

## DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA – FI UBA

ING. Mariano Morel (FI - UNMDP)

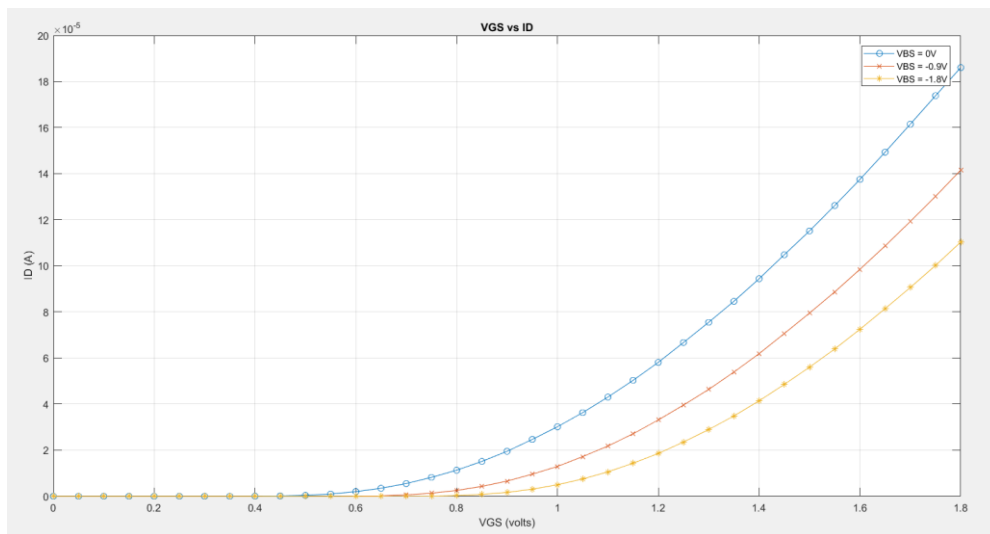
# MOSFET

Para la resolución de este TP, se uso el software MATLAB y se utilizaron las mediciones proporcionadas por la cátedra. A continuación, se muestran los gráficos y los cálculos pedidos

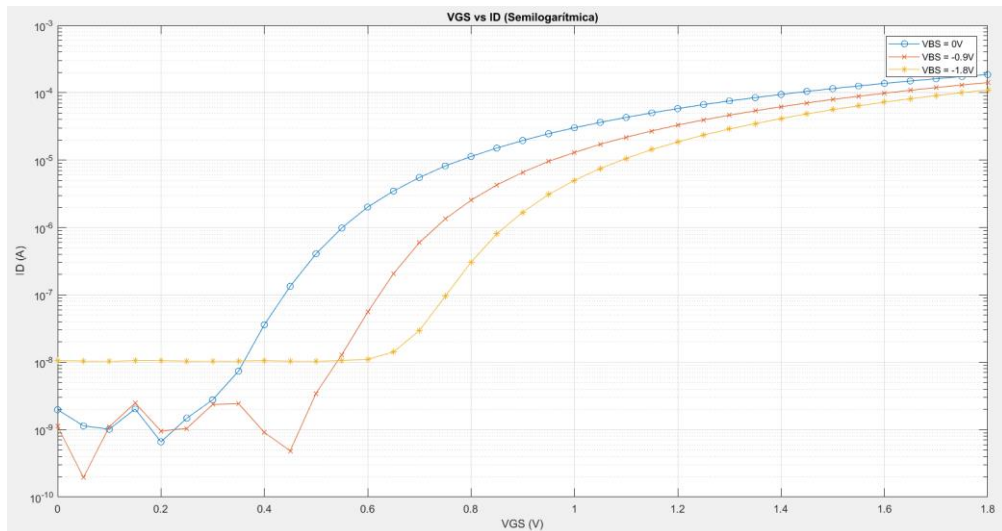
### MOSFET, Canal Largo:

1. Realizar un gráfico de la curva de transferencia en escala lineal para  $V_{DS} = 1,8V$  con  $V_{BS}$  como parámetro.

