

TEMA 3.1

MOSFET

CIUD

Cartagena99

TEMA 3
TRANSISTOR MOS
FUNDAMENTOS DE

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

 de la Defensa Zaragoza

TEMA 3.1 – MOSFET

- Introducción
- Regiones de operación
- Efecto Early
- Efecto Body

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Tema 3. Transistor MOS



TEMA 3.1 – MOSFET

- Introducción
- Regiones de operación
- Efecto Early
- Efecto Body

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

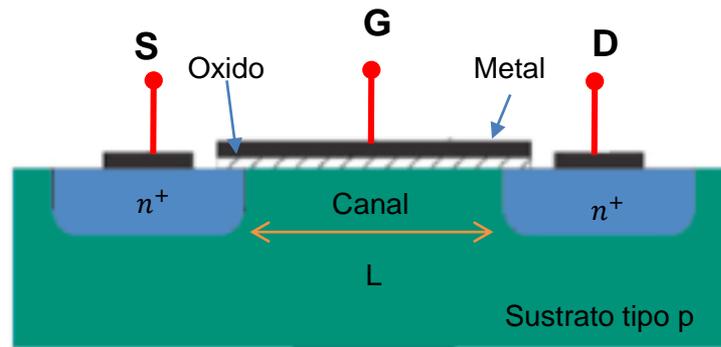
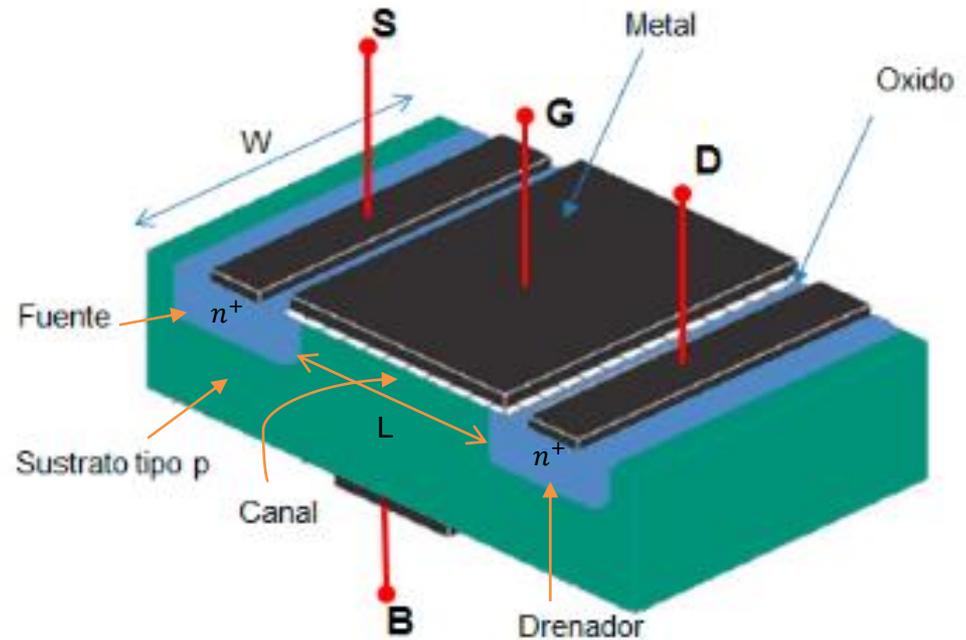
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



DESCRIPCIÓN

➤ 4 Terminales

- Puerta (G, gate)
- Drenador (D, drain)
- Fuente (S, source)
- Sustrato (B, bulk)



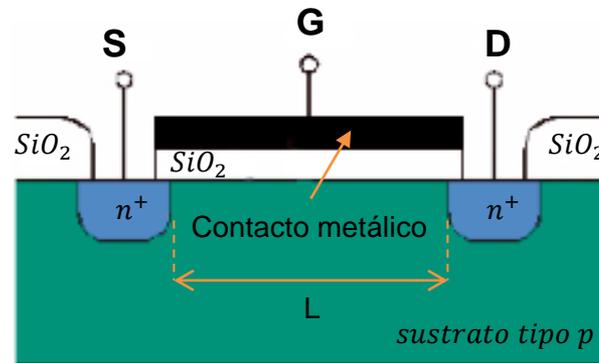
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

SUSTRATO

- En el sustrato (B, bulk) se establece una tensión fija de referencia que garantiza que ambas uniones PN (S-B y D-B) están en corte.
- Por lo tanto, los transistores MOSFET se pueden modelar casi por completo (excepto el efecto body) mediante tres terminales (S, G, D).



