



**UNIVERSIDAD DE ALCALÁ, E. P. S.**  
**DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA**  
**Grado en Ingeniería Electrónica y Automática Industrial**

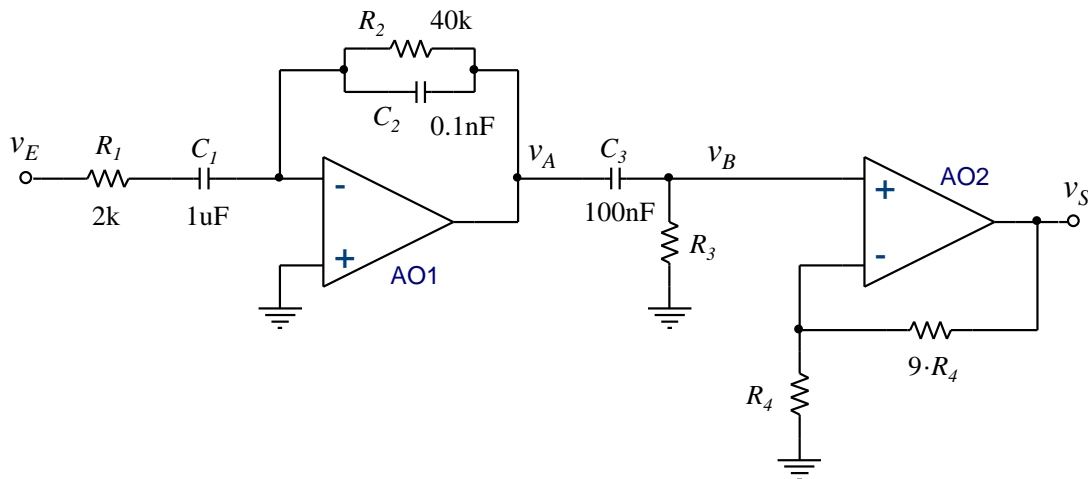


<b>ASIGNATURA:</b>	<b>600008 - ELECTRÓNICA ANALÓGICA</b>	<b>FECHA:</b>	<b>13-enero-2015</b>
<b>APELLIDOS:</b>		<b>Nombre:</b>	
<b>PRUEBA:</b>	<b>Prueba de Conjunto</b>	<b>Número:</b>	

Duración: 120 mins.

**¡Atención!:** No se admitirán respuestas no justificadas adecuadamente

**Problema 1.-(35 puntos)-** Considere inicialmente los AO's del circuito de la figura siguiente como ideales:



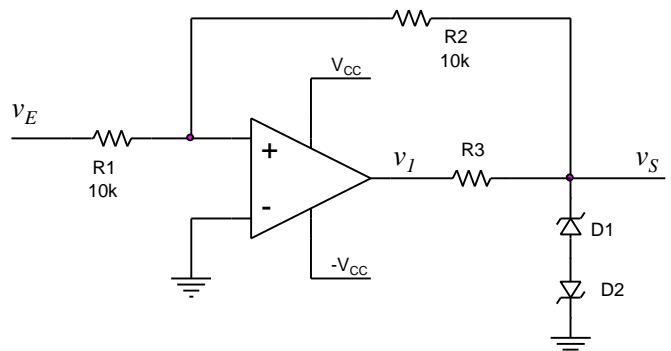
Determine:

- Expresión de la ganancia de tensión de la primera etapa en función de (s):  $G_1(s)=(v_A/v_E)(s)$ , detallando los valores de ceros, polos y ganancia en medias.
- Determine el valor de  $R_3$  para que la relación  $G_2(s)=(v_B/v_A)(s)$  tenga un polo en  $f_3=80\text{Hz}$
- Ignorando el efecto del GBW, represente en un diagrama de Bode la ganancia de tensión total del circuito, esto es:  $G_{VT}(s)=(v_S/v_E)(s)$
- Obtenga (en Hz) las frecuencias de corte superior e inferior del circuito.
- Si el AO2 del circuito tuviese un  $\text{GBW}=1\text{MHz}$ , describa cualitativamente el efecto que tendría este dato sobre la respuesta en frecuencia total del amplificador.

