

# FUNDAMENTOS DE ELECTRÓNICA

Examen Parcial (2014-2015)

Apellidos, Nombre:

Compañía:

Sección AGM:

Grupo CUD:

Fecha: 08/05/2015

- 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		

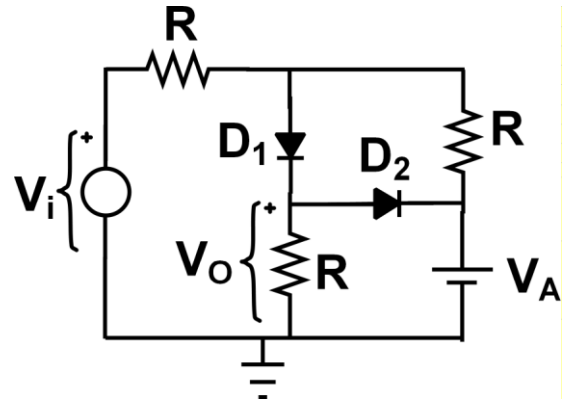
**EJERCICIO 1 (3.5 puntos)**

Dado el siguiente circuito basado en un diodo ( $D_1$ ) y un LED ( $D_2$ ).

$$R = 200 \, \Omega, V_A = 5 \, \text{V}$$

Tome los siguientes datos para los diodos:

- Para el diodo:  
Tensión en directa  $V_\gamma = 0.7 \, \text{V}$   
Intensidad máxima en directa 100mA
- Para el LED:  
Tensión en directa  $V_\gamma = 2.5 \, \text{V}$   
Intensidad máxima 100 mA  
Intensidad óptima de funcionamiento 25 mA



Calcule:

- La tensión de salida  $V_o$  en función de  $V_i$ , para cada una de las regiones de funcionamiento de los diodos (led y diodo). Indique el valor  $V_i$  límite para cada región de funcionamiento del circuito. **(2 puntos)**
- La  $V_i$  máxima para que no se sobrepase los límites de funcionamiento de los diodos (led y diodo). **(1 punto)**
- La  $V_i$  para la cual circula la intensidad óptima de funcionamiento por el LED. **(0.5 puntos)**

**CUESTIÓN 1 (2 puntos)**

Los resultados de la medida experimental a tres temperaturas distintas de la conductividad de dos bloques de material semiconductor basado en Germanio se recogen en la siguiente tabla:

Conductividad ( $\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ )	$T_1$	$T_2$	$T_3$
Bloque A	16,6	16,6	16,6
Bloque B	$3,69 \cdot 10^{-2}$	$1,42 \cdot 10^{-1}$	$1,23 \cdot 10^{-3}$

Uno de los bloques es intrínseco, mientras que el otro está dopado con impurezas aceptadoras.

- Determinar cuál de los bloques es intrínseco y cual extrínseco. Justifique su respuesta.
- Ordenar de menor a mayor las temperaturas  $T_1$ ,  $T_2$  y  $T_3$ . Justifique su respuesta.
- Calcular la concentración de impurezas del material extrínseco.
- Calcular el nivel de Fermi para ambos bloques a la temperatura  $T_1$ .

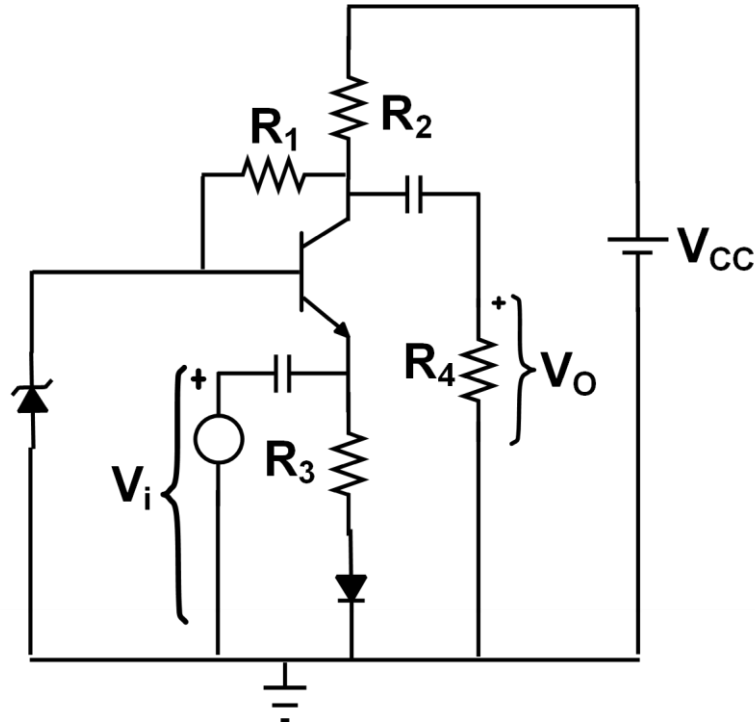
Datos:

