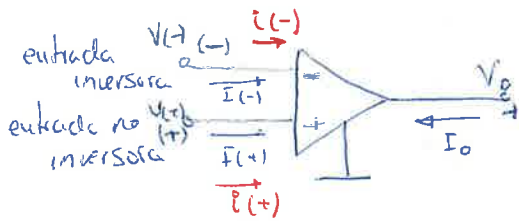


AMPLIFICADORES OPERACIONALES



$$i(-) + i(+) + I_0 = 0$$

$V_d = V_{(+)} - V_{(-)}$ es la tensión diferencial que es la tensión que tendrá en la salida.

tiene tres puertos, necesitamos tres ecuaciones para poder describir el circuito, es decir 6 variables (dos por cada puerto)

corriente de polarización

$$\begin{aligned} i(-) &= I_{(-)} \\ i(+) &= I_{(+)} \\ V_0 &= f(V_d) \end{aligned}$$

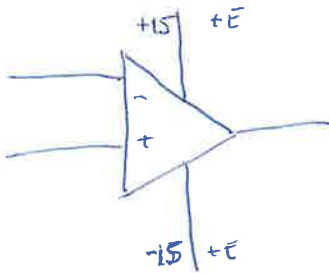
estas son las 3 ecuaciones que tiene que cumplir el A.O.

V_0 es función V_d

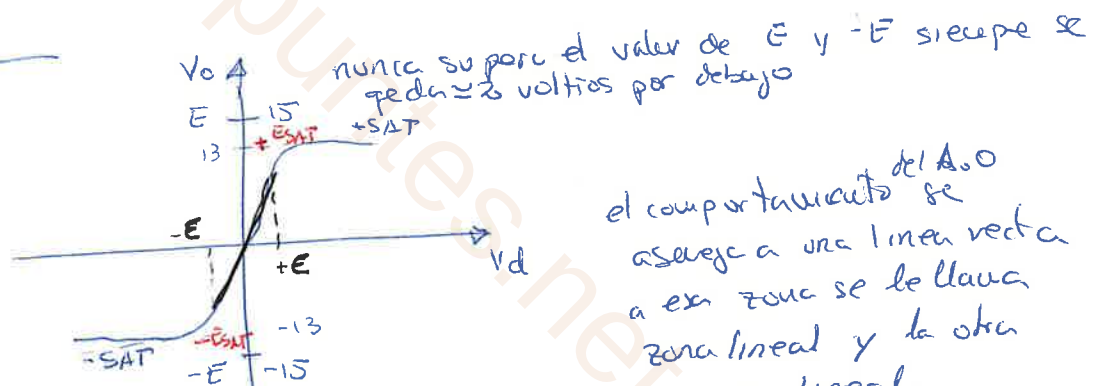
→ tensión de salida.

Si $V_{(+)} > V_{(-)} \Rightarrow V_d > 0$

Si $V_{(-)} > V_{(+)} \Rightarrow V_d < 0$



la alimentación es $+E$ y $-E$ es una alimentación simétrica.



el comportamiento del A.O. asemeja a una línea recta a esa zona se le llama zona lineal y la otra zona no lineal.

→ etc. factor de ganancia del ampl.

$-E < V_d < E \quad V_0 = A V_d \quad \text{zona lineal}$

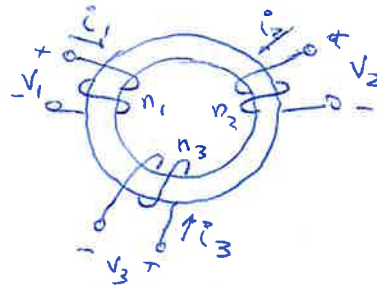
$I_{(-)}$ y $I_{(+)}$ son valores pequesimos es aprox. $0.5 \mu A$, $0.5 nA$ lo despreciamos y lo consideramos cero

el E es aproximadamente $0.1 mV$ y a pequeña tensión la salida es de onda según gráfico.

Resistores multipuertos.

$$\left. \begin{aligned} f_1(v_1, v_2, v_3, i_1, i_2, i_3) &= 0 \\ f_2(\dots) &= 0 \\ f_3(\dots) &= 0 \end{aligned} \right\}$$

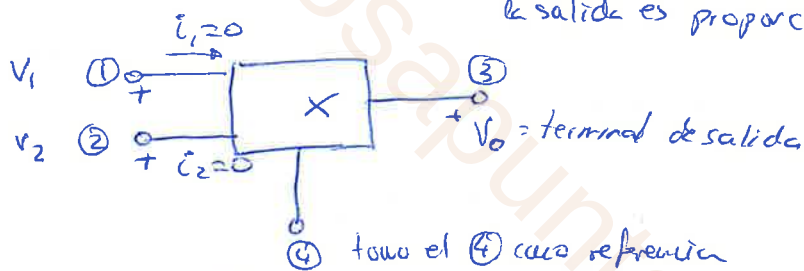
Un ejemplo es transformador toroidal.



n_1, n_2, n_3 nº espiras.

$$\left. \begin{aligned} f_1(v_1, v_2, v_3, i_1, i_2, i_3) &\equiv \frac{v_1}{n_1} - \frac{v_3}{n_3} = 0 \\ f_2(\dots) &\equiv \frac{v_1}{n_1} - \frac{v_2}{n_2} = 0 \\ f_3(\dots) &\equiv \frac{v_2}{n_2} - \frac{v_3}{n_3} = 0 \end{aligned} \right\} \text{caracteriza a este elemento}$$

Multiplicador analógico.



la salida es proporcional al producto a la entrada.

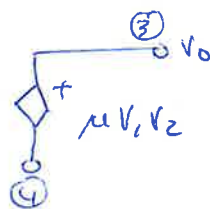
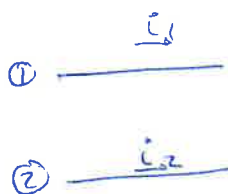
tiene 3 puertos

tensión v_1 a la ref.
" v_2 a la ref.
" v_0 a la referencia.

$$\begin{aligned} i_1 &= 0 \\ i_2 &= 0 \\ v_0 &= M v_1 v_2 \end{aligned}$$

proporcional al producto
de las entradas

el valor normalmente de M es igual a $\frac{1}{10}$
entonces este variando en ± 10

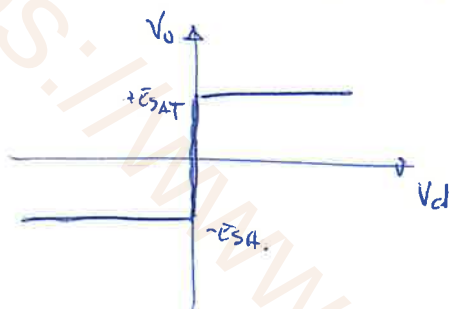


$$\begin{aligned} i_1 &= 0 \\ i_2 &= 0 \\ v_0 &= \mu v_1 v_2 \end{aligned}$$

Desde la salida y la entrada no hay ninguna unión a esto x lo llamamos lazo abierto.

