

# **MEMORIAS DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO**

## **PRÁCTICA 4:**

### **CARACTERIZACIÓN DE CIRCUITOS CON DIODOS**

## **PRÁCTICA 5:**

### **CARACTERIZACIÓN DE CIRCUITOS CON TRANSISTORES MOSFET**

**Paula Villanueva Núñez. José Luis Ruiz Benito**

Fundamentos Físicos y Tecnológicos  
1º Doble Grado en Ingeniería Informática y Matemáticas  
Curso 2017-2018

## Elaboración de la memoria de la práctica 4:

### Caracterización de circuitos con diodos.

#### 1. Objetivo

Conocer el funcionamiento de un diodo rectificador y un diodo LED a través del estudio experimental de la característica de transferencia de un circuito; así como la relación que se establece entre la diferencia de potencial entre los extremos del diodo y la intensidad de corriente que lo atraviesa. Trabajar con los modelos de aproximación I-V para diodos y estudiar la bondad de cada uno de ellos.

#### 2. Fundamento teórico

El diodo es un dispositivo electrónico cuya relación I-V es la siguiente:

$$I_d = I_S \cdot \left( e^{\frac{qV_d}{n k T}} - 1 \right) \quad (1)$$

donde  $I_d$  es la intensidad que atraviesa el diodo;  $V_d$  es la diferencia de potencial entre los extremos del diodo;  $I_S$  es la corriente inversa de saturación;  $q$  es la carga del electrón ( $1.6 \cdot 10^{-19}$  C);  $T$  es la temperatura de la unión expresada en Kelvin;  $k$  es la constante de Boltzmann ( $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$  J/K); y  $n$  el índice de idealidad, que suele adoptar valores entre 1 (para el germanio) y 2 (para el silicio).

Al ser la relación de tipo exponencial, los cálculos para la resolución de los circuitos se complican. Por ello utilizamos modelos aproximados, que dan una idea del funcionamiento del diodo pero sin usar la relación exponencial.

##### Modelo 1

Suponemos que hay una tensión a partir de la cual conduce  $V_\gamma$ , esto es, la tensión umbral, y una vez que entra en conducción, puede conducir cualquier valor de corriente. El diodo se comporta entonces como una fuente de tensión de valor  $V_\gamma$ .

$$I_d = \begin{cases} 0 & \text{si } V_d < V_\gamma \\ \text{Conduce} & \text{si } V_d > V_\gamma \end{cases} \quad (2)$$

##### Modelo 2

Suponemos que hay una tensión a partir de la cual el diodo conduce,  $V_\gamma$  como en el modelo anterior. Empero, consideramos que existe una resistencia asociada  $r_d$ , de manera que el diodo se comporta en conducción como una fuente de tensión  $V_\gamma$  en serie con esa resistencia.

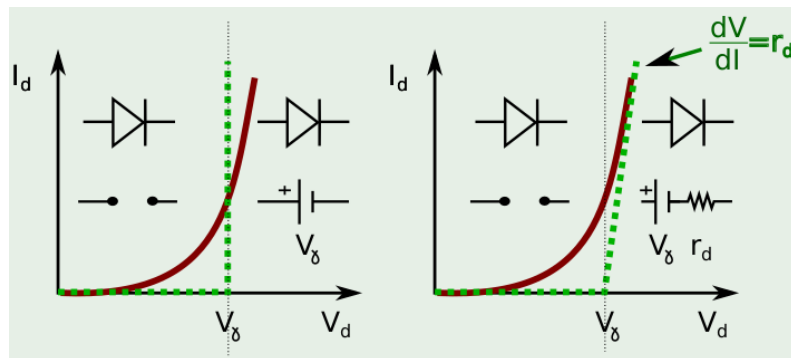


Figura 1.1. A la izquierda, modelo de aproximación I; y a la derecha, modelo de aproximación II.

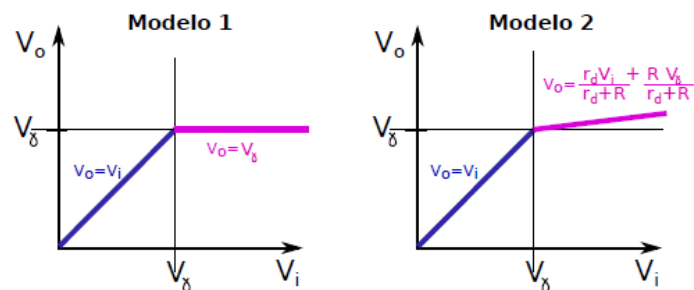


Figura 1.2. Característica de transferencia de los dos modelos.

### 3. Material

- Fuente de tensión.
- Resistencia.
- Diodo rectificador.
- Diodo LED.
- Placa de montaje.

### 4. Desarrollo y resultados

Realizaremos el montaje experimental de la Figura 1.2. Utilizaremos una resistencia, que será  $R = 9,8 \text{ k}\Omega$ , un diodo (D) y una fuente de tensión que iremos variando entre los 0V y los 5V. Para ello, de 0V a 2V iremos aumentando de 0,2V en 0,2V; y de 2V a 5V, aumentaremos de 0,5V en 0,5V.

Para estudiar cómo cambia la diferencia de potencial en los extremos del diodo, en cada paso obtendremos el valor de la caída de tensión entre los extremos del diodo ( $V_d$ ); así como el valor de la caída de tensión entre los extremos de la resistencia ( $V_R$ ), a partir del cual obtendremos el valor de la corriente ( $I_d$ ) que circula por el circuito y por tanto a través del diodo usando la ley de Ohm.

