

# TEMA 7

## TRANSISTORES DE EFECTO CAMPO

### INTRODUCCIÓN

- ▶ **TRANSISTOR DE EFECTO CAMPO (FET)**  
Dispositivos semiconductores donde el control de la corriente se realiza mediante un campo eléctrico
  
- ▶ **CARACTERÍSTICAS**
  - \* Dispositivo unipolar: un único tipo de portadores de carga (portadores mayoritarios)
  - \* Ocupa menos espacio en un circuito integrado que el bipolar (grandes ventajas para aplicaciones de microelectrónica)
  - \* Gran impedancia de entrada
  - \* Menos afectado que el BJT por diferentes fuentes de ruido
  - \* Carece de tensión umbral (JFET y MOSFET empobrecido)

## ▶ TIPOS DE TRANSISTORES DE EFECTO CAMPO

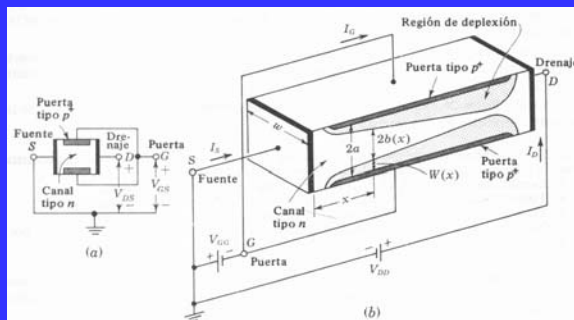
\* De unión: JFET (Junction Field Effect Transistor)

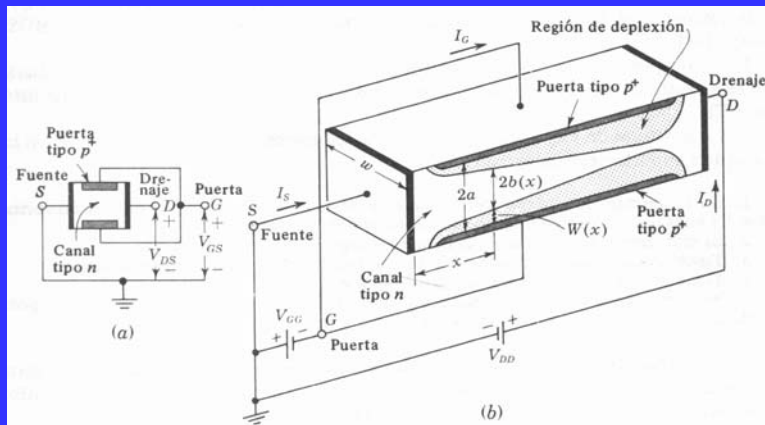
O  
FET

\* De puerta aislada: IGFET (Insulated Gate Field Effect Transistor)  
MOS (Metal Oxide Semiconductor)  
MOST  
MOSFET

## ESTRUCTURA DE LOS JFET

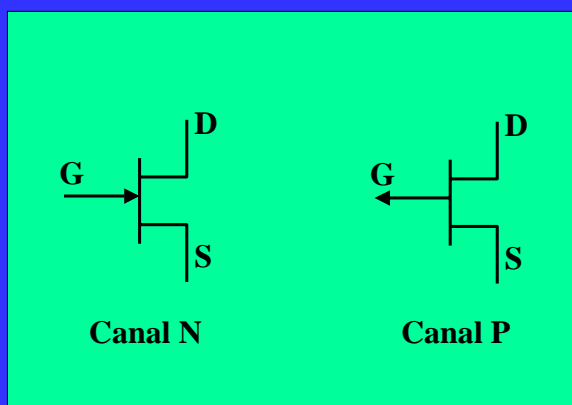
- \* Barra semiconductor con contactos óhmicos en los extremos
- \* JFET puede ser de canal N o canal P
- \* Puerta muy impurificada con portadores distintos a los de la barra
- \* Elementos: Fuente o surtidor (S) -> por donde entran los portadores  
Drenador (D) -> por donde salen los portadores  
Puerta (G) -> elemento de control  
Canal -> región situada entre las dos difusiones de puerta
- \* La tensión puerta fuente ( $V_{GS}$ ) polariza inversamente las uniones