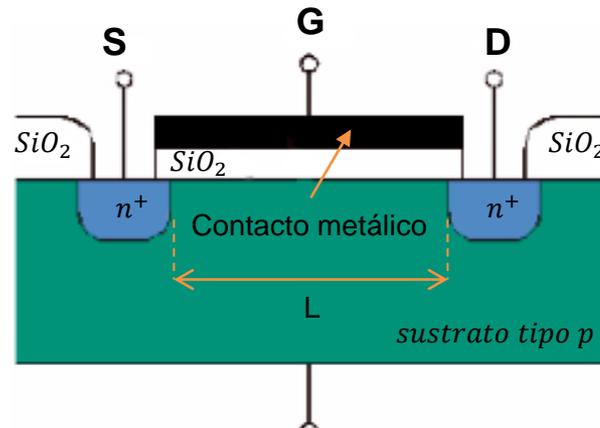
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

PUERTA

- La corriente de puerta es siempre nula, ya que se encuentra aislada del resto mediante un aislante (SiO_2)
- La corriente que fluye entre la fuente y el drenador se controla con la tensión aplicada en la puerta.



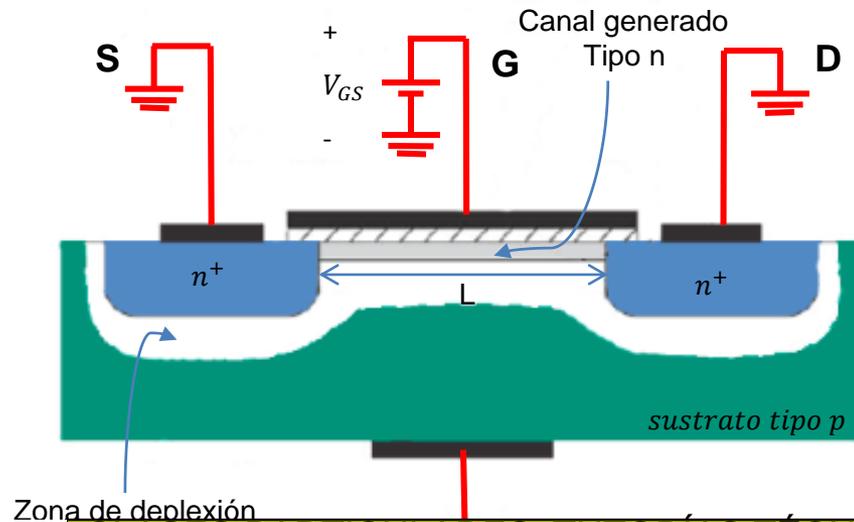
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

CANAL

- Para que exista corriente entre fuente y drenador es necesario establecer un camino por el cual fluya la misma
- Esto sólo es posible si se crea una lámina de inversión de carga de electrones que una las dos regiones N^+ (D y S)



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

CANAL

- Cuando se aplica una tensión positiva al terminal de puerta se crea un campo eléctrico entre las placas del condensador que incide perpendicularmente sobre la superficie del semiconductor.
- Este campo eléctrico atrae cargas negativas hacia la superficie y repele las positivas.
- Si el campo eléctrico tiene la intensidad suficiente logra crear, en la proximidad de la superficie del semiconductor, una región muy rica en cargas negativas que se denomina canal N. Este canal, de longitud L y anchura W , conecta las dos regiones N y permite el paso de corriente entre drenador y fuente.
- Si el campo eléctrico transversal se hace más intenso, el canal se hace más rico en cargas negativas, disminuye su resistencia, y permite el paso de una corriente mayor entre drenador y fuente.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

