

CALCULAR V_O con $R=1K$

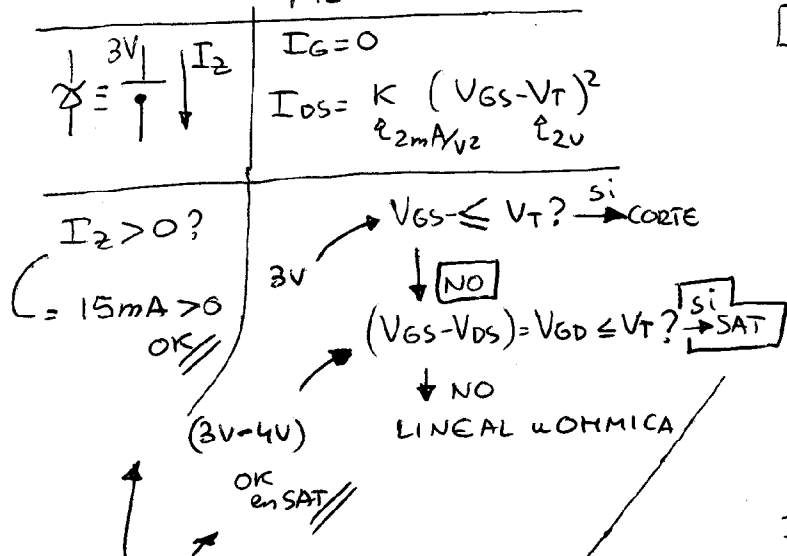
D1: $V_Z=3V$ $V_Z=3V$
M1: $V_T=2V$ $K=2mA/V^2$

1 INSPECCION

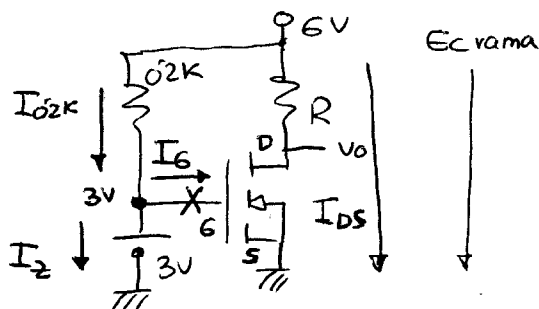
- LA CORRIENTE TIENDE A IR POR EL DIODO de ARRIBA (6V) a ABajo (3V) \Rightarrow D1 en ZENER.
- Como D1 ve $> 3V \rightarrow$ D1 SUPONGO en ZENER.
- COMO $I_G=0$ en M1 $\Rightarrow I_{02K} = I_Z$
- EN M1 $V_{GS} = V_G - V_S = 3V > V_T=2V \Rightarrow$ SUPONGO I_{Z3V} I_{02K} M1 en SATURACION

2 SUPOSICION

D1 ZENER M1 SAT.



3 APLICAR MODELO



$$I_Z = I_{02K} = \frac{6V-3V}{02K} = 15mA.$$

$$I_{DS} = 2mA/V^2 (V_{GS} - V_T)^2 = 2mA$$

Ec de RAMA

$$6V-0V = I_{DS} \cdot R + V_{DS} \Rightarrow V_{DS} = V_O = 4V$$

4 COMPROBACION

CALCULAR V_O con $R=3K$

TODO IGUAL QUE ANTES, SALVO QUE AHORA $R=3K$, y de la Ec de RAMA SALE $V_O = V_{DS} = 0V$. COMPROBAMOS que D1 ZENER, PERO M1 NO EN SAT. SE NOS VA A ZONA LINEAL \Rightarrow REHACER EL PROBLEMA CON D1 ZENER y M1 LINEAL.

M1 LINEAL u OHMICA

$$I_{DS} = K [2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2]$$

$$Ec de RAMA \rightarrow 6V-0V = I_{DS} \cdot 3K + V_{DS}$$

$$\begin{cases} G = 3I_{DS} + V_{DS} \\ I_{DS} = 4V_{DS} - 2V_{DS}^2 \end{cases}$$

$$6V_{DS}^2 - 13V_{DS} + 6 = 0$$

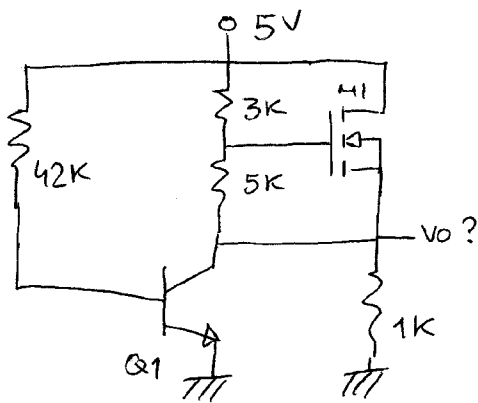
$$V_{DS} = \begin{cases} +3/2 \\ +2/3 \end{cases} \Rightarrow (V_{GS} - V_{DS}) = 3 - 3/2 = 3/2 < V_T$$

ii M1 SATURACION!!
¡IMPOSIBLE!

$$(V_{DS}=V_O) \Rightarrow (V_{GS} - V_{DS}) = 3 - 2/3 = 7/3 > V_T$$

(POSIBLE)

(8)



CALCULAR V_0

$$Q1: \beta = 200 \quad V_{BE} \approx 0.7V$$

$$M1: K = 2mA/V^2 \quad V_T = 1V$$

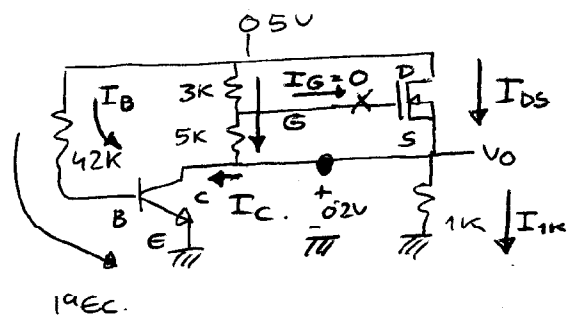
1 INSPECCION

- A LA BASE DE Q1 LLEGA TENSION ALTA, Y SU RESISTENCIA DE BASE ES MAS BIEN BAJA 42K, \Rightarrow Q1 QUIZAS EN SAT.
- Q1 TIENE $R_C \approx 8K$, que es muy alta ESO IMPLICARIA Q1 EN SAT, PERO M1 PUEDE DARLE CORRIENTE EXTRA A Q1 y HACER QUE 8K SEA DISMINUIDA

2 SUPOSICION

Q1 SAT.	M1 SAT.
$V_{BE} = 0.7V$ $V_{CE} = 0.2V$ $I_C < \beta I_B$ $8.4mA$ 200 $0.1mA$ $0K$ $0K$	$I_G = 0$ $I_{DS} = K (V_{GS} - V_T)^2$ $2mA/V^2$ $1V$ $V_{GS} \leq V_T?$ \rightarrow SI \downarrow NO $(V_{GS} - V_{DS}) = V_{GD} \leq V_T?$ \rightarrow SI \downarrow NO LINEAL u OHMICA.