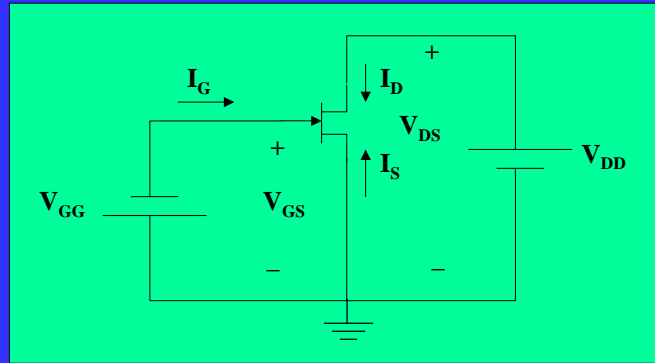


La corriente entre drenador y fuente se controla mediante el campo creado por la polarización inversa aplicada a la puerta. Cualquiera de los extremos se puede usar como fuente

## SÍMBOLOGÍA DE LOS JFET



## ESQUEMA BÁSICO DE POLARIZACIÓN



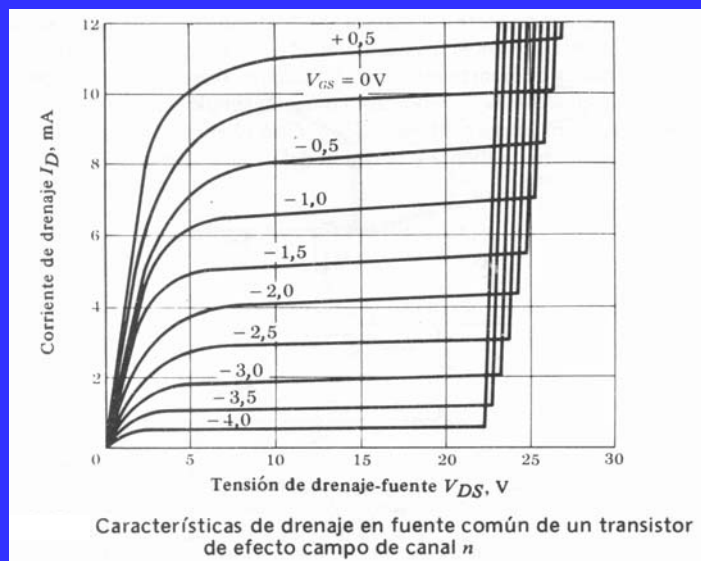
Para el canal P el esquema es idéntico pero con polaridades invertidas

CANAL N  $\left\{ \begin{array}{l} V_{GS} \text{ negativa} \\ V_{DS} \text{ positiva} \\ I_D \text{ positiva} \end{array} \right.$

CANAL P  $\left\{ \begin{array}{l} V_{GS} \text{ positiva} \\ V_{DS} \text{ negativa} \\ I_D \text{ negativa} \end{array} \right.$

