

7) G-10.:

Para cada uno de las fuentes de corriente de la Fig. G-10, se conoce:

$$\beta = 100, r_x = 0 \text{ y } V_A = 130 \text{ V para todos los transistores.}$$

En caso de ser necesario, admitir que la polarización de la fuente de corriente se realiza mediante una tensión V_r , en serie con una resistencia genérica de valor R_r .

Admitir que existe una fuente de tensión ideal de valor "V" entre el terminal de salida y común, tal que $|V| = 10 \text{ V}.$

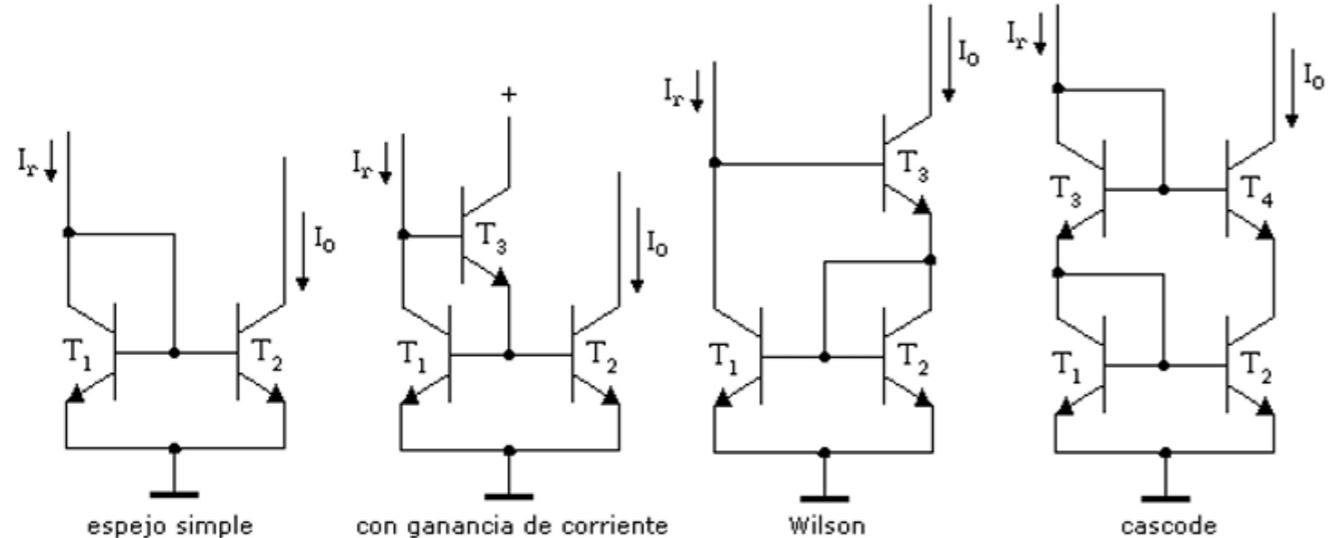


Fig. G-10

a) Para cada una determinar, comparar resultados y extraer conclusiones:

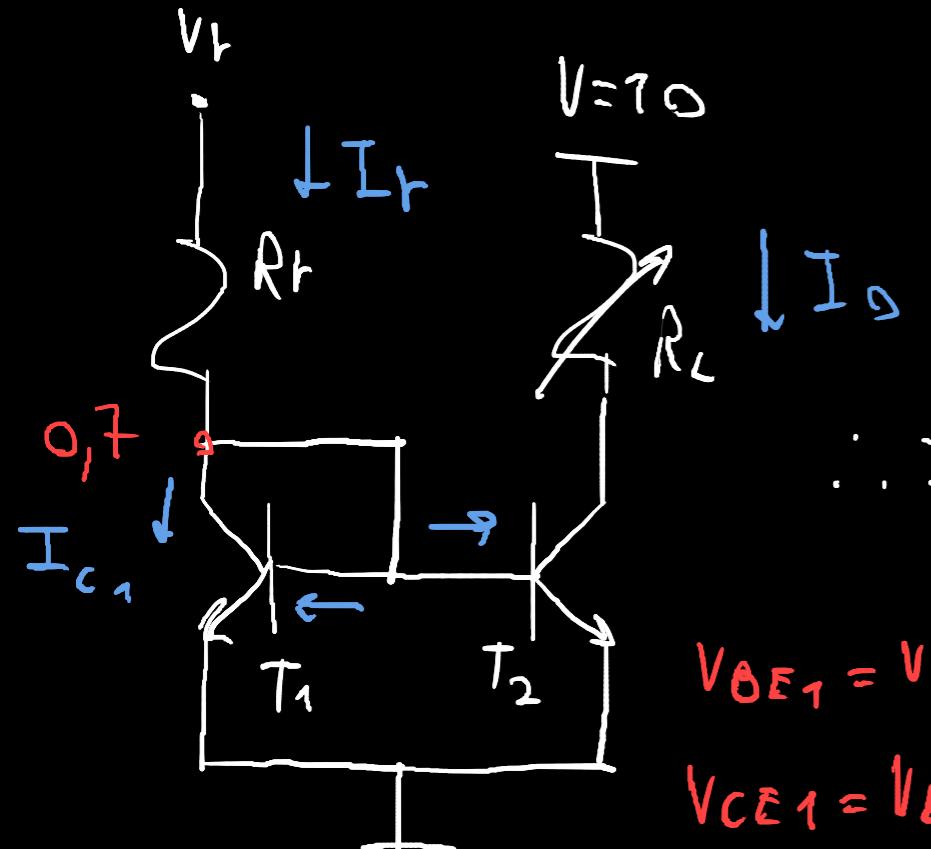
a₁) Los puntos de reposo de todos los transistores indicando las respectivas tensiones de todos los electrodos a común. Suponiendo que en la salida del circuito se colocara una fuente de tensión ideal, cuál sería su mínimo valor de tensión de manera que todos los transistores continúen trabajando en modo activo directo? Despreciar, al sólo efecto de los cálculos de este punto, la corrección por efecto Early.

a₂) El factor de copia, definido como I_0/I_r .

a₃) La resistencia incremental vista desde el terminal por donde ingresa la corriente de referencia I_r .

a₄) La resistencia incremental de salida. Esto es, la resistencia incremental vista desde el terminal por donde drena la corriente I_0 , R_o .

a) Espejo simple



$$I_t = \frac{V_{t-0,7}}{R_t} \quad I_{c1} = I_{c2} \times q' \quad V_{BE_1} = V_{BE_2}$$

y la exponencial de la misma

$$I_t = I_{c1} + I_{B1} + I_{B2} = I_0 + \frac{2}{\beta} I_0$$

$$\therefore I_0 = \frac{\beta}{\beta+2} I_t \quad a = \frac{\beta}{\beta+2} = 0,98 \quad \frac{1}{a} = 1 + \frac{2}{\beta}$$

$$V_{BE_1} = V_{BE_2} \sim 0,7$$

$$\beta = 100$$

V_{CE1} = V_{BE1} → No importa Early

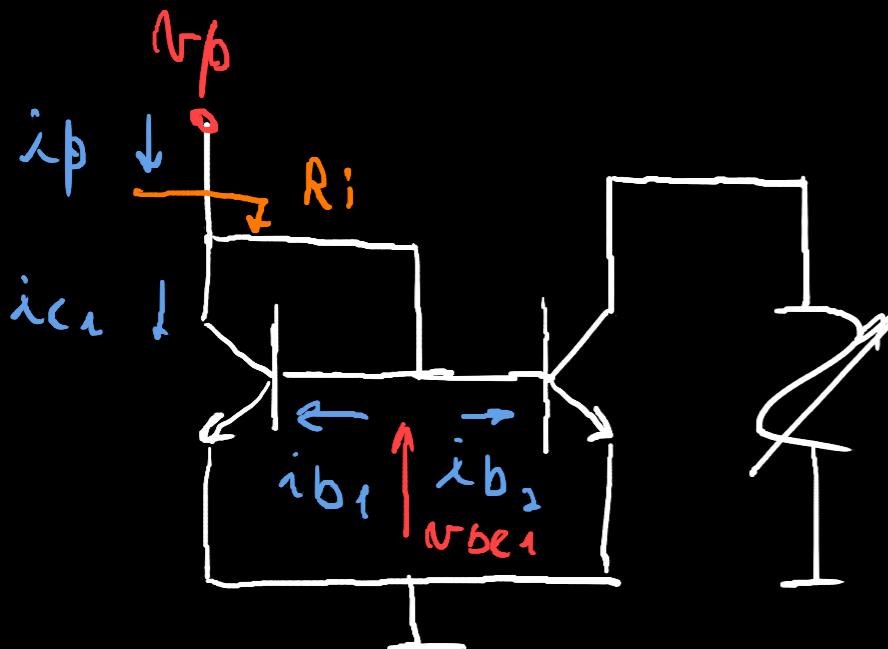
V_{CE2} = V - I₀ · R_L → para I₀ muy grande rango de MAD

→ Necesita mucha V si tiene mucha I_o , mucha P.