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

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

**EJERCICIO 2 (4.5 puntos)**

Sea el siguiente circuito basado en un transistor bipolar NPN, un diodo y un zener donde todos los condensadores son de desacoplo.



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

$R_1 = 1.8\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 250\ \Omega$ ,  $R_3 = 2\text{ k}\Omega$ ,  $R_4 = 500\ \Omega$

NPN:  $V_{BE} = 0.7\text{ V}$  si la unión BE está en directa,  $\beta = 100$

Diodo:  $V_\gamma = 0.7\text{ V}$ , intensidad máxima en directa  $100\text{ mA}$

Zener:  $V_\gamma = 0.7\text{ V}$ ,  $|V_z| = 3.3\text{ V}$ , intensidad máxima en directa  $100\text{ mA}$ , potencia máxima  $600\text{ mW}$ , intensidad de ruptura mínima  $3\text{ mA}$

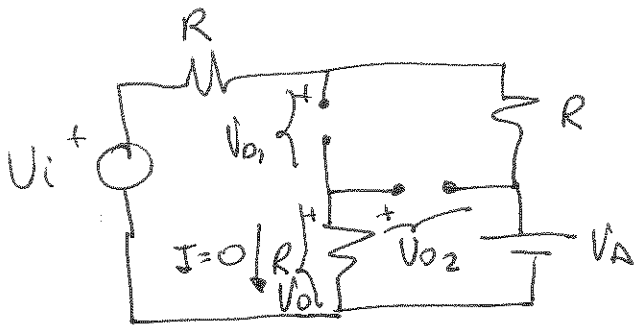
- Calcular el punto de polarización. Resolver sin despreciar la corriente de base. Comprobar que el diodo y el zener operan dentro de sus límites de funcionamiento. **(2 puntos)**
- Representar el modelo de pequeña señal del circuito con y sin efecto Early. **(0.75 puntos)**
- Obtener la ganancia en tensión ( $A = V_o/V_i$ ). **(0.5 puntos)**
- Obtener la ganancia en tensión ( $A = V_o/V_i$ ) incluyendo efecto Early con  $V_A = 18\text{ V}$ . **(0.75 puntos)**

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

- Calcule el valor mínimo de  $|V_z|$  que poder aplicar el modelo de pequeña señal. **(0.5 puntos)**

# Ejercicio 1

a) Supongo ambos diodos OFF



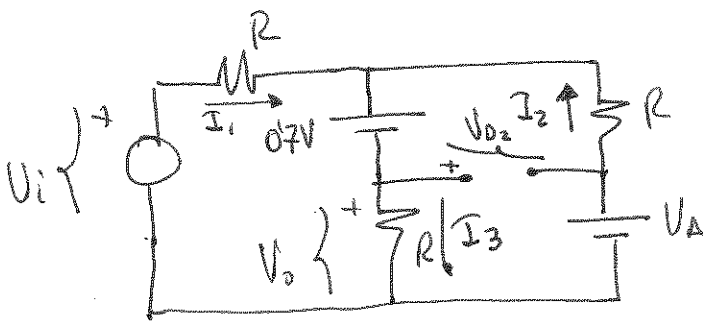
$$V_0 = 0 \text{ si } V_i < -3.6V$$

comprobamos

$$V_{02} = 0 - V_\Delta = -5V < 2.5V \text{ OK con TE}$$

$$V_{01} = \frac{V_i + V_\Delta}{2} < 0.7V \rightarrow V_i < 0.7 \cdot 2 - V_\Delta = -3.6V$$