## CURVA CARACTERÍSTICA

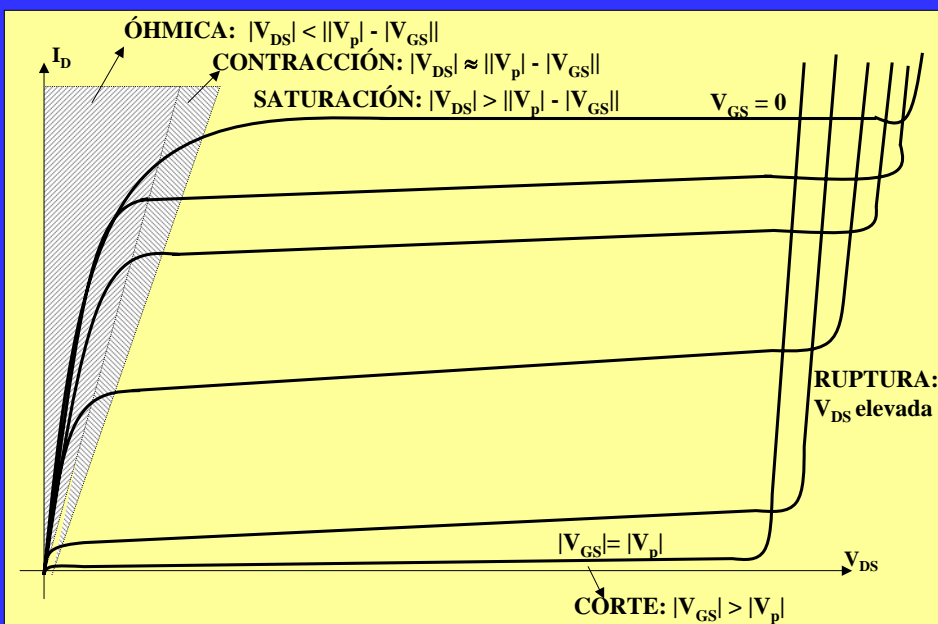
$$I_D = f(V_{DS}, V_{GS})$$



▶ PARA  $V_{GS} = 0$ :

- \*  $V_{DS}$  pequeña ( $< V_p$ ): Canal casi completamente abierto. Resistencia pequeña y aproximadamente constante. Comportamiento lineal.  
=> REGIÓN ÓHMICA
- \*  $V_{DS}$  cercana a  $V_p$ : Canal se va cerrando por un punto y la resistencia aumenta con la tensión. Comportamiento no lineal.  
=> REGIÓN DE CONTRACCIÓN
- \*  $V_{DS} > V_p$ : La resistencia  $r_{ds}$  es grande y aproximadamente constante. No se puede cerrar completamente el canal porque dejaría de circular corriente y desaparecería la tensión inversa en la unión puerta-canal. JFET se comporta como fuente de corriente.  
=> REGIÓN DE SATURACIÓN
- \*  $V_{DS}$  muy elevada ( $V_{DS} \geq BV_{DS}$ ): Conducción inversa en las uniones puerta-canal, lo que supone un aumento muy grande de la  $I_D$  que produce la destrucción del JFET.  
=> REGIÓN DE RUPTURA

## ZONAS DE FUNCIONAMIENTO



► REGIÓN ÓHMICA (Valores pequeños de  $V_{DS}$ :  $|V_{DS}| < |V_P| - |V_{GS}|$ )

\* Resistencia óhmica:

$$\text{Canal N} \Rightarrow r_{ds} = \frac{1}{\sigma} \frac{L}{2 \cdot a \cdot w} = \frac{1}{q \cdot N_D \cdot \mu_n} \frac{L}{2 \cdot a \cdot w}$$

\* Valores usuales de la resistencia entre 100  $\Omega$  y 100 K $\Omega$

$$r_{ds} > R_{cesat} \text{ (transistor bipolar)}$$

\* Cada  $V_{GS}$  define un valor de resistencia distinto

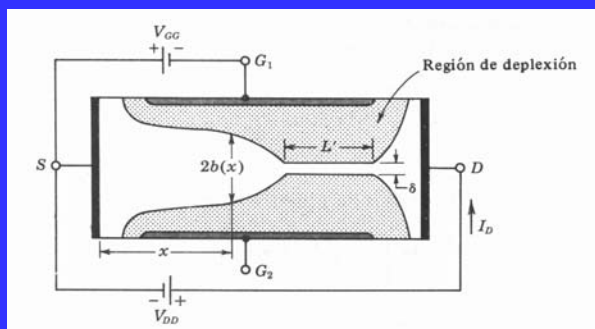
\*  $I_D = f(V_{DS}) \rightarrow$  función lineal.

