Universidad de Granada	**Fundamentos Físicos y Tecnológicos**	Práctica de Laboratorio 4	
Apellidos: Líndez Martínez			Firma:
Nombre: Mario	DNI: 77021242 - S	Grupo: A2	

1. Simula un circuito 5.2 formado por una fuente de continua en serie con una resistencia de 2 kΩ y un diodo. Coloca sondas que permitan medir la tensión entre los extremos de la resistencia, entre los extremos del diodo, así como la corriente que atraviesa cada elemento.

   a) Completa la siguiente tabla realizando distintas simulaciones DC con los valores para los valores de tensión en la fuente que se muestran en ella:

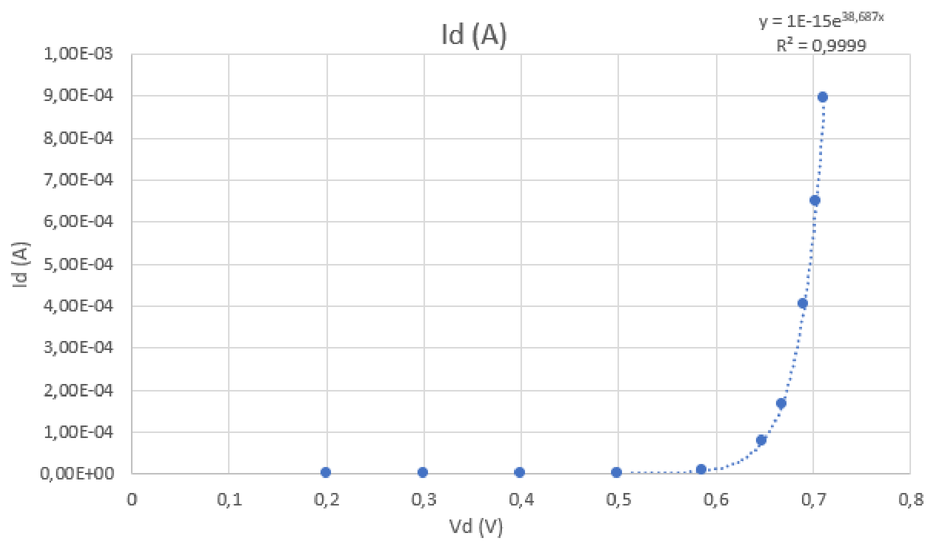
V	V_R	V_d	I
0.2 V	$4.58 \cdot 10^{-9}$ V	0,2 V	$2.29 \cdot 10^{-12}$ A
0.3 V	$2.19 \cdot 10^{-7}$ V	0,3 V	$1.10 \cdot 10^{-10}$ A
0.4 V	$1.05 \cdot 10^{-5}$ V	0,4 V	$5.24 \cdot 10^{-9}$ A
0.5 V	0,000492 V	0,5 V	$2.46 \cdot 10^{-7}$ A
0.6 V	0,014 V	0,586 V	$6.99 \cdot 10^{-6}$ A
0.8 V	0,152 V	0,648 V	$7.61 \cdot 10^{-5}$ A
1 V	0,332 V	0,668 V	0,000166 A
1.5 V	0,809 V	0,691 V	0,000405 A
2 V	1,3 V	0,703 V	0,000648 A
2.5 V	1,79 V	0,711 V	0,000894 A

   b) Representa en una gráfica la intensidad que circula por el diodo (eje Y) frente a la diferencia de potencial entre los extremos del diodo. Realiza un ajuste exponencial de dicha ecuación calculando además el coeficiente de correlación para completar la siguiente tabla.

