

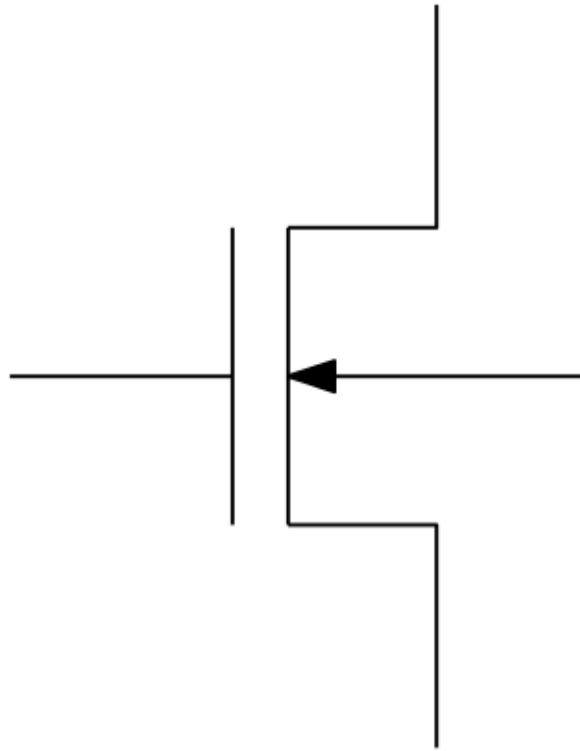
[86.03/66.25] Dispositivos Semiconductores

1er Cuatrimestre de 2020

# Transistor MOS

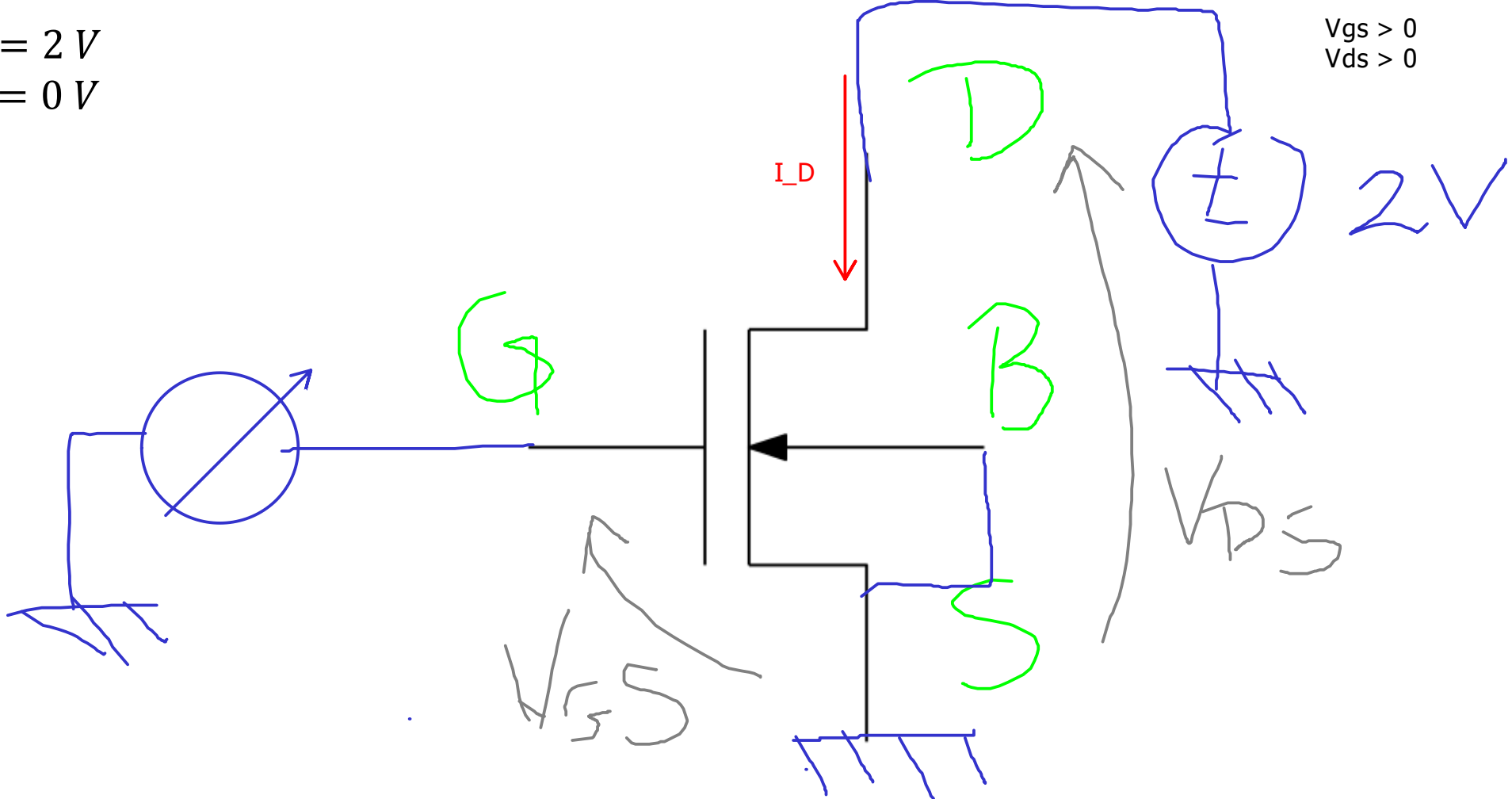
Se desea medir la curva de transferencia ( $I_D$  vs  $V_{GS}$ ) transistor NMOS con  $V_T = 1\text{ V}$ ,  $k = \frac{\mu_n C'_{ox} W}{2 L} = 0.5 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$  y  $\lambda \simeq 0$ . El dispositivo se conecta de forma de tal de obtener  $V_{DS} = 2\text{ V}$  y  $V_{BS} = 0\text{ V}$  fijos y se varía  $V_{GS}$ .

- Calcular el rango de tensiones  $V_{GS}$  para el cual el dispositivo se encontrara operando en los regímenes de corte, saturación y trío.
- Graficar la curva  $I_D$  vs  $V_{GS}$  resultante.
- Si contáramos con la medición de la curva de transferencia ¿Cómo estimaría los valores de  $k$  y  $V_T$ ?



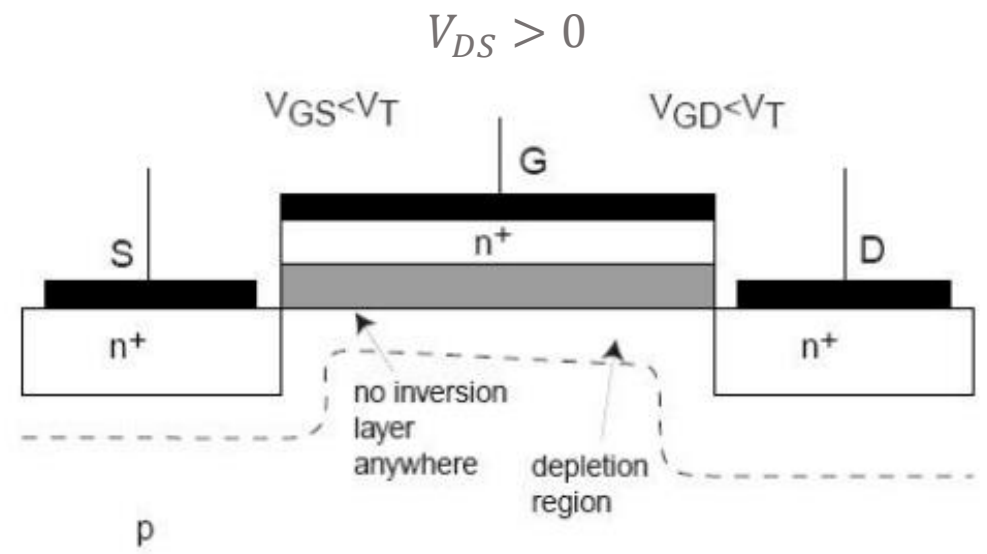
a) Calcular el rango de tensiones  $V_{GS}$  para el cual el dispositivo se encontrara operando en los regimenes de corte, saturación y triodo.