► REGIÓN DE CONTRACCIÓN ( $|V_{DS}| \approx |V_P| - |V_{GS}|$ )

\* Al elevar  $V_{DS}$ ,  $I_D$  deja de crecer linealmente  $\Rightarrow$  se entra en la zona de contracción  $\Rightarrow$  se alcanza la anchura mínima del canal ( $\delta$ )

\* Al aumentar más  $V_{DS}$ , el canal no se estrecha más ( $\delta$  permanece constante) y aumenta la longitud de la zona de estrechamiento máximo  $\Rightarrow$  se entra en la zona de saturación

► REGIÓN DE SATURACIÓN ( $|V_{DS}| > |V_P| - |V_{GS}|$ )



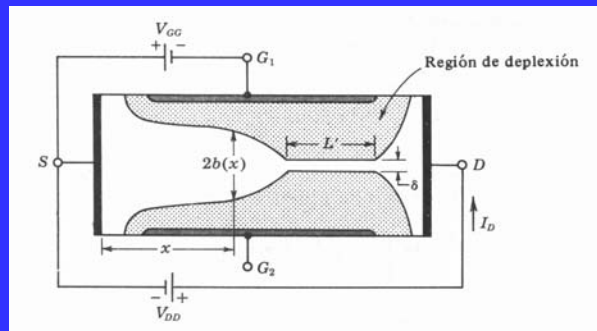
► REGIÓN DE SATURACIÓN ( $|V_{DS}| > |V_P| - |V_{GS}|$ )

La anchura mínima del canal es  $\delta$ . Al aumentar la tensión entre drenador y fuente,  $\delta$  permanece constante y aumenta  $L'$  y se entra en la zona de saturación.

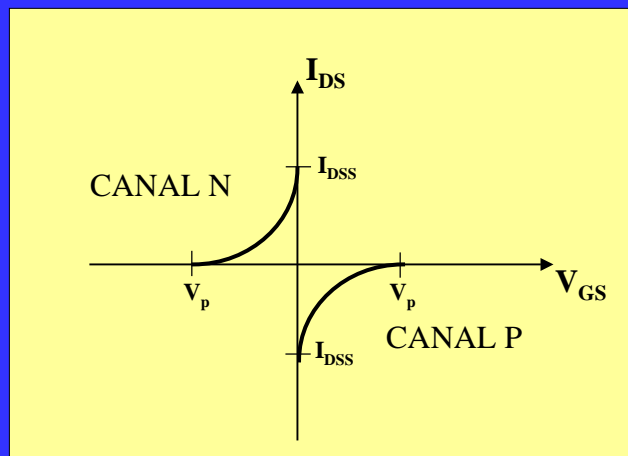
$$I_{DS} = I_{DSS} \left( 1 - \frac{|V_{GS}|}{|V_P|} \right)^2$$

$I_{DS}$  : Corriente de drenador en saturación

$I_{DSS}$ : Corriente de drenador en saturación para  $V_{GS} = 0$

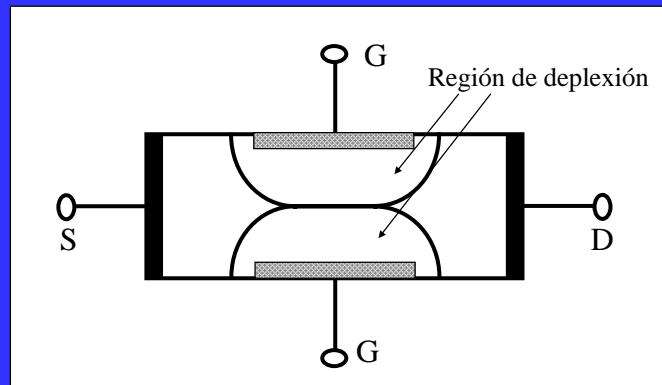


$$I_{DS} = I_{DSS} \left( 1 - \frac{|V_{GS}|}{|V_P|} \right)^2$$



▶ REGIÓN DE CORTE ( $|V_{GS}| \geq |V_P|$ )

$|V_{GS}| \geq |V_P| \Rightarrow$  El canal desaparece  $\Rightarrow I_{DS} \approx 0$



▶ REGIÓN DE RUPTURA ( $|V_{DS}| \geq BV_{DS}$ )

Cuando la tensión drenador fuente es muy grande, la corriente de drenador se eleva mucho y se llega a la destrucción del FET