*Se utilizó sky130 fd pr nfet 01v8 w25u l25u m1(8008 3 4 IDVG).mdm*

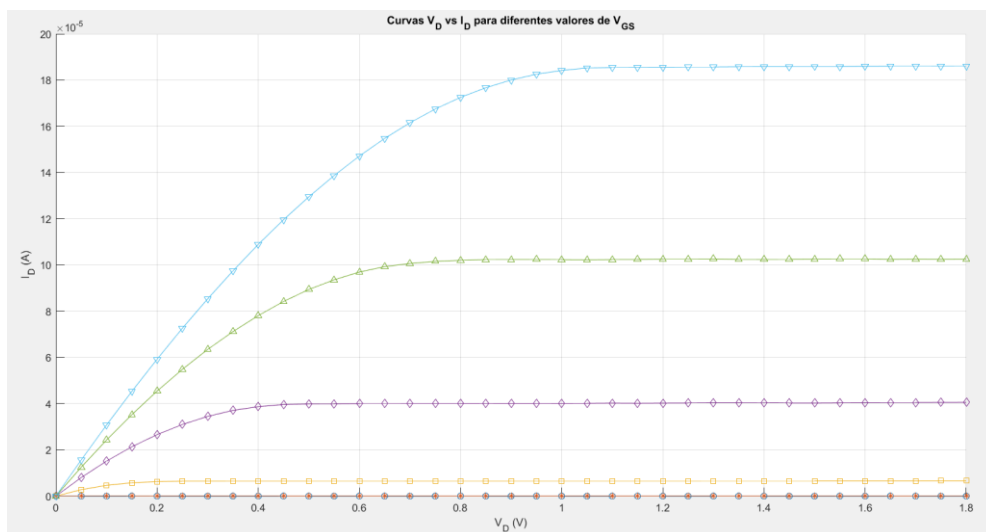


2. Realizar un gráfico de la curva de transferencia en escala semilogarítmica para  $V_{DS} = 1,8V$  con  $V_{BS}$  como parámetro



- Realizar un gráfico de la curva de salida en escala lineal para  $V_{BS} = 0V$  con  $V_{GS}$  como parámetro.

*Se utilizó sky130 fd pr nfet 01v8 w25u l25u m1(8008 3 4 IDVD).mdm*



- A partir de [GRAPH02] y un ajuste lineal de la curva en régimen subumbral, debe estimarse el valor del Subthreshold Swing ( $S$ ), y el parámetro  $m$  para cada  $V_{BS}$ . Considerar  $T = 27^\circ C$  para el cálculo de  $V_{th}$ .

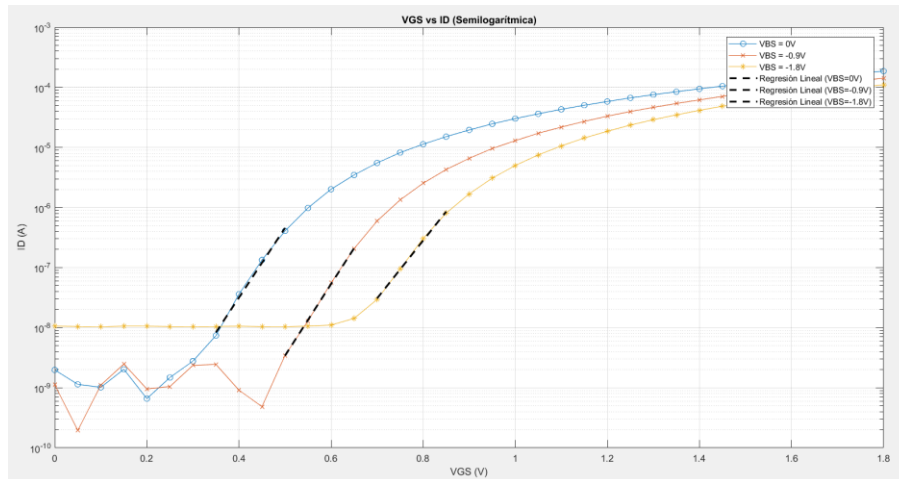
Los valores calculados para  $S$  y  $m$ , para  $V_{BS} = [0, -0.9V, -1.8V]$  en forma correspondiente, fueron los siguientes:

$S = [0.0863, 0.0838, 0.1038]$  (volts)

$m = [1.4505, 1.4089, 1.7447]$

Los valores obtenidos, se lograron mediante la siguiente ecuación y con apoyo de la regresión lineal de la curva de transferencia del punto 2 que se muestra a continuación:

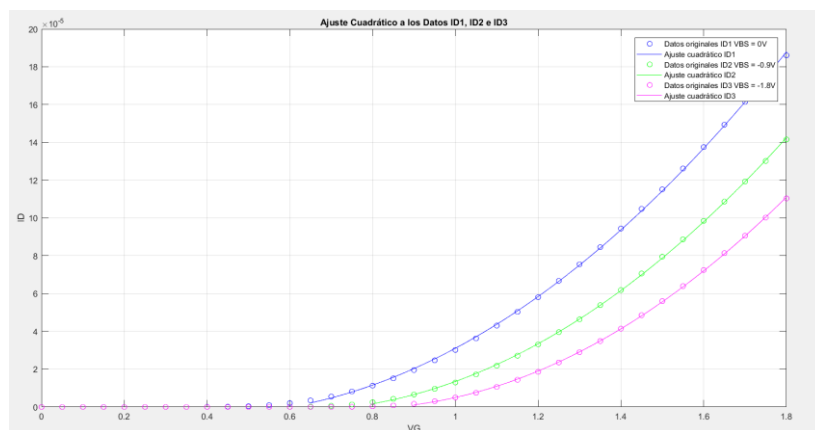
$$S \triangleq \left[ \frac{d(\log_{10} I_D)}{dV_{GS}} \right]^{-1} = \left[ \frac{d \left( \mathbb{C} + \frac{V_{GS} - V_T}{m V_{th}} \log_{10}(e) \right)}{dV_{GS}} \right]^{-1} = \frac{m V_{th}}{\log_{10}(e)}$$



5. Con los valores de  $m$ , utilizando el gráfico del punto 1 y a partir de un ajuste polinómico, estimar los parámetros  $k_n' = \mu_n C_{ox}'$  y  $V_T$  para cada valor de VBS.

Con el ajuste polinómico de segundo grado de las curvas del punto 1, y tomando la ecuación de  $I_D$  (saturación) desarrollada como una ecuación segundo grado en forma polinómica, con  $V_{GS}$  como variable independiente

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



Se obtienen los siguientes coeficientes (para los diferentes VBS):

(VBS = 0V)  $a = 0.9871$   $b = -0.8025$   $c = 0.1258$  ← factor de multiplicación =  $1 \times 10^{-4}$

(VBS = -0.9V)  $a = 0.1024$   $b = -0.1253$   $c = 0.0364$  ← factor de multiplicación =  $1 \times 10^{-3}$

(VBS = -1.8V)  $a = 0.1043$   $b = -0.1594$   $c = 0.0602$  ← factor de multiplicación =  $1 \times 10^{-3}$

De los parámetros estimados de  $V_T$  y  $K_n'$  son:

$$(V_{BS} = 0V) \rightarrow V_T = 0.406V; K_n' = 2.863 \times 10^{-4} A/V^2$$

$$(V_{BS} = -0.9V) \rightarrow V_T = 0.612V; K_n' = 2.885 \times 10^{-4} A/V^2$$

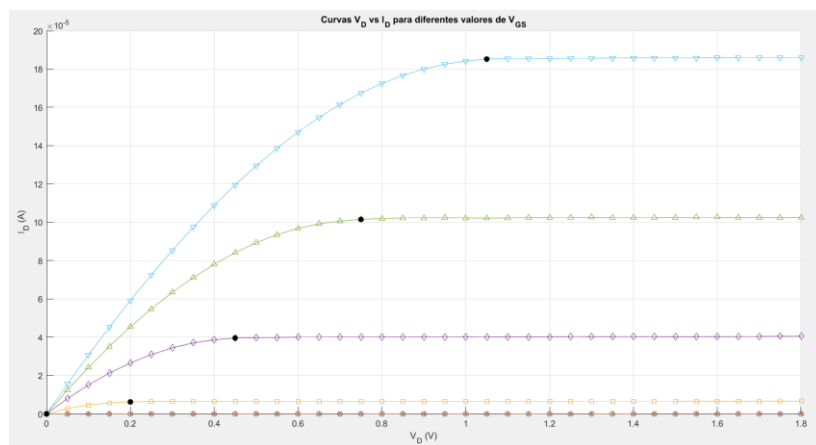
$$(V_{BS} = -1.8V) \rightarrow V_T = 0.764V; K_n' = 3.639 \times 10^{-4} A/V^2$$