¿Xq' elctib en faza?

Además, si V_{CE_2} es grande aparece Early.

Resistencias implementadas (en señal)



$$i_p = i_{c1} + i_{b1} + i_{b2}$$

$$i_{b1} = \frac{V_p}{R_{T1}}, \quad i_{b2} = \frac{V_p}{R_{T2}}$$

$$R_L \cdot i_{c1} = \frac{V_p}{R_{T1}} + i_b \quad i_b = \beta i_{b1} = \beta \frac{V_p}{R_{T1}} = g_m V_p$$

→ i_b actúa como resistencia de $1/g_m$,

$$\Rightarrow R_i = \cancel{R_1} / (r_{\pi_1} + r_{\pi_2}) \parallel 1/g_{m_1} \stackrel{\sim}{=} \frac{1}{g_m} \parallel \frac{r_{\pi}}{2} = \frac{\frac{1}{2} r_{\pi} \cdot 1/g_m}{\frac{1}{2} + \frac{1}{g_m}} = \frac{1}{2} \frac{r_{\pi}}{g_m r_{\pi} + 1}$$

$r_{\pi_1} \approx r_{\pi_2}$

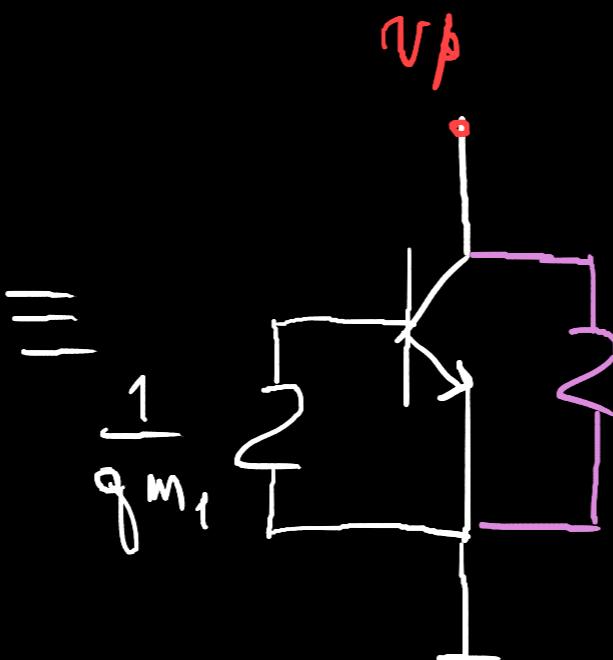
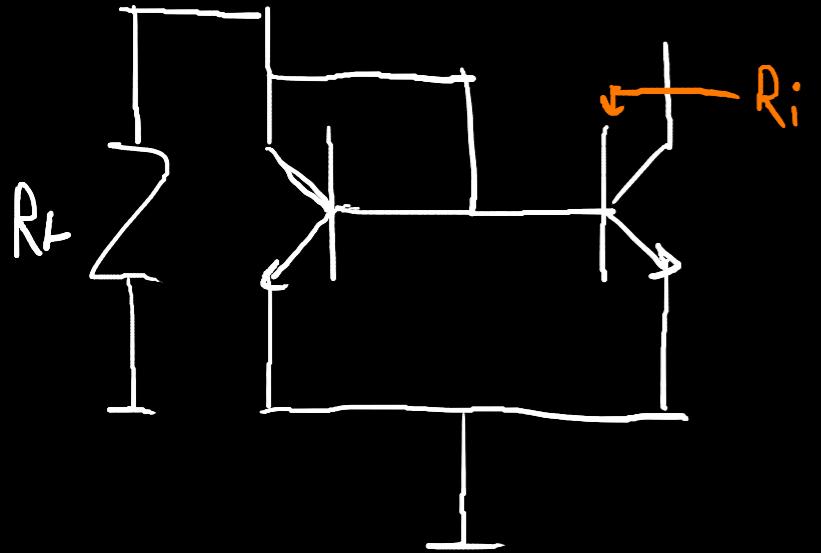
$$= \frac{r_{\pi}}{2\beta + 2} \rightarrow Chikito = \frac{1}{\beta} \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{\beta}} r_{\pi} = \boxed{\frac{1}{\beta} \frac{1}{\frac{1}{a} + 1} r_{\pi}} = \frac{1}{\beta} \frac{a}{1+a} r_{\pi}$$

CURIOSO

$$\stackrel{\sim}{=} \frac{1}{\beta} \frac{r_{\pi}}{2} = 1/g_{m_1}$$

En señal la flante $g_{mVOC} = g_{mVCE} = \text{resistencia } r_d$, como en un diodo. T_1 es básicamente un diodo;

