



Tecnología Electrónica

Capítulo 1: Transistores. Estructura y curvas características.



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



Transistores. Índice general del tema



1. Transistores bipolares (BJT)

Breve referencia histórica.

Estructura interna. Simbología y nomenclatura.

Curvas características. Zonas y modos de trabajo: modelos en gran señal.

Efectos de segundo orden.

2. Transistores de efecto de campo (FET)

Breve referencia histórica.

Estructura interna. Simbología y nomenclatura.

MOS de acumulación: curvas, zonas y modelos en gran señal.

MOS de deplexión: curvas, zonas y modelos en gran señal.

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



1. Transistores Bipolares. Índice parcial.



- Transistores Bipolares (BJT)
 - **Aspectos generales**
 - Análisis cualitativo
 - Análisis cuantitativo
 - Comportamiento en continua
 - *Configuración*
 - *Características I-V*
 - Característica de entrada
 - Característica de salida
 - *Modelos lineales*
 - Efectos de segundo orden
 - *Modulación de la base*

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

1. Transistores Bipolares. Introducción.



□ Breve introducción histórica:

- Inventado en 1947 por *John Bardeen, William Shockley y Walter Brattain* en los Laboratorios de Bell Telephone.
 - *Se les dio por ello el Nobel de Física en 1956.*
- Su nombre (y símbolo) alude a su estructura y propiedades.
- **BJT**, Bipolar Junction Transistor (Transistor Bipolar de Unión):
 - *Bipolar: el flujo de corriente se debe a portadores de ambos tipos (e^- y h^+).*
 - *TRANSISTOR: TRANSfer resISTOR*
 - *Dos uniones PN muy cercanas entre sí.*

Bardeen



Brattain

Shockley



Cartagena99

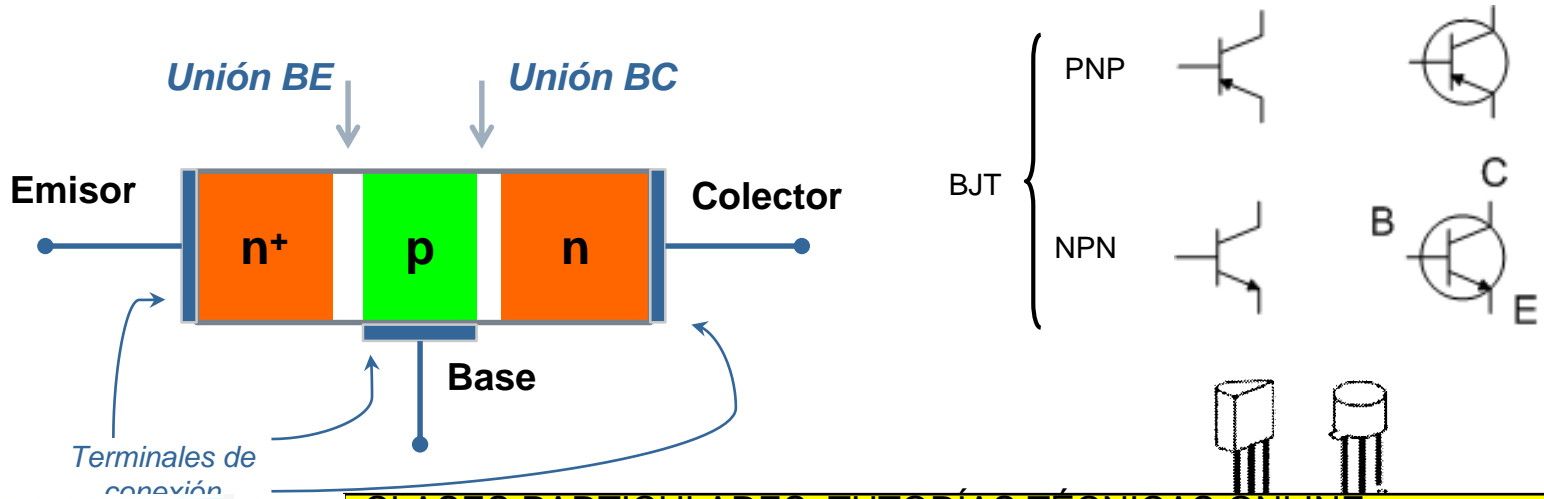
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

1.1. BJT. Aspectos generales.



- ❑ Estructura interna:
 - ❑ Dispositivos de **3 terminales** basado en material semiconductor que se usa en aplicaciones de amplificación y conmutación.
 - ❑ Formado por **dos uniones* pn** ⇒ se tienen dos posibilidades de construcción: **npn** o **pnp**:



Cartagena99

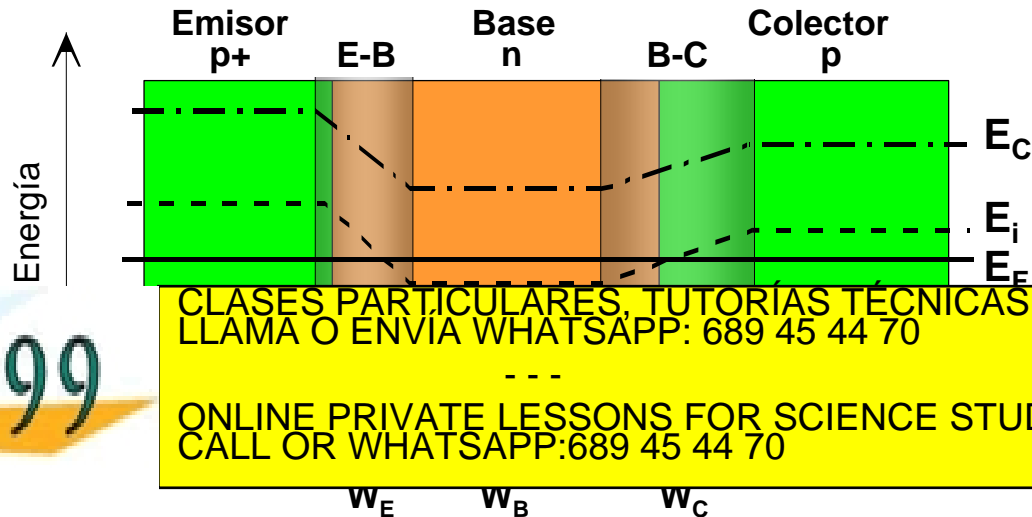
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

1.1. BJT. Aspectos generales.



- ❑ Origen de sus propiedades como dispositivo controlado.
 - Diferentes zonas uniformemente dopadas.
 - *El emisor mucho más dopado. La base más dopada que el colector.*
 - Relaciones geométricas entre zonas:
 - *Anchura de base (w_B) \ll longitud difusión de minoritarios en esa zona ($L_{E,B,C}$).*
 - Al **polarizar** las uniones BE y BC se originan flujos de portadores (**e-** y **h+**) dependientes de dichos dopajes y geometrías.



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

1.1. BJT. Aspectos generales.



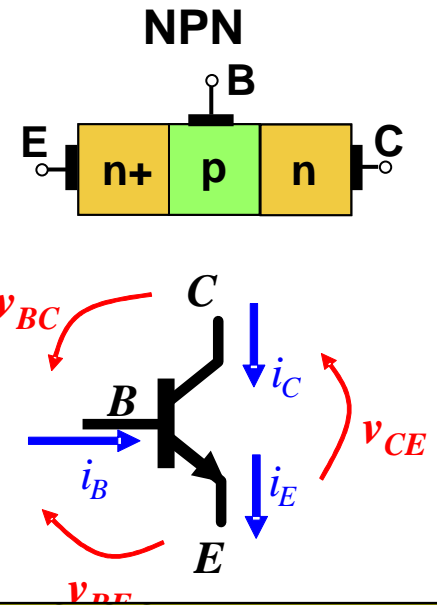
- ❑ Nomenclatura de tensiones y corrientes.
 - Se pueden identificar tres intensidades y tres tensiones.
 - Tomando como referencia el NPN definimos sentidos y nombres:

❑ Corrientes:

- Las de referencia se miden entre base y colector: i_B , i_C
→ Las definimos como entrantes.
- La de emisor (saliente) la obtenemos de las anteriores: $i_E = i_C + i_B$

❑ Tensiones:

- **Entrada** preferente en BE: v_{BE}



Cartagena99

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

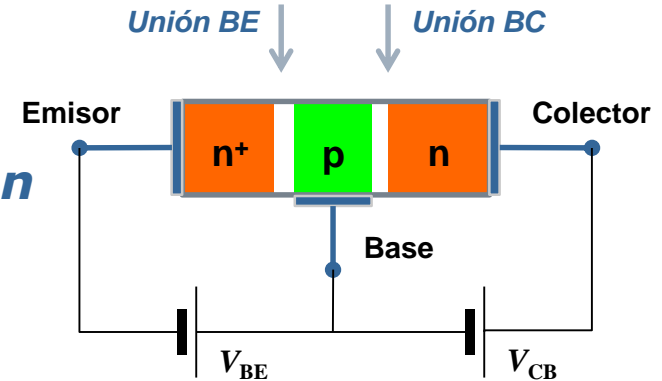
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

1.1. BJT. Aspectos generales.

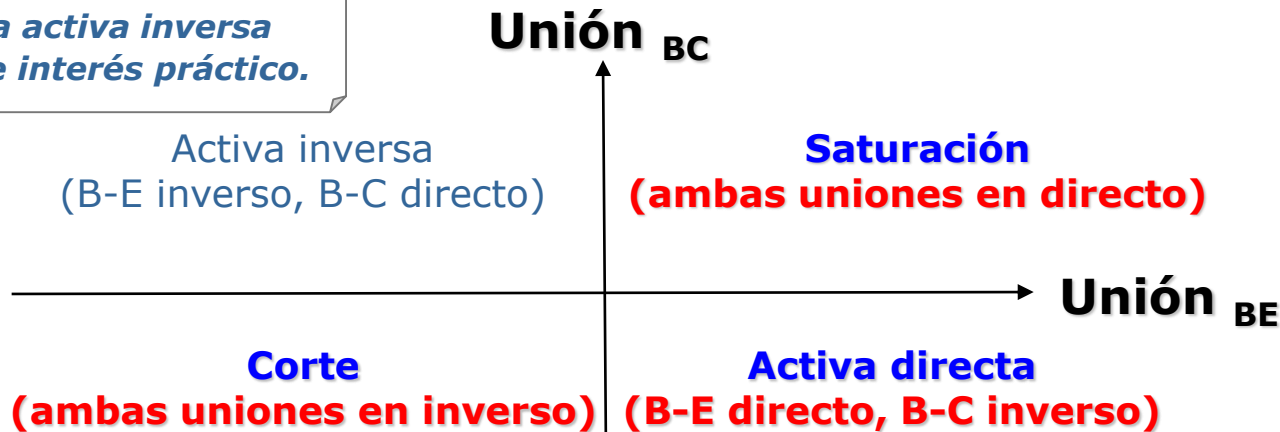


Modos de funcionamiento

- El BJT puede trabajar en **4 modos** diferentes dependiendo de la **polarización** de las dos uniones:



La zona activa inversa carece de interés práctico.



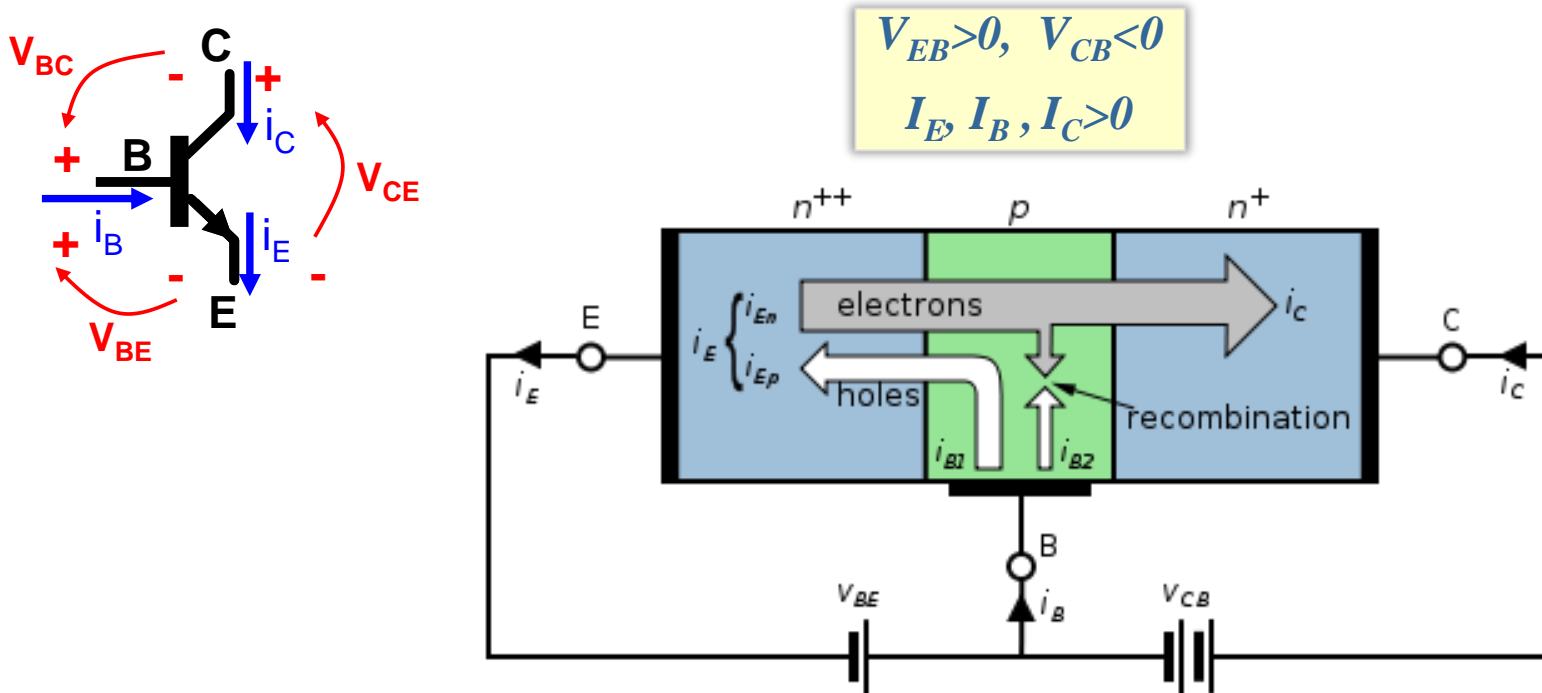
Cartagena99

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

1.2. BJT. Análisis cualitativo.

- Efecto Transistor*: el NPN, en región activa directa.



