

## TRANSISTORES DE EFECTO DE CAMPO

- 1.- Introducción.
- 2.- Transistores de unión de efecto de campo (JFET).
  - 2.1.- Estructura Básica.
  - 2.2.- Símbolos.
  - 2.3.- Principio de funcionamiento.
    - 2.3.1.- Influencia de  $V_{DS}$ .
    - 2.3.2.- Influencia de  $V_{GS}$ .
  - 2.4.- Curvas características.
  - 2.5.- Zonas de trabajo.
- 3.- Transistores de efecto de campo metal-óxido-semiconductor (MOSFET).
  - 3.1.- MOSFET de Acumulación.
  - 3.2.- MOSFET de Deplexión.

# 1.- Introducción.

## Comparativa

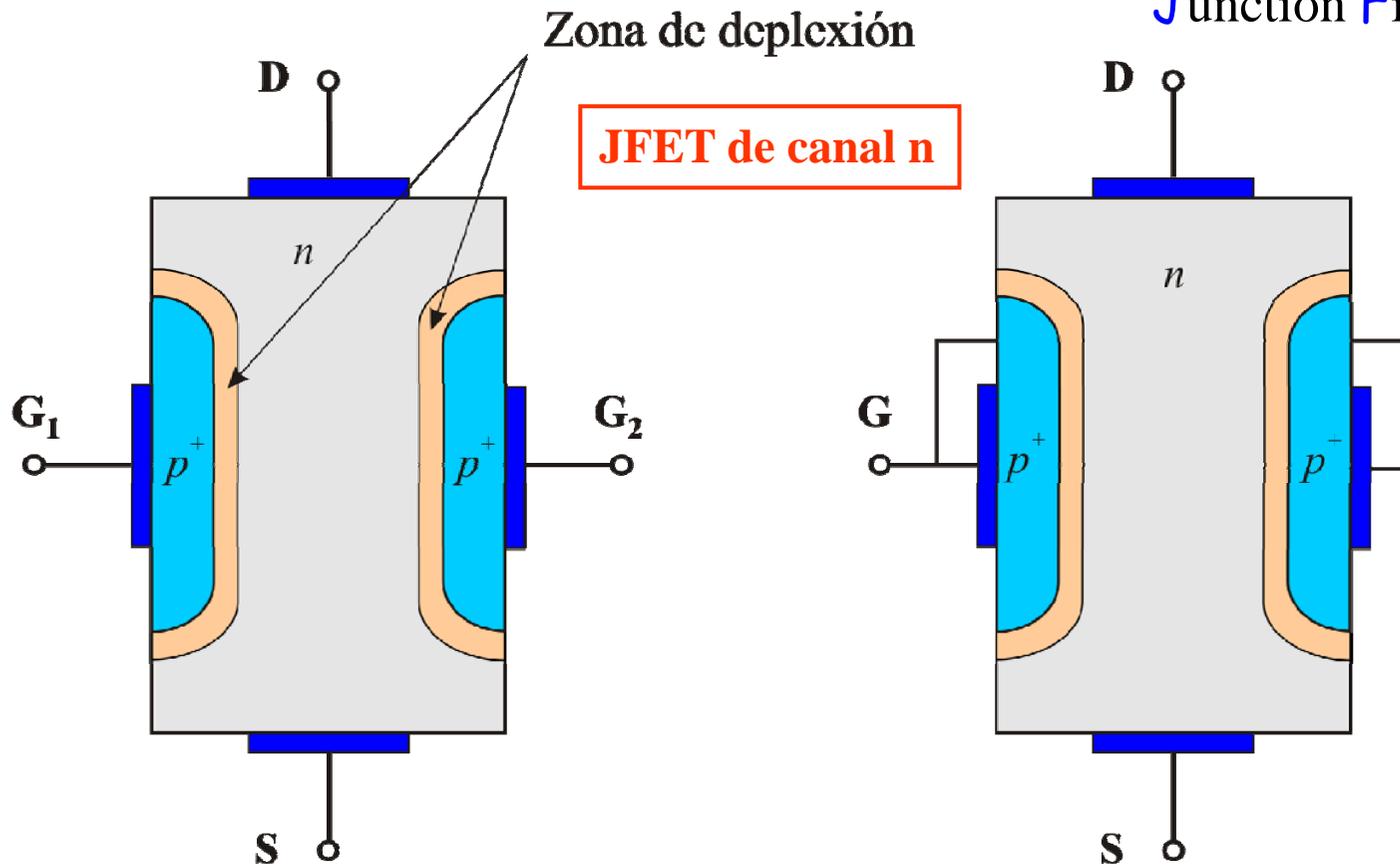
<i>FET</i>	<i>BJT</i>
Controlado por tensión	Controlado por corriente
Canal n y canal p	nnp y pnp
Unipolar	Bipolar
Muy alta impedancia de entrada Del orden de $M\Omega$	Del orden de $k\Omega$
	Mayor sensibilidad
	Mayor ganancia
Mayor estabilidad frente a $T^a$	
MOSFET más pequeños	Similar tamaño a JFET
Se pueden conectar como R y C	

## 2.- Transistores de Unión de Efecto de Campo JFET.

### 2.1.- Estructura básica.

JFET

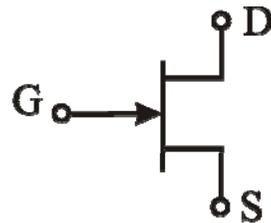
Junction Field Effect Transistor



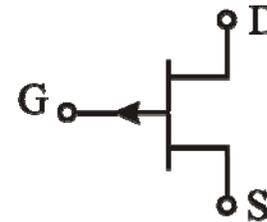
**D = Drenador:** Terminal por el que salen los portadores  
**S = Fuente:** Terminal por el que entran los portadores  
**G = Puerta:** Controla la corriente de portadores

## 2.- Transistores de Unión de Efecto de Campo JFET.

### 2.1.- Símbolos.

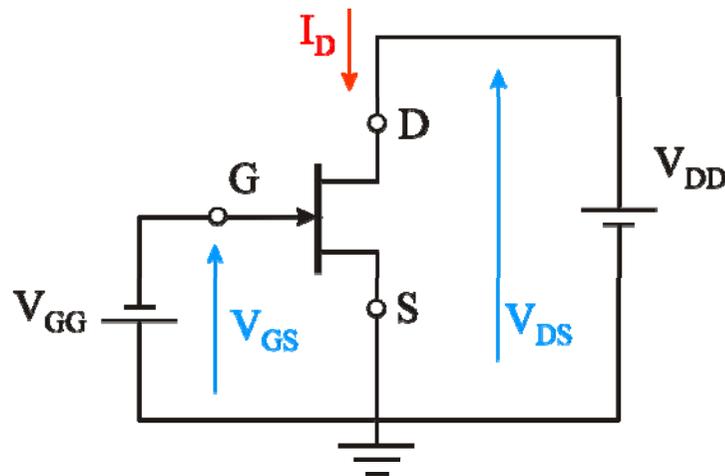


Canal n



Canal p

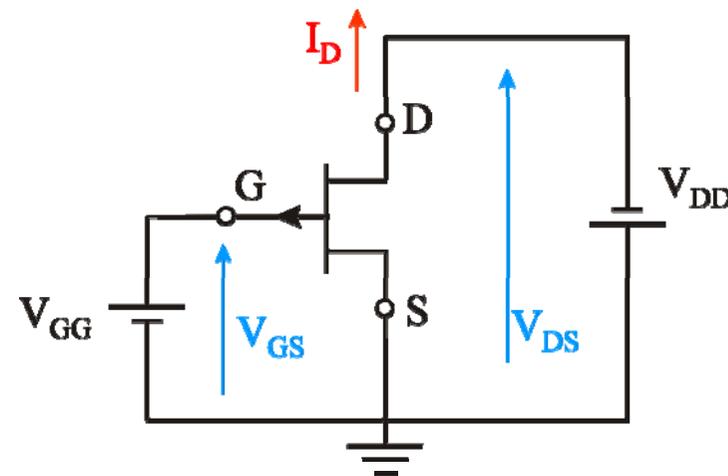
### Polarización.



$V_{DS}$  positiva

$V_{GS}$  negativa

$I_D$  positiva (entrante)



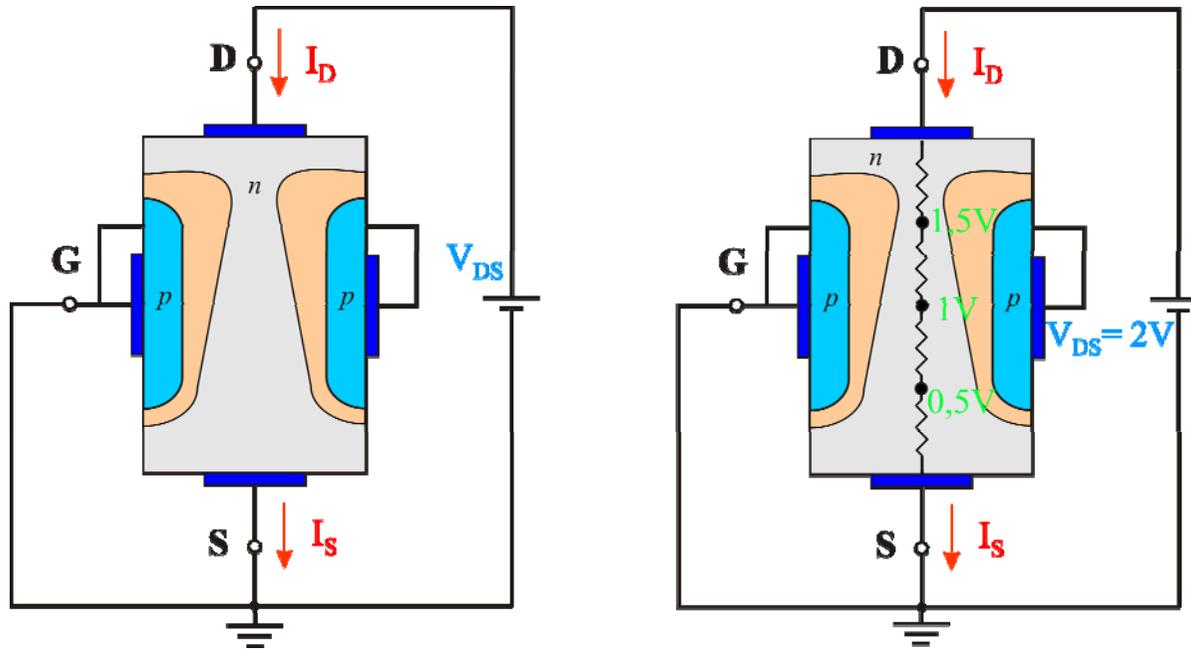
$V_{DS}$  negativa

$V_{GS}$  positiva

$I_D$  negativa (saliente)

## 2.3.- Principio de funcionamiento.

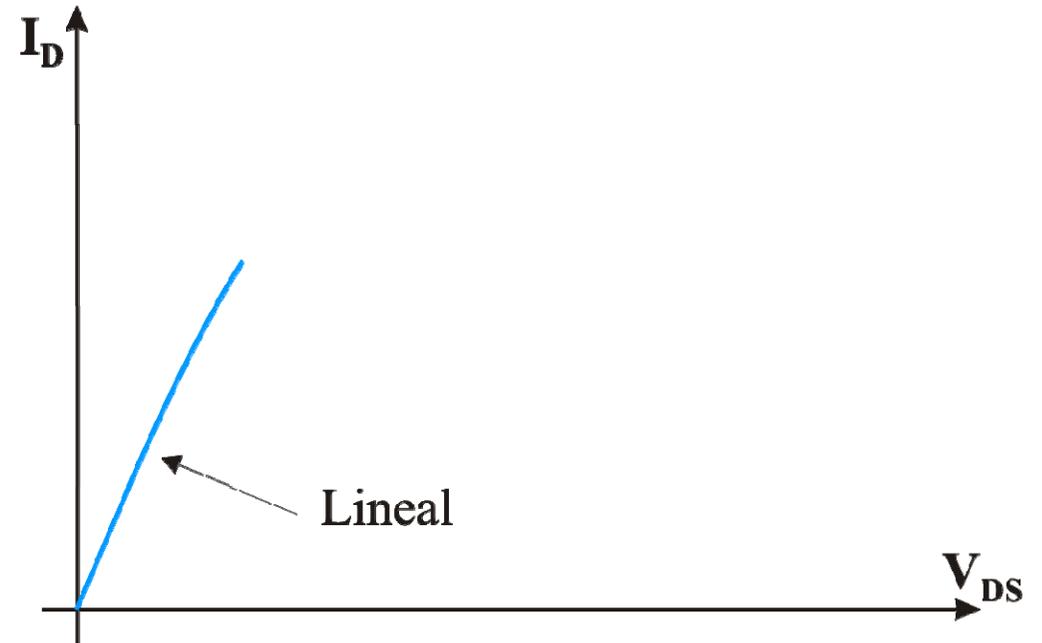
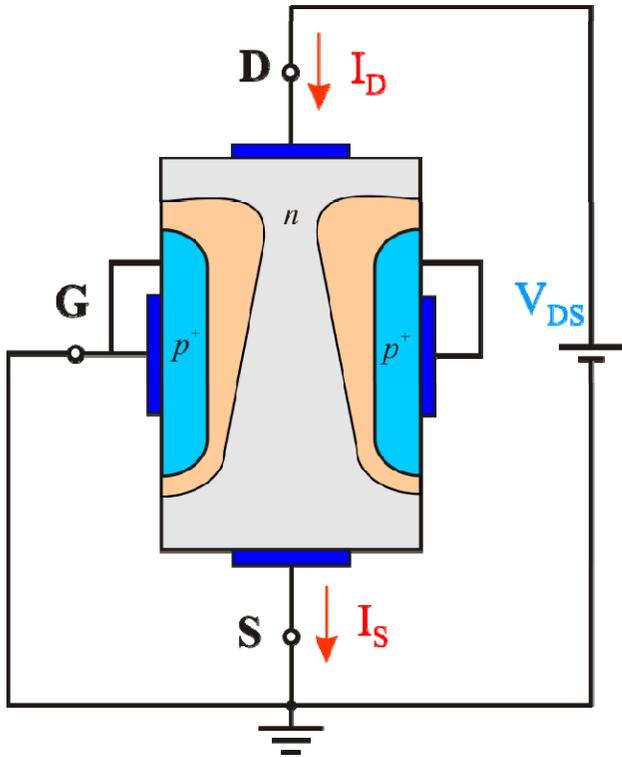
### 2.3.1.- Influencia de $V_{DS}$ .