6. A partir del punto 3, estimar los valores de  $V_{DS}(sat)$  y  $V_A$  para cada valor de  $V_{GS}$ .

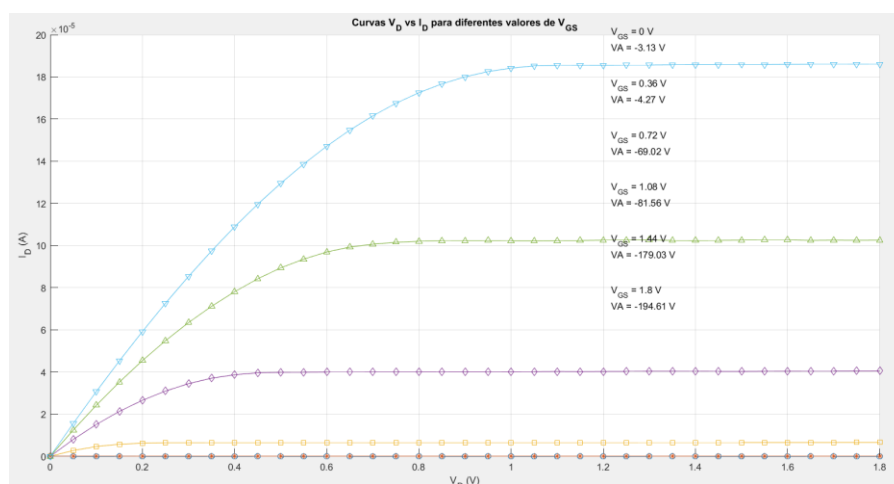
Las estimaciones las hacemos en donde la curva comienza a ser constante. Los valores obtenidos fueron:

$V_{DS\_SAT} = [0, 0, 0.2, 0.45, 0.75, 1.05]$  (en volts)

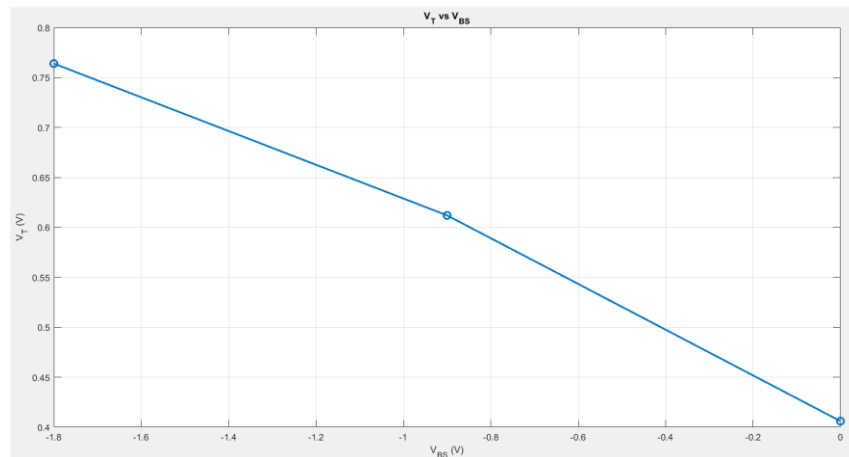
Gráficamente, se marcan con puntos negro en el gráfico



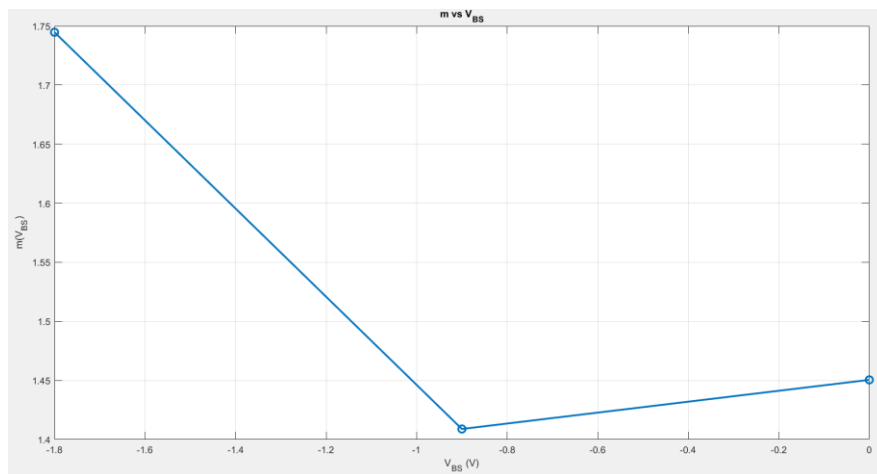
Para el cálculo de  $V_A$  se hace una extrapolación de las curvas en dirección del semieje negativo de la tensión  $V_D$ , tal como se hizo en el BJT para la tensión de Early. Los valores obtenidos se muestran sobre el siguiente gráfico:



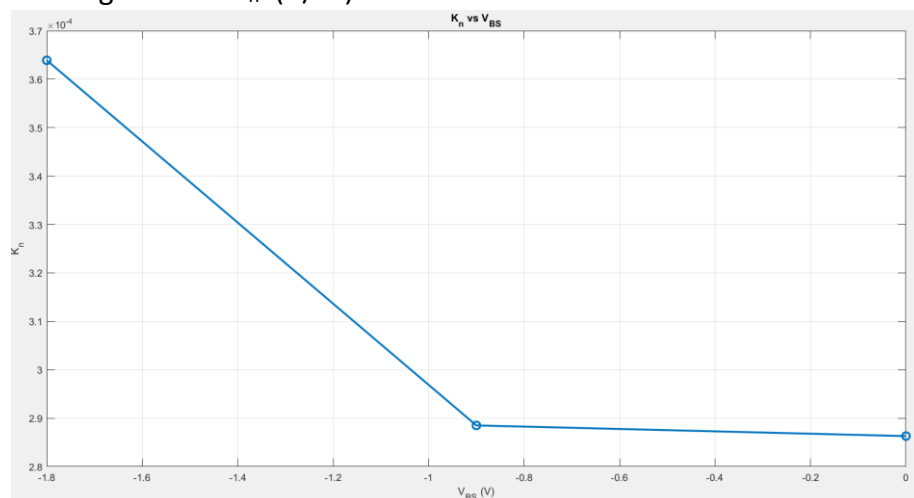
7. Realizar un gráfico de  $V_T$  en función de  $V_{BS}$ .



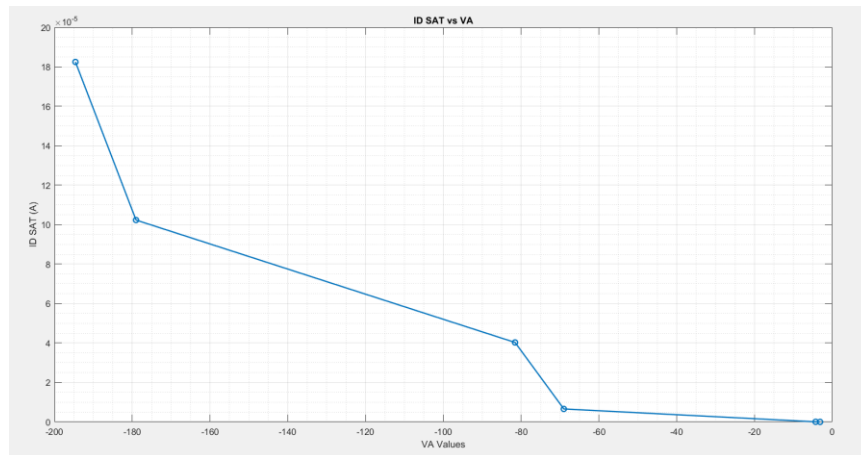
8. Realizar un gráfico de  $m$  en función de  $V_{BS}$



9. Realizar un gráfico de  $k_n'$  ( $A/V^2$ ) en función de  $V_{BS}$ .



10. Realizar un gráfico de  $V_A$  en función de  $I_D$  (sat).



Siendo las corrientes de saturación para cada curva con VGS como parámetro:

ID=  $[-3.013 \times 10^{-9}, 4.871 \times 10^{-8}, 6.566 \times 10^{-6}, 4.027 \times 10^{-5}, 0.0001023, 0.000182]$  (amper)