MOSFET

- Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
- Se denomina MOS por la arquitectura perpendicular que lo forma Conductor-Aislante-Semiconductor
- Se denomina de *efecto de campo* porque la corriente que circula entre los terminales de drenador y fuente está controlada por el campo eléctrico perpendicular a la superficie del semiconductor entre las regiones de drenador y fuente.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



TIPOS DE MOSFET

- **MOSFET de canal N de enriquecimiento (normally off):** el sustrato semiconductor es tipo P y no existe canal a menos que apliquemos la tensión necesaria a la puerta para que esto ocurra.
- **MOSFET de canal P de enriquecimiento (normally off):** el sustrato semiconductor es tipo N y no existe canal a menos que apliquemos la tensión necesaria a la puerta para que esto ocurra.
- **MOSFET de canal N de deplexión (normally on):** el sustrato semiconductor es tipo P y existe canal a tensión de puerta nula. Se puede hacer desaparecer al canal con la aplicación una tensión apropiada a la puerta.
- **MOSFET de canal P de deplexión (normally on):** el sustrato semiconductor es tipo N y existe canal a tensión de puerta nula. Se puede hacer desaparecer al canal con la aplicación una tensión apropiada a la puerta.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

SIMBOLOS

	Enriquecimiento		Depleción	
	Normally OFF	Normally ON	Normally OFF	Normally ON
NMOS				
PMOS				

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

TEMA 3.1 – MOSFET

- Introducción
- Regiones de operación
- Efecto Early
- Efecto Body

Cartagena99

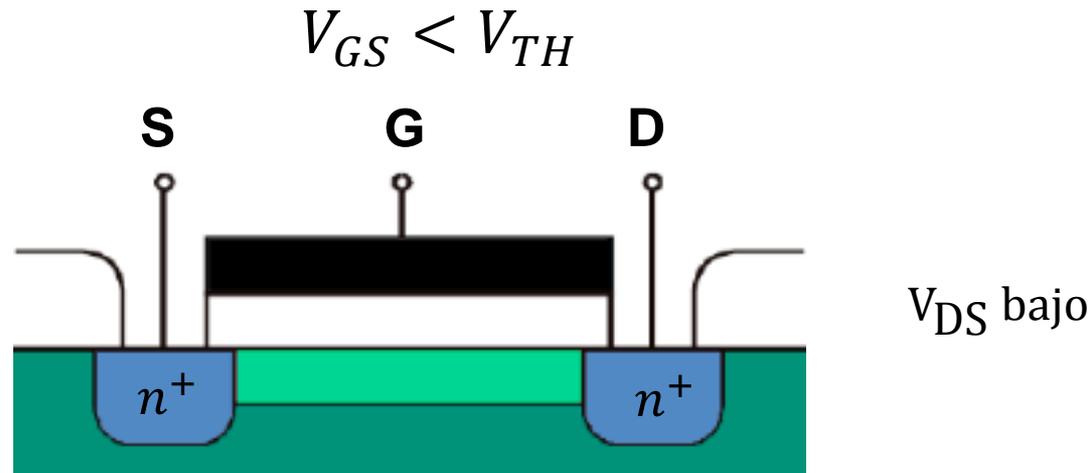
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



MODELO CUALITATIVO

Sin canal



Intensidad nula de drenador a fuente

$$I_{DS} = 0$$

Cartagena99

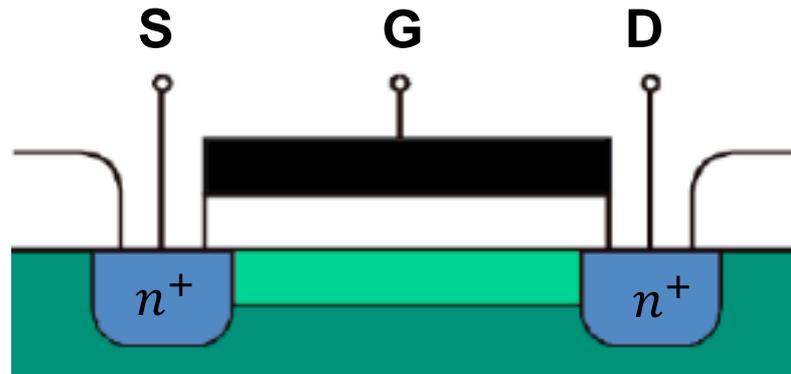
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

MODELO CUALITATIVO

a) Canal uniforme.