$$V_{DS} = 2V$$
$$V_{BS} = 0V$$



Corte:  $\begin{cases} V_{GS} < V_T \\ V_{GD} < V_T \end{cases} \rightarrow I_D = 0$

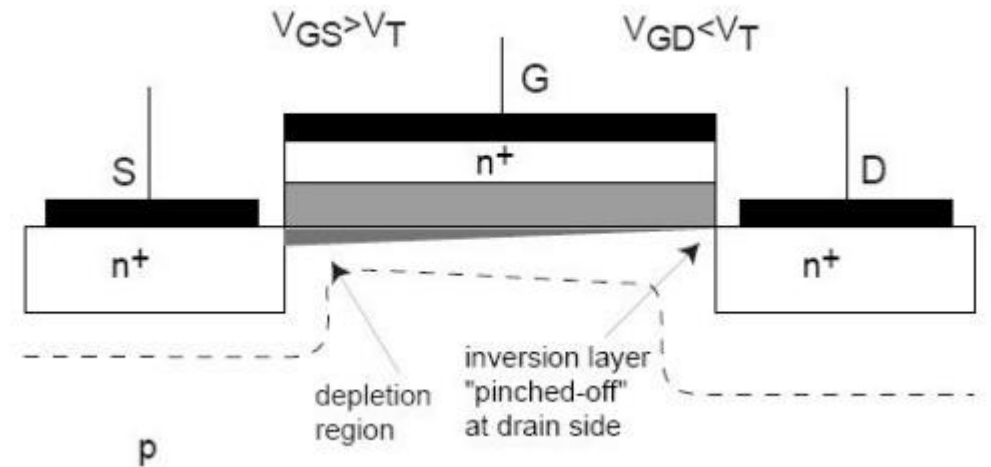
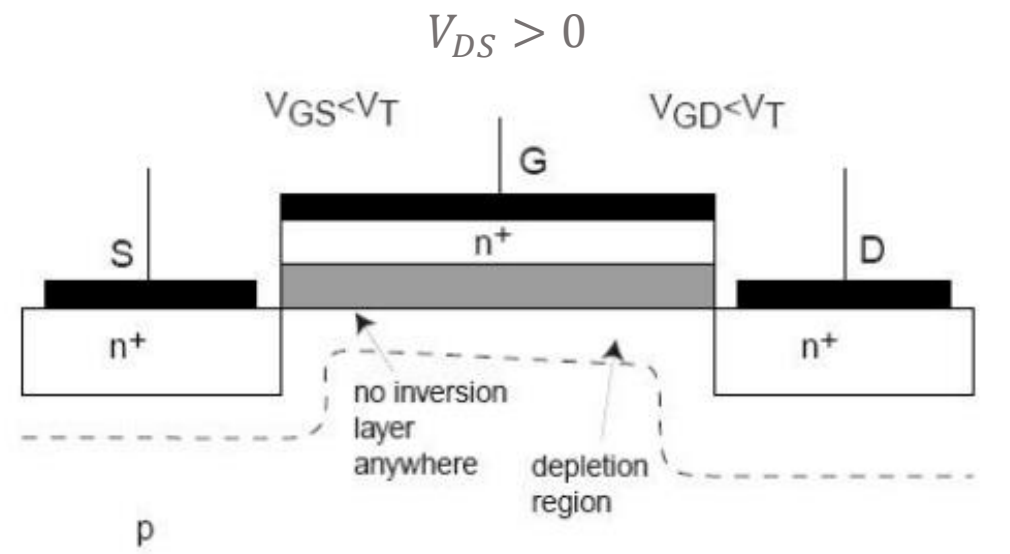
$V_{GS} < V_T = 1\text{ V}$



Corte:  $\begin{cases} V_{GS} < V_T \\ V_{GD} < V_T \end{cases} \rightarrow I_D = 0$

$V_{GS} < V_T = 1V$

Saturación:  $\begin{cases} V_{GS} > V_T \\ \underline{V_{GD} < V_T} \end{cases} \rightarrow I_D \neq 0$

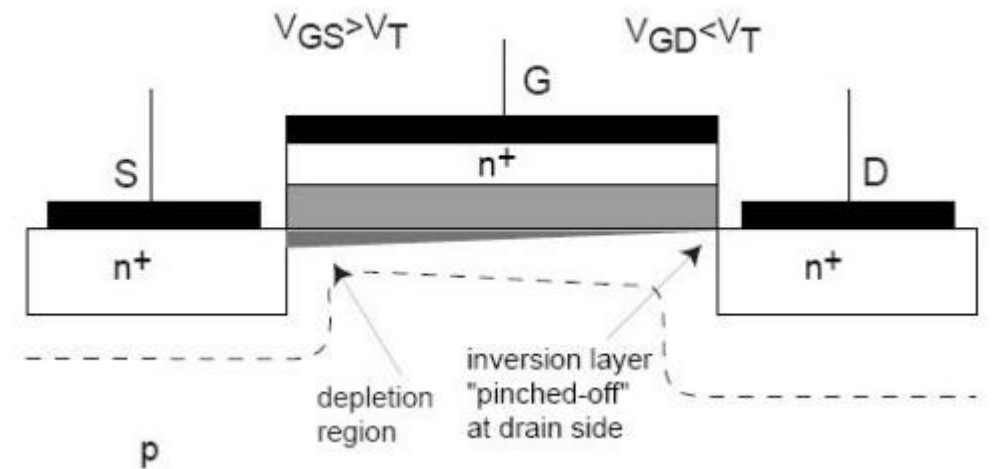
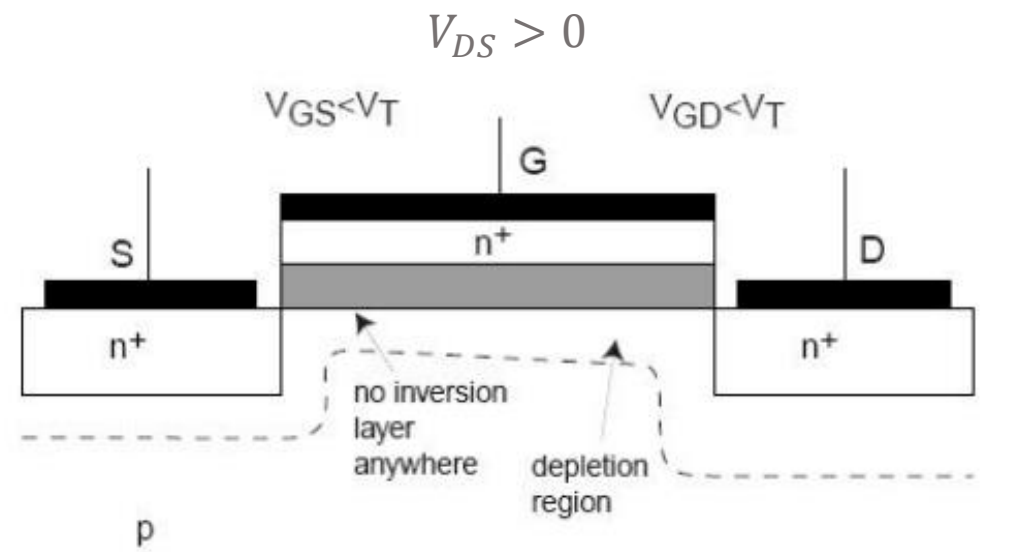


