

# Ejercicios Transistor MOSFET

12. Hallar el punto de trabajo del MOSFET de canal n de la Figura 10:

- a) Si  $V_{GG} = -3,5V$
- b) Si  $V_{GG} = -3V$
- c) Si  $V_{GG} = -4V$

Datos:  $V_{SS} = -6V$ ,  $R_1 = 5,6k\Omega$ ,  $V_T = 2V$ ,  $k = 2 \cdot 10^{-3} \frac{A}{V^2}$ .

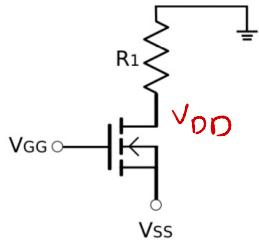


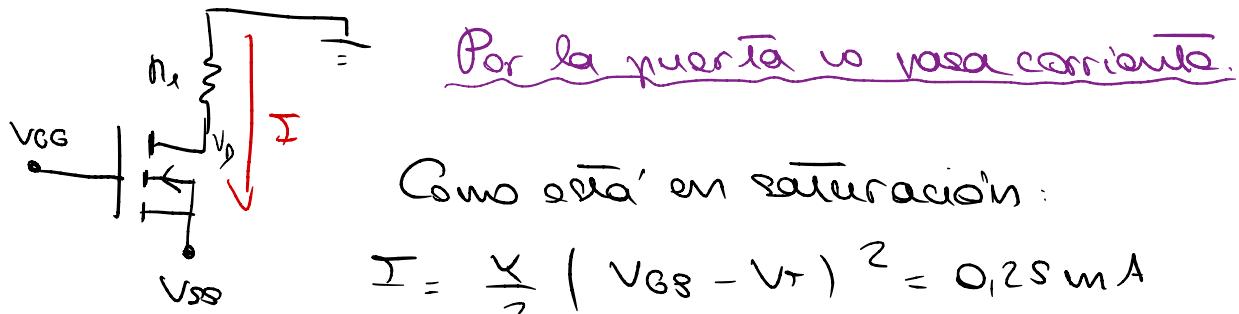
Figura 10:

$$a) V_{GG} = -3,5V$$

$$V_{GS} = V_{GG} - V_{SS} = -3,5V + 6V = 2,5V > 2V = V_T$$

 Transistor ON

Como sabemos que está encendido, debemos averiguar si está en líneas o en saturación:



Como está en saturación:

$$I = \frac{k}{2} (V_{GS} - V_T)^2 = 0,25mA$$

Ahora halla  $V_{DS}$

$$0 - I R_S - V_{DS} = V_{SS}$$

$$V_{DS} = -IR_S - V_{SS} = 4,6V$$

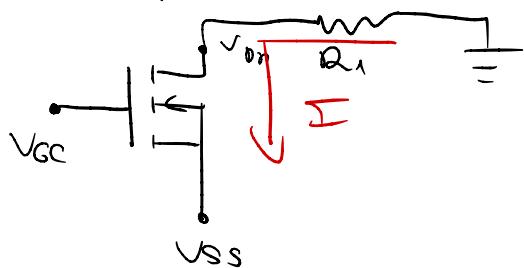
Para que esté en saturación se tiene que cumplir

$$V_{DS} > V_{GS} - V_T \Rightarrow 4,6V > 0,5V \quad \text{Se cumple, estás en saturación}$$

$$e) V_{GG} = -3 \text{ V}$$

$$V_{GS} = V_{GG} - V_{SS} = -3 + 0 = 3 > V_T \Rightarrow \text{ON}$$

- Separaremos saturación de vueltas.



$$I = \frac{k}{2} (V_{GS} - V_T)^2 = 8 \text{ mA}$$

Averiguamos  $V_{DS}$        $0 - IR_1 - V_{DS} = V_{SS}$

$$V_{DS} = 0,4 \text{ V}$$

$$V_{DS} > V_{SS} - V_T \Rightarrow 0,4 \text{ V} \cancel{>} 3 \text{ V}$$

S contrario.

Por descarte, tiene que estar en lineaal

Volvemos a calcular  $V_{DS}$ .