Curva exponencial de ajuste	Coef. correlación	I_s	q/nkT	$n\ (T = 19C)$
$1 \times 10^{-15} \times e^{38.687x}$	0.9999	1×10^{-15}	38.687	1.026

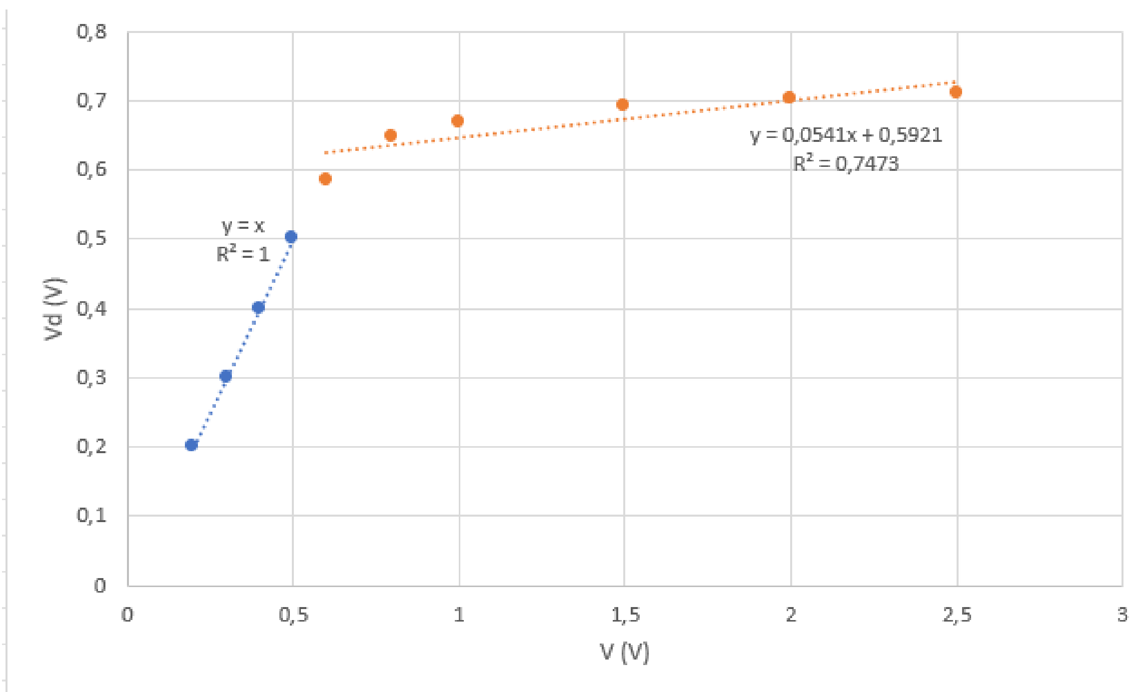
Para el cálculo de n simplemente la despejaremos de $\frac{q}{nkt} = 38.687$, quedando como $n = \frac{q}{38.687kt}$,

Siendo q la carga del electrón ($1.6 \cdot 10^{-19}\ C$), k la constante de Boltzman ($1.38 \cdot 10^{-23}\ \frac{J}{K}$) y T la temperatura en ºK (19 ºC = (19 + 273) ºK).



c) Representa en una gráfica la diferencia de potencial entre los extremos del diodo (eje Y) frente a la diferencia de potencial en la fuente (eje X). Señala las dos zonas de comportamiento que se muestran y determina la tensión umbral del diodo como la tensión en la que se produce la transición.

La transición se hace a partir de los 0.6 V, por lo que esa será la tensión umbral del diodo



d) Representa por separado cada una de las dos zonas de comportamiento de la gráfica anterior y realiza un ajuste lineal de cada una de ellas. Calcula además el coeficiente de correlación para completar la siguiente tabla.

Zona	Ecuación de la recta	Coef. correlación
Zona I	y = x	1
Zona II	y = 0.0541x + 0.5921	0.7473

e) Comenta los resultados anteriores comparándolos con las representaciones vistas en clase. Utilízalos para determinar el valor de r_d del modelo empleado para simplificar el comportamiento del diodo en circuitos.

Como hemos visto, 0.6 V será la tensión umbral del diodo, por lo que para valores de Vd menores de 0.6 V el diodo se comportará como un circuito abierto. Por ello, no pasará corriente haciendo que Vd sea la misma que Vi.