Corte:  $\begin{cases} V_{GS} < V_T \\ V_{GD} < V_T \end{cases} \rightarrow I_D = 0$

$\rightarrow V_{GS} < V_T = 1\text{ V}$

Saturación:  $\begin{cases} V_{GS} > V_T \\ \underline{V_{GD} < V_T} \end{cases} \rightarrow I_D \neq 0$

$\rightarrow V_{GD} = V_G - V_D = V_G - V_D + \underline{V_S - V_S} = \underline{V_{GS} - V_{DS}}$



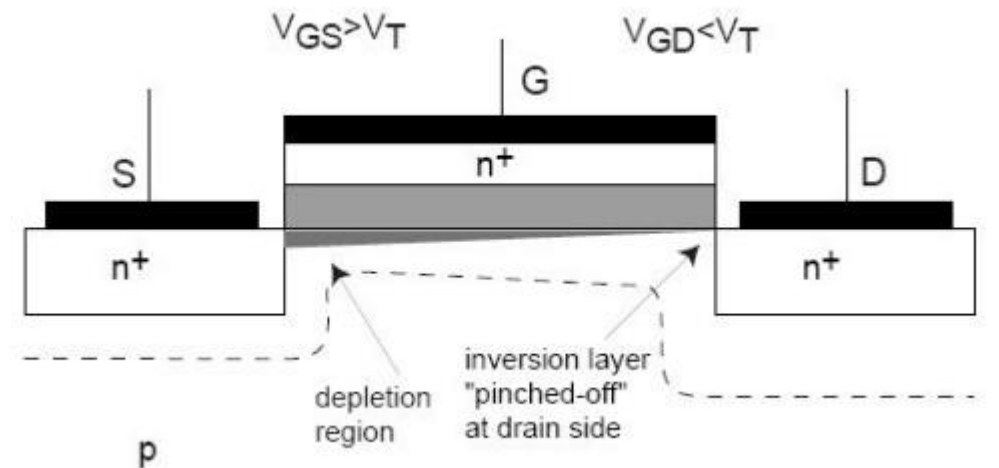
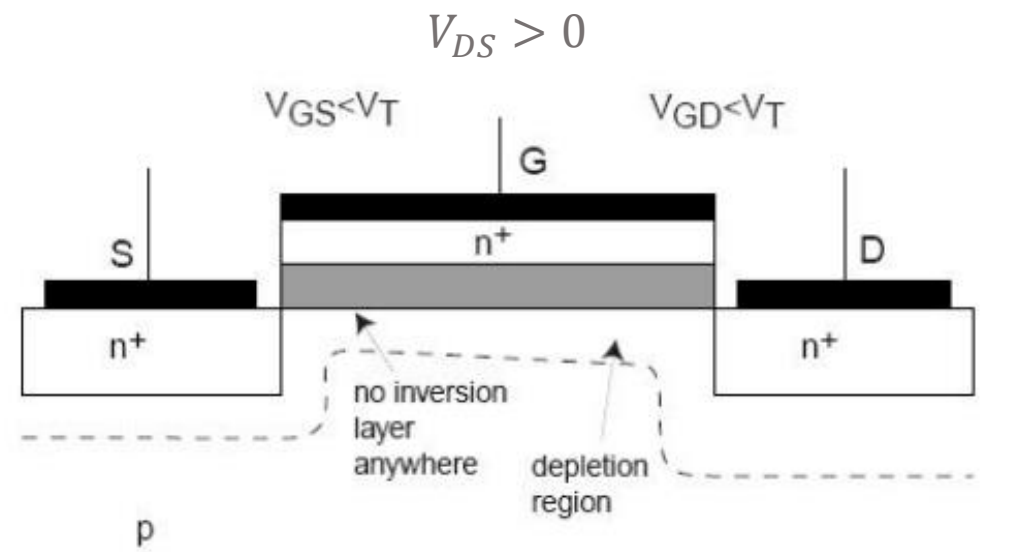
Corte:  $\begin{cases} V_{GS} < V_T \\ V_{GD} < V_T \end{cases} \rightarrow I_D = 0$

$\rightarrow V_{GS} < V_T = 1\text{ V}$

Saturación:  $\begin{cases} V_{GS} > V_T \\ V_{GD} < V_T \end{cases} \rightarrow I_D \neq 0$

$\rightarrow V_{GD} = V_G - V_D = V_G - V_D + V_S - V_S = V_{GS} - V_{DS}$

$\rightarrow V_{GD} < V_T \rightarrow V_{DS} > \underbrace{V_{GS} - V_T}_{V_{DS_{sat}}}$



Corte:  $\begin{cases} V_{GS} < V_T \\ V_{GD} < V_T \end{cases} \rightarrow I_D = 0$

$\rightarrow V_{GS} < V_T = 1V$

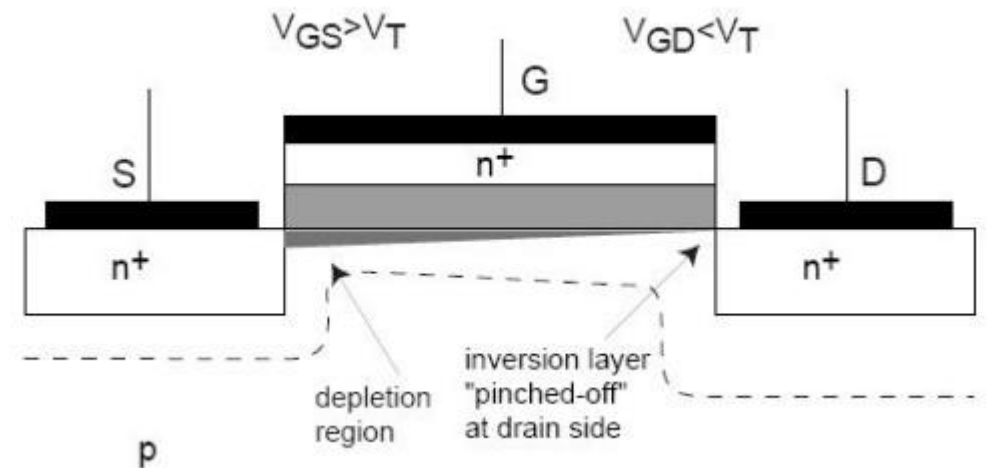
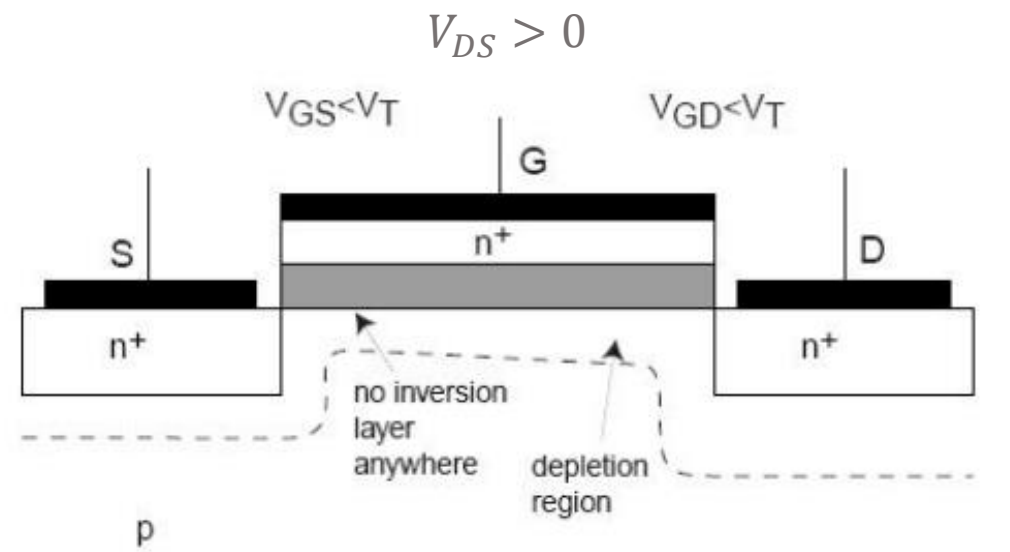
Saturación:  $\begin{cases} V_{GS} > V_T \\ V_{GD} < V_T \end{cases} \rightarrow I_D \neq 0$