3 APLICAR MODELO



$$Q1 \text{ SAT} \Rightarrow V_{CE} = 0.2V = V_0 \Rightarrow I_{1K} = \frac{V_0 - 0}{1K} = \frac{0.2V}{1K} = 0.2mA$$

$$I_G = 0 \Rightarrow I_{3K} = I_{5K} = \frac{5V - V_0}{(3K + 5K)} = \frac{5V - 0.2V}{8K} = 0.6mA$$

$$\frac{5V - V_G}{3K} = \frac{V_G - V_0}{5K} \rightarrow 25 - 5V_G = 3V_G - 0.6 \rightarrow V_G = 3.2V$$

$$\text{como } V_S = V_0 = 0.2V \rightarrow V_{GS} = V_G - V_S = 3V$$

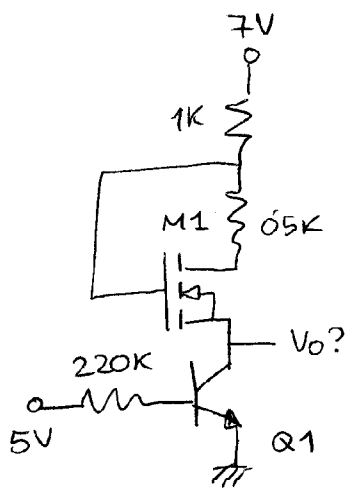
$$M1 \text{ SAT} \left\{ \Rightarrow I_{DS} = K (V_{GS} - V_T)^2 = 8mA \right.$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 5V - 0.2V = 4.8V \quad ; \quad V_{GD} = V_{GS} - V_{DS} = V_G - V_D = -1.8V$$

$$I_C \text{ de Q1} \left\{ \begin{array}{l} I_{3K} + I_{DS} = I_C + I_{1K} \\ 0.6mA + 8mA = I_C + 0.2mA \Rightarrow I_C = 8.4mA \end{array} \right.$$

$$E_C \text{ de RAMA en } V_{BE} \text{ de Q1: } 5 - 0 = I_B \cdot 42K + V_{BE} \Rightarrow I_B = 0.1mA$$

4 COMPROBACION (VER CUADRO DE SUPOSICIONES)



CALCULAR V_O

Q1: $\beta = 100$ $V_{BEZAD} = 0.6V$
M1: $K = 2mA/V^2$ $V_T = 2V$

1 INSPECCION

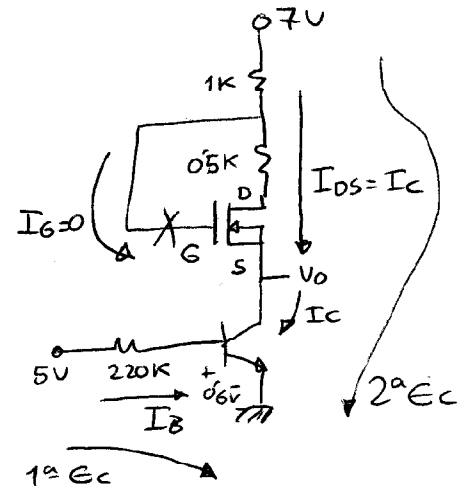
- Q1 VE EN SU UNION BE $\sim 5V$, SEPARADOS POR RESISTENCIA ALTA \Rightarrow Q1 PROBABLEMENTE en ZAD
- Si Q1 en ZAD \Rightarrow M1 NO PUEDE ESTAR CORTADO LO SUPONDREMOS en SATURACION

3 APLICAR MODELO

2 SUPOSICION

Q1 ZAD	M1 SAT.
$V_{BE} = 0.6V$	$I_G = 0$
$I_C = \beta I_B$	$I_{DS} = K(V_{GS} - V_T)^2$

$V_{CE} > 0.2V?$
 $2V > 0.2V$ OK//
 $3V - 2V = 1V$ OK//
 $V_{GS} \leq V_T?$ \rightarrow NO
 $(V_{GS} - V_{DS}) = V_{GD} \leq V_T?$ \rightarrow SI \rightarrow SAT.
 NO LINEAL u OHMICA.



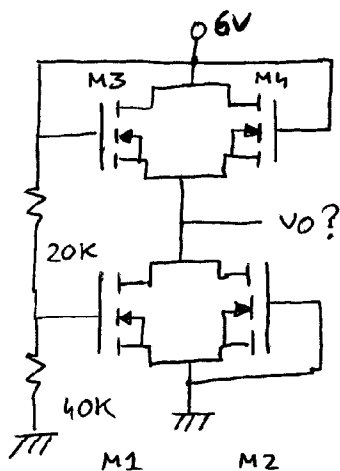
4 COMPROBACION

$I_C = I_{DS}$
 $I_C = 2mA$
 $I_{DS} = K(V_{GS} - V_T)^2$
 $2mA = 2mA/V^2 (V_{GS} - 2V)^2 \Rightarrow (V_{GS} - 2V) = \pm 1$
 IMPORTANTANTE CONSIDERAR LOS DOS SIGNOS

$\rightarrow V_{GS} = \begin{cases} 1V \rightarrow \text{IMPOSIBLE} \leq V_T \rightarrow \text{ESTARIA EN CORTE M1!} \\ 3V \end{cases}$
 CONTRADICE LA HIPOTESIS de que M1 está en SATURACION

E_C de RAMA de G_{AS} PASANDO POR $0.5K$ y V_{DS} $\rightarrow V_{GS} = V_G - V_S = 3V = I_{DS} \cdot 0.5K + V_{DS}$

E_C de RAMA de $7V$ a V_O ($V_O = V_S$) PASANDO POR $1K$, $0.5K$ y V_{DS} $\rightarrow 7V - V_O = I_{DS} \cdot 1K + I_{DS} \cdot 0.5K + V_{DS}$
 $\Rightarrow V_{DS} = 2V$
 $\Rightarrow V_O = 2V$
 $V_O = V_{CE} = 2V$