$\rightarrow R_o:$

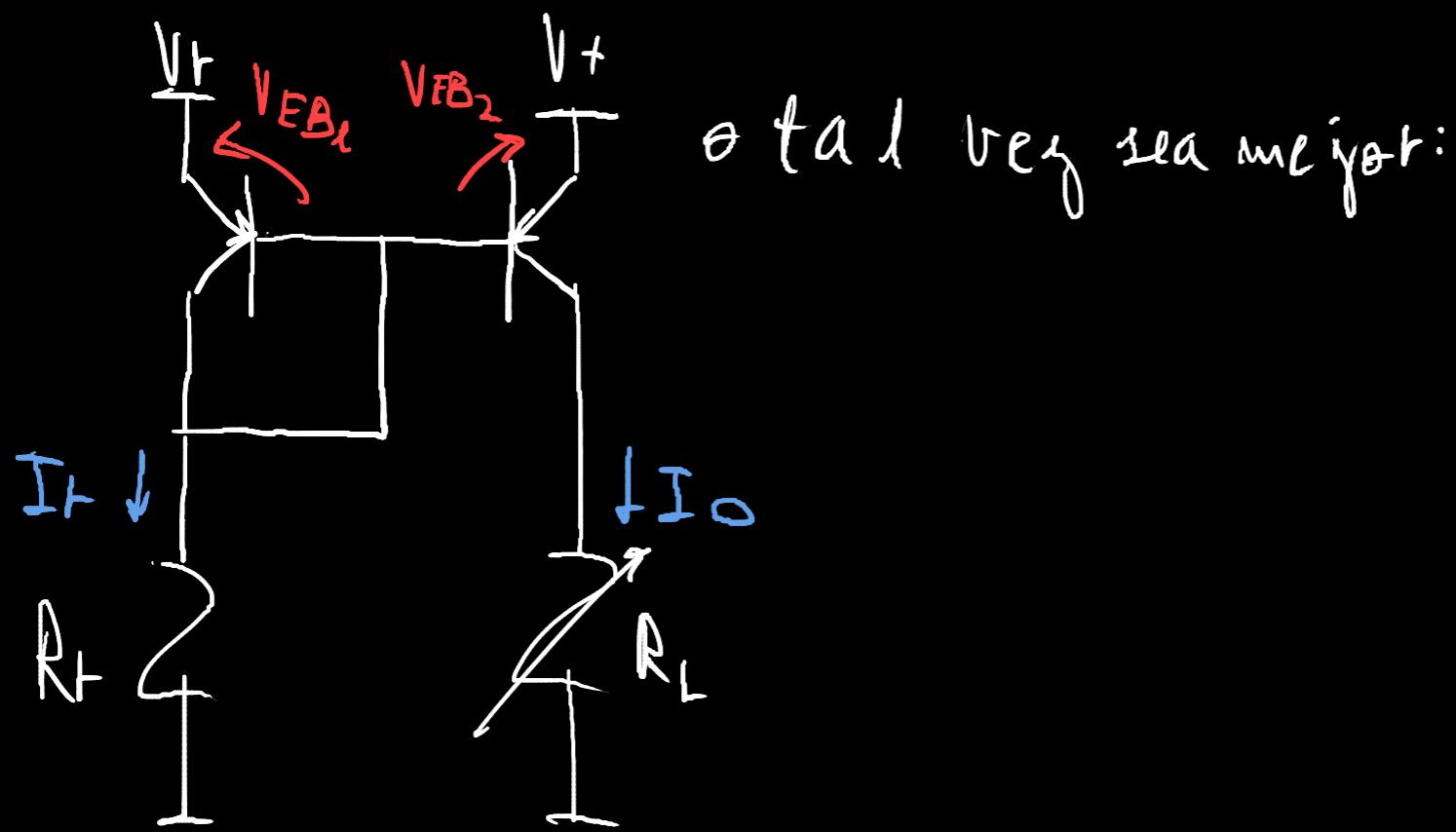


$$R_o = r_{o_2} \parallel ALG_O$$

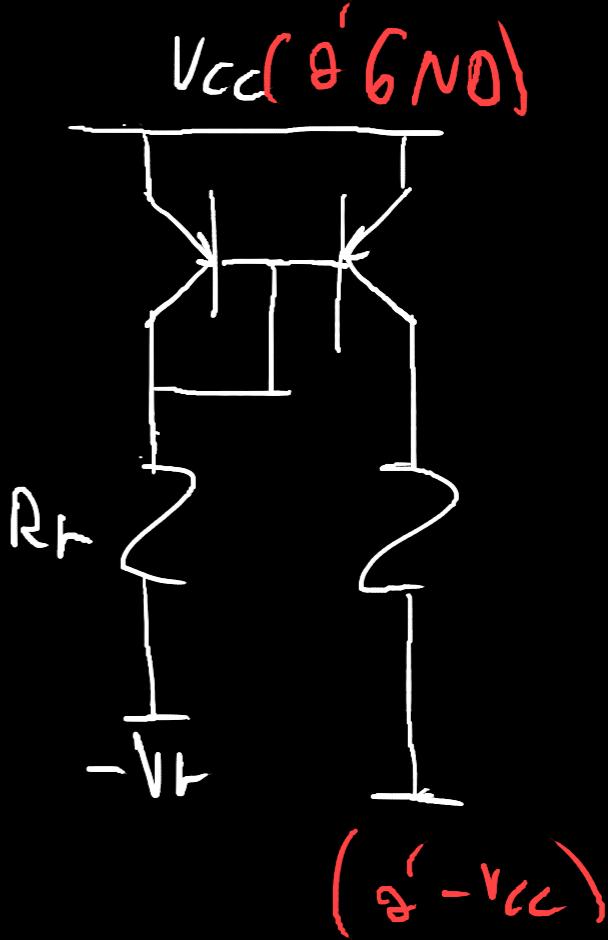
pero, una vez q' saco r_{o_2} , no
 r_{o_2} hay forma de q' V_o llegue
 a la base de $T_2 \Rightarrow ALG_O = \infty$

$$R_o = r_{o_2}$$

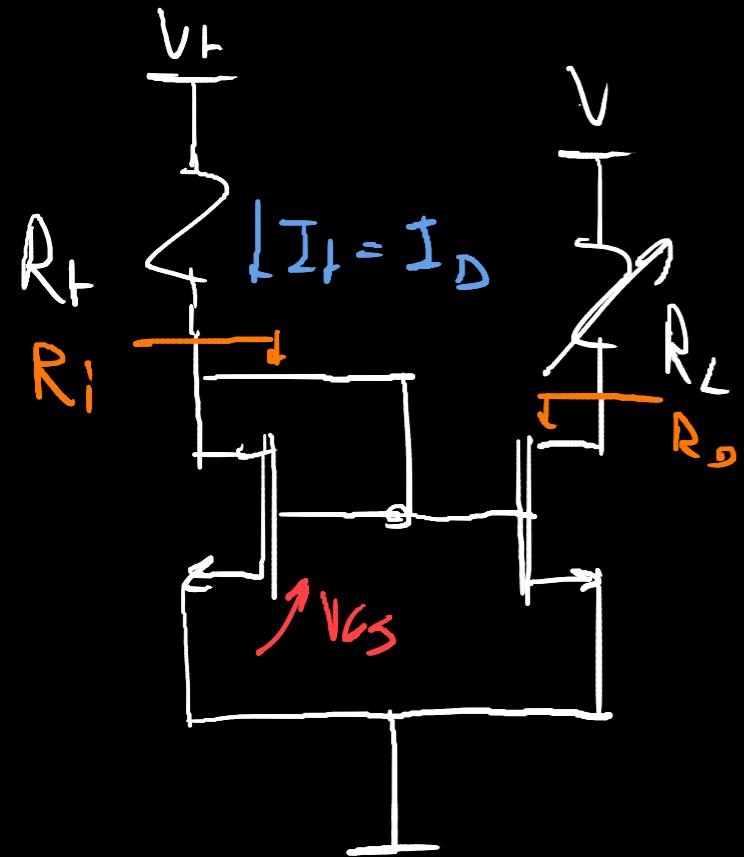
¿Cómo sería el circuito con PNP?



o tal vez sea mejor:



CON MOSFET serie:



$$I_D = k(V_{GS} - V_T)^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} I_D = k(V_t - I_D R_f - V_T)^2 \\ \text{Allas están resolviendo} \\ \text{esta} \end{array} \right.$$

$$V_{GS} = \sqrt{I_D/k} + V_T$$

Aca el factor de copia es $\alpha = 1$ (si los T son iguales)

$\textcircled{1}$ $g_m r_{ds} \rightarrow$ sigue siendo una resistencia para T_1

$$\rightarrow R_i = \cancel{r_{ds1}} \parallel \cancel{r_{ds2}} \parallel \cancel{\frac{1}{g_m}} = 1/g_{m1} \rightarrow \text{más } q' \text{ en TBJ}$$

$R_D = k_D s_1 \rightarrow$ Similar a TBJ

Para estar en SAT necesita $V_{DS} > V_{GS} - V_T \rightarrow V - I_D R_L > V_{GS} - V_T$

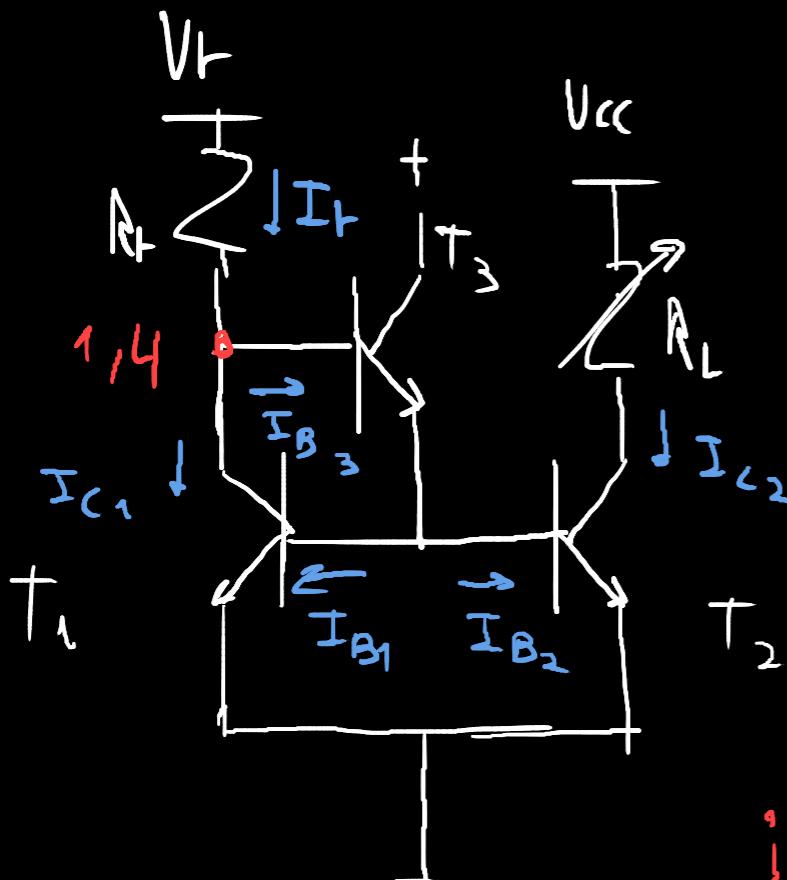
V_{GS} crece con la corriente. Si alguna aumenta, esas 2 cantidades se acercan y corro el riesgo de irme de SAT.