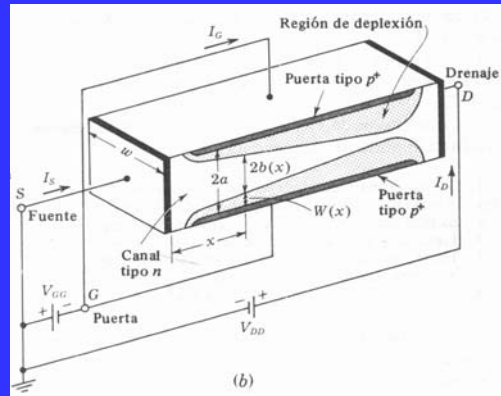


## CÁLCULO DE LA TENSION DE CONTRACCION (V<sub>p</sub>)

$$N_A \gg N_D \Rightarrow W_n \approx W \gg W_p$$

$$V_j = V_0 + V_I = \frac{q \cdot N_D \cdot w^2}{2\epsilon}$$

Demostrado cuando se  
calculó la capacidad de  
transición del diodo



$$w(x) = a - b(x) = \sqrt{\frac{2\epsilon}{q \cdot N_D} (V_0 + V(x))}$$

$$w(x) = a - b(x) = \sqrt{\frac{2\epsilon}{q \cdot N_D} (V_0 + V(x))}$$

Si  $b = \delta \approx 0$  (estrangulamiento máximo) y  $V_0 \ll V(x)$ , entonces:

$$a = \sqrt{\frac{2\epsilon}{q \cdot N_D} |V_p|} \Rightarrow |V_p| = \frac{q \cdot N_D}{2\epsilon} a^2$$

V<sub>p</sub> es la V<sub>DS</sub> que provoca el estrangulamiento o estrechez máxima en un punto para V<sub>GS</sub>=0

V<sub>p</sub> es la V<sub>GS</sub> que corta completamente el canal

Si V<sub>DD</sub> = 0 ⇒ I<sub>D</sub> = 0 ⇒ V<sub>o</sub> + V(x) = |V<sub>GS</sub>| independientemente de x

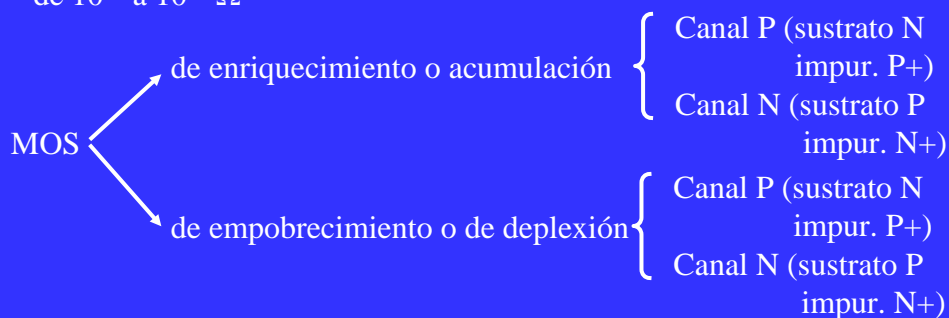
$$a - b = \sqrt{\frac{2\epsilon}{q \cdot N_D} |V_{GS}|} \Rightarrow (a - b)^2 = \frac{2\epsilon}{q \cdot N_D} |V_{GS}| \Rightarrow |V_{GS}| = \left(1 - \frac{b}{a}\right)^2 V_p$$