CALCULAR V_0

$$M1, M2 : V_T = 2V \quad k = 2mA/V^2$$

$$M3, M4 : V_T = 2V \quad k = 4mA/V^2$$

1^a INSPECCION

- VEO UN PARTIDOR de TENSION (6V, 20K, 40K), por tanto a M1 $V_{GS} = 4V$. EN M2 $V_{GS} = 0V$
 \Rightarrow SUPONDRÉ M1 SAT. M2 CORTE
- M3 y M4 son "gemelas" por SIMETRÍA.
 TENDRAN LA MISMA V_{GS} y LA MISMA I_{DS}

2^a SUPOSICION [SIEMPRE $I_G = 0$]

M1 SAT	M2 CORTE	M3 SAT y M4 SAT
$I_{DS} = 2(V_{GS} - V_T)^2$	$I_{DS} = 0$	$I_{DS} = 4(V_{GS} - V_T)^2$

M1	M2	M3	M4	
4V	0V	3V	3V	$V_{GS} \leq V_T? \xrightarrow{Si} \text{CORTE}$
				$\downarrow \text{NO}$
(4V-3V)		(3V-3V)	(3V-3V)	$(V_{GS} - V_{DS}) = V_{GS} \leq V_T? \xrightarrow{Si} \text{SAT}$
<u>SAT</u>	<u>CORTE</u>	<u>SAT</u>	<u>SAT</u>	$\downarrow \text{NO}$
				LINEAL u OHMICA.

4

COMPROBACION

4^a COMPROBACION

Ec de NODO en G de M1

(GRACIAS a qe $I_G = 0$)

$$(I_{20K} = I_{40K} + I_G)$$

$$\frac{6V - V_G}{20K} = \frac{V_G - 0}{40K} \rightarrow V_G = 4V$$

$$V_{GS1} = V_G - V_S = 4 - 0 = 4V$$

$$V_{GS1} = 4V$$

$$I_{DS} = 2(V_{GS} - V_T)^2 = 8mA$$

(M1) \uparrow 2V

pero $I_{DS1} = I_{DS3} + I_{DS4}$
 o como $I_{DS3} = I_{DS4} \Rightarrow I_{DS3} = \frac{I_{DS1}}{2}$

$$I_{DS3} = \frac{8mA}{2} = 4mA$$

$$I_{DS3} = 4(V_{GS3} - V_T)^2$$

\uparrow 2V

$$\Rightarrow (V_{GS3} - V_T)^2 = 1 \Rightarrow V_{GS3} - V_T = \pm 1 \Rightarrow V_{GS3} = \begin{cases} 3V \\ 1V \end{cases}$$

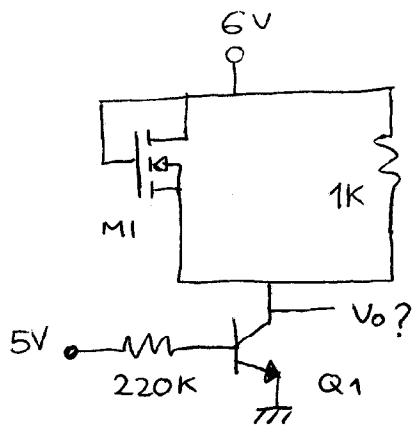
\uparrow 2V

$$V_{GS3} = V_{GS4} = 3V = V_G - V_S$$

\uparrow 6V \uparrow V_0

$$\Rightarrow V_0 = 3V \Rightarrow V_{DS1} = V_D - V_S = V_0 - 0 = 3V$$

[SOLUCION IMPOSIBLE, PUESTO QUE $V_{GS} = 1V$
 \Rightarrow M3 y M4 en CORTE. CONTRADICCION]



CALCULAR V_O

Q1: $\beta = 400$ $V_{BE-ZAD} = 0.6V$

M1: $V_T = 2V$ $K = 1mA/V^2$

1 INSPECCION

- A Q1 LE LLEGAN 5V (ALTA), PERO SEPARADOS POR UNA RESISTENCIA DE BASE ALTA (220K) Q1 PROBABLEMENTE EN ZAD
- M1 NO PARECE EN CORTE $V_G = 6V \gg V_T$, LO SUPONEMOS EN SATURACION.

2 SUPOSICION

Q1 ZAD	M1 SAT.
$V_{BE} = 0.6V$	$I_G = 0$ $\rightarrow 1mA/V^2$ $\downarrow 2V$
$I_C = \beta I_B$	$I_{DS} = K(V_{GS} - V_T)^2$
$V_{CE} > 0.2V?$ $(= 2V > 0.2V)$ OK//	$V_{GS} \leq V_T?$ si \rightarrow CORTE \downarrow NO $(V_{GS} - V_{DS}) = V_{GD} \leq V_T?$ si \rightarrow SAT \downarrow NO LINEAL u OHMICA.

M1 SAT OK//

4 COMPROBACION

SE

$$\bar{I} = \frac{6V - V_O}{1K}$$

SE

$$I_{DS} + \bar{I} = I_C$$

$$(4 - V_O)^2 + \left(\frac{6 - V_O}{1K}\right) = 8mA$$

$$V_O^2 - 9V_O + 14 = 0$$

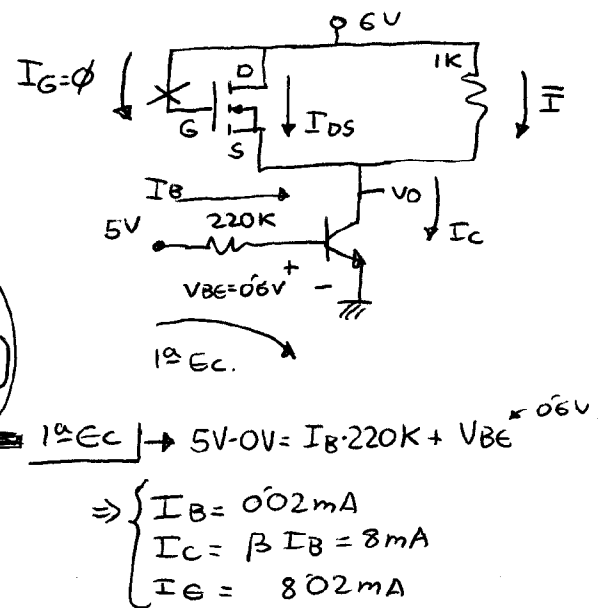
$$V_O = \frac{9 \pm 5}{2} = \begin{cases} 7V & \text{IMPOSIBLE} \\ 2V & \text{QUIZAS SEA LA SOLUCION} \end{cases}$$