**Problema 2.-(20 puntos)-** En el circuito mostrado en la figura, el AO usado es de características ideales.

Otros datos son:

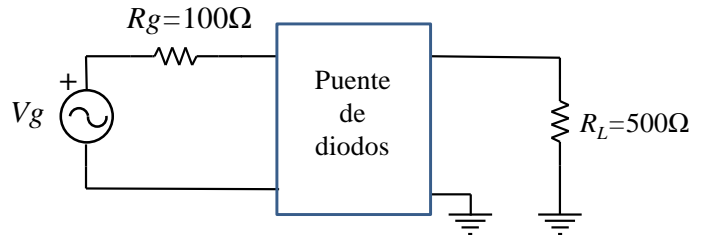
- $V_{CC}$ : indeterminada, entre 10 y 15V
- $V_\gamma = 0.7\text{V}$
- $V_Z = 4.3\text{V}$
- $P_{Z\text{max}} = 1\text{W}$
- $I_{Z\text{min}} = 1\text{mA}$



- Describa cualitativamente la función desarrollada por el circuito limitador formado por R3, D1 y D2.
- Calcule el margen de valores de R3 que asegura un funcionamiento correcto del limitador.
- Supuesto que el limitador funciona correctamente, obtenga la función de transferencia  $v_S = f(v_E)$ .

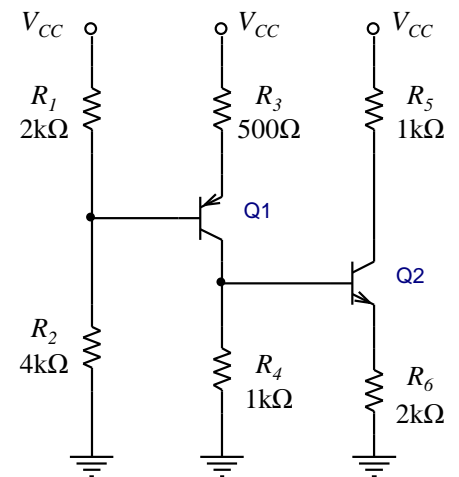
**Problema 3.-(15 puntos)**-Se desea rectificar en doble onda la señal procedente del generador de tensión senoidal de la figura siguiente, para lo cual se utiliza un puente de diodos.

- Considerando los diodos ideales ¿qué valor de pico debiera tener la señal de  $V_g$  para que en la carga hubiese una componente continua (valor medio de la tensión) de 9V?
- Dibuje el esquema completo del circuito resultante, detallando la estructura interna del puente de diodos y el conexionado adecuado a generador y carga.



**Problema 4.-(30 puntos)**-En el circuito de la figura adjunta, en donde  $V_{CC} = 12V$ , el transistor NPN tiene una  $\beta_N = 200$  mientras que el PNP tiene una  $\beta_P = 100$ . Si lo necesita, tome  $|V_{BE}| = 0.7V$  y  $|V_{CE-sat}| = 0.2V$ .

- Suponiendo que  $\beta_N$  y  $\beta_P$  se pueden considerar muy grandes, obtenga el punto de trabajo  $Q(I_C, V_{CE})$  de ambos transistores.
- ¿Para qué valores de  $R_5$  podría saturarse el transistor  $Q_2$ ?
- A partir de su respuesta en (a), obtenga los valores de las corrientes de base  $I_{B1}$  e  $I_{B2}$ . A la vista de estos valores, justifique la validez de la aproximación realizada.



# PROBLEMA 1

a)

$$G_1(s) = - \frac{z_2(s)}{z_1(s)} \quad \left\{ \begin{array}{l} z_1(s) = R_1 + \frac{1}{C_1 \cdot s} = \frac{1 + R_1 \cdot C_1 \cdot s}{C_1 \cdot s} \\ z_2(s) = R_2 \parallel \frac{1}{C_2 \cdot s} = \frac{R_2}{1 + R_2 \cdot C_2 \cdot s} \end{array} \right.$$

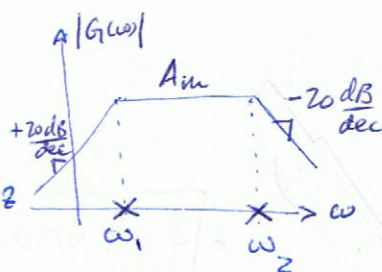
$$G_1(s) = - R_2 \cdot C_1 \frac{s}{(1 + R_1 \cdot C_1 \cdot s)(1 + R_2 \cdot C_2 \cdot s)} = - R_2 \cdot C_1 \frac{s}{\left(1 + \frac{s}{\omega_1}\right)\left(1 + \frac{s}{\omega_2}\right)}$$