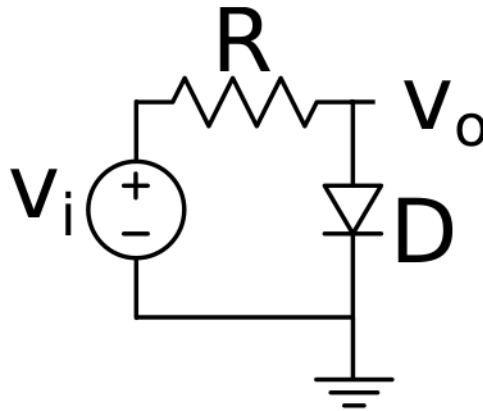


Figura 1.3. Montaje experimental

Asimismo, estudiaremos la relación  $I_d$ - $V_d$  de un diodo. Para ello, representaremos en los datos de la intensidad que pasa por el diodo (en las tablas, columna de la  $I_d$ ) en función de la diferencia de potencial entre los extremos del diodo (en las tablas, columna de la  $V_d$ ).

Se han realizado dos estudios individuales para dos tipos de diodos: un diodo *rectificador* y un diodo *LED*. A continuación se exponen los resultados obtenidos para cada uno de ellos.

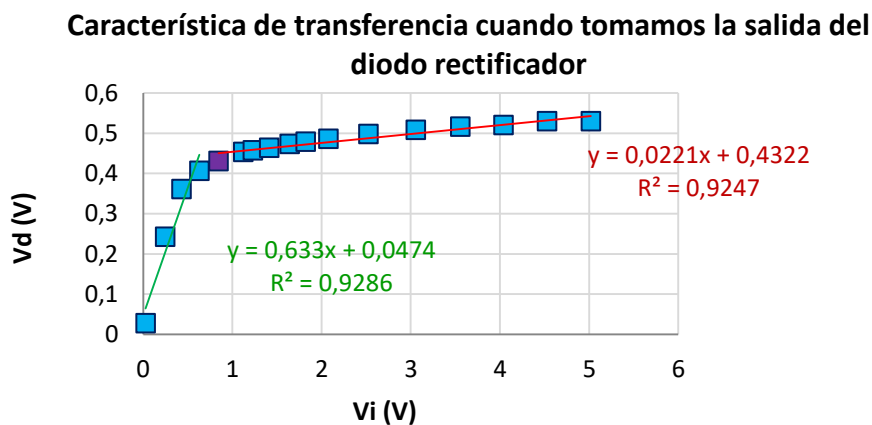
#### Diodo rectificador

Los datos obtenidos para este diodo se presentan en la siguiente tabla:

$V_i$ (V)	$V_d$ (V)	$V_R$ (V)	$I_d = V_R/R$ (mA)
0,027	0,027	0	0
0,247	0,242	0,005	0,000510204081633
0,432	0,361	0,07	0,007142857142857
0,631	0,406	0,224	0,022857142857143
0,844	0,431	0,413	0,042142857142857
1,122	0,453	0,629	0,064183673469388
1,23	0,457	0,774	0,078979591836735
1,413	0,464	0,949	0,096836734693878
1,642	0,473	1,1169	0,113969387755102
1,822	0,479	1,341	0,136836734693878
2,077	0,486	1,583	0,161530612244898
2,527	0,498	2,029	0,207040816326531
3,058	0,508	2,548	0,26
3,556	0,516	3,04	0,310204081632653
4,04	0,52	3,52	0,359183673469388
4,53	0,53	4	0,408163265306122
5,02	0,53	4,48	0,457142857142857

A continuación, haremos tres representaciones gráficas con los datos obtenidos en la tabla.

### **1. Representación gráfica de la característica de transferencia cuando tomamos la salida en el diodo rectificador.**



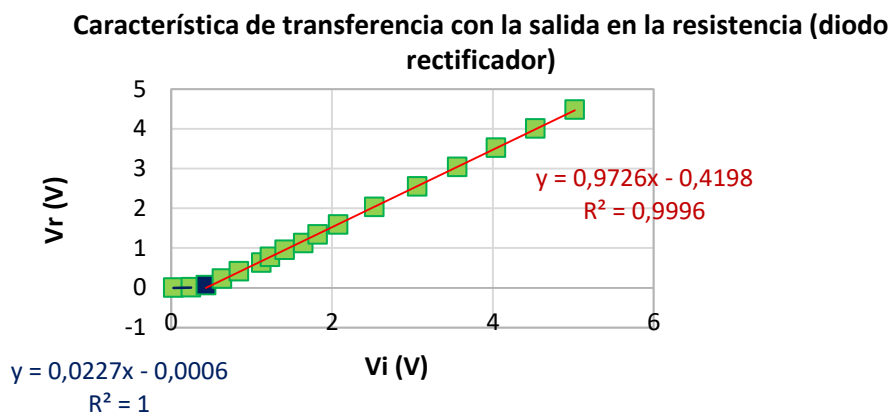
*Figura 1.4. Característica de transferencia cuando tomamos la salida del diodo rectificador.*

En la Figura 1.4 podemos observar dos comportamientos diferentes del diodo rectificador, siendo el punto lila el que marca el cambio de comportamiento (tensión umbral).

En el primer tramo, la línea de tendencia está marcada por el color verde, junto a su ecuación. Podemos ver que tiene una pendiente de 0,633 y con un coeficiente de correlación de 0,9286.

En el segundo tramo, la línea de tendencia está marcada por el color rojo, junto a su ecuación. Podemos ver que su pendiente es de 0,0221 y con un coeficiente de correlación de 0,9247.

### **2. Representación gráfica de la característica de transferencia cuando tomamos la salida en la resistencia.**



*Figura 1.5. Característica de transferencia con la salida en la resistencia (diodo rectificador).*

En la Figura 1.5 podemos observar dos comportamientos diferentes del diodo rectificador, siendo el punto lila el que marca el cambio de comportamiento (tensión umbral).

En el primer tramo, la línea de tendencia está marcada por el color azul, junto a su ecuación. Podemos ver que tiene una pendiente de 0,0227 y con un coeficiente de correlación de 1.

En el segundo tramo, la línea de tendencia está marcada por el color rojo, junto a su ecuación. Podemos ver que su pendiente es de 0,9726, muy cercana a 1, y con un coeficiente de correlación de 0,9996.

