

...:

AD

EC

C<sub>18</sub>M

IT

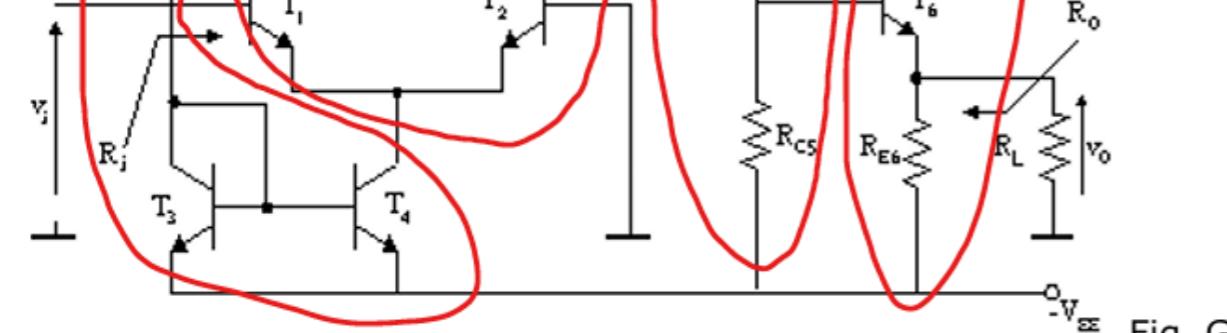


Fig. G-9

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_6 = 400 ; \beta_5 = 100.$$

Se admite  $r_x \approx 0$  y  $V_A \approx 130$  V para todos los transistores.

$R_{C1}=R_{C2}=10\text{K}\Omega$ ;  $R_T=39,3\text{K}\Omega$ ;  $R_{E5}=4,3\text{K}\Omega$ ;  $R_{C5}=20,7\text{K}\Omega$ ;  $R_{E6}=10\text{K}\Omega$ .

$|V_{CC}| = |V_{EE}| = 20$  V.

- a) Determinar los puntos de reposo de todos los transistores. Despreciar, al sólo efecto de los cálculos de este punto, la corrección por efecto Early.

Empiezo por la fuente de corriente:

$+20$  $R_F$  $39,3k$  $T_3$  $I_o$  $-V_{EE}$ 

$$I_L = \frac{20 - (-20 + 9,7)}{39,3k} = 1mA = I_{C_3} + 2I_{B_3} = I_{C_3} + 2\frac{I_{C_3}}{\beta_3}$$

Nota:  $I_{C_3} = I_{C_4}$ ,  $I_{B_3} = I_{B_4}$

$\text{Xq' } V_{BE_3} = V_{BE_4}$  se i due TBJ siano uguali

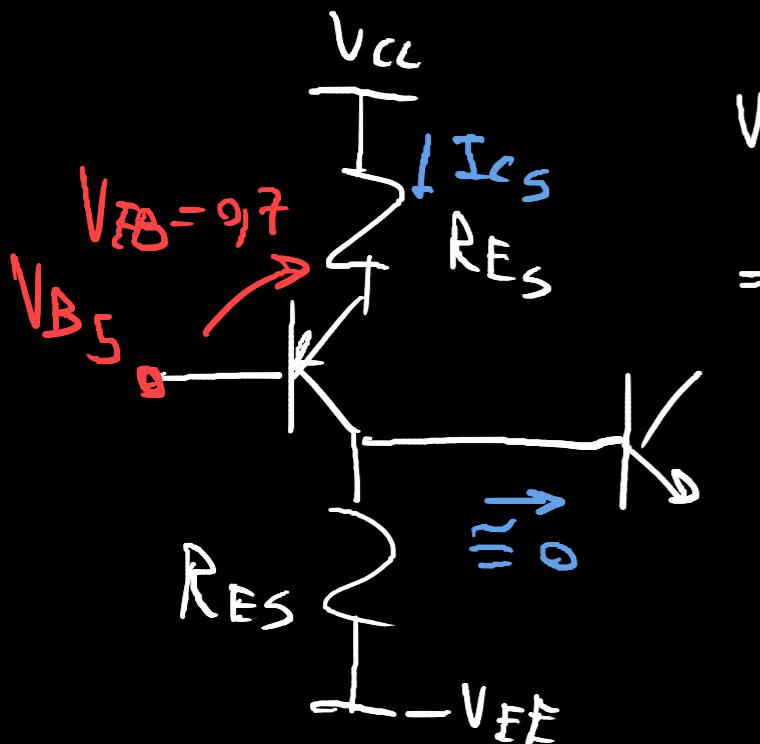
$$\Rightarrow I_L = I_{C_3} \left(1 + \frac{2}{\beta_3}\right) \Rightarrow I_{C_3} = \frac{\beta_3}{\beta_3 + 2} I_L = I_{C_4} = I_o$$

$$\Rightarrow I_o \approx 1mA$$

Parte diferencial:  $I_{C_1} \approx I_{C_2} = 0,5 \text{ mA}$

( $xq'$  no hay simetría y desprecia  $I_{B_S}$ )

3ta etapa: EC:

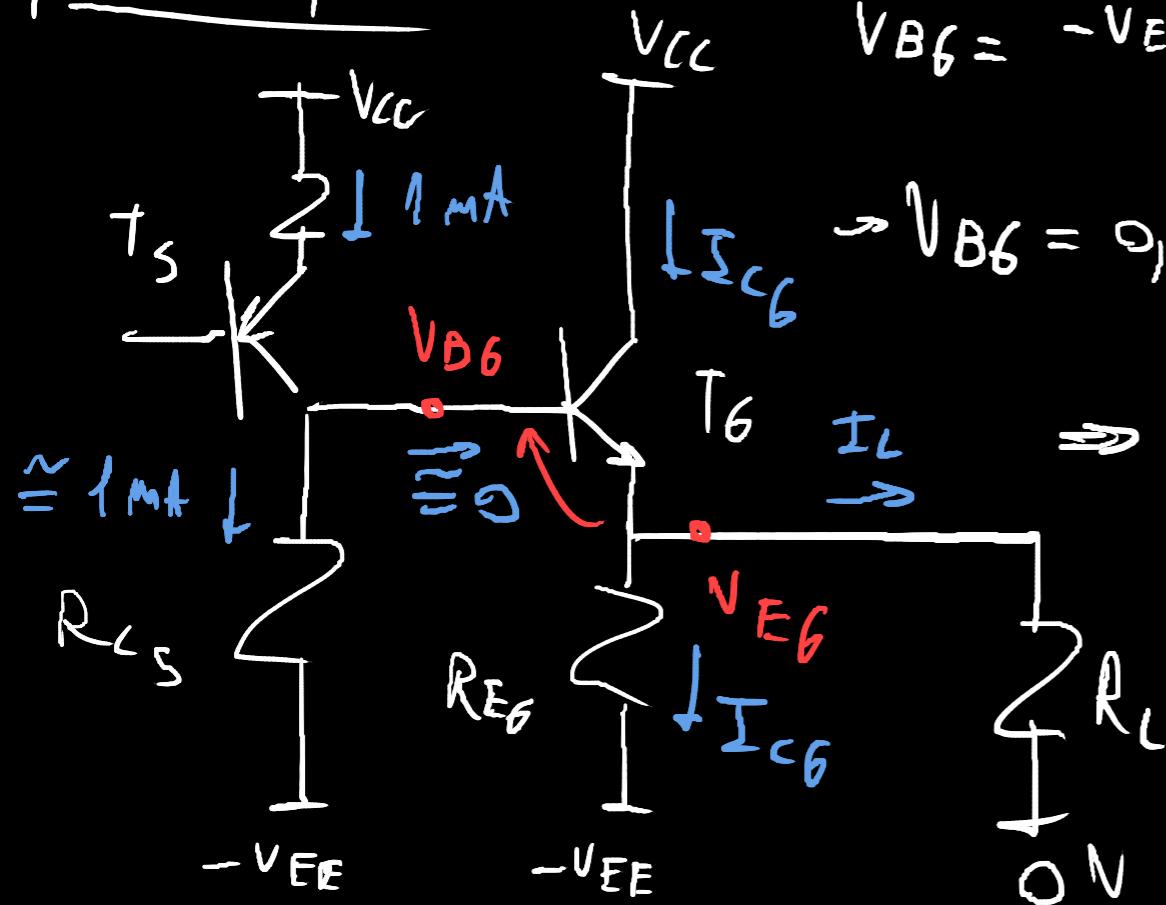


$$V_{B_S} = V_{CC} - R_{C_2} \cdot I_{C_2} = 20 - 10k \cdot 0,5 \text{ mA} = 15 \text{ V}$$

$$\Rightarrow I_{C_S} = \frac{V_{CC} - (V_{B_S} + 0,7)}{R_{E_S}} = \frac{20 - 15 + 0,7}{4k3} = 1 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_{B_S} = 10 \mu\text{A} \ll I_{C_2} \quad \checkmark$$