El canal se estrecha más del lado del *Drenador*

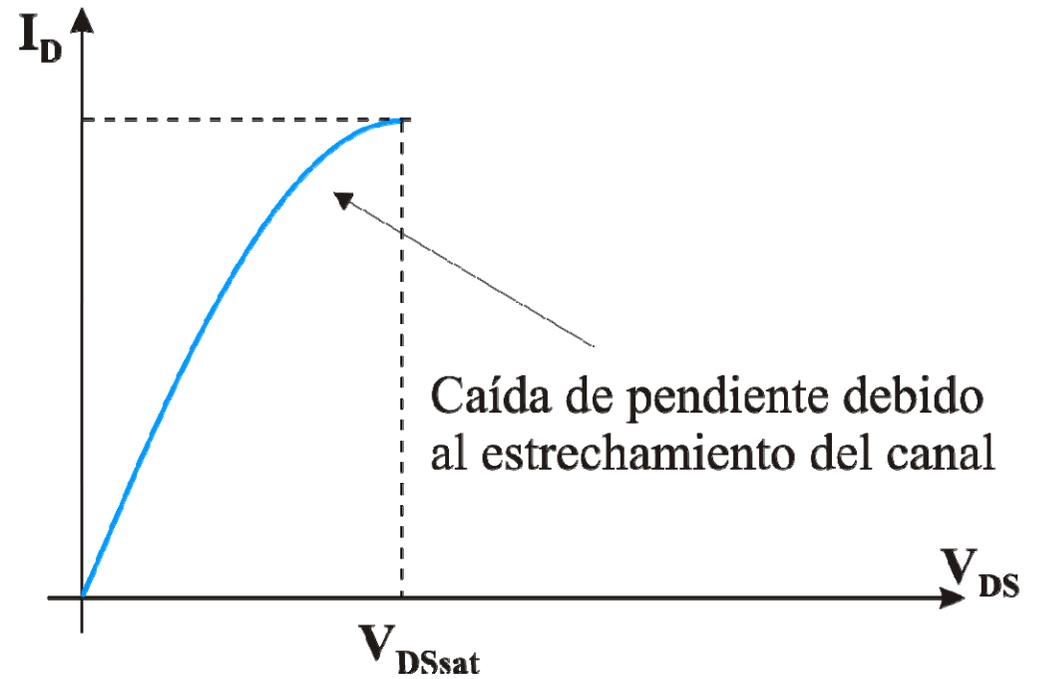
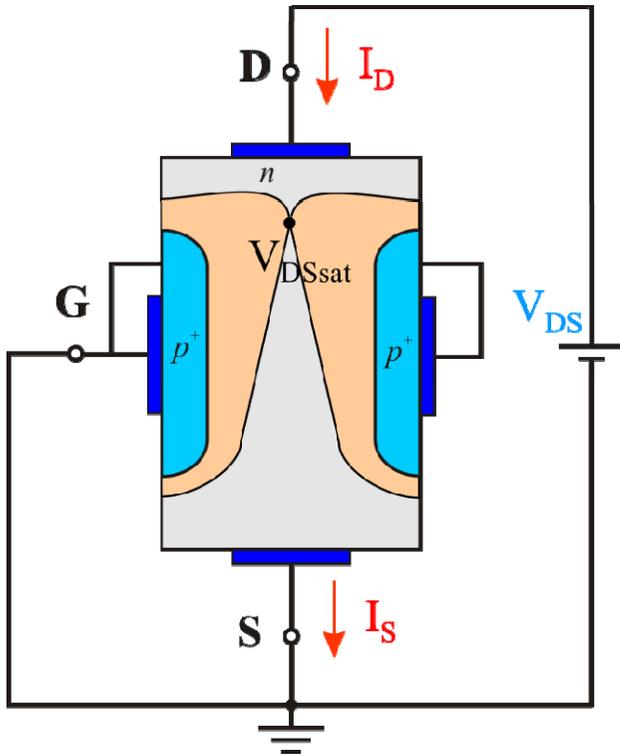
## 2.3.- Principio de funcionamiento.

### 2.3.1.- Influencia de $V_{DS}$ .



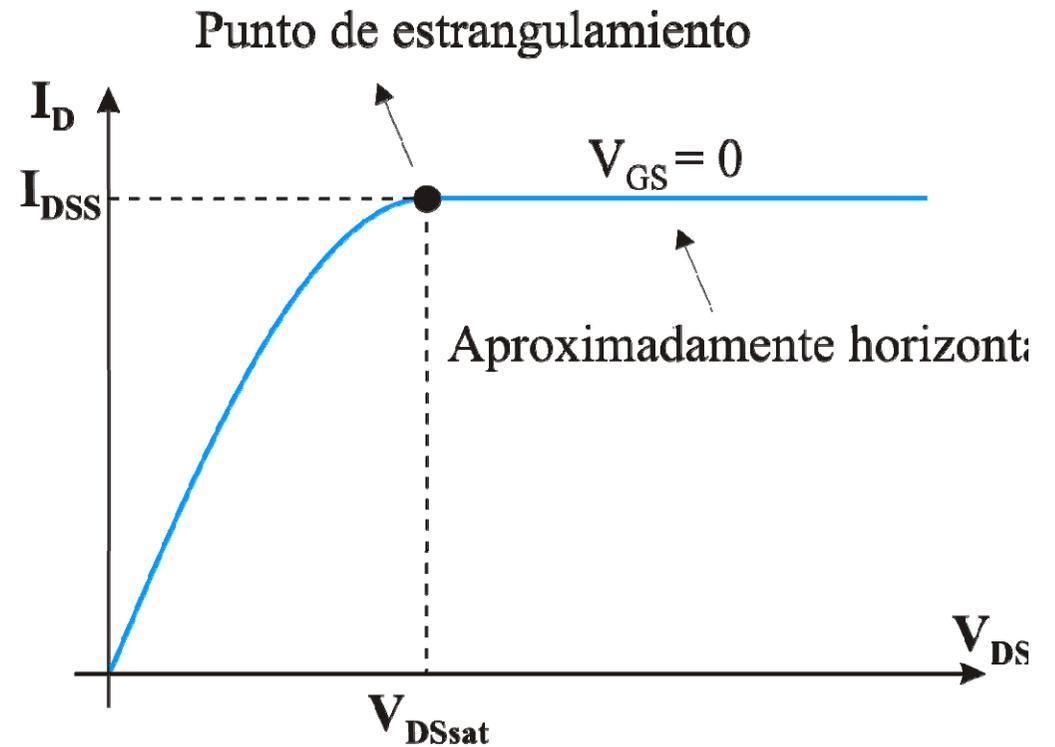
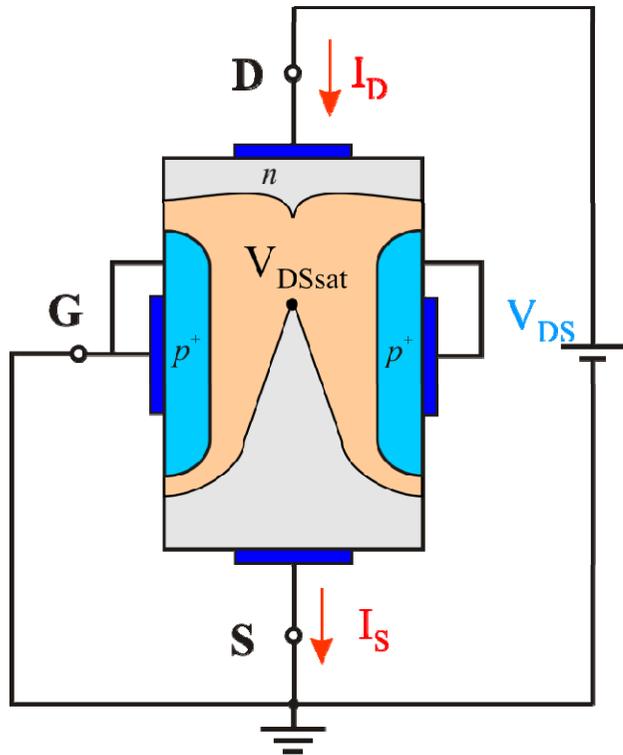
## 2.3.- Principio de funcionamiento.

### 2.3.1.- Influencia de $V_{DS}$ .



## 2.3.- Principio de funcionamiento.

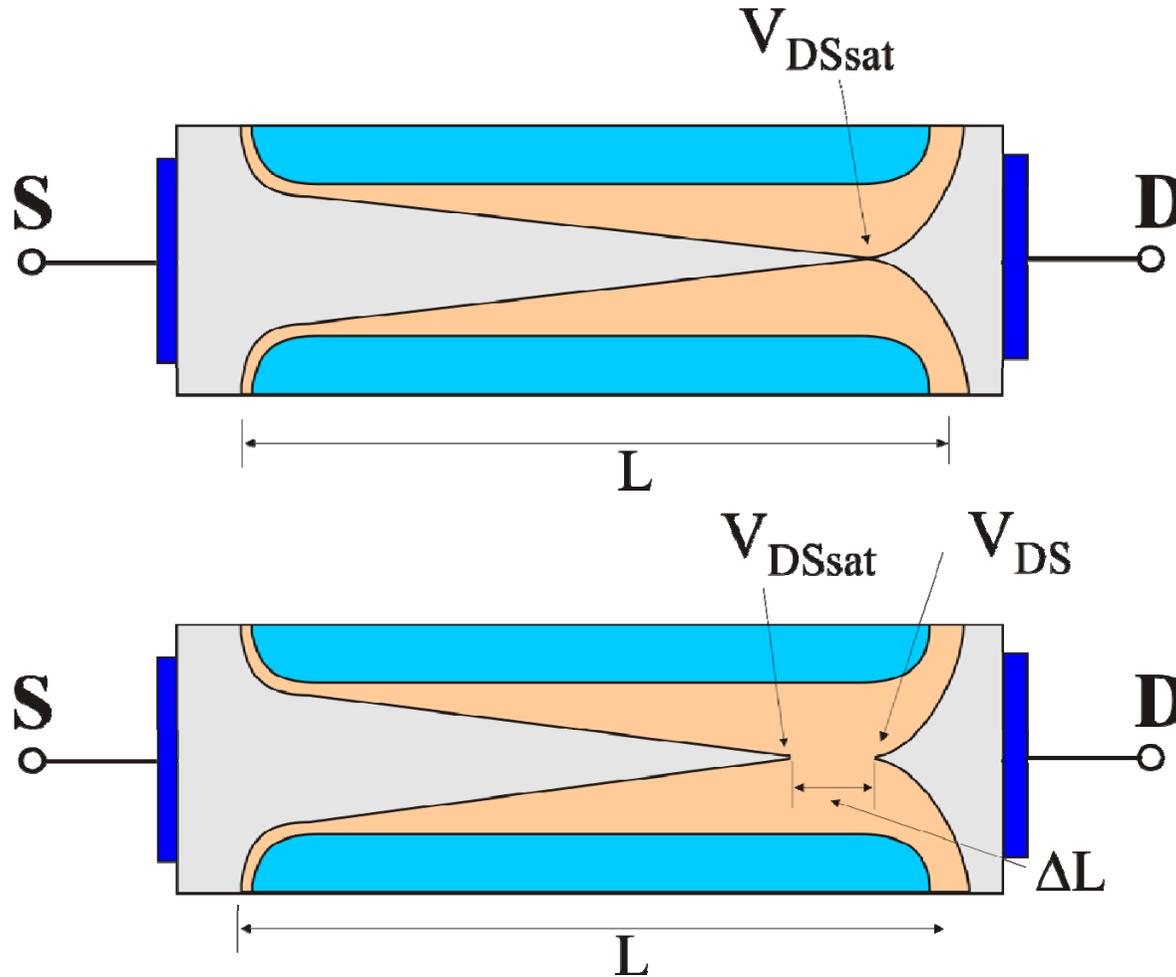
### 2.3.1.- Influencia de $V_{DS}$ .