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



V_{DS} bajo

Comportamiento parecido al de una resistencia

$$I_{DS} = f(V_{GS})V_{DS}$$

Cartagena99

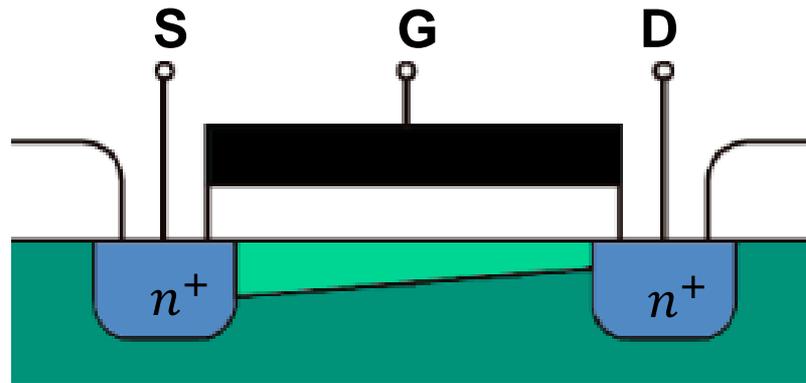
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

MODELO CUALITATIVO

b) Canal no uniforme.

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



V_{DS} mayor

La resistencia aumenta con V_{DS}

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

Cartagena99

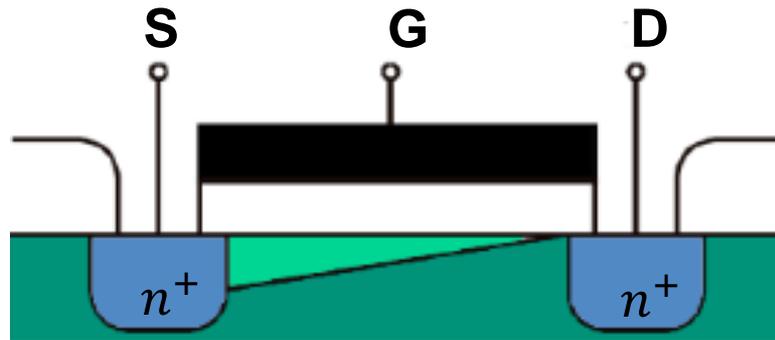
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

MODELO CUALITATIVO

c) Agotamiento del canal.

$$V_{GD} = V_{TH} \Rightarrow V_{DS} = V_{GS} - V_{TH}$$



$$V_{GS} - V_{DS} = V_t$$
$$V_{DSsat} \equiv V_{GS} - V_t$$

Pendiente nula en $I_{DS} - V_{DS} \cdot V_{TH}$ es la tensión V_{GS} a partir de la cual el canal conduce.

Cartagena99

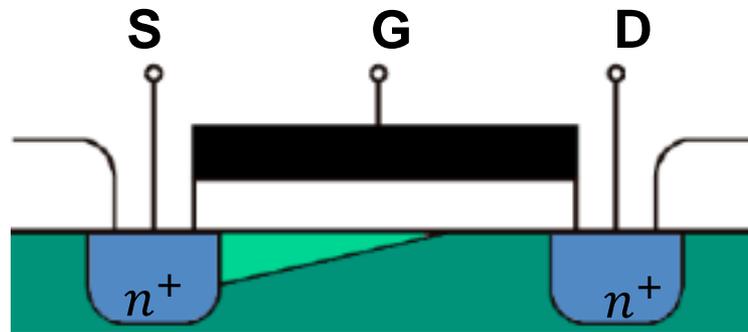
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