$\rightarrow V_{GD} = V_G - V_D = V_G - V_D + V_S - V_S = V_{GS} - V_{DS}$

$\rightarrow V_{GD} < V_T \rightarrow V_{DS} > V_{GS} - V_T = V_{DS_{sat}}$

Tenemos dos restricciones. Reemplazando con los datos:

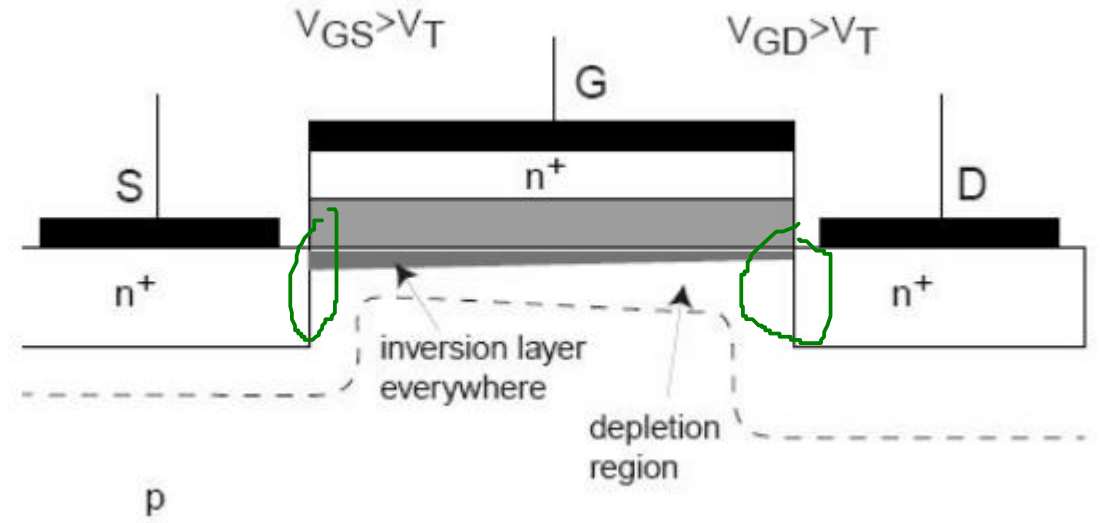
$\begin{cases} \rightarrow V_{GS} > V_T = 1V \\ \rightarrow V_{GS} < V_{DS} + V_T = 3V \end{cases} \rightarrow \underline{1V} < V_{GS} < \underline{3V}$





Triodo/lineal:  $\begin{cases} V_{GS} > V_T \\ V_{GD} > V_T \end{cases} \rightarrow \underline{I_D \neq 0}$

$\rightarrow V_{GD} > V_T \rightarrow V_{DS} < V_{GS} - V_T = V_{DS_{sat}}$

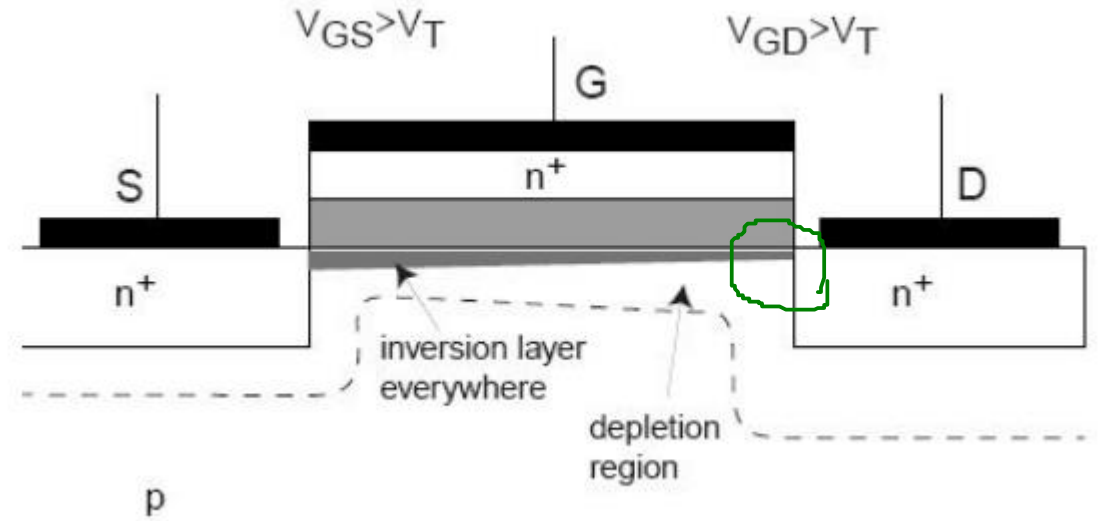


Triodo/lineal:  $\begin{cases} V_{GS} > V_T \\ V_{GD} > V_T \end{cases} \rightarrow I_D \neq 0$

$\rightarrow V_{GD} > V_T \rightarrow V_{DS} < V_{GS} - V_T = V_{DSsat}$

En este caso se reduce a una restricción

$\left. \begin{array}{l} \rightarrow V_{GS} > V_T = 1V \\ \rightarrow V_{GS} > V_{DS} + V_T = 3V \end{array} \right\} \rightarrow V_{GS} > 3V$

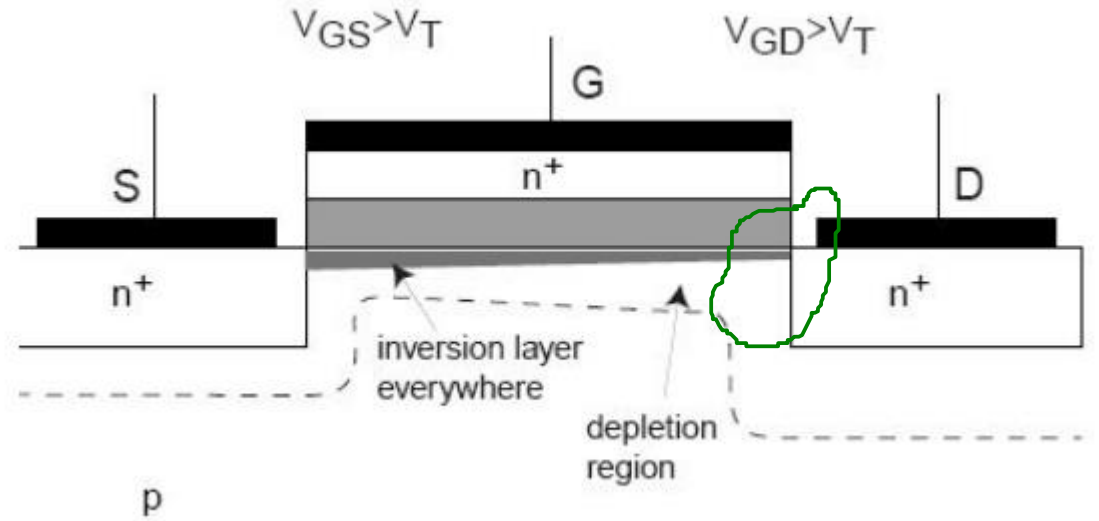


Triodo/lineal:  $\begin{cases} V_{GS} > V_T \\ V_{GD} > V_T \end{cases} \rightarrow I_D \neq 0$