4 ta etapa : CC :



$$V_{B6} = -V_{EE} + R_{CS} \cdot I_{CS} = -20 + 20,7k \cdot 1mA$$

$$I_{C6} \Rightarrow V_{B6} = 0,7V \Rightarrow V_{EG} = 0$$

$$\Rightarrow I_L = 0 \Rightarrow I_{C6} = \frac{0 - (-20)}{10k} = 2mA$$

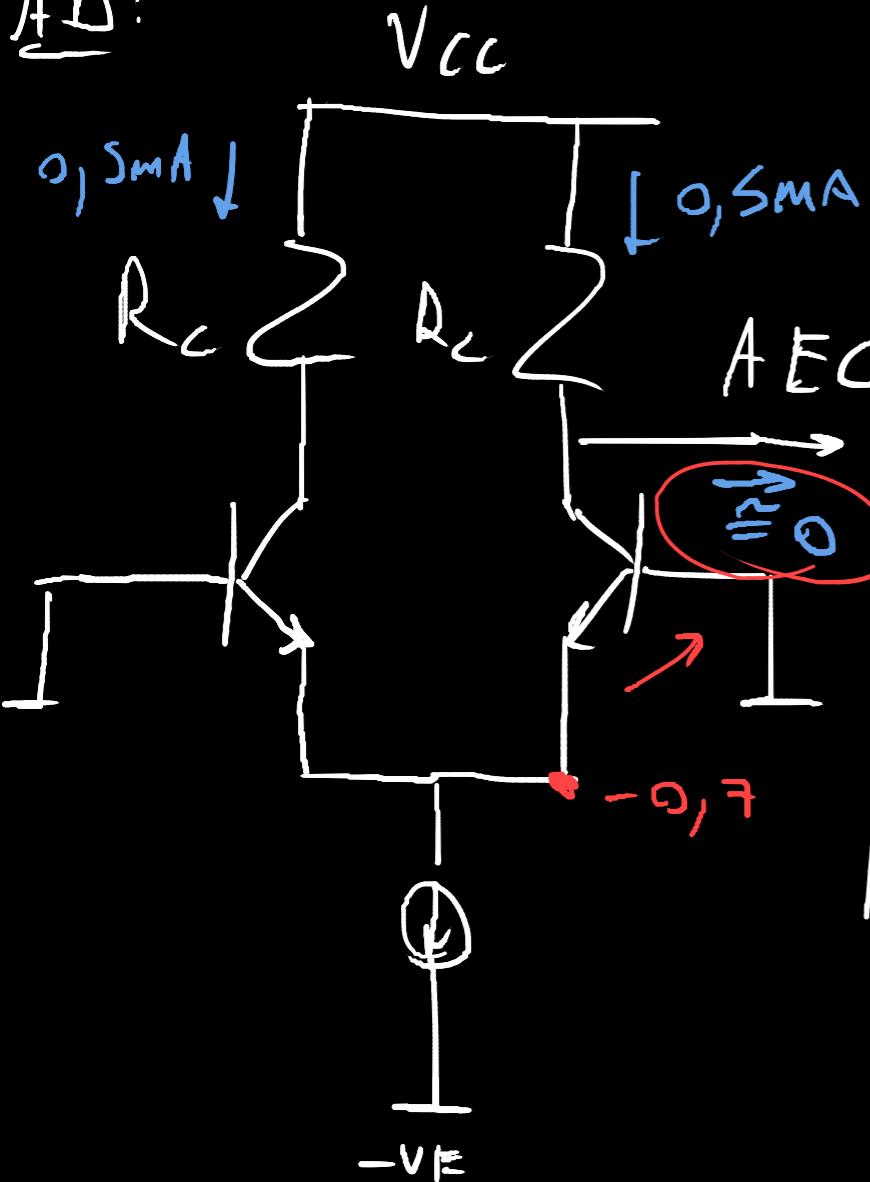
OJO CON LOS PNP DEL ORTO. RECIÉN PUSE MAL LA TENSIÓN VBE Y ARRASTRÉ UN ERROR QUE DESHACÍA TODO EL EJERCICIO

$$\rightarrow I_{BS} - 5mA \ll I_{CS} \checkmark$$

TBS T<sub>1</sub> T<sub>2</sub> T<sub>3</sub> T<sub>4</sub> T<sub>5</sub> T<sub>6</sub> V<sub>of</sub> a necessitar V<sub>CE</sub>

I<sub>c</sub>[mA] 0,5 0,5 1 1 1 2 LCDLL

AD:



$$V_{CE_1} = V_{CE_2} = (V_{CC} - I_C \cdot R_C) - (-o_1 + V_I) =$$

$$A_{EC} = 20 - 10k \cdot 0,5mA + 0,7 = 15,7 \text{ V}$$

Va pata d otros lados q' es PNP

$$V_{CE_1} = V_{CE_2} = 15,7 \text{ V}$$

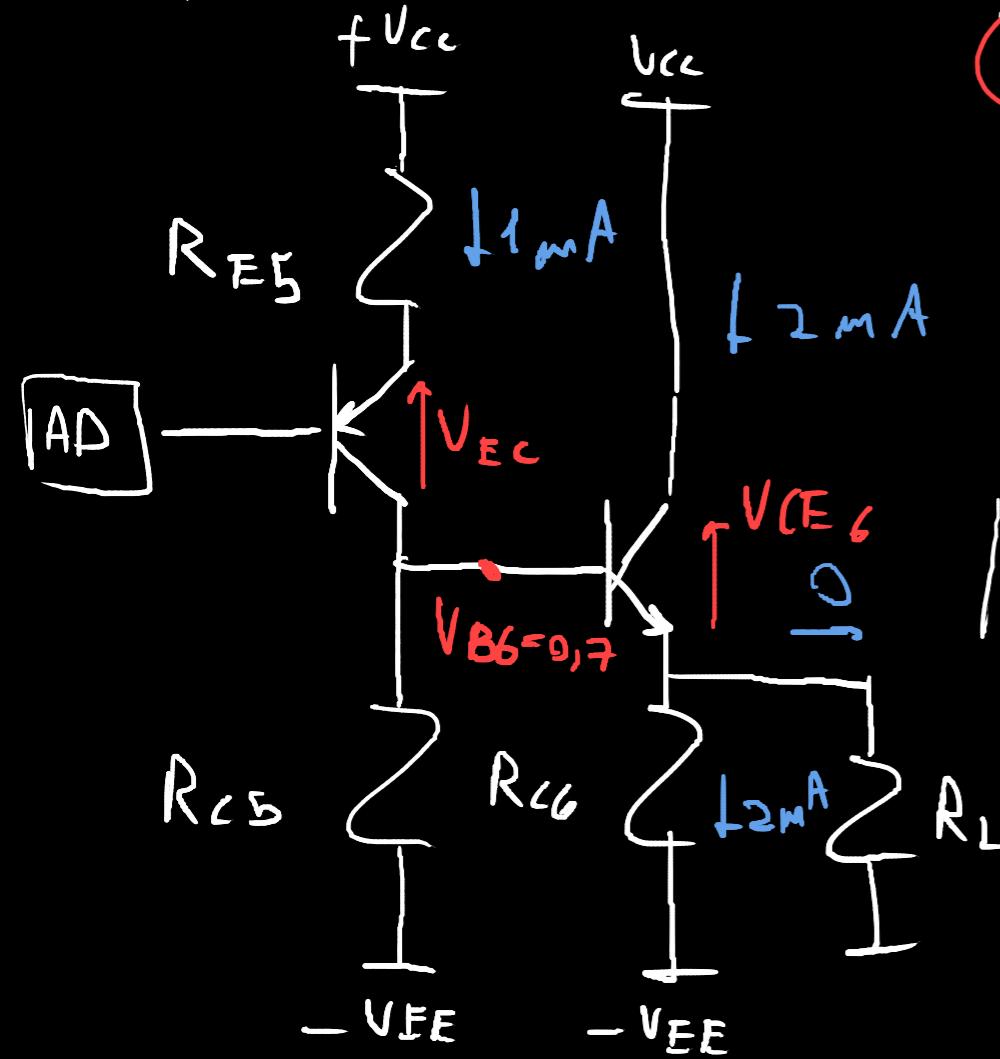
## Etapa de salida:

→ ESTO ES VEC, q' q'il que soy

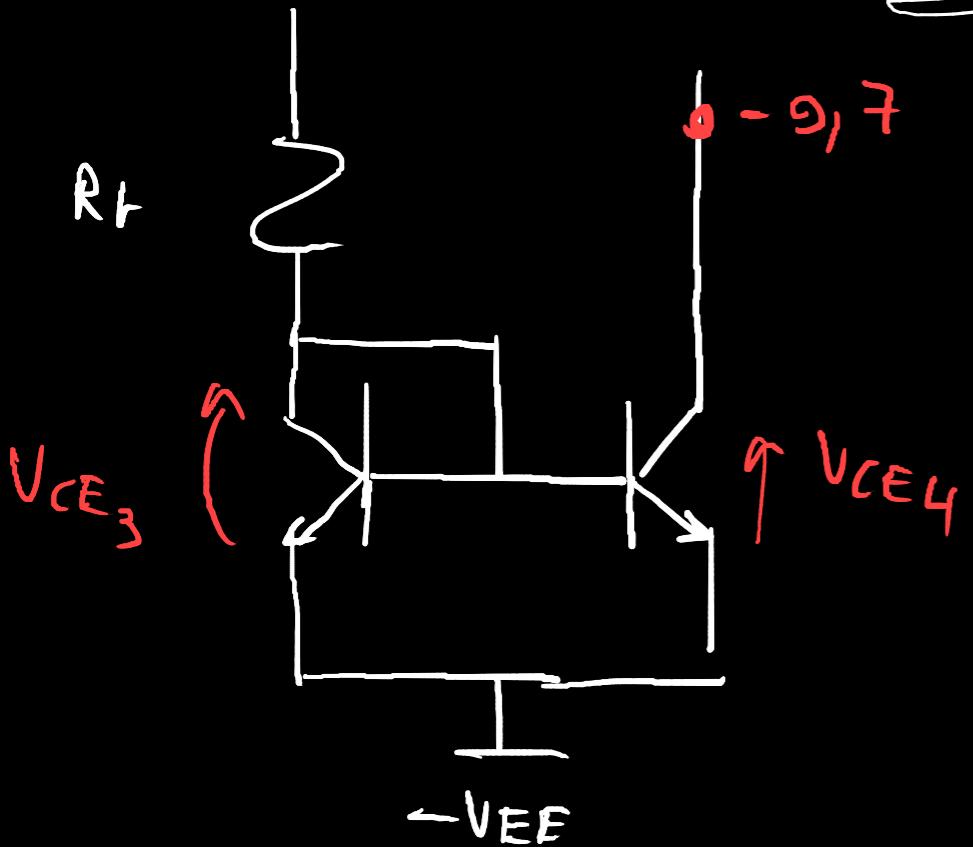
$$V_{CES} = (V_{CC} - I_{CS} \cdot R_{ES}) - (9,7) = \\ = 20 - 1mA \cdot 4,3k - 9,7 = 15V = V_{EC}$$

$$V_{CE_6} = V_{CC} - 0 = 20 \text{ V}$$

$$\boxed{V_{CES} = 15 \text{ V}} \quad | \quad \boxed{V_{CEG} = 20 \text{ V}}$$



FC :



$$\boxed{V_{CE_3} = 9,7 \text{ V}}$$

$$V_{CE_4} = (-9,7 \text{ V}) - (-V_{EE}) = \\ = 19,3 \text{ V}$$

TBJ	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$	$T_6$
-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------

$I_c [\text{mA}]$	0,5	0,5	1	1	1	2
-------------------	-----	-----	---	---	---	---

$V_{CE}$	15,7	15,7	9,7	19,3	15	20
----------	------	------	-----	------	----	----

$\frac{V_{CE}}{V_A}$	0,121	0,121	0,05	0,148	0,115	0,154
----------------------	-------	-------	------	-------	-------	-------

NO ES DESPRECiable

$$T_B \text{ } T_1 \text{ } T_2 \text{ } T_3 \text{ } T_4 \text{ } T_5 \text{ } T_6 \quad \left( r_0 \right)^{-1} = \frac{\partial i_C}{\partial v_{RE}} = I_C \left( \frac{1}{V_A} \right)$$

$I_C [\text{mA}]$  0,5 0,5 1 1 1 2

$$V_{CE} \text{ } 15,7 \text{ } 15,7 \text{ } 9,7 \text{ } 13,3 \text{ } 15 \text{ } 20 \quad r_o = V_A / I_C$$

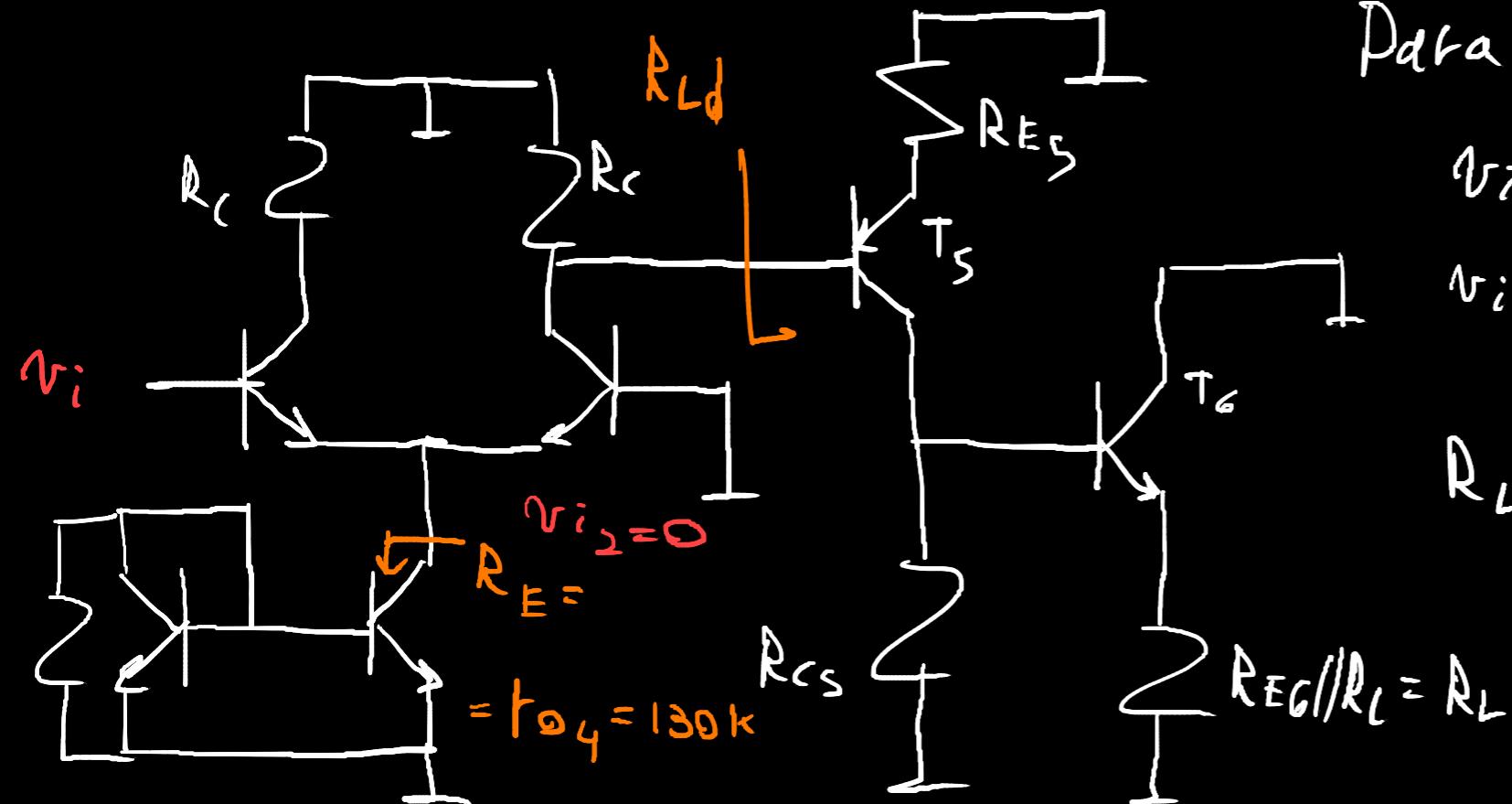
$$q_m [\text{mA/V}] 19,3 \text{ } 19,3 \text{ } 38,6 \text{ } 38,6 \text{ } 38,6 \text{ } 77,2 \quad LPM$$

$$r_\pi \text{ } 20,7k \text{ } 20,7k \text{ } 10,4k \text{ } 10,4k \text{ } 2k6 \text{ } 5k2$$

$$r_0 \text{ } 260k \text{ } 260k \text{ } 130k \text{ } 130k \text{ } 130k \text{ } 65k$$

b) Determinar la amplificación de tensión  $A_v = v_o/v_i$ ,  $R_i$  y  $R_o$ . Determinar  $v_o = f(v_{id}, v_{ic})$  y las amplificaciones totales  $A_{vd}$  y  $A_{vc}$ . Determinar la RRMC del circuito.