## 2.3.- Principio de funcionamiento.

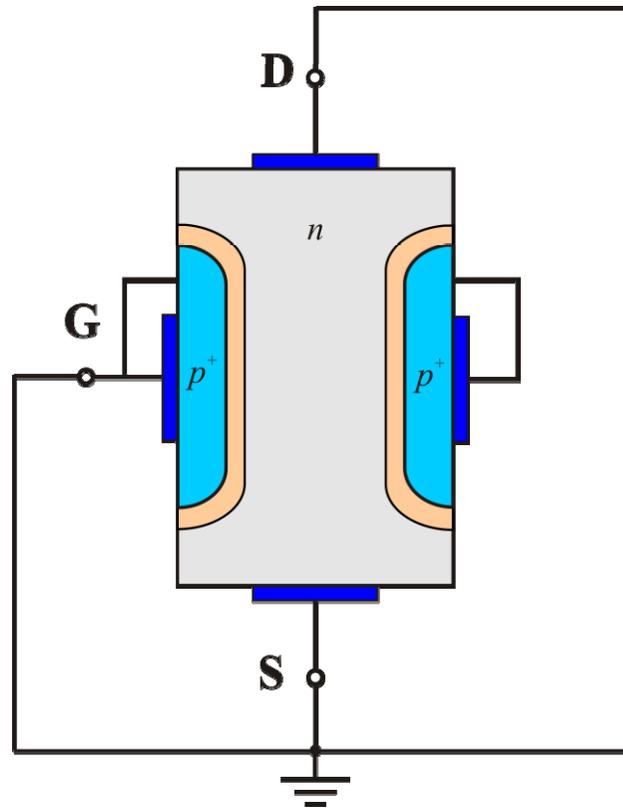
### 2.3.1.- Influencia de $V_{DS}$ .

*Hipótesis de canal largo  $L \gg \Delta L$*



## 2.3.- Principio de funcionamiento.

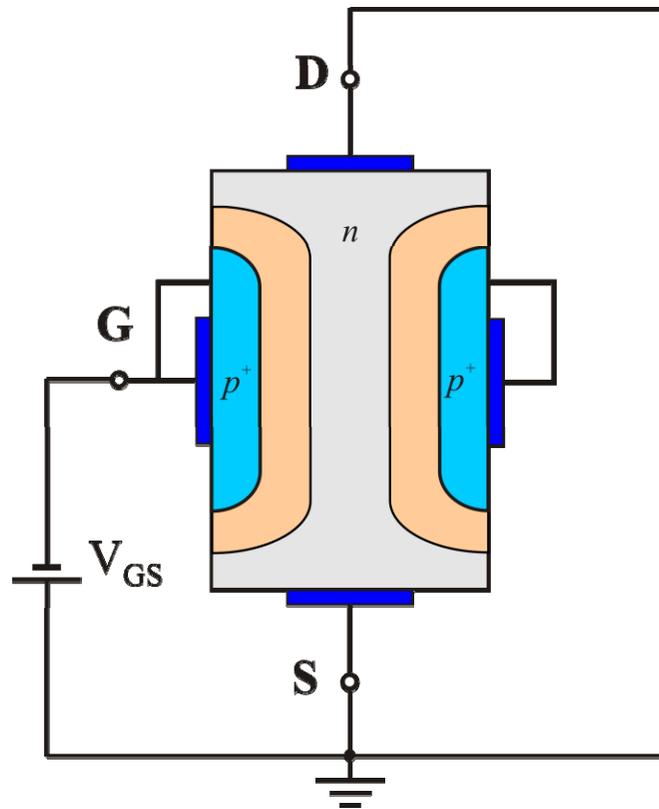
### 2.3.1.- Influencia de $V_{GS}$ .



## 2.3.- Principio de funcionamiento.

### 2.3.1.- Influencia de $V_{GS}$ .

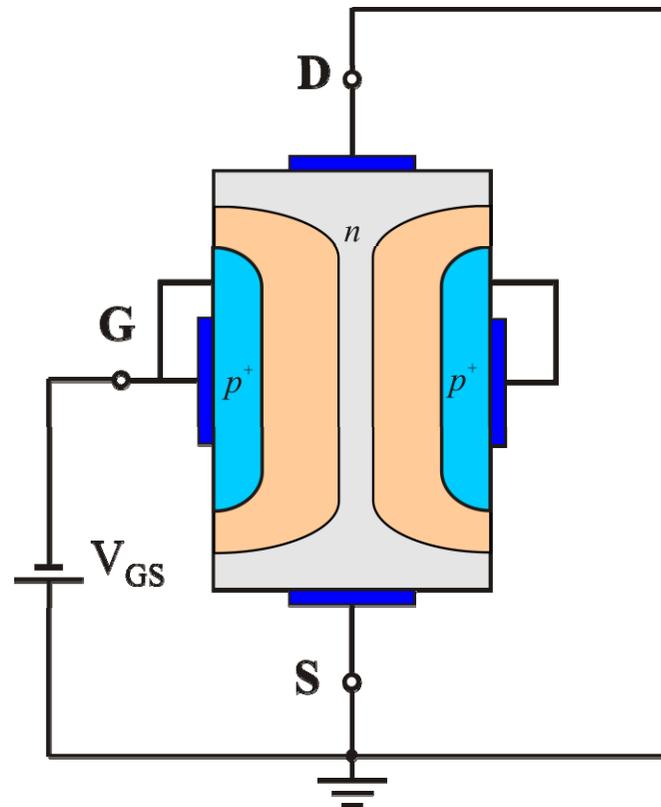
En un JFET de canal  $n$   
 $V_{GS}$  es negativa



## 2.3.- Principio de funcionamiento.

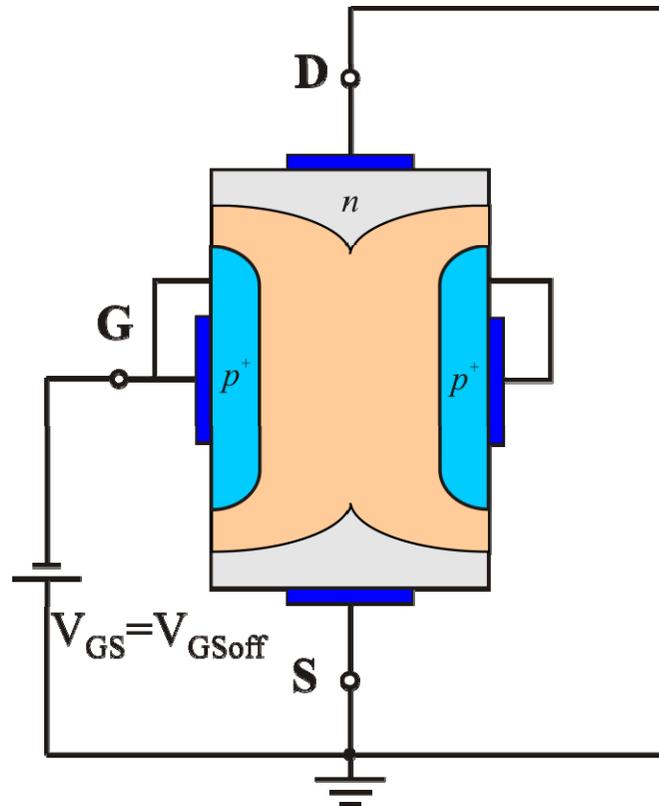
### 2.3.1.- Influencia de $V_{GS}$ .

Con  $V_{GS}$  se modula la anchura del canal



## 2.3.- Principio de funcionamiento.

### 2.3.1.- Influencia de $V_{GS}$ .

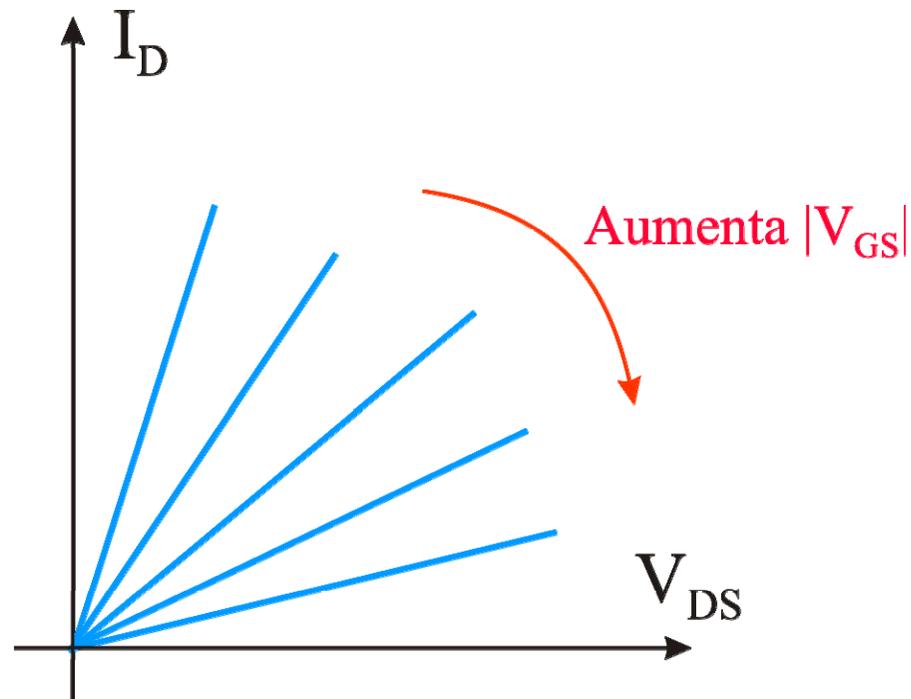


*Quando  $V_{GS} = V_{GSoff}$  se produce la estrangulación total del canal con independencia de la tensión  $V_{DS}$  aplicada.*

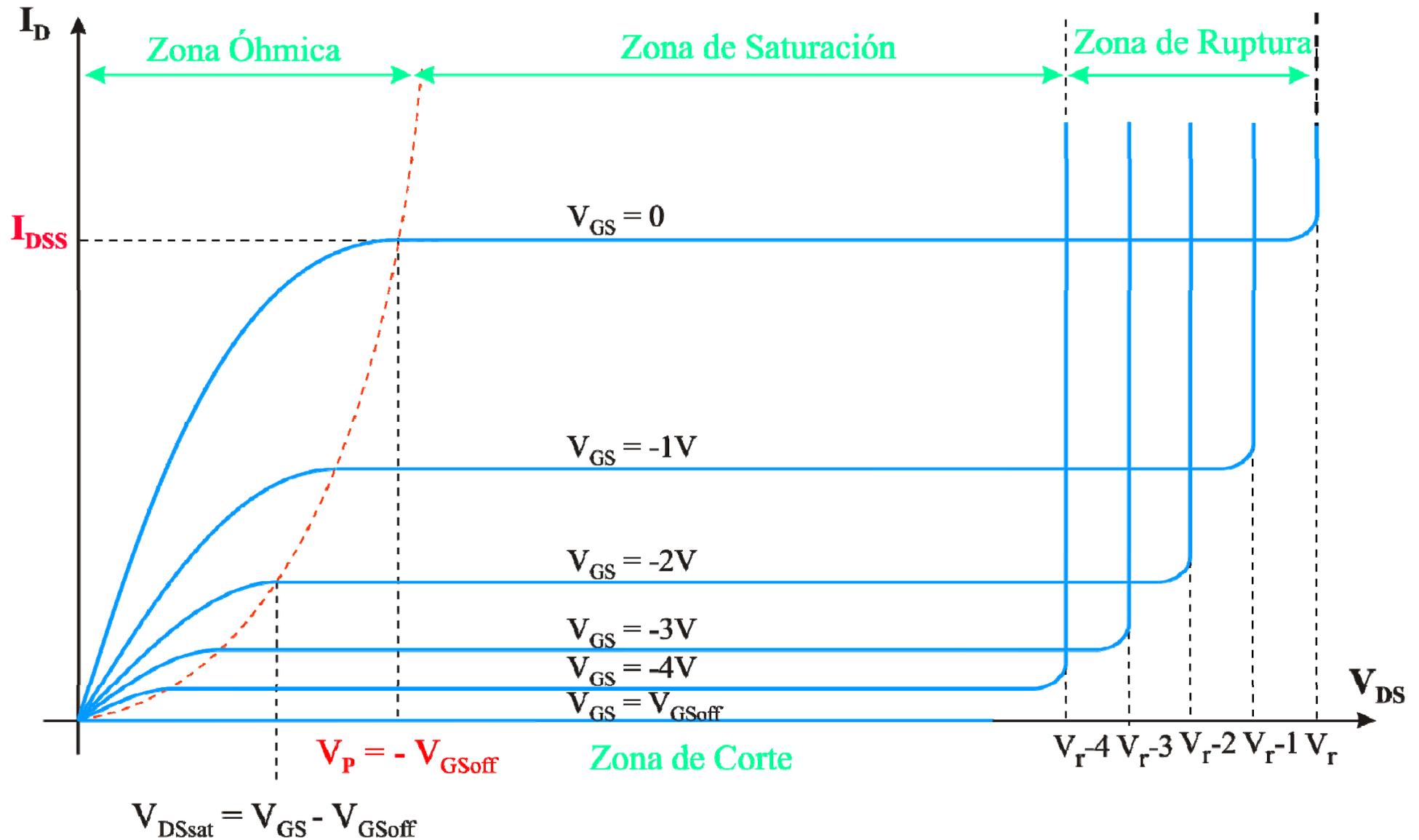
## 2.3.- Principio de funcionamiento.