Es más restrictivo que TBJ

Al TBJ todo, al MOSFET ni justicia

$$V - I_D R_L > V_{GS} - V_T \quad V - I_S R_L > 0,7 \text{ (en TBJ)}$$

B) Con ganancia de corriente a helper T_3 provee la corriente de base para q' se salga de I_T



$$I_T = \frac{V_r - 1,4}{R_f}$$

$$I_{C_1} = I_{C_2} = I_0$$

$$\text{NO D9 C1: } I_T = I_{B_3} + I_{C_1}$$

$$\rightarrow I_T = \frac{2 \cdot I_0 / \beta}{\beta + 1} + I_0 = \frac{2}{\beta(\beta + 1)} I_0 + I_0$$

$$\rightarrow I_T = \left(\frac{2}{\beta(\beta + 1)} + 1 \right) I_0 = \frac{2 + \beta^2 + \beta}{\beta^2 + \beta} I_0$$

$$\rightarrow \alpha = I_0 / I_T = \frac{\beta^2 + \beta}{\beta^2 + \beta + 2} = \frac{1 / \beta(\beta + 1)}{1 / \beta(\beta + 1) + 2} = 0,833980 \rightarrow \text{imaceptable el efecto}$$

$V > I_o R_L + \alpha_1 V$ para q' la parte en MAD

R:) $R' = r_{\pi_3} + \beta (r_{\pi_1} // r_{\pi_2})$

i_B v_p R'

 $R_i = r_{\pi_1} // R' // \text{ALGO}$

$$i_{B1} = g_m V_{BE1} = g_m (v_p - V_{BE3})$$

$$V_{BE3} = i_{B3} \cdot r_{\pi_3} = \frac{v_p}{R'} r_{\pi}$$

$$\Rightarrow i_{B1} = g_m \left(v_p - \frac{r_{\pi_3}}{R'} v_p \right) = g_m \left(\frac{R' - r_{\pi_3}}{R'} \right) v_p$$

=> La corriente que pone i_{B1} sigue dependiendo de la tensión entre sus bornes, es decir, sigue actuando como una resistencia, pero la relación ahora es un poco más compleja.

$$R' - t\pi_3 = B \uparrow \pi_1 \parallel t\pi_2 \Rightarrow i_{B'} = g^{m_1} \cdot \frac{B \uparrow \pi_1 \parallel t\pi_2}{t\pi_3 + B \uparrow \pi_1 \parallel t\pi_2} \cdot v_B$$

 $g_{m_1, \text{verb}} = \begin{cases} \frac{t\pi_3 + B \uparrow \pi_1 \parallel t\pi_2}{B \uparrow \pi_1 \parallel t\pi_2} \cdot \frac{1}{g^{m_1}} & \text{ES umdargestellt redigline} \\ \rightarrow v_{\text{verb}} = \frac{B \uparrow 1}{t\pi_3 + B \uparrow 1} \cdot v_B \end{cases}$

$$\Rightarrow ALG_O = \frac{t\pi_3 + B \uparrow 1}{B \uparrow 1} \cdot \frac{1}{g^{m_1}}$$

$$g_{m_1} \uparrow \pi = B$$

$$\therefore R_i = t_{o_1} \parallel (t\pi_3 + B \uparrow 1) \parallel \frac{t\pi_3 + B \uparrow 1}{B \uparrow 1 \cdot g^{m_1}} = \frac{t\pi_3 + B \uparrow 1}{B \uparrow 1 \cdot g^{m_1}} = \frac{t\pi_3 + \frac{B}{2} t\pi_1}{\frac{B}{2} t\pi_1 \cdot g^{m_1}} =$$

Si $t\pi_1 = t\pi_2 \rightarrow \parallel = t\pi_{1/2}$

$$= \frac{r_{\pi_3} + \beta/2 \cdot r_{\pi_1}}{\beta^2/2} = 2 \cdot \frac{r_{\pi_3}}{\beta^2} + \frac{1}{g_m 1} = r_{\pi_3} = \frac{V_T}{I_{B3}} = \beta \frac{V_T}{I_{C3}} =$$

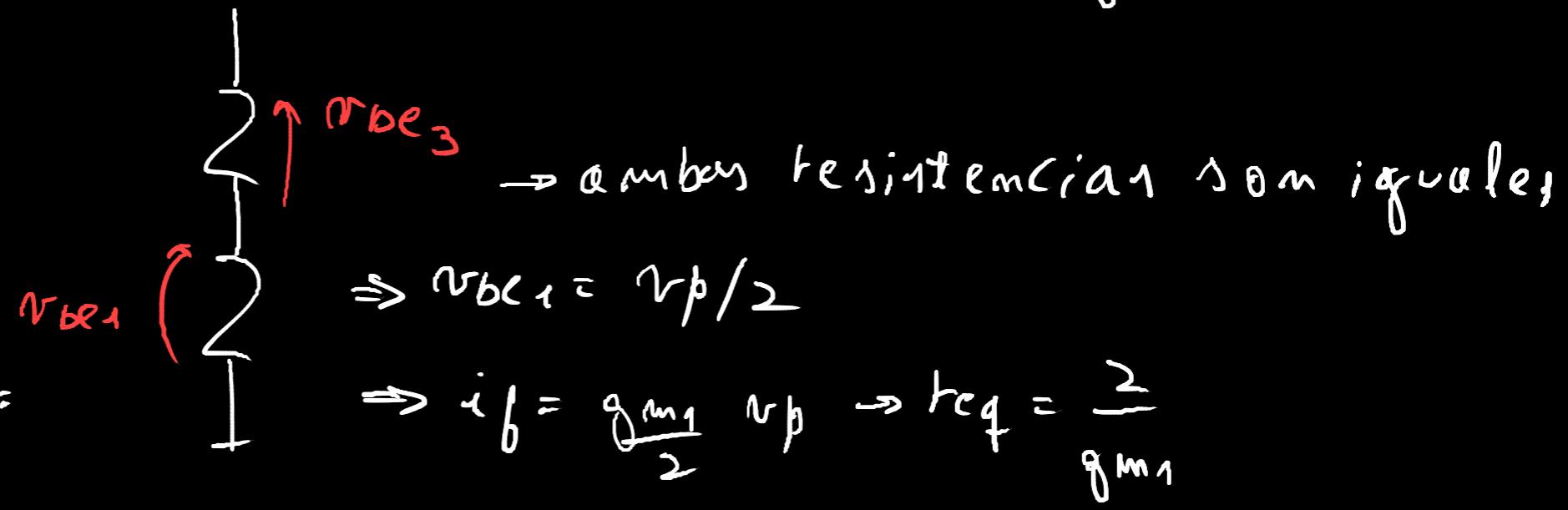
$$= \cancel{\frac{\beta}{\beta^2}} \cdot \frac{\beta}{2} r_{\pi_1} + \frac{1}{g_m 1} = \frac{2}{g_m 1} \rightarrow \text{El double q' antcs}$$

$$= \frac{\beta}{2} \frac{V_T}{I_{B1}} = \frac{\beta}{2} r_{\pi_1} = r_{\pi} \cdot g_m = \beta$$

$$r_{\pi_3} = \frac{\beta}{2} r_{\pi_1}$$

$$\beta r_{\pi_1} // r_{\pi_2} = \frac{\beta}{2} r_{\pi_1}$$

$$r_{\pi_3} + \beta r_{\pi_1} // r_{\pi_2} = \beta r_{\pi_1} = \beta^2 / g_m 1$$



$$R_i = r_{o_1} \parallel \beta^2 \cdot L \cdot \frac{1}{g_{m_1}} \geq \frac{z}{g_{m_1}} \quad \text{que quílambas q' hice}$$