\* Cero en 0

\* polos

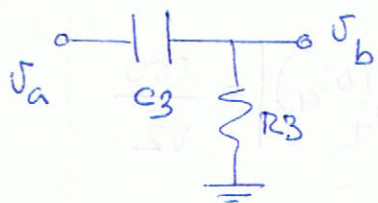
$$\omega_1 = \frac{1}{R_1 \cdot C_1} = \frac{1}{2 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6}} = 500 \text{ rad/s} \Rightarrow 80 \text{ Hz}$$

$$\omega_2 = \frac{1}{R_2 \cdot C_2} = \frac{1}{40 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-9}} = 25 \cdot 10^4 \text{ rad/s} \Rightarrow 40 \text{ kHz}$$



\*  $A_{m1} = |G_1(\omega)|_{\omega_1 < \omega < \omega_2} = -R_2 C_1 \cdot \frac{1}{\frac{1}{\omega_1} \cdot 1} = -R_2 C_1 \cdot \omega_1 = -\frac{R_2 C_1}{R_1 C_1} = -\frac{R_2}{R_1} = -20$

b)



$$V_b = V_a \frac{z_4}{z_3 + z_4} \quad \left\{ \begin{array}{l} z_3 = \frac{1}{s \cdot C_3} \\ z_4 = R_3 \end{array} \right.$$

$$G_2(s) = \frac{V_b}{V_a} = \frac{R_3 \cdot C_3 \cdot s}{1 + R_3 \cdot C_3 \cdot s} = R_3 \cdot C_3 \frac{s}{1 + s/\omega_3} \Rightarrow \text{Polo en } \omega_3 \text{ y cero en } \phi$$

Si polo en 80 Hz  $\Rightarrow \omega_3 = 2\pi \cdot 80 = \frac{1}{R_3 \cdot C_3} \Rightarrow R_3 = \frac{1}{2\pi \cdot 80 \cdot 100 \cdot 10^{-9}}$

$$\hookrightarrow \boxed{R_3 = 20 \text{ k}\Omega}$$

$f_3 = 80 \text{ Hz} = f_1 \Rightarrow$  coinciden los polos de la 1ª y 2ª etapa  $\Rightarrow$  polo doble.

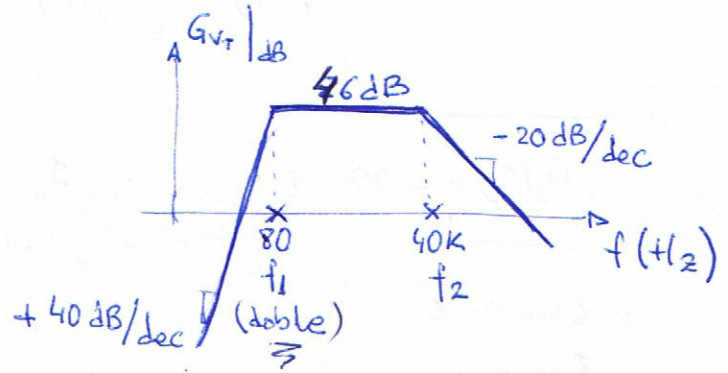
c)

$$G_{VT} = G_1 \cdot G_2 \cdot G_3 = -R_2 \cdot C_1 \frac{s}{(1 + \frac{s}{\omega_1})(1 + \frac{s}{\omega_2})} \cdot R_3 \cdot C_3 \frac{s}{(1 + \frac{s}{\omega_3})} \left(1 + \frac{R_4}{R_1}\right)$$

$$G_{VT} = - \frac{R_2 \cdot 10^2}{R_1} \frac{s^2}{(s + \omega_1)^2 (1 + \frac{s}{\omega_2})}$$

-200

$$G_{m2} = 20 \lg 200 = \underline{\underline{46 \text{ dB}}}$$



(\*) Significat. para  $f_{CL} \rightarrow \begin{cases} 2 \text{ ceros en } \phi \\ \text{polo doble en } f_1 \end{cases}$

d)

•  $f_{CH} = 40 \text{ kHz}$  per ser polo dominante

•  $f_{CL}$  no se puede asegurar que sea 80 Hz porque no es dominante. [NOTA: tomamos en  $G_{VTL}$  los términos significativos]\*