### 2.3.1.- Influencia de $V_{GS}$ .

*Para valores de  $V_{DS}$  pequeños el dispositivo se comporta como una resistencia variable con  $V_{GS}$*



## 2.4.- Curva característica.



## 2.5.- Zonas de trabajo.

### Zona de corte o de no conducción

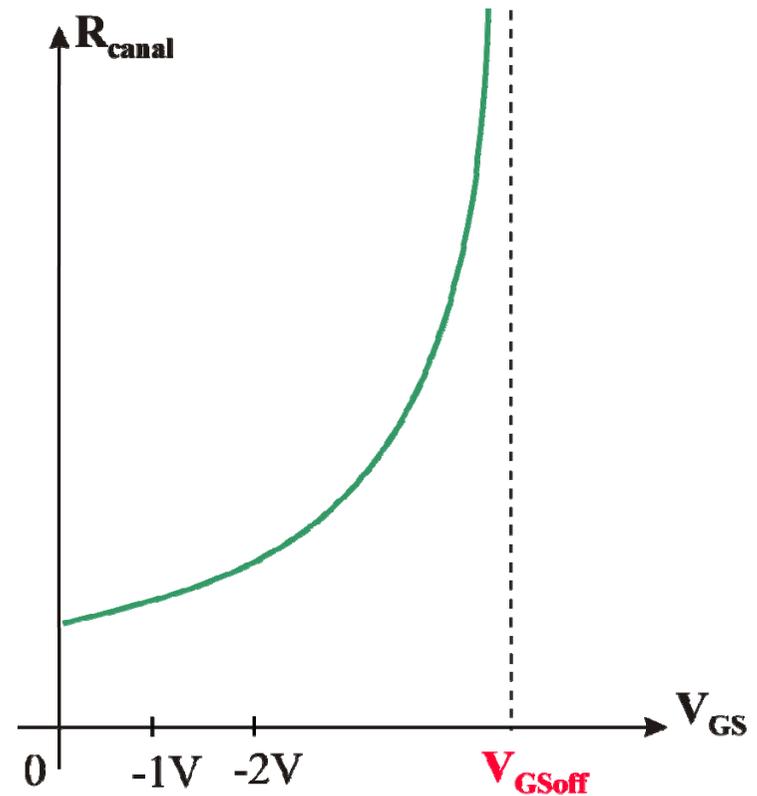
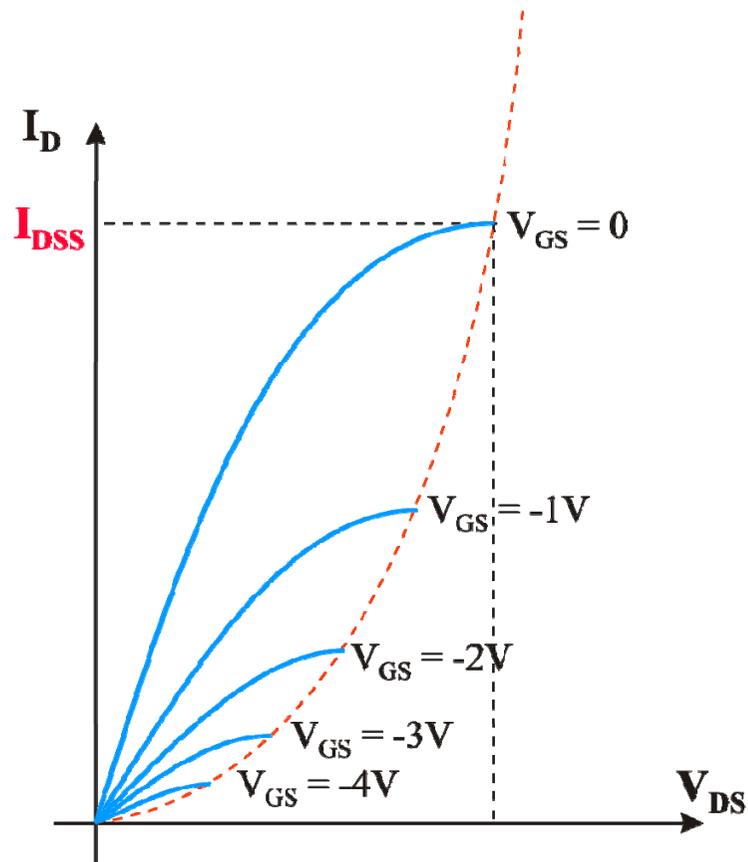
Para valores de  $V_{GS} \leq V_{GSoff}$

*El canal está completamente cerrado,  
por lo que no hay ninguna corriente por el dispositivo*

## 2.5.- Zonas de trabajo.

### Zona de óhmica o de no saturación

Para valores de  $V_{DS} \leq V_{DSsat} = V_{GS} - V_{GSoff}$

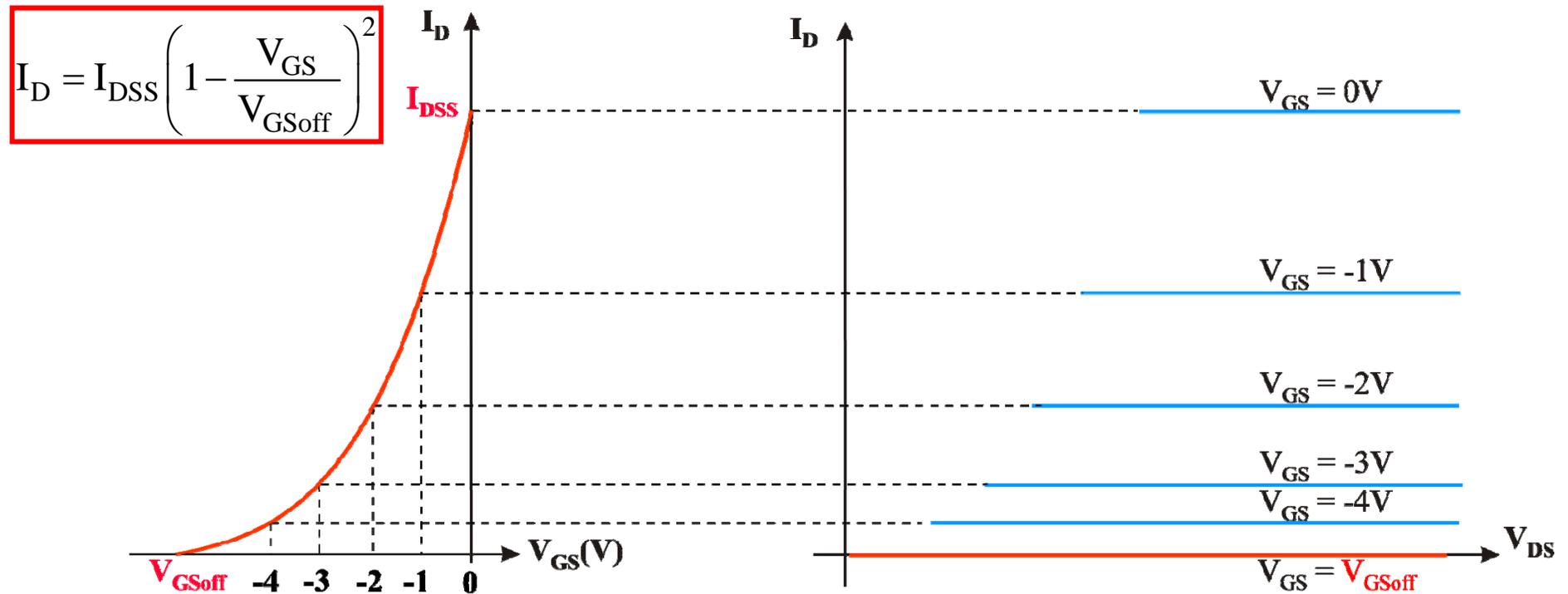


## 2.5.- Zonas de trabajo.

### Zona de saturación o de corriente constante.

Para valores de  $V_{DS} \geq V_{DSsat} = V_{GS} - V_{GSoff}$

$I_D$  es independiente de la tensión  $V_{DS}$  sólo depende de la tensión  $V_{GS}$



**El JFET se comporta como una fuente de corriente controlada por  $V_{GS}$**

## 2.5.- Zonas de trabajo.

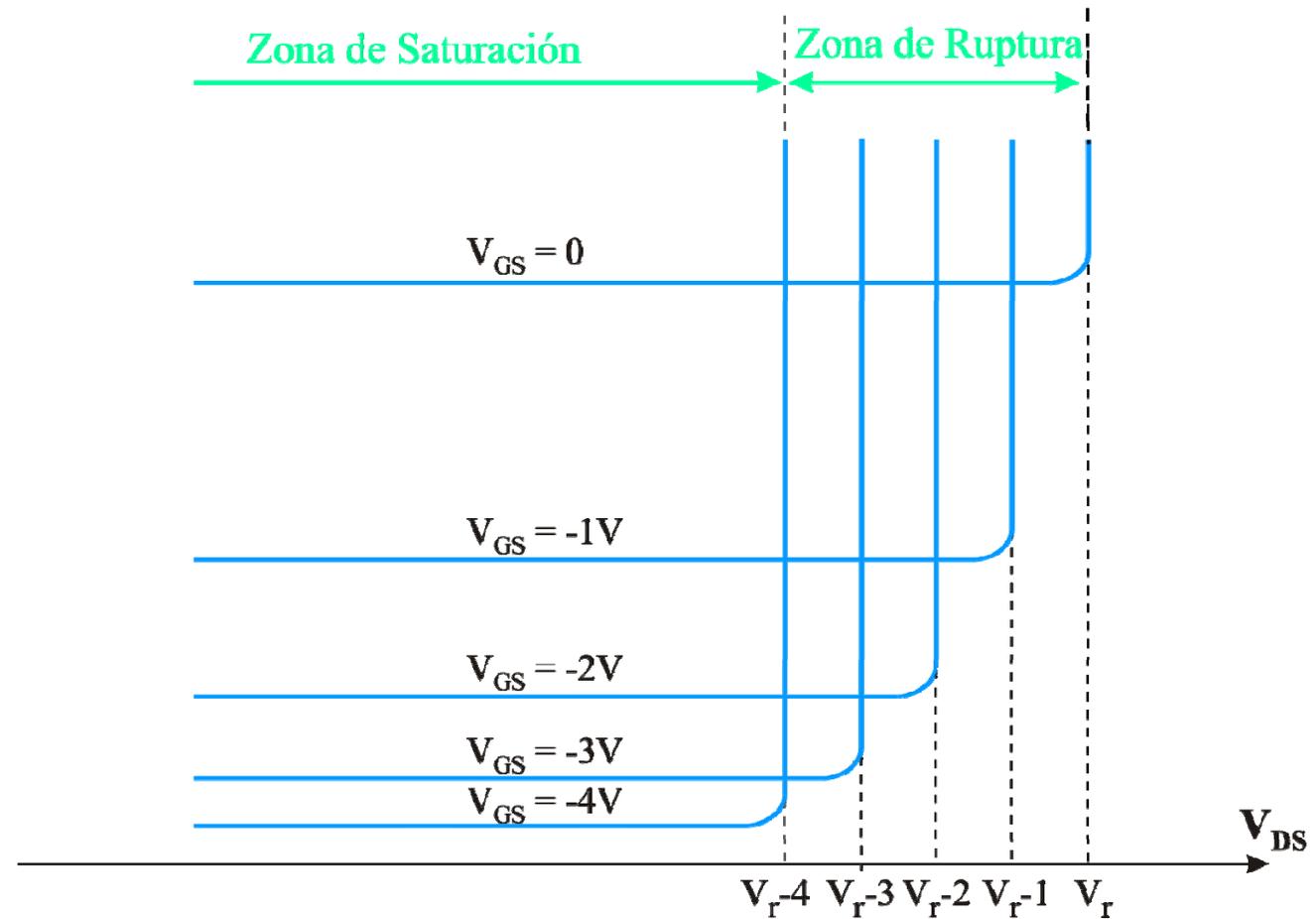
### Zona de ruptura.

*El JFET rompe cuando en la unión pn hacia la zona del drenador se supera el valor de la tensión inversa máxima ( $V_r$ )*

Rompe cuando  $V_{DG} \geq V_r$

$$V_{DS} = V_{DG} + V_{GS}$$

$$V_{DS \text{ ruptura}} = V_r + V_{GS}$$



## 3.- Transistor de Efecto de Campo Metal Óxido Semiconductor

### *MOSFET*

Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

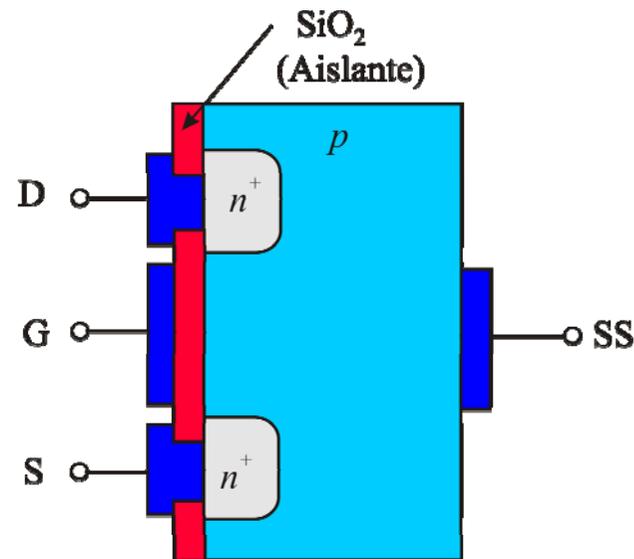
Hay dos grandes tipos de MOSFET:

- **MOSFET de acumulación** o de enriquecimiento
- **MOSFET de deplexión** o de empobrecimiento