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





1.3. BJT. NPN: curvas ($i-v$).



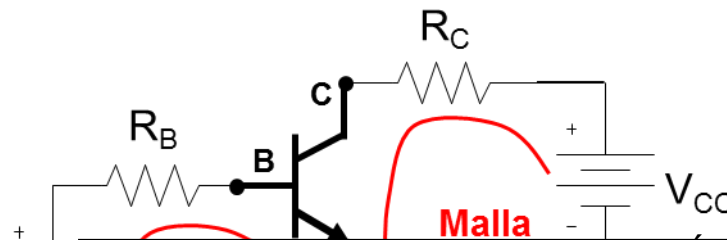
□ Curvas características en **emisor común**:



De entrada: relaciona la corriente de base i_B con la tensión v_{BE} con diferentes valores de v_{CE} (parámetro de la salida)

De salida: relaciona la corriente de colector i_C con la tensión v_{CE} para diferentes valores de i_B (parámetro de la entrada)

⇒ La tensión entre los terminales de entrada determina el comportamiento eléctrico de la salida.



Cartagena99

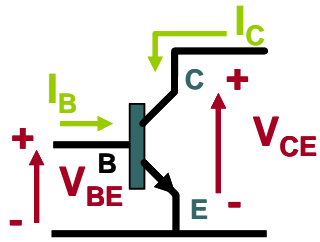
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

1.3. BJT. NPN: curvas (*i-v*). Entrada.



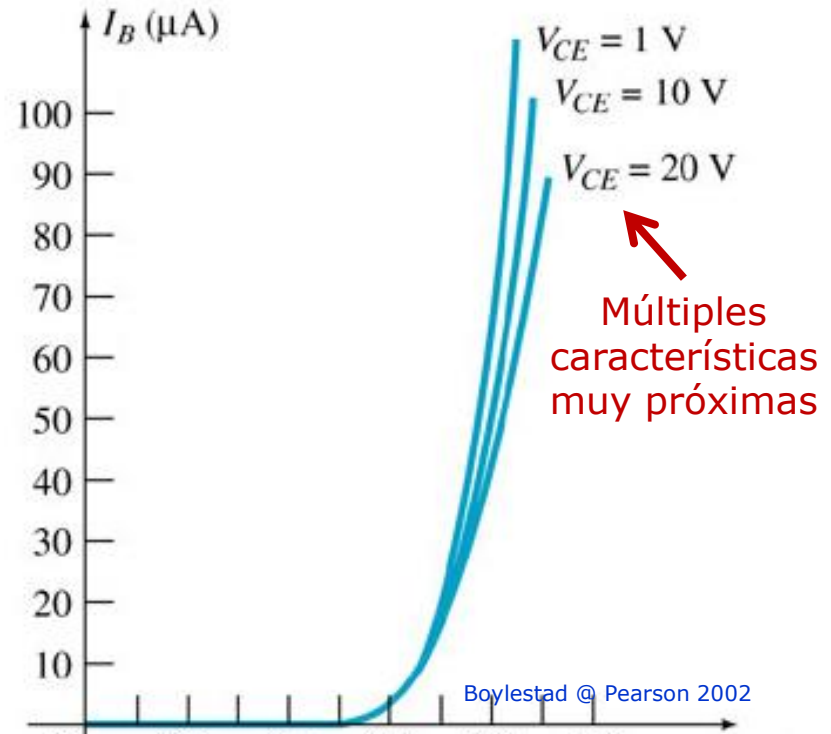
Curvas características reales: característica de entrada



Zona activa directa:

$$I_B = \frac{I_S}{\beta} \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right)$$

- I_S : corriente de escala
- $V_T = KT/q$: potencial térmico
- $\beta_F = \beta = I_C/I_B$: ganancia en corriente en Ac. directa
- $\beta_F \gg \beta_R$: ganancia en corriente en Ac. inversa



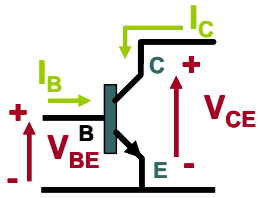
Cartagena99

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

1.3. BJT. NPN: curvas (*i-v*). Salida.

Curvas características reales: característica de salida

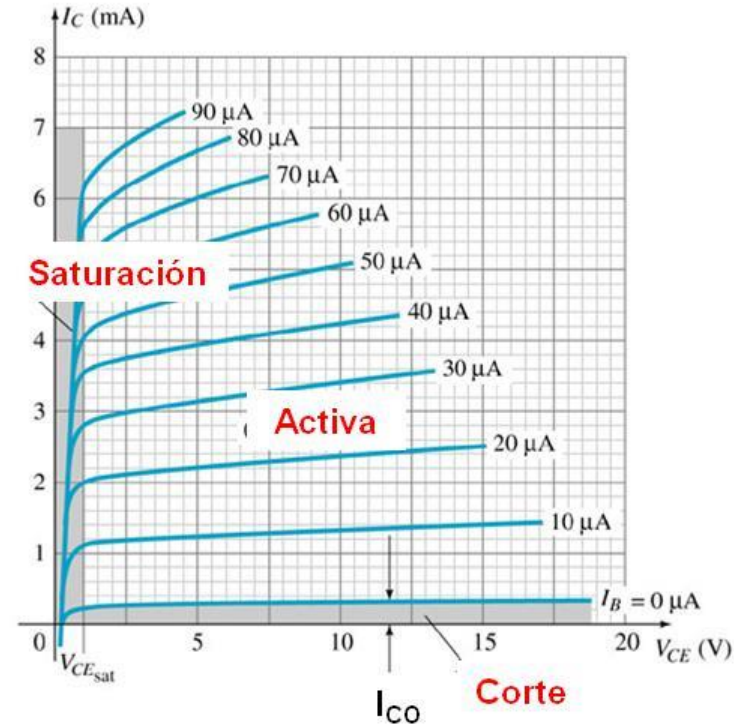


Zona activa directa:

$$I_C = I_S \cdot \left(e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1 \right) \approx \beta \cdot I_B + (\beta + 1) I_{CO}$$

- I_{CO} : corriente en cortocircuito; valor muy bajo.
- $\beta = I_C / I_B$: ganancia en corriente

Corte: no fluye corriente por ninguno de los terminales (despreciando I_{CO}). Región utilizada en aplicaciones digitales al comportarse como un interruptor abierto.



Cartagena99

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

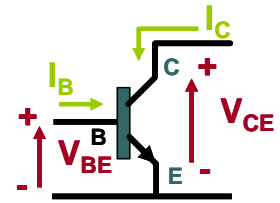
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

aplicaciones digitales, donde se comporta como interruptor cerrado.

1.3. BJT. NPN: modelos lineales, gran señal.

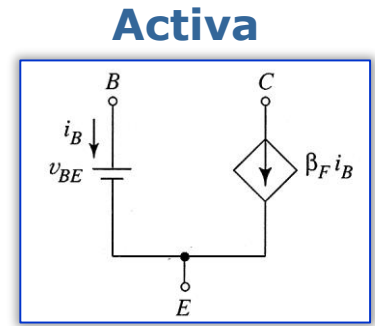
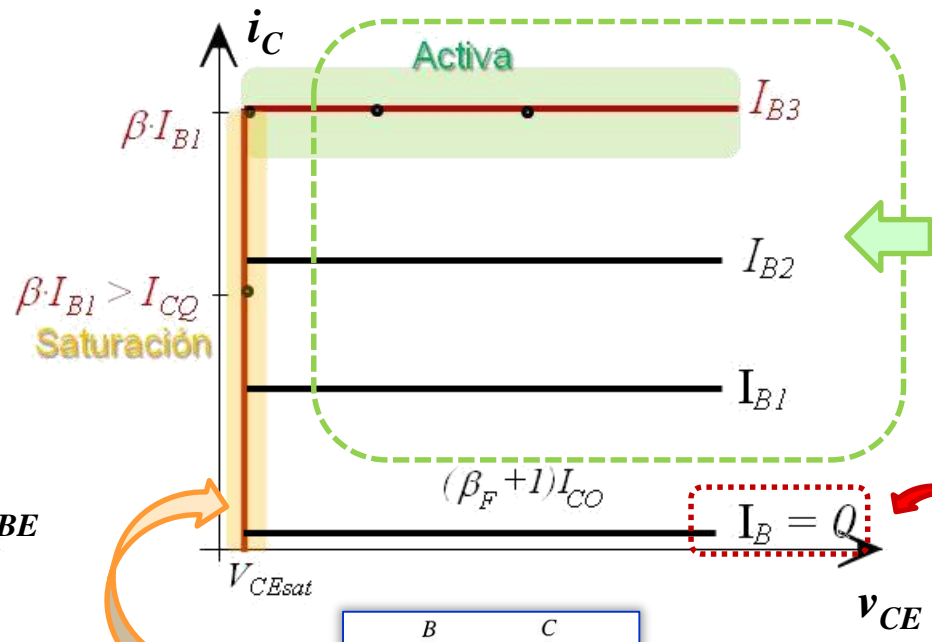
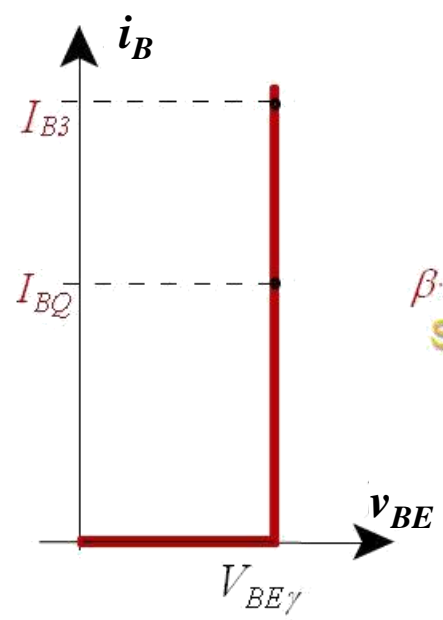


- ❑ Modelos lineales de las características:
 - Para gran señal y frecuencias bajas



Curva de entrada

Curva de salida



Corte

Cartagena99

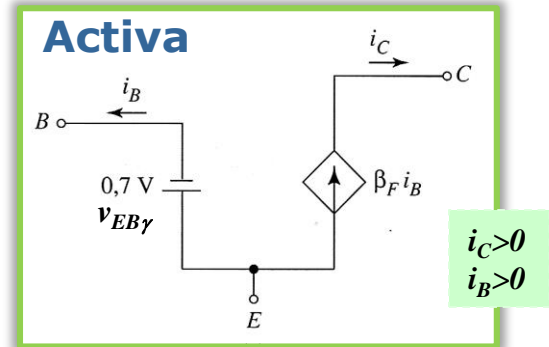
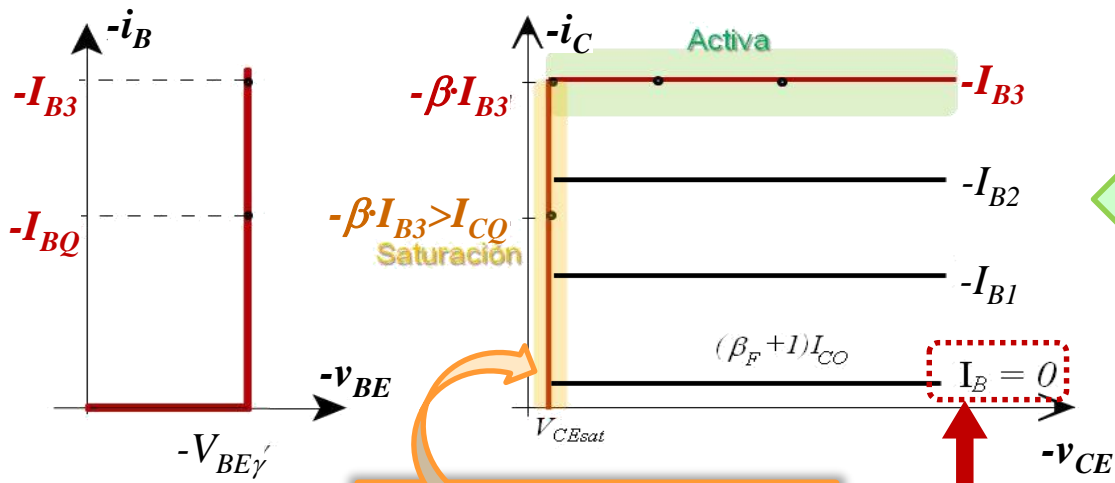
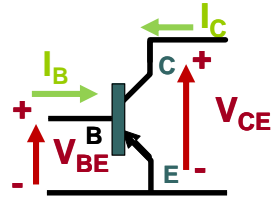
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

1.4. BJT. PNP: modelos lineales, gran señal



- Modelos lineales de las características:
 - Similares al NPN pero con **todos** los signos contrarios
 - Al **invertir** las gráficas (signos -) son iguales en forma. Ecuaciones y zonas son iguales, con **sentidos opuestos**.