$$\text{con } V_{GS} = V_G - V_S = 6V - V_O \quad (V_O = V_S)$$

POR TANTO

$$I_{DS} = ((6 - V_O) - \overset{2V}{V_T})^2 = (4 - V_O)^2$$

3 APLICAR MODELO



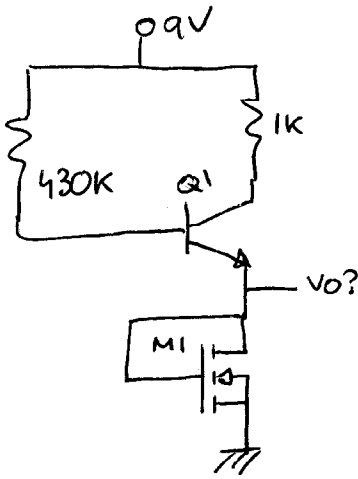
$$\Rightarrow \begin{cases} I_B = 0.02mA \\ I_C = \beta I_B = 8mA \\ I_E = 8.02mA \end{cases}$$

$$\text{SE: } I_{DS} = 1mA/V^2 (V_{GS} - V_T)^2$$

$$V_{DS} = V_{GS} = 4V$$

$$\Rightarrow \begin{cases} V_O = 2V & \bar{I} = 4mA \\ V_{CE} = V_O = 2V & V_{GS} = 4V \\ I_{DS} = 4mA \rightarrow (I_C = 8mA) \end{cases}$$

(7V es IMPOSIBLE porque en el circuito no puede haber más de 6V, pero además, si fuese $V_O = 7V \Rightarrow V_{GS} = 6V - 7V = -1V \Rightarrow$ M1 en CORTE, que CONTRADICE nuestra hipótesis inicial.)



CALCULAR V_O

Q1: $V_{BE-ZAD} = 0.7V$ $\beta = 399$
M1: $V_T = 2V$ $k = 1mA/V^2$

1 INSPECCION

— Q1 VE en la UNION BE $V_{BE} \sim (9V - V_O) < 9V$
(NO sé V_O). RB SÍ ES ALTA \leadsto QUIZAS ZAD

— M1: si $V_O > V_T = 2V$ $V_{GS} = V_O > 2V \rightarrow$
SAT ó LINEAL (DEPENDERÁ de Q1)

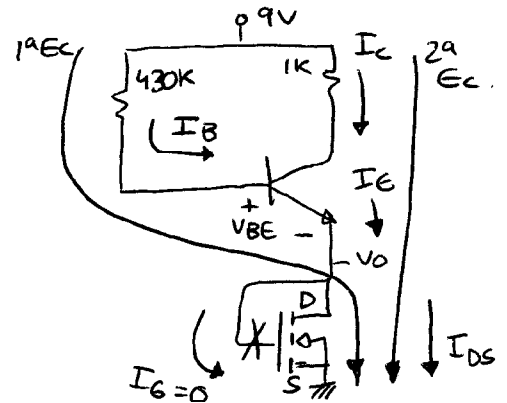
si $V_O < V_T = 2V \rightarrow$ M1 CORTE

PERO si M1 CORTE, IMPLICARÍA Q1 CORTE
Y EL CIRCUITO ENTERO ESTARÍA CORTADO

2 SUPOSICION

Q1 ZAD	M1 SATURACION
$V_{BE} = 0.7V$	$I_G = 0$
$I_C = \beta I_B$	$I_{DS} = k(V_{GS} - V_T)^2$
$V_{CE} > 0.2V?$	$4V = V_{GS} \leq V_T? \rightarrow$ si CORTE <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">NO</div>
$1.01V$ OK	$4V - 4V = (V_{GS} - V_{DS}) = V_{GD} \leq V_T? \rightarrow$ si SAT <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">SAT</div> NO LINEAL u OHMICA.

3 APLICAR MODELOS



4 COMPROBACION

— 1ª Ec de RAMA $9V - 0.7V = I_B \cdot 430K + V_{BE} + V_{DS} \rightarrow I_B = \frac{9 - 0.7 - V_O}{430K}$

— 2ª Ec de RAMA $9V - 0V = I_C \cdot 1K + V_{CE} + V_{DS} \rightarrow V_{CE} = 9 - V_O - I_C \cdot 1K.$

— Ec de NUDO en $V_O = V_{DS} = V_D = V_E$:

$$I_E = (\beta + 1)I_B = 400I_B \rightarrow 400 \left(\frac{9 - 0.7 - V_O}{430K} \right) = 1 \cdot (V_O - V_T)^2$$

$V_O = V_{DS} = V_{GS} = V_G$

$$\frac{400}{430} (8.3 - V_O) = V_O^2 - 4V_O + 4$$

$$V_O^2 - V_O(3.08977) - 3.72093 = 0$$

con $V_O = V_{GS} = V_{DS} = 4V$

$$\Rightarrow I_B = 0.01mA$$

$$I_C = \beta I_B = 3.99mA$$

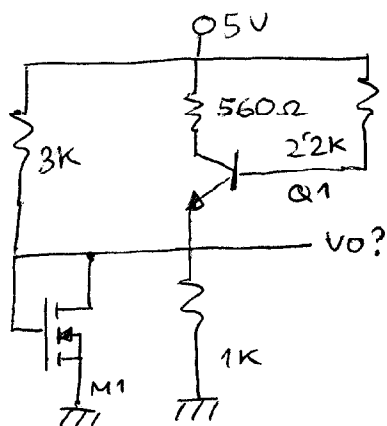
$$I_E = 4mA$$

$$V_{CE} = 1.01V > 0.2V \text{ (Q1 ZAD)}$$

$$\begin{cases} V_{GS} = 4V \\ V_{DS} = 4V \end{cases} \quad V_{GS} - V_{DS} = 0V$$

$V_O = V_{GS} = V_{DS} = \begin{cases} -0.93V \leftarrow \text{NO. si } V_{GS} < 0 \\ 4V \end{cases}$
 \Rightarrow M1 CORTE que CONTRADICE NUESTRA SUPOSICION

↑
sí



CALCULAR V_O

Q1: $\beta = 200$ $V_{BE\text{ZAD}} = 0.7V$
M1: $V_T = 1V$ $K = 5mA/V^2$

1 INSPECCION

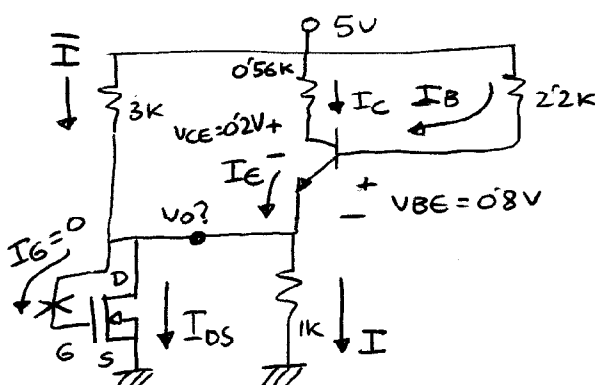
- Q1 ve $V_{BE} \sim (5V - V_O) < 5V$. Si V_O BAJA \Rightarrow V_{BE} ALTA \Rightarrow PODRIA ESTAR EN SATURACION.
- R_B de Q1 MUY BAJA \rightarrow AYUDA a SATURACION
- M1: su $V_{GS} = V_O - \phi V \Rightarrow$ Si $V_O < 1V$ ESTARIA EN CORTE. VAMOS a SUPONER M1 en SATURACION. (DEBE SALIR $V_O > 1V$)