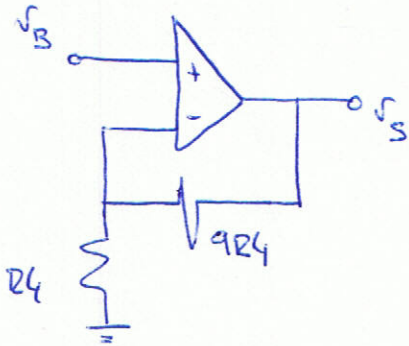
$$\left| G_{VTL}(s) \right| = \frac{200 s^2}{\left( \sqrt{s^2 + \omega_1^2} \right)^2} \quad \text{"} \quad \left| G_{VTL}(\omega_{CL}) \right| = \frac{200}{\sqrt{2}}$$

$$\frac{\omega_{CL}^2}{\omega_{CL}^2 + \omega_1^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{"} \quad (\sqrt{2} - 1) \omega_{CL}^2 = \omega_1^2$$

$$\omega_{CL} = \frac{\omega_1}{\sqrt{\sqrt{2} - 1}} \Rightarrow \boxed{f_{CL} = \frac{f_1}{\sqrt{\sqrt{2} - 1}} = \frac{80 \text{ Hz}}{0.64} = \underline{\underline{124.4 \text{ Hz}}}}$$

e)

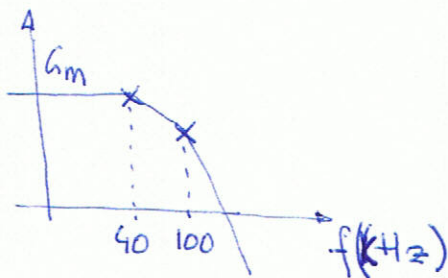
Si A02 tiene  $GBW = 10^6 \text{ Hz} \Rightarrow$  limitación en frecuencia. Introduce un polo.



$$G_{m3} = 1 + \frac{9R4}{R4} = 10$$

$$GBW = G_{m3} \cdot f_{P4} \rightarrow f_{P4} = \frac{GBW}{G_{m3}} = \frac{10^6}{10} = 10^5 \text{ Hz}$$

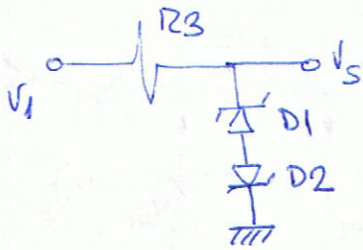
Esto modifica el Bode de altas frecuencias del sistema:



Esto hace que  $f_{P2}$  ya deje de ser polo dominante y, por lo tanto, para calcular la frecuencia de corte superior habría que irse a la definición.

## PROBLEMA 2

a)

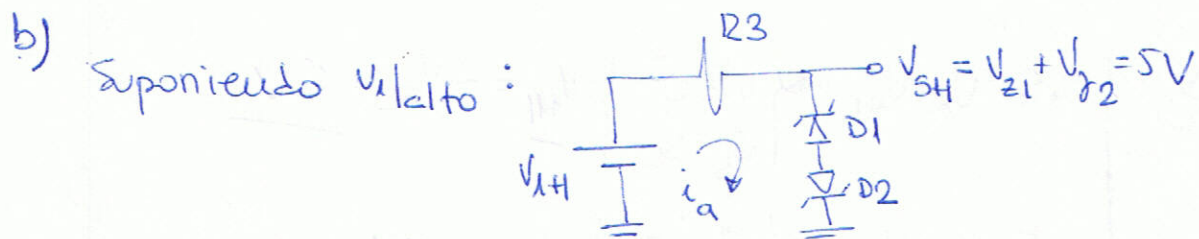


Garantiza, dentro de ciertos márgenes, que  $V_S$  tome valores fijos e independientes de la alimentación o las características de salida del AD.

- $V_1 |_{\text{alto}} \rightarrow V_{SH} = V_{z1} + V_{f2} = 5V$

- $V_1 |_{\text{bajo}} \rightarrow V_{SL} = -V_{f1} - V_{z2} = -5V$

b)