## 3.1.- MOSFET de acumulación.

### 3.1.1.- Estructura básica.

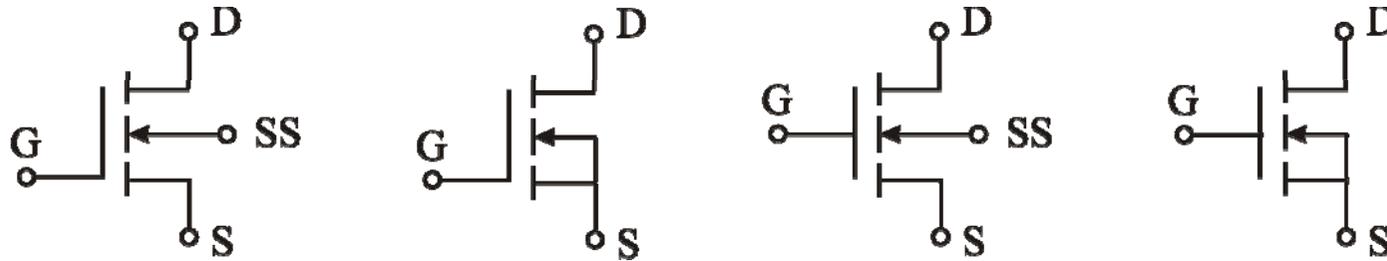
#### MOSFET acumulación canal n



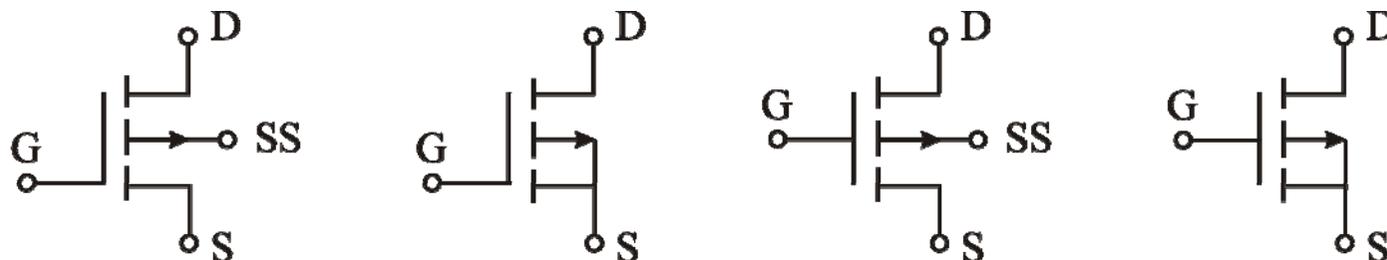
- La puerta está aislada eléctricamente del dispositivo.
- No hay conexión eléctrica entre la puerta y el sustrato

## 3.1.- MOSFET de acumulación.

### 3.1.2.- Símbolos.



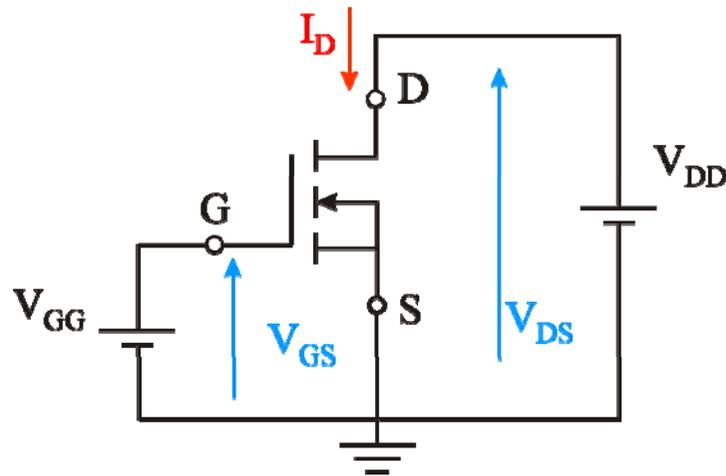
MOSFET de acumulación canal n



MOSFET de acumulación canal p

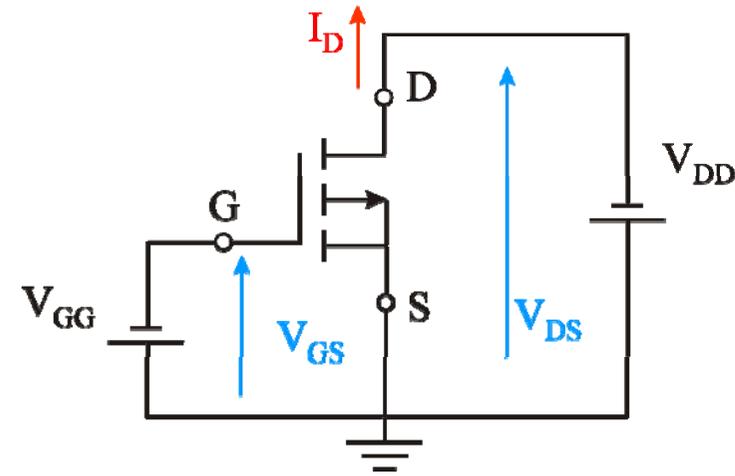
## 3.1.- MOSFET de acumulación.

### Polarización.



Canal n

$V_{DS}$  positivo  
 $V_{GS}$  positivo  
 $I_D$  positiva (entrante)



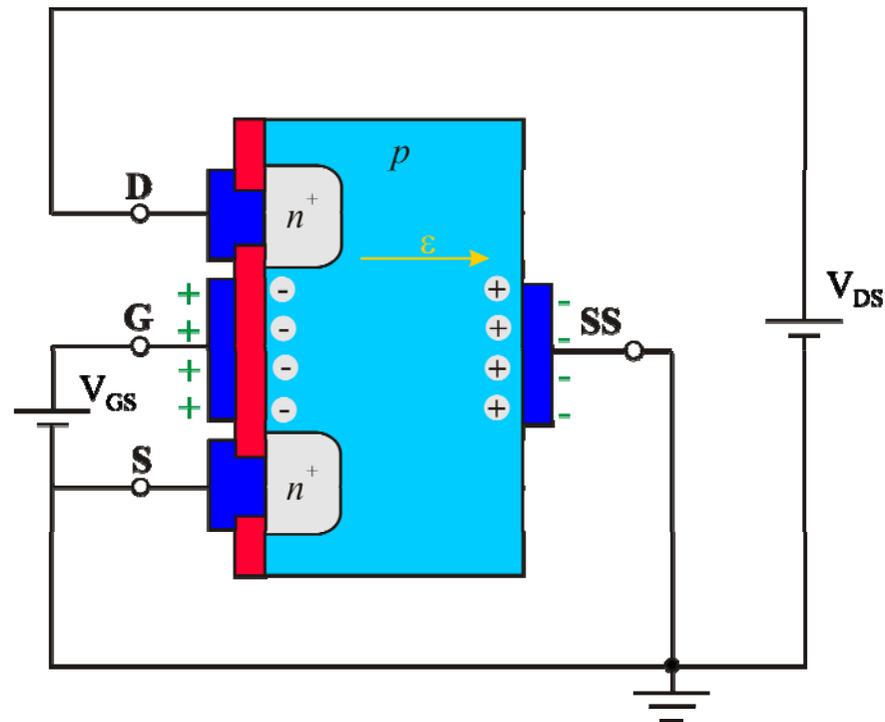
Canal p

$V_{DS}$  negativo  
 $V_{GS}$  negativo  
 $I_D$  negativa (saliente)



## 3.1.- MOSFET de acumulación.

### 3.1.3.1.- Influencia de $V_{GS}$ .

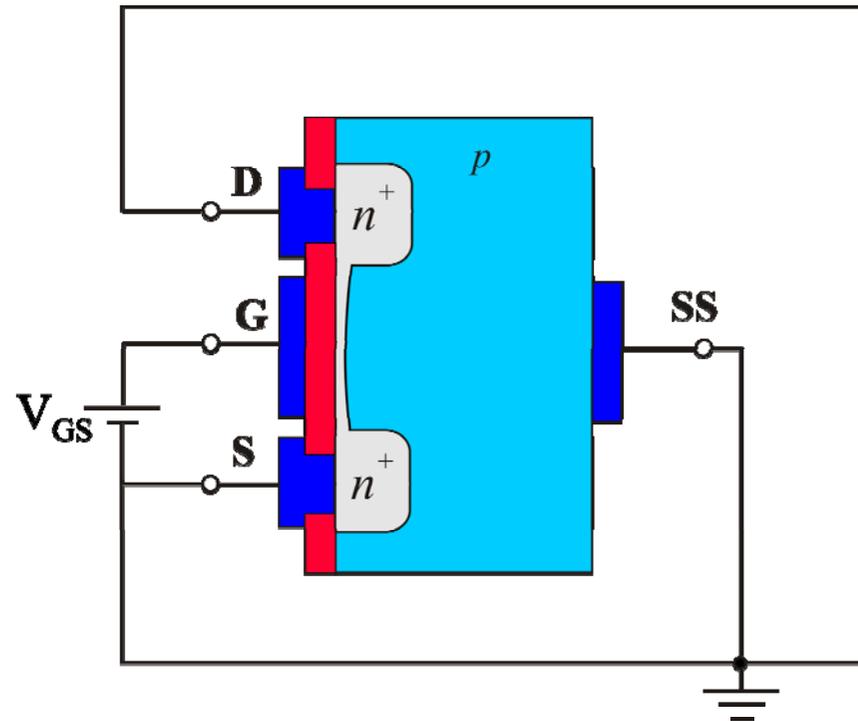


Si  $V_{GS} > 0$ , aparece un campo eléctrico que lleva a los  $e^-$  hacia la zona de la puerta y aleja a los  $h^+$  de dicha zona

## 3.1.- MOSFET de acumulación.

### 3.1.3.1.- Influencia de $V_{GS}$ .

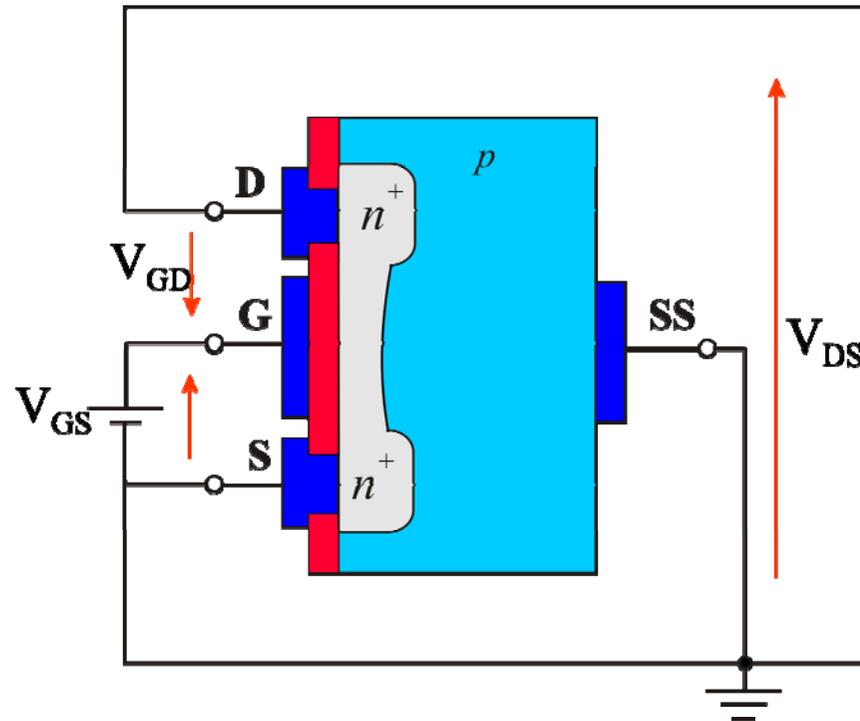
En la zona de la puerta se **acumulan**  $e^-$  formándose un canal entre el drenador y la fuente



## 3.1.- MOSFET de acumulación.

### 3.1.3.1.- Influencia de $V_{GS}$ .

Este canal será más ancho cuanto mayor sea  $V_{GS}$



Cuando

$$V_{DS} = 0 \Rightarrow V_{GS} = V_{GD}$$

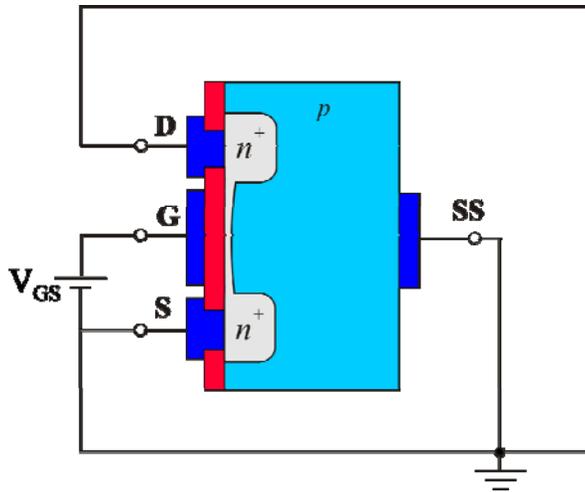
El canal es simétrico

Con la tensión  $V_{GS}$  se modula la anchura del canal

## 3.1.- MOSFET de acumulación.

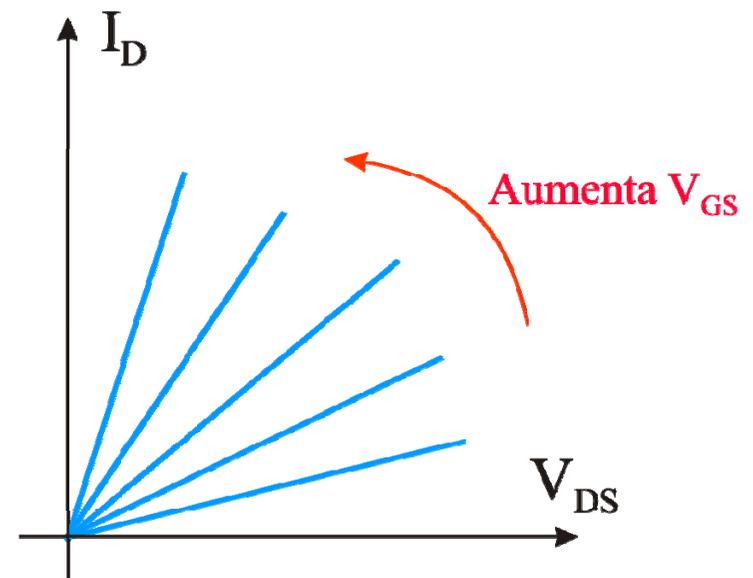
### 3.1.3.1.- Influencia de $V_{GS}$ .