2 SUPOSICION

Q1 SAT	M1 SAT
$V_{BE} = 0.8V$	$I_G = 0$
$V_{CE} = 0.2V$	$I_{DS} = K (V_{GS} - V_T)^2$ $4.5mA/V^2$ $1V$
$I_C < \beta I_B$	
$5mA$ 200 $1mA$	
OK	OK

$V_{GS} \leq V_T?$ \rightarrow SI CORTE
 $(V_{GS} - V_{DS}) \leq V_T?$ \rightarrow SI SAT
 NO LINEAL u OHMICA

3 APLICAR MODELOS



V_O es la TENSION CLAVE, ES LO QUE QUEREMOS SABER, TODO DEPENDE de ELLA

$$\bar{I} = I_{3K} = \frac{5V - V_O}{3K}$$

$$I_B = \frac{5V - [V_O + 0.8V]}{2.2K}$$

$$I = I_{1K} = \frac{V_O - \phi}{1K}$$

$$I_C = \frac{5 - [V_O + 0.2V]}{0.56K}$$

$$V_O = V_G$$

$$V_{GS} = V_G - V_S =$$

$$= V_O - \phi = V_O$$

V_O MARCA EL NODO CLAVE, EC de NODO:

$$\bar{I} + I_E = I_{DS} + I$$

$$[I_B + I_C]$$

$$\frac{5 - V_O}{3K} + \left[\frac{5 - 0.8 - V_O}{2.2K} + \frac{5 - 0.2 - V_O}{0.56K} \right] = I_{DS} + \frac{V_O - 0}{1K}$$

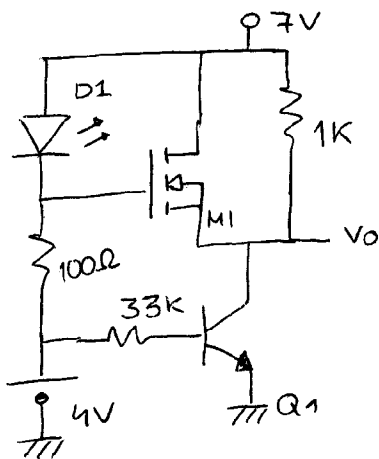
$$\left[\frac{5}{3} + \frac{4.2}{2.2} + \frac{4.8}{0.56} \right] = V_O \left[\frac{1}{1} + \frac{1}{3} + \frac{1}{2.2} + \frac{1}{0.56} \right] + (5V_O^2 - 10V_O + 5)$$

$$5V_O^2 - 6.426V_O - 7.147 = 0$$

$$V_O = \begin{cases} +2V \leftarrow \text{SOLUCION} \\ -0.7147V \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_{3K} = \bar{I} = 1mA & I_B = 1mA \\ I_{1K} = I = 2mA & I_C = 5mA \\ I_{DS} = 5mA & I_E = 6mA \end{cases}$$

SOLUCION CONTRADICTORIA CON LA SUPOSICION de M1 en SAT, pues $V_O = V_{GS} = -0.7147 \leq V_T \rightarrow$ CORTE

4 COMPROBACION (VER CUADRO)



CALCULAR V_O

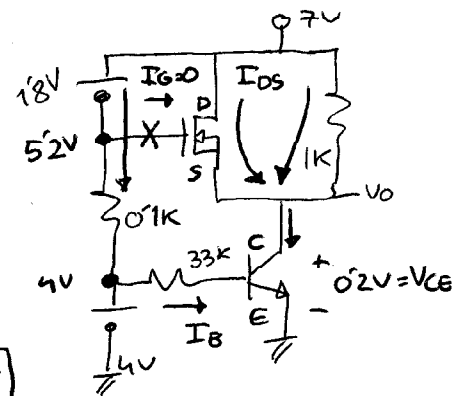
D1: $V_f = 1.8V$ (LED)
 Q1: $\beta = 400$ $V_{BE2A0} = 0.6V$
 M1: $V_T = 2V$ $K = 1mA/V^2$

1 INSPECCION

- D1 (LED) ON I va de 7V a 4V
- Q1: 4V APLICADO A LA UNIÓN BE, CON $R_B = 33k$ NO MUY ALTA \rightarrow PROBABLEMENTE en SAT.
- Si D1 en ON $\Rightarrow V_G = 7V - 1.8V = 5.2V$ y si Q1 en SAT $\Rightarrow V_O = V_{CE} = V_S = 0.2V \Rightarrow V_{GS} = 5V$ QUE ES MAYOR QUE $V_T = 2V \Rightarrow$ M1 NO en CORTE

2 SUPOSICION

D1 ON	Q1 SAT	M1 SAT.
	$V_{BE} = 0.7V$ $V_{CE} = 0.2V$	$I_G = 0$ $I_{DS} = K (V_{GS} - V_T)^2$ $\uparrow 1mA/V^2 \quad \uparrow 2V$
$I_D > 0?$ $I = 12mA$	$I_C \stackrel{?}{=} \beta I_B$ $\uparrow 15.8mA \quad \uparrow 400 \quad \uparrow 0.1mA$	$V_{GS} \leq V_T? \rightarrow$ SI SORTE $5V \quad \downarrow$ NO $(V_{GS} - V_{DS}) = V_{GD} \leq V_T? \rightarrow$ SI SAT \downarrow NO LINEAL u OHMICA. $-1.8V$



$$I \approx EC \text{ RAMA por } Q1, \text{ por } V_{BE} \rightarrow 4V - 0V = I_B \cdot 33k + V_{BE} \Rightarrow I_B = 0.1mA$$

$$EC \text{ por } 0.1k \text{ (Ley de OHM)} \rightarrow I_{0.1k} = \frac{5.2V - 4V}{0.1k} = 12mA = I_D > 0$$

$$V_{CE} = 0.2V \text{ (Q1 SAT)} \Rightarrow V_O = V_C = V_S = 0.2V \Rightarrow V_{GS} = 5V$$

$$V_G = 7V - 1.8V = 5.2V$$

$$M1 \text{ SAT} \Rightarrow I_{DS} = K (V_{GS} - V_T)^2 = 9mA$$

$$\text{Ley de OHM en } R = 1k \rightarrow I_{1k} = \frac{7V - V_O}{1k} = \frac{7 - 0.2V}{1k} = 6.8mA$$