$V_i > -3.6V$   $D_1$  pasa a ON



$$I_1 = \frac{V_i - (V_0 + 0.7)}{R}$$

$$I_2 = \frac{V_\Delta - (V_0 + 0.7)}{R}$$

$$I_3 = \frac{V_0}{R}$$

comprobamos

$$I_1 + I_2 = I_3 \rightarrow \frac{V_i - (V_0 + 0.7)}{R} + \frac{V_\Delta - (V_0 + 0.7)}{R} = \frac{V_0}{R}$$

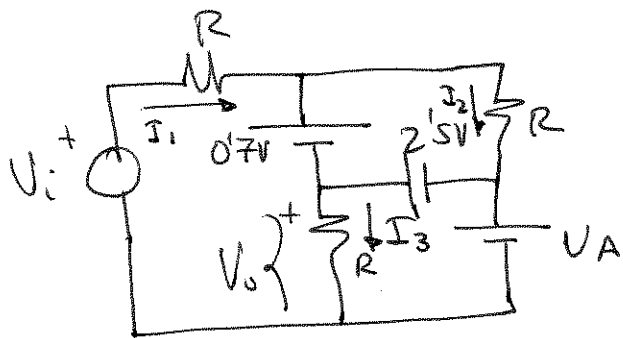
$$\Rightarrow V_i - 1.4 + V_\Delta = 3V_0 \rightarrow V_0 = \frac{V_i}{3} + 1.2 \text{ si } \begin{cases} V_i < 18.9V \\ V_i > -3.6V \end{cases}$$

$$I_3 > 0 \rightarrow V_0 > 0 \rightarrow \frac{V_i}{3} + 1.2 > 0 \rightarrow V_i > -3.6V \text{ OK}$$

$$V_{02} = V_0 - V_\Delta < 2.5 \rightarrow V_0 < 7.5 \rightarrow \frac{V_i}{3} + 1.2 < 7.5 \rightarrow$$

$$\rightarrow V_i < 18.9V$$

Si  $V_i > 18'9V \rightarrow D2 \text{ ON}$



$$V_o = 7'5V \text{ si } V_i > 18'9V$$

comprobamos

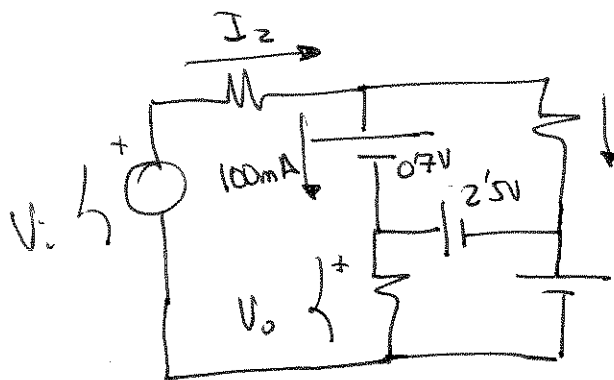
$$I_{D1} = I_1 - I_2 = \frac{V_i - 8'2}{R} - \frac{3'2}{R} > 0 \rightarrow V_i - 11'4 > 0$$

$$\rightarrow V_i > 11'4V$$

$$I_{D2} = I_0 - I_3 = \frac{V_i - 8'2}{R} - \frac{3'2}{R} - \frac{7'5}{R} > 0 \rightarrow V_i - 18'9 > 0$$

$$\rightarrow V_i > 18'9V$$

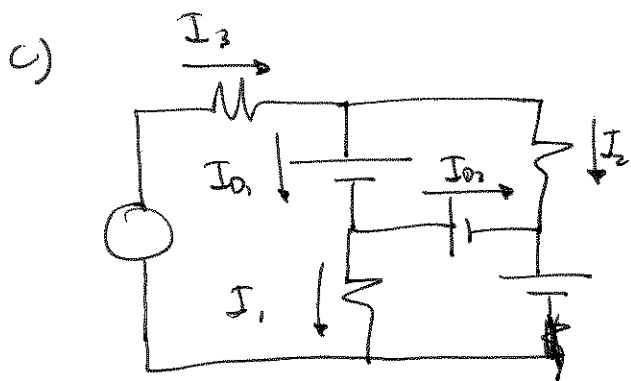
b)  $I_{D1} = \frac{V_o}{R} + I_{D2} \rightarrow I_{D1} > I_{D2}$   $D1$  marca el límite