### 3. Representación gráfica de la intensidad frente a la diferencia del potencial entre los extremos del diodo rectificador.

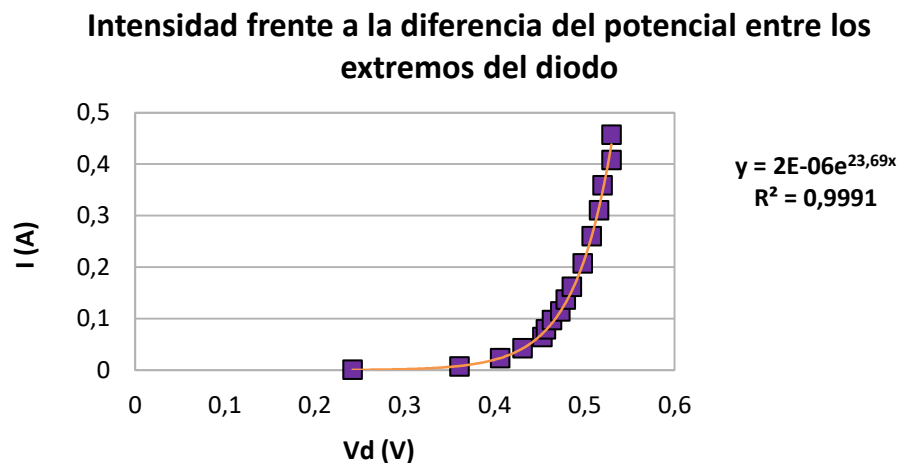


Figura 1.6. Intensidad frente a la diferencia del potencial entre los extremos del diodo rectificador.

La relación I-V es exponencial. Además, hemos quitamos los valores de la I que son nulos.

Con la ecuación obtenida al trazar la línea de tendencia en la gráfica, podemos calcular los siguientes datos:

Curva exponencial de ajuste	$I_s$	$q/nkT$	$n$ (T=19°C)
$y = 2 \cdot 10^{-6} \cdot (e^{23,69x})$	$2 \cdot 10^{-6}$	23,69	1,6771

$$\frac{q}{nkT} = 23,69 \rightarrow n = \frac{q}{23,69 \cdot k \cdot T} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{23,69 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot (19+273)} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{9,546 \cdot 10^{-20}} = 1,6771$$

### Diodo LED

De nuevo, presentamos los datos obtenidos en una tabla:

$V_i$ (V)	$V_d$ (V)	$V_r$ (V)	$I = V_r/R$ (mA)
0,024	0,024	0	0
0,226	0,226	0	0
0,438	0,438	0	0
0,627	0,627	0	0
0,856	0,856	0	0
1,122	1,22	0	0
1,23	1,23	0	0
1,413	1,413	0	0
1,616	1,616	0	0
1,822	1,822	0	0
2,077	2,077	0	0
2,516	2,417	0,099	0,010102040816327
3,04	2,486	0,554	0,056530612244898
3,579	2,513	1,067	0,108877551020408
4,01	2,52	1,48	0,151020408163265
4,48	2,53	1,95	0,198979591836735
5,09	2,54	2,54	0,259183673469388

A continuación, haremos tres representaciones gráficas con los datos obtenidos en la tabla.

#### 1. Representación gráfica de la característica de transferencia cuando tomamos la salida en el diodo LED.

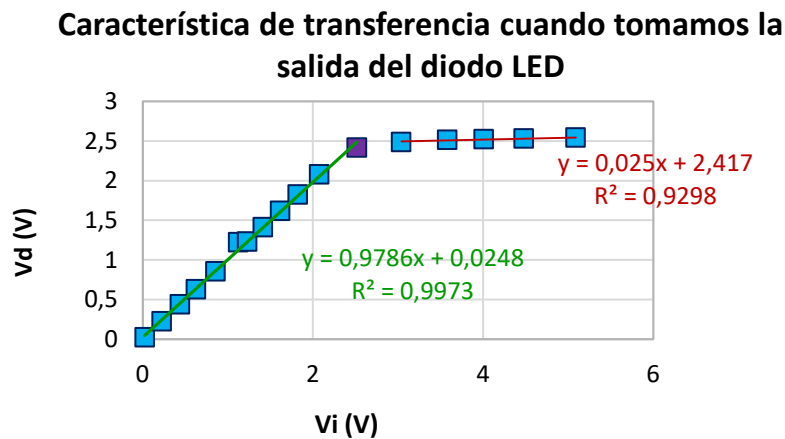


Figura 1.7. Característica de transferencia cuando tomamos la salida del diodo LED.

En la Figura 1.7 podemos observar dos comportamientos diferentes del diodo rectificador, siendo el punto lila el que marca el cambio de comportamiento (tensión umbral).

En el primer tramo, la línea de tendencia está marcada por el color verde, junto a su ecuación. Podemos ver que tiene una pendiente de 0,9973 y con un coeficiente de correlación de 0,9973.

En el segundo tramo, la línea de tendencia está marcada por el color rojo, junto a su ecuación. Podemos ver que su pendiente es de 0,025 y con un coeficiente de correlación de 0,9298.

