

Universidad Autónoma de Baja California  
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería



**ELECTRÓNICA APLICADA**  
**Transistor FET**

**Docente:** Corral Domínguez Ángel Humberto

**Alumno:** Gómez Cárdenas Emmanuel Alberto

Matrícula: 1261509

## Índice

Descripción y diferencias entre los transistores BJT y FET .....	3
Transistores de Unión de Efecto de Campo (JFET).....	3
Estructura Básica .....	3
Símbolos .....	4
Funcionamiento de un Transistor JFET .....	5
Influencia de $V_{DS}$ .....	5
Influencia de $V_{GS}$ .....	7
Curvas características.....	8
Zonas de Trabajo .....	8
Zona Óhmica .....	8
Zona de saturación .....	9
Zona de ruptura.....	9
Zona de corte .....	10
Transistores de Efecto de Campo Metal Oxido Semiconductor (MOSFET) .....	10
MOSFET de Acumulación. ....	10
Estructura Básica .....	10
Símbolos .....	10
Principio de funcionamiento .....	11
Curvas características.....	13
Zonas de trabajo.....	13
MOSFET de Deplexión .....	14
Estructura Básica .....	14
Símbolos .....	15
Principio de funcionamiento .....	16
Curvas características.....	16

## Descripción y diferencias entre los transistores BJT y FET

El Transistor de Efecto de Campo (FET por sus siglas en inglés) los cuales se dividen en dos tipos:

- Transistor de Efecto de Campo de Unión o JFET (Junction Field Effect Transistor)
- Transistor de Efecto de Campo Metal – Oxido – Semiconductor o MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)

La principal diferencia entre los transistores BJT y FET es que el BJT es controlado mediante corriente, mientras que el FET es controlado mediante tensión. Mientras que los transistores BJT son bipolares (En la corriente intervienen los dos tipos de portadores) los transistores FET son unipolares (en el cual el nivel de conducción dependerá de únicamente un tipo de portadores.)

Una de las características mas importantes de los Transistores FET es su alta impedancia con niveles que varían desde uno hasta varios cientos de Mega Ohmios ( $M\Omega$ ) muy por encima de los valores presentados en los transistores bipolares (Los transistores BJT tienen impedancias del orden de pocos Kilo Ohmios).

Sin embargo, los transistores BJT son mas sensibles a los cambios en la señal aplicada. Por ello, las ganancias de tensión en alterna que presentan los amplificadores BJT son muchos mayores que las correspondientes FET.

En general los transistores FET son mas estables con la temperatura y más pequeños en construcción que los BJT, lo que los hace más útiles dentro de circuitos integrados (En especial los MOSFET). Una característica importante de los FET es que se pueden comportar como si se tratara de resistencias o capacitores, lo que posibilita la realización de circuitos utilizando única y exclusivamente transistores FET.

## Transistores de Unión de Efecto de Campo (JFET)

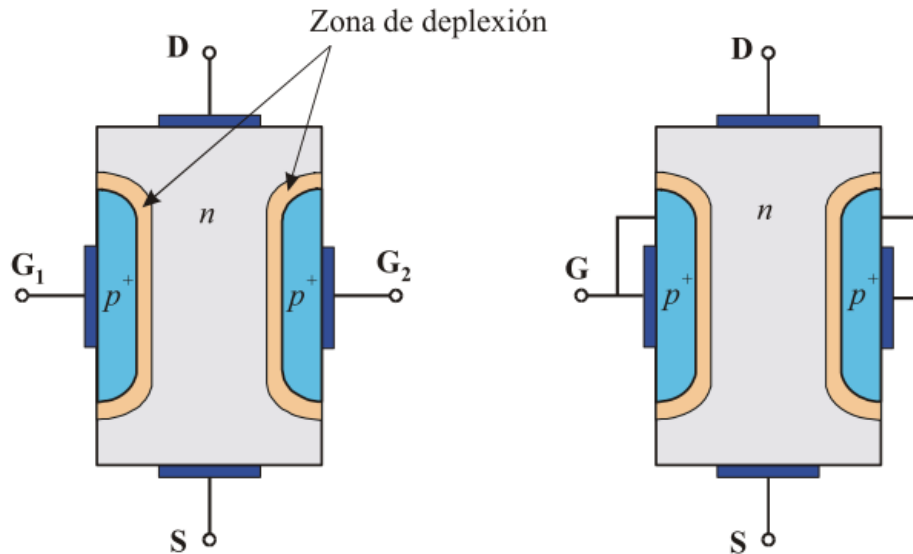
### Estructura Básica

Los JFET se pueden separar en dos grandes grupos

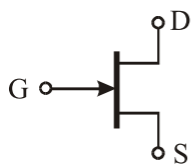
- JFET de canal n
- JFET de canal p

La mayor parte de la estructura es de material tipo n ligeramente dopado formando un canal con contactos Óhmicos en ambos extremos. Este canal se encuentra inserto entre dos regiones de compuerta de tipo  $p^+$  con sendos contactos Óhmicos que constituyen los terminales de puerta.

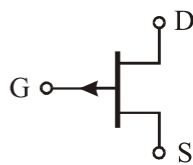
- D = Drenador (Del inglés Drain): Es el terminal por el que salen los portadores del dispositivo
- S = Fuente (Del inglés Source): Es el terminal por el que entran los portadores
- G = Puerta (Del inglés Gate): Es el terminal mediante el que se controla la corriente de portadores a través del canal



### Símbolos



Canal n

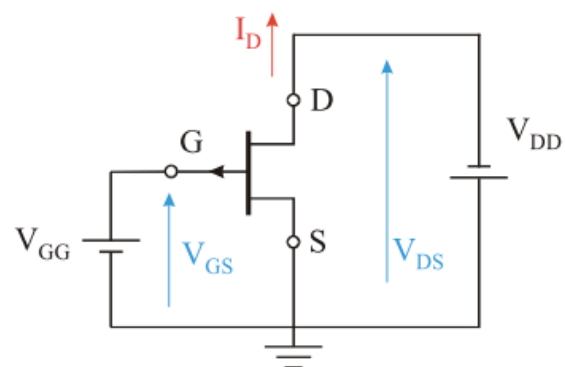
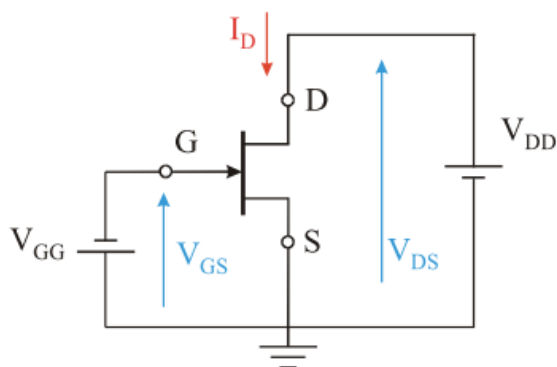


Canal p

Como se puede observar, la única diferencia entre ambos símbolos reside en el sentido de la flecha de la terminal de puerta (Terminal G).