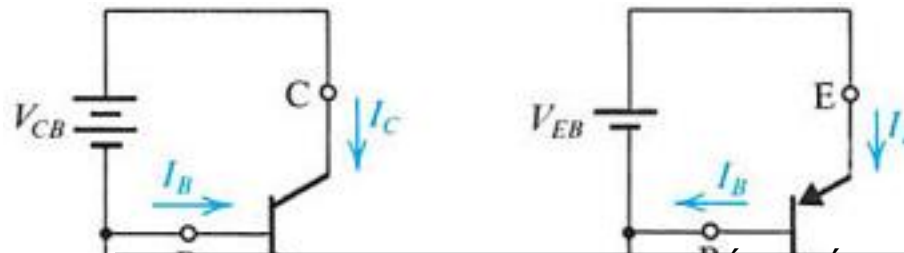
Cartagena99

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

1.5. BJT. NPN y PNP: analogías y diferencias.

- ❑ Se diferencian en la polaridad de portadores
 - En todo lo demás son similares (ecuaciones, curvas, zonas...)
 - Sólo hay que tener muy en cuenta los cambios de signo en tensiones y corrientes en los modelos y definiciones.
 - Ejemplo:
 - *En los ctos. siguientes, ambos transistores están en activa (unión BE en directo, unión BC en inverso). Observe los cambios hechos en los sentidos de tensiones y corrientes para simplificar su estudio:*



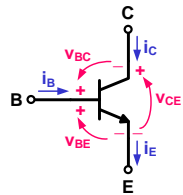
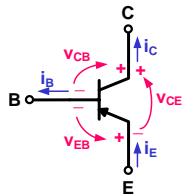
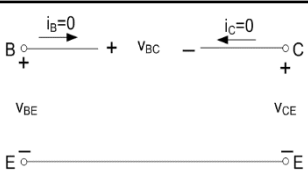
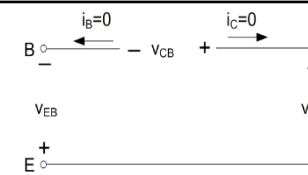
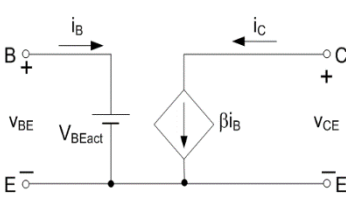
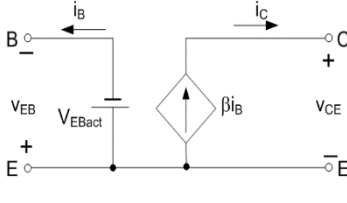


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

Cartagena99

1.6. BJT. Modelos en g. s.: cuadro resumen



	NPN Modelo idealizado 		PNP Modelo idealizado 	
	Suposición	A comprobar	Suposición	A comprobar
CORTE		$v_{BE} \leq V_{BE\gamma} ; v_{BC} \leq V_{BC\gamma}$		$v_{EB} \leq V_{EB\gamma} ; v_{CB} \leq V_{CB\gamma}$
ACTIVA		$i_B > 0$ $v_{CE} \geq V_{CEsat} \quad (V_{CEsat} \geq 0)$		$i_B > 0$ $v_{CE} \leq V_{CEsat} \quad (V_{CEsat} \leq 0)$
		$i_B > 0 ; i_C > 0$		$i_B > 0 ; i_C > 0$

Cartagena99

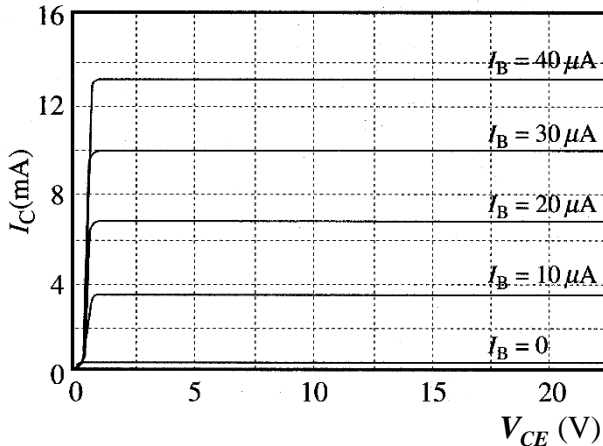
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

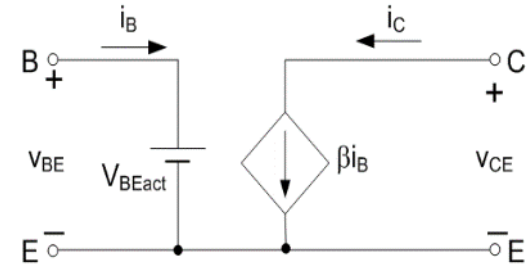
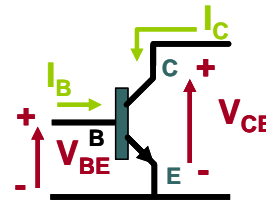
A TENER EN CUENTA: ESTOS MODELOS SON VÁLIDOS EN AUSENCIA DE EFECTOS DE SEGUNDO ORDEN

1.7. BJT. Efectos de segundo orden.

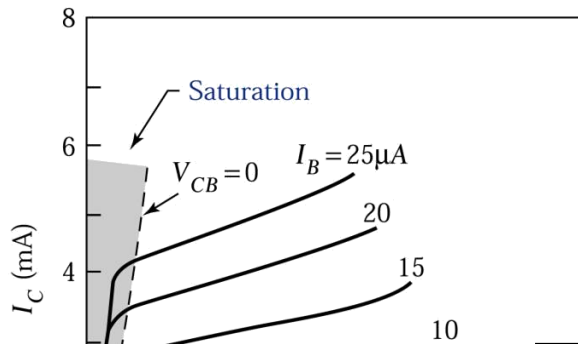
❑ Efectos de segundo orden: variación de I_C con la V_{CE}



Ideal



Modelo ideal → generador $\beta \cdot i_B$ ideal



Observado

- La corriente I_C se incrementa al subir la tensión V_{CE}
- Este efecto está causado por el cambio del ancho de las Z.T. de las uniones **BC** y **BE**,

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

Cutoff

$I_C = \beta I_B$

$V_{CE} > 0$

1.7. BJT. Efectos de segundo orden.



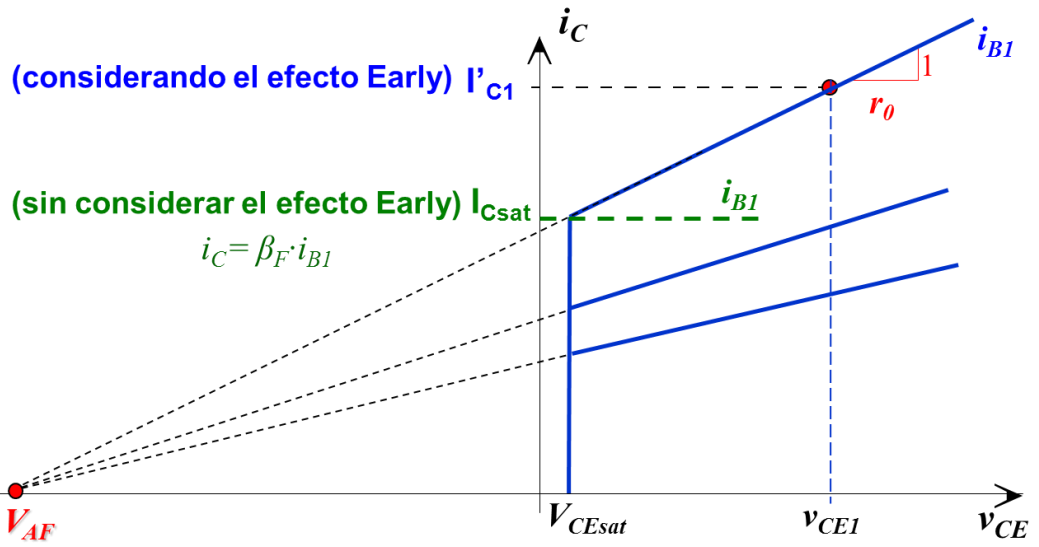
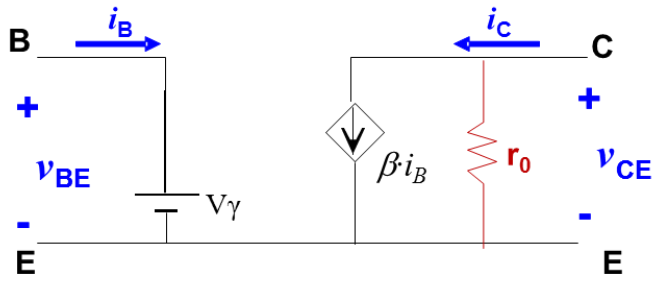
Modelado de: *modulación de la anchura de base* ó **efecto Early**

La corriente i_C aumenta con $v_{CE} \rightarrow i_C = f(\dots, v_{CE})$

En zona activa:

$$i'_C(V_{CE}) = \beta \cdot i_B + \frac{V_{CE}}{r_0}$$

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



1.7. BJT. Efectos de segundo orden.



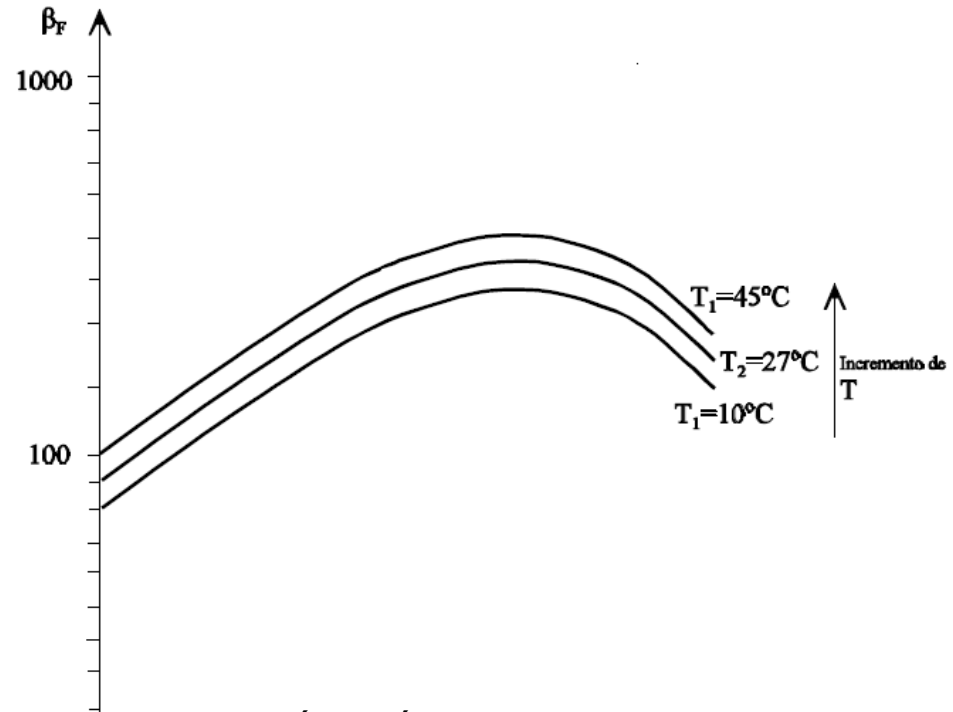
❑ Efecto: variaciones de **beta** con I_C y la temperatura T

- La beta de un BJT relaciona la corriente de salida (I_C) con la corriente en la entrada (I_B)
- Suele ser de alto valor, pero...
- Tal valor tiene variaciones muy notables (ver gráfico)

❑ Dependencias

- Con el valor de la propia I_C
- Con las variaciones de temperatura.