Sin embargo, a partir de los 0.6 V el diodo funcionará como una fuente de tensión y una resistencia (modelo simplificado 2). Podremos calcular así la "resistencia interna" del diodo (rd) aplicando la fórmula vista en clase:

$$V_d = \frac{r_d}{R + r_d} V_i + \frac{V_\gamma \cdot R}{R + r_d}$$

Y comparándola con la ecuación de la recta (aproximada) obtenida:

y = 0.0541x + 0.5921

Nos podemos dar cuenta de que y = V_d, y que x = Vi, por lo que igualando lo que acompaña a la x (o Vi) de ambas expresiones tenemos:

$$\frac{r_d}{R + r_d} = 0.0541$$

Despejando y resolviendo nos quedaría que r_d = 114.38 Ω

2. Simula el circuito 6.3 usando $R_G = R_D$=40 kΩ y $V_{DD} = 10$ V.

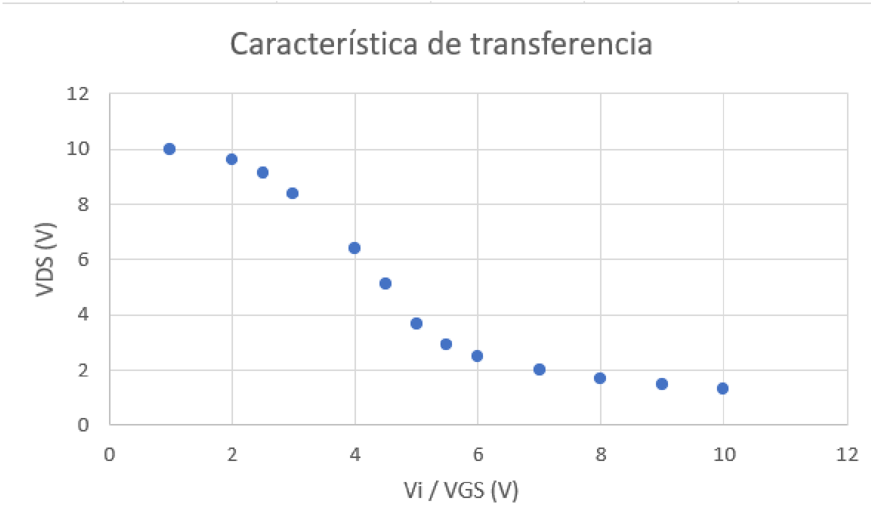
a) Completa la siguiente tabla realizando distintas simulaciones DC con los valores para V_i:

V_i	V_{DS}	V_{GS}	I_D	I_G
1 V	10 V	1 V	$3.97 \cdot 10^{-12}\ A$	0 A
2 V	9.6 V	2 V	$1 \cdot 10^{-5}\ A$	0 A
2.5 V	9.1 V	2.5 V	$2.25 \cdot 10^{-5}\ A$	0 A
3 V	8.4 V	3 V	$4 \cdot 10^{-5}\ A$	0 A
4 V	6.4 V	4 V	$9 \cdot 10^{-5}\ A$	0 A
4.5 V	5.1 V	4.5 V	$1.23 \cdot 10^{-4}\ A$	0 A
5 V	3.65 V	5 V	$1.59 \cdot 10^{-4}\ A$	0 A
5.5 V	2.91 V	5.5 V	$1.77 \cdot 10^{-4}\ A$	0 A
6 V	2.5 V	6 V	$1.88 \cdot 10^{-4}\ A$	0 A
7 V	2 V	7 V	$2 \cdot 10^{-4}\ A$	0 A
8 V	1.69 V	8 V	$2.08 \cdot 10^{-4}\ A$	0 A
9 V	1.47 V	9 V	$2.13 \cdot 10^{-4}\ A$	0 A
10 V	1.3 V	10 V	$2.17 \cdot 10^{-4}\ A$	0 A

b) ¿Coinciden los valores obtenidos para la intensidad de puerta con los esperados teóricamente?