## **2. Representación gráfica de la característica de transferencia cuando tomamos la salida en la resistencia.**

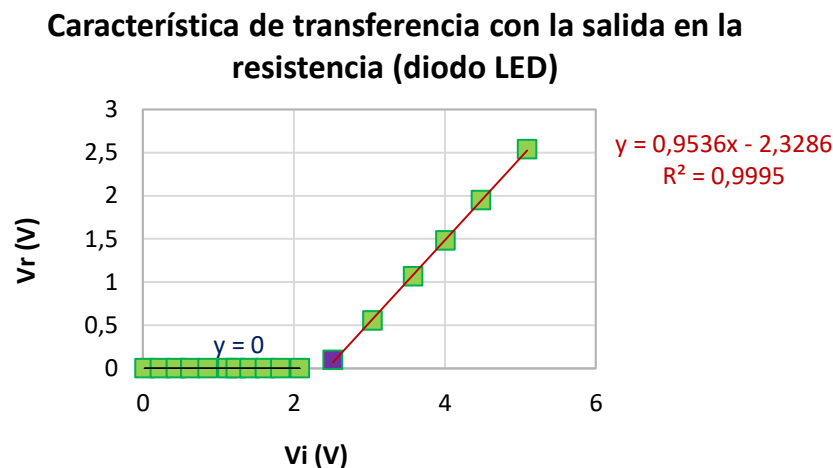


Figura 1.8. Característica de transferencia con la salida en la resistencia

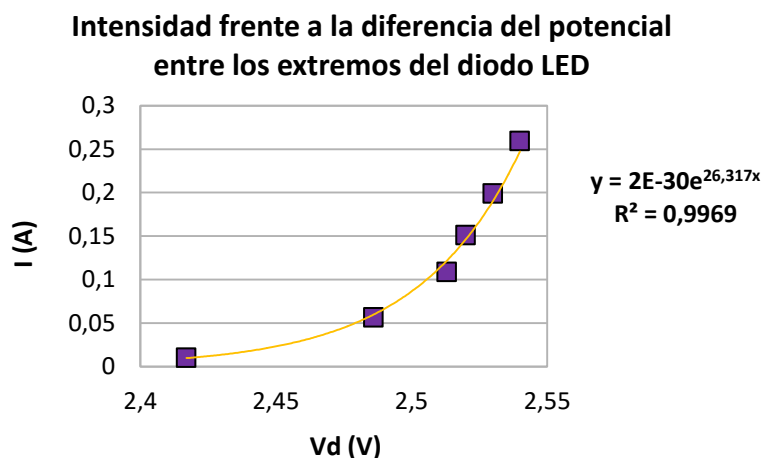
En la Figura 1.8 podemos observar dos comportamientos diferentes del diodo rectificador, siendo el punto lila el que marca el cambio de comportamiento (tensión umbral).

En el primer tramo, la línea de tendencia está marcada por el color azul, junto a su ecuación. Podemos ver que tiene una pendiente nula. *Excel* no puede mostrar el coeficiente de correlación ya que la pendiente es 0.

En el segundo tramo, la línea de tendencia está marcada por el color rojo, junto a su ecuación. Podemos ver que su pendiente es de 0,9536 y su coeficiente de correlación es 0,9995.



### 3. Representación gráfica de la intensidad frente a la diferencia del potencial entre los extremos del diodo LED.



*Figura 1.9. Intensidad frente a la diferencia del potencial entre los extremos del diodo LED.*

La relación I-V es exponencial. Además, hemos quitamos los valores de la I que son nulos.

Con la ecuación obtenida al trazar la línea de tendencia de nuestros datos experimentales, podemos calcular los siguientes valores:

Curva exponencial de ajuste	$I_s$	$q/nkT$	$n$ (T=19°C)
$y = 2 \cdot 10^{-30} \cdot (e^{26,317x})$	$2 \cdot 10^{-30}$	26,317	1,5088

$$\frac{q}{nkT} = 23,69 \rightarrow n = \frac{q}{23,69 \cdot k \cdot T} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{26,317 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot (19+273)} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{1,0604 \cdot 10^{-19}} = 1,5088$$

## 5. Discusión

### 5.1 Diodo rectificador

Comparando los gráficos obtenidos experimentalmente con la Figura 1.2, el modelo que mejor se ajusta a los datos experimentales es el modelo 2, ya que en el segundo tramo la línea tiene cierta pendiente (Figura 1.4).

Además, el coeficiente de correlación de las gráficas se acerca a 1, por lo que los datos se ajustan a la línea de tendencia.

Como vimos en el fundamento teórico, la ecuación (1) es exponencial. Esta ecuación la hemos obtenido al tomar varios valores experimentalmente y tras dibujar la

relación existente entre I-V (Figura 1.6). Este gráfico es exponencial, al igual que la ecuación (1).

## **5.2 Diodo LED**

Comparando los gráficos obtenidos experimentalmente con la Figura 1.2, el modelo que mejor se ajusta a los datos experimentales es el modelo 1, ya que en el segundo tramo la pendiente de la línea es casi nula (Figura 1.7).

Además, el coeficiente de correlación de las gráficas se acerca a 1, por lo que los datos se ajustan a la línea de tendencia.

Como vimos en el fundamento teórico, la ecuación (1) es exponencial. Esta ecuación la hemos obtenido al tomar varios valores experimentalmente y tras dibujar la relación existente entre I-V (Figura 1.9). Este gráfico es exponencial, al igual que la ecuación (1).

## **6. Conclusión**

Basándose en los resultados teóricos y los obtenidos experimentalmente, además de tener un coeficiente de correlación en cada gráfica muy próximo a 1, se llega a la conclusión de que son muy similares, lo que aporta una mayor credibilidad al fundamento teórico.

Además, con esta práctica podemos afianzar las siguientes ideas:

- Un diodo es un dispositivo semiconductor, esto es, conduce a partir de una cierta diferencia de potencial (tensión umbral) aplicada en sus extremos.
- La relación Voltaje-intensidad es de tipo exponencial, lo que complica los cálculos y nos obliga a trabajar con modelos aproximados.
- El modelo de aproximación más acertado dependerá del tipo de diodo.

# Elaboración de la memoria de la práctica 5:

## Caracterización de circuitos con MOSFETs.

### 1. Objetivo

Caracterizar un transistor MOSFET. Para comprender su funcionamiento se medirán la característica I-V; se determinarán los parámetros de un MOSFET de canal N (NMOSFET) y se medirá su característica de transferencia.

### 2. Fundamento teórico

El transistor MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) es un transistor de efecto campo basado en la estructura MOS (*Metal Oxido Semiconductor*). Además, se trata de un dispositivo electrónico de tres terminales, llamados puerta (*G, gate*), drenador (*D, drain*) y fuente (*S, source*). La corriente que circula entre los terminales y el drenador se controla a través de la tensión aplicada en la puerta.