No basta con que  $V_{GS} > 0$ .  
Debe superar una tensión umbral  $V_T = V_{GSoff}$



Una vez formado el canal si aplicamos una tensión  $V_{DS}$  aparecerá una corriente  $I_D$

Para valores de  $V_{DS}$  pequeños el dispositivo se comporta como una resistencia variable con  $V_{GS}$

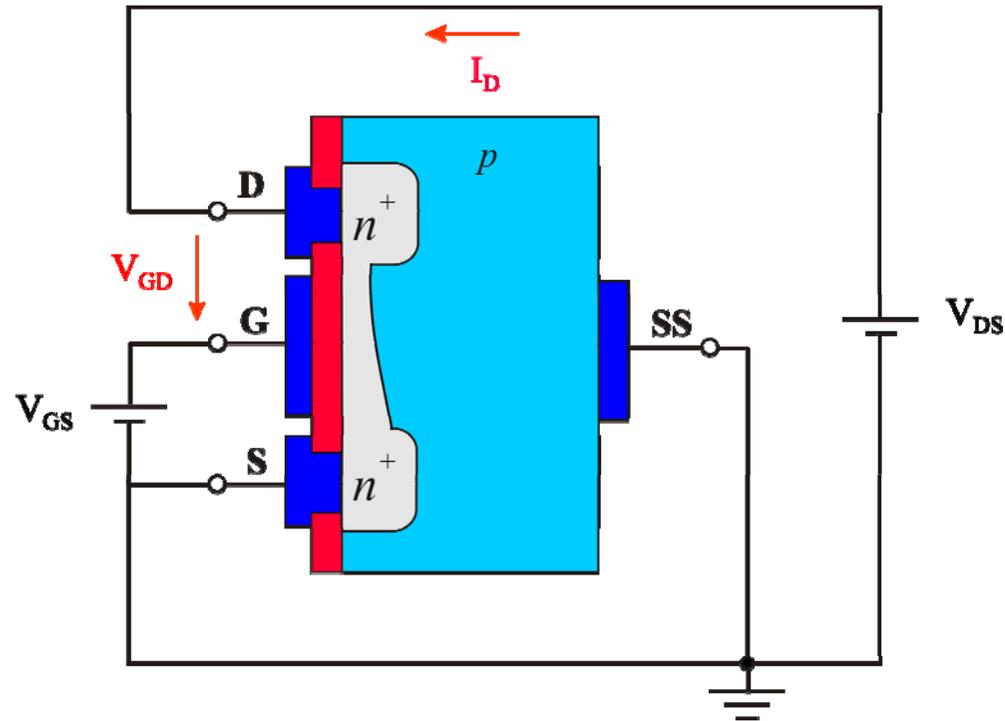


## 3.1.- MOSFET de acumulación.

### 3.1.3.2.- Influencia de $V_{DS}$ .

$$V_{DS} = V_{GS} - V_{GD}$$

$$\text{Si } V_{DS} > 0 \Rightarrow V_{GD} < V_{GS}$$

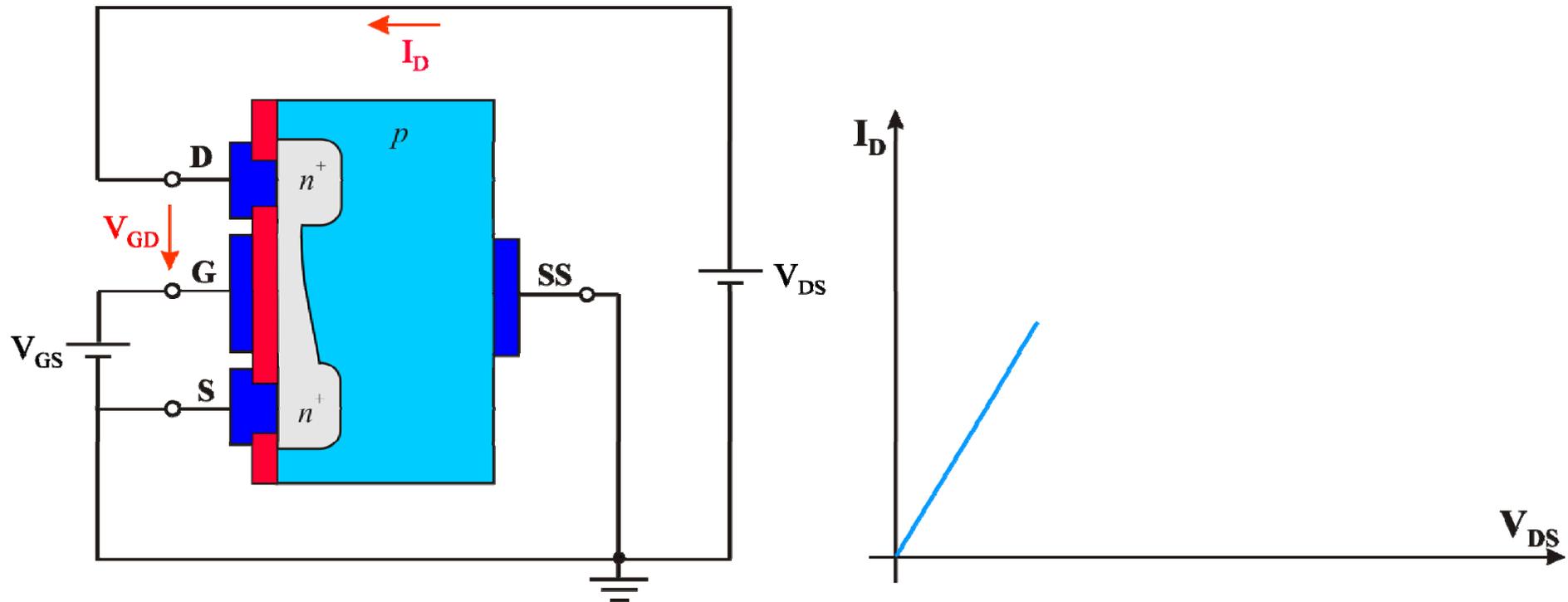


***El canal se estrecha más del lado del Drenador***

***Cuanto mayor sea  $V_{DS}$ ,  $V_{GD}$  será menor y, por lo tanto, el canal más estrecho***

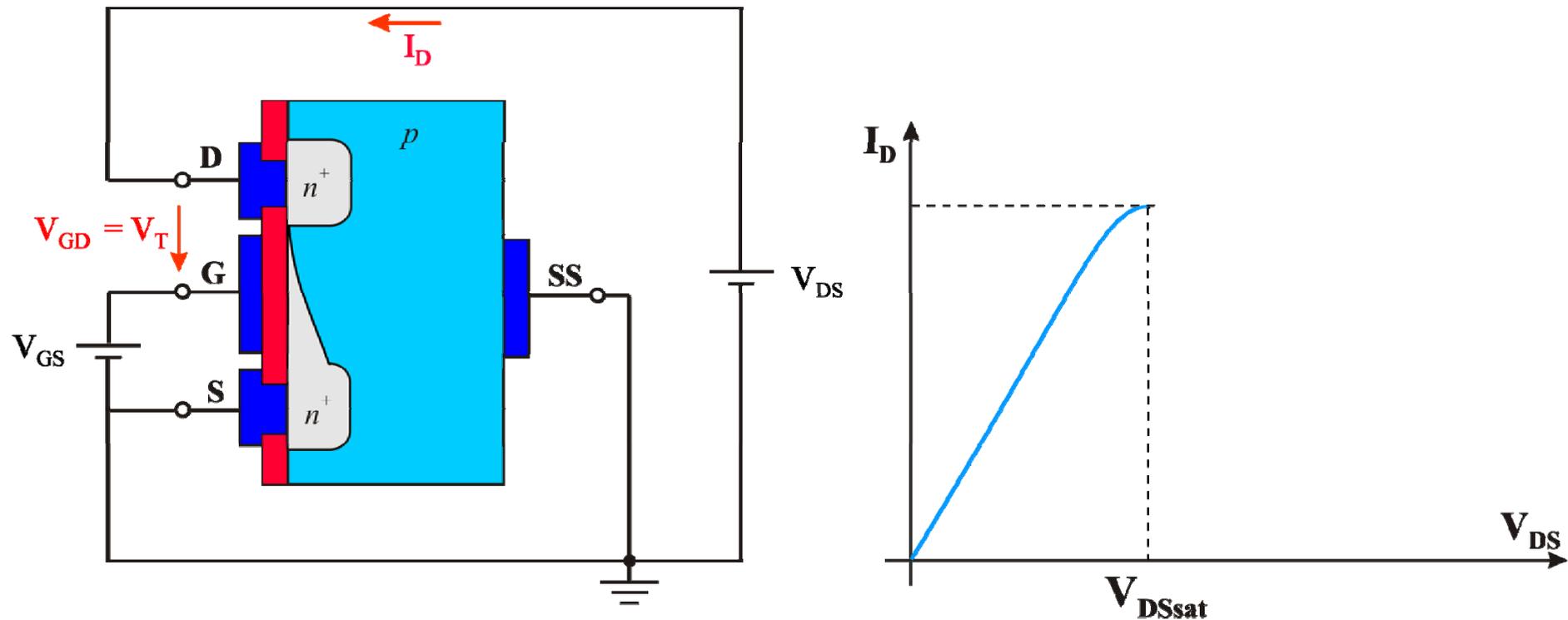
## 3.1.- MOSFET de acumulación.

### 3.1.3.2.- Influencia de $V_{DS}$ .



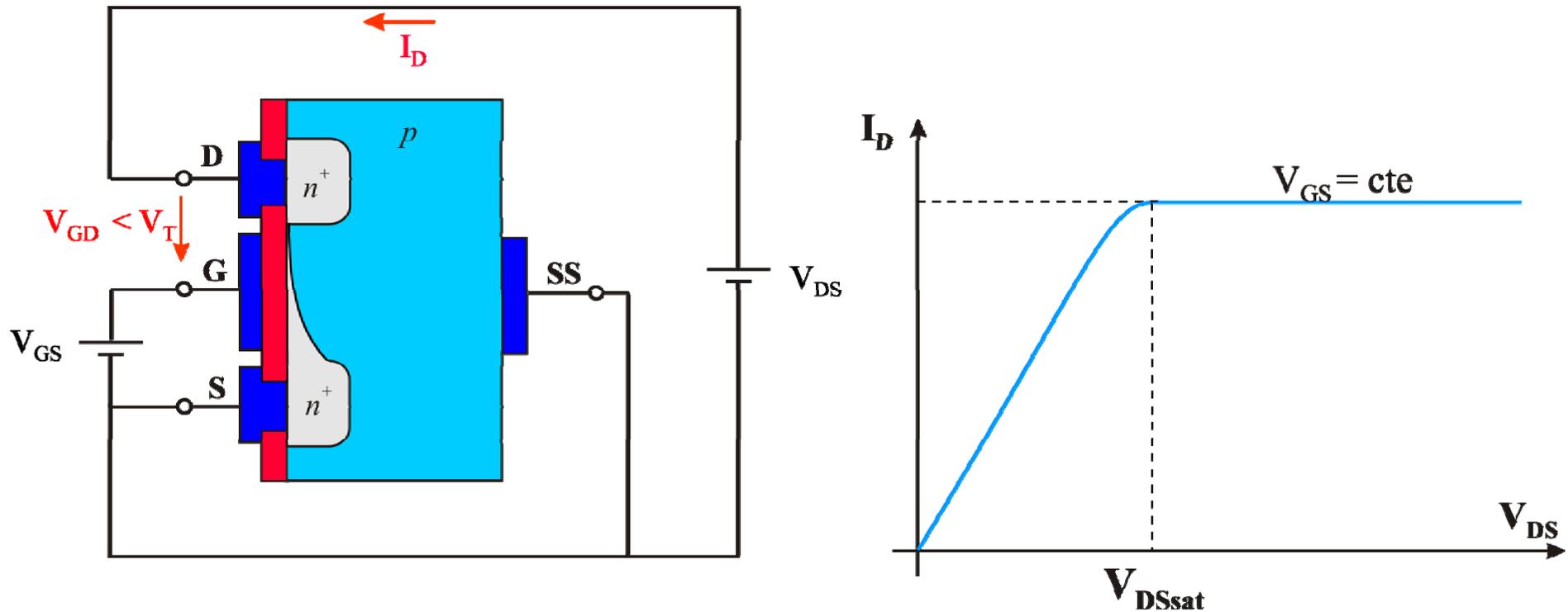
## 3.1.- MOSFET de acumulación.