Líneaal:  $I = \frac{k}{2} [z(V_{GS} - V_T) V_{DS} - V_{DS}^2]$

$$0 - IR_1 - V_{DS} = V_{SS} \Rightarrow -\frac{k}{2} [z(V_{GS} - V_T) V_{DS} - V_{DS}^2] - V_{DS} = V_{SS}$$

Si agrupamos nos queda:

$$\frac{kR_1}{2} V_{DS}^2 - [kR_1(V_{GS} - V_T) + 1] V_{DS} - V_{SS} = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 5,6 V_{DS}^2 - 17,2 V_{DS} + 6 = 0$$

$$\left| \begin{array}{l} V_{DS} = 1,43 \text{ V} \Rightarrow V_{DS} > V_{GS} - V_T \Rightarrow \text{Absurdo} \\ V_{DS} = 0,78 \end{array} \right.$$

$$\left| \begin{array}{l} V_{DS} = 0,78 \Rightarrow V_{DS} < V_{GS} - V_T \end{array} \right.$$

$\hookrightarrow$  sustituyendo corilla nos da  $0,94 \text{ mA}$

c) Sale en corto el transistör.

**Puntos de trabajo:**

a)  $V_D = V_{DS} - V_{SS} = 4,8 - 6 = -1,2 \text{ V}$

$$V_G = -3,8 \text{ V}$$

$$V_S = -6 \text{ V}$$

$$I_D = 0,25 \text{ mA}$$

b)  $V_D = V_{DS} - V_{SS} = 0,75 - 6 = -5,25 \text{ V}$

$$V_G = -3 \text{ V}$$

$$V_S = -6 \text{ V}$$

$$I_D = 0,04 \text{ mA}$$

c)  $V_D = V_{DS} - V_{SS} = 0 \text{ V}$

$$V_G = -4 \text{ V}$$

$$V_S = -6 \text{ V}$$

$$I_D = 0 \text{ mA}$$

13. Determinar el valor de  $I_D$ ,  $V_{DS}$  y  $V_{GS}$  en el circuito de la Figura 11. Datos:  $V_{DD} = 12V$ ,  $R_1 = 2k\Omega$ ,  $R_2 = 1M\Omega$ ,  $V_T = 3V$ ,  $k = 0,48 \cdot 10^{-3} \frac{A}{V^2}$ .

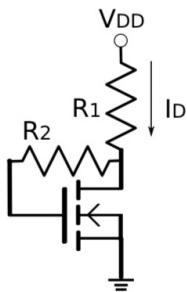


Figura 11:

Los encontramos ante un N-MOSFET que tiene la puerta en corto con el drenador, por lo que el transistör puede estar en saturación o en corte.

### Suponemos corte.

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_{DD} - 0V = 12V > V_T$$

" " " "

*No está en corte, nuestra suposición es absurda.*

### Suponemos saturación

$$V_{DS} = V_D - V_S = V_G - V_S = V_{GS} \Rightarrow V_{DS} > V_{GS} - V_T$$

*Estamos en saturación*

Sabemos que  $I_D = \frac{k}{2} (V_{GS} - V_T)^2$

Si hacemos el potencial por el camino marcado para averiguar  $V_{DS}$

$$V_{DD} - I_D R_1 - V_{DS} = 0 \Rightarrow V_{DD} - \frac{k}{2} (V_{GS} - V_T)^2 R_1 - V_{DS} = 0 \Rightarrow V_{DD} - \frac{k}{2} (V_{GS} - V_T)^2 R_1 - V_{DS} = 0$$

Damos valores y agrupamos:  $12 - \frac{0,48 \cdot 10^{-3}}{2} (V_{DS} - 3V)^2 \cdot 2000 \Omega - V_{DS} = 0$

$$12 - 0,48 (V_{DS} - 3)^2 - V_{DS} = 0$$

$$-9,48 V_{DS}^2 + 1,88 V_{DS} + 7,08 = 0$$

$$-948 V_{DS}^2 + 1,88 V_{DS} + 7,88 = 0$$

Esta ecuación nos da dos soluciones:

$$V_{DS} = -2,49 \text{ V} \Rightarrow \text{Incoherente} \quad V_{DS} = V_{GS} = -1,49 \text{ V} < 3 \text{ V}$$

$$V_{DS} = 6,41 \text{ V} \rightarrow I_S \text{ es coherente}$$

Vamos a obtener  $I_D$  con  $V_{GS} = 6,41 \text{ V}$

$$I_D = \frac{k}{2} (V_{GS} - V_T)^2 = 2,79 \text{ mA}$$

$$V_{DS} = V_{GS} = 6,41 \text{ V}$$

$$I_D = 2,79 \text{ mA}$$

14. En el circuito de la Figura 12:

a) Suponiendo  $V_{GG} = 0V$ , ¿cuál es el estado del transistor?

b) Suponiendo que ahora  $V_{GG}$  aumenta desde 0, ¿para qué tensión empieza a conducir el MOSFET?

c) En el momento en que entra en conducción, ¿en qué zona de trabajo (óhmica o saturación) se encuentra?