$$I_1 = \frac{3'2V}{200\Omega} = 16 \text{ mA}$$

$$I_2 = 116 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow V_i = 116 \text{ mA} \cdot 200\Omega + 0'7 + 2'5 + 5 = 31'4V > 18'9V \text{ OK}$$



$$I_{D2} = I_{opt} = 25 \text{ mA}$$

$$I_1 = \frac{V_o}{R} = \frac{7'5V}{200\Omega} = 37'5 \text{ mA}$$

$$I_{D1} = 62'5 \text{ mA}$$

$$I_2 = 16 \text{ mA} \quad I_3 = 78'5 \text{ mA}$$

$$V_i = 78'5 \text{ mA} \cdot 200\Omega + 0'7 + 2'5 + 5 = 23'9V > 18'9V \text{ OK}$$

# Cuestión 1

a) intrínseco  $\sigma = q(\mu_n + \mu_p) n_i \rightarrow$  depende de T  
 extrínseco con imp. aceptadores.  $\rightarrow$   
 si  $N_A \gg n_i \rightarrow \sigma \approx q \mu_p N_A \rightarrow$  no depende de T

por tanto  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Bloque } \Delta \text{ extrínseco} \\ \text{Bloque } B \text{ intrínseco} \end{array} \right.$

b) para el intrínseco;

si  $T \uparrow \rightarrow n_i \propto e^{-\frac{E_g}{2kT}} \uparrow \rightarrow \sigma \uparrow$

por tanto, como  $\sigma(T_2) > \sigma(T_1) > \sigma(T_3) \Rightarrow T_2 > T_1 > T_3$

c) como la conductividad  $\Delta \gg$  conductividad B

$q(\mu_n + \mu_p) n_i \ll q \mu_n N_A \rightarrow N_A \gg n_i$  OK

$\sigma = q \mu_p N_A \rightarrow N_A = \frac{16'6 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}}{1'6 \cdot 10^{-19} \text{C} \cdot 1820 \text{cm}^2/\text{Vs}} = 5'7 \cdot 10^{16} \text{cm}^{-3}$

d) Bloque B intrínseco  $\rightarrow E_F \approx \frac{E_g}{2} = 0'335 \text{eV}$

$3'69 \cdot 10^{-2} = q(\mu_n + \mu_p) n_i \rightarrow n_i = 4'03 \cdot 10^{13} \text{cm}^{-3}$

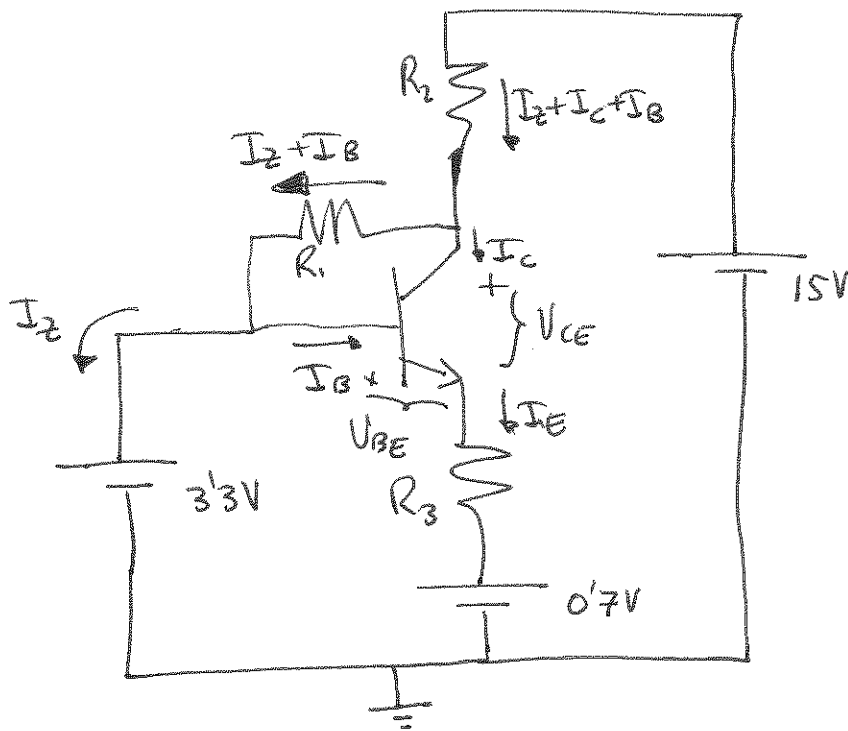
$\rightarrow 4'03 \cdot 10^{13} = \sqrt{N_c N_v} e^{-\frac{E_g}{2kT_2}} \rightarrow T_2 = 320 \text{K}$