En el canal n el terminal de puerta se representa con una flecha entrante al dispositivo mientras que en el p es saliente.

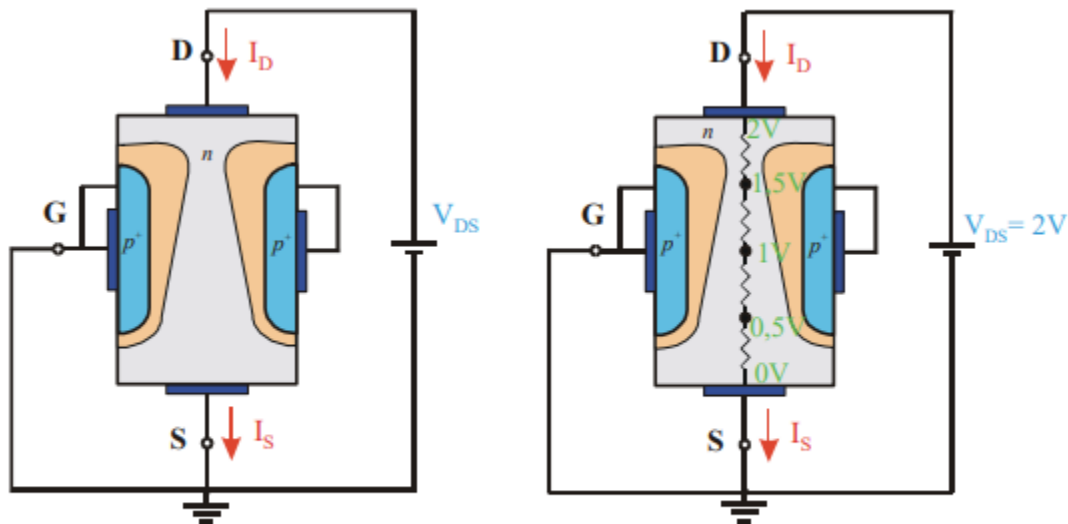
Habitualmente los transistores de canal n se polarizan aplicando una tensión positiva entre drenador y fuente ( $V_{DS}$ ) y una tensión negativa entre puerta y fuente ( $V_{GS}$ ). De esta forma, la corriente circulara en sentido de drenador a fuente. En el caso del JFET de canal p la tensión  $V_{DS}$  a aplicar debe ser negativa y la tensión  $V_{GS}$  positiva, de esta forma la corriente fluirá en el sentido de la fuente hacia el drenador.



## Funcionamiento de un Transistor JFET

### Influencia de $V_{DS}$

Al establecer una tensión  $V_{GS} = 0$  los terminales de fuente y puerta están al mismo potencial, por lo que la zona de deplexión del lado de la fuente será igual a la que teníamos en condiciones de no polarización. En el instante en que se aplique una tensión  $V_{DS}$ , los electrones se verán atraídos hacia el lado del drenador, estableciéndose una corriente  $I_D$ . bajo estas condiciones las corrientes  $I_D$  e  $I_S$  serán iguales.

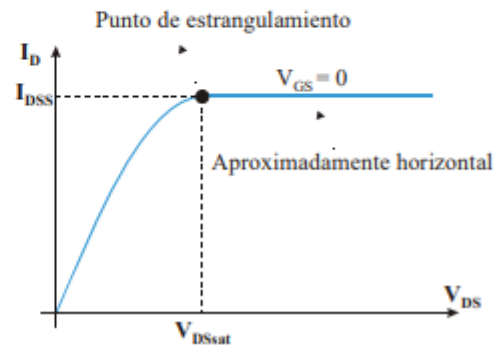
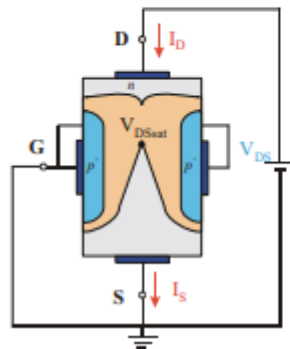
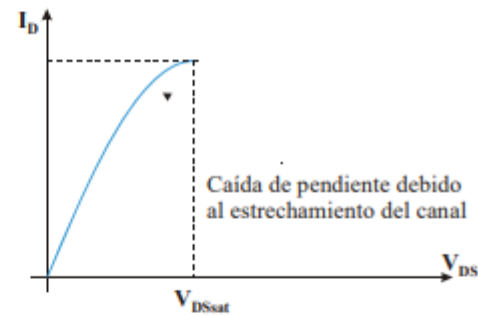
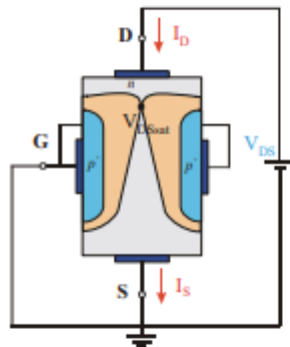
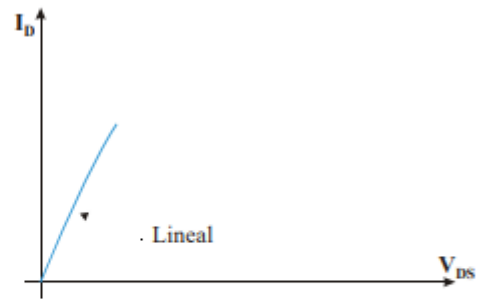
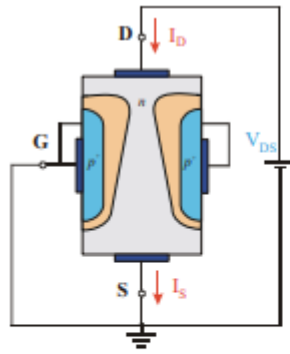


### *Efecto de la tensión $V_{DS}$ . El canal se estrecha de la zona del drenador.*

Cuando aplicamos una tensión  $V_{DS}$  esta se distribuirá a lo largo del canal, distribución, que en un principio y para tensiones pequeñas, podemos suponer uniforme.

Para valores pequeños de la tensión  $V_{DS}$  aplicada, el estrechamiento del canal no será importante, por lo que el dispositivo se comporta, en esencia, como una resistencia de forma que la relación entre la tensión aplicada y la corriente que circula por el dispositivo será lineal tal y como establece la Ley de Ohm.