$R_o = r_{o_2} \rightarrow$ Memas mal

OBS: Esta Configuración en MOSFET no tiene sentido

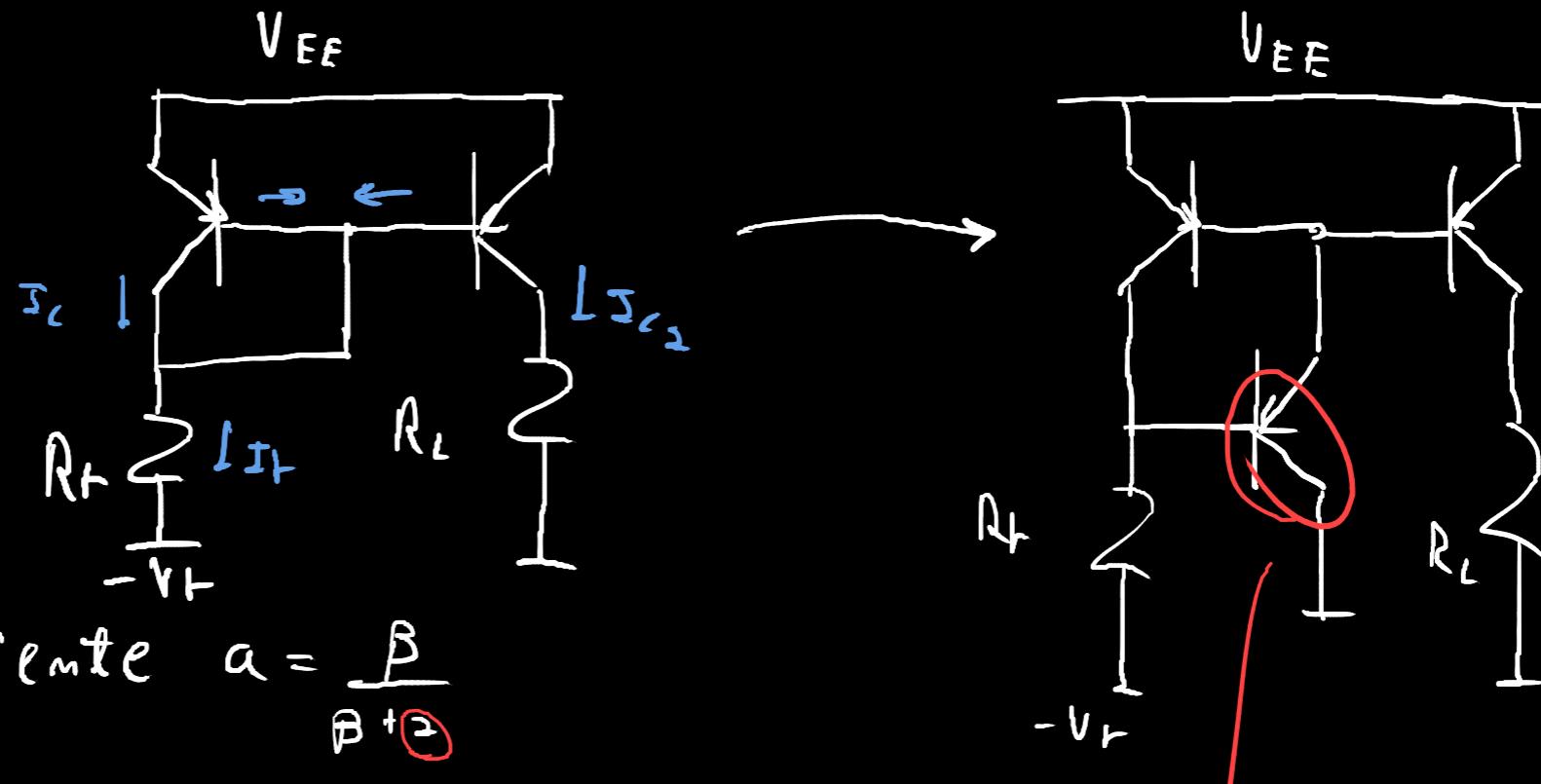
¿Cómo se tría

con PNP?

El problema del

PNP es q' las

base q' agte q' la corriente $\alpha = \frac{\beta}{\beta + 2}$



Las bases agarran

$$\frac{2I_o}{P} \text{ a } I_L \text{ (ac de cociente)}$$

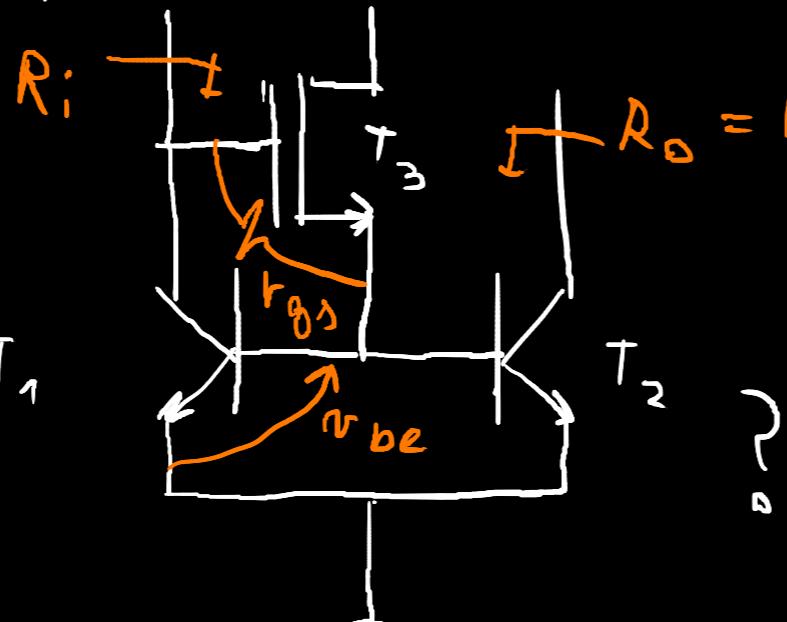
{ No seria mejor:

Ri) Se forma d misma
dividir resistivo,

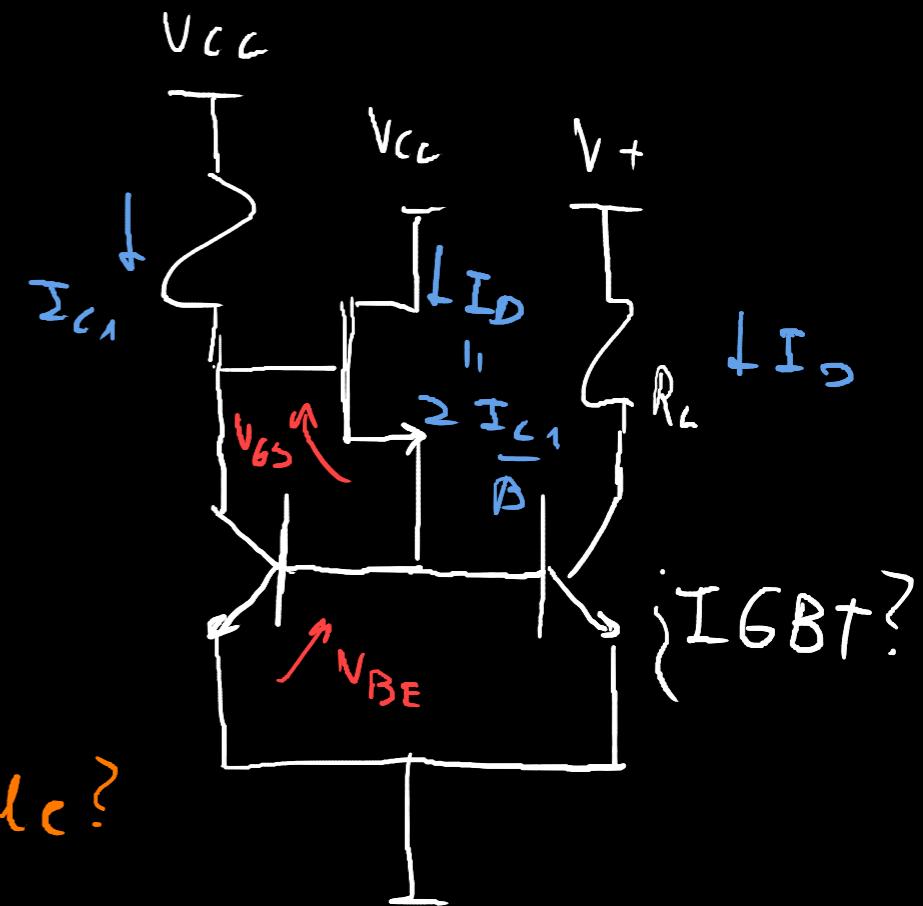
solo q arista $r_{ds2} = \infty$

$$\Rightarrow r_{be1} = r_{be2} = 0$$

\rightarrow No se pierden las fuentes $\Rightarrow R_i = r_{ds1}$ ¿Deseable?



Desearia tener una parte
de la constante



Que R_i sea tan grande significa que para un aumento en la tensión de prueba, la corriente i_c (en señal) va a aumentar muy poco. Entiendo que es deseable, xq I_{C1} no debería variar, la queremos fija. ¿no?