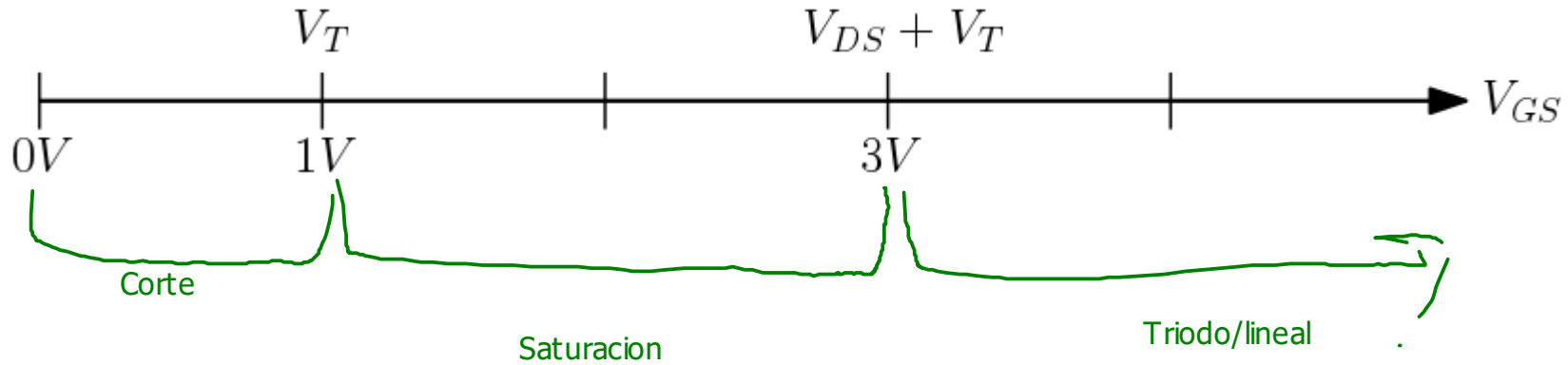
$\rightarrow V_{GD} > V_T \rightarrow \underline{V_{DS} < V_{GS} - V_T = V_{DSsat}}$

En este caso se reduce a una restricción

$\begin{cases} \rightarrow V_{GS} > V_T = 1V \\ \rightarrow V_{GS} > V_{DS} + V_T = 3V \end{cases} \rightarrow V_{GS} > 3V$

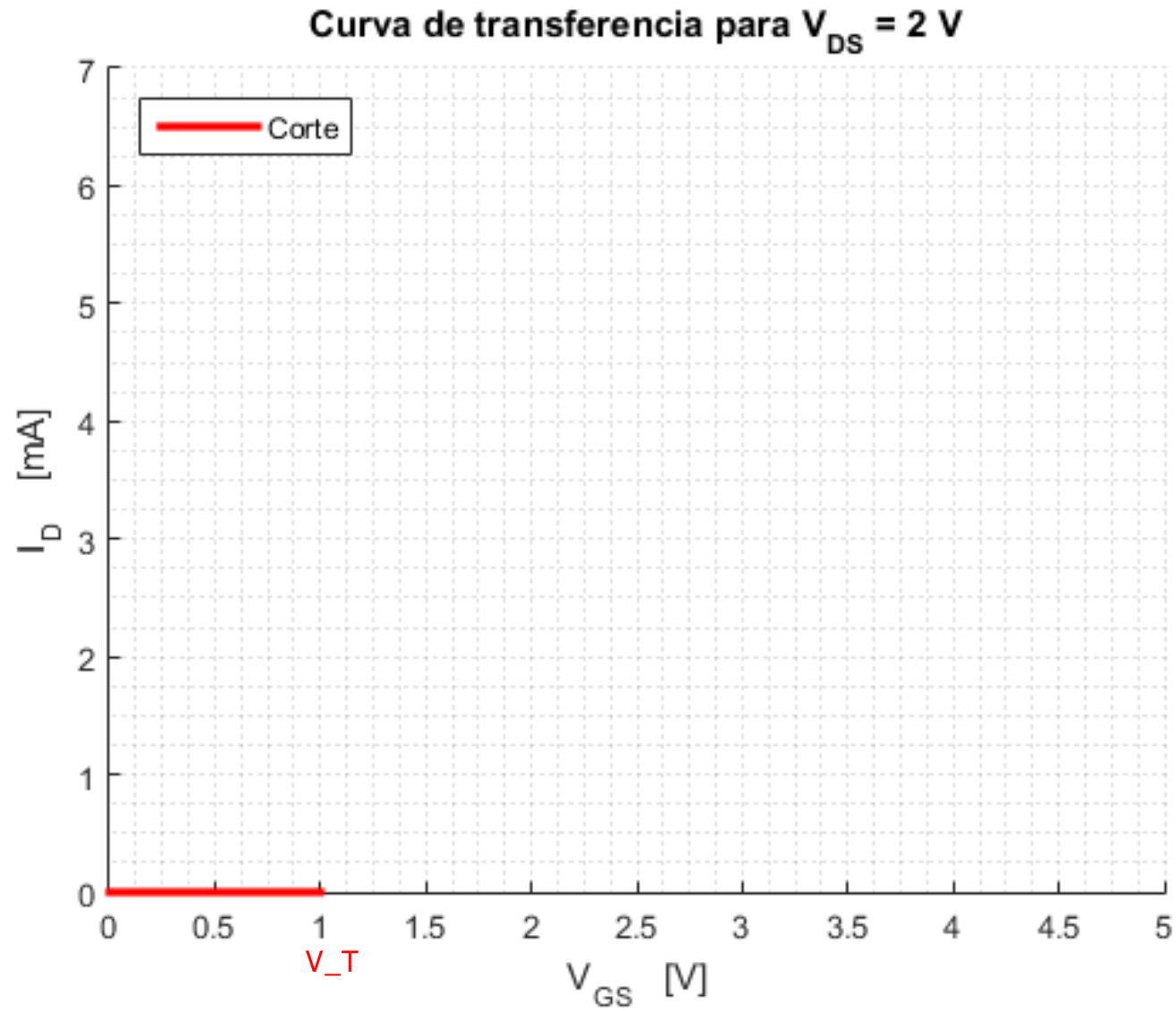


8



b) Graficar la curva  $I_D$  vs  $V_{GS}$  resultante.