### 3.1.3.2.- Influencia de $V_{DS}$ .



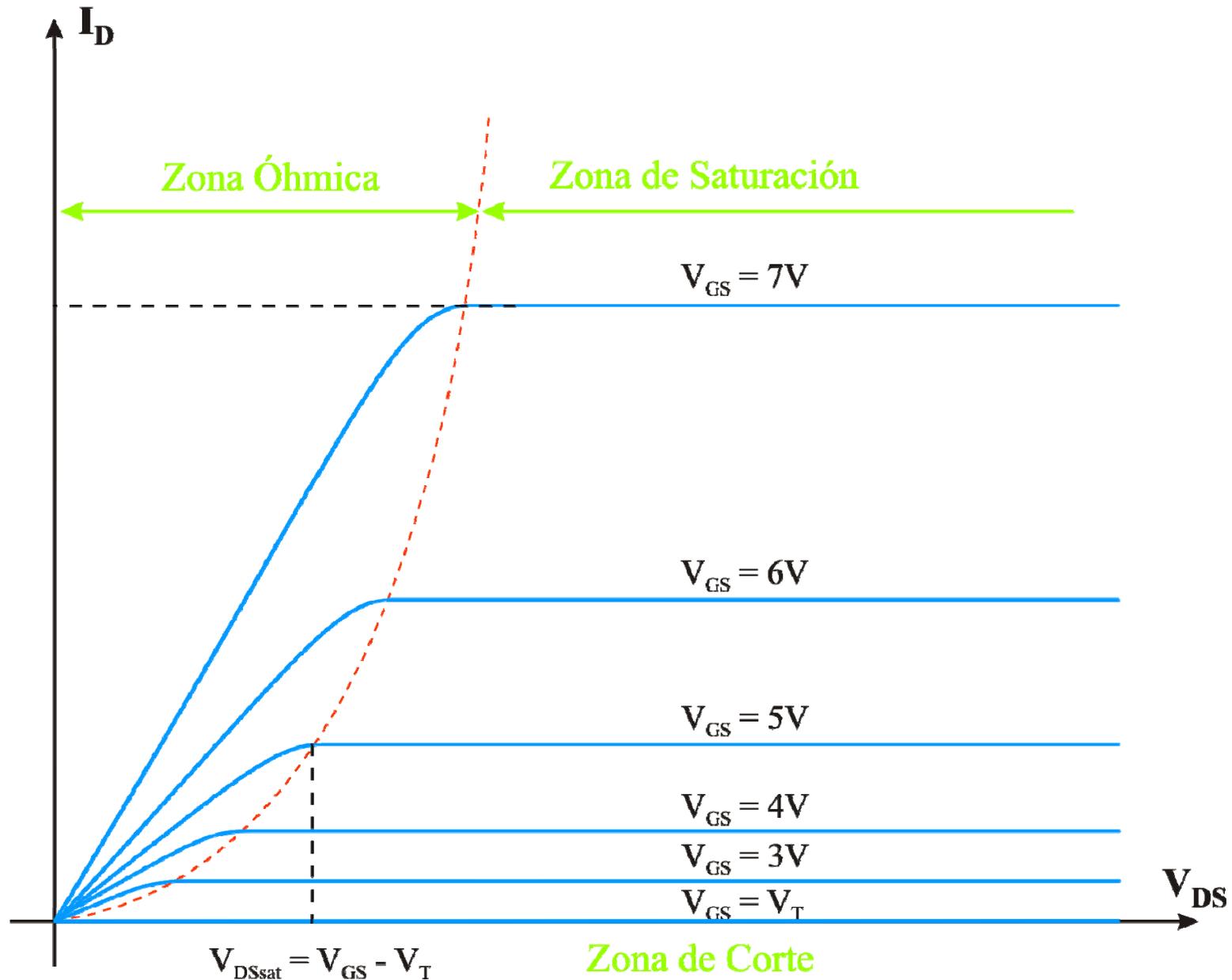
## 3.1.- MOSFET de acumulación.

### 3.1.3.2.- Influencia de $V_{DS}$ .



$$V_{DSsat} = V_{GS} - V_T$$

### 3.1.4.- Curva característica MOSFET de acumulación.



### 3.1.4.- Curva característica MOSFET de acumulación.

#### Zona de corte o de no conducción

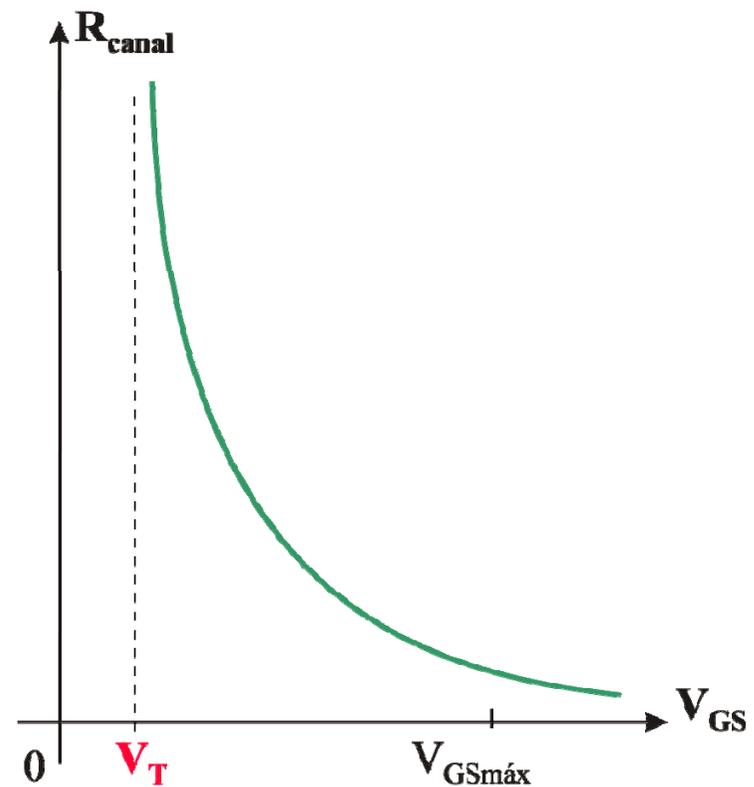
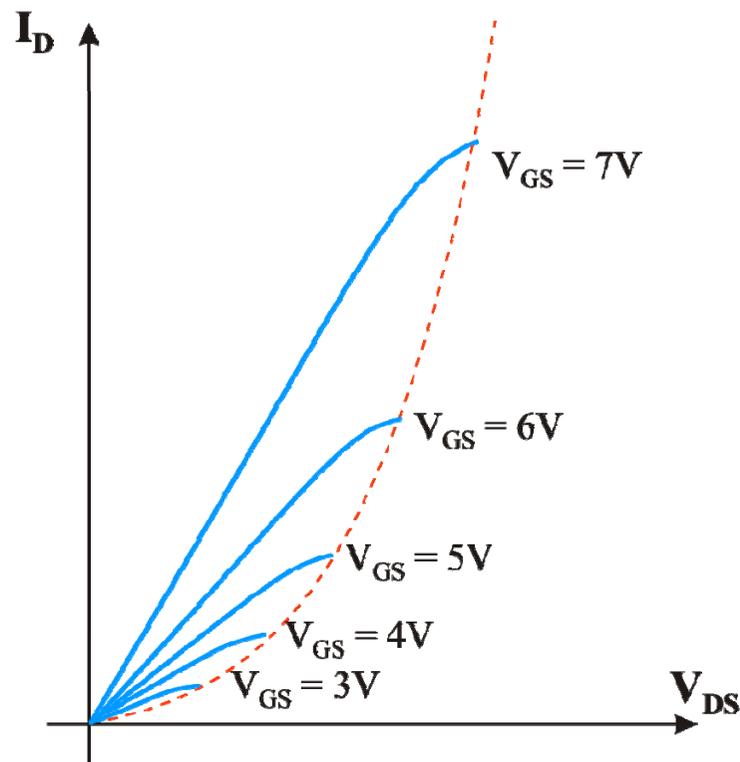
Para valores de  $V_{GS} \leq V_T$

*El canal no está formado,  
por lo que no hay ninguna corriente por el dispositivo*

### 3.1.4.- Curva característica MOSFET de acumulación.

#### Zona de óhmica o de no saturación

Para valores de  $V_{DS} \leq V_{DSsat} = V_{GS} - V_T$

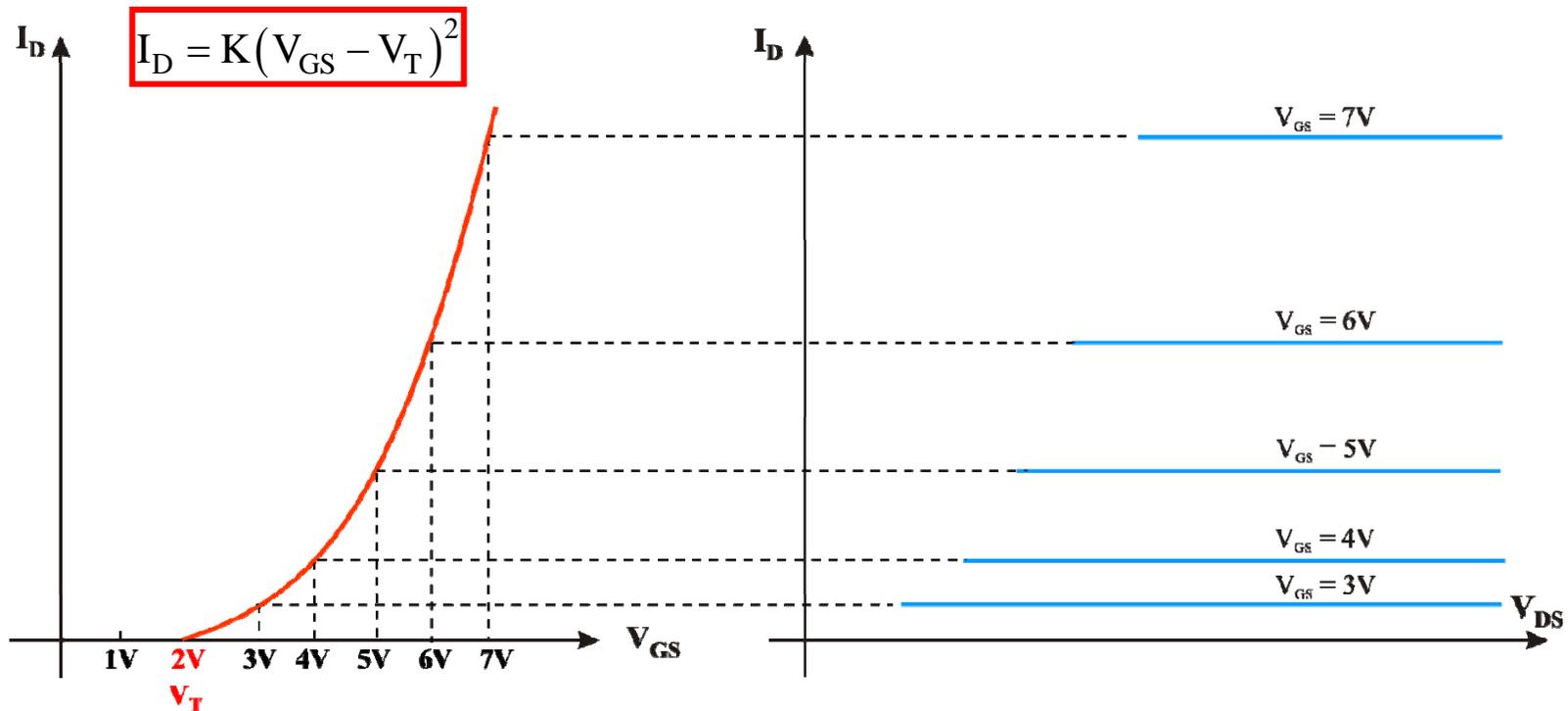


### 3.1.4.- Curva característica MOSFET de acumulación.

#### Zona de saturación o de corriente constante.

Para valores de  $V_{DS} \geq V_{DSsat} = V_{GS} - V_T$

$I_D$  es independiente de la tensión  $V_{DS}$  sólo depende de la tensión  $V_{GS}$



**El MOSFET se comporta como una fuente de corriente controlada por  $V_{GS}$**

### 3.1.4.- Curva característica MOSFET de acumulación.

#### Zona de ruptura.

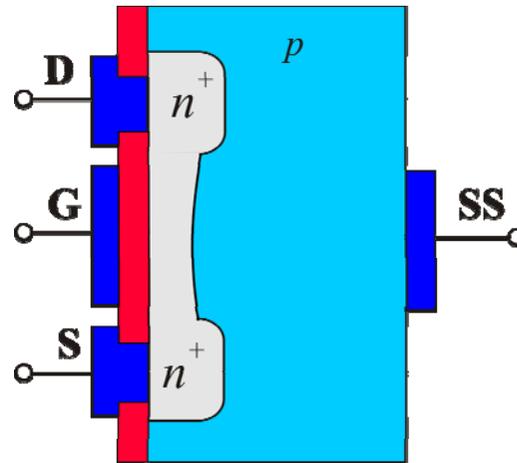
Los transistores MOSFET pueden romper por dos motivos:

- Porque se perfora el dieléctrico ( $V_{GS} > \text{Dato}$ )
- Porque en la unión *pn* del lado del Drenador (polarizada en inversa) se supera el valor de la tensión de ruptura para dicha unión.  
La ruptura se da cuando  $V_{DS} > V_r$  (independientemente del valor de  $V_{GS}$ )