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Polarización?} \rightarrow I_D = k(V_{GS} - V_T)^2 \quad I_D = \frac{2}{\beta} I_C \quad V_{GS} = V_{CC} - I_C R_F - (0,7) \end{array} \right.$$

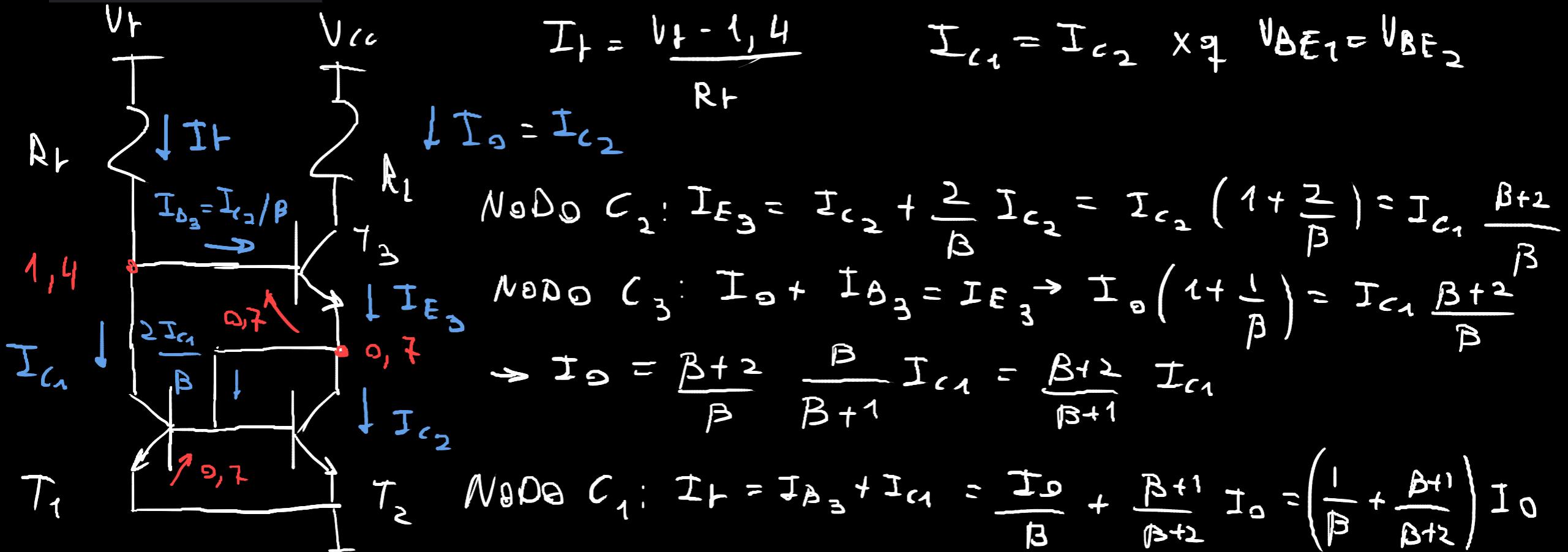
$$\rightarrow \frac{2}{\beta} I_C = k(V_{CC} - R_F I_C - 0,7)^2 \rightarrow \text{BUENO, es todo un tema, pero se pide}$$

OJO CON EE EN T_1

c)



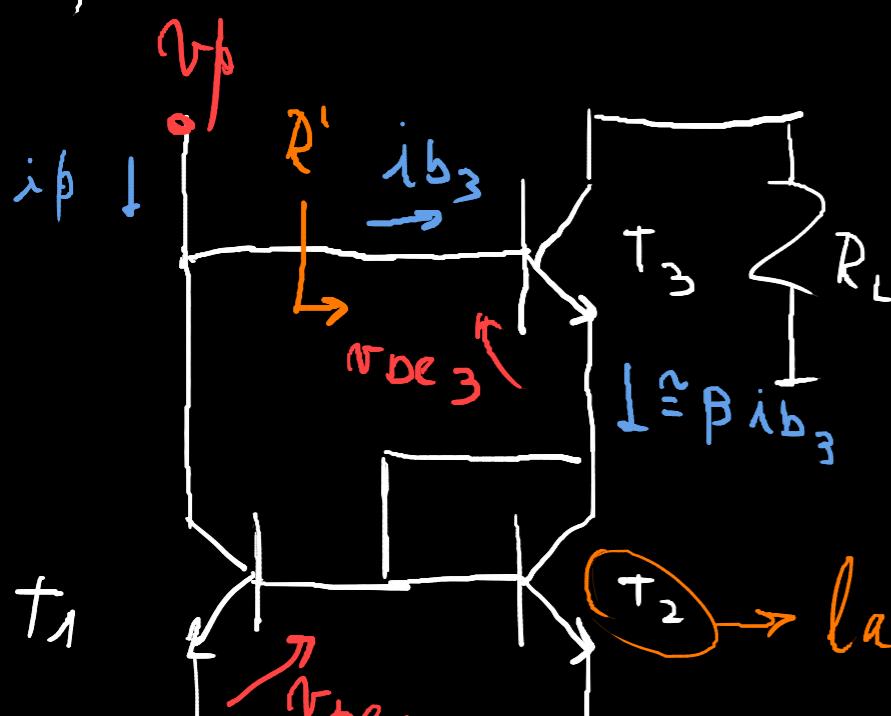
WILSON



$$\rightarrow I_T = \frac{\beta + 2 + (\beta + 1) \beta}{\beta(\beta + 2)} I_0 = \frac{\beta^2 + 2\beta + 2}{\beta^2 + 2\beta} I_0 = \left(1 + \frac{2}{\beta^2 + 2\beta}\right) I_0$$

$$\Rightarrow I_0 = \frac{I_T}{1 + \frac{2}{\beta(\beta + 2)}}$$

R_i)



$$R' = h_{\pi 3} + \beta \left(h_{\pi 2} / \left(h_{\pi 1} + h_{\pi 2} \right) \right) \frac{1}{g_m 2} =$$

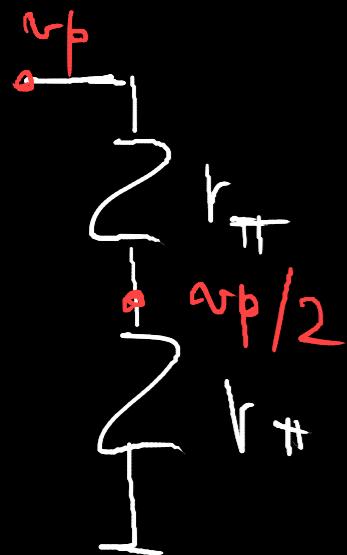
$$= h_{\pi 3} + \frac{\beta}{g_m 2} = h_{\pi 3} + h_{\pi 2} = 2h_{\pi}$$

T_1 T_2 \rightarrow la fuente de este es como una resistencia



la fuente de T_1 termina siendo

se forma un ddt: $t = 2/g_m$



$$\rightarrow R_i = R' \parallel 2/g_m \approx 2/g_m$$

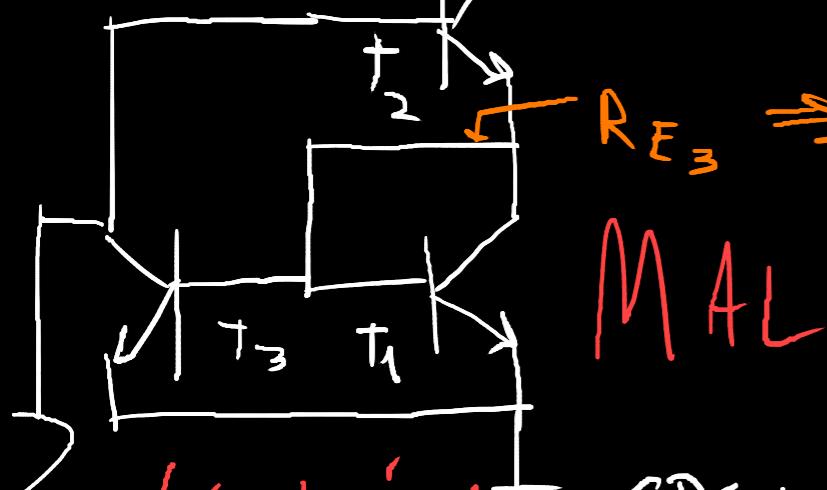
R_o)

→ Y la base?

$$R_o = r_{o_3} \left(1 + g_m 3 R_E 3 \right)$$

$$R_E = \frac{1}{g_m 2}$$

$$R_E 3 \Rightarrow R_o = r_{o_3} \left(1 + g_m 3 \frac{1}{g_m 2} \right) = 2 r_o$$