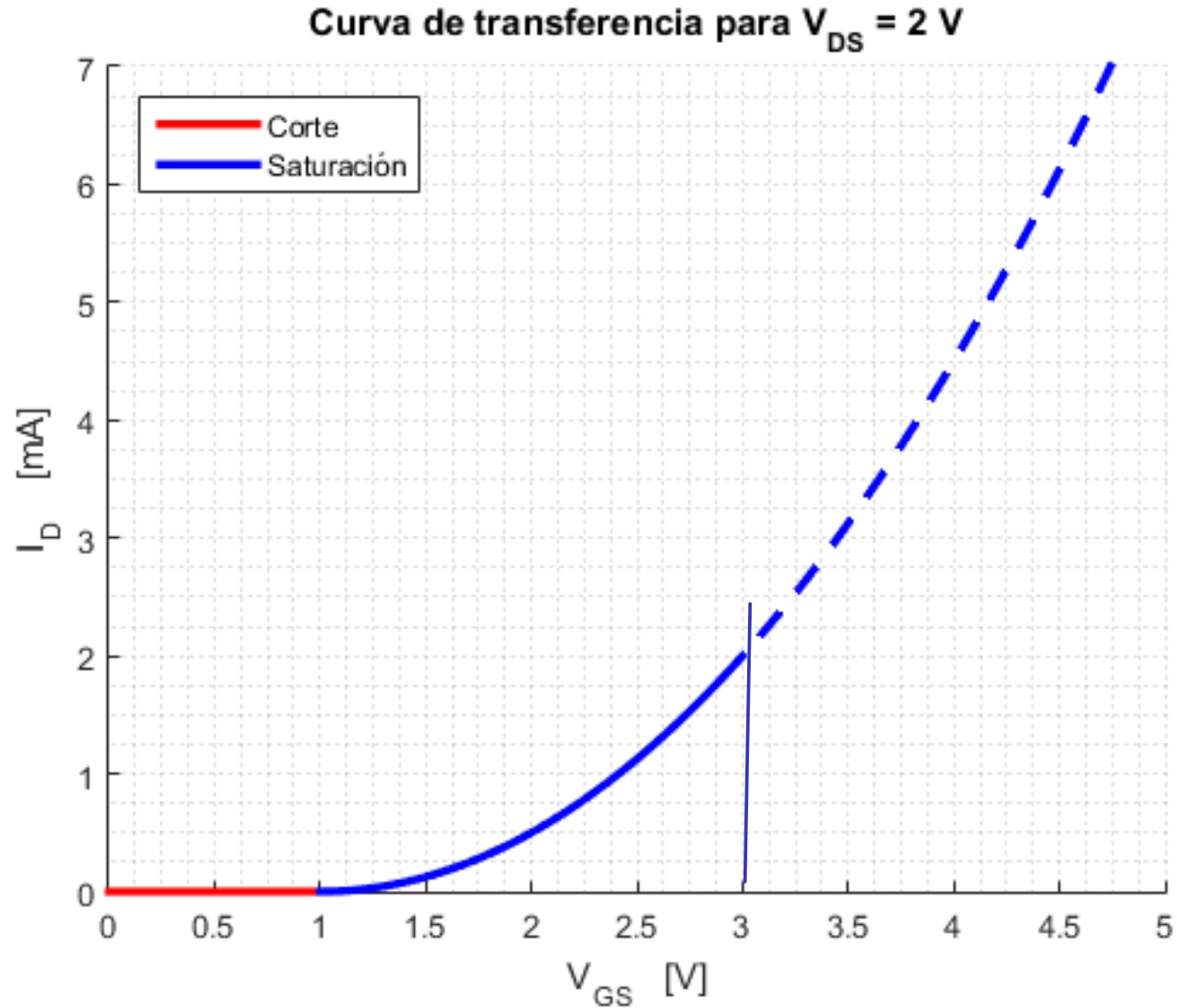
Corte:  $0 < V_{GS} < 1\text{ V} \rightarrow I_D = 0$



Saturación:  $1\text{ V} < V_{GS} < 3\text{ V}$   $\rightarrow$

$$I_D = \frac{\mu_n C'_{ox} W}{2 L} (V_{GS} - V_T)^2$$

- $k = \frac{\mu_n C'_{ox} W}{2 L} = 0.5 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$
- $V_T = 1\text{ V}$
- $\lambda \approx 0$

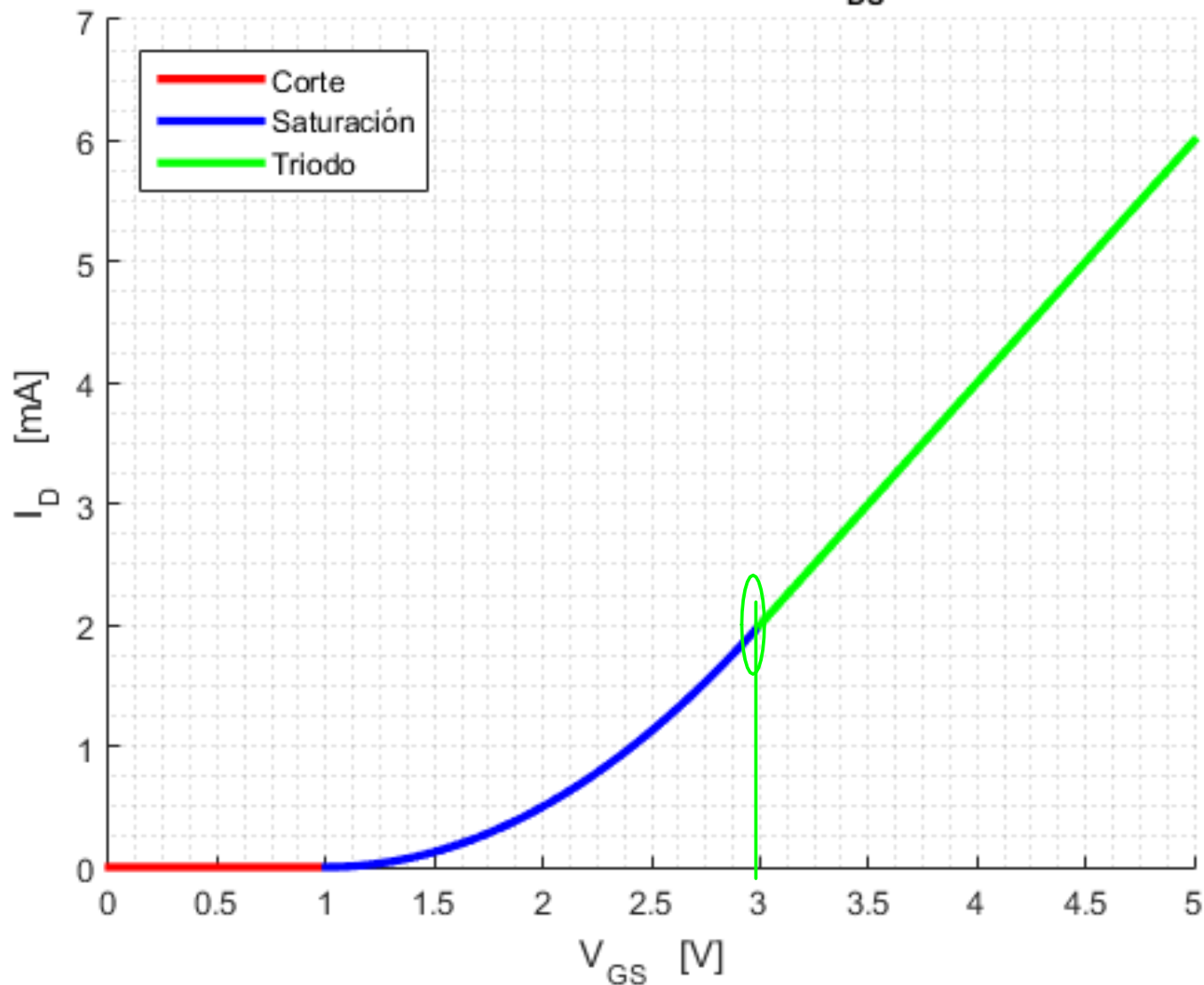


Triodo:  $3V < V_{GS} \rightarrow$

$$I_D = \mu_n C'_{ox} \frac{W}{L} \left( \underline{V_{GS}} - \frac{V_{DS}}{2} - V_T \right) V_{DS}$$