## 3.2.- MOSFET de deplexión.

### 3.2.1.- Estructura básica.

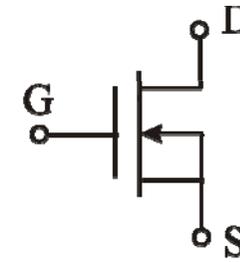
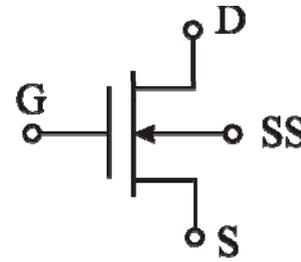
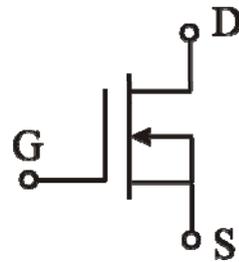
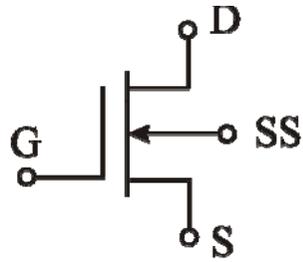
MOSFET deplexión canal n



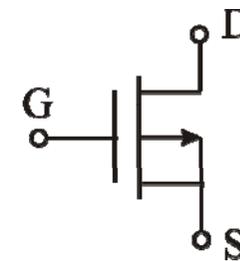
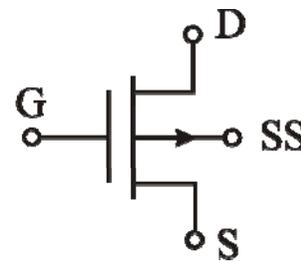
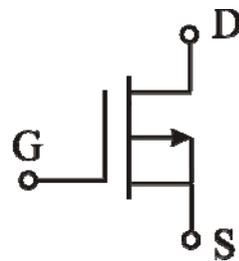
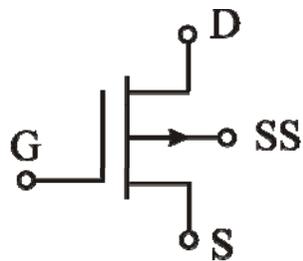
*Existe un canal realizado en el proceso de fabricación*

## 3.2.- MOSFET de deplexión.

### 3.2.2.- Símbolos.



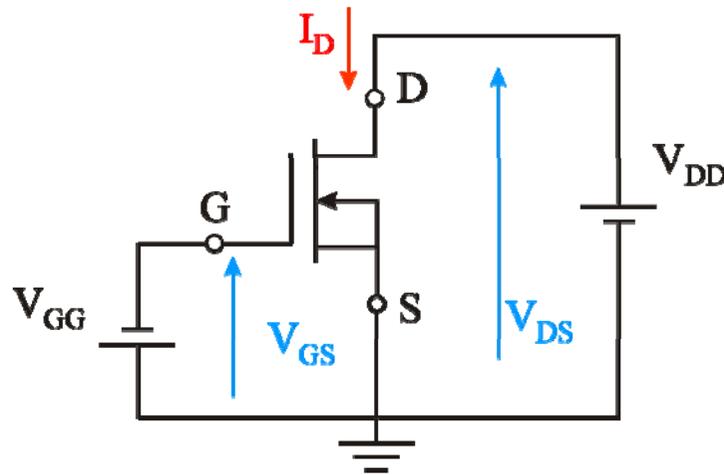
MOSFET de deplexión canal n



MOSFET de deplexión canal p

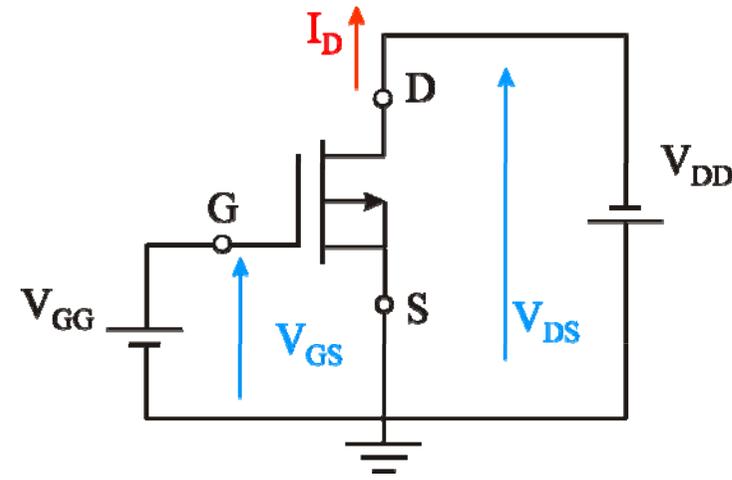
## 3.2.- MOSFET de deplexión.

### Polarización.



Canal n

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

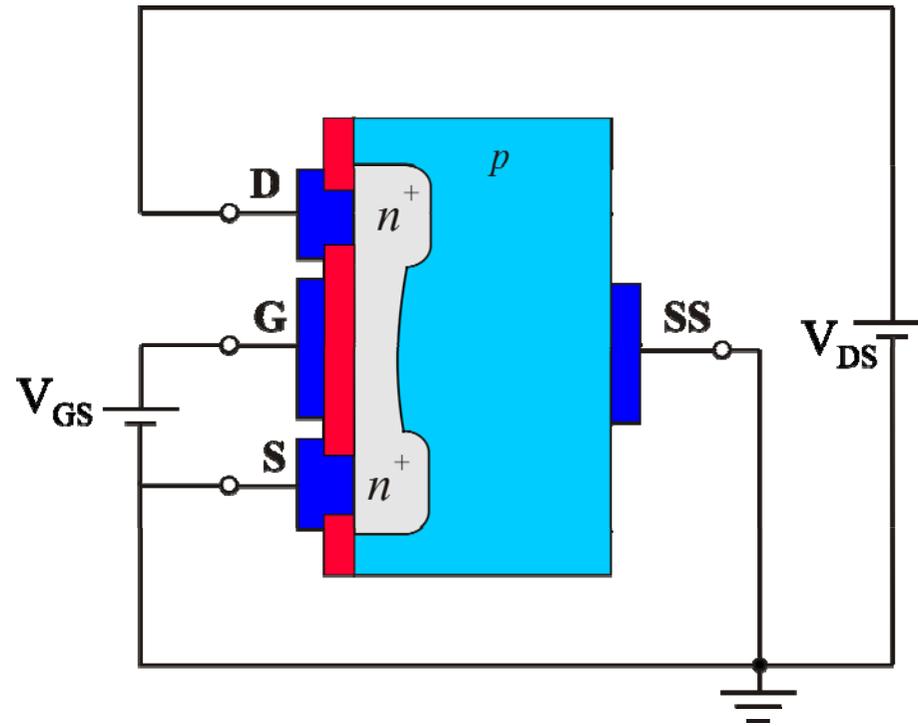


Canal p

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

## 3.2.- MOSFET de deplexión.

### Principio de funcionamiento.



Si  $V_{GS} > 0$

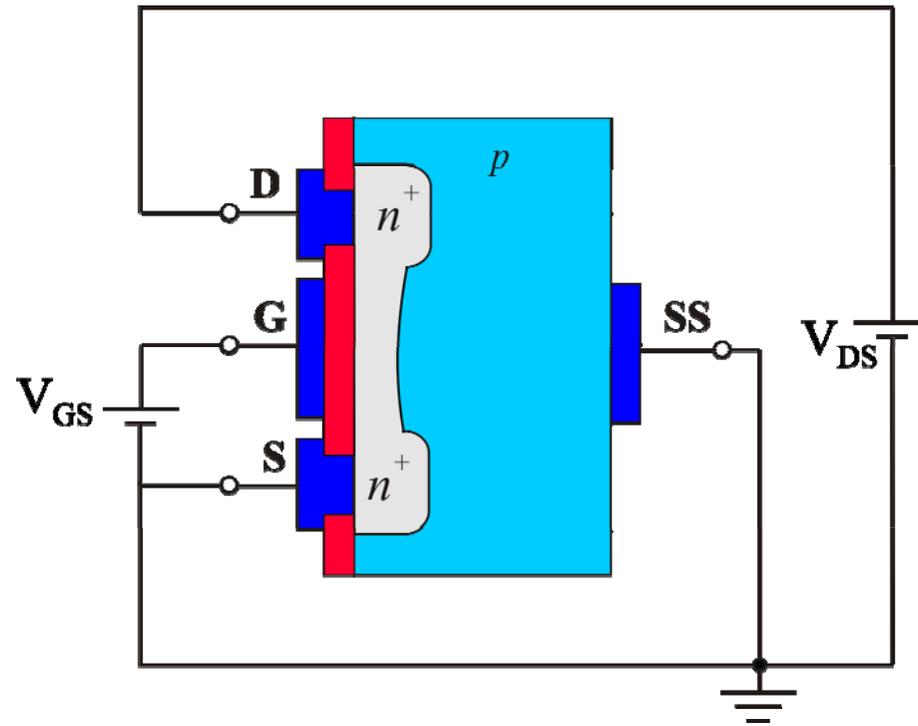
Se atraen más e- y se repelen más h+.

Es el mismo comportamiento que el MOSFET de acumulación

Cuanto mayor sea  $V_{GS}$  mayor será la anchura del canal

## 3.2.- MOSFET de deplexión.

### Principio de funcionamiento.



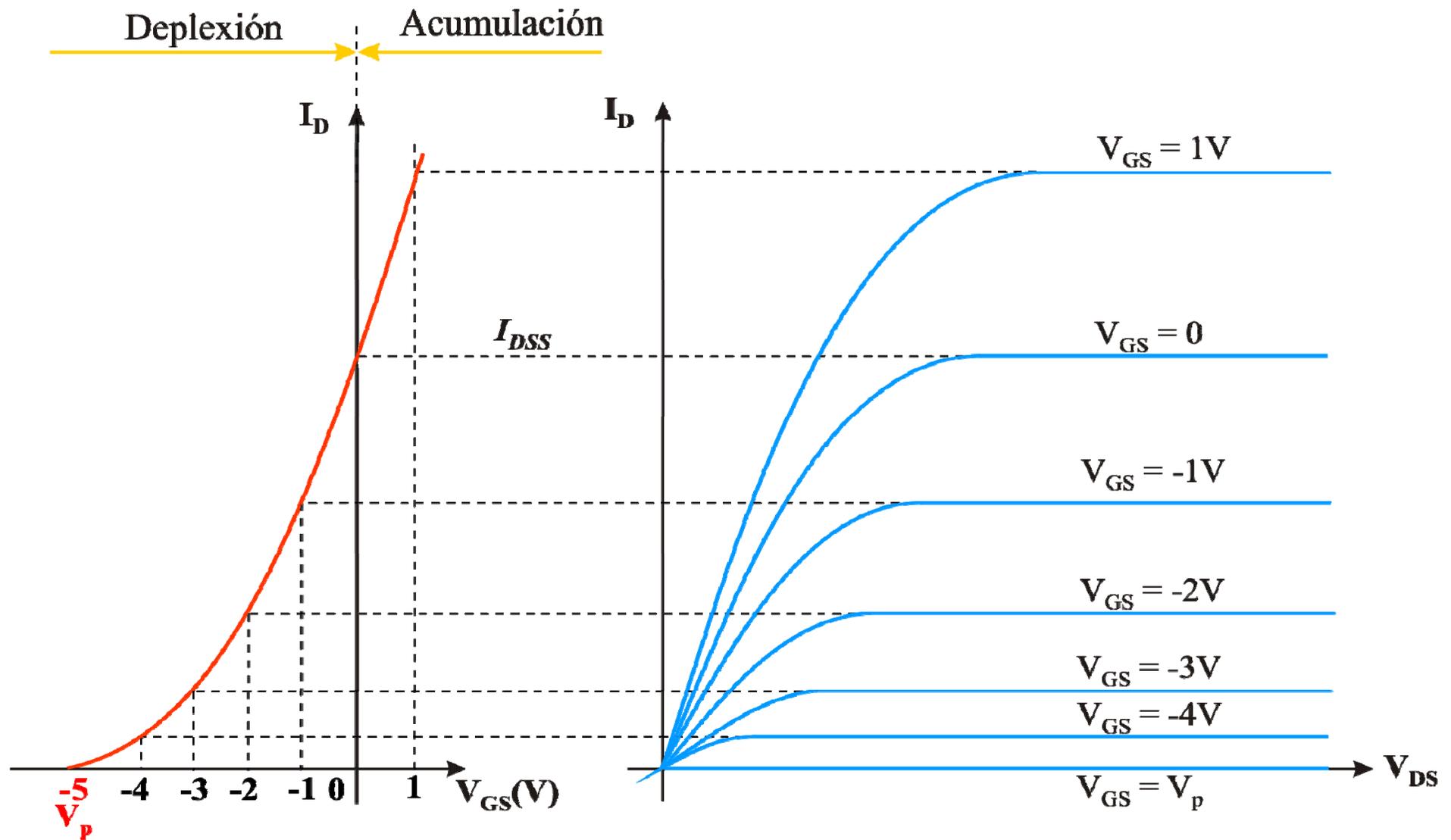
Si  $V_{GS} < 0$

Se repelen los e- de la zona de la puerta y se atraen h+ → El canal se estrecha

*Si seguimos disminuyendo  $V_{GS}$  podemos hacer que el canal desaparezca por completo. Esto ocurre cuando se alcanza el valor  $V_{GS} = V_{GSoff}$*

***Con la tensión  $V_{GS}$  se modula la anchura del canal***

## 3.2.- MOSFET de deplexión.



<http://jas.eng.buffalo.edu>