MODELO CUALITATIVO

d) Saturación del canal.

$$V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$$



$$V_{DS} > V_{DSsat}$$

La corriente de drenador a fuente no depende del voltaje V_{DS} (sin contar el efecto Early)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

REGIONES DE OPERACIÓN

La línea se curva porque la resistencia del canal aumenta con v_{DS}

a) Casi una línea recta con pendiente proporcional a $v_{GS} - v_t$

b) y a) Triodo:

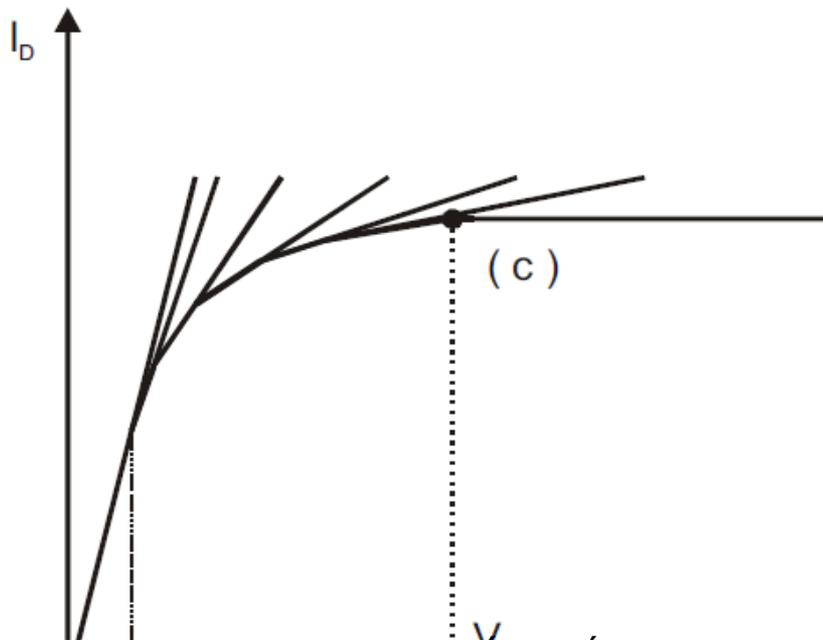
$$v_{DS} < v_{GS} - v_t$$

d) Saturación:

$$v_{DS} \geq v_{GS} - v_t$$

c) Limite entre regiones:

$$v_{DS} = v_{GS} - v_t$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

REGIONES DE OPERACIÓN

➤ NMOS

$$I_{DS} = \begin{cases} 0 & V_{GS} < V_T & \text{corte} \\ \frac{K W}{2 L} [2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2] & V_{DS} < V_{GS} - V_T & \text{triado} \\ \frac{K W}{2 L} (V_{GS} - V_T)^2 & V_{DS} \geq V_{GS} - V_T & \text{saturación} \end{cases}$$

➤ PMOS

$$I_{DS} = \begin{cases} 0 & V_{SG} < |V_T| & \text{corte} \\ \frac{K W}{2 L} [2(V_{SG} - |V_T|)V_{SD} - V_{SD}^2] & V_{SD} < V_{SG} - |V_T| & \text{triado} \\ \frac{K W}{2 L} (V_{SG} - |V_T|)^2 & V_{SD} \geq V_{SG} - |V_T| & \text{saturación} \end{cases}$$