# EL TRANSISTOR MOS

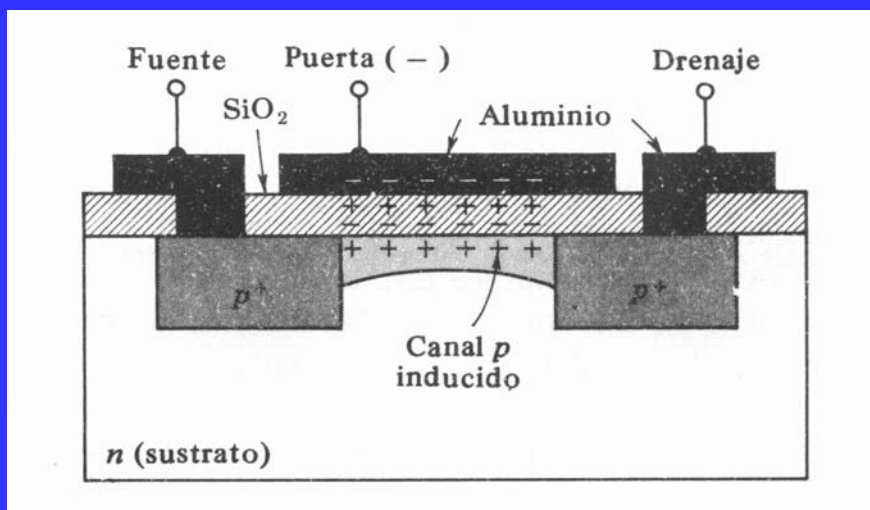
MOS: Metal Oxide Semiconductor

Los transistores de efecto campo de puerta aislada de acumulación tienen la característica de presentar una  $I_D$  nula con  $V_{GS} = 0$ , lo cual es interesante para trabajar en conmutación.

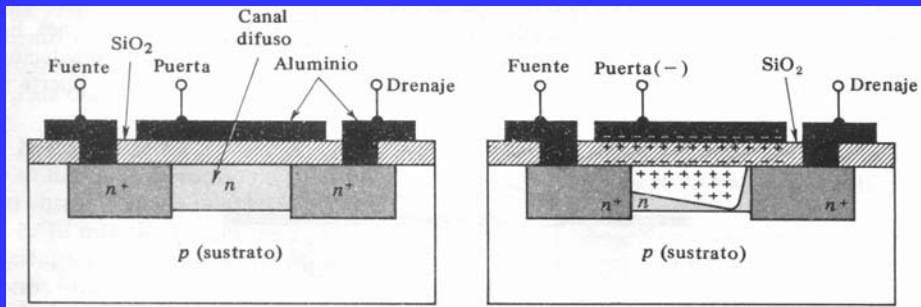
Estos transistores tienen una impedancia de entrada elevada, del orden de  $10^{10}$  a  $10^{15} \Omega$