➔ Estos efectos se atenúan



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

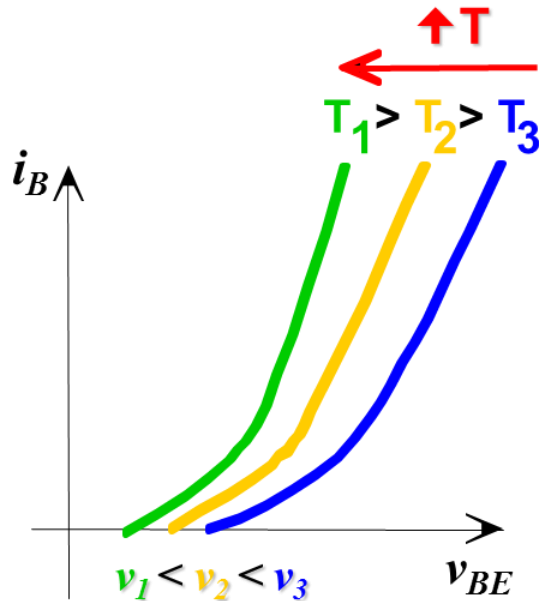


1.7. BJT. Efectos de segundo orden.

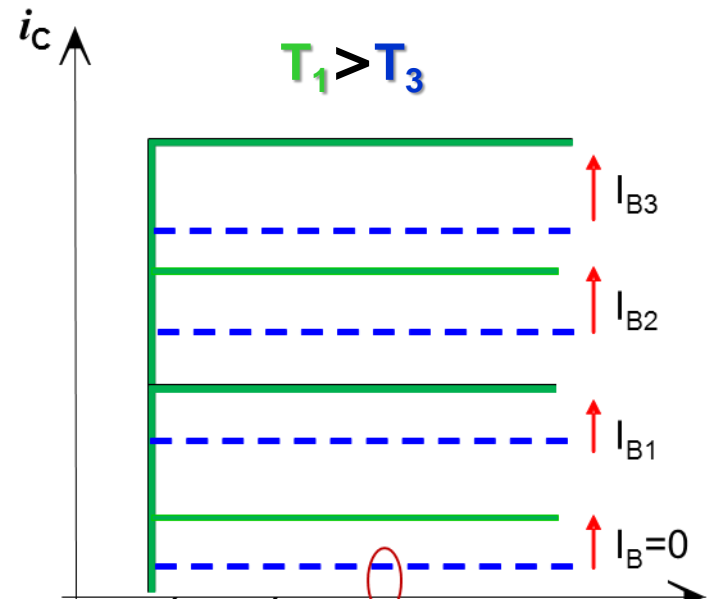
❑ Efecto: *variaciones con la Temperatura (2)*

- Se tienen también cambios en las curvas de entrada y salida

Efectos en la entrada



Efectos en la salida



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

1.7. BJT. Efectos de segundo orden.

❑ Efecto: *tensión de ruptura* (*Breakdown Voltage*)

■ Limite máximo en las curvas de salida: $V_{CE_max} = BV_{CEO}$

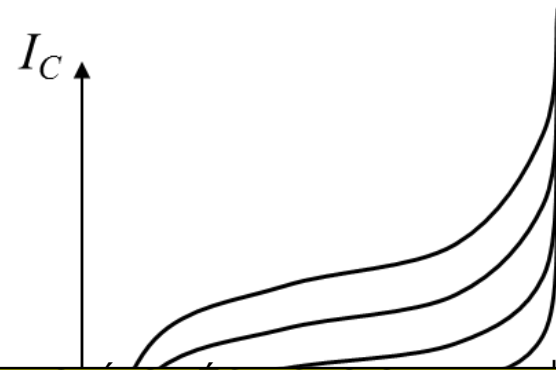
■ **Ruptura por perforación:**

Cuando la base desaparece debido a una elevada polarización inversa de la unión CB \Rightarrow **perforación de base**, dejando que toda la corriente de colector pase a emisor, aumentando I_{CE} pudiendo llegar a destruir el dispositivo.

■ **Ruptura por avalancha:**

Se produce cuando la unión CB está polarizada en inversa (con un valor elevado). I_C aumenta

de forma descontrolada.



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

CEO



2. Transistores de Efecto Campo, FET.

Índice parcial.



❑ Transistores de Efecto Campo (**FET, *Field Effect Transistor***)

■ **Aspectos generales**

■ **MOSFET: Metal Oxide Semiconductor FET**

■ *MOS de Acumulación*

- Análisis cualitativo: principio de funcionamiento
- Análisis cuantitativo: Ecuaciones y zonas de trabajo

■ *MOS de Deplexión*

- Estructura
- Curvas características

■ Comportamiento en continua. Efectos de 2^o orden.

- *Modulación de la longitud del canal*
- *Efecto de la temperatura*

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

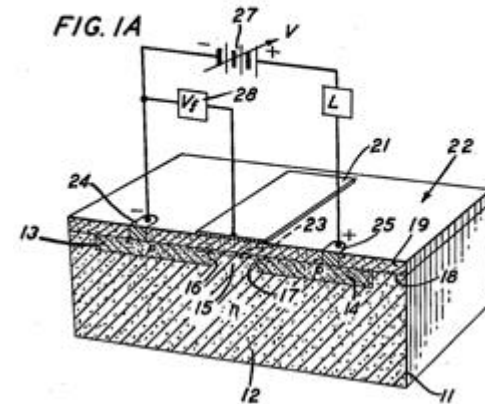
2. Field Effect Transistors. Introducción.



□ Breve introducción histórica (*):

- Primeras propuestas de los FET desde 1926 (Lilienfeld y otros)
- El **MOSFET**, dispositivo base de la electrónica moderna, se desarrolló en 1959 por D. Kahng y otros en los laboratorios Bell.

ELECTRIC FIELD CONTROLLED SEMICONDUCTOR DEVICE
Filed May 31, 1960



Dawon Kahng

- Los *transistores de efecto campo* son aquellos que mediante un **campo eléctrico** controlan la conductividad de un "**canal**" en el material semiconductor ⇒ flujo de **portadores mayoritarios**
- Se les denomina **unipolares** porque la corriente se debe a *un*

Cartagena99

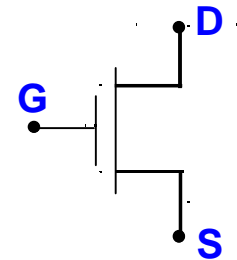
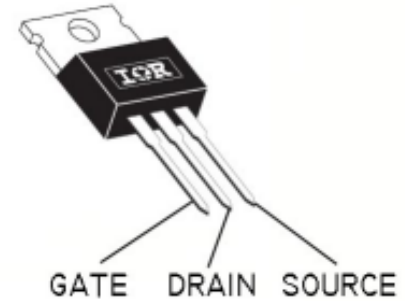
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

2.1. FET. Aspectos Generales.



- ❑ Características de la estructura interna:
 - ❑ *Dispositivos de 3 terminales basado en material semiconductor que se usa en aplicaciones de amplificación y conmutación.*
 - ❑ **D = Drain:** sumidero de portadores libres.
 - ❑ **S = Source:** fuente de portadores libres.
 - ❑ **G = Gate:** control de la conductividad del canal.
- ❑ Distintos tipos de FETs en función del tipo de puerta:
 - ❑ **MOSFET:** *puerta aislada basada en una estructura Metal-Oxido-Semic.*
 - ❑ Acumulación
 - ❑ Deplexión



Cartagena99

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

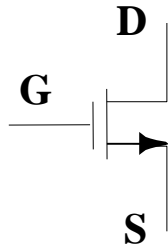
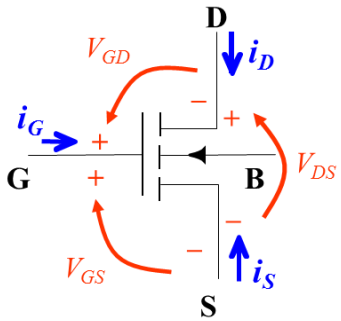
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

2.2. MOSFET de Acumulación.



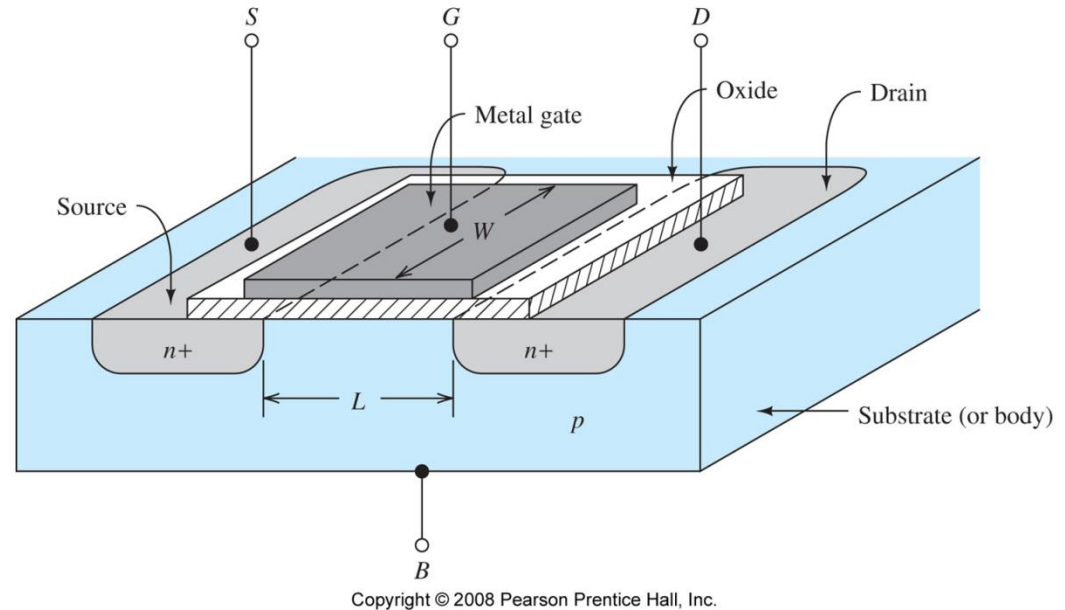
□ Estructura y simbología

Canal n



$$i_G = 0 \Rightarrow i_D = i_S$$

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



V_t = Tensión umbral (*threshold*): tensión de puerta necesaria para inducir un canal de signo opuesto al del sustrato.

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

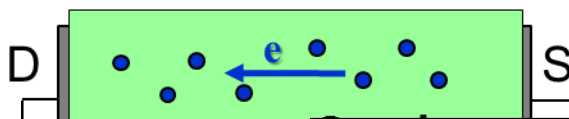
2.2. MOS-Acumulación. Estructura.



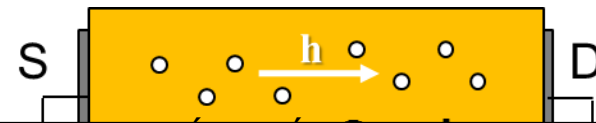
□ **DRAIN** (DRENADOR) y **SOURCE** (FUENTE, SURTIDOR)

- La funcionalidad del terminal como **D** y **S** la define la polarización teniendo en cuenta que la **S** será la fuente de portadores y **D** donde se drenan.
- Si se polariza un semiconductor extrínseco se establece un canal (por donde se desplazan los portadores) por donde circula una corriente de portadores mayoritarios.