$\rightarrow p_0 = n_i e^{-\frac{E_f - E_i}{kT_2}} \rightarrow E_f = E_i + kT_2 \ln \frac{n_i}{p_0}$

$\rightarrow p_0 \approx N_A \rightarrow E_f = \frac{E_g}{2} + kT_2 \ln \frac{n_i}{N_A} = 0'335 \text{eV} \left\{ \begin{array}{l} < \frac{E_g}{2} \\ > 0 \end{array} \right.$  OK

Ejercicio 2

a) BJT en activa, diodo en directa, Zener en ruptura



MALLA BE

$$3.3 = V_{BE} + I_E R_3 + 0.7V$$

$$\rightarrow I_E = \frac{1.9V}{2k\Omega} = 0.95mA$$

$$\Rightarrow \begin{cases} I_B = \frac{I_E}{\beta+1} = 9.4\mu A \\ I_C = \beta I_B = 0.94mA \end{cases}$$

corrientes positivas } OK BJT  
OK DIODO  
OK RUPTURA

MALLA EXTERIOR

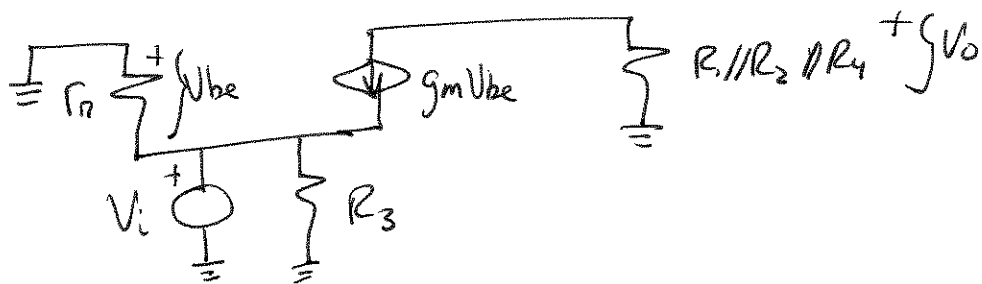
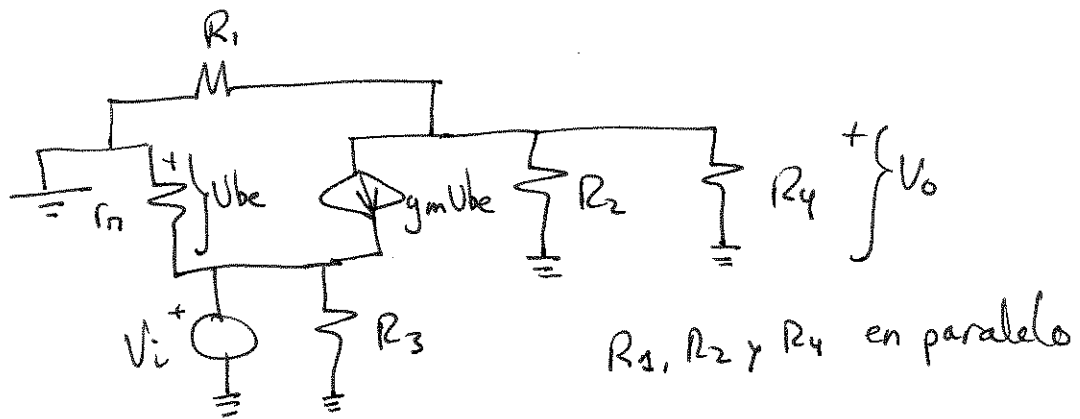
$$15V = (I_2 + I_C + I_B) R_2 + (I_2 + I_B) R_1 + 3.3V \rightarrow I_2 = 5.58mA$$