## ESTRUCTURA DE UN MOSFET DE ACUMULACIÓN DE CANAL P

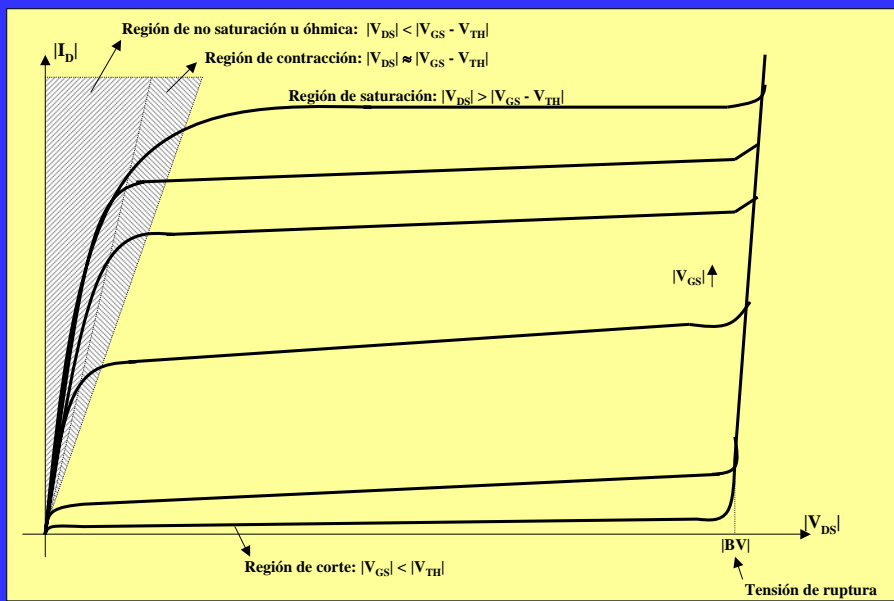


## ESTRUCUTRA DE UN MOSFET DE DEPLECIÓN DE CANAL N



## MOS DE ACUMULACIÓN

$$I_D = f(V_{DS}, V_{GS})$$



## ▶ CURVAS CARACTERÍSTICAS EN SATURACIÓN

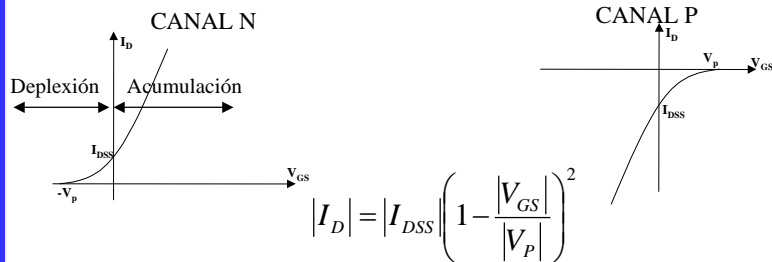
### Transistores enriquecidos



$$|I_D| = K(|V_{GS}| - |V_{TH}|)^2 \quad \text{para } |V_{GS}| > |V_{TH}|$$

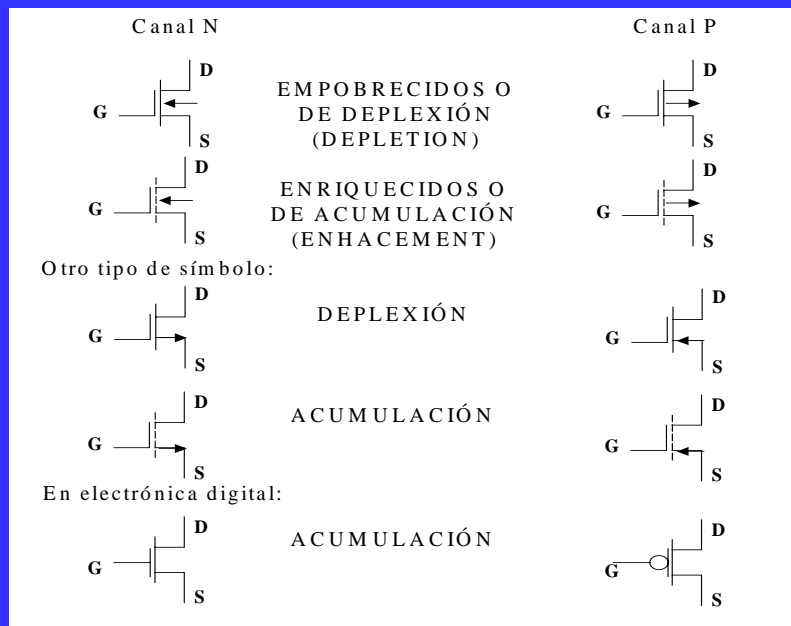
$$K = 0,3 \frac{mA}{V^2} \rightarrow \text{Valor típico}$$

### Transistores empobrecidos

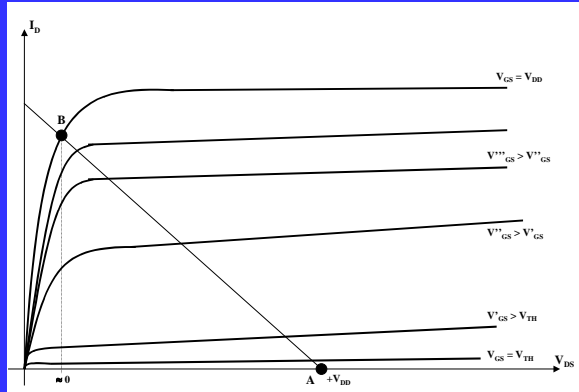
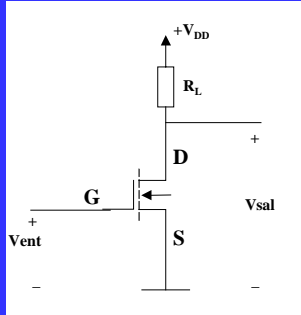


$$|I_D| = |I_{DSS} \left( 1 - \frac{|V_{GS}|}{|V_P|} \right)^2$$

## ▶ SÍMBOLOS GRÁFICOS



# EL MOS EN CONMUTACIÓN



Vent	Vsal	→ En lógica digital →	Vent	Vsal
0	$+V_{DD}$		"0"	"1"
$+V_{DD}$	$\approx 0$		"1"	"0"