Canal n



Canal p



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

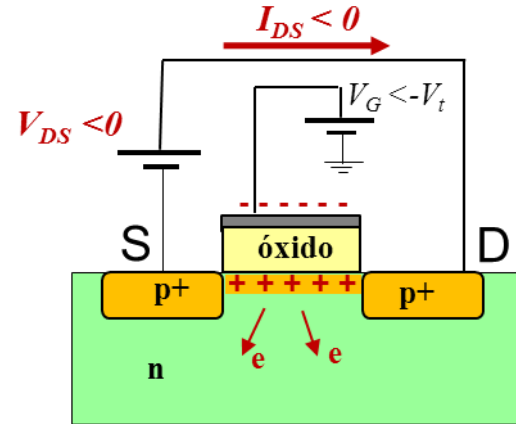
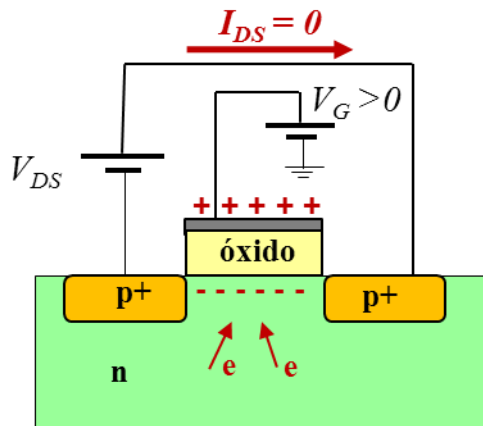
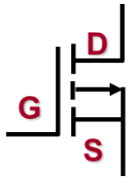
Cartagena99

2.2. MOS-Acumulación. El canal: *n* y *p*.



Formación del canal

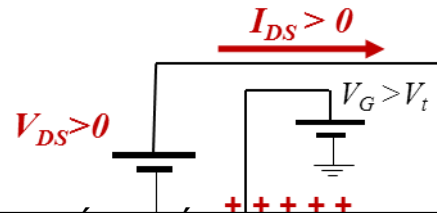
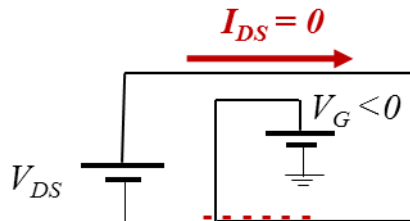
**Canal p
PMOS**



$v_{GS} > |V_t| \Rightarrow$ **formación del canal**
 V_t : **Tensión umbral** (*threshold*)

**Canal n
NMOS**

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

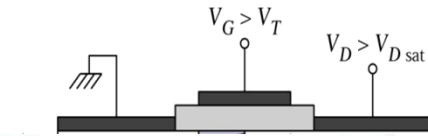
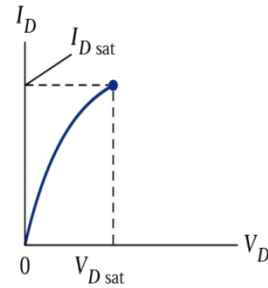
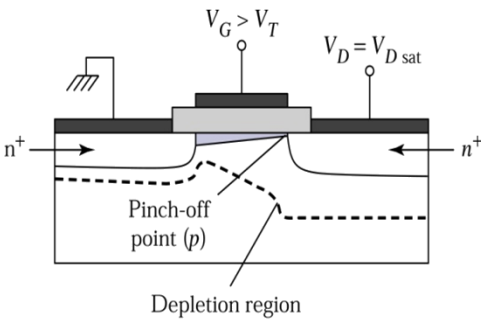
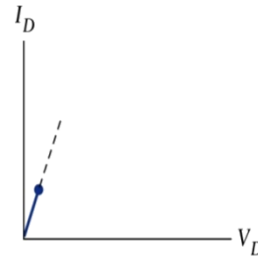
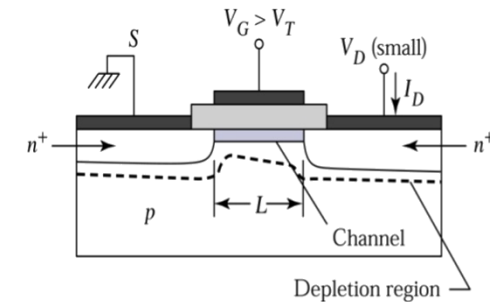


2.2. MOSFET de Acumulación.

Formación del canal: zonas de conducción.



❑ Análisis cualitativo: NMOS



$V_{GS} > V_t > 0$ creación
capa de inversión



$0 < V_D < V_{Dsat}$ aparece un
corriente de drenador (I_D)
lineal con V_D . Canal
uniforme.



Estrangulamiento del canal;
 $V_{DS} \leq V_{GS} - V_t = V_{Dsat}$
 $\Delta I_D / \Delta V_D = 0$

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

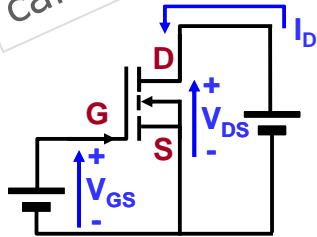


2.3. MOSFET de Acumulación. Canal **N**, curvas (*i-v*).

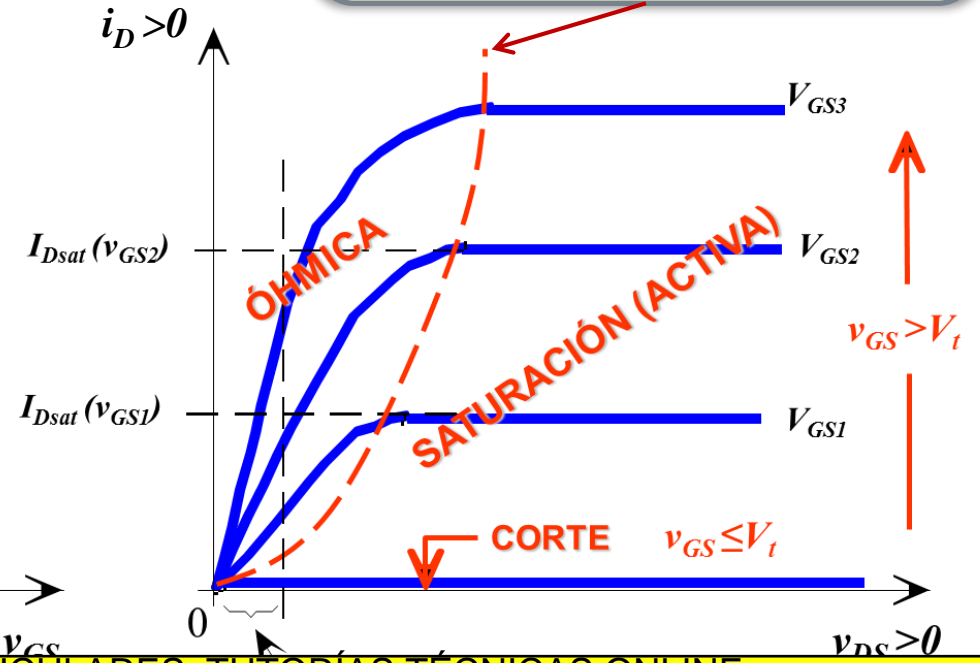
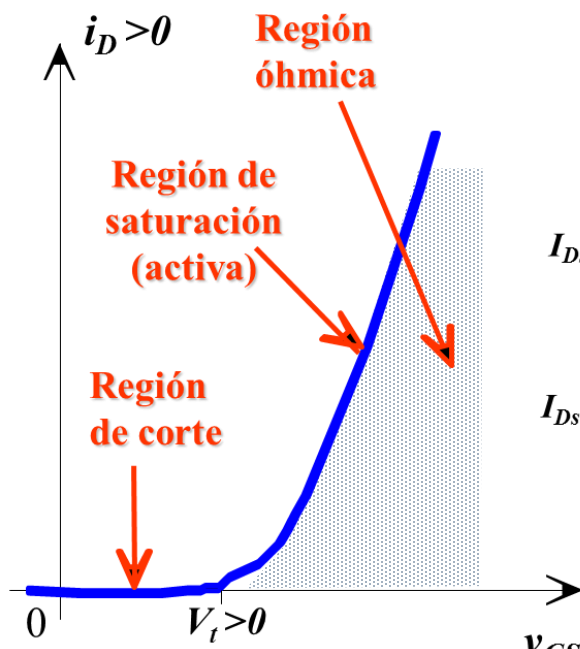


Curvas características reales

canal n



Límite entre la zona óhmica y la de saturación (activa):
$$v_{DS} = (v_{GS} - V_t)$$



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

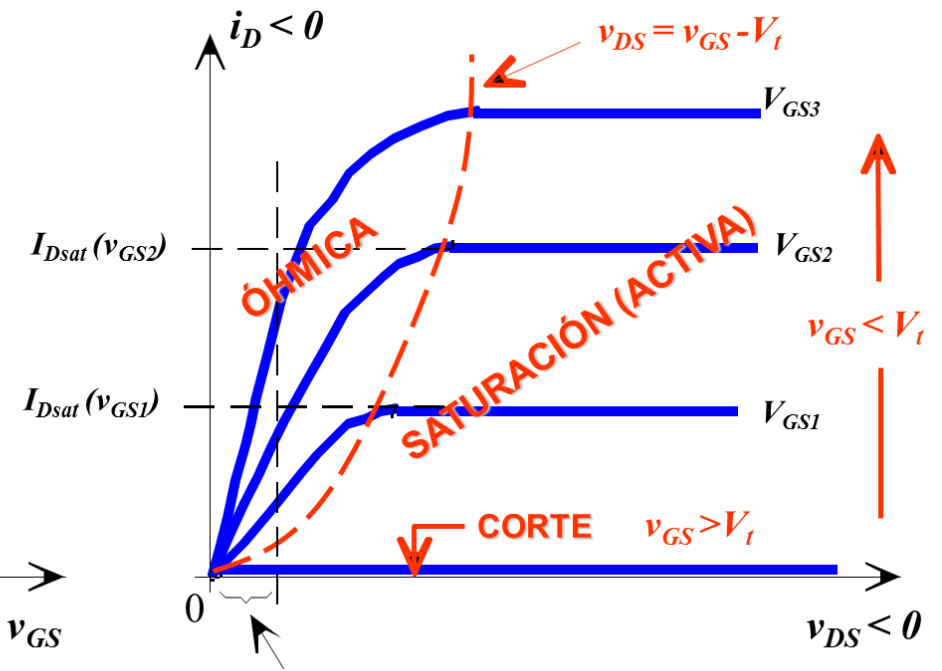
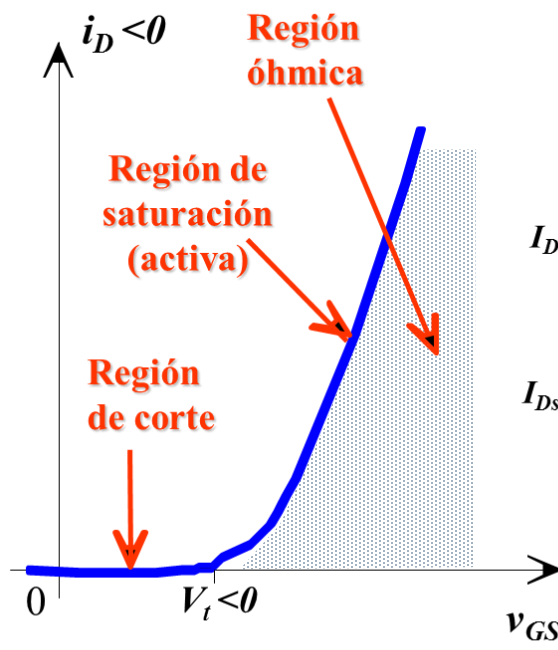
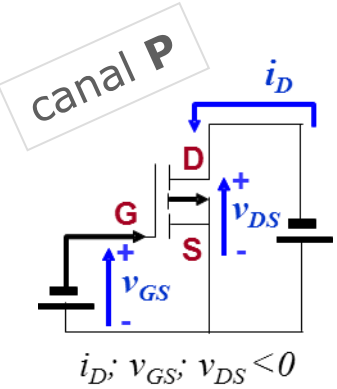
Cartagena99



2.3. MOSFET de Acumulación. Canal **P**, curvas ($i-v$).



Curvas características reales



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

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



2.3. MOSFET de Acumulación. Zona Óhmica.



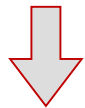
□ Análisis cuantitativo

■ Zona óhmica:

$$i_D = k \cdot \left((v_{GS} - V_t) \cdot v_{DS} - \frac{v_{DS}^2}{2} \right)$$

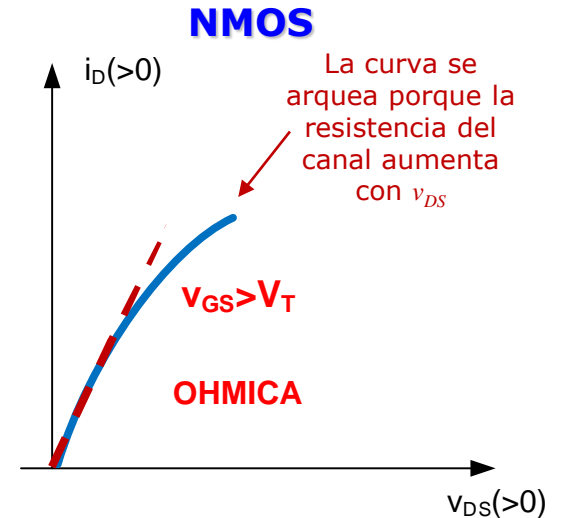
para $\frac{v_{DS}^2}{2} \ll ((v_{GS} - V_t) \cdot v_{DS})$