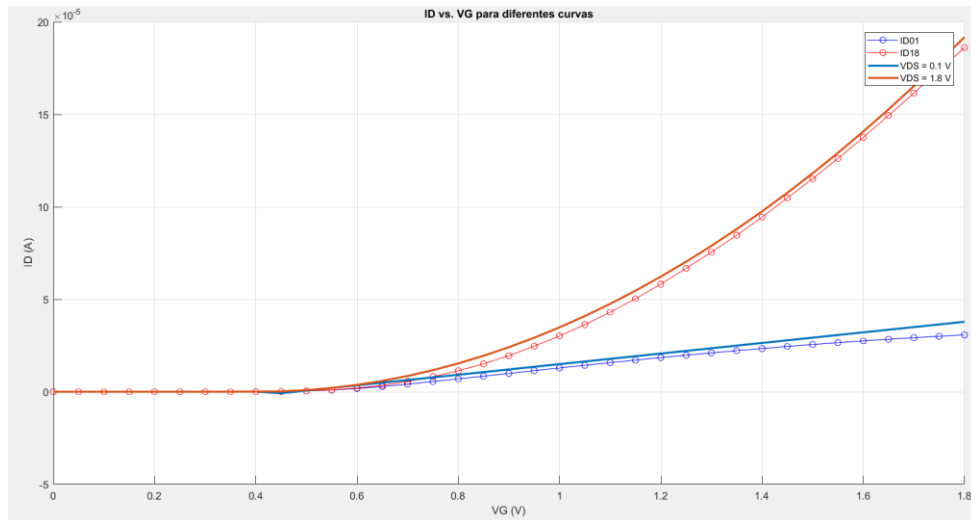
11. Realizar una tabla comparativa entre los valores de VDS (sat) estimados a partir de las curvas, y los valores calculados a partir de la ec. 2.

$$V_{DS(sat)} = \frac{V_{GS} - V_T}{m}$$

VDS_estimado	VDS_calculado	Diferencia_absoluta
0	0	0
0	0	0
0.2	0.21648	0.016483
0.45	0.46468	0.014679
0.75	0.71288	0.037124
1.05	0.96107	0.088927

Para el calculo se tomó el  $m = 1.4505$  y  $V_T = 0.406V$

12. Realizar un gráfico de la curva de transferencia en escala lineal para VBS = 0V con VDS = {0,1 V; 1,8V} como parámetro. En el gráfico incluir las mediciones y también curvas generadas a partir del modelo de la ec. 1.

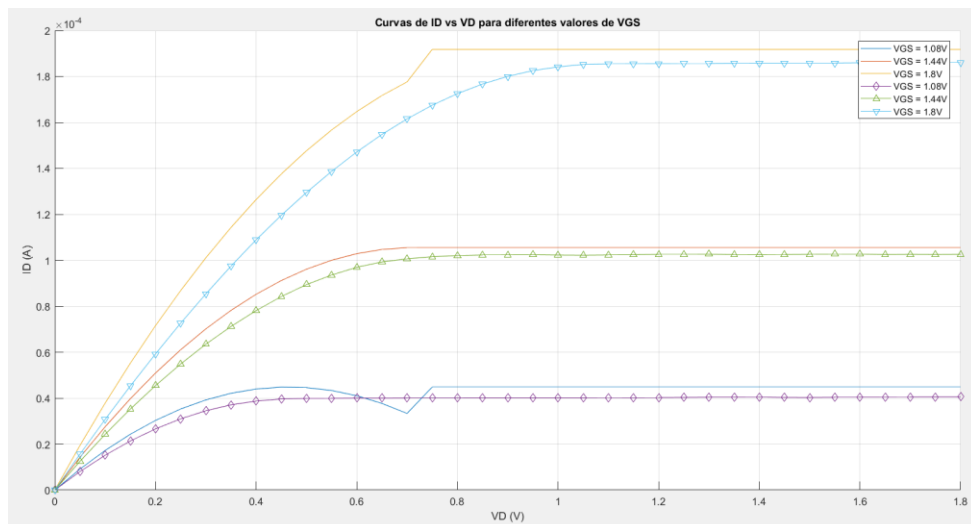


Siendo el modelo de la ec. 1:

$$I_D = \begin{cases} \mu_n C'_{ox} \frac{W}{L} (m-1) V_{th}^2 \exp\left(\frac{V_{GS}-V_T}{m V_{th}}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{V_{DS}}{V_{th}}\right)\right] & V_{GS} \leq V_T \quad (\text{Subumbral}) \\ \frac{\mu_n C'_{ox}}{2m} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T)^2 & V_{GS} > V_T; V_{DS} \geq V_{DS(sat)} \quad (\text{Saturación}) \\ \mu_n C'_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T - \frac{m}{2} V_{DS}) V_{DS} & V_{GS} > V_T; V_{DS} < V_{DS(sat)} \quad (\text{Triodo}) \end{cases}$$

El valor tomado como  $V_{DS\_SAT}$  fue de 1.05V

13. Realizar un gráfico de la curva de salida para  $V_{BS} = 0V$  con  $V_{GS} = [1.08V, 1.44V, 1.8V]$  como parámetro. En el gráfico incluir las mediciones y también curvas generadas a partir del modelo de la ec. 1.