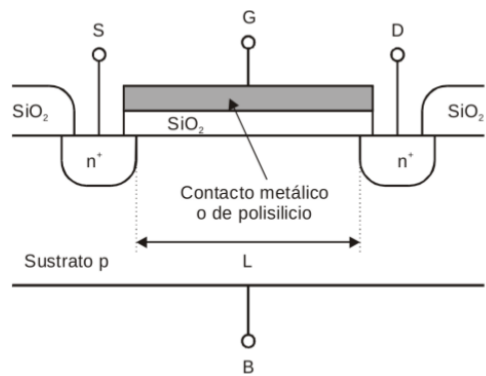


Figura 2.1. Esquema básico de un MOSFET

Existen dos tipos de MOSFETs dependiendo de la naturaleza del canal: NMOSFETs y PMOSFETs.

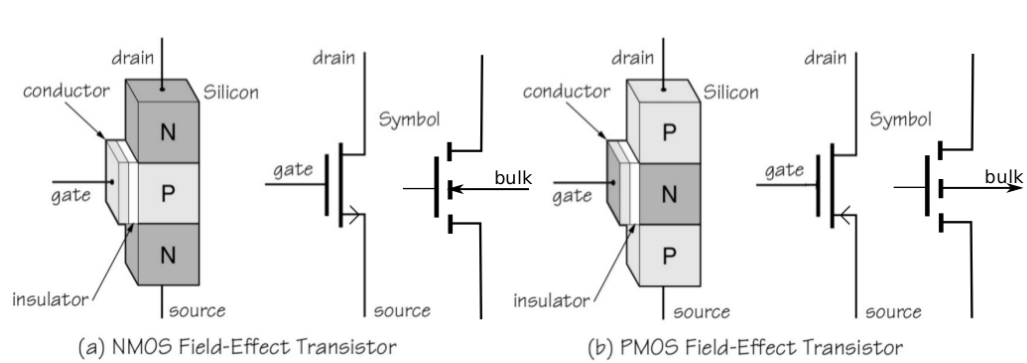


Figura 2.2. Esquema básico de un NMOSFET (izquierda) y de un PMOSFET (derecha)

En esta práctica nos centraremos únicamente en los transistores NMOS. En cuanto a su funcionamiento, pueden distinguirse tres modos de operación que dependerán de la relación entre los voltajes de los terminales:

- **Región de Corte.** En este modo, el transistor no funciona, esto es, no hay corriente entre fuente y drenador. En esta región  $V_{GS} < V_{th}$ , donde  $V_{th}$  es la tensión umbral del dispositivo.
- **Región Triodo.** En este modo, el transistor está encendido y el canal que se crea entre fuente y drenador permite la circulación de corriente entre ambos. Este modo se produce cuando  $V_{GS} > V_{th}$  y  $V_{DS} < (V_{GS} - V_{th})$ . La corriente que circula entre la fuente y el drenador es:

$$I_D = \frac{\mu_n C_{ox} \frac{W}{L}}{2} \left( (V_{GS} - V_{th}) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right) \quad (3)$$

donde  $\mu_n$  es la movilidad efectiva de los portadores;  $W$  es la anchura de la puerta;  $L$  es su longitud; y  $C_{ox}$  es la capacidad del óxido de la puerta por unidad de área.

- **Región de Saturación.** Este modo se produce cuando  $V_{GS} > V_{th}$  y  $V_{DS} > (V_{GS} - V_{th})$ . La corriente que circula entre la fuente y el drenador es:

$$I_D = \frac{\mu_n C_{ox} \frac{W}{L}}{2} (V_{GS} - V_{th})^2 \quad (4)$$

### 3. Material

- **Circuito integrado 4007** que contiene 6 transistores (3 PMOS arriba y 3 NMOS abajo). En particular, trabajaremos con los tres transistores **NMOS**.

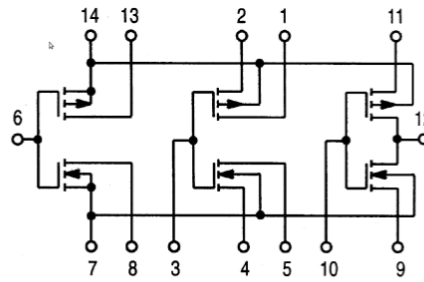


Figura 2.3. Integrado 4007

- Fuente de tensión.
- Resistencias.
- Paca de montaje.

## 4. Desarrollo y resultados

### 4.1 Característica de transferencia

Para calcular la característica de transferencia del transistor NMOS, montaremos el circuito de la Figura 2.4.

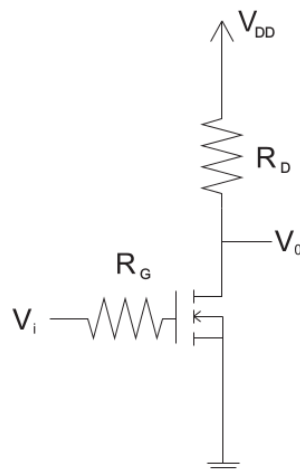


Figura 2.4. Montaje experimental para la medida de la característica de transferencia de un NMOS.

Los valores de  $R_D$  y  $R_G$  que utilizaremos en esta práctica son:

$$R_D = 9,83 \text{ k}\Omega.$$

$$R_G = 46,8 \text{ k}\Omega.$$

En la Figura 2.4,  $V_i$  es una fuente de alimentación variable cuyo valor cambiaremos en el intervalo de 0V a 5V (de 0,3V en 0,3V). Para cada uno de los valores de tensión de la fuente variable  $V_i$ , tomaremos los siguientes valores: **tensión drenador-fuente** ( $V_{DS}$ ), **tensión puerta-fuente** ( $V_{GS}$ ), **tensión entre los extremos de  $R_G$** .