TOMAR EL MODELO IDEAL EN EL AMP. OPERACIONAL. (para la practica)
 el comportamiento real se parece al modelo ideal.

GRAFICA del modelo ideal de A.O.



$$i(-) = i(+) = 0$$

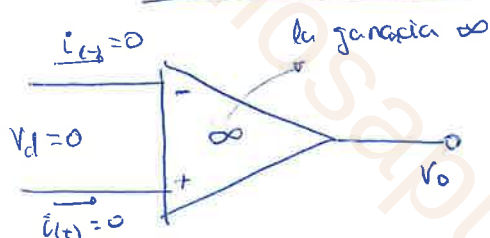
$$i(-) = i(+) = 0$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{zona lineal, } V_d = 0 \quad A = \infty \quad V_o = \text{finito} \\ \text{zona no lineal. } \left\{ \begin{array}{l} V_o = +E_{SAT} \\ V_o = -E_{SAT} \end{array} \right\} \quad V_o = E_{SAT} \frac{|V_d|}{V_d} \end{array} \right. \rightarrow \text{modelo absoluto}$$

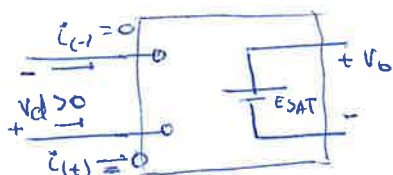
Zona lineal del A.O.

$$-E_{SAT} < V_o < +E_{SAT}$$

ec. de verificación o validación

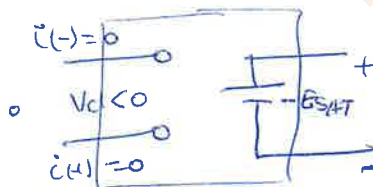
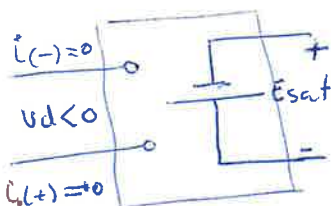


zona de saturación positiva de A.O.



$$\left\{ \begin{array}{l} i(-) = 0 \\ i(+) = 0 \\ V_o = +E_{SAT} \\ V_d > 0 \end{array} \right.$$

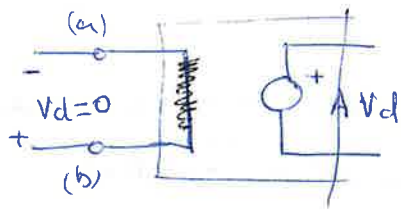
zona de saturación negativa del A.O.



$$\left\{ \begin{array}{l} i(-) = 0 \\ i(+) = 0 \\ V_d < 0 \\ V_o = -E_{SAT} \end{array} \right.$$

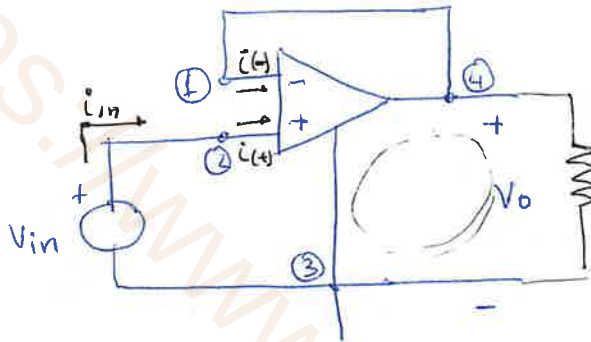
circuito virtual. no hay dif. de potencial, pero tampoco hay corriente

2dc



$V_d=0$ aunque no este cortocircuitado

Ejemplo modelo ideal



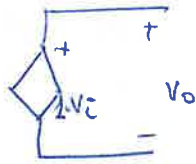
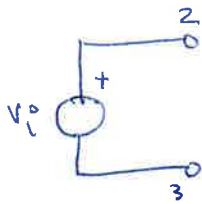
LCK nodo ② $i_{in} = i_e = 0$

LTK 14321
32243

$$-V_{in} + V_1 + V_4 + V_0 = 0$$

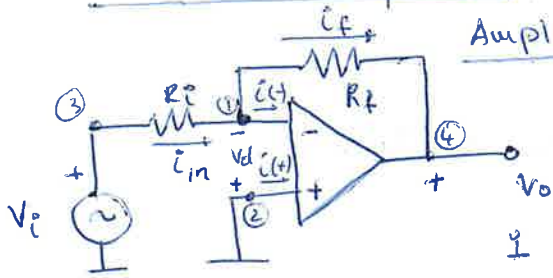
$$V_{in} = V_0$$

el equivalente es: ha esto se le llama BUFFER o SEPARADOR



Método de inspección: este circuito es un amplificador.

Amplificador inversor



L.T.K ① $i_n = i_f + i_{(-)}$

por el modelo del amplificador sabemos $i_{(-)} = 0$

entonces $i_n = i_f + i_{(-)} \left\{ \begin{array}{l} i_{(-)} = 0 \\ i_n = i_f \end{array} \right.$

L.T.K ④ ② ③ ④

$+V_o + V_d + i_f \cdot R_f = 0$

condición del amplif.

$V_d = 0$

$V_o = -i_f R_f$

$V_o = -i_n R_f$

por la ley de ohm se puede calcular la $i_n = \frac{V_i - V_d}{R_{in}} = \frac{V_i - 0}{R_{in}}$

ganancia de tensiones

$\Rightarrow V_o = -\frac{V_{in}}{R_{in}} R_f \Rightarrow A_v = \frac{V_o}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_{in}}$

si $R_f = R_i \Rightarrow$ la salida de la entrada son idénticas pero de signo cambiado

Inversor de fase

si $R_{in} > R_f \Rightarrow$ Reduce tensión.

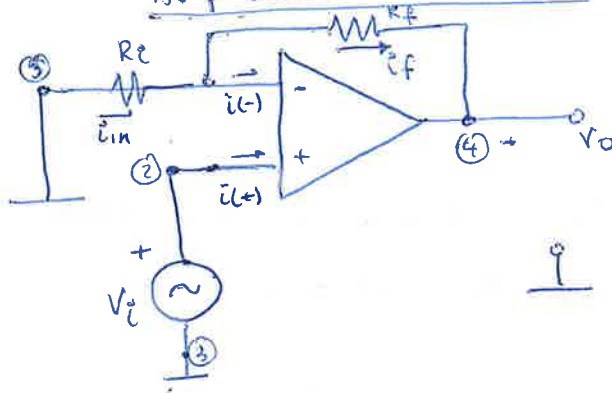
si $R_f > R_{in} \Rightarrow$ Amplificador de voltaje con una ganancia de voltaje igual to $-\frac{R_f}{R_{in}}$

$-E_{SAT} < V_o < +E_{SAT}$

$-E_{SAT} < -\frac{R_f}{R_{in}} V_{in} < +E_{SAT}$

$-E_{AT} \left(\frac{R_{in}}{R_f} \right) < V_{in} < \left(\frac{R_{in}}{R_f} \right) E_{SAT}$

Amplificador no inversor.