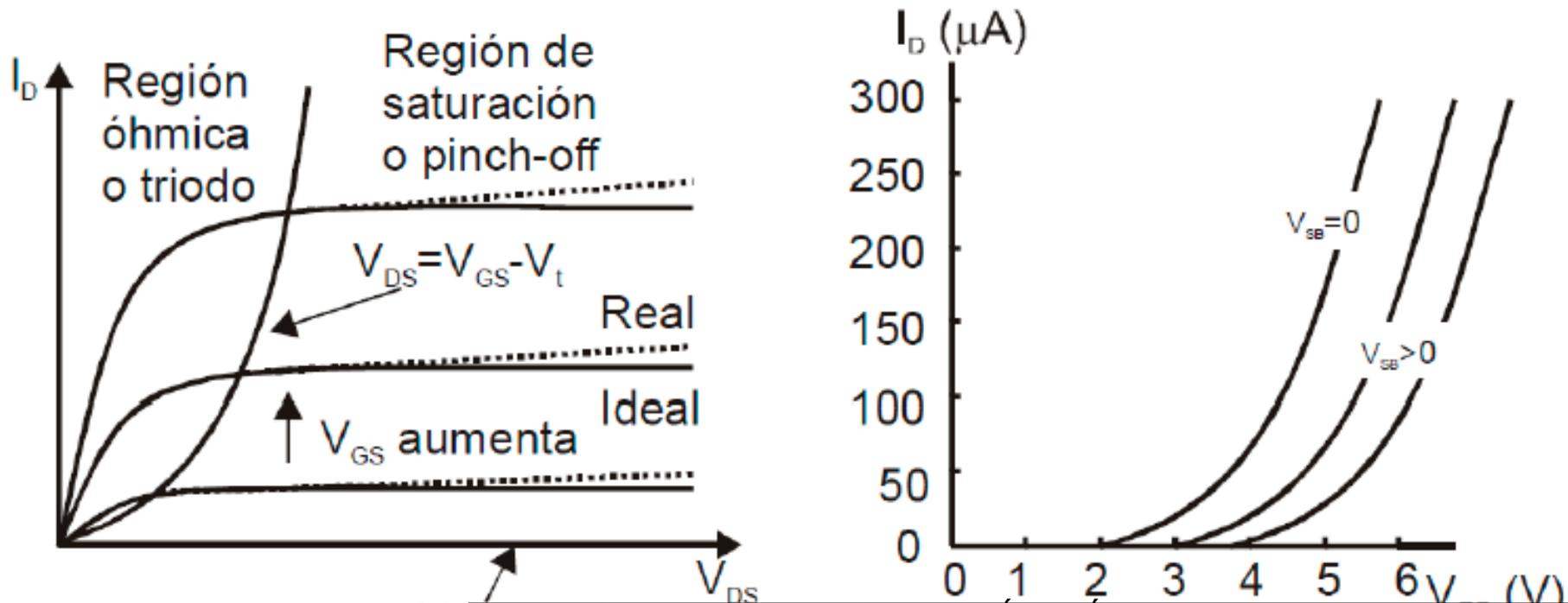
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

CURVAS CARACTERÍSTICAS

- I_D vs V_{DS} con $V_{GS} = \text{cte}$
- I_D vs V_{GS} con $V_{DS} = \text{cte}$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

TEMA 3.1 – MOSFET

- Introducción
- Regiones de operación
- Efecto Early
- Efecto Body

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

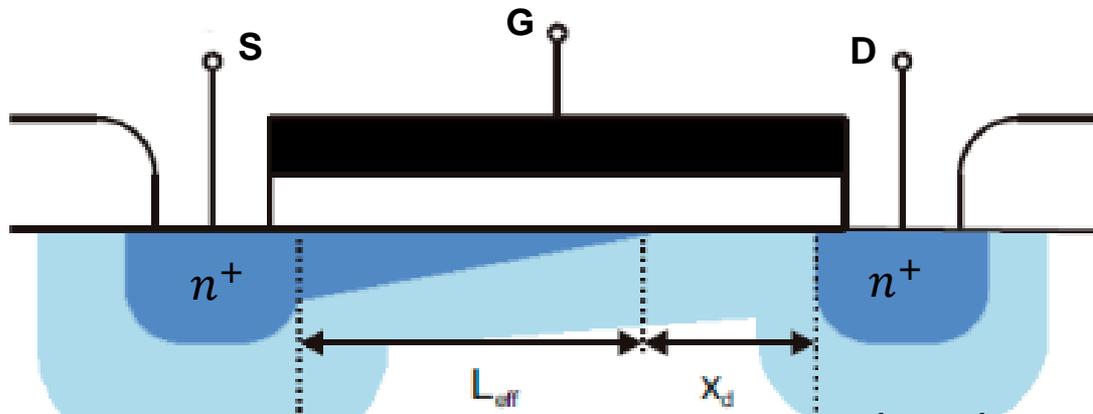
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