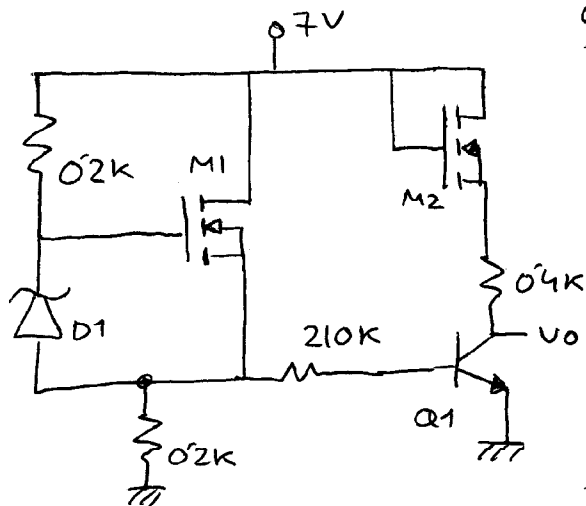
$$EC \text{ de NODO en } V_O \rightarrow I_{DS} + I_{1k} = 9mA + 6.8mA = 15.8mA = I_C$$

$$\text{SE comprueba que } I_C = 15.8mA < \beta \cdot I_B = 400 \cdot 0.1mA = 40mA$$

$$\text{EN M1 } V_{GS} = 5V \quad \text{y} \quad V_{GD} = V_G - V_D = 5.2 - 7 = -1.8V$$

$$\text{o} \quad V_{GD} = V_{GS} - V_{DS} = 5.0 - 6.8 = -1.8V$$

4 COMPROBACION (VER CUADRO DE SUPOSICIONES)



CALCULAR V_O

D1: $V_Z = 0.6V$ $V_Z = 3V$

Q1: $\beta = 400$ $V_{BE(sat)} = 0.7V$

M1 y M2: $K = 2mA/V^2$ $V_T = 1V$

1 INSPECCION

- POR EL ZENER PASA LA CORRIENTE EN SENTIDO CONTRARIO a la FLECHA Y HAY MUCHO MÁS DE 3V \Rightarrow ZENER.
- Q1 con R_B GRANDE y R_C PEQUEÑA \Rightarrow PROBABLEMENTE en Z.A.D.

2 SUPOSICION

D1 ZENER	Q1 ZAD
	$V_{BE} = 0.7V$ $I_C = \beta I_B$ $\beta = 400$
$I_Z > 0$ (6mA OK//)	$V_{CE} > 0.2V$ (2.986V OK//)

- M2 ES IMPOSIBLE QUE ESTE en LINEAL, EN CORTE TAMPOCO, pero $V_{GS} \sim 7V$
- M1 TIENE $V_{GS} = 3V$ (D1 en ZENER) \Rightarrow SUPONGO SATURACION $\Rightarrow I_{D1} = 8mA$

M1 SAT M2 SAT

EN SAT $I_{DS} = K(V_{GS} - V_T)^2$ | SIEMPRE $I_G = 0$

M1 M2

3V

2.4142V

3-4.2V

ϕ

OK//

OK//

$V_{GS} \leq V_T ? \rightarrow$ SI CORTE

\downarrow NO

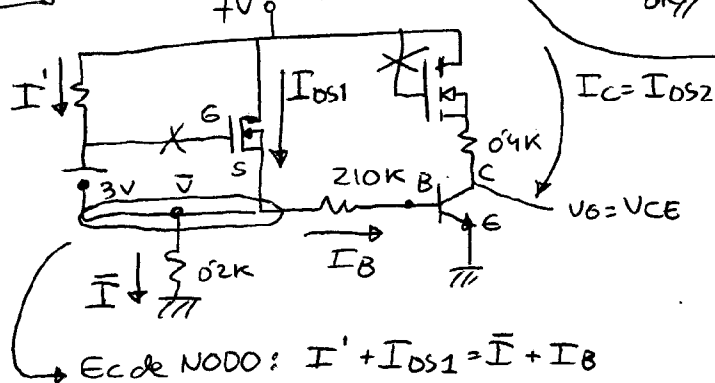
$(V_{GS} - V_{DS}) = V_{GS} \leq V_T \rightarrow$ SI SAT

\downarrow NO

LINEAL u OHMICA.

4 COMPROBACION

3 APLICACION de MODELOS



EC de NODO: $I' + I_{D1} = I + I_B$

$\frac{7 - (\bar{V} + 3V)}{0.2K} + 8mA = \frac{\bar{V} - \phi}{0.2K} + \frac{\bar{V} - V_{BE}}{210K}$

$20 - 5\bar{V} + 8 = 5\bar{V} + \frac{\bar{V}}{210} - \frac{1}{300}$

$\bar{V} = \frac{28 + 1/300}{10 + 1/210} = 2.799 \approx 2.8V$

$\bar{V} = 2.8V \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} I' = I_Z = 6mA ; V_{DS1} = (7 - 2.8) = 4.2V \\ I_B = 0.01mA \Rightarrow I_C = \beta I_B = 4mA = I_{D2} \end{array} \right\}$

$I_{D2} = 4mA$
 $I_{D2} = K(V_{GS2} - V_T)^2 \Rightarrow V_{GS2} = \pm 2.4142V$

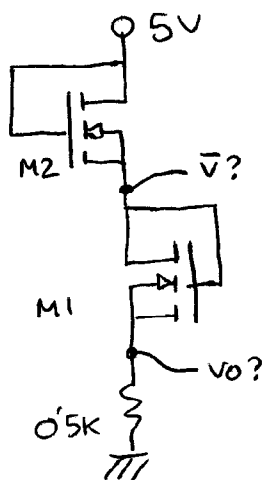
$V_{GS2} = -0.4142$ ES IMPOSIBLE, ESTARÍA EN CORTE

EN M2 $V_{GS} = V_{DS} = 2.4142V$

EC de RAMA (M2 \rightarrow 0.4K \rightarrow VCE)