$i_{in} = i_f$

L.T.K ④ ② ③ ④

$V_o - V_i + V_d + i_f R_f = 0$

$V_o = V_i - i_f R_f \left\{ \begin{array}{l} V_o = V_i - i_{in} R_f \\ i_{in} = \frac{0 - (-V_d + V_i)}{R_{in}} \end{array} \right.$

$\Rightarrow V_o = V_i + \frac{V_i}{R_{in}} R_f \quad V_o = V_i \left(1 + \frac{R_f}{R_{in}} \right) \Rightarrow A_v = \frac{V_o}{V_{in}} = 1 + \frac{R_f}{R_{in}} \quad i_{in} = \frac{-V_i}{R_{in}}$

$R_f > R_{in}$ tenemos una ganancia de tensión mas elevada.
 $R_f < R_{in}$ tenemos una ganancia de tensión pero mas pequeña.
 $R_f = R_{in}$ " " " " " " = 2.
 (siempre va a ser positiva.)

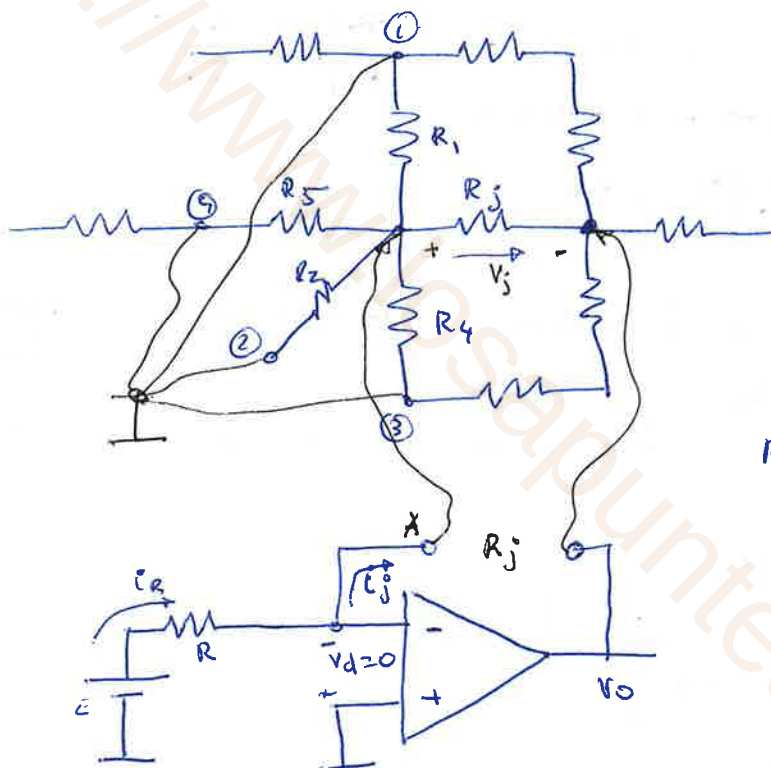
$$-E_{SAT} < V_o < +E_{SAT}$$

$$-E_{SAT} < \left(\frac{R_{in} + R_f}{R_{in}} \right) V_{in} < E_{SAT}$$

condición para la tensión de entrada

$$\boxed{\frac{-R_{in}}{(R_{in} + R_f)} E_{SAT} < V_{in} < \frac{R_{in}}{(R_{in} + R_f)} E_{SAT}}$$

Procedimiento para medir una resistencia sin sacarlo del circuito.



medir la resistencia R_j sin desconectarlo del circuito, mediante un A. Operacional.

Dirigirnos a unos de los extremos de la resist. desconocida. y el otro extremo que va unido con resistencia lo conectamos a una

R_1, R_2, R_4, R_5 están cortocircuitados.

$$\begin{aligned} i_j &= \frac{V_d - V_o}{R_j} = \frac{0 - V_o}{R_j} \\ i_R &= \frac{E - (V_d)}{R} = \frac{E}{R} \end{aligned}$$

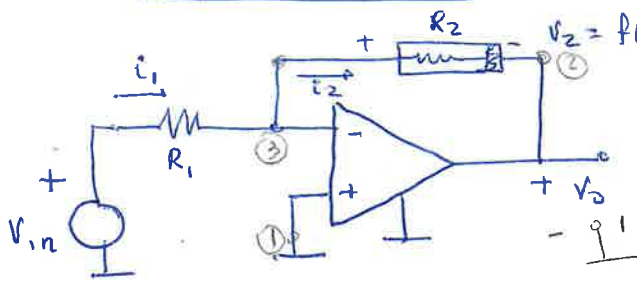
$$i_R = i_j$$

$$\frac{E}{R} = \frac{0 - V_o}{R_j}$$

$$\Rightarrow \boxed{R_j = \frac{R}{E} (-V_o)} \quad (1)$$

mido en los extremos V_j y obtengo la misma tensión de salida V_o sustituyo en la ecuación (1) y obtengo el valor de R_j

Amplif. INVERSOR. es realimentado negativamente



Resist. no lineal controlada por corriente

nodo ① ② ③ ④
 $-V_o - V_z - V_d = 0$

$$\boxed{i_1 = i_2} \quad \boxed{-V_o - V_z = 0} \quad \boxed{V_o = -V_z} = -f(i_2) = -f(i_1) \quad \left\{ \begin{array}{l} V_o = -f\left(\frac{V_{in}}{R_1}\right) \\ V_o \text{ es función de la tensión de entrada.} \end{array} \right.$$

$$i_1 = \frac{V_{in} - (-V_d)}{R_1} = \frac{V_{in}}{R_1}$$

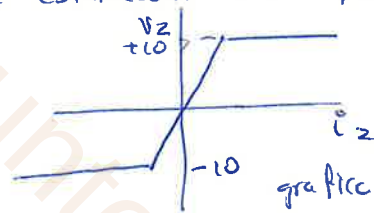
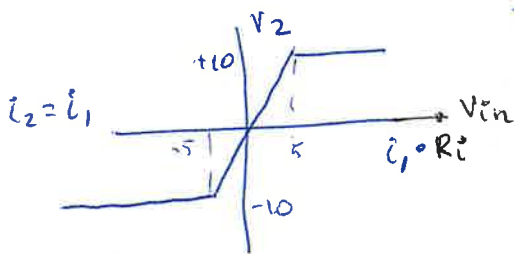
será válido cuando este en el intervalo.

$$\boxed{-E_{SAT} < -f\left(\frac{V_{in}}{R_1}\right) < +E_{SAT}}$$

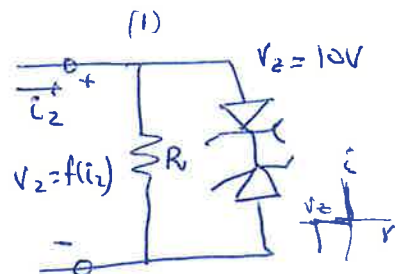
Ejemplo $R_1 = 1K\Omega$ $+E_{SAT} = +13$ $-E_{SAT} = -13$

El resistor no lineal va ha estar constituido por

la resultante del circuito (1)