Circuito de señal:



Para el diferencial:

$$v_{iad} = v_{i1} - 0 = v_{i1}$$

$$v_{ic} = \frac{1}{2} v_{i1}$$

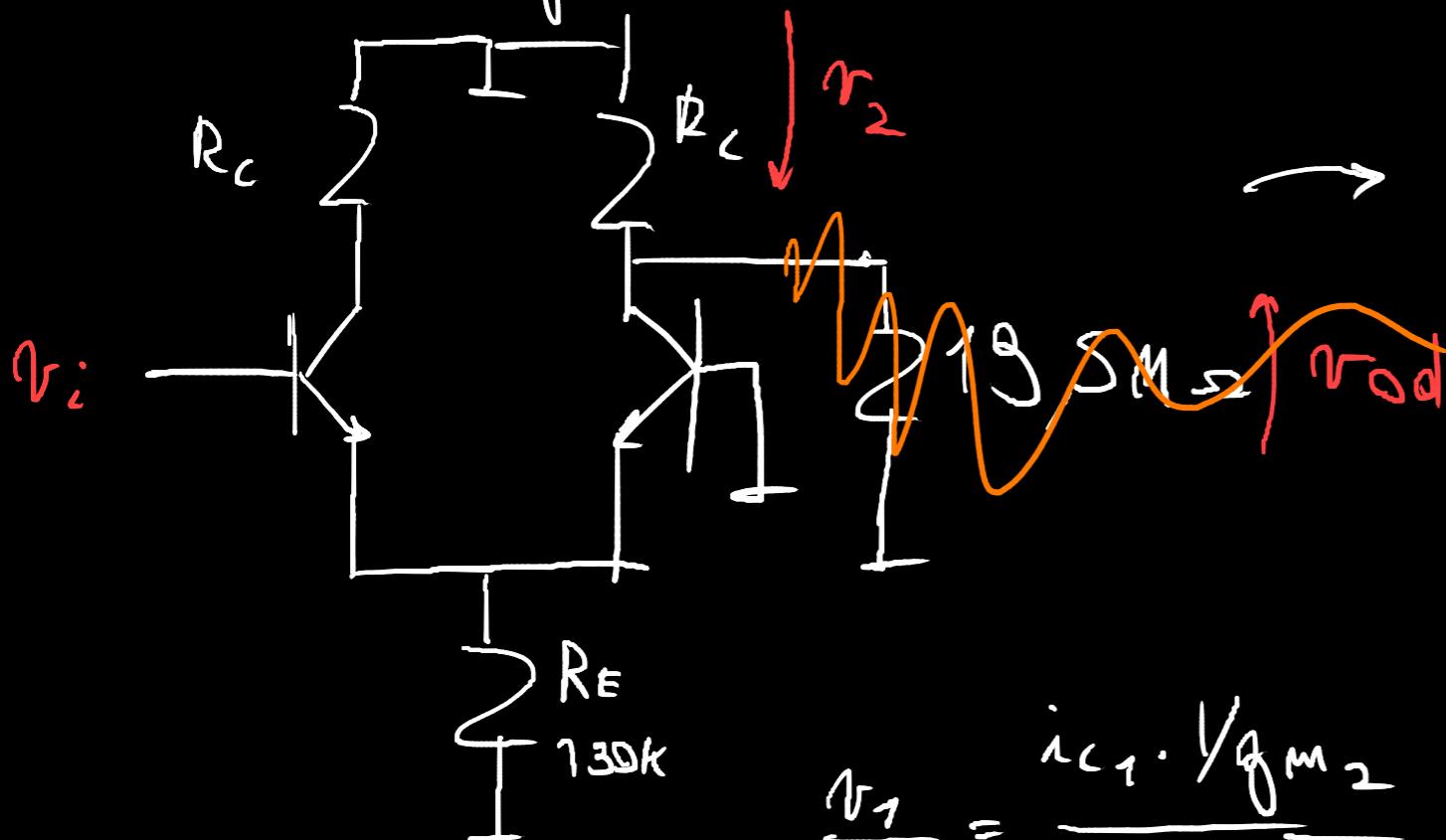
$$R_{Ld} = r_{\pi 5} + \beta_5 [R_{CS} \parallel (r_{\pi 6} + \beta_6 R_L)]$$

$$R_{EG}/R_L = R_L$$

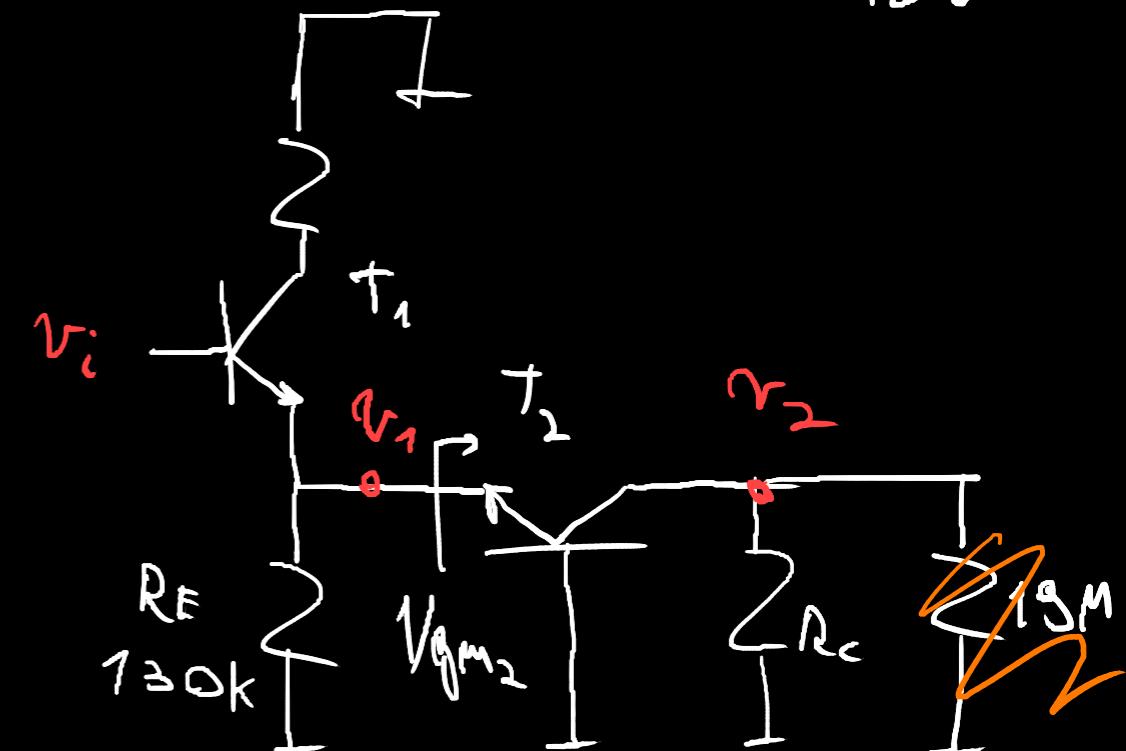
$$R_{\text{load}} = 2k_6 + 100 \cdot \left[ 20k_7 / (5k_2 + 400 \cdot 100) \right] = 2k_6 + 100 [20k_7 / 45k_2] = 1,95M\Omega$$

Para el AD tiempo:

ALV



$$\frac{V_1}{V_i} = \frac{i_{C1} \cdot V_{g_{m2}}}{V_{be1} + i_{C1} \frac{1}{g_{m2}}} = \frac{V_{g_{m2}}}{V_{g_{m1}} + 1/g_{m2}} = 1/2$$