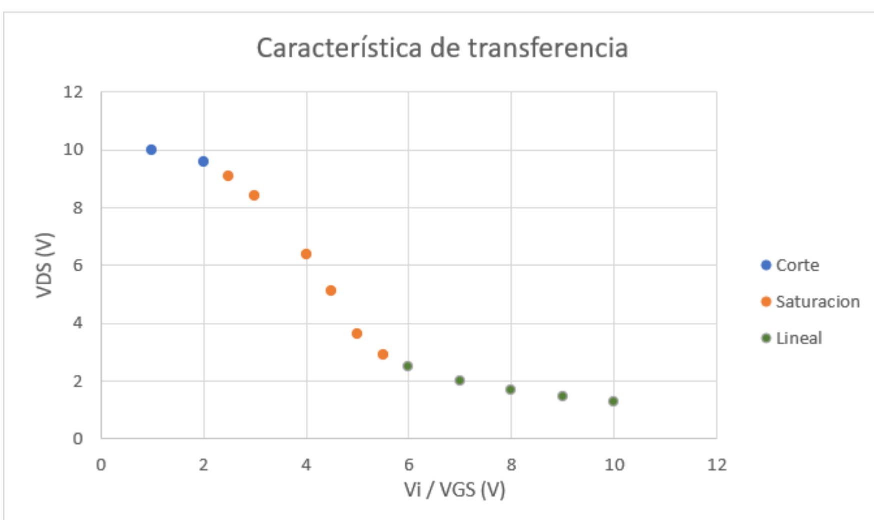
Sí que coinciden, ya que conocíamos previamente que por la puerta no circula corriente y por tanto la intensidad siempre va a ser 0 A independientemente de la región en la que se encuentre el transistor, como hemos podido comprobar experimentalmente. Esto se debe a que la estructura de la puerta se comporta como un condensador que cuando está cargado, no deja pasar la corriente. También podemos añadir que por la resistencia G nunca circula corriente y por tanto no desempeña ninguna función en el circuito.

c) Pinta la característica de transferencia. ¿Coincide con la esperada teóricamente?



Sí que coincide con la esperada teóricamente, pues este circuito coincide con el de un inversor, por lo que a voltajes bajos de V_i tenemos un voltaje de salida V_{DS} altos y viceversa.

Haciendo una estimación a partir de los resultados, podríamos decir que V_{th} del transistor es 2 V ya que a partir de los dos voltios la intensidad pasa de ser prácticamente 0 a aumentar su valor considerablemente. Con esto en cuenta podemos asegurar que si $V_i < 2$ V, está en corte, si $2\text{ V} < V_i < 5{,}5\text{ V}$ se encuentra en saturación (ya que $V_{DS} > (V_{GS} - V_{th})$) y si $V_i > 5.5$ V se encuentra en región lineal ($V_{DS} < (V_{GS} - V_{th})$).

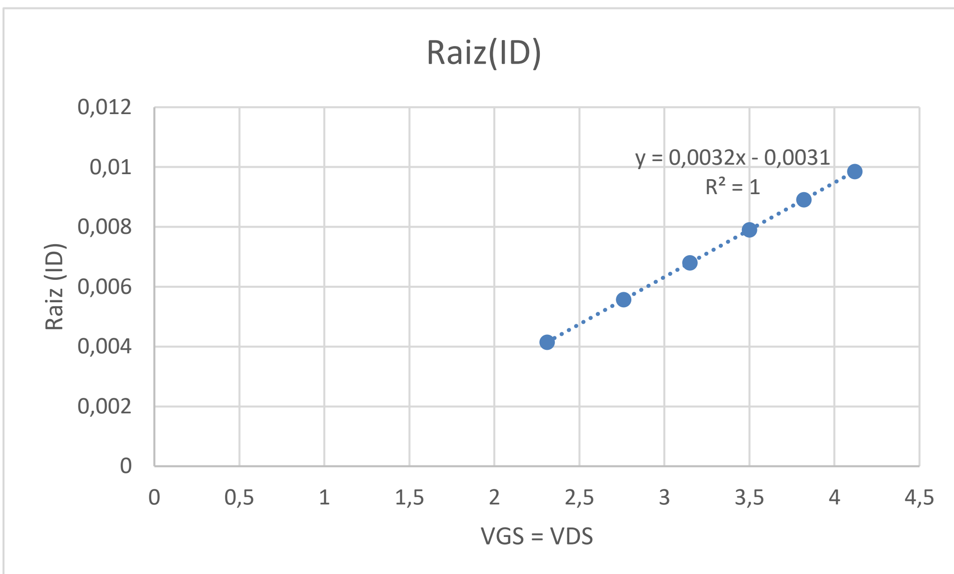


3. Simula el circuito 6.4 usando R_D=40 kΩ.

a) Completa la siguiente tabla realizando distintas simulaciones DC con los valores para V_i:

V_i	I_D	$\sqrt{I_D}$	V_{DS}
3 V	$1.72 \cdot 10^{-5}\ A$	0.004147288	2.31 V
4 V	$3.1 \cdot 10^{-5}\ A$	0.005567764	2.76 V
5 V	$4.62 \cdot 10^{-5}\ A$	0.006797058	3.15 V
6 V	$6.25 \cdot 10^{-5}\ A$	0.007905694	3.5 V
7 V	$7.95 \cdot 10^{-5}\ A$	0.008916277	3.82 V
8 V	$9.71 \cdot 10^{-5}\ A$	0.009853933	4.12 V

b) Representa en una gráfica la raíz cuadrada de la intensidad de drenador (eje Y) frente a $V_{GS} = V_{DS}$ (eje X).



c) Realiza un ajuste lineal de la representación anterior, determina la ecuación de la recta, su coeficiente de correlación y usa la información anterior para completar la siguiente tabla

Ecuación del ajuste	Coef. Correlación	V_{th}	$\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}$
y = 0.0032x – 0.0031	1		

Como sabemos, este transistor estará siempre en saturación, ya que $V_{GS} = V_{DS}$ y por tanto siempre se cumplirá que $V_{DS} > (V_{GS} - V_{th})$. Conociendo esto, también podemos definir I_D como:

$$I_D = \frac{k}{2} \cdot (V_{GS} - V_{th})^2 = \frac{k}{2} \cdot (V_{DS} - V_{th})^2 \qquad (3.1)$$

Si tomamos la raíz cuadrada de ambos miembros nos queda:

$$\sqrt{I_D} = \sqrt{\frac{k}{2}} \cdot (V_{DS} - V_{th}) = \sqrt{\frac{k}{2}} \cdot V_{DS} - \sqrt{\frac{k}{2}} \cdot V_{th}$$

En nuestra gráfica nosotros representábamos $\sqrt{I_D}$ en el eje y, y en el eje x $V_{GS} = V_{DS}$, por lo que si sustituimos esas variables en nuestra expresión obtenemos:

$$y = \sqrt{\frac{k}{2}} \cdot x - \sqrt{\frac{k}{2}} \cdot V_{th} \qquad (3.2)$$

Si ahora igualamos lo que acompaña a la x en ambas expresiones (esta última calculada y la ecuación del ajuste) obtenemos que:

$$\sqrt{\frac{k}{2}} = 0.0032$$

Despejando esto último, k = 0.00002048.

Con el valor de k calculado, podemos obtener el valor de V_{th} sustituyendo valores en la expresión (3.2) y volviendo a compararla con la ecuación del ajuste obtenemos que:

$$0.0031 = \sqrt{\frac{k}{2}} \cdot V_{th} \Rightarrow V_{th} = \frac{0.0031}{\sqrt{\frac{k}{2}}} = \frac{0.0031}{\sqrt{\frac{0.00002048}{2}}} = 0.96875$$

Análogamente podemos ver que el valor de $\mu_n C_{ox} \frac{W}{L}$ coincide con el de $\frac{k}{2}$ ya que si comparamos la primera parte de la expresión (3.1) con:

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

Nos damos cuenta de que:

$$\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} = \frac{k}{2} = \frac{0.00002048}{2} = 0.00001024$$

Ahora sí, terminamos de completar la tabla:

Ecuación del ajuste	Coef. Correlación	V_{th}	$\mu_n C_{ox} \frac{W}{L}$
y = 0.0032x – 0.0031	1	0.96875 V	$1.024 \cdot 10^{-5}$