- $k = \frac{\mu_n C'_{ox} W}{2L} = 0.5 \frac{mA}{V^2}$
- $V_T = 1V$
- $\lambda \approx 0$

Curva de transferencia para  $V_{DS} = 2V$



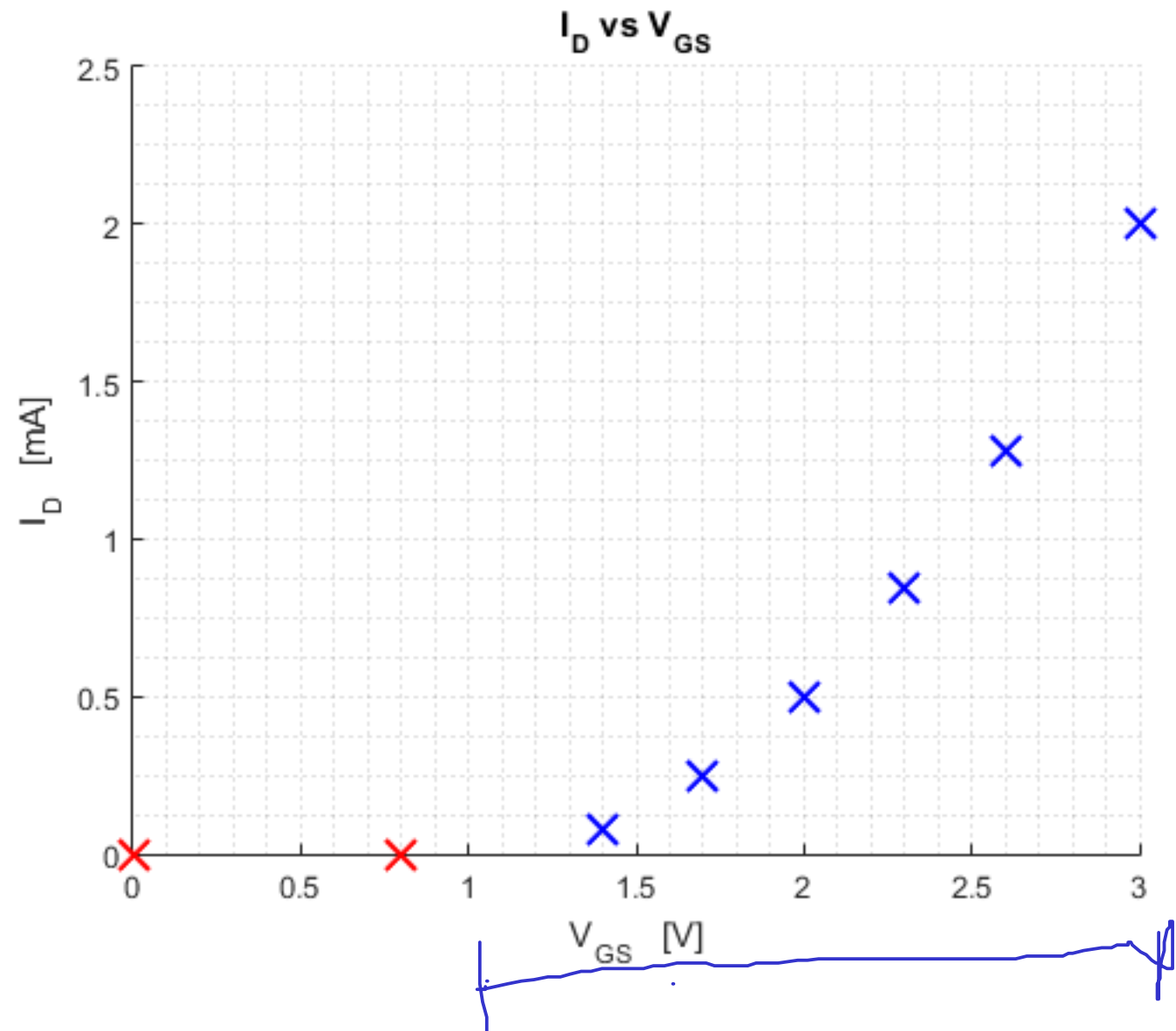
c) Si contáramos con la siguiente medición de la curva de transferencia ¿Cómo estimaría los valores de  $k$  y  $V_T$ ?

$$\text{Saturación: } I_D = \frac{\mu_n C'_{ox} W}{2 L} (V_{GS} - V_T)^2$$

→ Dos incógnitas. Podríamos elegir dos valores del gráfico y armar un sistema de dos ecuaciones.

$$\begin{cases} 0.25 \text{ mA} = k (1.7 \text{ V} - V_T)^2 \\ 0.5 \text{ mA} = k (2 \text{ V} - V_T)^2 \end{cases}$$

Es un poco engorroso ¿Como lo convertimos en algo más manejable?



Tomemos la raíz de la ecuación...

$$\rightarrow I_D = k (V_{GS} - V_T)^2$$

$$\rightarrow \sqrt{I_D} = \sqrt{k} |V_{GS} - V_T|$$

$$\rightarrow \underline{\sqrt{I_D} = \sqrt{k} V_{GS} - \sqrt{k} V_T}$$



Tomemos la raíz de la ecuación...