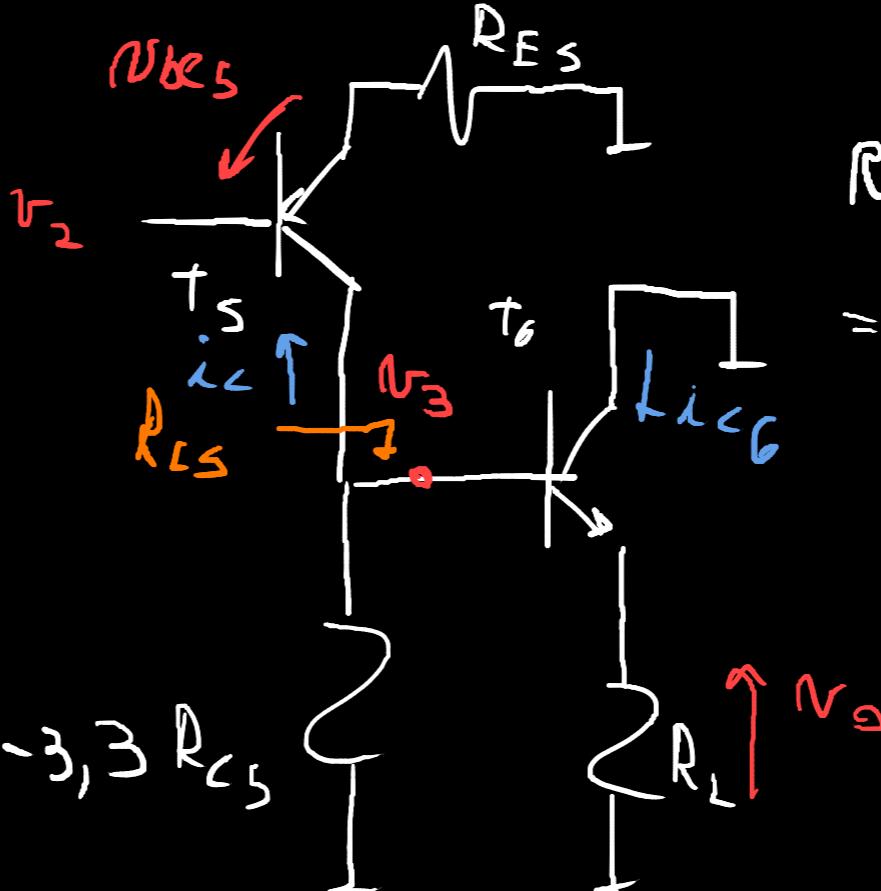


$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{i_{C_2} R_C}{V_{BE2} + V_{BE2}} = g_m m_2 R_C$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{V_2}{V_1} = \frac{g_m m_2 R_C}{2}}$$

$$\frac{V_3}{V_2} = \frac{-i_{C_2} R_{LS}}{V_{BE2} + i_{C_2} R_{ES}} = \frac{-14k\Omega}{2k\Omega + 4k\Omega} = -3,3 R_{C_2}$$

Etapa de salida:



$$R_{LS} = R_{C5} \parallel (b\pi_6 + \beta_6 R_L) = \\ = 20k\Omega \parallel 45k\Omega = 14k\Omega$$

$$\frac{V_0}{V_3} = \frac{i_{C6} \cdot R_L}{i_{C6} R_2 + V_{BE6}} = \frac{100}{100 + \frac{1}{77,2m}} = 0,89$$

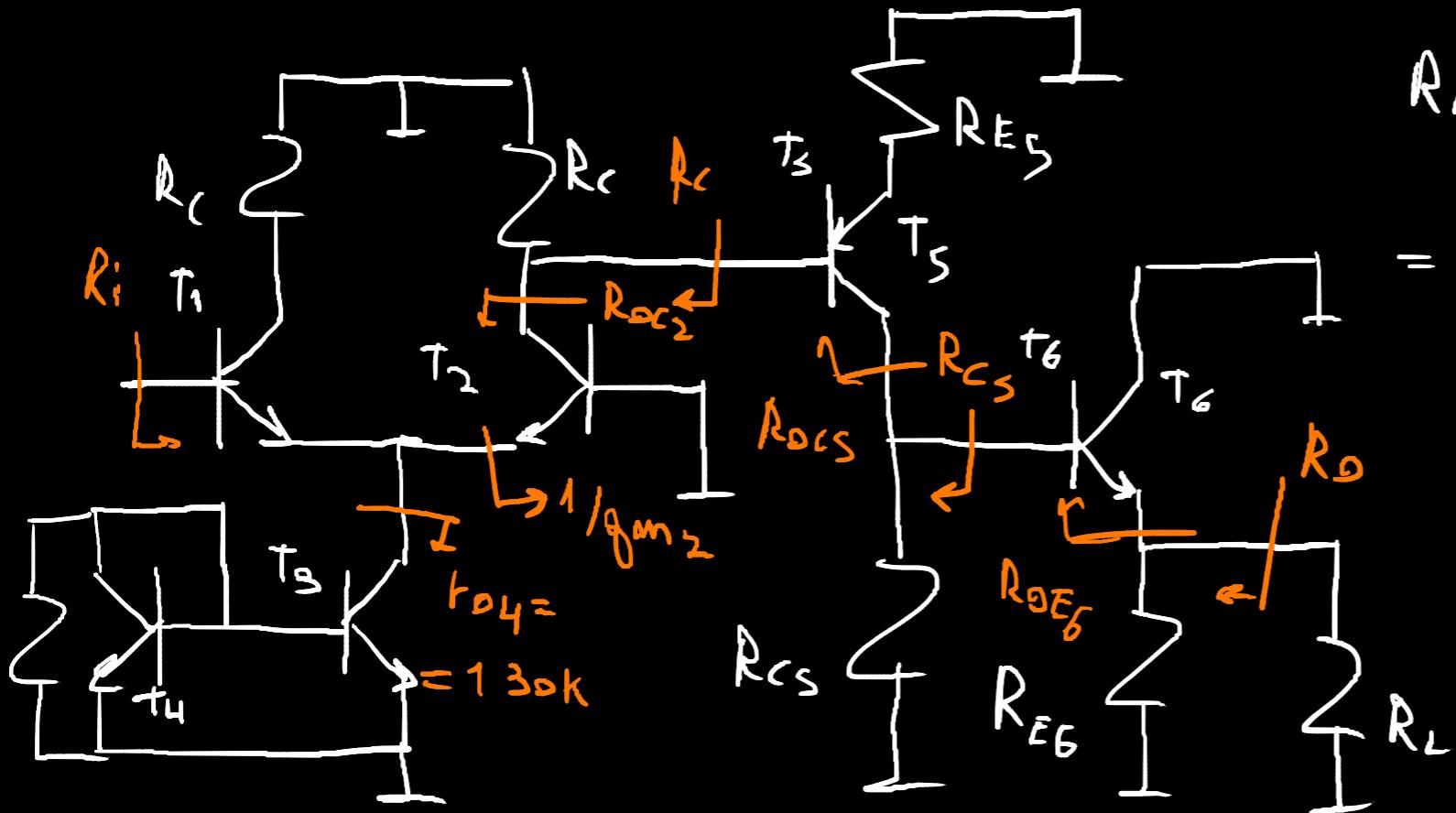
$$\Rightarrow \frac{V_0}{R_2} = -2,94$$

$$A_V = \frac{V_0}{V_i} = \frac{V_0}{V_i} \cdot \frac{V_0}{R_2} = \frac{q_{m2} R_L}{2} \cdot (-2,94) = \frac{13,3m \cdot 10k}{2} (-2,94) =$$

$$= 36,5 \cdot (-2,94) = -283,71$$

$$\therefore A_V = -283,71$$

$R_i$ )



$$R_i = r_{\pi_1} + \beta_1 r_{o4} \parallel \frac{1}{g_m 2} = \\ = r_{\pi_1} + \frac{\beta_1}{g_m 2} = 2r_{\pi_1} = 41.4k$$

$$R_{OC2} \approx r_{o2} \left( 1 + g_m 1 \frac{1}{g_m 2} \right) = 2r_{o2} \gg R_C$$

$$R_{OC5} = (R_C + r_{\pi_3}) \parallel R_{ES} + r_{o3} \left[ 1 + g_m 5 (R_C + r_{\pi}) \parallel R_{ES} \right] \quad (\text{Vcr EJ#1})$$