Datos:  $V_{DD} = 15V$ ,  $V_{SS} = 5V$ ,  $R_{G1} = 120\Omega$ ,  $R_{G2} = 220\Omega$ ,  $R_d = 4,7k\Omega$ ,  $V_T = 2V$ ,  $k = 2 \cdot 10^{-3} \frac{A}{V^2}$ .

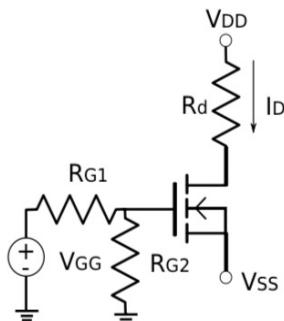


Figura 12:

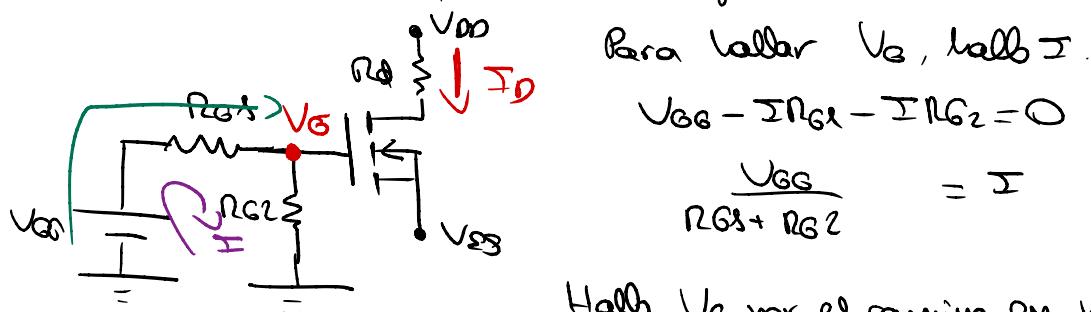
a) Si  $V_{GG} = 0V$ , tendremos que  $V_G = 0V$

$V_{GS} = 0 - 5V = -5V < V_T = 2V \Rightarrow$  En corte

No hay corriente  
ni por  $R_{G1}$  ni  $R_{G2}$ .

b) El mosfet conducirá cuando  $V_{GS} = V_T$

Hay que tener en cuenta que ahora la tensión en la puerta si que se verá afectada por los dos resistores.



Halla  $V_G$  por el camino en verde

$$V_{GS} - I R_{G1} = V_G$$

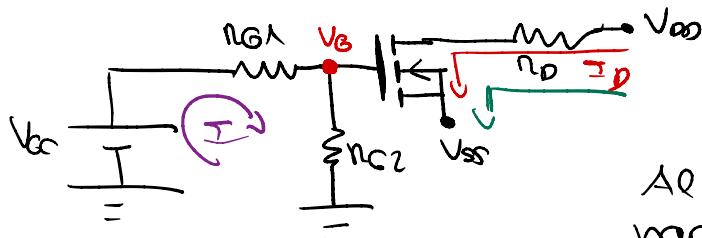
$$V_{GS} - \frac{V_{GS} - V_G}{R_{G1} + R_{G2}} = V_G$$

$$0,65 V_{GS} - V_G = 2V \quad \Leftrightarrow \quad V_{GS} - 0,33 V_{GS} = V_G \\ V_{GS} = 1,67V \quad \quad \quad 0,65 V_{GS} = V_G$$

Aquí empieza a conducir

c) Como de costumbre, vamos a empezar suponiendo un estado:

- Saturación (para  $V_{GS} = 10.77V$ )



Sabemos que  $V_{DS} = 2V = V_T$  para  $V_{GS} = 10.77V$ .

Al sustituir en la ecuación para saturación:

$$I_D = \frac{V}{2} (2 - 2)^2 = 0A$$

||

Que es corriente nula porque  $10.77V$  también pertenece a la zona de corte

Miremos ahora que ocurre con  $V_{DS}$  (según sea la trayectoria verde).

$$V_{DD} - I_D R_D - V_{DS} = V_{SS}$$

$$V_{DD} - V_{SS} = V_{DS}$$

$$V_{DS} = 10V \Rightarrow V_{GS} - V_T$$

||

Corriente con sat.