MALLA CE

$$15V = (I_2 + I_C + I_B) R_2 + V_{CE} + I_E R_3 \rightarrow V_{CE} = 11.47V > 0.2V \rightarrow \text{OK ACTIVA}$$

límites / corriente diodo  $\Rightarrow I_D = I_E = 0.95mA < 100mA$  OK  
corriente zener  $\Rightarrow I_Z = 5.58mA$   $\begin{cases} > I_{Z,MIN} = 3mA \\ < I_{Z,MAX} = \frac{P_{MAX}}{V_Z} = 181.8mA \end{cases}$  OK

b) sin efecto Early:



c)

$$\begin{cases} V_i + U_{be} = 0 \\ V_o = -g_m U_{be} R_1 // R_2 // R_4 \end{cases} \left\{ \begin{array}{l} \frac{V_o}{V_i} = g_m R_1 // R_2 // R_4 \end{array} \right.$$

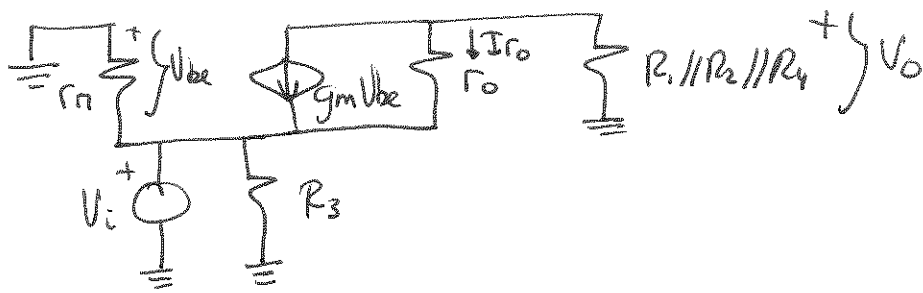
$$R_1 // R_2 // R_4 = 152'5 \Omega$$

$$g_m = \frac{I_c}{V_T} = \frac{0'9 \text{ mA}}{25'8 \text{ mV}} = 36'4 \text{ mA/V}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{V_o}{V_i} = 5'56 \end{array} \right.$$



b) con efecto Early



d)  $V_i + V_{be} = 0$

$$V_o = -(g_m V_{be} + I_{r_o}) R_{L} = -(g_m (-V_i) + \frac{V_o - V_i}{r_o}) R_{L} \Rightarrow$$

$$I_{r_o} = \frac{V_o - V_i}{r_o}$$

$$\Rightarrow V_o \left( 1 + \frac{R_{L}}{r_o} \right) = \left( g_m + \frac{1}{r_o} \right) R_{L} V_i$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{(g_m r_o + 1) R_{L}}{r_o + R_{L}}$$

$$r_o = 191 \text{ K}\Omega \quad \rightarrow \quad \frac{V_o}{V_i} = 5.52$$

e) MALLA B-E  $\rightarrow V_z = V_{BE} + I_E R_3 + V_\gamma$

Si  $V_z \downarrow$   $I_E \downarrow$ , por lo que  $V_{z, \min} \rightarrow$  límite activa-corte

BJT límite activa-corte  $\left\{ \begin{array}{l} V_{BE} = 0.7V \\ I_E = 0 \end{array} \right.$

Diodo límite directa-corte  $\left\{ \begin{array}{l} V_{D1} = V_\gamma = 0.7V \\ I_D = I_E = 0 \end{array} \right.$

$$V_{z, \min} = V_{BE} + V_\gamma = \underline{\underline{1.4V}}$$