$$r_{os} = 130k, R_c = 10k, r_{ns} = 2k6 \quad g_{mS} = 38,6 \mu A/V$$

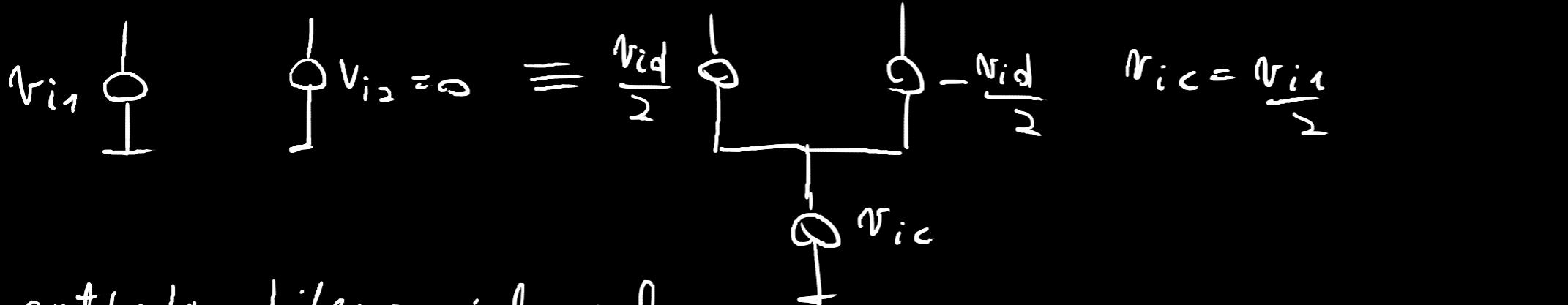
$$R_c + r_{ns} = 12k6 \quad (R_c + r_{ns}) // R_{ES} = 3k4$$

$R_{oCS} = 17M \rightarrow r_c$  contra despreciable contra  $R_{CS}$

La cuestión es que:  $R_o = R_{EC} // R_{oE6} \quad R_{oE6} = \frac{r_{T6} + R_{CS}}{\beta_6} = 64,75 \Omega$

$$\Rightarrow R_o = R_{E6} // R_{oE6} \approx R_{oE6} = 64,75 \Omega$$

¿Ganancias en modo común y diferencial?



$$V_{id} = V_{i1}$$

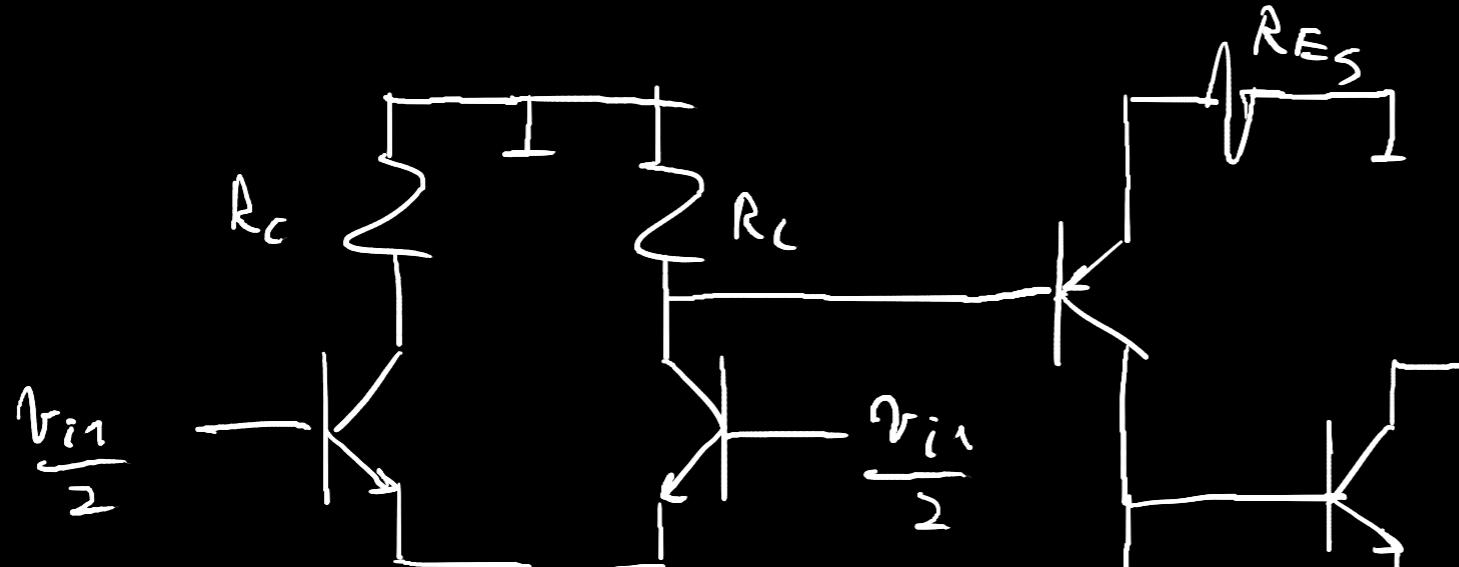
$$V_{ic} = \frac{V_{i1}}{2}$$

La entrada diferencial es lo

mismo q' la entrada única, esa ganancia ya la tengo

$$\Rightarrow A_{vd} = A_v = \frac{g_m R_L}{2} \cdot \frac{-R_{cs} / (R_{T6} + B_6 R_L)}{R_{E5}} \cdot \frac{R_L}{R_L + 1/g_m B_6} \approx -283,1$$

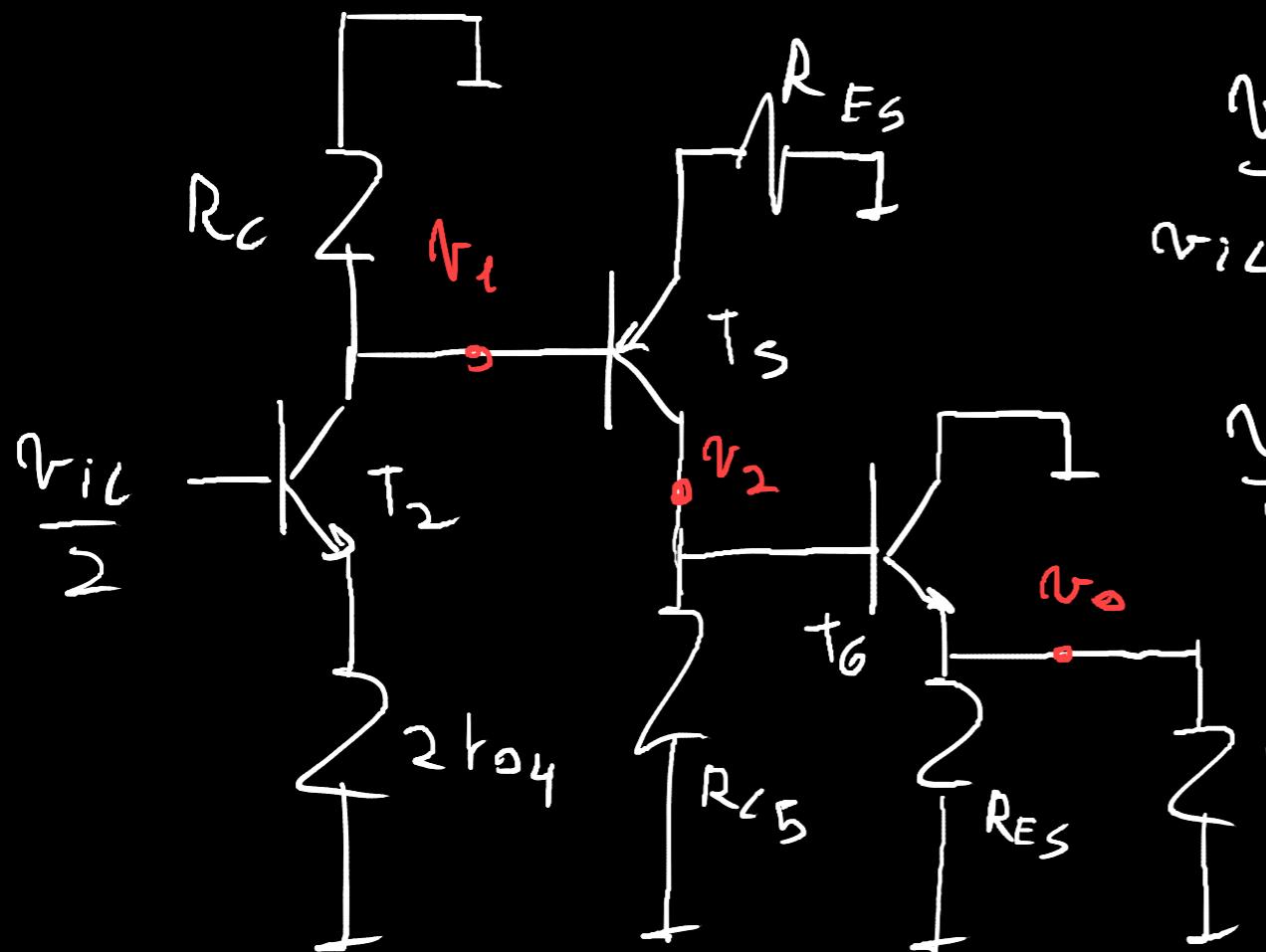
Para  $V_{ic}$  el circuito es:



$f_{04}$  se pude  
 reemplazar  $x'$   $2f_{04}$   
 y considerar un solo  
 HC.