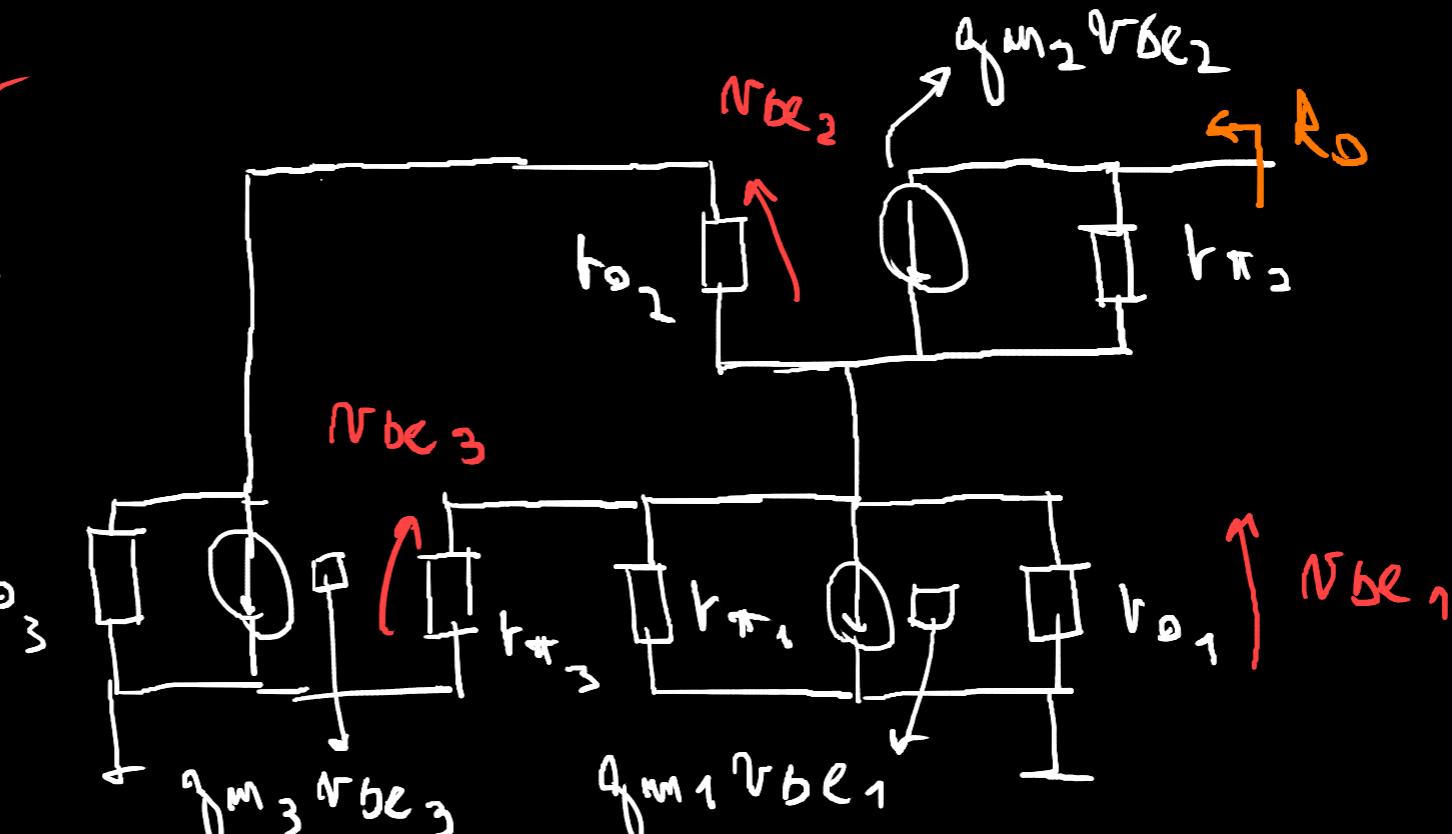


R_L (cambié a)

CPS:

membro de los TBS

para q' coincida
(con G.M.)



OBS: $t_{F3} \parallel t_{\pi_1} \parallel t_{\theta_1} \parallel \frac{1}{g_{m_1}}$ $V_{be_1} = V_{be_3}$, la fuente de T_1 es una resistencia de $1/g_{m_1}$

Redibuje:

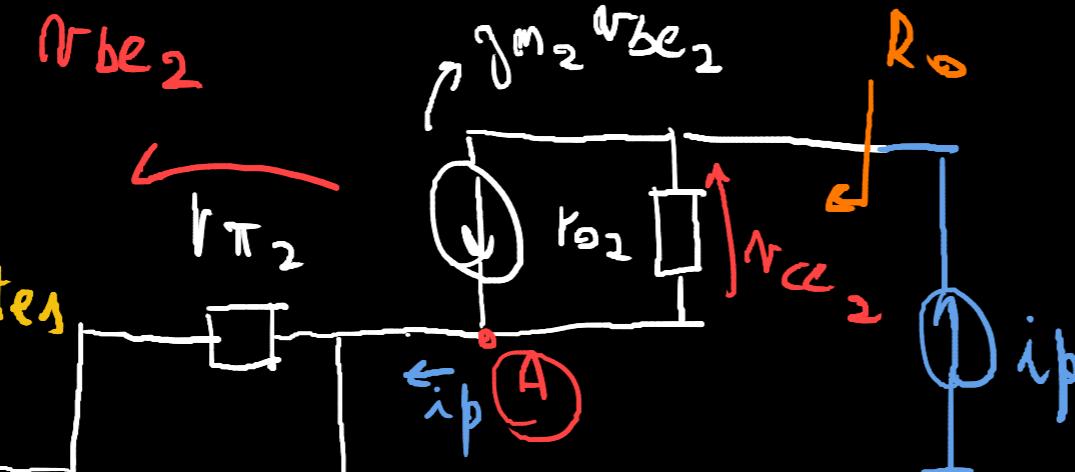
Estas 2 cantidades

son iguales,

las tomar

presentan la

misma R



$$-g_{m_3} V_{be_3} = g_{m_3} \cdot \frac{1}{g_{m_1}} i_1 = i_1$$

Si $t_{\theta_3} = 0$: $V_{be_2} = -\lambda_1 t_{\pi_2}$

$$-g_{m_2} V_{be_2} = -g_{m_2} t_{\pi_2} \lambda_1 = -\beta i_1$$

$$\text{Nodo A: OBS: } i_p = 2i_1 \rightarrow i_1 + i_2 = i_p = -\beta i_1 + \frac{V_{CE2}}{r_o2} \rightarrow i_p = -\frac{\beta}{2} i_1 + \frac{V_{CE2}}{r_o2}$$

$$\rightarrow \left(i_p + \frac{\beta}{2} i_p \right) r_o2 = V_{CE2}$$

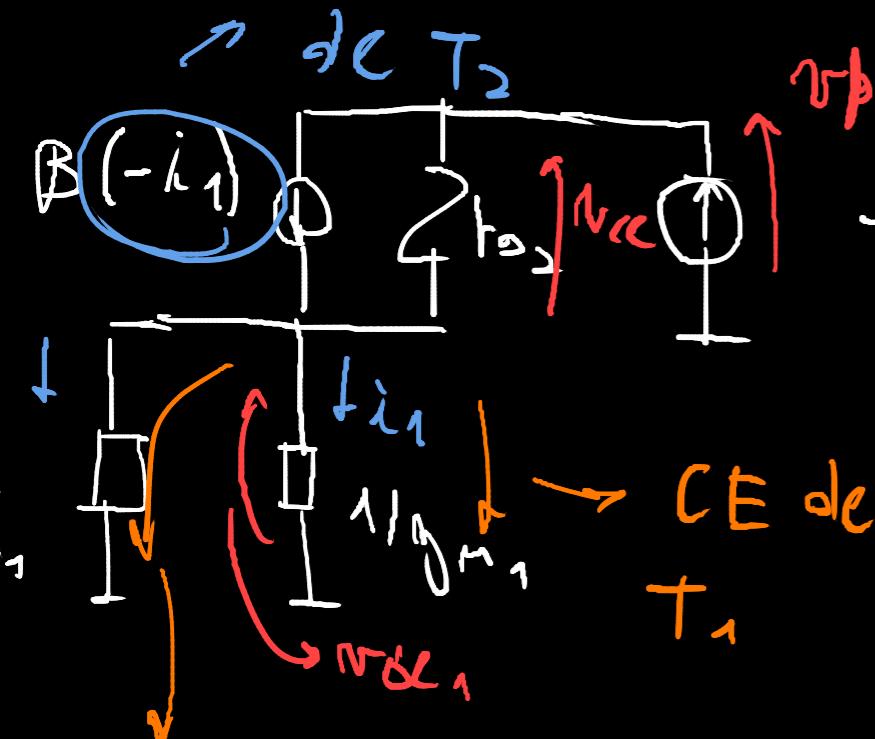
$$\Rightarrow V_p = V_{BE1} + V_{CE2} = \frac{i_1}{g_m1} + r_o2 \left(i_p + \frac{\beta}{2} i_p \right) = \frac{i_p}{2g_m1} + r_o \left(1 + \frac{\beta}{2} \right) i_p$$