EFEECTO EARLY

- Cuando el MOSFET trabaja en saturación, la longitud efectiva del canal varía con la tensión V_{DS}
- $L_{eff} = L - x_d$ es la longitud real del canal

$$I_D = \frac{k'}{2} \frac{W}{L_{eff}} (V_{GS} - V_T)^2$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

EFECTO EARLY

- Cálculo de la variación de la corriente en saturación I_D con V_{DS}

$$\frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} = -\frac{k' W}{2 L_{eff}^2} (V_{GS} - V_T)^2 \frac{dL_{eff}}{dV_{DS}}$$

$$\frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} = \frac{I_D}{L_{eff}} \frac{dx_d}{dV_{DS}}$$

$$\frac{I_D}{\left(\frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}}\right)} = L_{eff} \left(\frac{dx_d}{dV_{DS}}\right)^{-1} = V_A = \frac{1}{\lambda}$$

V_A se denomina
tensión Early

- De esta forma, para el MOSFET operando en saturación se puede escribir

$$I_D = \frac{k' W}{2} (V_{GS} - |V_T|)^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

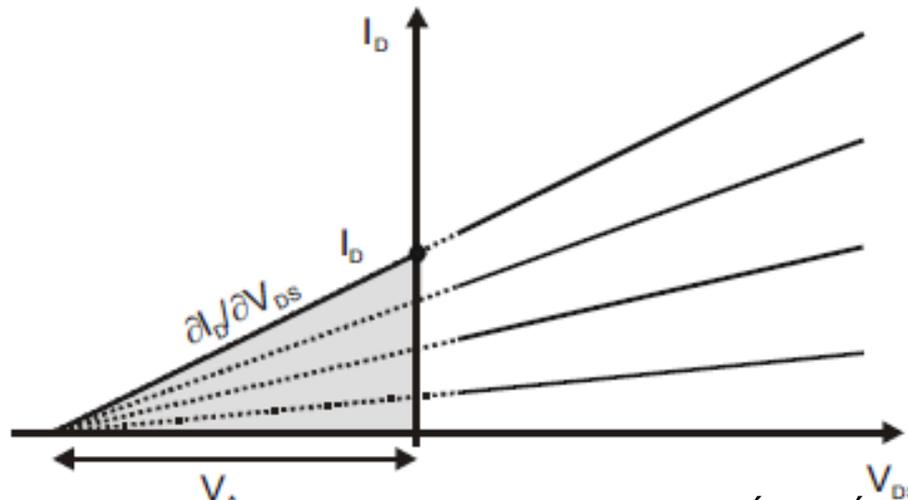
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

EFECTO EARLY

- La tensión Early es independiente de I_D
- Constituye la base común para todos los triángulos contruidos a partir de la extrapolación de las curvas $I_D - V_{DS}$ en saturación



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

TEMA 3.1 – MOSFET

- Introducción
- Regiones de operación
- Efecto Early
- Efecto Body

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

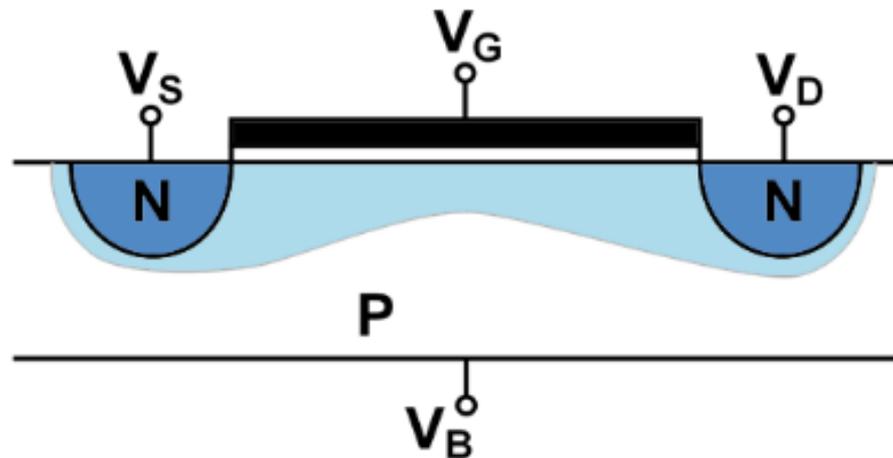
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