$7 - 0 = V_{GS2} + 4mA \cdot 0.4K + V_{CE}$

$\Rightarrow V_{CE} = 2.986V = V_O$



CALCULAR \bar{V} y V_O

$M1, M2: k = 2 \text{ mA/V}^2 \quad V_T = 1 \text{ V}$

1 INSPECCION.

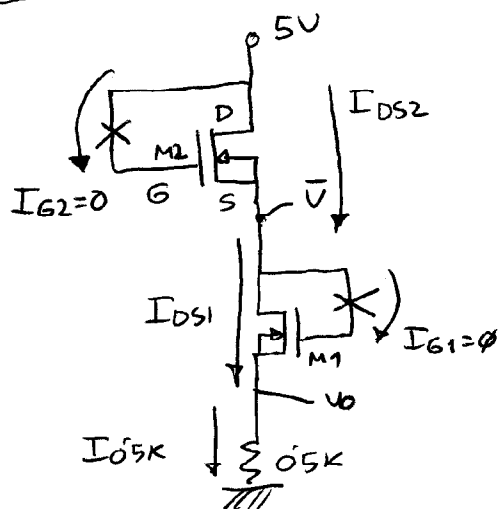
— AL ESTAR UNIDOS G_{SD} en M1 y en M2 NO ESTARAN EN ZONA LINEAL. SOLO PUEDEN ESTAR EN SATURACION o en CORTE (CORTE \Rightarrow TODO EL CIRCUITO SIN CONDUCIR \Rightarrow CTR INUTIL, IMPROBABLE)

2 SUPOSICION

M1 y M2 SAT.

$$I_G = 0 \quad I_{OS} = k \frac{(V_{GS} - V_T)^2}{2 \text{ mA/V}^2} \quad V_T = 1 \text{ V}$$

3 APLICAR MODELO



M1	M2	$V_{GS} \leq V_T?$
2V	2V	\rightarrow si CORTE
$V_{GD} = \emptyset$	$V_{GD} = \emptyset$	\downarrow NO
SAT	SAT	$(V_{GS} - V_{DS}) = V_{GD} = V_T \rightarrow$ si SAT
		\downarrow NO LINEAL u OHMICA.

4 COMPROBACION

$$\Rightarrow I_{OS2} = I_{OS1} = I_{O5K}$$

$$\Rightarrow 5V - 0V = V_{GS2} + V_{GS1} + I_{O5K} \cdot 0.5K$$

$$2 \frac{(V_{GS2} - 1V)^2}{k} = 2 \frac{(V_{GS1} - 1V)^2}{k} = \frac{V_O}{0.5K}$$

$$(V_{GS2} - 1) = \pm (V_{GS1} - 1)$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{GS2} = V_{GS1} + (+) \\ (-) \end{array} \right\} \text{UNICA SOLUCION POSIBLE}$$

$$\left. \begin{array}{l} (-) \rightarrow \text{si } (V_{GS2} - 1) > 0 \Rightarrow (V_{GS1} - 1) < 0 \Rightarrow \text{CORTE ! NO!} \\ \text{si } (V_{GS1} - 1) > 0 \Rightarrow (V_{GS2} - 1) < 0 \Rightarrow \text{CORTE ! NO!} \end{array} \right\}$$

$$5 = V_{GS1} + V_{GS1} + I_{OS}/2$$

$$5 = 2V_{GS1} + 2 \frac{(V_{GS1} - 1V)^2}{2}$$

$$(V_{GS} - 1)^2 + 2V_{GS} = 5$$

$$V_{GS}^2 = 4$$

$$V_{GS} = \pm 2V$$

$$V_{GS} = -2V \quad \text{IMPOSIBLE}$$

$$V_{GS} = +2V \quad \text{SOLUCION}$$

$$5V - \bar{V} = V_{GS2}$$

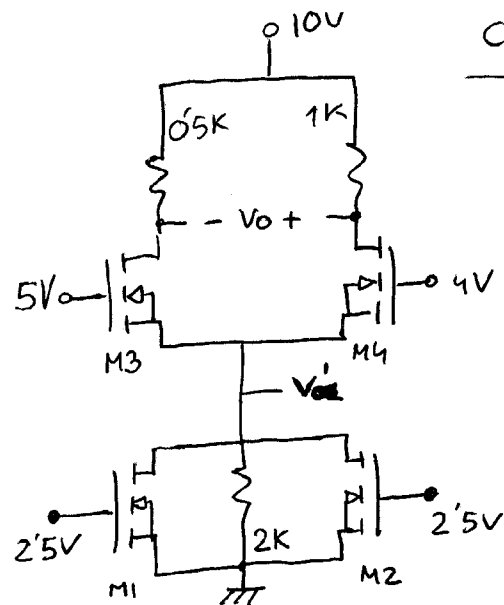
$$\downarrow$$

$$\bar{V} = 3V$$

$$V_{GS1} = V_{GS2} = 2V \quad \checkmark$$

$$I_{OS1} = I_{OS2} = I_{O5K} = 2 \text{ mA}$$

$$V_O = I_{O5K} \cdot 0.5K = 1V$$

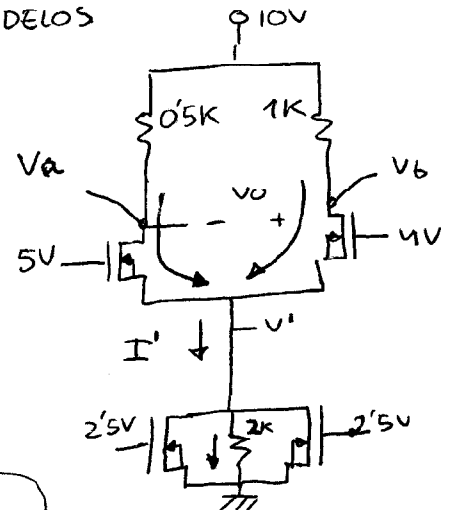


CALCULE V' y V_0

MOSFET: $K=2\text{mA/V}^2$ $V_T=1\text{V}$

1 TODOS LOS MOSFET TIENEN $V_G > V_T=1\text{V}$
VAMOS A SUPONERLOS EN SAT. ES
SEGURO QUE M1 y M2 NO ESTAN EN CORTE
PUES SU $V_{GS}=2.5\text{V}-0\text{V} > V_T$

3 APLICAR MODELOS



2 SUPOSICION

M1, M2, M3, M4 SAT.

TODOS $I_G=0$ $\swarrow 2\text{mA/V}^2$ $\swarrow 1\text{V}$
 $I_{DS}=K(V_{GS}-V_T)^2$

M1	M2	M3	M4
2.5V	2.5V	(5-2)	(4-2)
(2.5-2)	(2.5-2)	(3-V _a)	(2-V _b)
		(3-6)	(2-8)

$V_{GS} \leq V_T? \rightarrow \text{SI} \rightarrow \text{CORTE}$
 $\downarrow \text{NO}$
 $(V_{GS}-V_{DS}) \leq V_T? \rightarrow \text{SI} \rightarrow \text{SAT}$
 $\downarrow \text{NO}$
LINEAL u OHMICA.