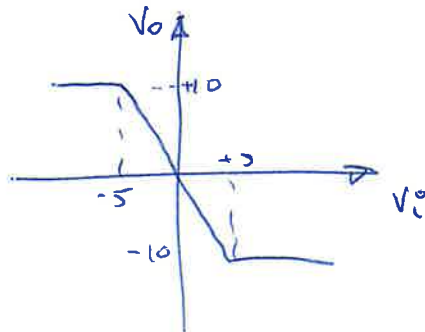
gráfica de V_z en función i_2 como



$$V_{in} = R_1 i_1$$

pero $V_o = -V_z$ entonces invierte la

gráfica. final. del amplif. inversor



Problema:

$$\begin{cases} -i_1 + 2i_2 + v_2 = 0 \\ v_1 + v_2 = 0 \end{cases}$$

parámetros de transición

1: $\begin{bmatrix} v_1 \\ i_1 \end{bmatrix} = T_1 \begin{bmatrix} v_2 \\ -i_2 \end{bmatrix}$ matriz de transición

$v_1 = -v_2$ $i_1 = v_2 + 2i_2$

$v_1 = -1 v_2 + 0 (-i_2)$ $i_1 = 1 v_2 - 2 (-i_2)$

considero negativa ya que es saliente



$$\begin{bmatrix} v_1 \\ i_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 1 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_2 \\ -i_2 \end{bmatrix}$$

transición 2: $\begin{bmatrix} v_2 \\ -i_2 \end{bmatrix} = T_2 \begin{bmatrix} v_1 \\ i_1 \end{bmatrix}$

$$\begin{cases} v_2 = -v_1 \\ i_2 = \frac{1}{2} i_1 - \frac{1}{2} v_2 \end{cases} = \frac{1}{2} i_1 + \frac{1}{2} v_1$$

poner v_2 en función $v_2 = -v_1$

$$\begin{cases} v_2 = -1 v_1 + 0 i_1 \\ -i_2 = -\frac{1}{2} v_1 - \frac{1}{2} i_1 \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} v_2 \\ -i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ -1/2 & -1/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ i_1 \end{bmatrix}$$

controlado por corriente: $\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$

$$\begin{cases} v_2 = i_1 - 2i_2 \\ v_1 = -v_2 = -i_1 + 2i_2 \end{cases} \quad \begin{cases} v_1 = -1 i_1 + 2 i_2 \\ v_2 = 1 i_1 - 2 i_2 \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} -1 & 2 \\ 1 & -2 \end{bmatrix}}_{R=0} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$$

el determinante es cero entonces la inversa no existe $\frac{1}{R}$

es decir. $\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = g \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$

no existe ya que $R=0$

$$\begin{cases} -i_1 + 2i_2 + v_2 = 0 \\ v_1 + v_2 = 0 \end{cases} \quad \text{Híbrido 1:} \quad \begin{bmatrix} v_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = H_1 \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} v_1 &= -v_2 \\ i_2 &= +\frac{1}{2}i_1 - \frac{1}{2}v_2 \end{aligned} \quad \begin{bmatrix} v_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

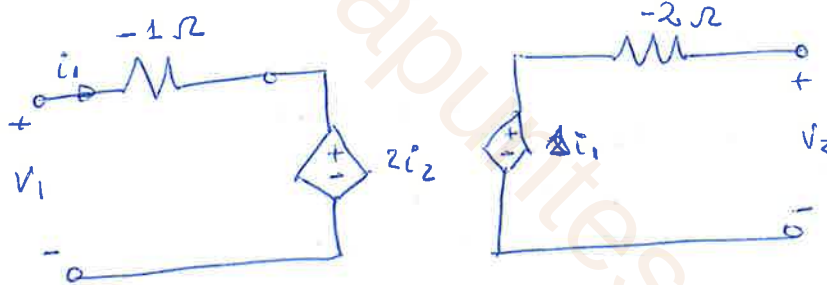
$$\text{MATRIZ HÍBRIDA 2:} \quad \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = H_2 \begin{bmatrix} v_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} i_1 &= 2i_2 + v_2 = 2i_2 - v_1 \\ v_2 &= -v_1 \end{aligned} \quad \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 2 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$$

Problema: obtener algún circuito de dos puertos equivalentes a las siguientes expresiones.

$$\begin{cases} -i_1 + 2i_2 + v_2 = 0 \\ v_1 + v_2 = 0 \end{cases} \quad \begin{aligned} \text{a) } v_1 &= -i_1 + 2i_2 \quad \text{F.V. controlado por intensidad} \\ v_2 &= \text{---} - 2i_2 \quad \text{F.V. controlada por intensidad.} \end{aligned}$$

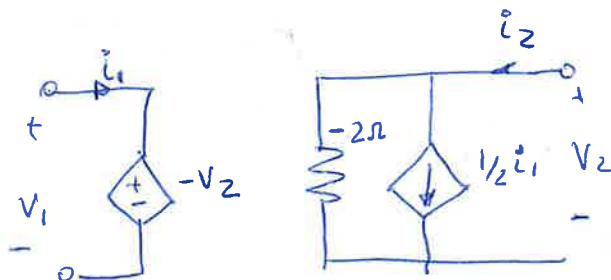
↑ como es tensión se dice que es una F.V. controlada por intensidad.



aplicando L.T.K se obtiene $v_1 = -i_1 + 2i_2$

se puede representar de diferentes formas: como Híbrido.

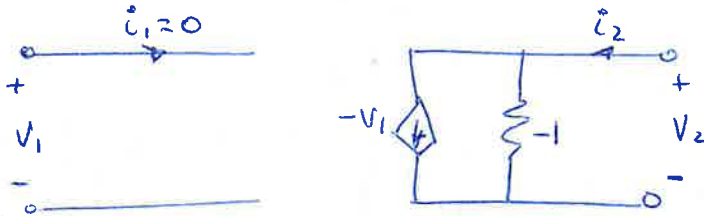
$$\begin{aligned} \text{b) } v_1 &= -v_2 \\ i_2 &= \frac{1}{2}i_1 - \frac{1}{2}v_2 \end{aligned}$$



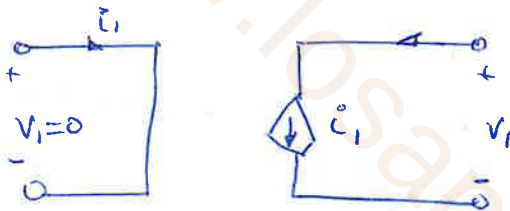
* con la de transmisión no nos permite el diseño del circuito

Problema: a otro sistema de ecuaciones.

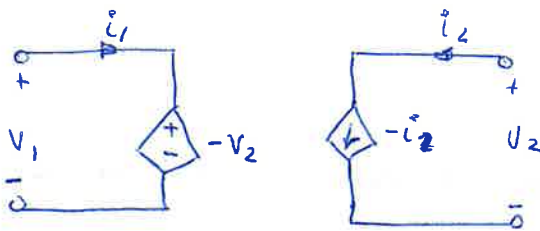
- a) $V_1 + i_2 + V_2 = 0 \Rightarrow i_2 = -V_1 - V_2$ (se trata de dos capacitores en paralelo.)
 $i_1 = 0 \rightarrow$ como i_1 es = a cero por parte 1 de la bipuerta es un circuito abierto.