$$\Rightarrow \frac{V_p}{i_p} = 1/2 g_m1 + r_o2 \left(\frac{\beta}{2} + 1 \right) \approx \boxed{\frac{r_o2 \beta}{2}}$$

$$= \frac{1}{2g_m} + r_o2 \left(1 + g_m2 \frac{r_{T2}}{2} \right)$$

com si alimentara
con $r_{T2}/2$

cathode de base



Base de

T₂

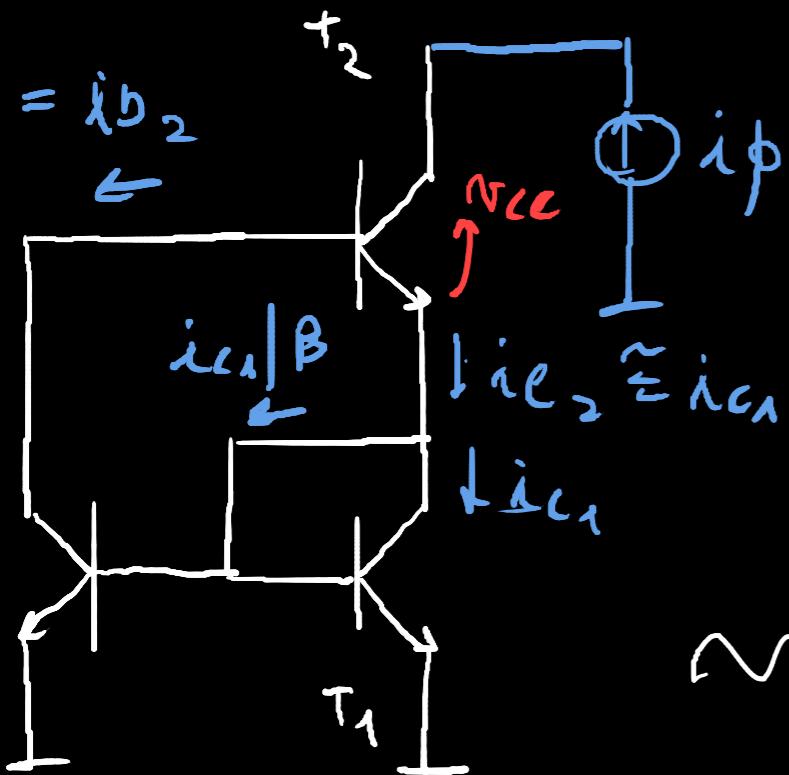
$$R = \frac{\beta/2 + 1}{g_{m_2}} = \frac{r_{\pi_2}}{2} + \frac{1}{g_{m_2}} = \frac{r_{\pi}}{2} + \frac{1}{g_m}$$

$$-\beta \frac{i_b}{2} + \frac{v_{ce}}{r_{o_2}} = i_p \rightarrow v_{ce} = r_{o_2} \left(\frac{\beta}{2} + 1 \right) i_p$$

la mayor parte de la tensión cae en v_{ce} .

{ Puedo inspección?

$$i_{C_3} = i_{B_2}$$



$$V_{BE1} = V_{BE3} \Rightarrow i_{C_1} = i_{C_3}$$

(despreciando $t_{\alpha_1}, t_{\alpha_2}$)

$$\begin{aligned} T_2 \rightarrow i_P &= i_{C_2} + i_{B_2} = i_{C_2} + i_{C_1} = 2i_{C_1} \\ \Rightarrow i_{C_2} &= i_P/2 \end{aligned}$$

$$\text{Emisor de } T_2: i_{C_1} + i_{B_2} = \beta(-i_B) + \frac{V_{CC}}{r_{O_2}}$$

$$\rightsquigarrow V_{EC} = t_{\alpha_2} \left(\frac{\beta}{2} + 1 \right) \cdot i_P$$

- Explicación definitiva:
- 1) T₁ actúa como R = h_d
 - 2) T₂ copia la constante de colectot de T₁, demandada de la base de T₂ (**FEEDBACK!**)
 - 3) En T₂ tenemos q' por base y emisor se va la misma cantidad de constante. Además deben sumar i_b =>

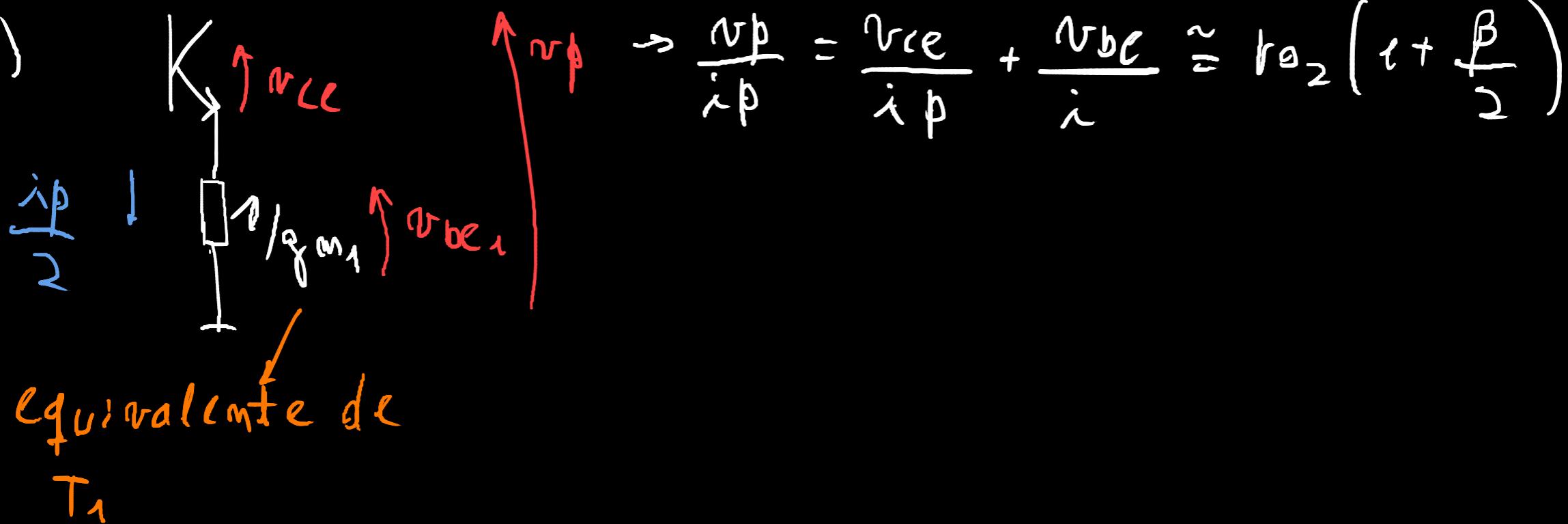
$$\Rightarrow i_{b_2} + i_{e_2} \stackrel{\sim}{=} i_{D_2} + i_{c_1} = 2i_{b_2} = i_b \rightarrow i_{b_2} = i_b/2$$

Luego, el generador de T₂ tiene $\beta(-i_{b_2})$ (el -va x' como definió la

$$4) \text{Colectot de } T_2: i_b = -\beta i_{b_2}/2 + \frac{r_{ce}}{h_{o_2}} = \beta(-i_b/2) \quad (\text{constante } i_{D_2})$$

$$\rightarrow r_{ce} = h_{o_2} \left(\frac{\beta}{2} + 1 \right) i_b$$

5)



$$\frac{v_o}{i_p} = \frac{v_{ce}}{i_p} + \frac{v_{bc}}{i} \approx \beta_1 \left(1 + \frac{\beta}{2} \right)$$