EMPIEZO POR M1 y M2.
SE $V_{GS}=2.5\text{V} \Rightarrow$

$$I_{DSM1}=I_{DSM2}=2(2.5-1)^2=4.5\text{mA}$$

4 COMPROBACION: TODOS en SAT.

$$I_{DSM3}+I_{DSM4}=I'=I_{DSM1}+I_{2K}+I_{DSM2}$$

$\swarrow 4.5\text{mA}$ $\swarrow 4.5\text{mA}$

$$2\left(\underbrace{(5-V')}_{V_{GS_{M3}}}-\underbrace{V_T}_{1V}\right)^2+2\left(\underbrace{(4-V')}_{V_{GS_{M4}}}-\underbrace{V_T}_{1V}\right)^2=4.5+I_{2K}+4.5\text{mA}$$

$$2(4-V')^2+2(3-V')^2=9+V'/2$$

$$4V'^2-28V'+50=9+V'/2$$

$$8V'^2-57V'+82=0$$

$$V'=\begin{cases} 5.125\text{V} \rightarrow \text{IMPOSIBLE} \Rightarrow \text{M3 y M4 en CORTE} \\ 2\text{V} \leftarrow \text{POSIBLE} \end{cases}$$

$$V'=2\text{V} \Rightarrow \begin{cases} I_{2K}=1\text{mA} \Rightarrow I'=10\text{mA} \\ V_{GS_{M3}}=5-2=3\text{V} \quad V_{GS_{M4}}=4-2=2\text{V} \end{cases}$$

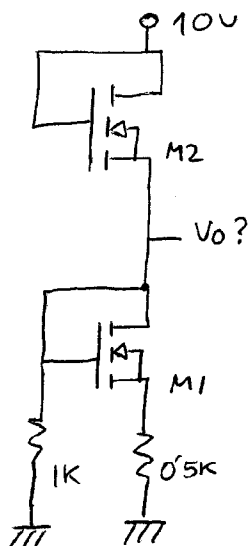
$$I_{DSM3}=\frac{10\text{V}-V_a}{0.5\text{K}}=8\text{mA}$$

$$\hookrightarrow V_a=6\text{V}$$

$$I_{DSM4}=\frac{10\text{V}-V_b}{1\text{K}} \Rightarrow V_b=8\text{V}$$

$$V_0=V_b-V_a=8\text{V}-6\text{V}=2\text{V}$$

$$\begin{cases} I_{DSM3}=8\text{mA} \\ I_{DSM4}=2\text{mA} \end{cases}$$



CALCULAR V_O

$M1, M2: k = 4 \text{ mA/V}^2 \quad V_T = 1 \text{ V}$

1 INSPECCION

- ES IMPROBABLE QUE $M1$ o $M2$ estén en CORTE.
- ES IMPOSIBLE QUE $M1$ o $M2$ estén en LINEAL ya que cuando se UNE G con D NO PUEDEN ESTAR EN ZONA LINEAL \Rightarrow LOS SUPONGO en SAT

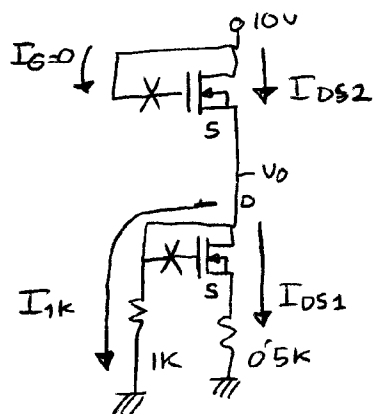
2 SUPOSICION

$M1$ y $M2$ SAT

$I_{DS} = K(V_{GS} - V_T)^2$ SIEMPRE
 $\uparrow 4 \text{ mA/V}^2 \quad \uparrow 1 \text{ V} \quad \uparrow I_G = 0$

3 APLICAR MODELOS

NO OLVIDAR QUE EN LOS MOSFET $I_G = 0$, ES UNA GRAN AYUDA.



$I_{DS2} = I_{1K} + I_{DS1}$

$V_O = V_{1K} = I_{1K} \cdot 1K$

$V_O = V_{GS1} + I_{DS1} \cdot 0.5K$

$M1$ $M2$
 $2.5V$ $(10-7V)$

OV

OV

$V_{GS} \leq V_T? \rightarrow$ SI

\downarrow NO

$(V_{GS} - V_{DS}) \leq V_T? \rightarrow$ SI SAT.

\downarrow NO

LINEAL u OHMICA

SAT

SAT

4 COMPROBACION

(TODAS LAS ECUACIONES CON V en VOLTIOS, I en mA, R en $k\Omega$)

RESOLUCION NUMERICA

$V_O = V_{GS1} + 2(V_{GS1} - 1)^2$
 (si se V_{GS1} , se V_O)

Ec. 1
 Ec. 2

$V_O + 4(V_{GS1} - 1)^2 - 4(9 - V_O)^2 = 0$

REVISO VALORES POSIBLES de V_{GS1} desde $V_{GS1} = V_T = 1 \text{ V}$ (NO PUEDE estar en CORTE) hasta $V_{GS1} = 10 \text{ V}$

V_{GS1}	V_O de Ec. 1	Ec. 2	¿es 0?
1	0	-324	NO
2	4	-92	NO
3	11	+11	NO
4	22	-618	NO
2.5	7	0	¡EXACTO! SOLUCION POSIBLE

OTRA SOLUCION MATEMATICA ENTRE $V_{GS1} = 3$ y $V_{GS1} = 4 \text{ V}$. PERO FISICAMENTE ES IMPOSIBLE PUES V_O NO PUEDE SUPERAR LOS 10V

$\rightarrow V_O = V_{GS1} + I_{DS1} \cdot 0.5K$

$V_O = V_{GS1} + 4(V_{GS1} - 1)^2 \cdot \frac{1}{2}$

$V_O = V_{GS1} + 2V_{GS1}^2 - 4V_{GS1} + 2$

$2V_{GS1}^2 - 3V_{GS1} + (2-2) = 0$

$V_{GS1} = \frac{3 \pm \sqrt{9 - 8(2-2)}}{4}$

$\rightarrow I_{DS2} = I_{1K} + I_{DS1}$

$4((10 - V_O) - 1)^2 = \frac{V_O}{1K} + 4(V_{GS1} - 1)^2$

ME SALEN 2 Ecs de 2º GRADO con 2 INCOGNITAS V_O y V_{GS1} .

SI INTENTO RESOLVERLAS ANALITICAMENTE PODRIA GASTAR MUCHO TIEMPO y al FINAL NO CONSEGUIRLA \Rightarrow LAS RESUELVO