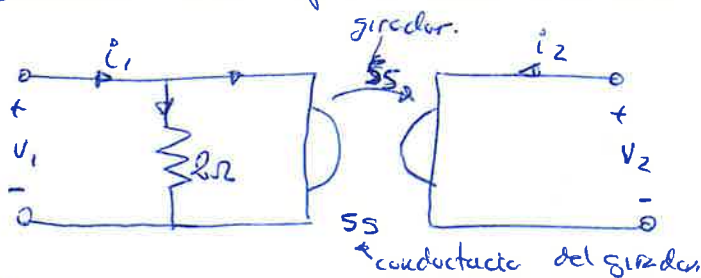
- b) $V_1 = 0$ la entrada de la bipuerta se encuentra en corto circuito
 $i_2 - i_1 = 0 \Rightarrow i_2 = i_1$
 F.V. cort. por intenc.



- c) $V_1 + V_2 = 0$
 $i_1 + i_2 = 0$
 $V_1 = -V_2 \rightarrow$ F.V. cort. por tensión.
 $i_1 = -i_2 \Rightarrow i_2 = -i_1$
 Fuente de I. cort. por Int.



* Encontrar una representación matricial a la siguiente bipuerta.



las ec. del girador es:

$$\begin{aligned} i_1 &= 5V_2 \\ i_2 &= -5V_1 \end{aligned}$$

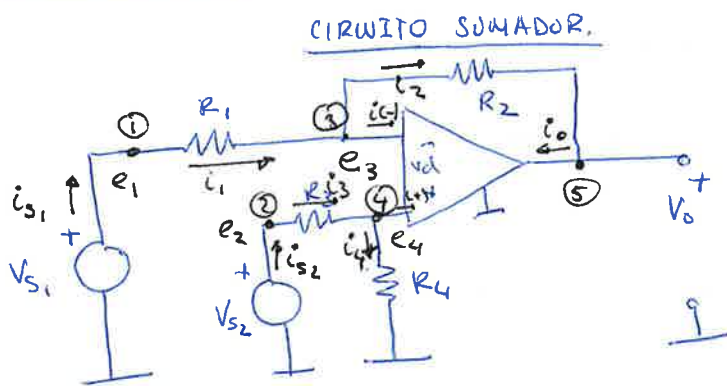
siguiendo las ec. del girador.

$$i_1 = \frac{V_1}{2} + 5V_2$$

$$i_2 = -5V_1$$

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & 5 \\ -5 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

Método sistemático.



→ Fijar cuáles son los nudos, numerar los nudos, poner las tensiones en cada uno, las ~~potencias~~ en cada nudo. A todo esto se le llama rotulación. La referencia es la masa en este caso.

1) - Expresar las tensiones de ramos ~~sobre~~ del circuito, en funciones de las tensiones de nudos

$$V_1 = e_1 - e_3$$

$$V_2 = e_3 - e_5$$

$$V_3 = e_2 - e_4$$

$$V_4 = e_4$$

$$V_d = e_4 - e_3$$

2) - Establecer la ley de Ohm en cada uno de los elementos.

$$i_1 = \frac{e_1 - e_3}{R_1}$$

$$i_2 = \frac{e_3 - e_5}{R_2}$$

$$i_3 = \frac{e_2 - e_4}{R_3}$$

$$i_4 = \frac{e_4}{R_4}$$

3) - Detectar o identificar cuáles son las corrientes de ramos que no podemos expresar en función de las tensiones de nudos.

$$\begin{matrix} i_{s1} \\ i_{s2} \\ i_o \end{matrix} \left\{ \begin{array}{l} \text{no lo puede expresar} \\ \text{en función de las tensiones de nudos.} \end{array} \right.$$

El circuito hay 8 incógnitas.

4) Empezar a utilizar la ley de Kirchhoff L.C.K.

si tenemos 5 nodos tenemos 5 ecuaciones.

$$\text{nudo ①} \quad \frac{e_1 - e_3}{R_1} - i_{s_1} = 0$$

$$\text{nudo ②} \quad \frac{e_2 - e_4}{R_3} - i_{s_2} = 0$$

$$\text{nudo ③} \quad \frac{e_3 - e_5}{R_2} - \frac{e_1 - e_3}{R_1} = 0$$

$$\text{nudo ④} \quad \frac{e_4}{R_4} - \frac{e_2 - e_4}{R_3} = 0$$

$$\text{nudo ⑤} \quad i_o - \frac{e_3 - e_5}{R_2} = 0$$

5) Características propias de algunos de los elementos del circuito, para poder resolver el circuito.

$$V_d = 0 \Rightarrow e_4 = e_3$$

$$V_{s_1} = e_1$$

$$V_{s_2} = e_2$$

6) Resolviendo las ecuaciones, la tensión de salida es:

$$V_o = e_5 = \left[\frac{R_4 (1 + R_2/R_1)}{R_3 + R_4} \right] V_{s_2}(t) - \left(\frac{R_2}{R_1} \right) V_{s_1}(t)$$

7) Establecer, verificar la validez de la ecuación

$$-E_{SAT} < V_o < E_{SAT}$$

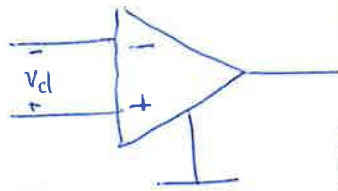
Si $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ en este circuito y dividiendo la ecuación por R_4 se quedaría en función de R_1 y R_2 .

$$\text{y quedaría } V_o = \frac{R_2}{R_1} [V_{s_2}(t) - V_{s_1}(t)]$$

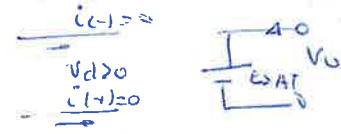
$$-E_{SAT} < V_o < E_{SAT}$$

juguando con la relación $\frac{R_2}{R_1}$ puedo ampliar el margen con las tensiones de entrada.

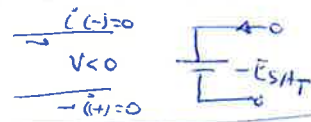
Amplificador Oper. trabajando en zona no lineal.