15. En el circuito de la Figura 13:

- a) Hallar el punto de trabajo y la potencia disipada en cada uno de los transistores del MOSFET de canal n de la figura, si  $V_{GG} = 3V$ .

5

- b) Calcular la tensión  $V_{GG}$  máxima para que  $M_1$  se mantenga en la región lineal.

Datos:  $V_{DD} = 9V$  Para  $M_1$ :  $V_{T1} = 1V$ ,  $k_1 = 4 \cdot 10^{-3} \frac{A}{V^2}$ . Para  $M_2$ :  $V_{T2} = 2V$ ,  $k_2 = 2 \cdot 10^{-3} \frac{A}{V^2}$

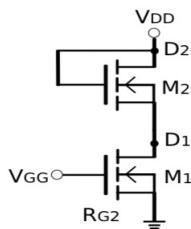
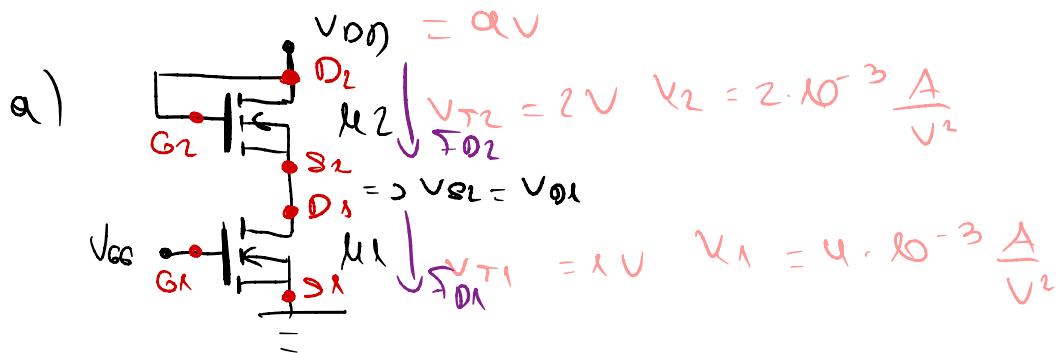


Figura 13:



Todo apunta a que M<sub>2</sub> está en saturación (al tener la puesta y el drenador cortocircuitados).

• Consideramos suponiendo que ambos están en saturación.

(Hay que tener en cuenta que, a la vista del circuito,  $I_{D2} = I_{D1}$ )

$$I_{D2} = I_{D1} \Rightarrow \frac{k_2}{2} (V_{DD} - V_{T2})^2 = \frac{k_1}{2} (V_{GG} - V_{T1})^2$$

$$\frac{V_2}{2} = 0,5 \quad \frac{k_2}{2} (V_{DD} - V_{S2} - V_{T2})^2 = \frac{k_1}{2} (V_{GG} - V_{S1} - V_{T1})^2$$

$$0,5 (7 - V_{S2})^2 = (2)^2$$

$$0,5 (7 - V_{S2})^2 = (2)^2 = 4$$

$$0,5 \cdot 7^2 - 0,5 \cdot 2 \cdot 7 \cdot V_{S2} + 0,5 V_{S2}^2 = 4$$

$$0,5 V_{S2}^2 - 7 V_{S2} + 20,5 = 0$$

$$V_{S2} = 9,82V \Rightarrow V_{G2} - V_{S2} = 9 - 9,82 < V_{T2} \Rightarrow \text{Alguno}$$

$J_{S2} = 4,12V$  correcto

Ya sabemos que  $V_{S1} = V_{D1} = 4,17 \text{ V}$

¿Está bien nuestra suposición?

M<sub>1</sub>  $V_{DS1} > V_{GS1} - V_{T1} \Rightarrow V_{S2} > 3 - 1 \quad \checkmark$

M<sub>2</sub> Está en saturación porque  $V_B = 3 \text{ V} > V_T2$  y hay un corto entre la puerta y el drenador.

Por tanto estamos en el escenario correcto.