$$\Rightarrow i_D \approx k \cdot ((v_{GS} - V_t) \cdot v_{DS})$$

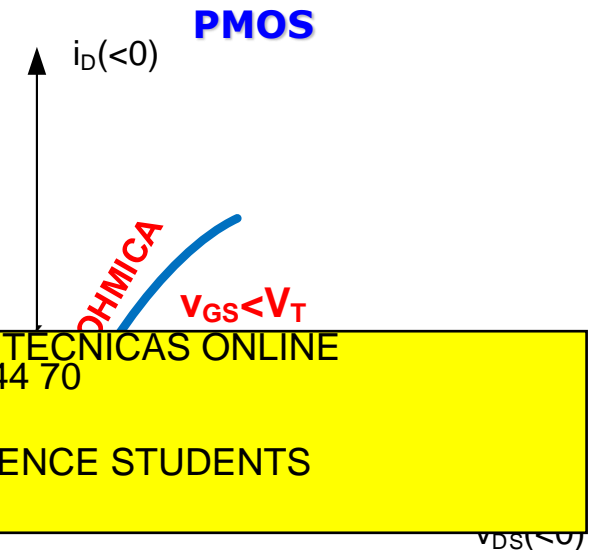


Para valores de

$$v_{DS} \leq 0.2(v_{GS} - V_t)$$



Línea casi recta con pendiente proporcional a $(v_{GS} - V_t)$



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

$v_{DS}(<0)$



2.3. MOSFET de Acumulación. Zona de Saturación (Activa).



❑ Análisis cuantitativo

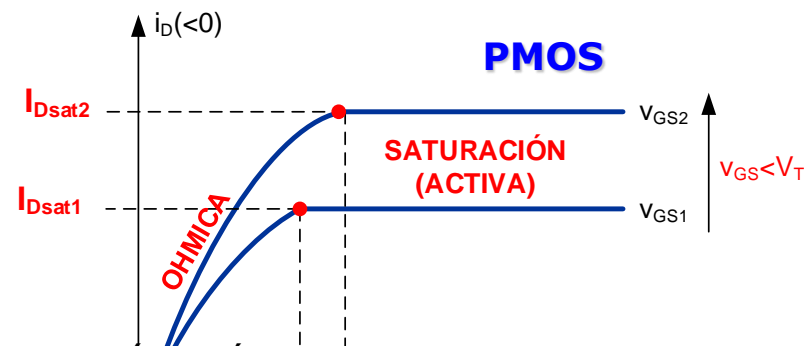
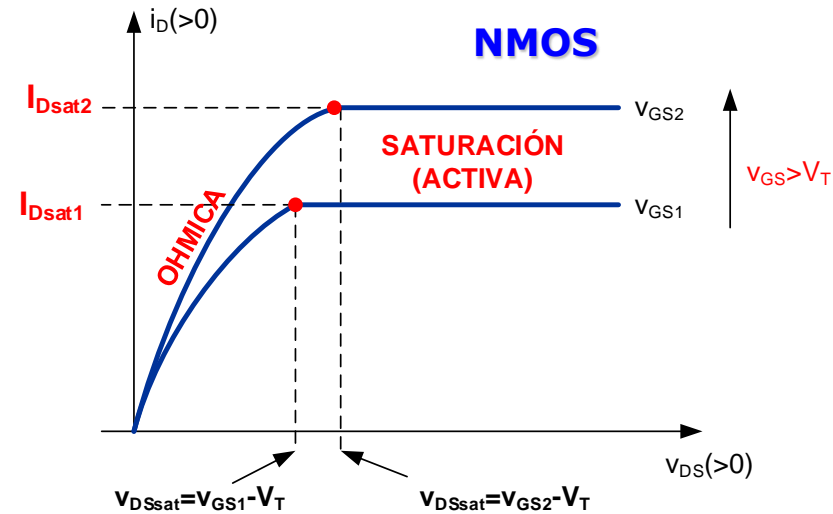
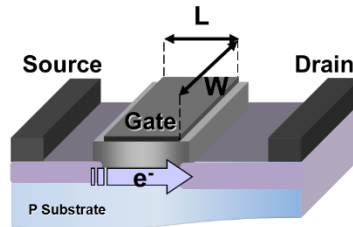
■ Zona saturación:

$$i_{Dsat} = \frac{k}{2} (v_{GS} - V_t)^2$$

En donde:

$$k = \frac{W}{L} \cdot \bar{\mu} \cdot C_{OX} \left[\frac{A}{V^2} \right] \approx \frac{W}{L} \cdot 50_{NMOS} / 25_{PMOS} \left[\frac{A}{V^2} \right]$$

$$C_{OX} = \frac{\epsilon_{OX}}{X_0} \Big|_{SiO}$$



Cartagena99

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

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

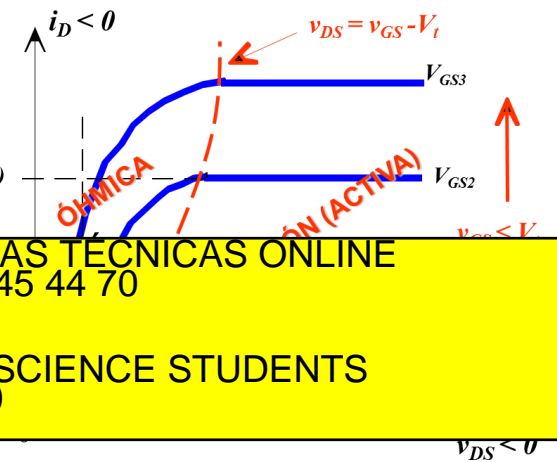
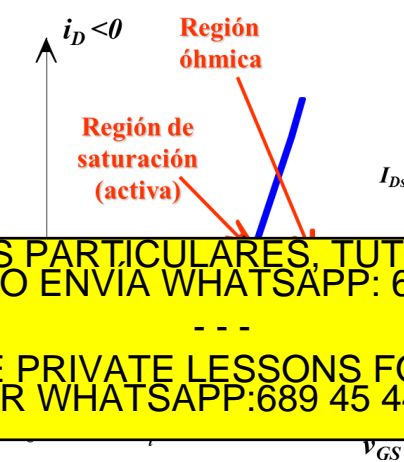
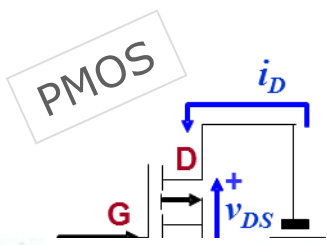
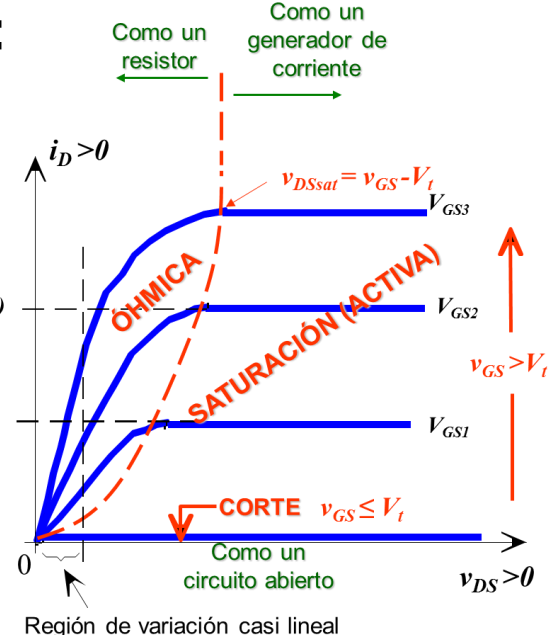
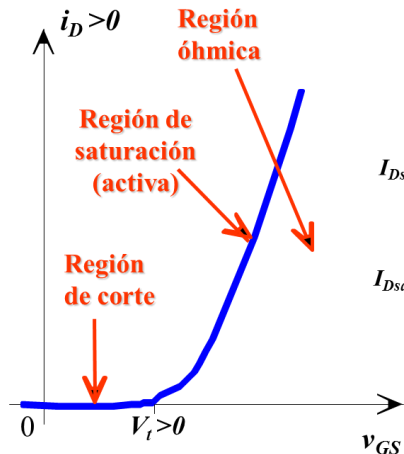
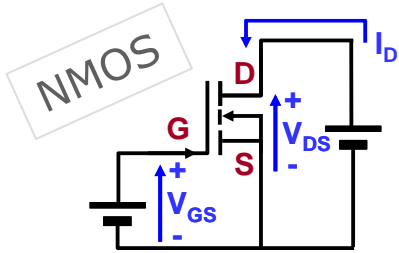


2.3. MOSFET de Acumulación.

Resumen, canales **N** y **P**: curvas y zonas.



❑ F. transferencia y característica de salida:



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

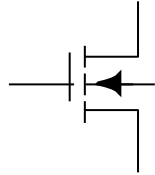


2.3. MOSFET de Acumulación. Resumen, canal **N**: modelos lineales.



SIMBOLOGÍA Y SIGNOS

canal n

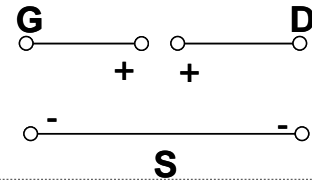


$$V_t > 0, k > 0, v_{DS} \geq 0, i_D \geq 0$$

CORTE

$$v_{GS} \leq V_t$$

$$i_D = 0$$



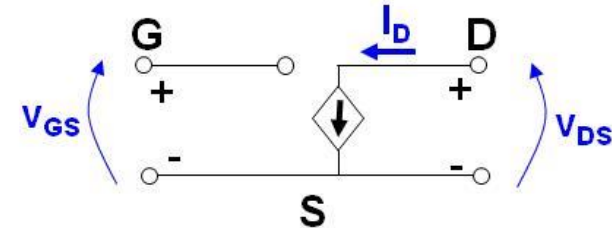
SATURACIÓN

$$v_{DS} \geq V_{Dsat}$$

$$v_{GS} \geq V_t \geq 0$$

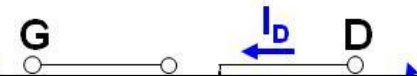
$$i_{Dsat} = \frac{k}{2} (v_{GS} - V_t)^2$$

$$V_{DSsat} = v_{GS} - V_t$$



$$v_{DS} \leq V_{Dsat}$$

$$i_D \approx k \cdot (v_{GS} - V_t) \cdot v_{DS}$$



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

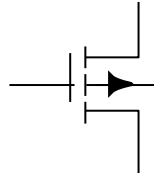


2.3. MOSFET de Acumulación. Resumen, canal **P**: modelos lineales.



SIMBOLOGÍA Y SIGNOS

canal **p**

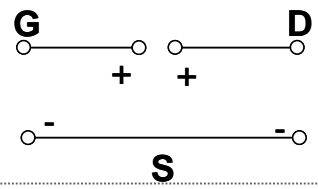


$$V_t < 0, k < 0, v_{DS} \leq 0, i_D \leq 0$$

CORTE

$$v_{GS} \geq V_t$$

$$i_D = 0$$



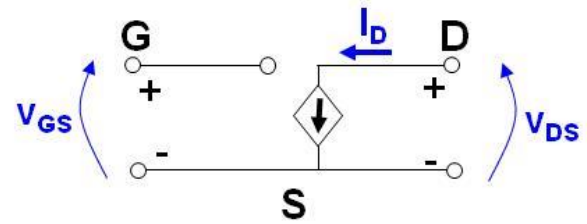
SATURACIÓN

$$v_{DS} \leq V_{Dsat}$$

$$v_{GS} \leq V_t \leq 0$$

$$i_{Dsat} = \frac{k}{2} (v_{GS} - V_t)^2$$

$$V_{Dsat} = v_{GS} - V_t$$



$$v_{DS} \geq V_{Dsat}$$

$$i_D \approx k \cdot (v_{GS} - V_t) \cdot v_{DS}$$



Cartagena99

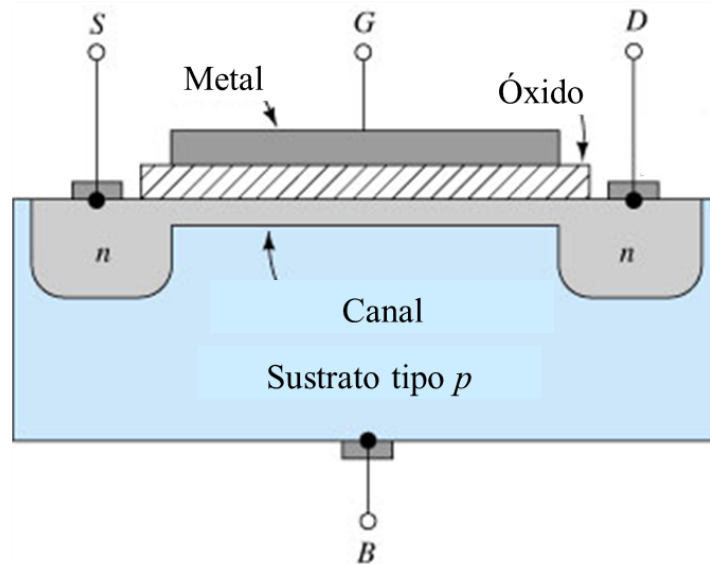
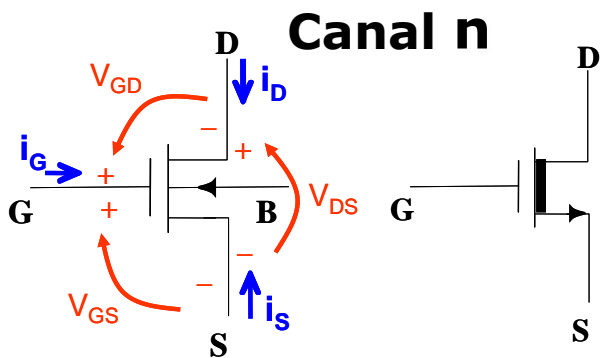
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