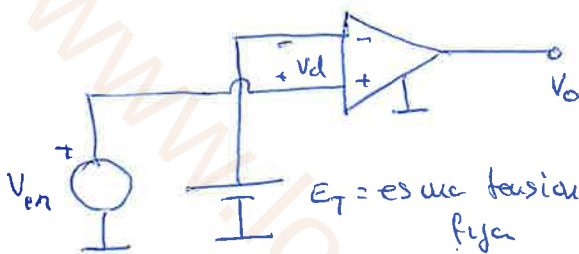
en la region lineal $V_d > 0 \Rightarrow V_o = +E_{SAT}$



en la region $V_d < 0 \Rightarrow V_o = -E_{SAT}$



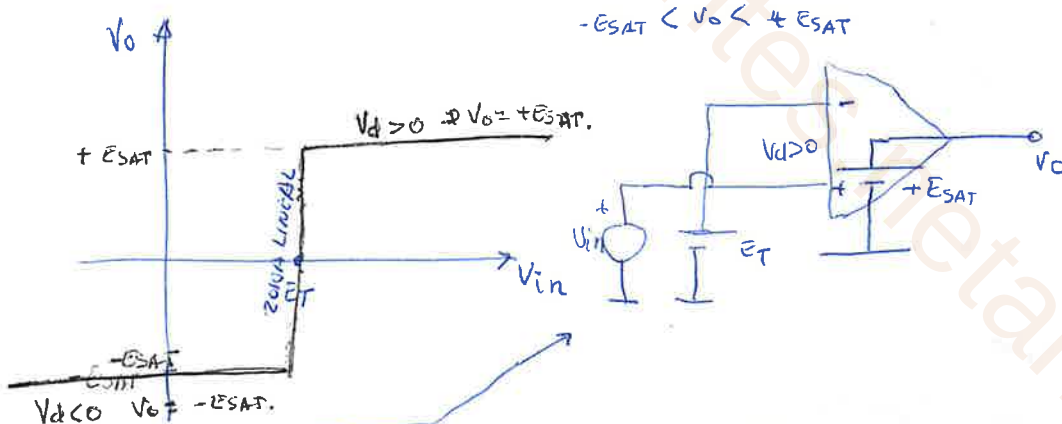
comparador: o detector de umbral.
y va estar en lazo abierto



L.T.K.

$$-V_{in} + V_d + E_T = 0.$$

para zona lineal se tiene q cumplir $V_d = 0 \Rightarrow V_{in} = E_T$

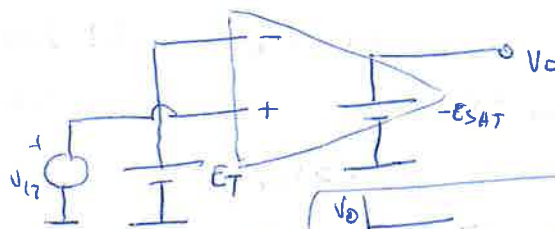


ya no estamos en zona lineal estamos en saturación positiva

$$-V_{in} + V_d + E_T = 0 \Rightarrow V_d = V_{in} - E_T \quad V_d > 0 \Rightarrow V_{in} > E_T \Rightarrow V_o = +E_{SAT}$$

- En el caso de saturación negativa

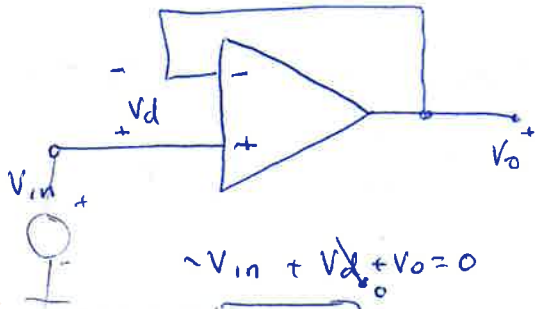
$$-V_{in} + V_d + E_T = 0 \Rightarrow V_d = V_{in} - E_T \quad V_d < 0 \Rightarrow V_{in} < E_T$$



cuando pasa por cero $E_T = 0$

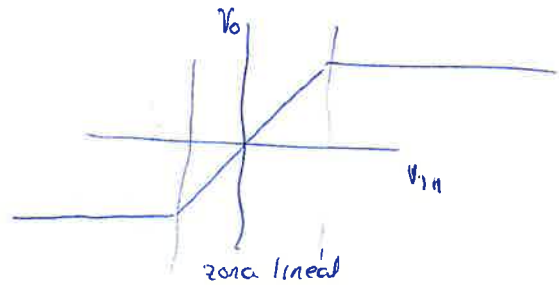
comparador de cruce $E_T = 0$.

CIRCUITO CON REALIMENTACIÓN NEGATIVA



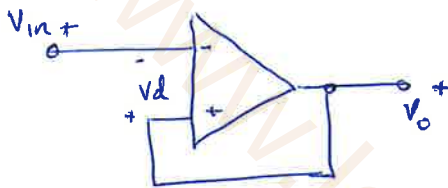
$$-V_{in} + V_d + V_o = 0$$

$V_{in} = V_o$ es en la zona lineal.



$$|V_{in}| < E_{SAT}$$

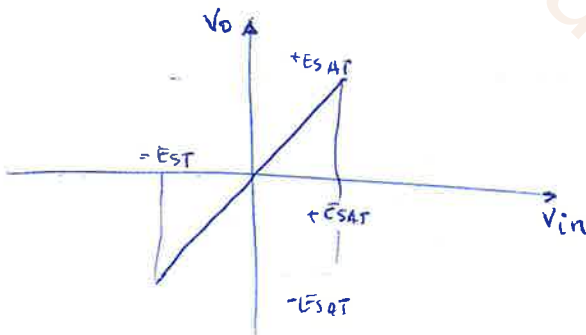
CIRCUITO REALIMENTACIÓN POSITIVA



$$-V_{in} - V_d + V_o = 0 \quad \boxed{V_o = V_{in}}$$

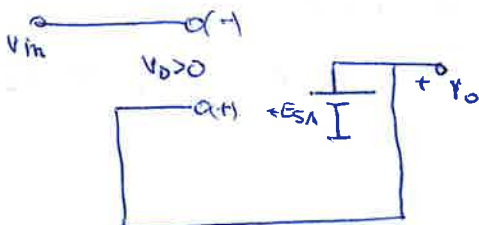
en los márgenes $-E_{SAT} < V_o < E_{SAT}$

(en la práctica no sale esta gráfica)



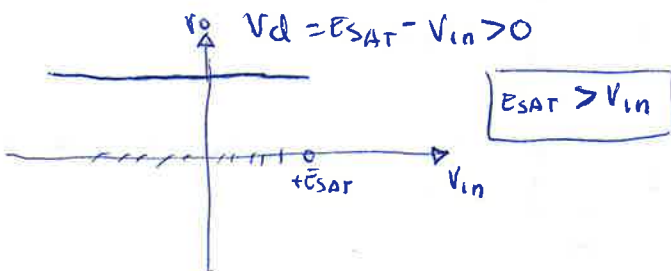
C. equivalente

para sat. positiva.

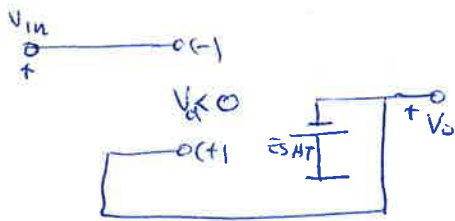


$$-V_{in} - V_d + V_o = 0 \quad -V_{in} - V_d + E_{SAT} = 0$$

$V_d = E_{SAT} - V_{in}$ V_d tiene que ser positiva es decir $V_d > 0$.



c. equivalente para saturación negativa.