A medida que aumentamos la tensión aplicada, el estrechamiento del canal se va haciendo más importante, lo que lleva consigo un aumento de la resistencia y por tanto un menor incremento en la corriente ante un mismo incremento de la tensión aplicada.

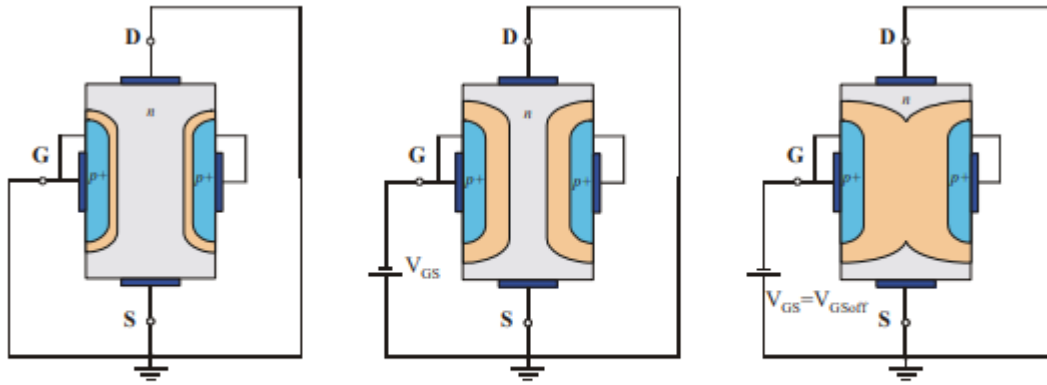


Si continuamos aumentando la tensión  $V_{DS}$ , el canal se estrecha cada vez más, en especial cerca de la zona del drenador, hasta que ambas zonas de deplexión se tocan. La tensión  $V_{DS}$  para la cual se produce el estrangulamiento del canal se denomina  $V_{DSsat}$ .

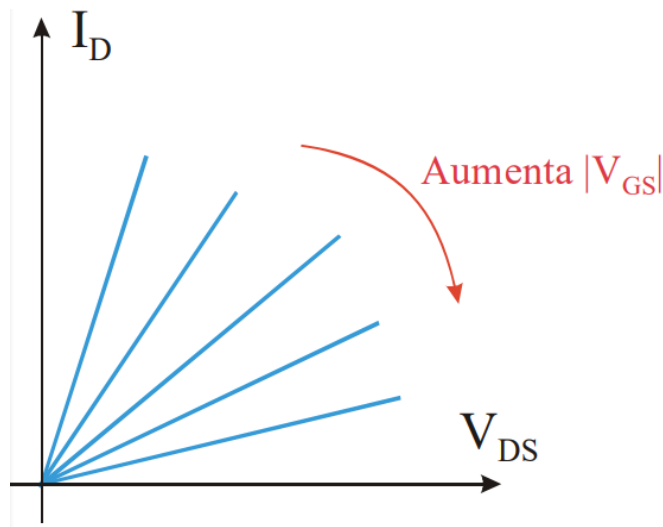
Para tensiones  $V_{DS}$  aplicadas superiores a este valor, la pendiente de la curva ( $I_D - V_{DS}$ ) se satura, haciéndose aproximadamente cero, manteniéndose la corriente  $I_D$  prácticamente constante a un valor denominado  $I_{DSS}$  (Corriente drenador - fuente de saturación) que es la máxima corriente que podemos tener para un determinado JFET (característico para cada JFET).

### Influencia de $V_{GS}$

Una vez establecida la variación de la corriente  $I_D$  por el dispositivo en función de la tensión  $V_{DS}$  cuando  $V_{GS} = 0$ , para completar el análisis, tenemos que estudiar el comportamiento del JFET para tensiones  $V_{GS}$  aplicadas menores que cero. El funcionamiento del JFET para valores de  $V_{GS} < 0$  es muy similar al que tiene con  $V_{GS} = 0$ , con alguna pequeña modificación.



**Figura 7.7.-** La tensión  $V_{GS}$  modula la anchura del canal.  
Cuando  $V_{GS} = V_{GSoff}$  el canal se cierra por completo



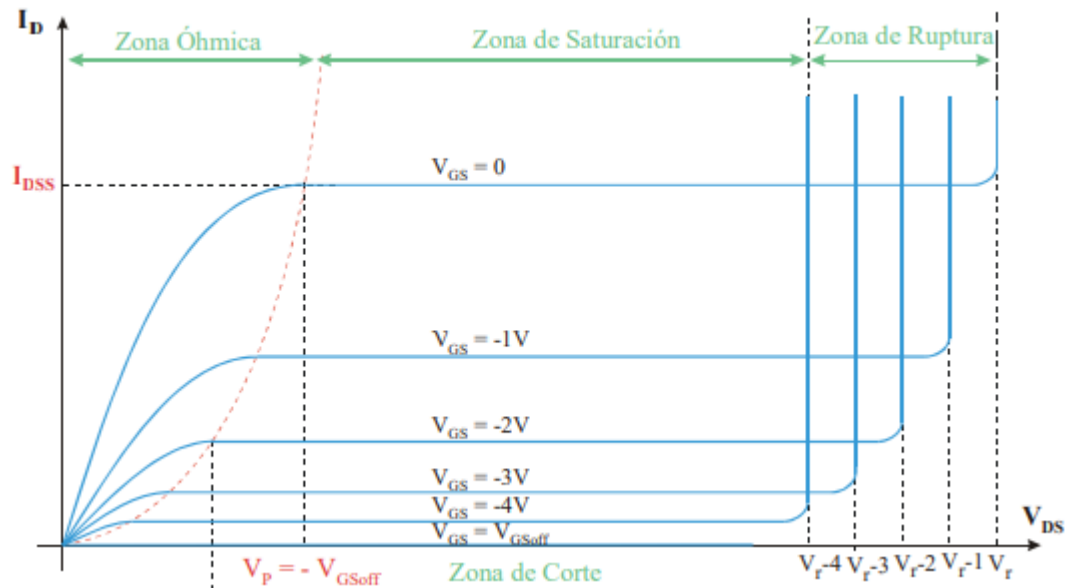
Para valores pequeños de la tensión  $V_{DS}$  aplicada donde la relación  $I_D - V_{DS}$  es lineal, la pendiente será tanto menor cuanto más negativa sea  $V_{GS}$ .

La tensión  $V_{GS}$  modula la anchura del canal. El dispositivo se comporta como una resistencia controlada por  $V_{GS}$ .

Por último, para tensiones  $V_{GS}$  suficientemente negativas, podrían llegar a cerrar por completo el canal, aun cuando  $V_{DS} = 0$ . Esto sucede cuando la tensión  $V_{GS}$  alcanza o disminuye por debajo del valor  $V_{GSoff}$ .