EFECTO BODY

- Para garantizar que las uniones PN están en corte, la tensión en sustrato tiene que ser la mínima del circuito
- Hasta ahora se ha considerado que el sustrato se encontraba cortocircuitado con fuente

$$V_{SB} = 0$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

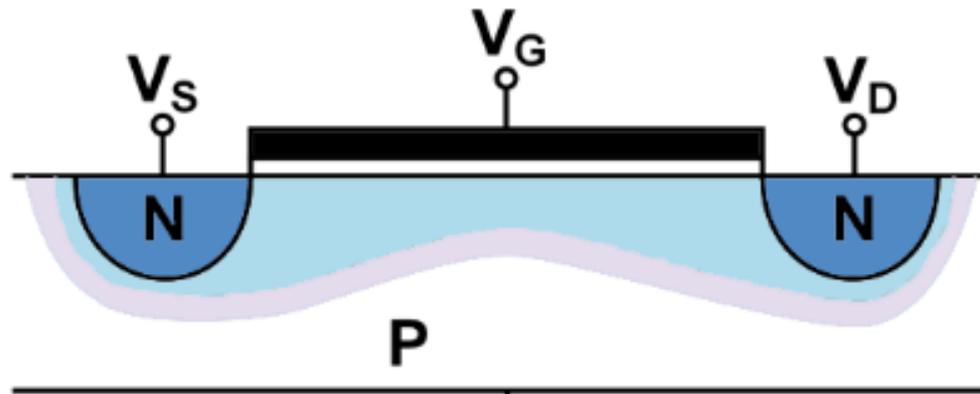
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

EFECTO BODY

- Si la tensión en fuente no es la misma que la tensión en sustrato:

$$V_{SB} > 0$$

- Las uniones PN están polarizadas más en inversa, por lo que se produce un aumento de la región de carga espacial



Cartagena99

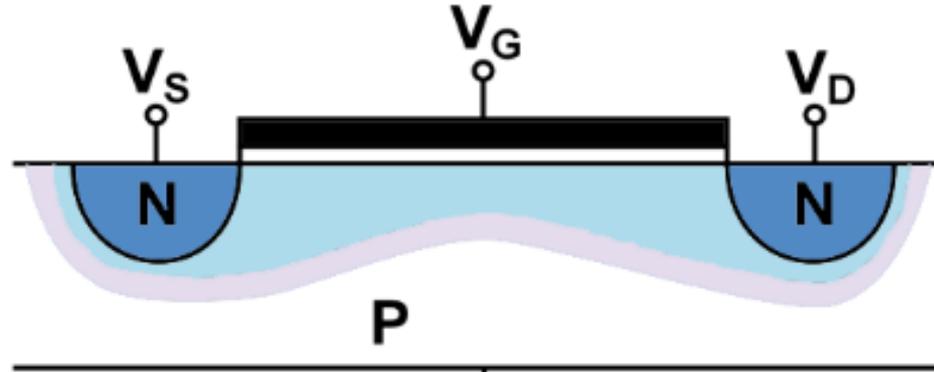
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

EFECTO BODY

- La carga en deflexión se ve modificada, reduciendo la anchura del canal.
- Esto equivale a un aumento de la tensión umbral necesaria para que se produzca la conducción

$$V_T = V_{FB} + 2\phi_F + \gamma\sqrt{2\phi_F + V_{SB}}$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70