2.4. MOSFET de Deplexión.



□ Estructura y simbología



■ **Existe canal** sin necesidad de aplicar tensión a la puerta:

⇒ "sin excitación ⇒ $M = on$ "

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

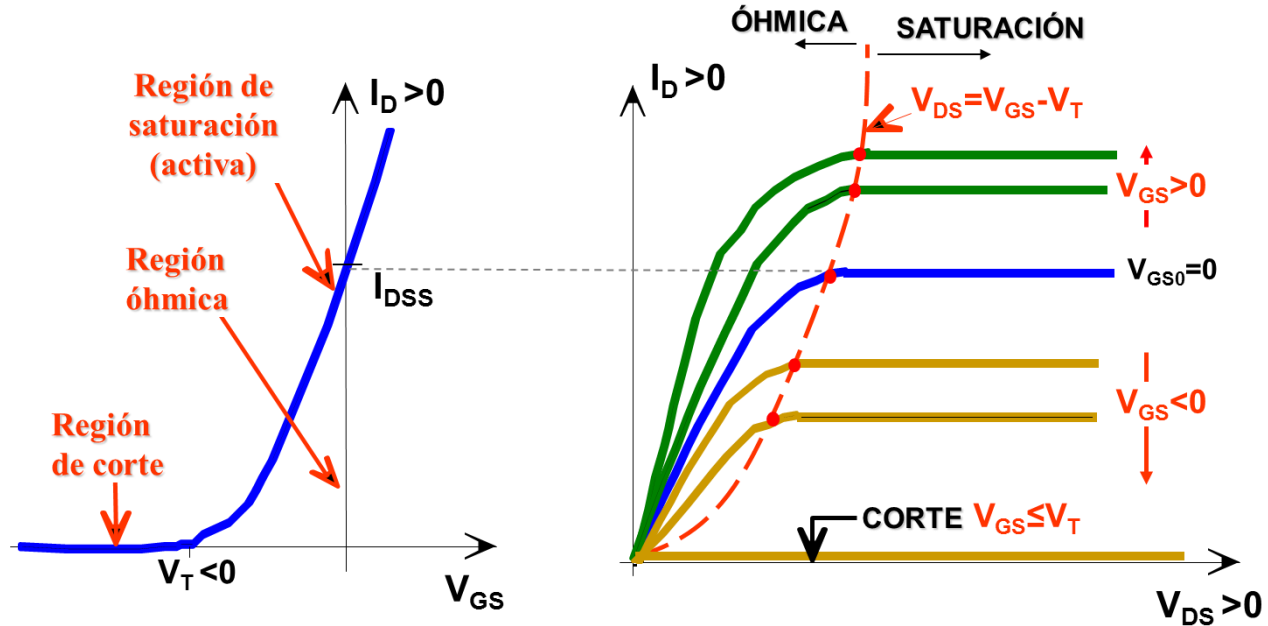
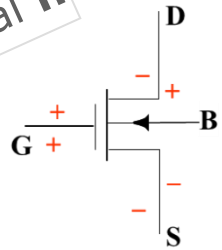


2.4. MOSFET de Deplexión. Canal **N**, curvas (*i-v*).



Curva característica

canal n



- $V_{GS} > 0 \Rightarrow$ el canal se enriquece de electrones y aumentará la conducción (actúa como el transistor de enriquecimiento, con las mismas ecuaciones).

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

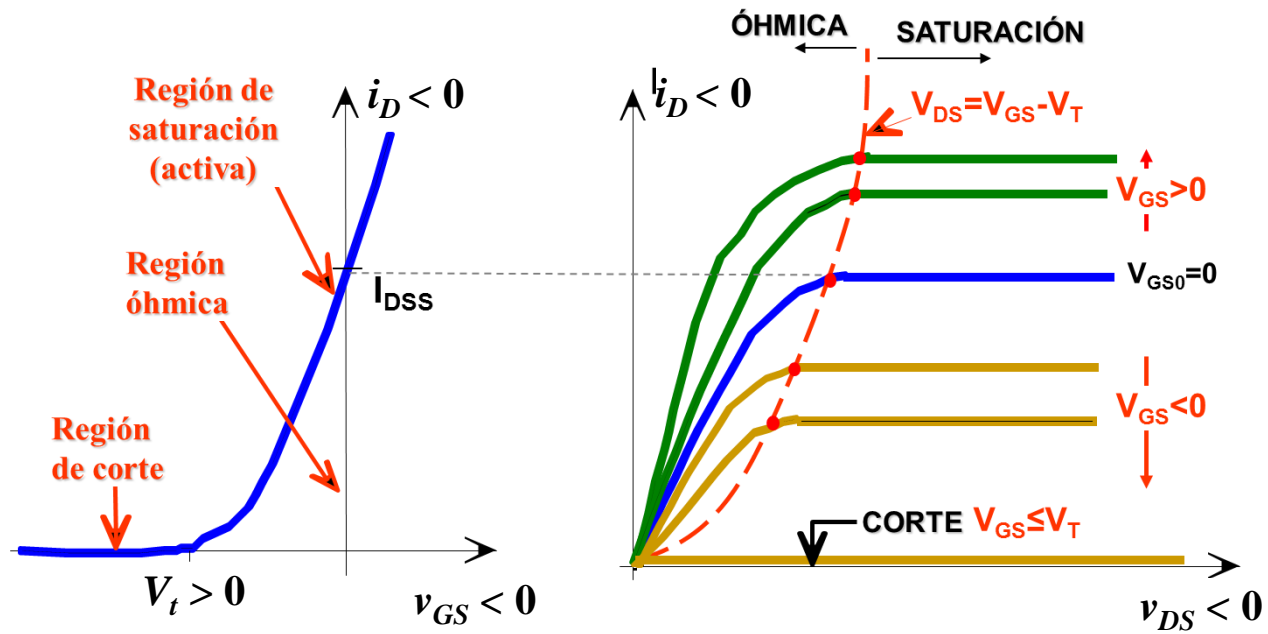
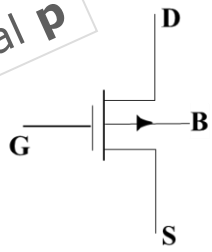


2.4. MOSFET de Deplexión. Canal **P**, curvas (*i-v*).



Curva característica

canal p



Canal n: Idéntico al del canal p pero invirtiendo los sentidos reales de

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

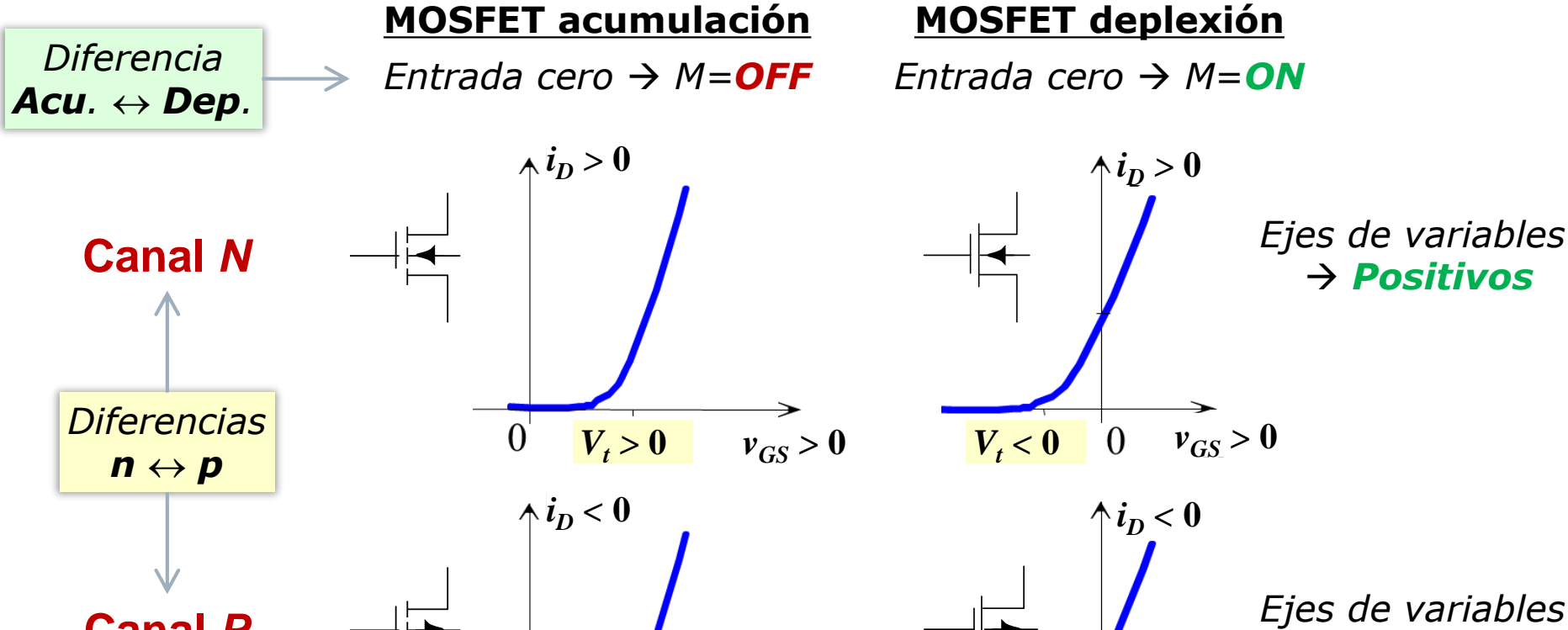


2.4. MOS: Acumulación vs. Deplexión

Curvas de transferencia: comparativa.



Curvas de transferencia $i_D = f(v_{GS}) \rightarrow$ semejanzas y diferencias:



CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

Cartagena99



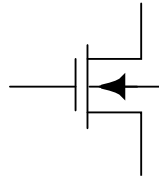
2.4. MOSFET de Deplexión.

Canal **N**: zonas y modelos lineales.



SIMBOLOGÍA Y SIGNOS

canal n

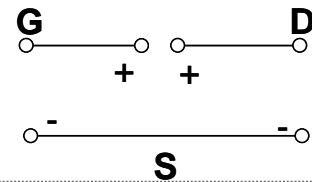


$$V_t < 0, k > 0, v_{DS} \geq 0, i_D \geq 0$$

CORTE

$$v_{GS} \leq V_t$$

$$i_D = 0$$



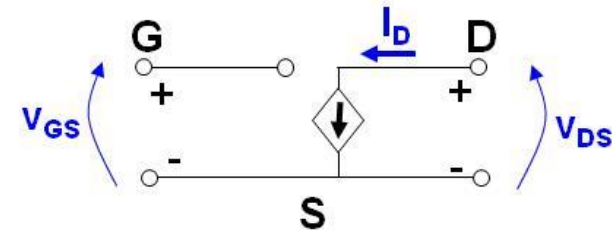
SATURACIÓN

$$v_{DS} \geq V_{dsat}$$

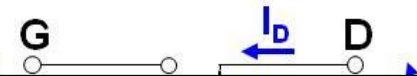
$$v_{GS} \geq V_t$$

$$i_{Dsat} = \frac{k}{2} (v_{GS} - V_t)^2$$

$$V_{DSsat} = v_{GS} - V_t$$



$$i_D \approx k \cdot (v_{GS} - V_t) \cdot v_{DS}$$



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

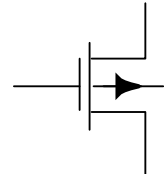
2.4. MOSFET de Deplexión.

Canal **P**: zonas y modelos lineales.



SIMBOLOGÍA Y SIGNOS

canal **p**

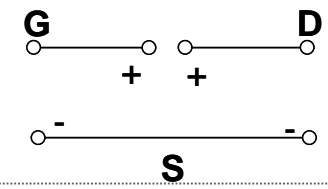


$$V_t > 0, k < 0, v_{DS} \leq 0, i_D \leq 0$$

CORTE

$$v_{GS} \geq V_t$$

$$i_D = 0$$



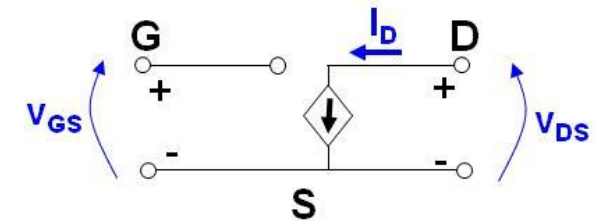
SATURACIÓN

$$v_{DS} \leq V_{dsat}$$

$$v_{GS} \leq V_t$$

$$i_{Dsat} = \frac{k}{2} (v_{GS} - V_t)^2$$

$$V_{DSsat} = v_{GS} - V_t$$



$$i_D \approx k \cdot (v_{GS} - V_t) \cdot v_{DS}$$



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

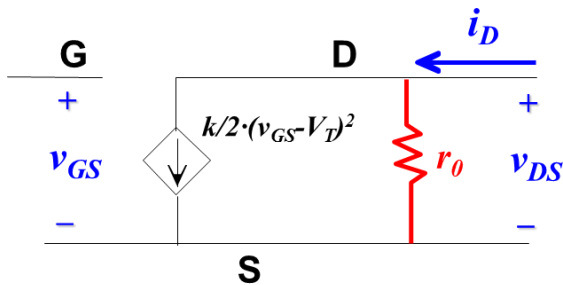
2.5. MOS: efectos de segundo orden.