Hecho este por el cual el fabricante suele denotar este parámetro como  $V_{GSoff}$ , (este es un valor de tensión característico de cada JFET) ya que indica el valor de tensión por debajo del cual el canal está completamente vaciado no habiendo posibilidad de circulación de corriente por mucho que se aumente la corriente  $V_{DS}$ .

## Curvas características



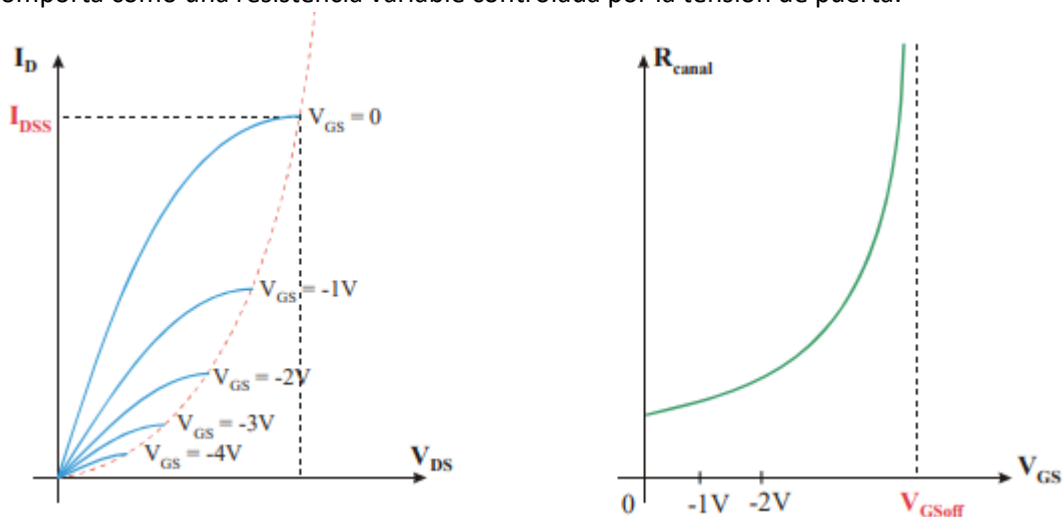
En la imagen se pueden observar las curvas características ideales de salida para un transistor JFET de canal n. Se muestran la corriente del drenador  $I_D$  frente a la tensión el drenador (Fuente  $V_{DS}$ ). Podemos distinguir fácilmente 4 zonas bien diferenciadas.

- Zona Óhmica
- Zona de Saturación
- Zona de Ruptura
- Zona de Corte

## Zonas de Trabajo

### Zona Óhmica

Se da para valores de  $V_{DS}$  inferiores al de saturación ( $V_{DS} \leq V_{GS} - V_{GSoff}$ ). En esta zona el transistor se comporta como una resistencia variable controlada por la tensión de puerta.

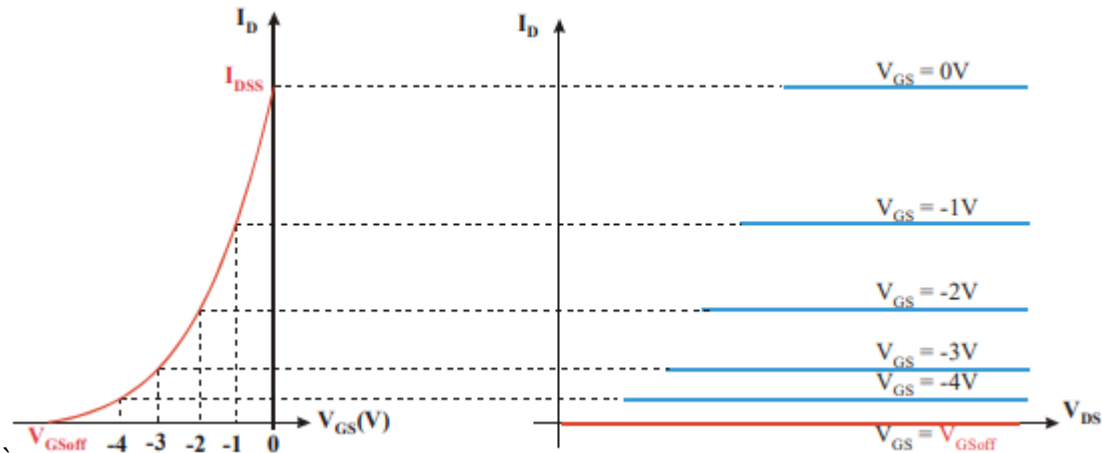




### Zona de saturación

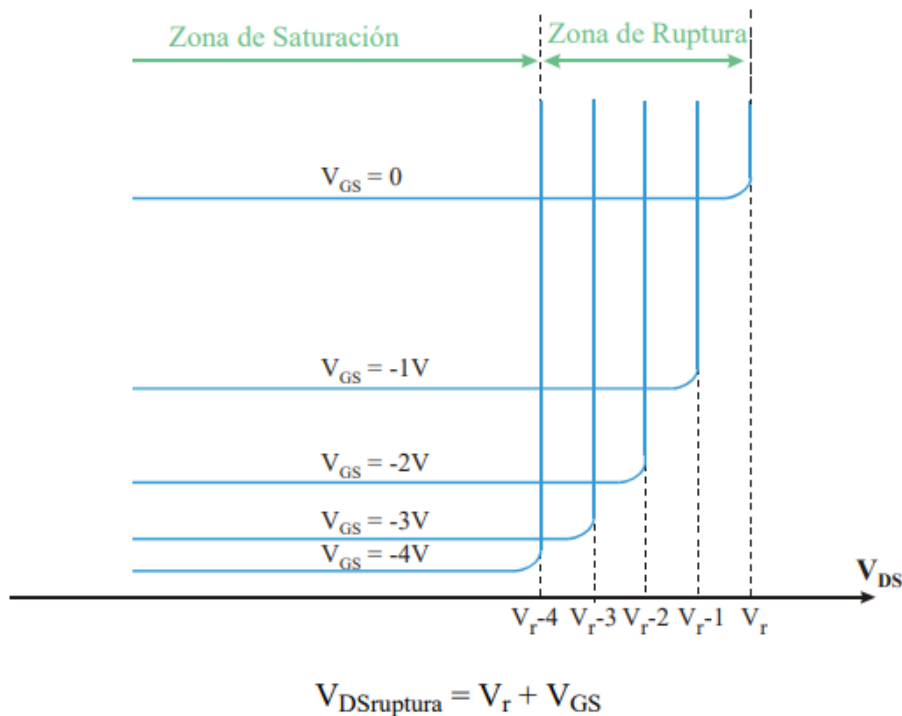
Esta zona se da para valores  $V_{DS} > V_{DSsat}$ . La corriente  $I_D$  permanece invariante frente a los cambios de  $V_{DS}$  y solo depende de la tensión  $V_{GS}$  aplicada. En esta zona el transistor se comporta como una fuente de corriente controlada por la tensión de puerta  $V_{GS}$ . La relación entre la tensión  $V_{GS}$  y la

corriente  $I_D$  en esta zona viene dada por la ecuación:  $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GSoff}}\right)^2$



### Zona de ruptura

En un transistor JFET tenemos dos uniones p-n polarizadas en inversa, tanto más cuanto menor sea el valor de  $V_{GS}$ , La zona de carga de espacio aumenta hasta llegar a un determinado valor (tensión de ruptura) la unión se perfora produciéndose la ruptura del dispositivo.