Puntos de trabajo:

Mosfet 1	Mosfet 2
$V_{G1} = V_{GS} = 3 \text{ V}$	$V_{G2} = V_{DD} = 9 \text{ V}$
$V_{S1} = 0 \text{ V}$	$V_{S2} = 4,17 \text{ V}$
$V_{D1} = V_{S2} = 4,17 \text{ V}$	$V_{D2} = 9 \text{ V}$
$I_{D1} = 8 \text{ A}$	$I_{D2} = 8 \text{ A}$

Potencias dissipadas

$$P_{M1} = I_{D1} V_{DS1} = 33,36 \text{ W}$$

$$P_{M2} = I_{D2} V_{DS2} = 38,16 \text{ W}$$

e) Calcular  $V_{GS}$  máxima para que M<sub>1</sub> se mantenga en nivel

Sabemos que M<sub>1</sub> se mantendrá siempre en saturación, así que ya sabemos:

$$I_{D1} = I_{D2}$$

Además, el valor límite verificará la transición de saturación a nivel:

$$V_{DS1} = V_{G1} - V_{T1} \Rightarrow V_{D1} = V_{GS} - V_{T1}$$

Por tanto voy a intentar calcular  $V_{GS}$  haciendo uso de la igualdad entre intensidades y de la fórmula de saturación para M<sub>1</sub> (aunque podría usar la de nivel).

$$I_{D1} = I_{D2} \Rightarrow \frac{V_2}{2} (V_{GS1} - V_{T1})^2 = \frac{V_2}{2} (V_{GS2} - V_{T2})^2$$

$$2(V_{GS} - V_{T1})^2 = (V_{DD} - V_{S2} - V_{T2})^2$$

$\begin{matrix} \parallel \\ V_{D1} \end{matrix}$

$\begin{matrix} \parallel \\ V_{GS} - V_{T1} \end{matrix}$

$$= (V_{DD} - V_{S2})^2$$

$$2(V_{GS} - \beta) = (q - V_{GS} + l - z)^2$$

$$2V_{CO}^2 - 4V_{CO} + 2 = 8^2 + V_{SC}^2 - 2 \cdot q \cdot V_{SC}$$

$$V_{CE}^2 + RL V_{CE} - RL = 0$$

$$V_{QB} = 3,89 \text{ V} \rightarrow \text{Gleichheit}$$

$$V_{GG} = -15,89 \text{ V} \rightarrow \text{Ausmod}$$

$V_{GS} = 3.82\text{V}$  as la solución

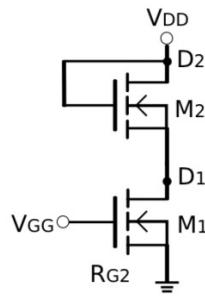


Figura 13:

16. Hallar el punto de trabajo y la potencia disipada en cada uno de los transistores del MOSFET de canal n de la Figura 13, si  $V_{GG} = 5V$ . Datos:  $V_{DD} = 9V$  Para  $M_1$ :  $V_{T1} = 1V$ ,  $k_1 = 4 \cdot 10^{-3} \frac{A}{V^2}$ . Para  $M_2$ :  $V_{T2} = 2V$ ,  $k_2 = 2 \cdot 10^{-3} \frac{A}{V^2}$

Para trival se situación ante la que los vamos a encontrar en vamos los resultados del ej anterior.

$M_1 \rightarrow$  lineal y  $M_2 \rightarrow$  saturación

$$I_{D2} = I_{D1}$$

$$\frac{k_2}{2} \left( V_{GS2} - V_{T2} \right)^2 = \frac{k_2}{2} \left[ 2(V_{GS1} - V_{T1}) V_{DS1} - V_{DS1}^2 \right]$$

$$\frac{V_{GS2}}{\text{--}} = \frac{V_{DD} - V_{S2}}{5V}$$

$$\frac{V_{GS1}}{\text{--}} = \frac{V_{G1}}{1V}$$

$$\frac{V_{DS1}}{\text{--}} = \frac{V_{D1}}{V_{S1}}$$

$$\frac{V_{DS2}}{\text{--}} = \frac{V_{D2}}{V_{S2}}$$

$$(7 - V_{S2})^2 = 2 \left( 2(V_{S1}) V_{S2} - V_{S2}^2 \right)$$

$$49 - 14V_{S2} + V_{S2}^2 = 14V_{S1} - 2V_{S2}^2$$

$$3V_{S2}^2 - 20V_{S2} + 49 = 0$$

$$V_{S2} = 7,04V \xrightarrow{\text{Acuerdo}} V_{S2} - V_{D2} = 9 - 7,04 = 1,96 < V_{T2}$$