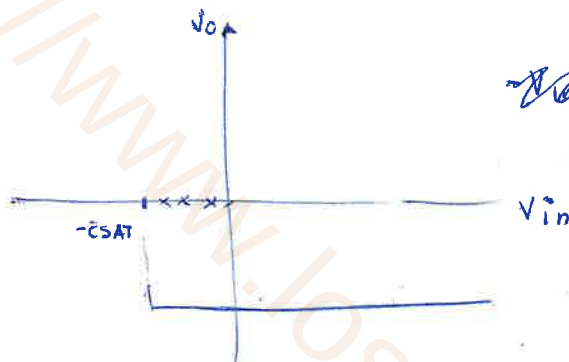


$$-V_{in} - V_d + V_o = 0 \Rightarrow -V_{in} - V_d - E_{SAT} = 0$$

$$V_d = -V_{in} - E_{SAT} \quad V_d \text{ tiene que ser menor o igual a cero.}$$

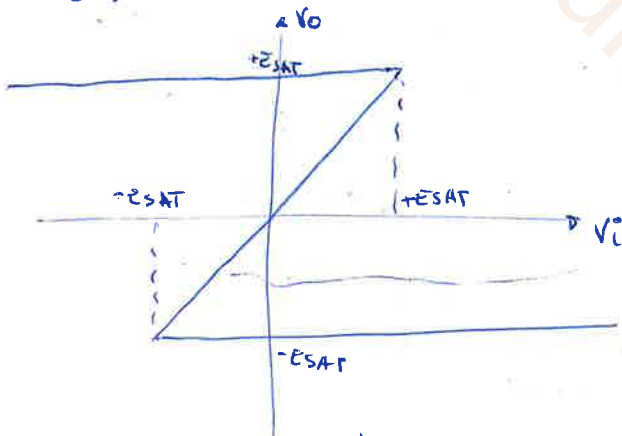
$$V_d = -V_{in} - E_{SAT} < 0$$

$$-E_{SAT} < V_{in}$$



Haciendo el gráfico resultante de los tres gráficos hecho anteriormente

es:



zona de inestabilidad para la realimentación positiva

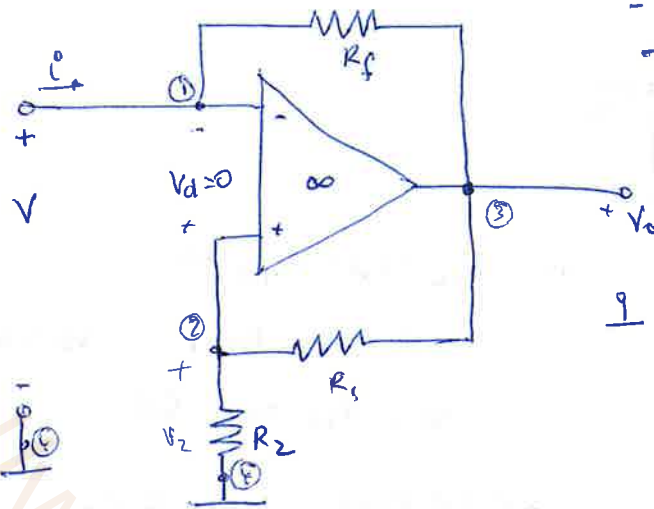
El amplificador está cumpliendo esta ecuación $V_o = A(V_{(+)} - V_{(-)})$

cuando tenemos una realimentación negativa cuando estemos en la zona lineal hay un Δ en la salida que repercute a la entrada negativa

si $\Delta V_d \Rightarrow \Delta V_o \Rightarrow$ como $\Delta V_{(+)}$ (implica otro incremento de V_d y se va repitiendo el ciclo)

C. CONVERTIDOR NEGATIVO DE IMPEDANCIA.

CIRCUITO QUE EMPLEA LA REALIMENT. POSITIVA Y NEGATIVA A LA VEZ



- es buscar la curva de transferencia
- relación de los terminales de entrada.

en R_1 y R_2 hay un divisor de tensión

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_0 = \beta V_0$$

$$V_2 = V$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V = \beta V_0 \\ V_0 = \frac{1}{\beta} V \end{array} \right.$$

relación de salida-entrada

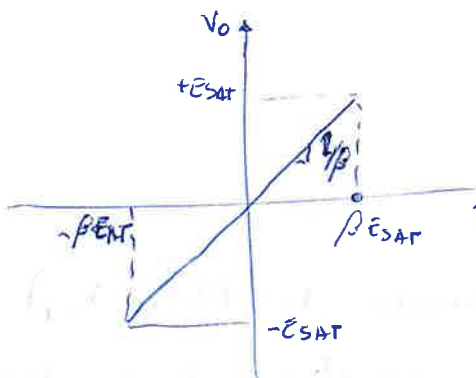
L.K. 4134

$$-V + R_f \cdot i + V_0 = 0$$

$$-V + R_f \cdot i + \frac{1}{\beta} \cdot V = 0$$

$$\Rightarrow i = - \frac{1}{R_f} \frac{R_1}{R_2} V$$

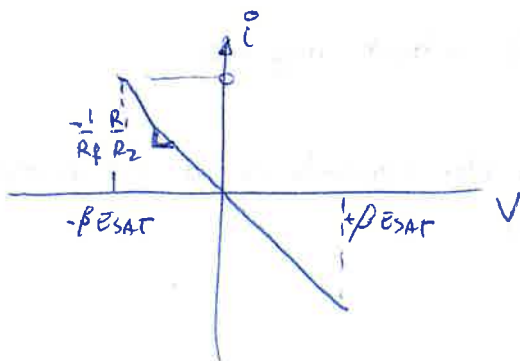
i está en función de V
los demás son números



$$-ESAT < \frac{1}{\beta} V < ESAT$$

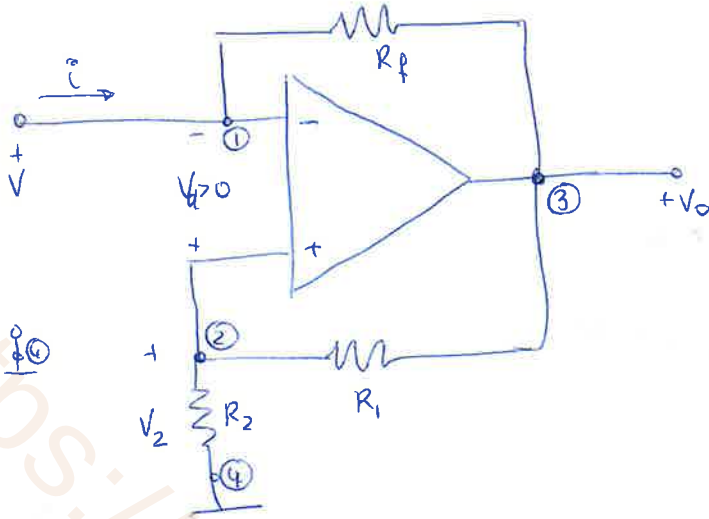
$$-\beta ESAT < V < \beta ESAT$$

esto ocurre en la zona lineal.



sustituyendo $\beta ESAT$ en la ecuación (1) se obtiene la corriente max.