Además, también calcularemos  $I_d$  e  $I_g$  con la ley de Ohm:

$$I_d = \frac{V_{R_D}}{R_D}$$

$$I_g = \frac{V_{R_G}}{R_G}$$

En este circuito,  $V_i$  coincide con  $V_{GS}$ ; y  $V_O$  coincide con  $V_{DS}$ .

También, hemos tenido que realizar más medidas debido a que no se podía apreciar en la gráfica los distintos tramos. Los **datos obtenidos al variar  $V_i$**  son los reflejados en la siguiente tabla.

$V_{GS}$ (V)	$V_{DS}$ (V)	$V_{rd}$ (V)	$V_{Rg}$ (V)	$I_d$	$I_g$
0,02	5	0	0	0	0
0,39	5	0	0	0	0
0,68	5	0	0	0	0
0,91	4,99	0,01	0	0,0002136752	0
1,12	4,57	0,93	0	0,0198717949	0
1,24	4,07	0,93	0	0,0198717949	0
1,3	3,1725	0,93	0	0,0198717949	0
1,4	2,275	0,93	0	0,0198717949	0
1,53	0,48	4,3	0	0,0864711966	0
1,63	0,48	4,57	0	0,0965811966	0
1,87	0,16	4,84	0	0,1034188034	0
2,15	0,14	4,86	0	0,1038461538	0
2,43	0,12	4,88	0	0,1042735043	0
2,73	0,11	4,89	0	0,1044871795	0
3,05	0,11	4,89	0	0,1044871795	0
3,33	0,1	4,9	0	0,1047008547	0
3,65	0,1	4,9	0	0,1047008547	0
3,98	0,1	4,9	0	0,1047008547	0
4,32	0,1	4,9	0	0,1047008547	0
4,69	0,1	4,9	0	0,1047008547	0
5,05	0,09	4,91	0	0,1049145299	0

Realizamos ahora la **representación gráfica** de la tensión drenador-fuente ( $V_{DS}$ ) frente a la tensión de entrada ( $V_i$ ). Esta gráfica es la **característica de trasfencia** del circuito cuando la entrada se coloca en la fuente que hay en la puerta y la salida en el drenador. Como cualquier característica de transferencia, muestra cómo la salida  $V_{DS}$  se ve afectada por los cambios en la entrada ( $V_i$ ).

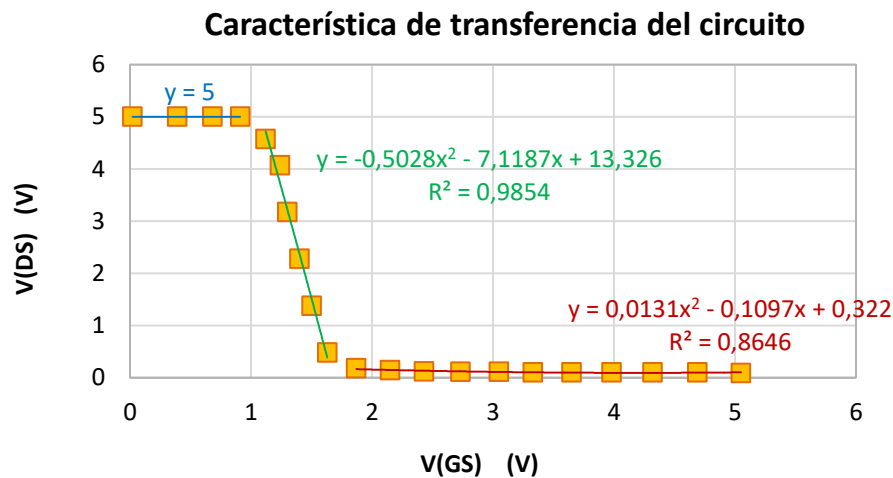


Figura 2.5. Característica de transferencia del circuito.

En la Figura 2.5 podemos ver tres tramos diferentes:

- Primer tramo: la línea de tendencia es una **recta** con pendiente 0. Por lo que en este tramo el transistor está en **corte**.
- Segundo tramo: la línea de tendencia es una **curva**. En este tramo el transistor está en **saturación**. Comienza cuando  $V(GS)$  alcanza la tensión umbral, en este caso, aproximadamente 1V.
- Tercer tramo: la línea de tendencia es una **curva**, pero tiende a 0. En este tramo el transistor está en **lineal**. Tiene lugar a partir de  $V(GS) = 1,8$  V aprox.

#### 4.2 Curva I-V de un MOSFET en saturación

Para calcular la característica I-V en saturación del transistor NMOS, realizaremos el montaje de la Figura 2.6, en el que la puerta y el drenador están cortocircuitados, y donde  $V_i$  es una fuente de alimentación variable cuyo valor cambiaremos en el intervalo 0V a 5V.