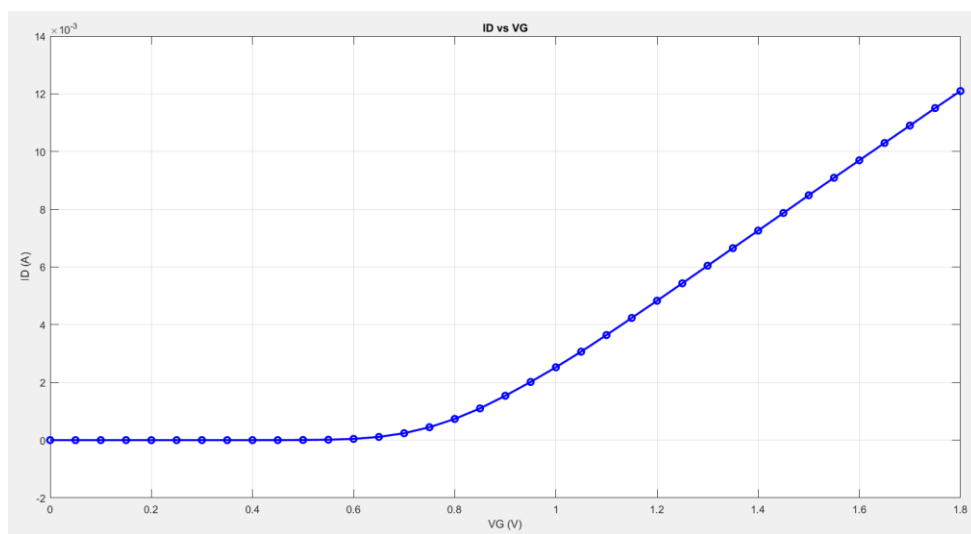
Los valores tomados para la ecuación 1, fueron  $V_{DS\_SAT} = 1.05V$ ,  $m = 1.4505$ ,  $K_n' = 2.863 \times 10^{-4} A/V^2$  y  $V_T = 0.406V$

Se puede observar que el entorno de VDS, hay saltos abruptos. Creo que es propio del modelo (ecuación) o no estoy teniendo suficiente precisión en el valor de VDS\_SAT adoptado.

### MOSFET, Canal Corto:

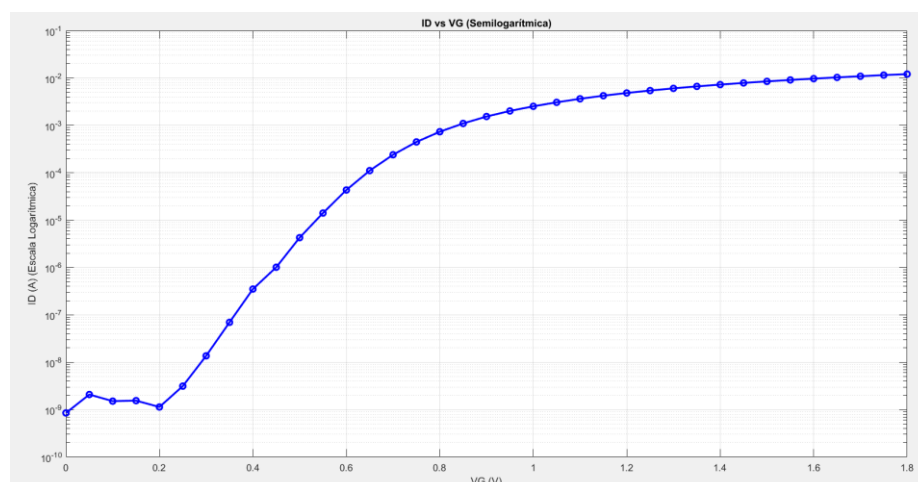
1. Realizar un gráfico de la curva de transferencia en escala lineal para VBS = 0V y VDS = 1,8V.

