA}$$

e) $V_{CE1} = V_{BE1} = 0.6V > 0.2V$ si $I_1 > 0 \Rightarrow V_{cc} > 0.6V$

$$V_{CE2} = V_{cc} - V_{\gamma} > 0.2V \quad \text{si } V_{cc} > 0.2 + 2.4 = \underline{\underline{2.6V}}$$

f) $I_{L, \max} = 30 mA \rightarrow i_{c2} = 30 mA = i_{c1} \rightarrow i_{B1} = i_{B2} = 1.2 mA$

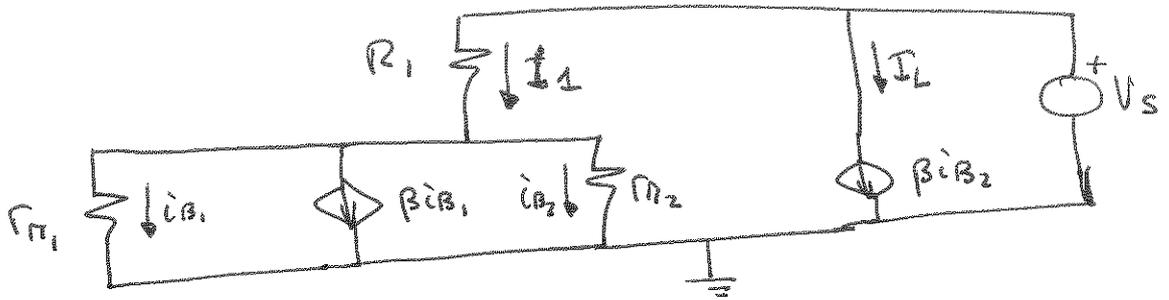
$$\Rightarrow V_{cc} = I_1 R_1 + V_{BE} = 27 i_{B1} R_1 + V_{BE} = 26.52V$$

g) $V_{BE1} = V_{BE2} \rightarrow i_{B1} = i_{B2}$

Si \nexists Early $\left\{ \begin{array}{l} i_{c1} = \beta i_{B1} \\ i_{c2} = \beta i_{B2} \end{array} \right\}$ i_c independiente de V_{CE}

Si \exists Early $V_{CE2} > V_{CE1} \rightarrow i_{c2} > i_{c1} \Rightarrow \beta_2 > \beta_1$

b)



c) $I_L = \beta i_{B2}$ $g_{m1} = g_{m2} = \frac{I_C}{V_T} = 242'25 \text{ mA/V}$

$i_{B1} r_{\pi1} = i_{B2} r_{\pi2} \rightarrow i_{B1} = i_{B2}$ $r_{\pi1} = r_{\pi2} = \frac{\beta}{g_m} = 103'2 \Omega$

$i_{C1} = (\beta + 2) i_{B2}$

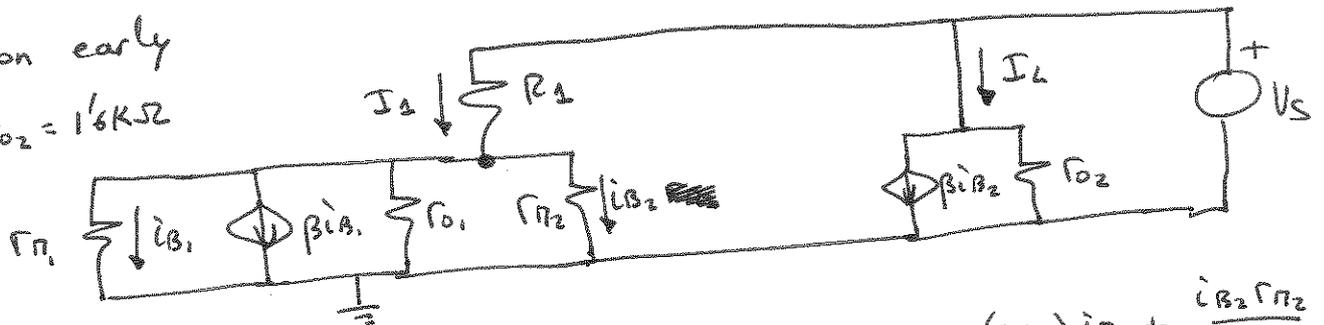
$V_S = i_{C1} \cdot R_1 + i_{B2} r_{\pi2} = (\beta + 2) R_1 i_{B2} + r_{\pi2} i_{B2}$

$\Rightarrow \frac{I_L}{V_S} = \frac{\beta i_{B2}}{[(\beta + 2) R_1 + r_{\pi2}] i_{B2}} = \frac{\beta}{(\beta + 2) R_1 + r_{\pi2}} = 1'152 \text{ mA/V}$

d) $V_{BE} = i_{B2} r_{\pi2} < 10 \text{ mV} \rightarrow V_S = [(\beta + 2) R_1 + r_{\pi2}] \frac{V_{BE}}{r_{\pi2}} < 2'1 \text{ V}$

b) con early

$r_{o1} = r_{o2} = 1/6 \text{ k}\Omega$



c) con early $i_{B1} r_{\pi1} = i_{B2} r_{\pi2} \rightarrow i_{B1} = i_{B2} \rightarrow I_L = (\beta + 2) i_{B2} + \frac{i_{B2} r_{\pi2}}{r_{o1}}$

$V_S = I_L R_1 + i_{B2} r_{\pi2} = \left[(\beta + 2) R_1 + \frac{r_{\pi2}}{r_{o1}} R_1 + r_{\pi2} \right] i_{B2}$

$I_L = \beta i_{B2} + \frac{V_S}{r_{o2}} = \beta \frac{V_S}{(\beta + 2) R_1 + \frac{r_{\pi2}}{r_{o1}} R_1 + r_{\pi2}} + \frac{V_S}{r_{o2}}$

$\Rightarrow \frac{I_L}{V_S} = \frac{\beta}{(\beta + 2) R_1 + \frac{r_{\pi2}}{r_{o1}} R_1 + r_{\pi2}} + \frac{1}{r_{o2}} = 1'774 \text{ mA/V}$