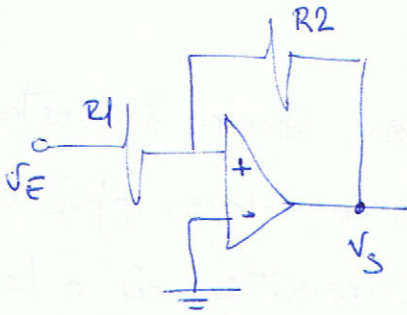
$$\left\{ \begin{array}{l} i_a = (V_{1H} - V_{SH}) / R_3 \\ I_{zK} \leq i_a \leq I_{zmax} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} I_{zK} = 1 \text{ mA} \\ I_{zmax} = \frac{P_z}{V_z} = \frac{1 \text{ W}}{4.3 \text{ V}} = 232.6 \text{ mA} \end{array} \right.$$

$$R_3 < \frac{V_{1H} - V_{SH}}{I_{zK}} \Bigg|_{\text{min}} = \frac{10 - 5}{1 \text{ m}} = 5 \text{ k}\Omega$$

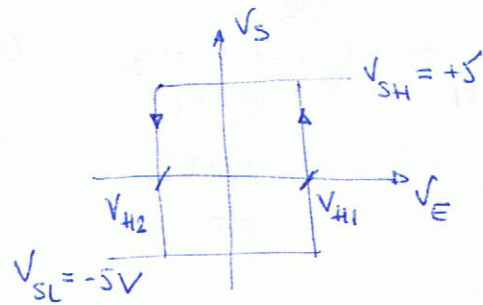
$$R_3 > \frac{V_{1H} - V_{SH}}{I_{zmax}} \Bigg|_{\text{max}} = \frac{10 - 5}{232.6 \text{ m}} = 43 \Omega$$

Por ejemplo:  $R_3 = 4 \text{ k}\Omega$

c)



Compunder no-inversor con histéresis

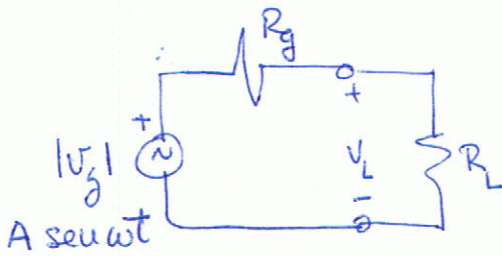
Comuta a  $V_{H1}$  ó  $V_{H2} \Rightarrow V^+ = V^-$ 

$$\begin{cases} V^+ = V_E \frac{R2}{R1+R2} + V_S \frac{R1}{R1+R2} = \frac{V_E}{2} + \frac{V_S}{2} \\ V^- = \phi \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{Si } V_E = V_{H1} \rightarrow \begin{cases} V^+ = V^- \\ V_S = V_{SL} \end{cases} \left\{ \begin{array}{l} V_{H1} = -V_{SL} = 5V \\ \hline \end{array} \right. \\ \text{Si } V_E = V_{H2} \rightarrow \begin{cases} V^+ = V^- \\ V_S = V_{SH} \end{cases} \left\{ \begin{array}{l} V_{H2} = -5V \\ \hline \end{array} \right. \end{cases}$$

# PROBLEMA 3

a) siendo los diodos ideales  $\rightarrow V_r \approx 0V$



$$v_L(t) = |v_g| \frac{R_L}{R_L + R_g} = |v_g| \frac{5}{6}$$

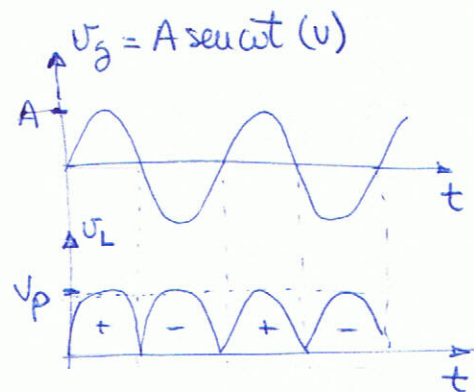
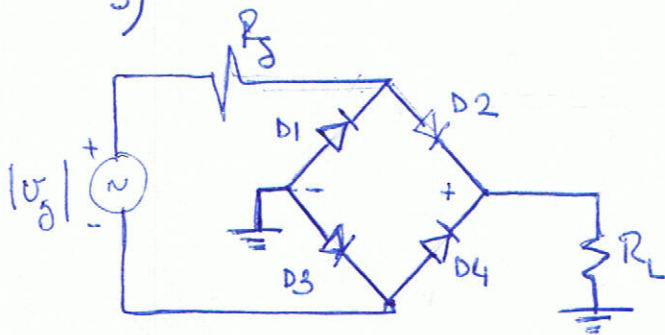
$$V_{DC} = V_m = \frac{1}{T} \int_0^T v_L(t) dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} v_p \cdot \text{sen } \omega t \cdot dt = \frac{2}{T} \frac{v_p}{\omega} [-\cos \omega t]_0^{T/2}$$

$$V_m = \frac{2 \cdot T}{T \cdot 2\pi} v_p \left[ \cos 0 - \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{2}\right) \right] = \frac{2 v_p}{\pi} \stackrel{\uparrow}{=} 9V$$

según especificaciones

$$\hookrightarrow v_p = \frac{9\pi}{2} V = A \cdot \frac{5}{6} \Rightarrow \boxed{A = \frac{6}{5} \cdot \frac{9\pi}{2} \approx 17V}$$

b)