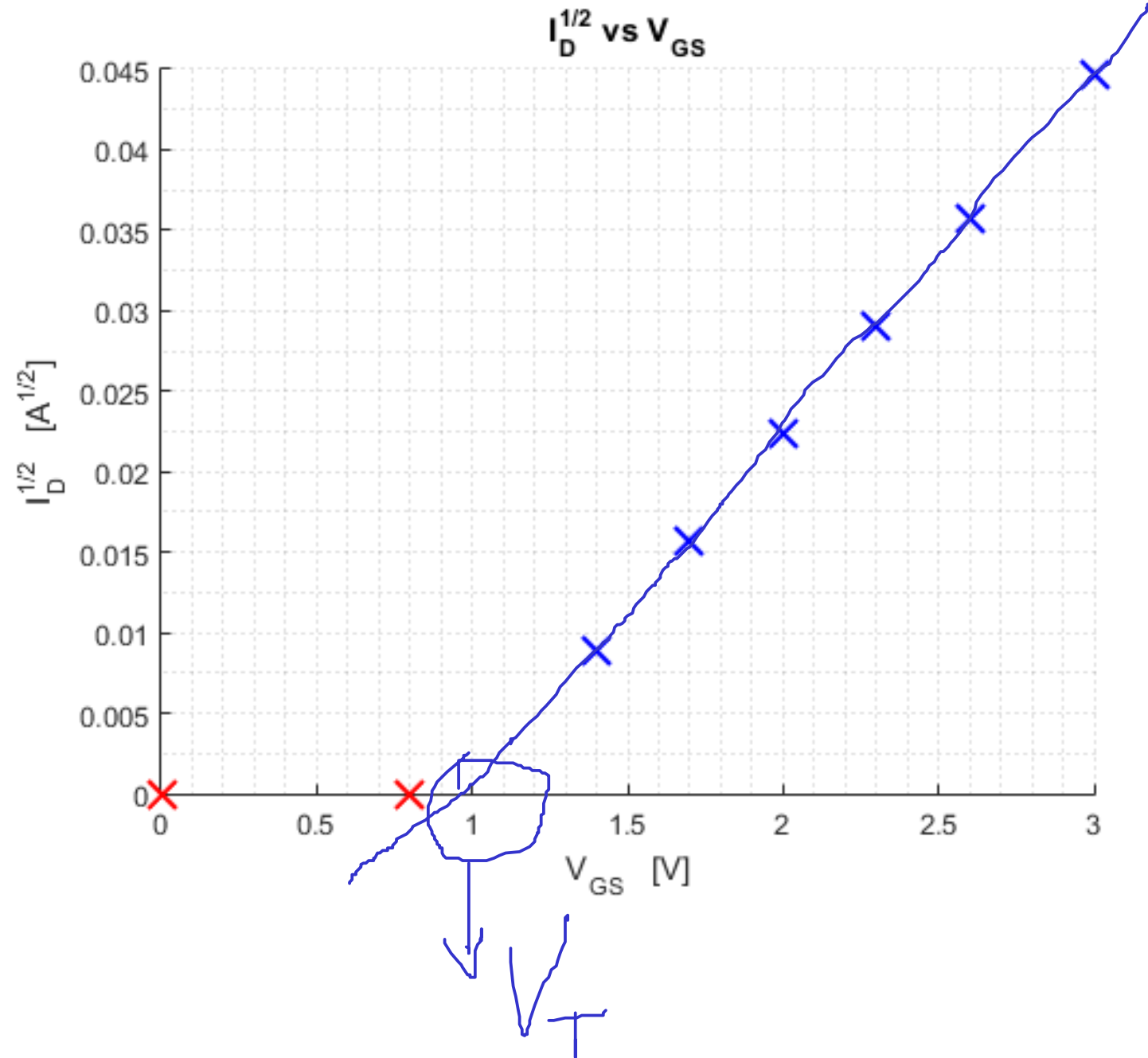
$$\rightarrow I_D = k (V_{GS} - V_T)^2$$

$$\rightarrow \sqrt{I_D} = \sqrt{k} |V_{GS} - V_T|$$

$$\rightarrow \sqrt{I_D} = \sqrt{k} \underline{V_{GS}} - \sqrt{k} V_T$$

En saturación: recta de la forma  $\underline{y} = mx + b$

$$\left\{ \begin{array}{l} k = m^2 \\ V_T = -\frac{b}{m} \end{array} \right.$$



Tomemos la raíz de la ecuación...

$$\rightarrow I_D = k (V_{GS} - V_T)^2$$

$$\rightarrow \sqrt{I_D} = \sqrt{k} |V_{GS} - V_T|$$

$$\rightarrow \sqrt{I_D} = \sqrt{k} V_{GS} - \sqrt{k} V_T$$

En saturación: recta de la forma  $y = mx + b$

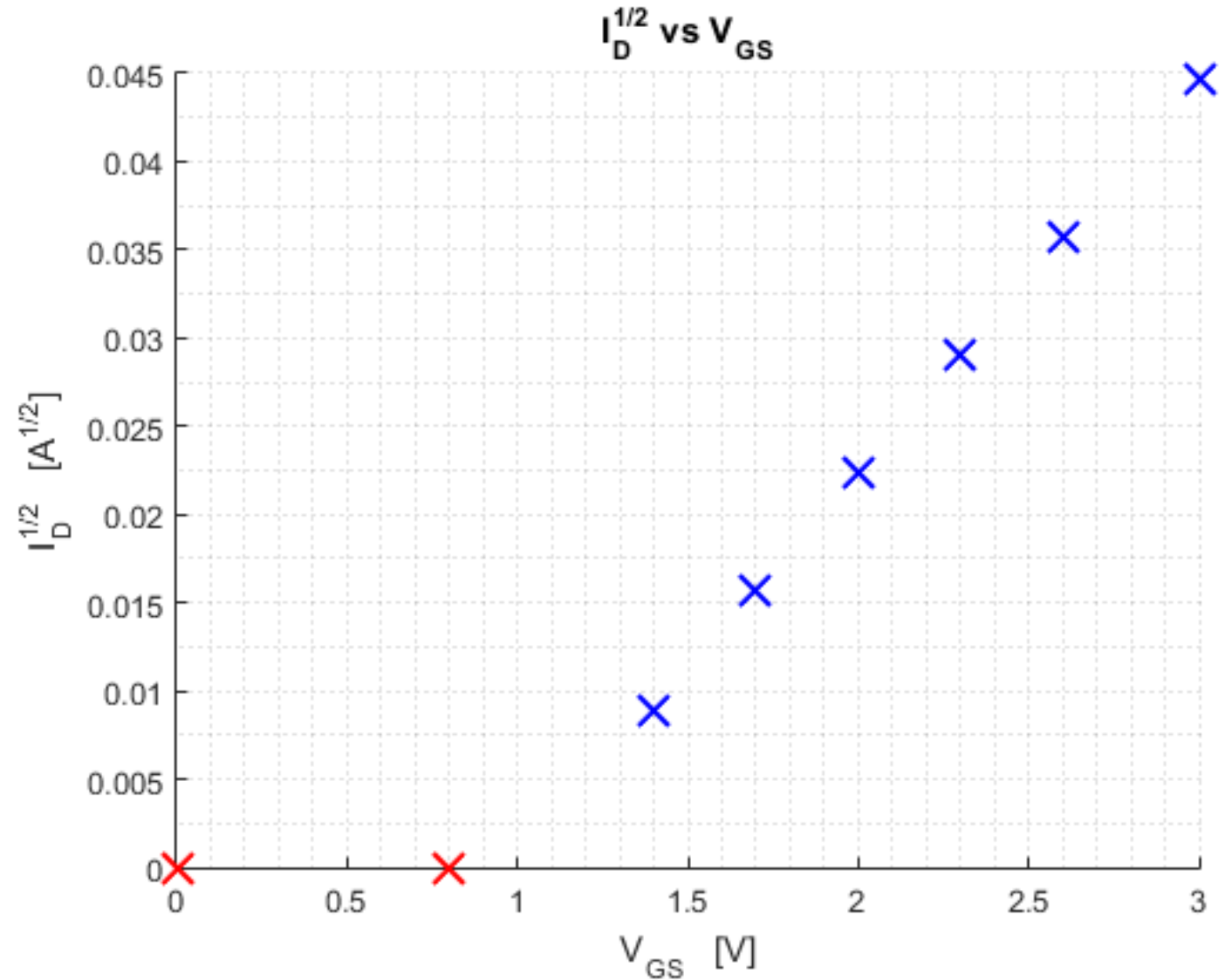
$$\begin{cases} k = m^2 \\ V_T = -\frac{b}{m} \end{cases}$$

A ojo tomando:

$$\begin{cases} V_{GS} = 2 \rightarrow \sqrt{I_D} \approx 0.025 \sqrt{A} \\ V_{GS} = 3 \rightarrow \sqrt{I_D} \approx 0.045 \sqrt{A} \end{cases}$$

Obtenemos:

$$\begin{cases} k \approx 0.506 \frac{mA}{V^2} \\ V_T \approx 1 V \end{cases}$$



En la vida real las mediciones tienen ruido. En estos casos podemos ajustar una recta a los datos.