Saturación positiva:



$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_0 = \beta V_0 \quad \left\{ \begin{array}{l} V = \beta V_0 \\ V_0 = \frac{1}{\beta} V \end{array} \right.$$

$$V_2 = V$$

L.V.K.
(4134)

$$-V + R_f \cdot i + V_0 = 0$$

$$-V + R_f \cdot i + E_{SAT} = 0 \Rightarrow i_{(+)} = \frac{V - E_{SAT}}{R_f}$$

↑
sat. positive.

L.V.K.
(4124)

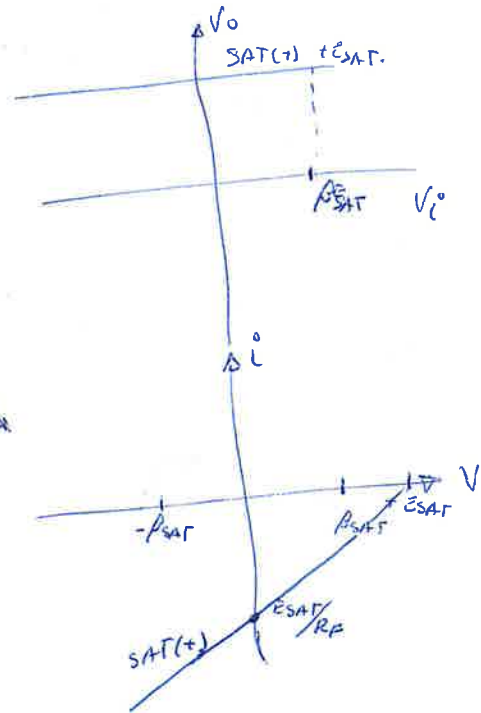
$$-V - V_d + V_2 = 0$$

$$V_d = V_2 - V > 0$$

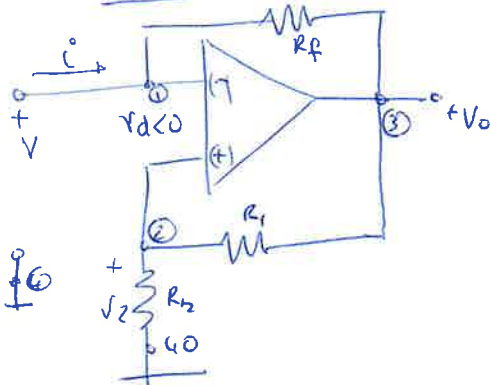
$$V_d = \beta V_0 - V > 0$$

$$\beta E_{SAT} - V > 0$$

$$\boxed{\beta E_{SAT} > V}$$



Saturación negativa:



$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_0 = \beta V_0 \quad \left\{ \begin{array}{l} V = \beta V_0 \\ V_2 = V \end{array} \right.$$

L.V.K.
4134

$$-V + R_f \cdot i + V_0 = 0$$

$$-V + R_f \cdot i - E_{SAT} = 0$$

$$i_{(-)} = \frac{E_{SAT} + V}{R_f}$$

↑
saturación negativa.

L.V.K.
(4124)

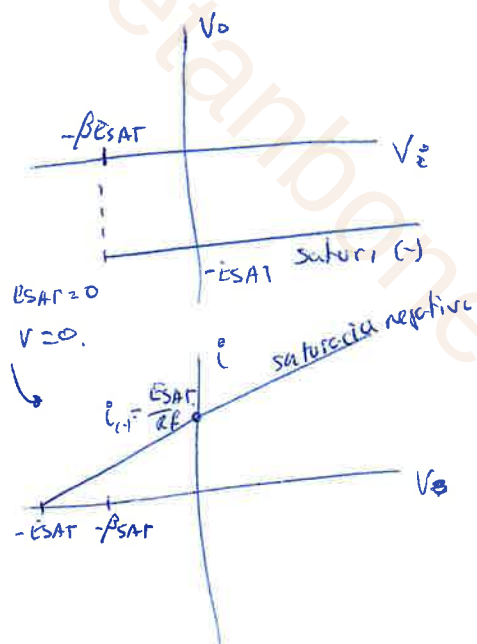
$$-V - V_d + V_2 = 0$$

$$V_d = V_2 - V < 0$$

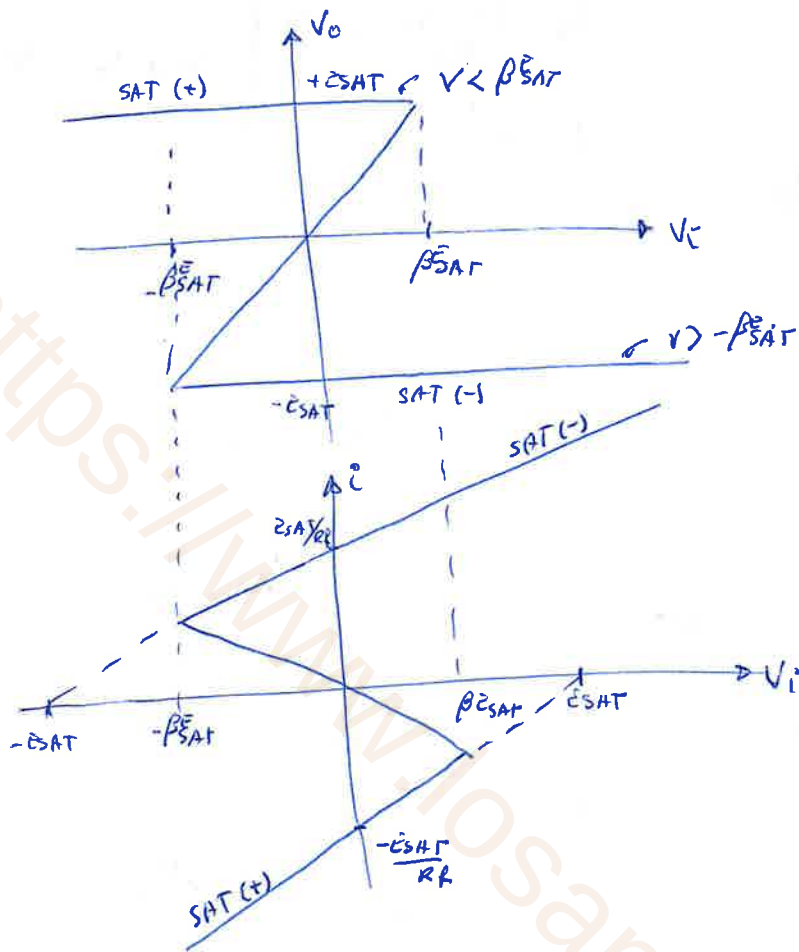
$$V_d = \beta V_0 - V < 0$$

$$\beta E_{SAT} - V < 0$$

$$\boxed{\beta E_{SAT} < V}$$



Sumando los graficos de V_o y V_i y i y V_i .



En la zona lineal el circuito presenta un comportamiento equivalente a una "Resistencia negativa" visto desde la entrada $i = -\frac{1}{R_F} \frac{R_1}{R_2} V$