La fuente de  
 corriente se

pude reemplazar  $x'$  esta resistencia  
 en serie. En el CPS se ve



$$\frac{V_1}{V_{i1}/2} = \frac{-R_C}{2k_04} \quad (\text{EC})$$

$$\frac{V_2}{V_1} = -\frac{R_{Ls}}{R_{Es}} = -\frac{R_{C5} || (k_{T6} + \beta_6 R_L)}{R_{Es}}$$

$$\frac{V_o}{V_2} = \frac{R_L}{R_L + 1/g_m G}$$

$$\Rightarrow A_{V_C} = \frac{R_C}{2k_04} \cdot \frac{R_{C5} || (k_{T6} + \beta_6 R_L)}{R_{Es}} \cdot \frac{R_L}{R_L + 1/g_m G}$$

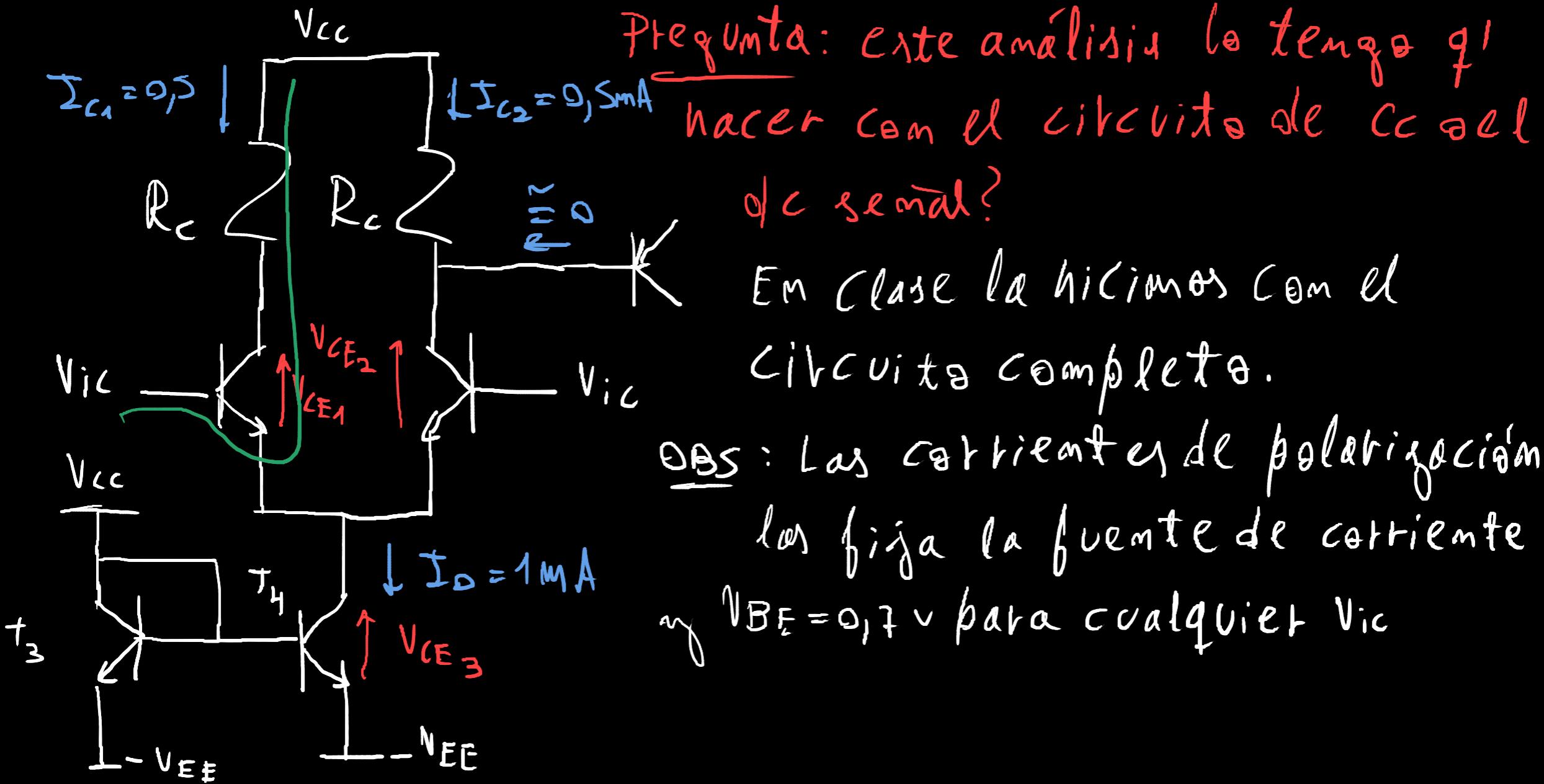
$$RRMC = \frac{A_{vd}}{A_{vcl}} = \frac{-\frac{g_m R_c}{Z}}{\frac{R_c}{2V_{DQ}}} = -g_m \cdot V_{DQ} \quad \text{OBS: todo lo de las etapas siguientes al AD se cancela}$$

$$\Rightarrow RRMC = 20 \log \left( \left| A_{vd} / A_{vcl} \right| \right) = \\ = 20 \log ( g_m V_{DQ} ) = 68 \text{ dB}$$

Lógico q' la ganancia  $\frac{V_o}{V_{DQ}}$  aparecerá en ambas medidas.

c) Definir y calcular el *Rango de tensión de modo común* para este circuito.

→ Rango de tensiones de entrada común para las cuales los TBS están en MAD



la pregunta es: ¿Qué Vic produce  $V_{CE1} = V_{CE(SAT)} = 0,7V$ ?

$$\rightarrow \text{Nulla: } V_{iC} - V_{BE1} + V_{CE(SAT)} + I_c \cdot R_C - V_{CC} = 0$$

$$\rightarrow V_{iC} = V_{CC} - R_C I_c = 20V - 10k \cdot 0,5mA = 15V$$

La tensión de los nodos de los colectores de T1 y T2 está fija y es  $V_{CC} - RC \cdot IC$

La tensión del nodo de los emisores es  $V_{iC} - 0,7$

Si sube  $V_{iC}$ , sube la tensión del nodo de los emisores, lo que achica  $V_{CE}$ , lo que me saca de MAD  
=> Este valor es una cota máxima

$$V_{iC} < 15V$$

Si  $V_{iC}$  baja mucho, T4 se rada MAD. La tensión del emisor de T4 es  $-V_{EE} = -20V$

$$V_{CE} = V_C - V_E = (V_{IC} - 0,7) - (-20) > 0,7$$

$$\rightarrow V_{IC} > -18,6 \text{ V} \quad \therefore -18,6 < V_{IC} < 15 \text{ V}$$

¿Qué pasa con el resto de etapas?  $\rightarrow$  La ganancia de módulo común es mínima,  $A_{TAC} = \frac{R_C}{2t_{94}} \approx 0,04$ . Entonces, si a la entrada

común turíbia  $V_{IC} = 15 \text{ V} \sin(\omega t)$ ,  $V_{C_2} = 0,6 \text{ V} \sin(\omega t)$ ,  $T_S$  se moverá muy poco dependiendo de dónde esté. En teoría también ayuda mucho q' la ganancia del EC es solo  $-3,3$ .

$\rightarrow$  No me interesa el resto de transistores

d) Analizar las diferencias en los valores de los puntos de reposo al tener en cuenta el valor de  $V_A$  en el cálculo. Extraer conclusiones. Podría entenderse esta diferencia en el valor de la tensión de salida como debida a una señal perturbadora existente en algún punto del circuito. En este caso, la variación de  $i_{C4}$  debida al efecto Early, respecto a su valor calculado originalmente (al que llamaremos  $I_{CQ4}$ ), puede representarse como el incremento en la corriente de la fuente T3-T4:  $\Delta i_{C4} \approx I_{CQ4} \cdot (V_{CE}/V_A)$  provocado por una señal de modo común equivalente.