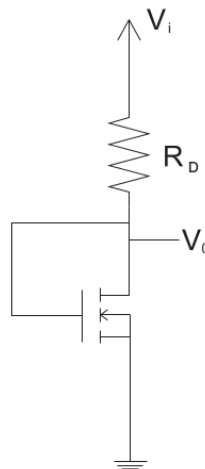


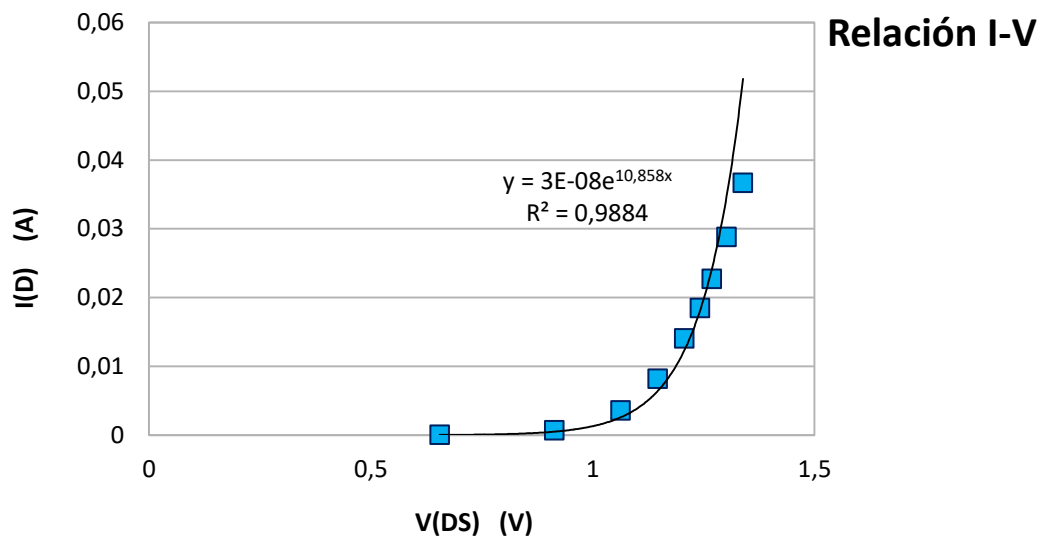
Figura 2.6. Montaje experimental para la medida de la característica I-V de un NMOS.

Para cada uno de los valores de  $V_i$ , tomaremos los siguientes valores: tensión entre los extremos de  $R_D$  y **tensión puerta-fuente** ( $V_{GS} = V_{DS}$ ). Además, utilizando la ley de Ohm, se calculará la **intensidad** que circula por el drenador y la fuente  $I_D$ .

Siendo  $I_D = \frac{V_{RD}}{R_D}$ , tenemos los datos experimentales reflejados en la siguiente tabla:

$V_{DS}$ (V)	$V_{RD}$ (V)	$V_i$ (V)	$I_D$ (A)
0,021	0	0,021	0
0,239	0	0,239	0
0,655	0,001	0,657	2,13675213675214E-005
0,914	0,031	0,943	0,0006623932
1,063	0,167	1,225	0,0035683761
1,147	0,383	1,545	0,0081837607
1,207	0,656	1,855	0,014017094
1,242	0,863	2,104	0,0184401709
1,269	1,061	2,329	0,0226709402
1,302	1,348	2,651	0,0288034188
1,339	1,715	3,053	0,0366452991

Ahora representemos en una gráfica la intensidad del drenador  $I_D$  frente a la tensión puerta-fuente  $V_{GS}$ .



*Figura 2.7. Relación I-V del circuito.*

Los valores en los que la  $I_D$  son 0 no los tenemos en cuenta, ya que el MOSFET no está operativo. Por lo que hemos quitado estos valores del gráfico.



Con el método de mínimos cuadrados hemos estimado la tensión umbral y la constante  $\mu_n C_{ox} \frac{W}{L}$ . Para ello, hemos tenido en cuenta que el transistor está en **saturación**. Además, con la ecuación obtenida de la línea de tendencia, podemos calcular los siguientes valores:

$V_{th}$ (V)	$\mu_n C_{ox} \frac{W}{L}$ (A/V <sup>2</sup> )	Coefficiente de correlación del ajuste
0,886	0,3095	0,9884

De la fórmula (4) obtenemos:

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

Siendo  $k$  la **transconductancia** de valor  $k = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L}$ .

Para calcular  $k$  dibujamos la relación  $\sqrt{I} - V$ .

## Relación sqrt(I) - V

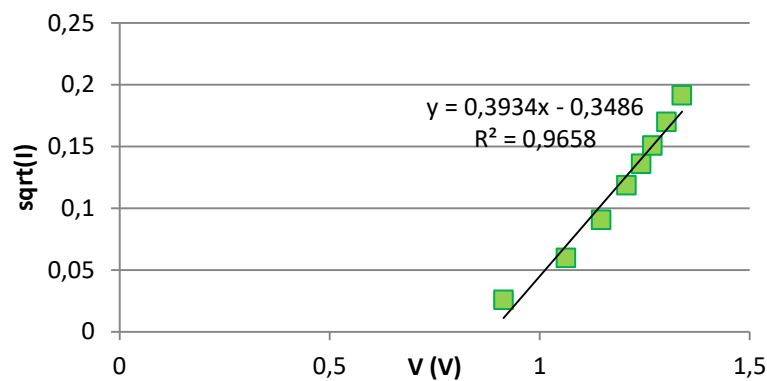


Figura 2.8. Relación  $\sqrt{I} - V$

Por lo que tras calcular la línea de tendencia del gráfico de la Figura 2.8, obtenemos una recta de pendiente  $\sqrt{\frac{k}{2}}$  y ordenada en el origen  $-\sqrt{\frac{k}{2}} \cdot V_{th}$

$$\sqrt{\frac{k}{2}} = 0,3934 \rightarrow \frac{k}{2} = 0,3934^2 \rightarrow k = 0,3095 \text{ (A/V}^2\text{)}$$

La ordenada en el origen de la ecuación de la línea de tendencia se calcularía de la siguiente forma:

$$x = 0 \rightarrow y = -0,3486 = -\sqrt{\frac{k}{2}} \cdot V_{th} = -\sqrt{\frac{0,3095}{2}} \cdot V_{th} \rightarrow \frac{-0,3486}{-\sqrt{\frac{0,3095}{2}}} = V_{th} = 0,886 \text{ V}$$

## 5. Discusión

### 5.1. Característica de transferencia

La característica de transferencia obtenida (Figura 2.5) coincide con la de un **inversor**. Como vimos en el apartado del fundamento teórico, existen tres regiones diferentes:

- **Región de Corte.** Según nuestra característica de transferencia, esta región coincide con el primer tramo, en la que la pendiente es 0 y, por lo tanto, el transistor no funciona, esto es, no hay corriente entre fuente y drenador. En esta región  $V_{GS} < V_{th}$ , donde  $V_{th}$  es la tensión umbral.
- **Región Triodo.** Esta región coincide con el tercer tramo de nuestra característica de transferencia. El transistor está encendido y el canal que se crea entre fuente y drenador permite la circulación de corriente entre ambos. Este modo se produce cuando  $V_{GS} > V_{th}$  y  $V_{DS} < (V_{GS} - V_{th})$ .
- **Región de Saturación.** Este modo coincide con el segundo tramo de nuestra característica de transferencia. Se produce cuando  $V_{GS} > V_{th}$  y  $V_{DS} > (V_{GS} - V_{th})$ .