### Zona de corte

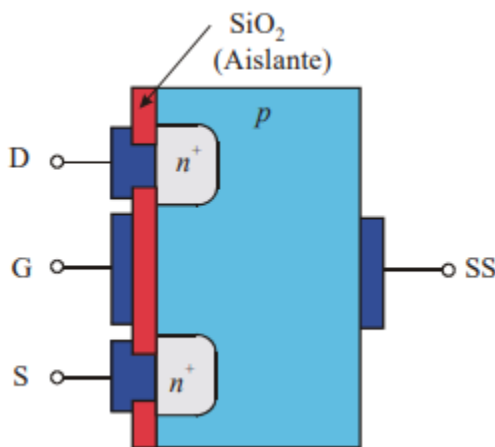
Esta zona se da para valores de  $V_{GS} \leq V_{GSoff}$  donde el canal esta completamente cerrado. La corriente  $I_D = 0$  con independencia del valor  $V_{DS}$ .

## Transistores de Efecto de Campo Metal Oxido Semiconductor (MOSFET)

Los transistores MOSFET existen en dos tipos: MOSFET de acumulación y MOSFET de depleción.

### MOSFET de Acumulación.

#### Estructura Básica

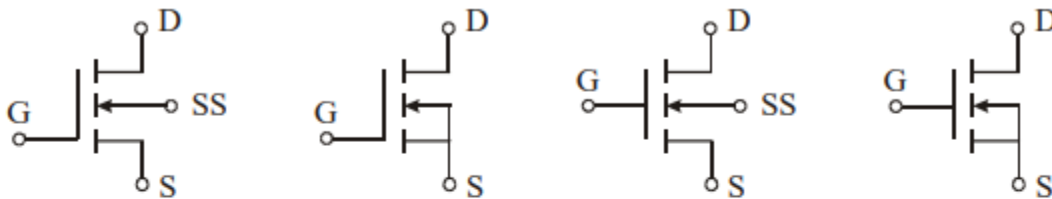


Partimos de una zona de material semiconductor tipo p en la que aparecen dos zonas tipo  $n^+$  con contactos metálicos a los terminales de drenador y fuente. La zona roja representada corresponde a una capa de material aislante, en este caso óxido de silicio. En la terminal de puerta, vemos una zona metálica, una zona de óxido y una zona de semiconductor (Debido a esta estructura se le da el nombre: Metal-Oxido-Semiconductor, MOS).

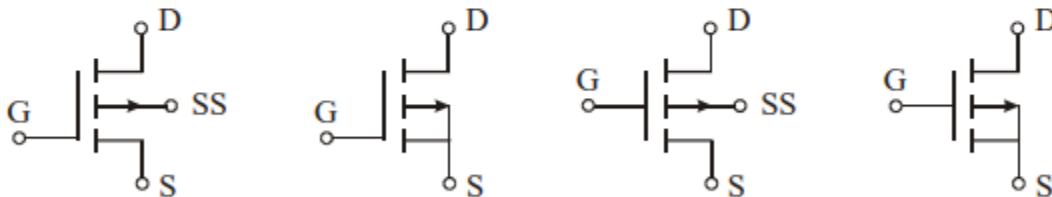
Este dispositivo cuenta con una cuarta terminal de Sustrato (SS).

### Símbolos

Los símbolos más comúnmente utilizados para la representación en circuitos son los que aparecen a continuación:

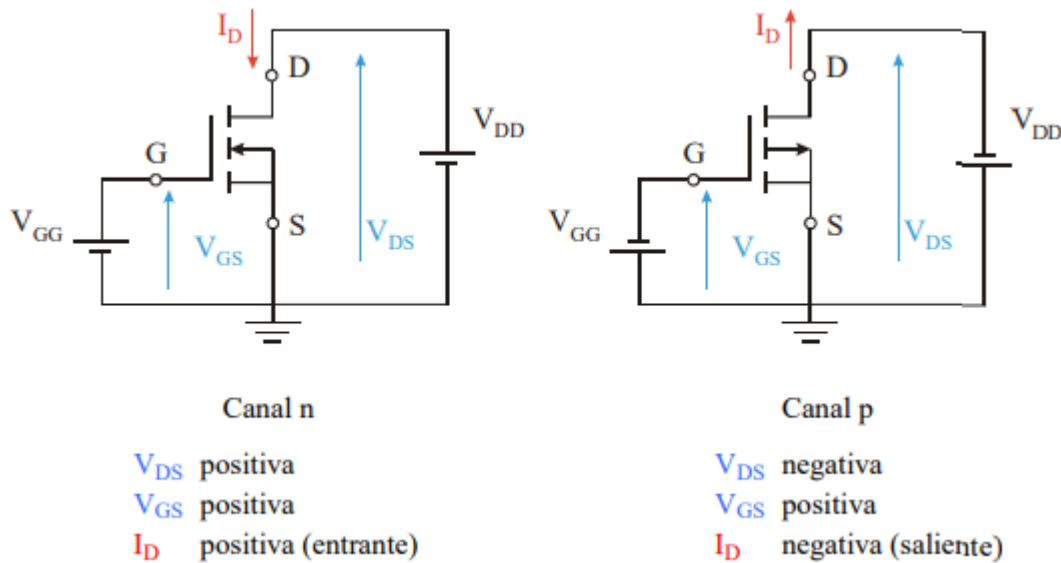


MOSFET de acumulación canal n



MOSFET de acumulación canal p

Habitualmente los transistores MOSFET de acumulación se polarizan tal y como se muestra:

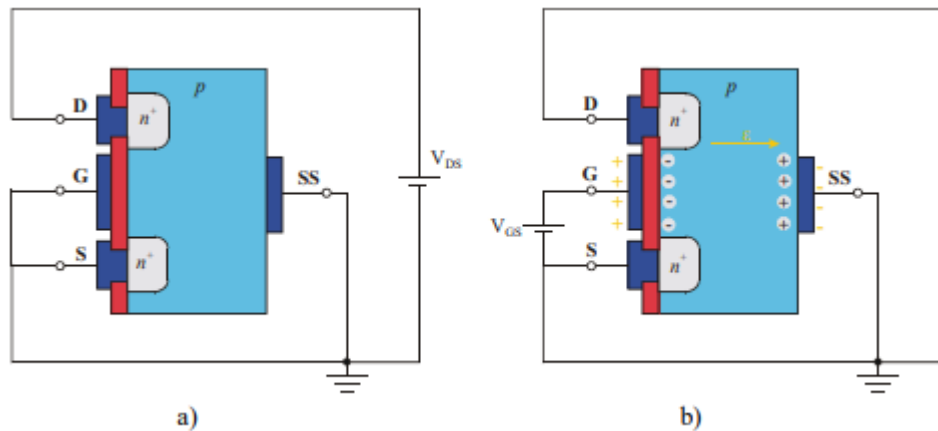


Principio de funcionamiento

*Influencia de  $V_{GS}$*

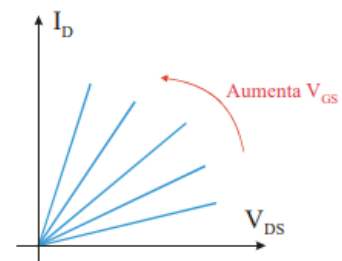
Si se le aplica una tensión  $V_{GS} = 0$ , aunque se le aplique una tensión  $V_{DS}$  la corriente no circulara por el dispositivo, ya que la unión de drenador está en polarización inversa.

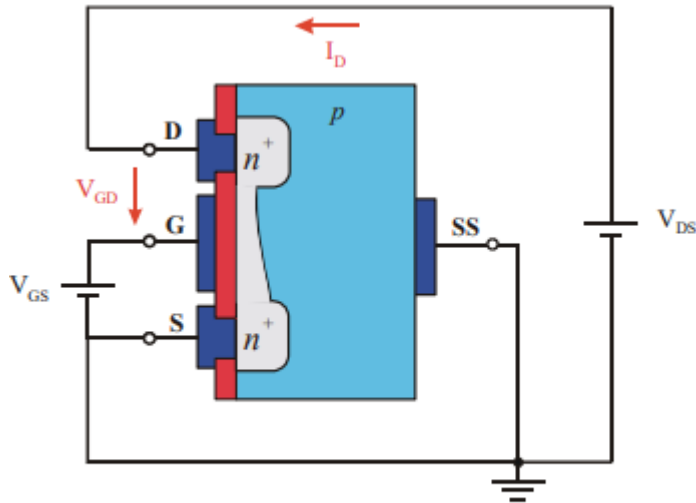
Por ejemplo: A)  $V_{GS} = 0$  y B)  $V_{GS} > 0$



Cuando  $V_{GS} > 0$  aparece un campo eléctrico que lleva a los electrones hacia la zona de la puerta y aleja de dicha zona a los huecos, no pudiéndose establecer una corriente por estar la puerta aislada. Para valores pequeños de esta tensión  $V_{GS}$  aplicada se creará una zona de carga de espacio.

Cuanto mayor sea la tensión  $V_{GS}$  aplicada, mayor será la anchura del canal formado. El dispositivo se comporta como una resistencia controlada por  $V_{GS}$



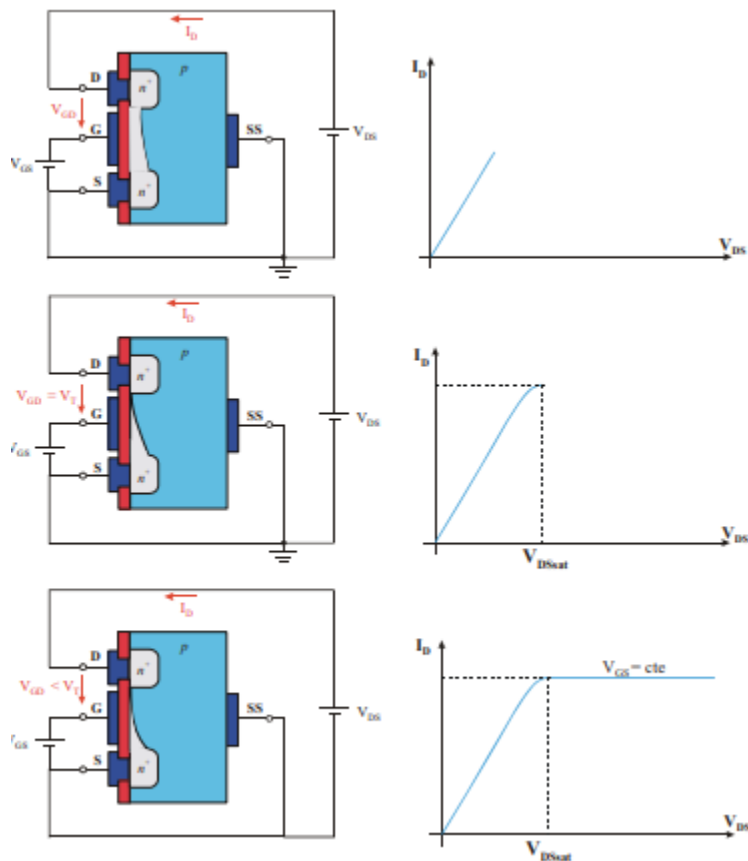
*Influencia de  $V_{DS}$* 

Una vez que se ha formado el canal, si aplicamos una tensión positiva, por el canal circulará una corriente  $I_D$  en el sentido del drenador hacia la fuente. Si nos fijamos en la relación de tensiones  $V_{DS} = V_{GS} - V_{GD}$ , al ser  $V_{DS} > 0$  tendremos que  $V_{GD} < V_{GS}$ , por lo tanto, la anchura del canal será menor del lado del drenador.