T <sub>B</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

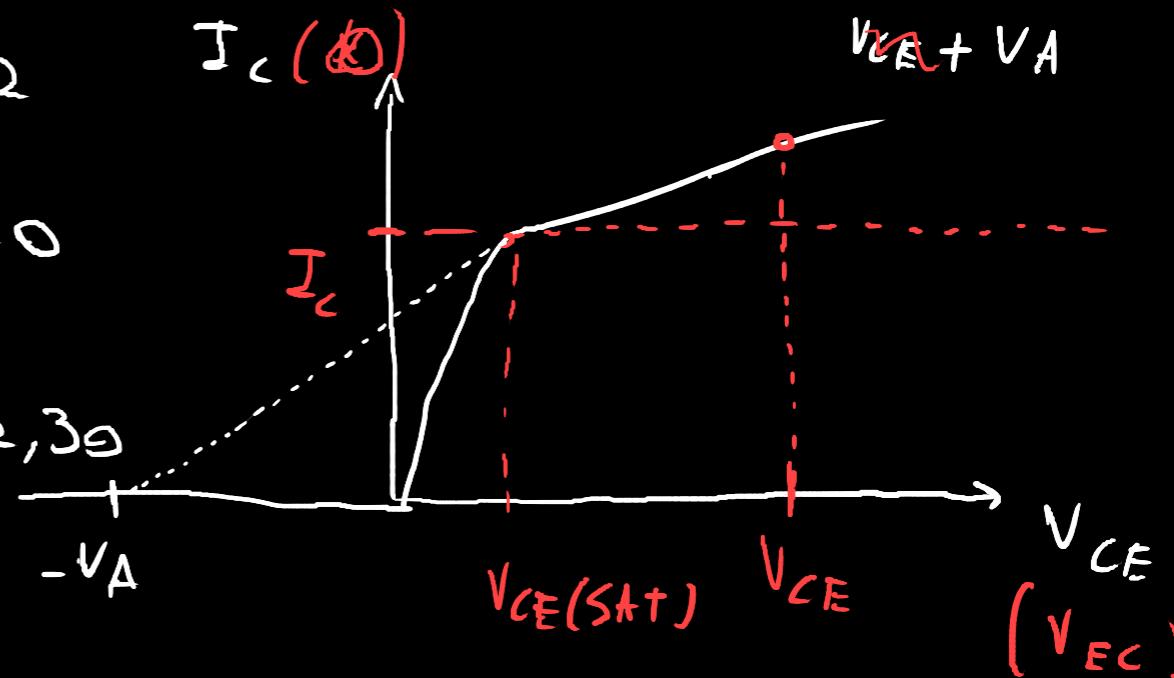
$I_C [mA]$	0,5	0,5	1	1	1	2
------------	-----	-----	---	---	---	---

$V_{CE}$	15,7	15,7	0,7	18,3	15	20
----------	------	------	-----	------	----	----

$I'_C$	0,57	0,57	1	1,14	1,11	2,39
--------	------	------	---	------	------	------

$$I'_C = I_C \left( 1 + \frac{V_{CE} - V_{CE(SAT)}}{V_A} \right)$$

$$I_C (0)$$



④ → definida saliente para el PNP

considerando EE,  $V_{CE4}$  aumenta

$$I_{C4} = I_0.$$

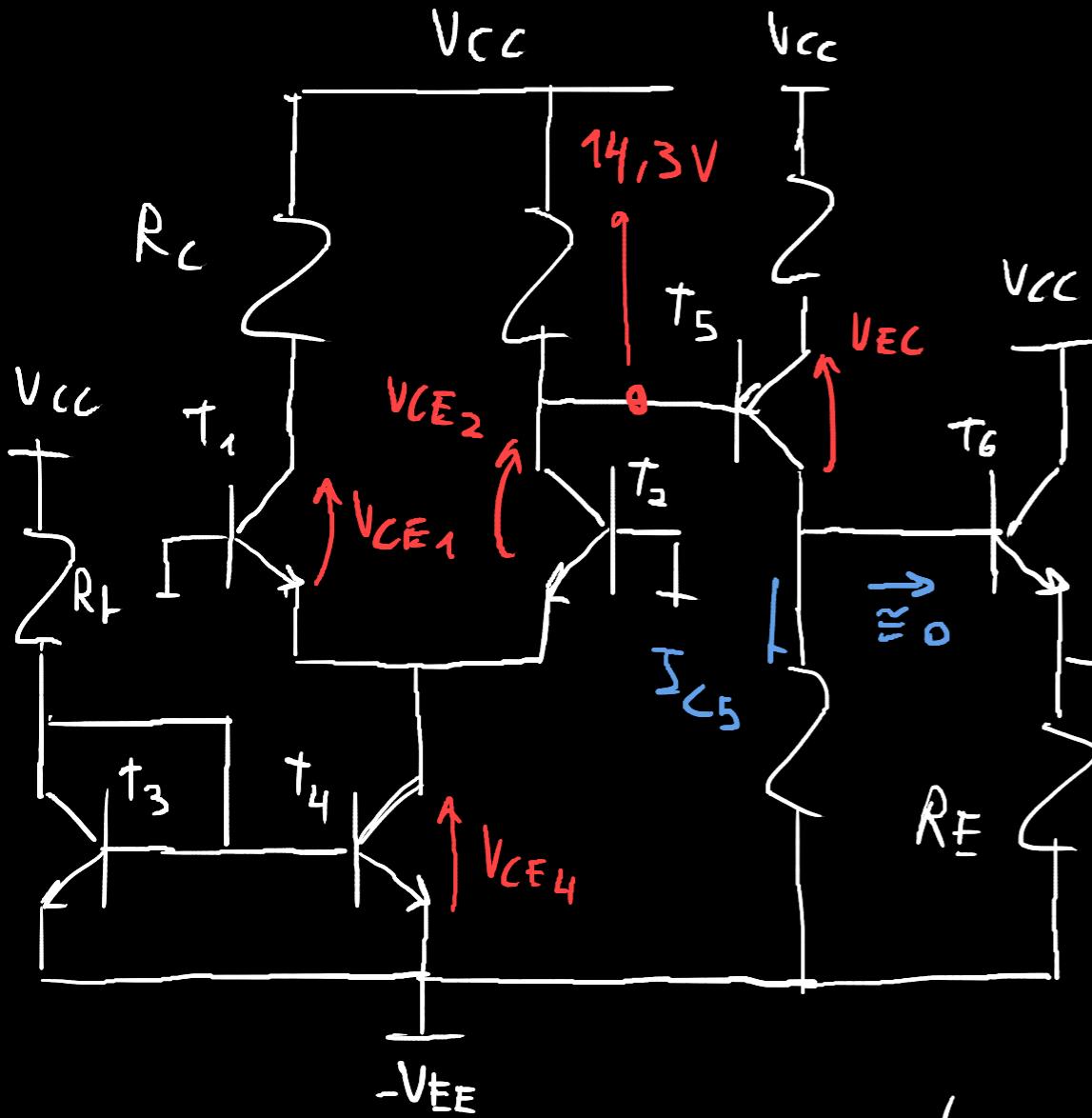
$$I_{C1} = I_{C2} = I_0/2, \text{ es } \theta \text{ no puede}$$

cambiar ¿Nº?

? Tengo q' recalcular  $V_{CE}$ ?

$$V_{ECS} = (V_{CC} - I_{CS} R_{ES}) - (-V_{EE} + I_{CS} R_{CS})$$

$$= (20 - 1,11 \text{ mA} \cdot 4k\Omega) - (-20 + 1,11 \text{ mA} \cdot 20k\Omega) = 12,25 \text{ V}$$



¿Nueva  $q_m$ ? ¿Nueva  $r_o$ ?

También cambia  $V_{BS}$ , por lo q' puede que  $V_{OQTO}$   
¿Muy sensible al EE?

OBS: en teoría al recalcular  $I_{C_2}$  tengo q' recalcular  
 $V_{BS}$ , y con eso recalcular  $I_{CS}$ .  $I_{CS}$  depende antes de  $V_{BS}$  que de  
 $V_{ECS}$  ¿Tengo que recalcular todo?; ¿Cómo voy a compensar  
el EE como una señal de NC si el AD la va a rechazar?  
¿Qué pasa con el EE en la etapa de salida?