*Para generar la curva se utilizaron las mediciones de sky130 fd pr nfet 01v8 w25u l0p15u m1(8008 3 4 IDVG).mdm*



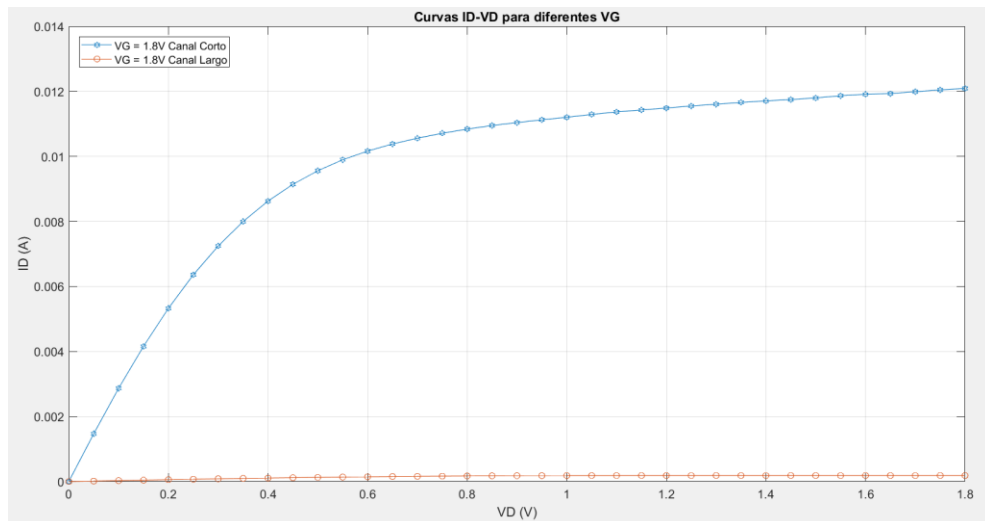
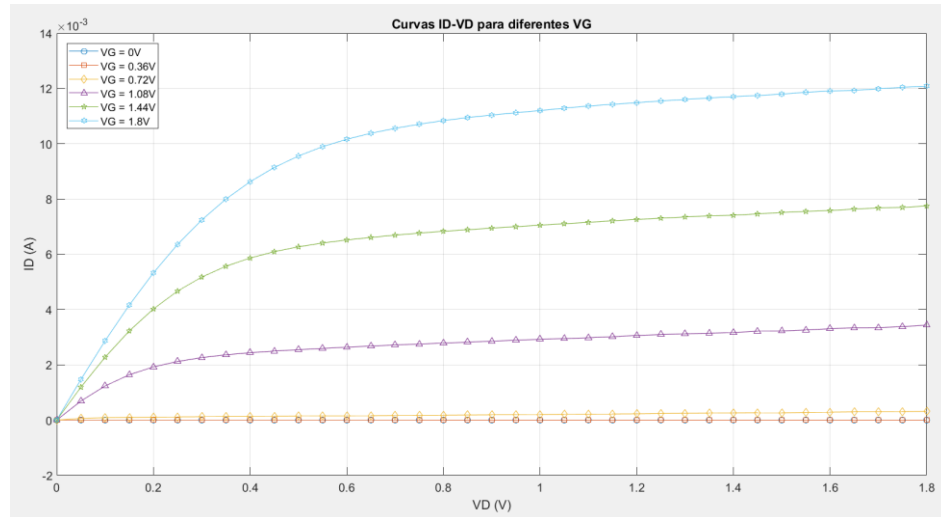
2. Realizar un gráfico de la curva de transferencia en escala semilogarítmica para VBS = 0V y VDS = 1,8V.

*Para generar la curva se utilizaron las mediciones de sky130 fd pr nfet 01v8 w25u l0p15u m1(8008 3 4 IDVD).mdm*





3. Realizar dos gráficos de la curva de salida para  $V_{BS} = 0V$  con  $V_{GS}$  como parámetro, uno para cada dispositivo, manteniendo la escala de corriente igual para ambos gráficos.



**REPOSITORIO EN GITHUB:**

[https://github.com/marianomorel/maestria-repo/blob/main/Dispositivos\\_Semiconductores/TP4/tp4V2.m](https://github.com/marianomorel/maestria-repo/blob/main/Dispositivos_Semiconductores/TP4/tp4V2.m)