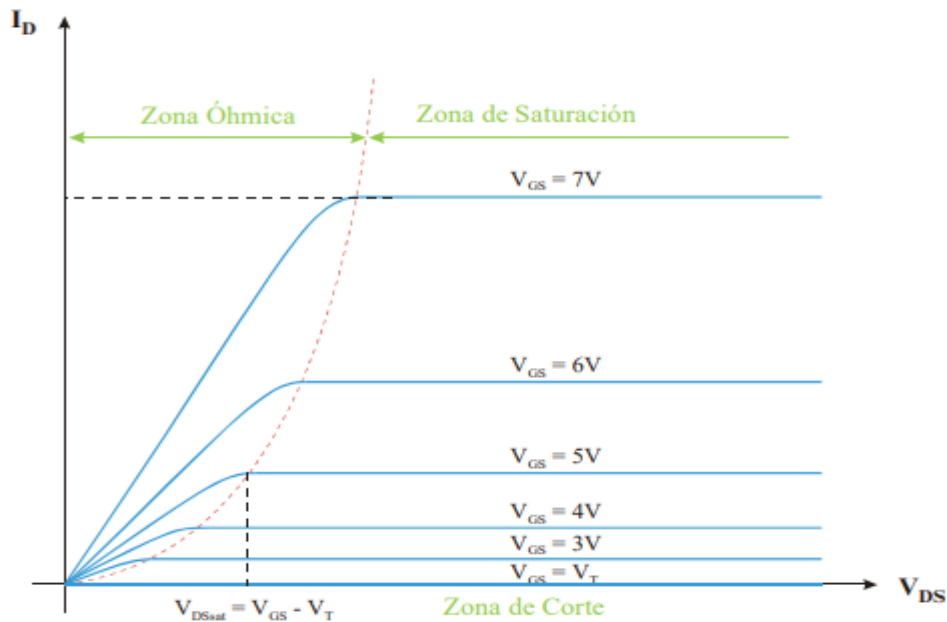
La relación entre la tensión aplicada y la corriente que circula será lineal, tal y como lo establece la Ley de Ohm.

*Efecto de la tensión  $V_{DS}$ . El canal se estrecha más de la zona del drenador.*

A medida que el valor  $V_{DS}$  aumente, el estrechamiento comenzará a ser más importante, variando la resistencia que presenta el canal y perdiendo la característica de linealidad. Hasta que la tensión  $V_{DS}$  alcance el valor  $V_{DSsat}$ , en el cual el canal se cierra por completo. A partir de ello, si se aumenta la tensión  $V_{DS}$ , la corriente se mantiene constante.



## Curvas características



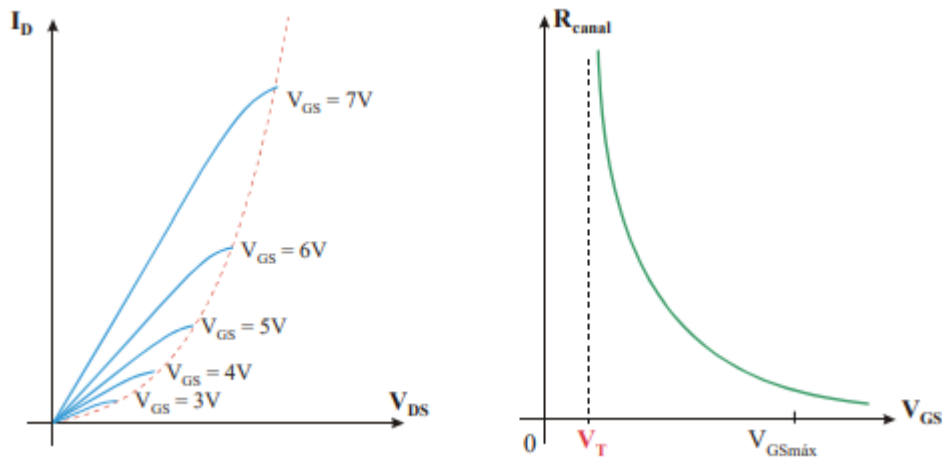
Se muestran las mismas cuatro zonas de trabajo del transistor que las vistas en el JFET

- Zona Óhmica
- Zona de Saturación
- Zona de Ruptura
- Zona de Corte

## Zonas de trabajo

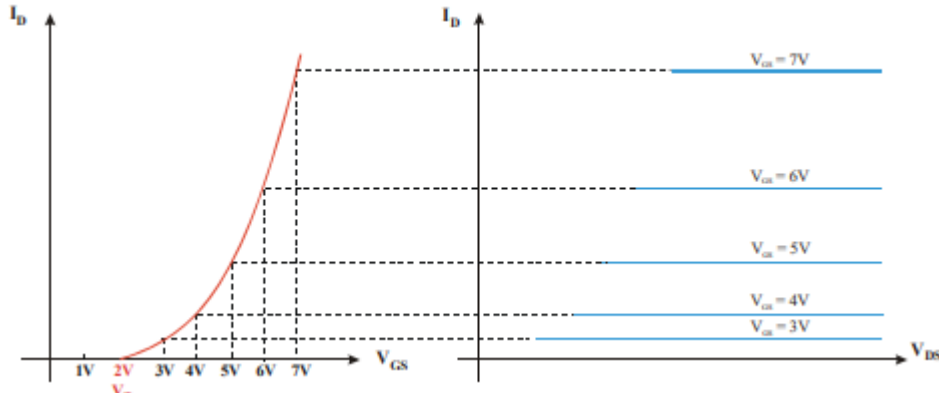
*Zona óhmica*

Se da cuando  $V_{DS} \leq V_{GS} - V_T$ . Para estos valores de tensión, el canal se va estrechando de la parte del drenador, hasta llegar al estrangulamiento completo por  $V_{DSsat}$ . En esta zona el transistor se comporta mas o menos como una resistencia variable controlada por la tensión de puerta.



### Zona de saturación

Se da para valores  $V_{DS} > V_{DSsat}$ . La corriente  $I_D$  permanece invariante ante  $V_{DS}$  y solo depende de la tensión  $V_{GS}$ . En esta zona el transistor se comporta como una fuente de corriente controlada por la tensión de puerta  $V_{GS}$ . La relación está dada por la ecuación:  $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$



### Zona de ruptura

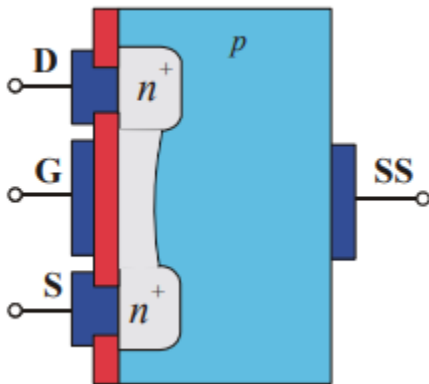
Un transistor MOSFET entra en esta zona por dos motivos: porque se perfora el dieléctrico cuando la tensión  $V_{GS}$  supera un determinado valor o porque la unión pn del lado del drenador se supera el valor de la tensión de ruptura

### Zona de corte

Se da para valores  $V_{GS} \leq V_T$ , en esta zona la corriente  $I_D = 0$  con independencia del valor  $V_{DS}$ .