$$V_{S1} = 7,08V \quad \text{Correcta}$$

### Punto de Trabajo

$$V_{G1} = V_{G0} = 5V$$

$$V_{G2} = V_{D2} = 9V$$

$$V_{D1} = 2,06V$$

$$V_{D2} = 9V$$

$$I_{D1} = 24,4A$$

$$I_{D2} = 24,4A$$

$$P_{M1} = I_{D1} V_{DS1} = 80,28W \quad P_{M2} = I_{D2} V_{DS2} = 169,34W$$

17. Los transistores NMOSFET de la Figura 14 son iguales. Se quiere que la corriente de drenador sea igual en ambos transistores. Calcular  $V_{GS}$  para  $M_1$  y  $M_2$  y el valor de  $R_1$ . Justifique la zona de trabajo para ambos transistores. Datos:  $V_{DD} = 15V$ ,  $V_T = 0,6V$ ,  $k = 4 \cdot 10^{-3} \frac{A}{V^2}$ ,  $R_2 = 1M\Omega$ ,  $I_1 = I_2 = 2mA$ ,  $R_3 = 1,5k\Omega$ .

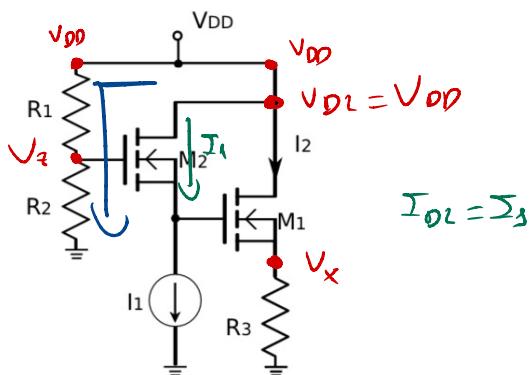


Figura 14:

Si queremos que vor ambas transistores para la misma intensidad,

$$I_{D2} = I_S = I_2 = I_{D1} = 2mA$$

$$V_{S2} = V_{G1}$$

$$V_{DS} = V_{D2} = V_{DD}$$

$$V_{G2} = V_x$$

$$V_{GS1} = V_x = I_S \cdot R_3 = 2mA \cdot 1,5k\Omega = 3V$$

Vamos a emplear suponiendo que  $M_1$  está en saturación

$$I_S = \frac{k}{2} (V_{GS1} - V_T)^2 \Rightarrow 2 \cdot 10^{-3} A = 2 \cdot 10^{-3} (V_{G1} - 3V - 0,6V)^2 \Rightarrow \\ \Rightarrow 3 = V_{G1}^2 - 7,2 V_{G1} + 11,04$$

$$V_{G1}^2 - 7,2 V_{G1} + 11,04 = 0$$

$$V_{G1} = 4,8V \Rightarrow V_{GS1} = 1,6V \rightarrow \text{Correcto}$$

$$V_{G1} = 2,6V \Rightarrow V_{GS1} = -0,4 < V_T$$

Alguno

Comprobamos si se cumple saturación:

$$V_{DS1} > V_{GS1} - V_T \rightarrow 15 - 3 > 1,6 - 0,6 \quad \checkmark$$

- Suponemos que el mosfet 2 también está en saturación

$$I_{D2} = \frac{V_2}{2} (V_{GS2} - V_{G2})^2$$

$$s = (V_2 - 4,6V - 0,6V)^2$$

$$\overset{"}{V_{D2}} \quad \overset{"}{V_{GS1}} = V_{GS2}$$

$$l = V_2^2 - 10,4V_2 + 27,04$$

$$V_2^2 - 10,4V_2 + 27,04 = 0$$

$$V_2 = 6,2V \rightarrow \text{Correcta}$$

$$V_2 = 4,1V \Rightarrow V_{GS} = -0,4V \quad \text{Al serlo}$$

Comprobamos si se cumple saturación

$$V_{DS2} > V_{GS2} - N_{T2} \Rightarrow V_{DD} - V_{G1} > 6,2 - 4,6 - 0,6$$

$$1,8 - 0,6 > 6,2 - 4,6 - 0,6 \quad \checkmark$$

Para hallar  $R_L$ , siga el camino en azul

$$V_{DD} - I_{R1} \cdot R_L = 0$$

$$\frac{V_{DD}}{R_L + R_1} = 0 \Rightarrow V_2 = \frac{V_{DD} \cdot R_L}{R_L + R_1}$$

Por el segundo mosfet:

$$V_2 = 6,2V = \frac{V_{DD} \cdot R_L}{R_L + R_1} \Rightarrow 6,2V = \frac{1,8 \cdot 10^3}{R_L + 1 \cdot 10^6}$$

$$6,2V \cdot R_L + 6,2 \cdot 10^3 = 1,8 \cdot 10^3$$

$$R_L = 1,412 \cdot 10^6 \Omega$$