- ❑ Modulación de longitud de canal: **efecto Early**
 - Visible sobre las curvas de salida en surtidor común

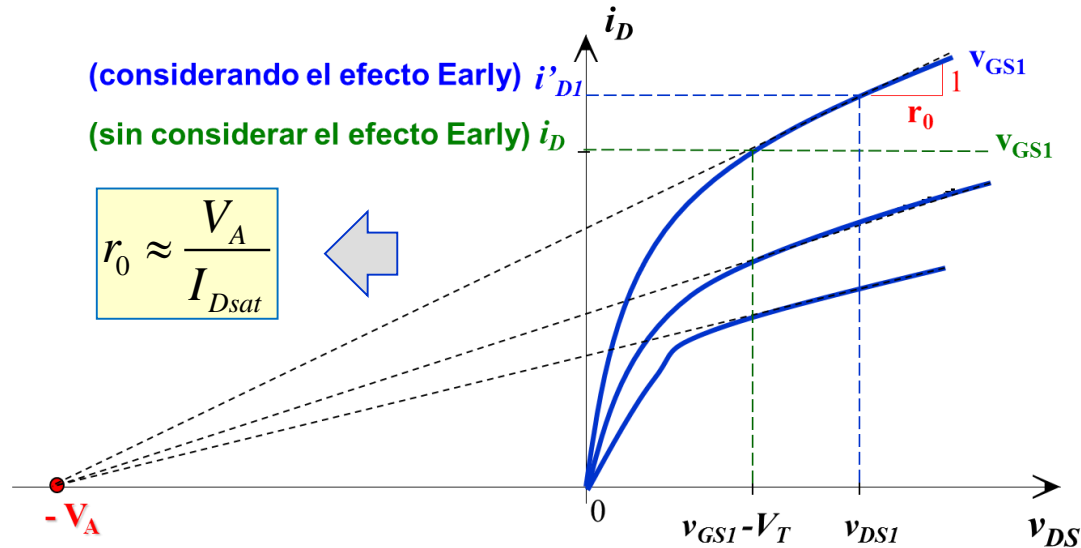
Zona de saturación:

$$i'_{DS}(v_{DS}) = \underbrace{\frac{k}{2}(v_{GS} - V_t)^2}_{I_{Dsat}} + \underbrace{\frac{v_{DS}}{r_0}}_{\text{Efecto Early}}$$



(considerando el efecto Early) i'_{DI}
 (sin considerar el efecto Early) i_D

$$r_0 \approx \frac{V_A}{I_{Dsat}}$$



Cartagena99

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

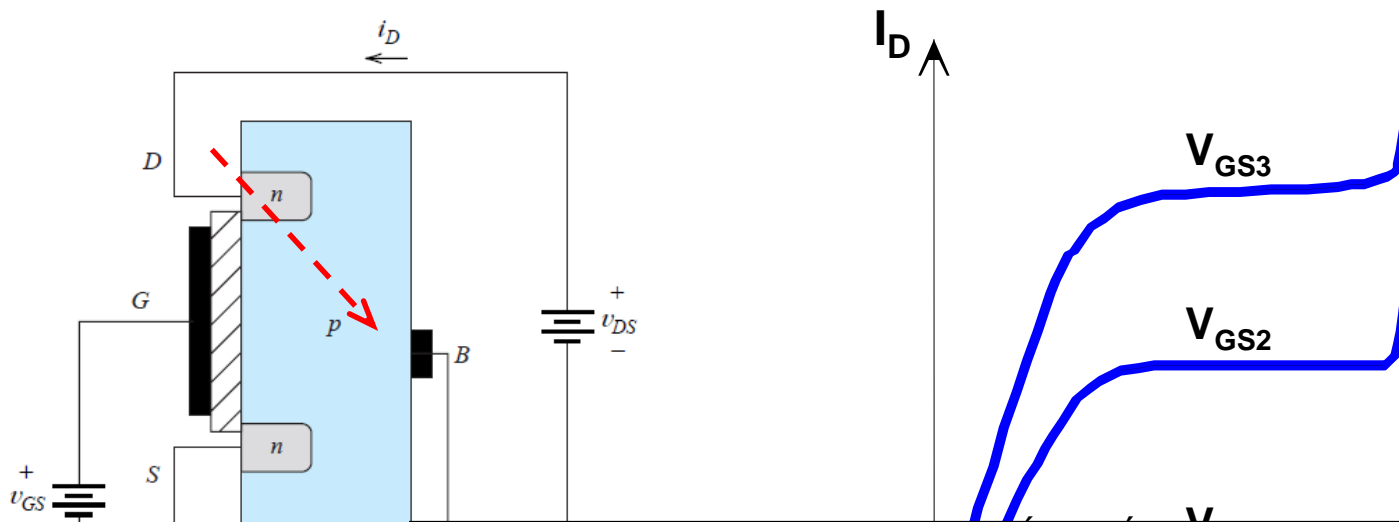
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

2.5. MOS: efectos de segundo orden.



❑ Tensión de ruptura ($BD = \text{Break-Down}$)

- Máxima tensión de trabajo entre D y S $\rightarrow V_{DS} < V_{BD}$.
 - La corriente I_D deja de estar controlada y crece bruscamente.
 - En los MOSFET, ocurre por la ruptura de la unión entre D y B.



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

V_{BD} V_{DS}

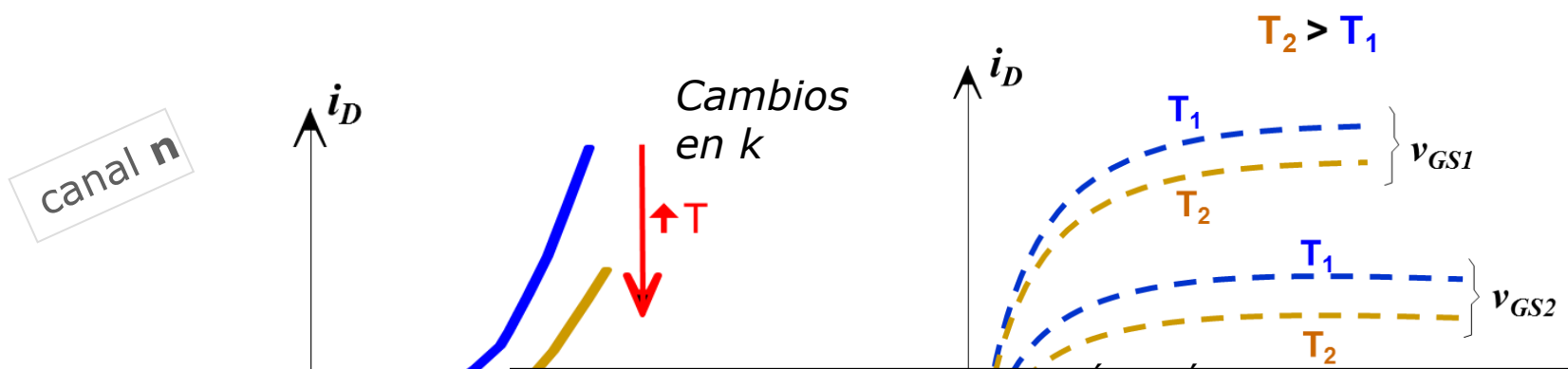
2.5. MOS: efectos de segundo orden.



□ Efectos de la temperatura

- $I_D = f(T)$ dado que la movilidad 'μ' de portadores es $f(T)$ $\Rightarrow \mu(T) = \mu(T_R) \cdot \left(\frac{T_R}{T}\right)^{\frac{3}{2}}$, donde $T_R = 300K$
- Esto causa cambios en la tensión umbral V_t y en la constante k

$$V_t(T) = V_t(T_R) \pm C \cdot (T - T_R) \begin{cases} - \text{canales n} \\ + \text{canales p} \end{cases}, \text{ donde } C \approx 2mV/^{\circ}C$$



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

v_{DS}

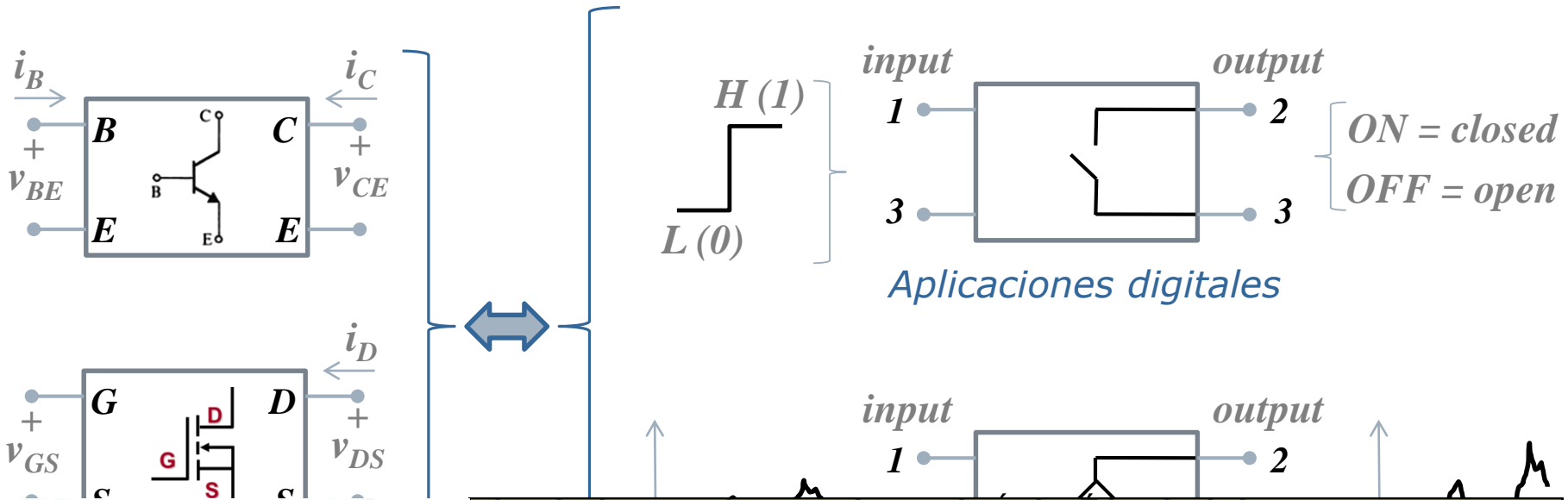


3. Resumen: aplicaciones típicas

Los transistores como dispositivo controlado



- ❑ Las aplicaciones de los TRTs se relacionan con su capacidad de poder **controlar** su **comportamiento** (*modelo*) en salida:
 - **OFF** (*corte*); **ON** (*sat./óhmica*); **generador dependiente** (*Activa*)
 - Según el modelo, tenemos aplicaciones **digitales** o **analógicas**



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



3. Resumen: comparativa general

Transistores unipolares vs. bipolares



FET

- Control mediante **tensión**:
tensión de puerta-fuente
- Teóricamente dispositivo simétrico:
drenador y fuente, intercambiables.
- Entrada sin consumo en DC: $I_g=0$.
- Impedancia de entrada **muy alta**
→ puerta aislada en DC.
- Menor ganancia de transconductancia, (g_m) que los BJT.
- Acusado comportamiento capacitivo:
→ menores frecuencias de trabajo.

BJT

- Control mediante **corriente**:
corriente de base.
- Teóricamente dispositivo **asimétrico**:
emisor y colector no intercambiables.
- Entrada con consumo en DC: $I_B \neq 0$.
- Impedancia de entrada **media**
→ efecto resistivo del orden de $k\Omega$.
- Mayor ganancia que los FET, favorece su aplicación en amplificadores.
- Bajo comportamiento capacitivo:
→ mayores frecuencias de trabajo.

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



Transistores

Bibliografía



□ Básica:

- Allan R. Hambley. Electrónica, 2º edición. Ed. Prentice Hall 2008 (Capítulos 4 y 5).
- Sedra-Smith. Circuitos Microelectrónicos. Capítulos 4 (secciones 4.1 y 4.2) y capítulo 5 (secciones 5.1 y 5.2)
- Norbert R. Malik. CIRCUITOS ELECTRÓNICOS: Análisis, simulación y diseño. Ed. Prentice Hall. 1996 (Capítulos 4 y 5).

□ Complementaria:

- "The silicon engine". 1947 → invención del BJT, inicio de la serie en: <http://www.computerhistory.org/siliconengine/invention-of-the-point-contact-transistor/>
- "The silicon engine". 1960 → MOSFET práctico, inicio de la serie en: <http://www.computerhistory.org/siliconengine/mosfet-invention/>

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



Control de revisiones.



- 2017-01-17. Versión inicial.
- 2017-01-26. Rectificaciones en la sección 3: eliminada una transparencia duplicada y actualizados los títulos. Actualización de la bibliografía. Cambios menores en transparencias 29, 30 y 44.

Cartagena99

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