## MOSFET de Deplexión

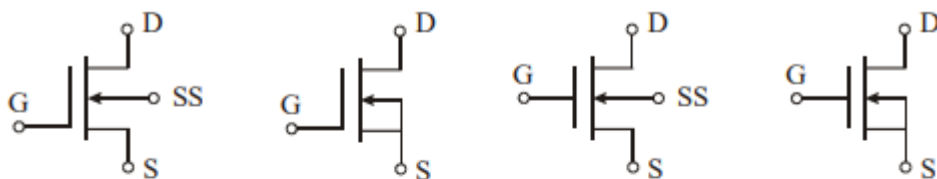
### Estructura Básica



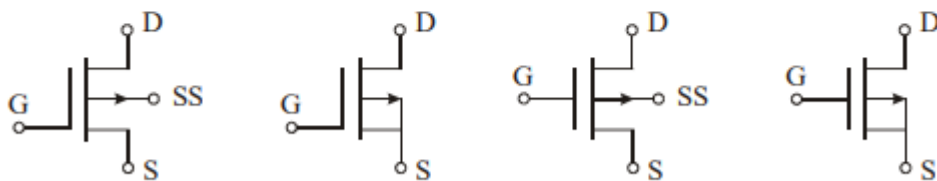
La estructura es similar al caso de acumulación, con la única diferencia de que en este caso nos encontramos con un canal inicial que viene de fábrica.

## Símbolos

Estos son los símbolos mas habituales utilizados para la representación en circuitos

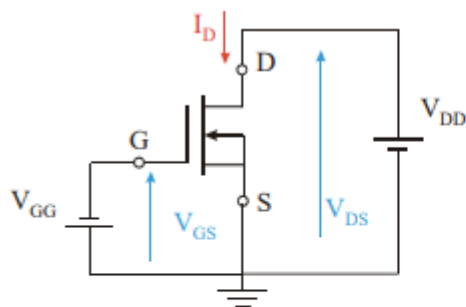


MOSFET de deplexió canal n



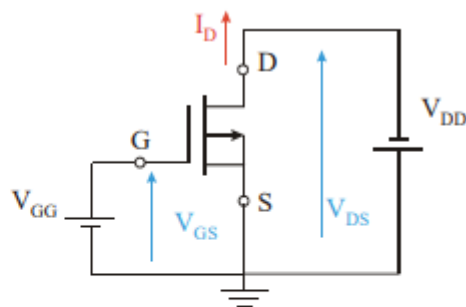
MOSFET de deplexió canal p

Para el funcionamiento habitual, los transistores MOSFET de deplexion se polarizan como se muestra adelante:



Canal n

$V_{DS}$  positiva  
 $V_{GS}$  negativa o positiva  
 $I_D$  positiva (entrante)

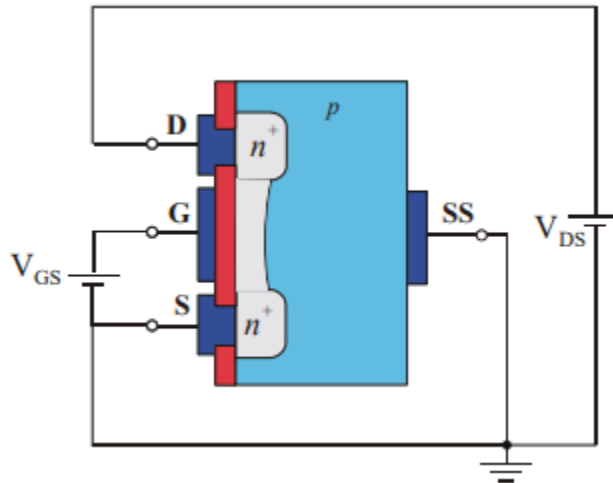


Canal p

$V_{DS}$  negativa  
 $V_{GS}$  positiva o negativa  
 $I_D$  negativa (saliente)

### Principio de funcionamiento

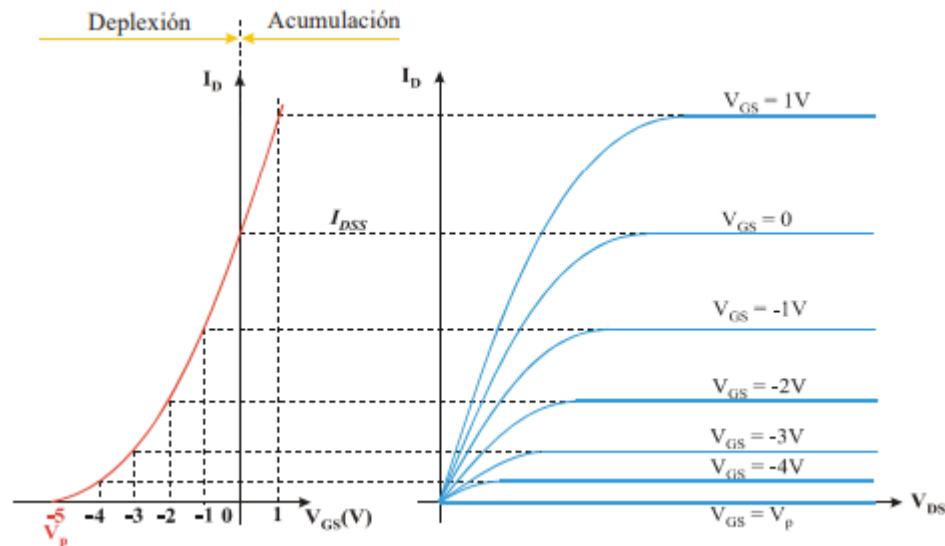
En este caso, si aplicamos una tensión  $V_{GS} > 0$ , se atraerán más electrones hacia la zona de la puerta



y se repelerán más huecos de dicha zona, por lo que el canal se ensanchará. Por lo tanto, el efecto que tenemos es el mismo que en el caso del MOSFET de acumulación, es decir, para valores  $V_{GS} > 0$  el MOSFET de depleción tiene un comportamiento de acumulación. Si por el contrario damos valores  $V_{GS} < 0$  el efecto será el contrario, disminuyéndose la anchura del canal. En definitiva, volvemos a tener de nuevo un efecto de modulación de la anchura de un canal en función de una tensión aplicada  $V_{GS}$ . Sin embargo, si seguimos disminuyendo

el valor de  $V_{GS}$  podrá llegar un momento en que el canal desaparezca por completo, esto sucederá cuando  $V_{GS}$  disminuya por debajo de un valor  $V_{GSoff}$ .

### Curvas características



Las curvas características para el transistor MOSFET de depleción son en esencia iguales a las anteriores. En este caso cuando la tensión  $V_{GS}$  aplicada es cero, a la corriente por el dispositivo se le denomina  $I_{DSS}$ . Sin embargo, no se trata de la máxima corriente extraíble del dispositivo.