Además, podemos calcular la característica de transferencia de forma teórica, para valores de  $V_{GS}$  dados:

$$V_{DS} = \begin{cases} V_{DD} = 5V & (corte) \\ V_{DD} - 2 \cdot (V_{GS} - V_T)^2 & (saturación) \\ \rightarrow 0V & (lineal) \end{cases}$$

(fórmula extraída de las transparencias del tema 4)

$V_{GS}$ (V)	$V_{DS}$ (V) (calculado)	Estado del MOSFET
0,02	5	CORTE
0,39	5	CORTE
0,68	5	CORTE
0,91	5	CORTE
1,12	4,9712	SATURACIÓN
1,24	4,8848	SATURACIÓN
1,3	4,82	SATURACIÓN
1,4	4,68	SATURACIÓN

1,53	4,4382	SATURACIÓN
1,63	4,2062	SATURACIÓN
1,87	0	LINEAL
2,15	0	LINEAL
2,43	0	LINEAL
2,73	0	LINEAL
3,05	0	LINEAL
3,33	0	LINEAL
3,65	0	LINEAL
3,98	0	LINEAL
4,32	0	LINEAL
4,69	0	LINEAL
5,05	0	LINEAL

Obteniéndose la representación gráfica de la figura 2.9.

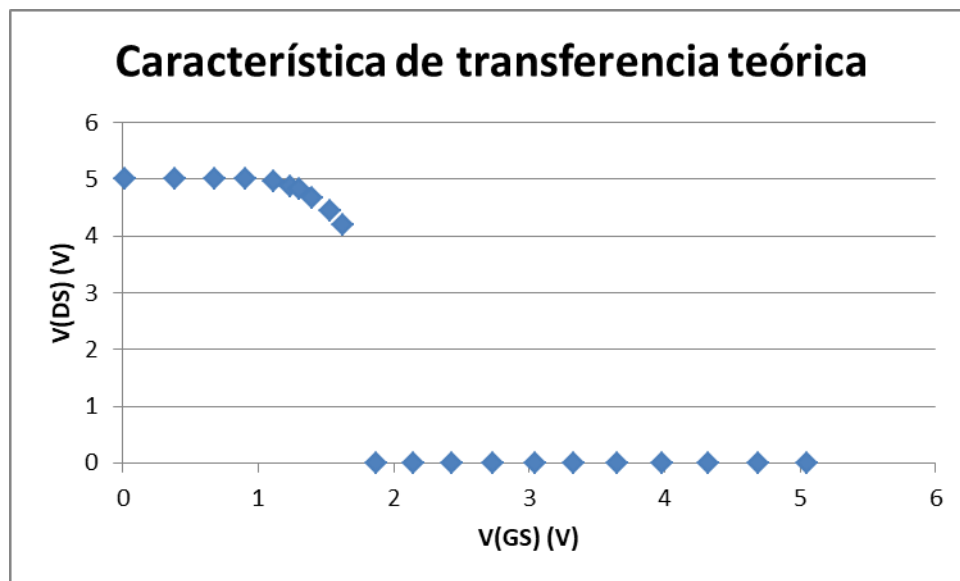


Figura 2.9

A la vista de las gráficas 2.9 y 2.5, es notorio que el resultado experimental no se parece mucho al teórico. Suponemos que esto se debe a un error en los cálculos teóricos o a que, efectivamente, la teoría no concuerda con la realidad.

No obstante, apreciamos que, a grandes rasgos, las gráficas tienen la misma forma. Por tanto, se prefiere dar por válido el estudio.

## **5.2. Curva I-V de un MOSFET en saturación**

Comparando la teoría con los datos obtenidos experimentalmente, podemos afirmar que se cumplen las siguientes relaciones:

- $V_{GS} > V_{th} \rightarrow V_i > 0,886$
- $V_{DS} > V_{GS} - V_{th} \rightarrow V_o > V_i - 0,886$
- $I_D = \frac{k}{2}(V_{GS} - V_{th})^2 \rightarrow I_D = \frac{\mu_n C_{ox} \frac{W}{L}}{2}(V_{GS} - 0,886)^2$
- $V_{DD} = I_D \cdot R_D + V_o$

Por tanto, la representación de la curva I-V del MOSFET en saturación ha sido correcta.

## 6. Conclusión

De la realización de esta práctica podemos extraer las siguientes conclusiones:

- El MOSFET es un dispositivo electrónico cuyo funcionamiento está determinado por las diferencias de potencial que se establecen entre sus terminales. Así, los modos de funcionamiento pueden ser *corte*, *lineal* o *saturación*.
- En la característica de transferencia del circuito estudiado se ve cómo la salida del circuito está directamente relacionada con la región en la que se encuentre el transistor.
- La relación I-V de un transistor MOSFET en saturación es de tipo exponencial y viene dada por la fórmula (4), anteriormente expuesta en el epígrafe “Fundamento teórico”.

\*

\*

\*

## ANEXO. Bibliografía

- ❖ *Material de Laboratorio. Fundamentos Físicos y Tecnológicos GII y DGIIM.* Isabel M. Tienda Luna. Curso 2015 - 2016.
- ❖ *Transparencias Fundamentos Físicos y Tecnológicos. Tema 4 – Dispositivos semiconductores.* Isabel M. Tienda Luna. Curso 2012 - 2013.
- ❖ *Documento. Elaboración de la memoria de la práctica 4.* Isabel M. Tienda Luna.