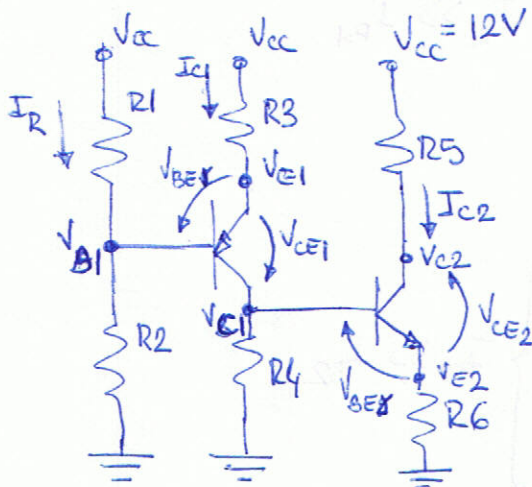
$$\text{En } (+): \begin{cases} D2, D3 \rightarrow \text{ON} \\ D1, D4 \rightarrow \text{OFF} \end{cases}$$

$$\text{En } (-): \begin{cases} D2, D3 \rightarrow \text{OFF} \\ D1, D4 \rightarrow \text{ON} \end{cases}$$



# PROBLEMA 4

a)



Aproximación de  $\beta \rightarrow \infty \Rightarrow I_B \rightarrow 0$

Hipótesis: ambos en activa:

$$\begin{cases} I_c = \beta I_B \\ V_{CE} > V_{CE_{set}} = 0,2V \end{cases}$$

$$V_{B1} = V_{CC} \frac{R2}{R1+R2} = 12 \cdot \frac{4}{6} = 8V \rightarrow V_{E1} = V_{B1} - V_{BE1} = 8 - (-0,7) = 8,7V$$

$$I_{C1} = \frac{V_{CC} - V_{E1}}{R3} = \frac{12 - 8,7}{500} = 6,6 \text{ mA}$$

$$V_{C1} = I_{C1} \cdot R4 = 6,6V \quad V_{E2} = V_{E1} - V_{BE2} = 6,6 - 0,7 = 5,9V$$

$$I_{C2} = \frac{V_{E2}}{R6} = \frac{5,9}{2K} = 2,95 \text{ mA}$$

$$V_{C2} = V_{CC} - I_{C2} \cdot R5 = 12 - 2,95 \text{ mA} \cdot 1K = 9,05V$$

$$\hookrightarrow \begin{cases} Q_1(I_{C1}; V_{CE1}) = (6,6 \text{ mA}; 2,1V) \\ Q_2(I_{C2}; V_{CE2}) = (2,95 \text{ mA}; 9,05V) \end{cases}$$

b) Limite saturación-activa:  $V_{CE} = V_{CE_{set}}$

$$V_{CE2} = V_{CC} - I_{C2} \cdot R5 - V_{E2} \geq V_{CE_{set}}$$

$$R5 \leq \frac{V_{CC} - V_{E2} - V_{CE_{set}}}{I_{C2}} = \frac{12 - 5,9 - 0,2}{2,95} = 2K\Omega$$

c)

- $I_{B1} = \frac{I_{C1}}{\beta_{PNP}} = \frac{6,6 \text{ mA}}{100} = 66 \mu\text{A}$

$I_R \gg I_{B1}$

- $I_R = \frac{V_{CC}}{R1 + R2} = \frac{12}{6 \text{ K}} = 2 \text{ mA}$

- $I_{B2} = \frac{I_{C2}}{\beta_{npn}} = \frac{2,95 \text{ mA}}{200} = 14,8 \mu\text{A}$

$I_{C1} \gg I_{B2}$

- $I_{C1} = 6,6 \text{ mA}$

↳ La aproximación realizada queda justificada.

Nótese que la comparación es con las otras corrientes del nodo de  $I_{Bx}$ ; por ejemplo:

