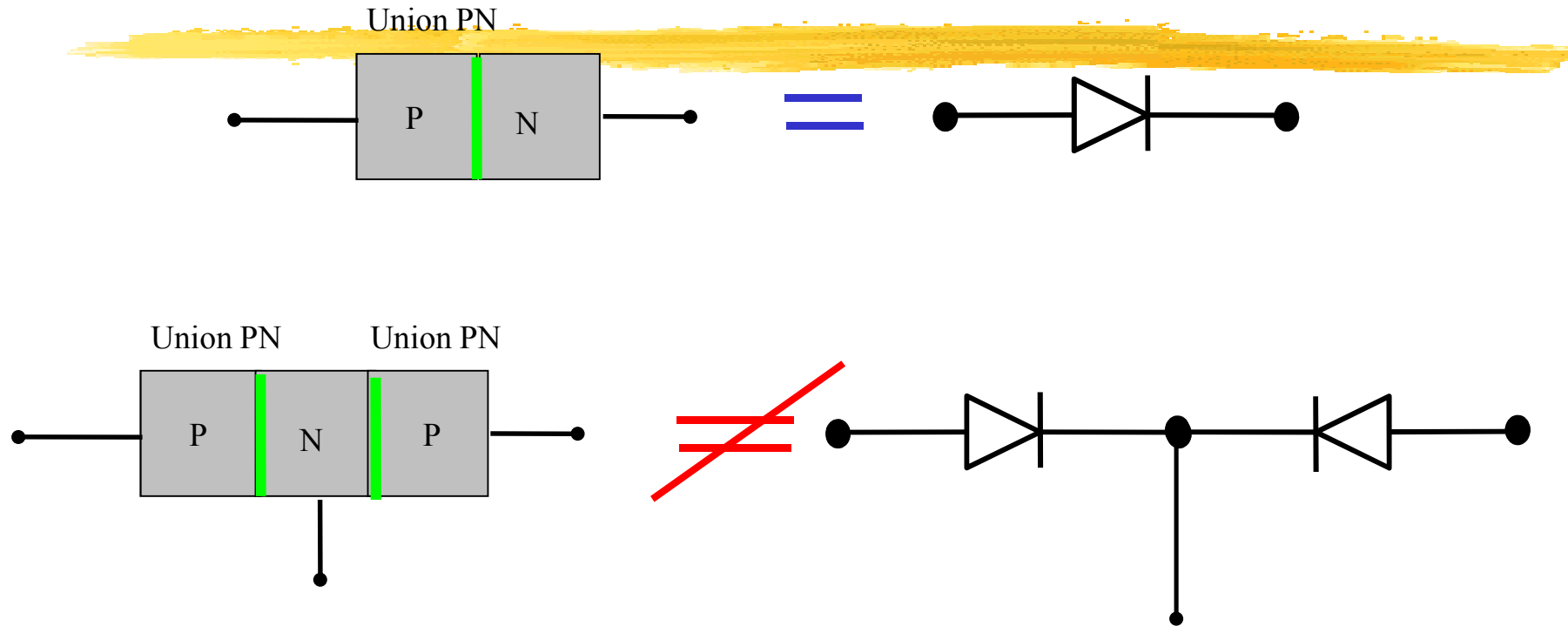
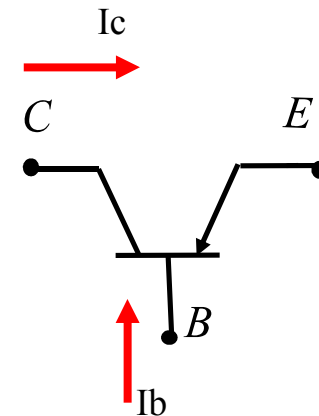


TRANSISTORES

- Símbolo. Características
- Clasificación de los transistores
- Transistores bipolares
- Transistores unipolares

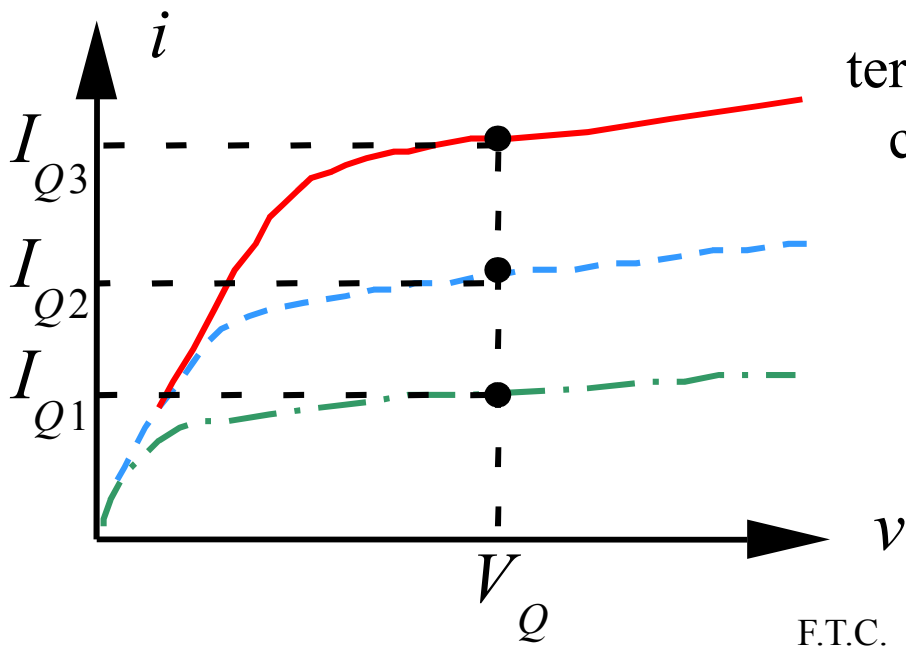
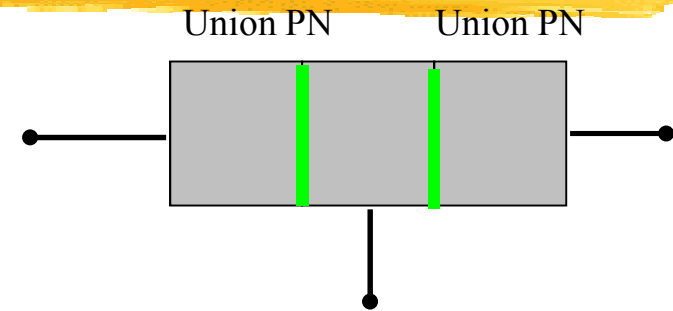


- Un **transistor** está formado por dos uniones PN pero su comportamiento **no** es el de dos diodos enfrentados
- Proceso de Fabricación → Zona intermedia estrecha y débilmente impurificada → **Efecto TRANSISTOR**:
- Posibilidad de controlar la corriente entre colector y emisor mediante el control de la corriente de base

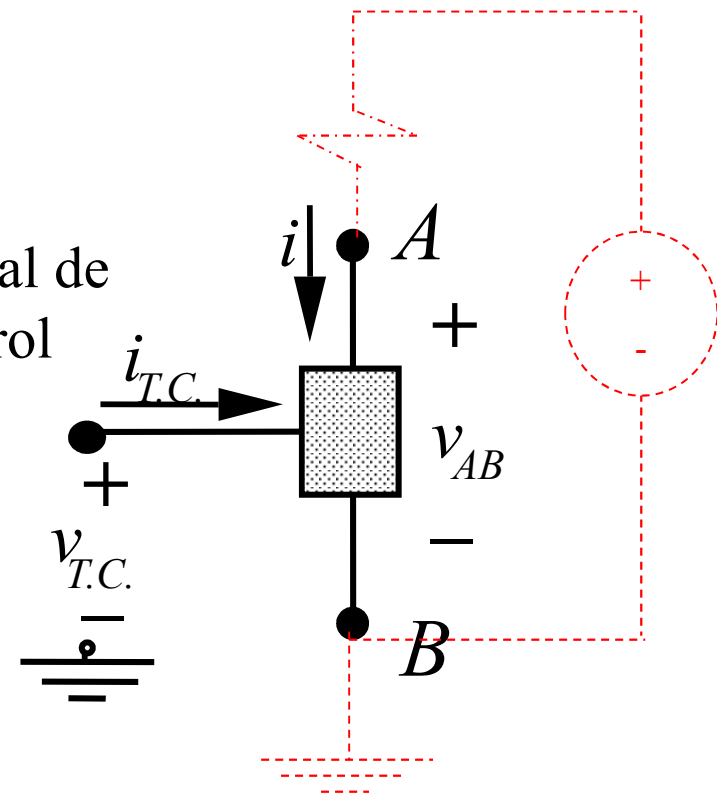


Características. Símbolo

- Elemento triterminal: Terminal de control
- Magnitud control: tensión o corriente
- Funcionamiento específico: dos uniones PN
- Funcionamiento en régimen permanente: componentes de los circuitos digitales



terminal de control



Clasificación de los transistores

Transistores bipolares: BJT

- Corriente: movimiento de electrones y huecos.
- Magnitud de control: corriente
- Dos tipos: NPN y PNP

Transistores unipolares o de efecto de campo: FET

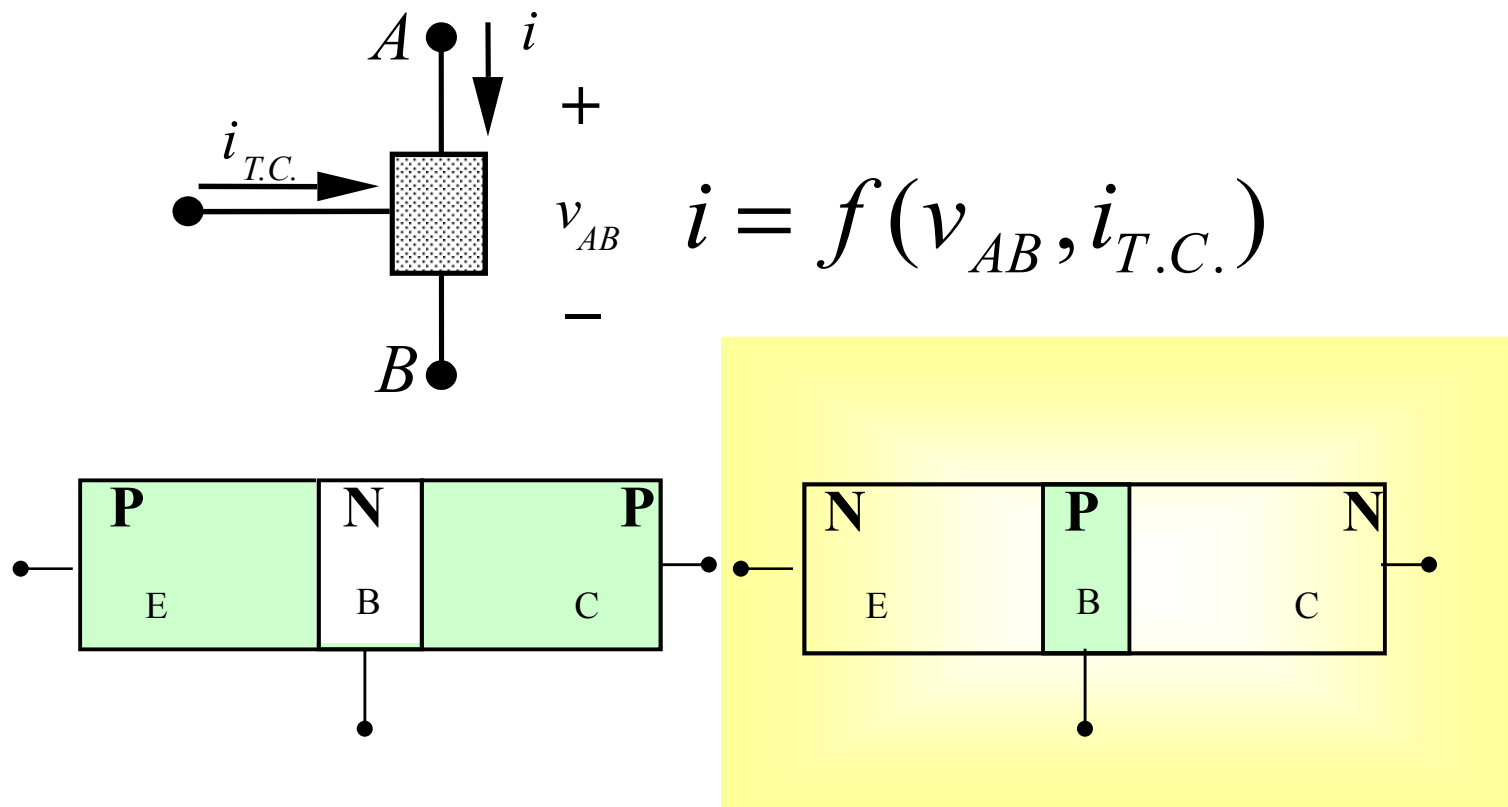
- Campo eléctrico influye en el comportamiento
- Corriente: movimiento sólo de electrones o huecos, según el tipo de transistor
- Magnitud de control: diferencia de potencial
- JFET
- FETMOS: de canal N (electrones); de canal P (huecos)

Transistores uniunión: UJT

- Muy especiales. No los veremos

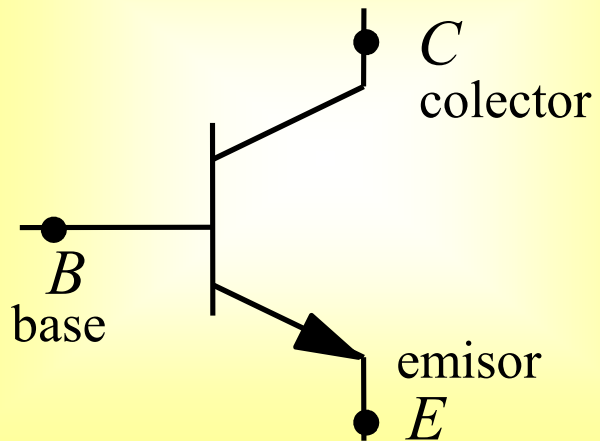
TRANSISTORES BIPOLARES

- Magnitud de control: corriente
- Terminal central: corriente de control. Terminal base: B
- Terminal izquierda: emisor, E
- Terminal derecha: colector, C

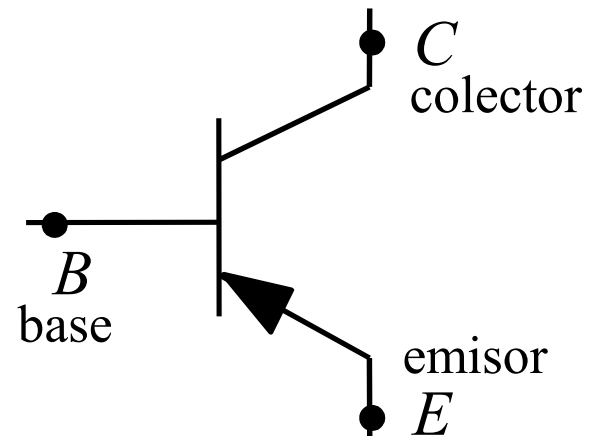


Tipos de transistores bipolares

transistor bipolar NPN



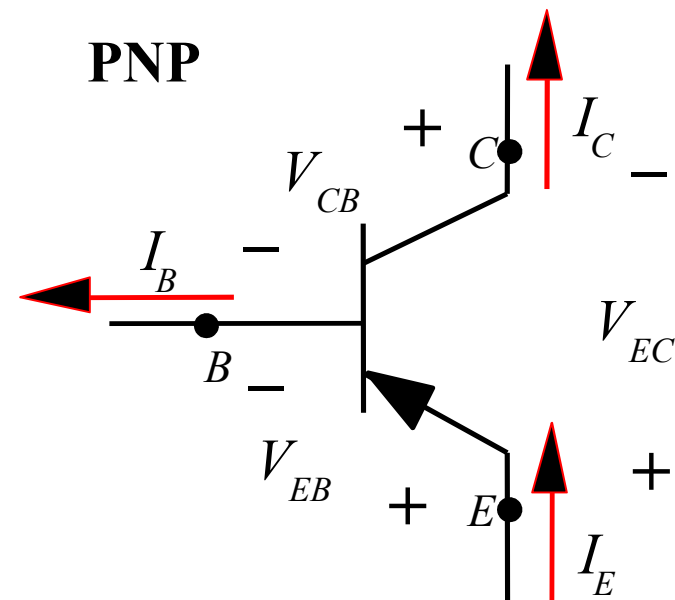
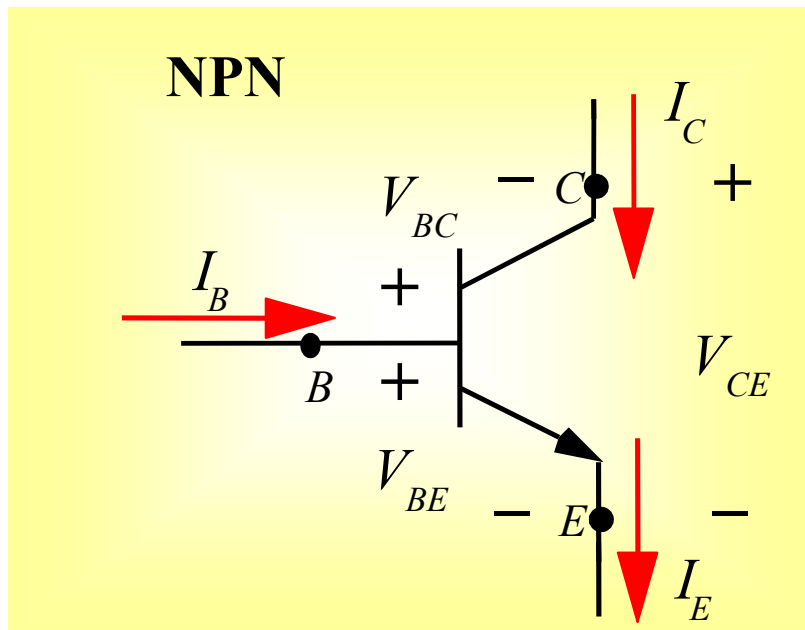
transistor bipolar PNP



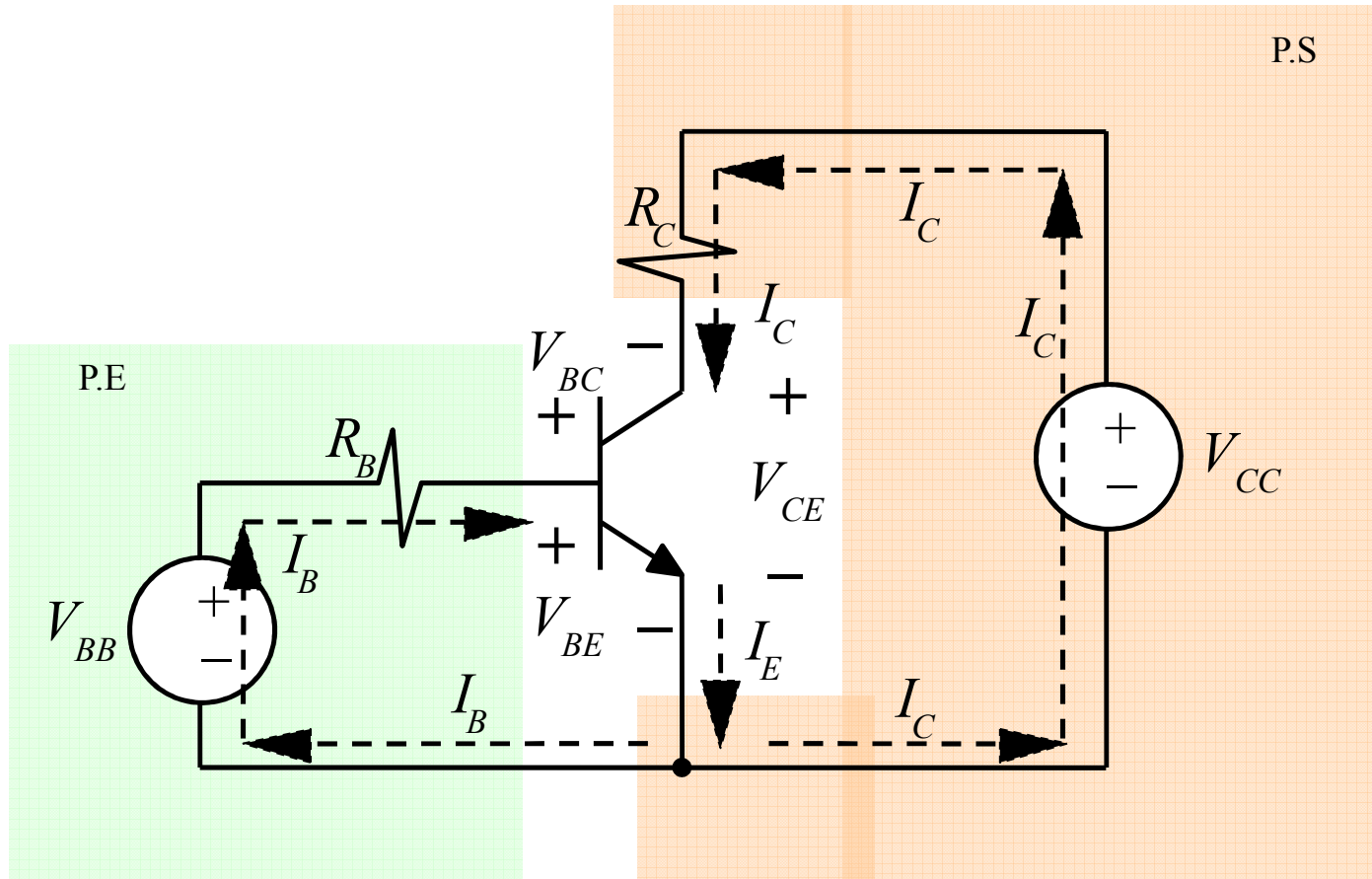
- Sentido flecha: de P hacia N

Magnitudes en los transistores bipolares

- Seis magnitudes a relacionar
- Corriente en cada terminal: I_C , I_B , I_E
- Diferencias potencial entre terminales: V_{BE} , V_{BC} , V_{CE}
- Dos ecuaciones de comportamiento
- Convenio para el sentido de las corrientes y signo de las tensiones



Ecuaciones de comportamiento de los t. bipolares



F.T.C.

Ecuaciones de comportamiento de los t. bipolares

1 $I_E = I_B + I_C$

2 $V_{BC} = V_{BE} - V_{CE}$

3 $V_{BB} = R_B I_B + V_{BE}$

4 $V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$

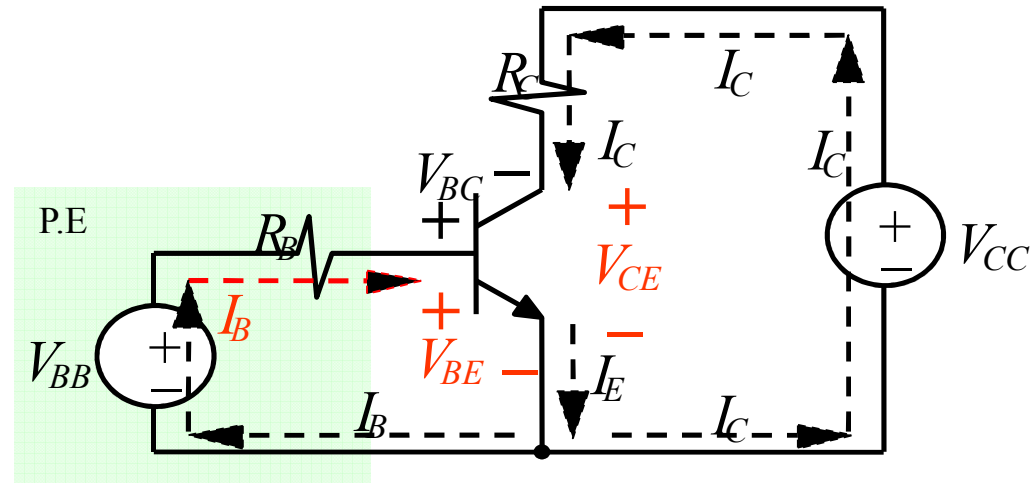
5 $I_C = f(V_{CE}, I_B)$

6 $I_B = g(V_{BE}, V_{CE})$

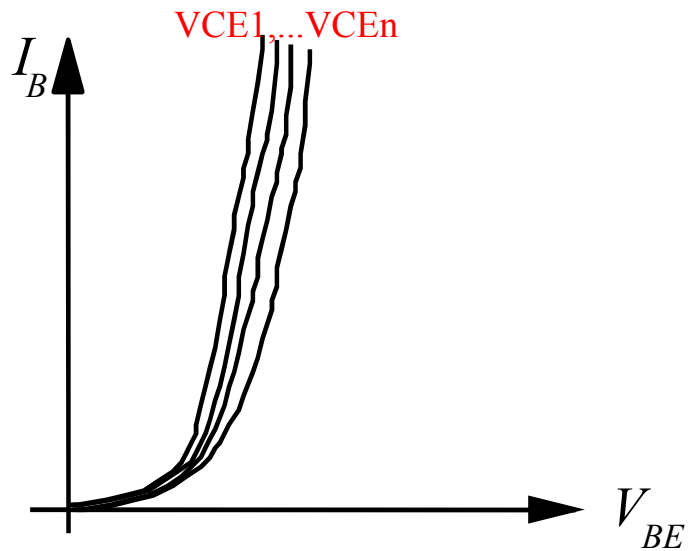
- Ecuaciones comportamiento: análisis experimental (5,6)
- Simplificando: punto operación del transistor $Q(I_B, I_C, V_{BE}, V_{CE})$

Curvas características: dos

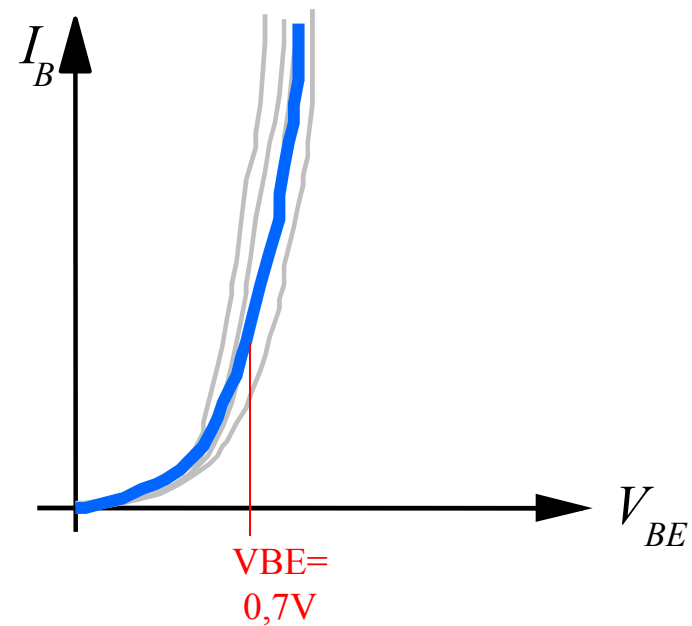
$$I_B = g(V_{BE}, V_{CE})$$



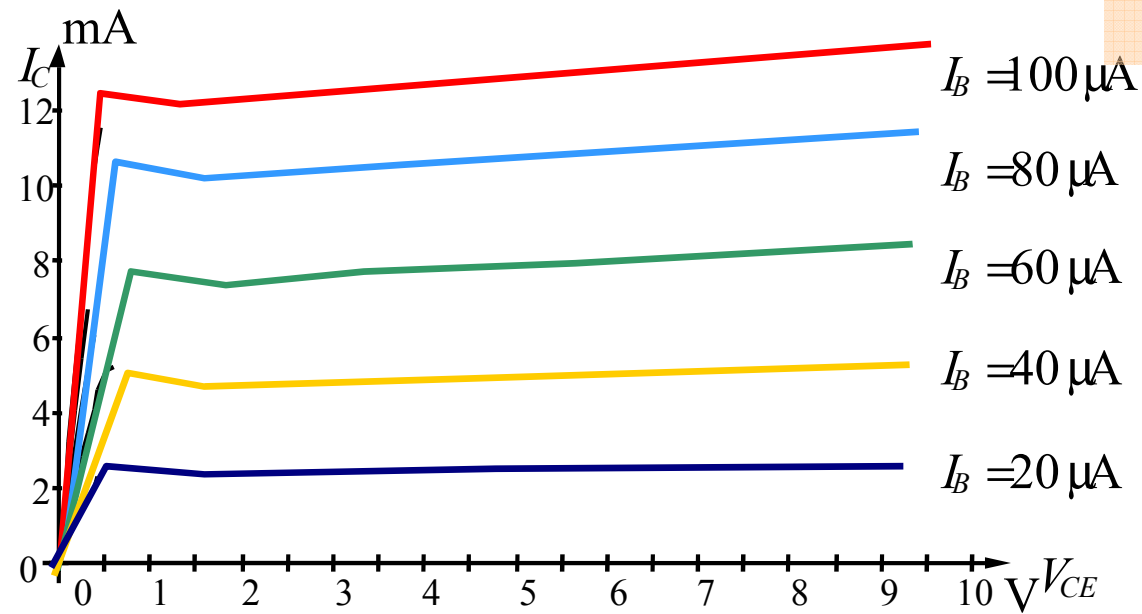
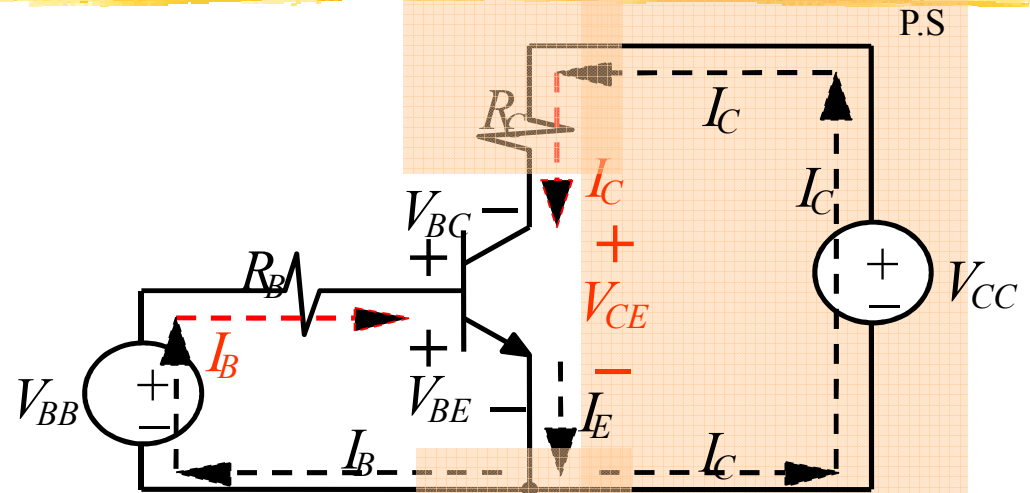
- V_{CE} poca influencia. Se simplifica. $I_B = g(V_{BE})$



F.T.C.

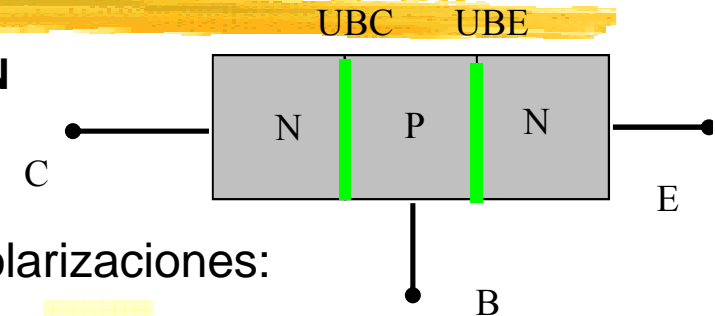


$$I_C = f(V_{CE}, I_B)$$



F.T.C.

Zonas de funcionamiento del transistor bipolar NPN



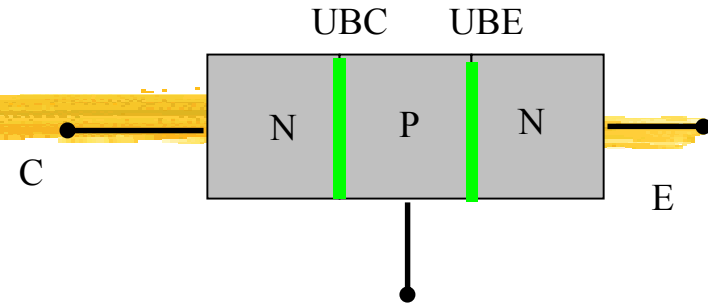
- Un transistor tiene dos uniones PN, 4 posibles polarizaciones:

unión BE	IP	IP	DP	DP
unión BC	IP	DP	IP	DP

- Distinguir entre E y C?
- Polarización relativa determina quién funciona como E y quién como C
- E y C **no** son exactamente iguales a nivel físico
- Funcionamiento **directo o normal (NPN)**: $V_{BE} > V_{BC}$
- Funcionamiento **inverso (NPN)**: $V_{BE} < V_{BC}$
- Habitualmente: funcionamiento directo o Normal
- Posible con tres de las cuatro opciones
- Tres zonas de funcionamiento
 - Corte (R.C.N)
 - Región Activa Normal (R.A.N.)
 - Saturación (R.S.N)

1. Corte

Transistor NPN



- BE y BC en I.P.
- Por tanto $V_{BE} \leq 0,7 \text{ V}$ y $V_{BC} \leq 0,7 \text{ V}$ (se suele comprobar sólo $V_{BE} \leq 0,7 \text{ V}$)
- En I.P. no circula corriente, por tanto: $I_C = 0 \text{ A}$ $I_B = 0 \text{ A}$ (por tanto $I_E = 0 \text{ A}$)
- Ya tenemos las dos ecuaciones que nos faltaban
- Resumiendo:

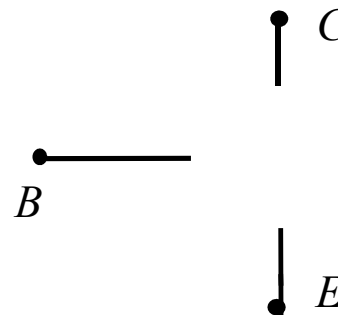
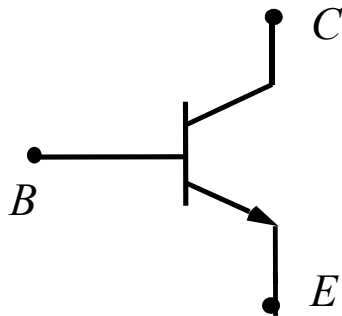
condición

$$V_{BE} \leq 0,7 \text{ V}$$

\Rightarrow

ecuación

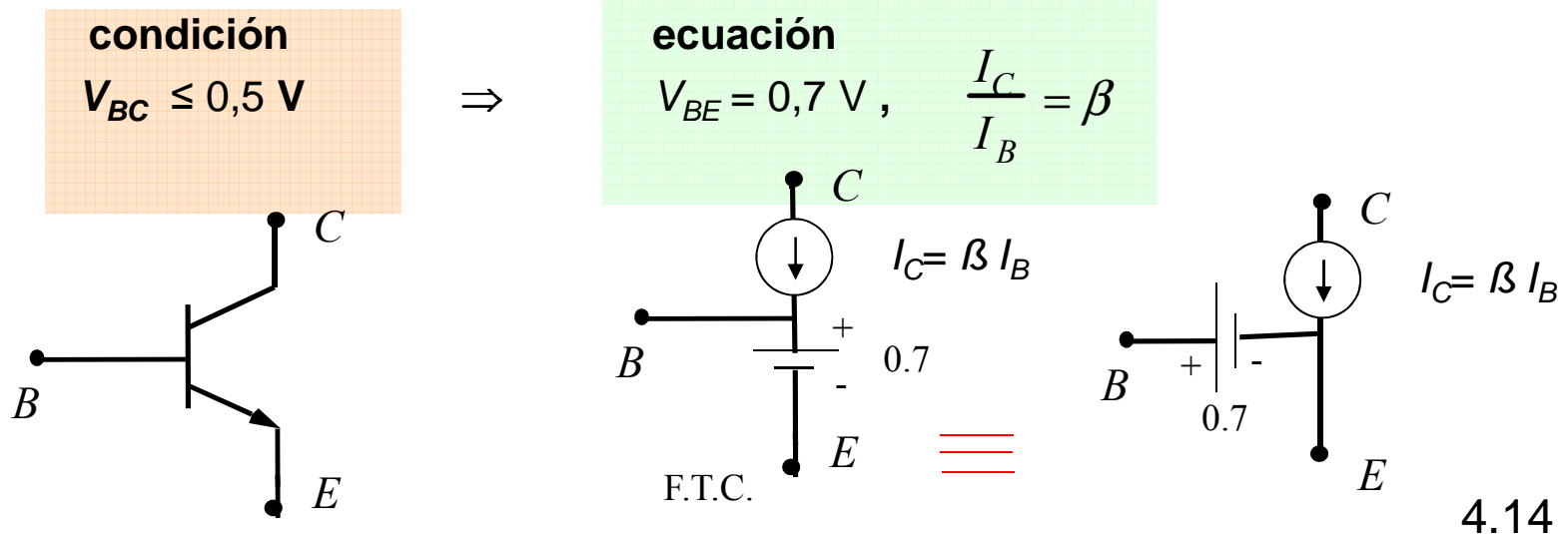
$$I_C = 0, I_B = 0$$



F.T.C.

2. Región Activa Normal (R.A.N.)

- BE en D.P., BC en I.P
- Sólo una unión en D.P. pero corriente en ambas. Aún así $I_B \ll I_C$
- BE en D.P., por tanto, $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$ (una ecuación más)
- Otra ecuación: analizando las curvas características del transistor
- Conclusión análisis: $I_C/I_B = \beta$ (nueva ecuación, β “ganancia de corriente”)
- Varía según el tipo de transistor. Consideraremos 100
- Verificación de esta zona implica comprobar unión BC en I.P: comprobar $V_{BC} \leq 0,5 \text{ V}$ (no 0,7 como en una unión aislada). Equivalente: $V_{CE} \geq 0,2 \text{ V}$



3. Saturación

- BE y BC en D.P.
- Corriente en las dos uniones, I_B mayor que antes
- Ambas uniones en D.P.: $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$ y $V_{CE} = 0,2 \text{ V} \rightarrow V_{BC} = V_{BE} - V_{CE} = 0,7 - 0,2 = 0,5 \text{ V}$
- No relación constante anterior
- Verificación de esta zona implica comprobar $I_C/I_B \leq \beta$

condición

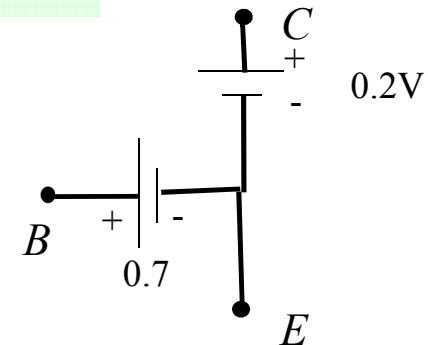
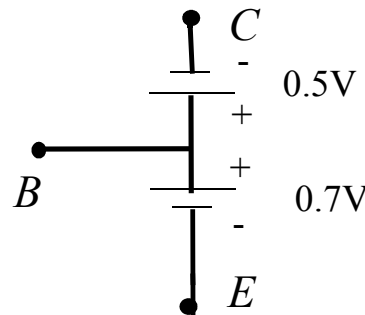
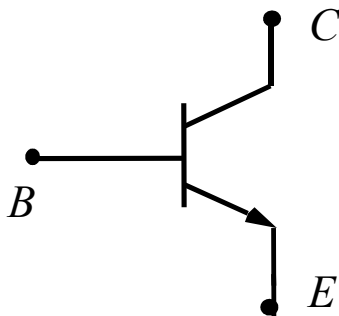
$$\frac{I_C}{I_B} \leq \beta$$

\Rightarrow

ecuación

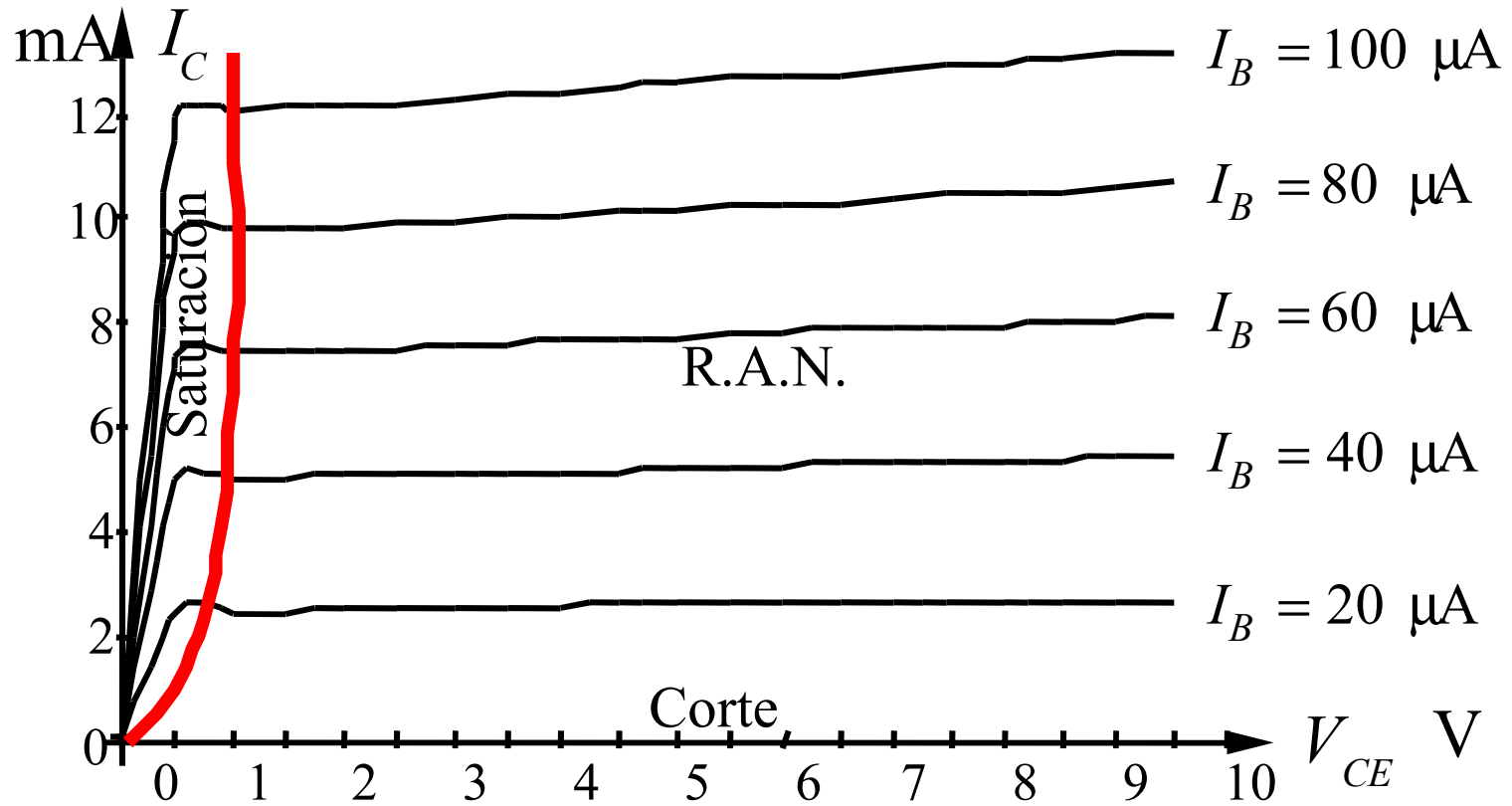
$$V_{BE} = 0,7 \text{ V}$$

$$V_{CE} = 0,2 \text{ V} \text{ o } V_{BC} = 0,5 \text{ V}$$

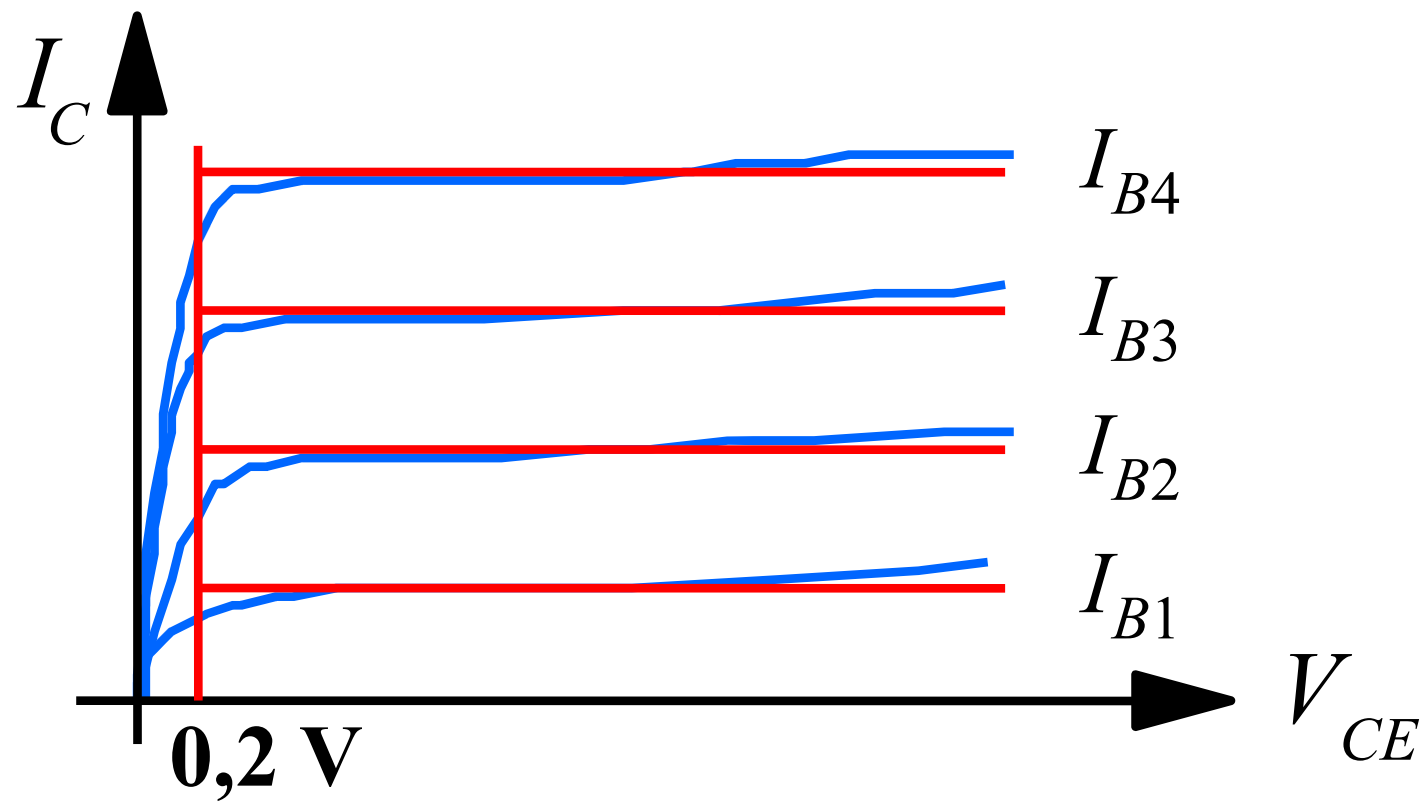


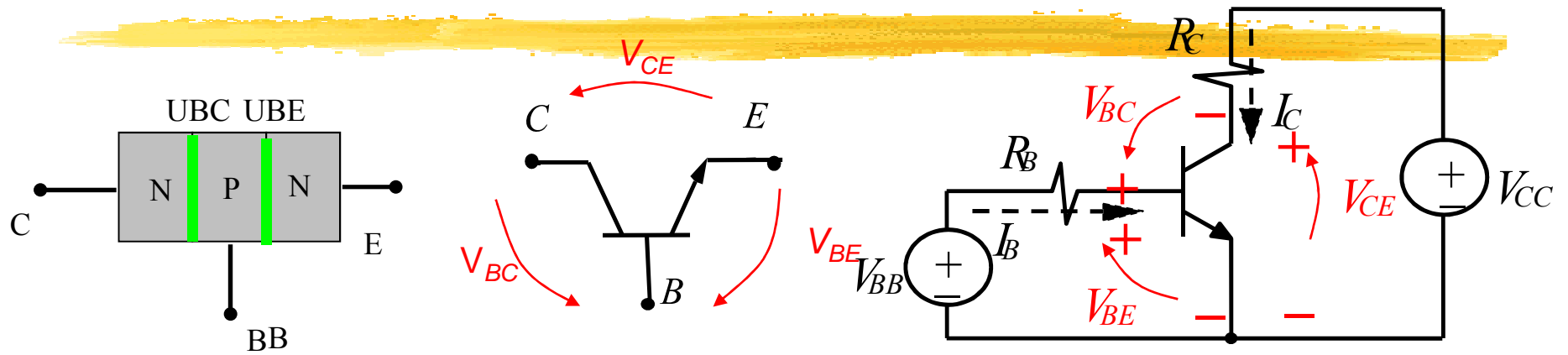
F.T.C.

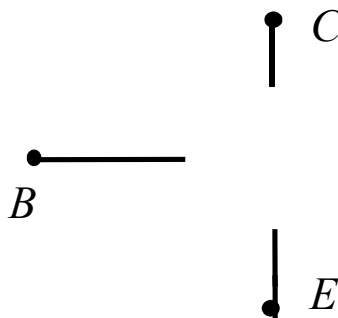
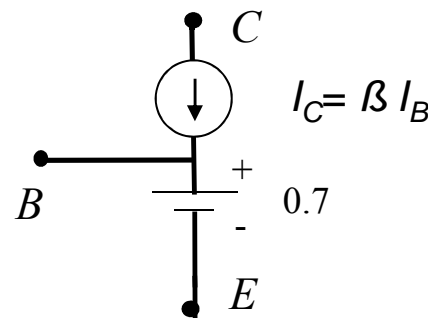
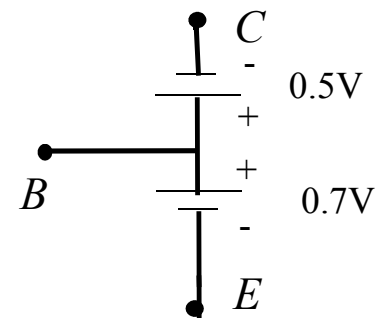
Zonas de funcionamiento en la curva característica



Aproximación realizada

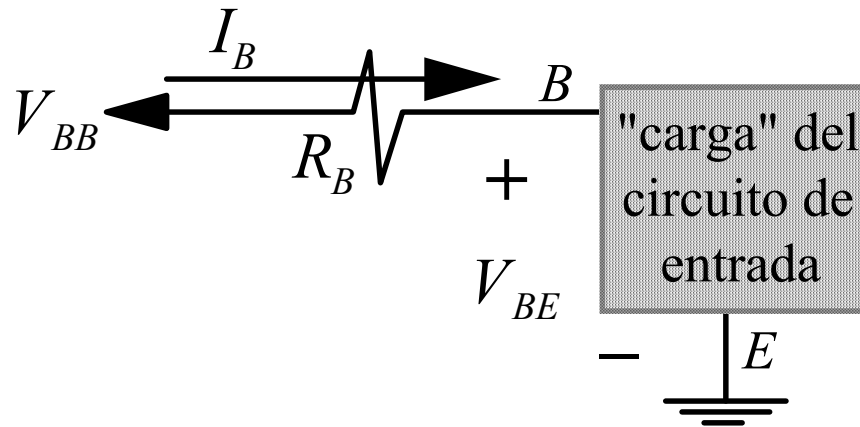




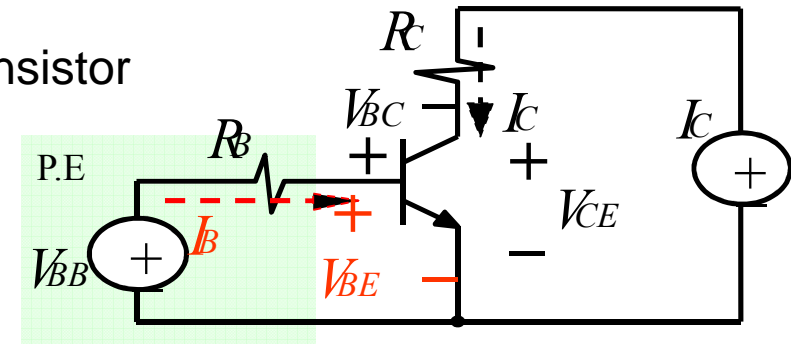
	R.C.N	R.A.N	R.S.N
condición	$V_{BE} \leq 0,7 \text{ V}$	$V_{BC} \leq 0,5 \text{ V}$	$\frac{I_C}{I_B} \leq \beta$
Modelo	$I_C = I_B = I_E = 0$	$V_{BE} = 0,7 \text{ V}$	$V_{BE} = 0,7 \text{ V}$
		$\frac{I_C}{I_B} = \beta$	$V_{BC} = 0,5 \text{ V}$
		 F.T.C.	

Resolución gráfica de circuitos con transistores

- Conocemos curvas (I_B, V_{BE}) y (I_C, V_{CE}) del transistor
- Circuito de entrada



$$V_{BB} = R_B I_B + V_{BE}$$

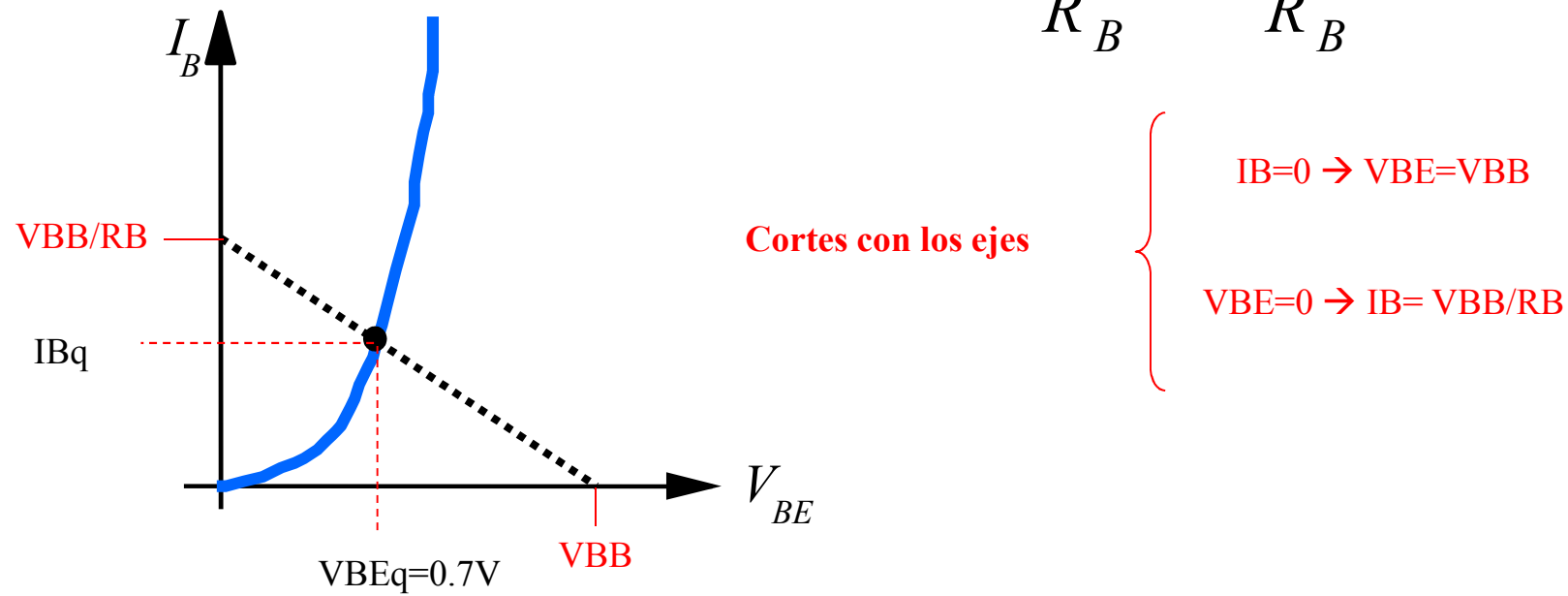


$$I_B = \frac{V_{BB}}{R_B} - \frac{1}{R_B} \cdot V_{BE}$$

RECTA DE CARGA de entrada

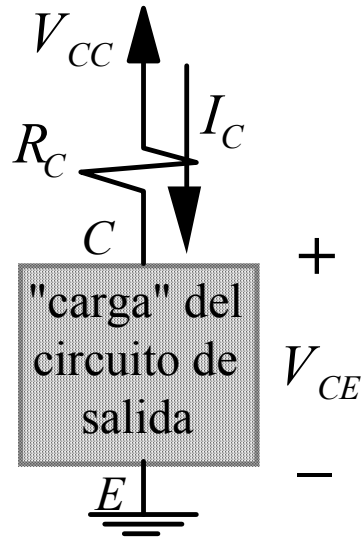
- Dibujando esa recta sobre el mismo plano que la curva (I_B, V_{BE})

$$I_B = \frac{V_{BB}}{R_B} - \frac{1}{R_B} \cdot V_{BE}$$

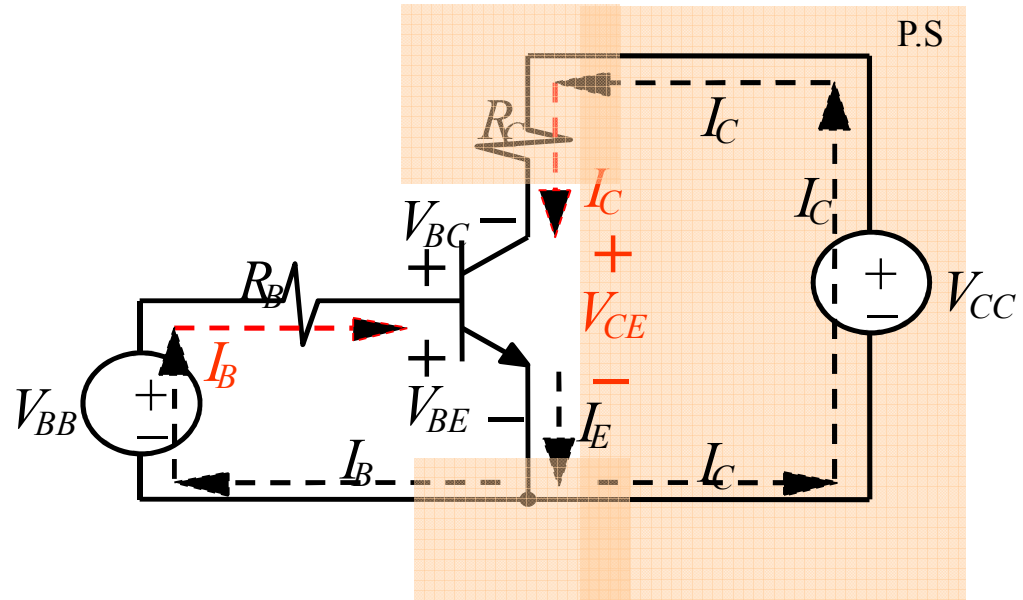


- Obtenemos punto de operación de entrada: (I_{BQ}, V_{BEQ})

- Circuito de salida



$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$$



$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} - \frac{1}{R_C} \cdot V_{CE}$$

RECTA DE CARGA de salida

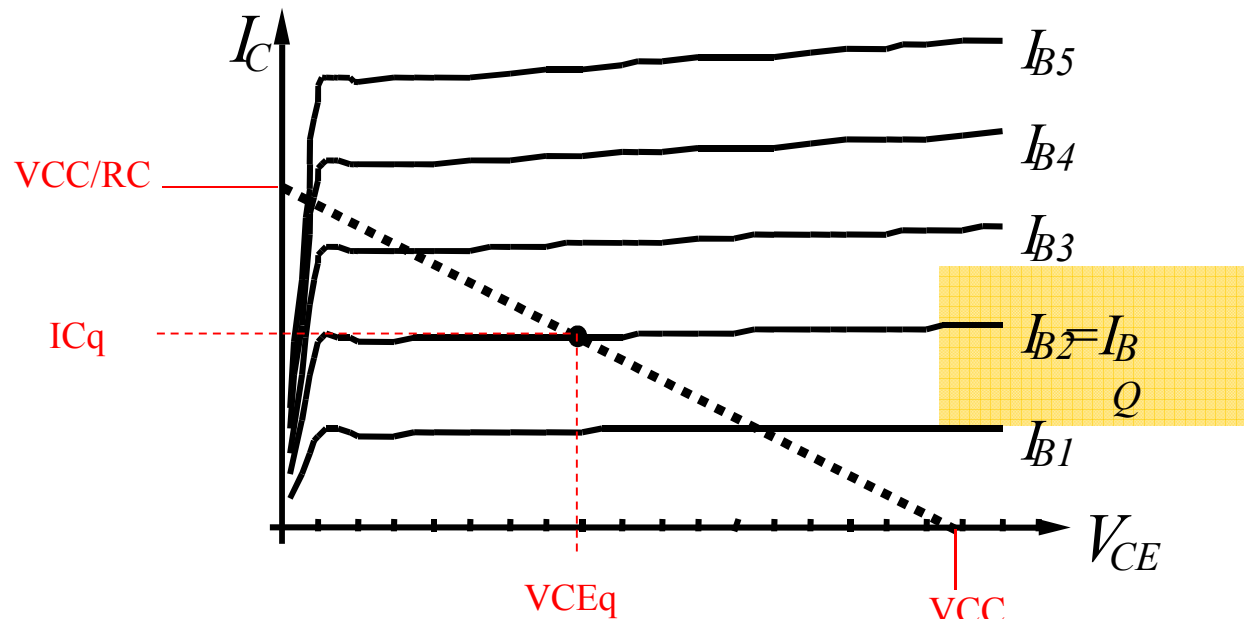
- Dibujando esa recta sobre el mismo plano que la curva (I_C , V_{CE})

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} - \frac{1}{R_C} \cdot V_{CE}$$

Cortes con los ejes

$I_C=0 \rightarrow V_{CE}=V_{CC}$

$V_{CE}=0 \rightarrow I_C = V_{CC}/R_C$

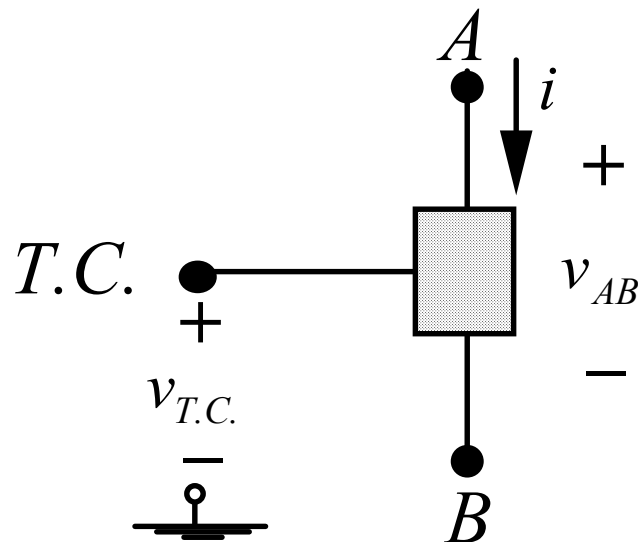


- Obtenemos punto de operación de salida
- Con ambos puntos, tenemos el punto de operación del transistor

F.T.C.

TRANSISTORES UNIPOLARES O DE EFECTO DE CAMPO

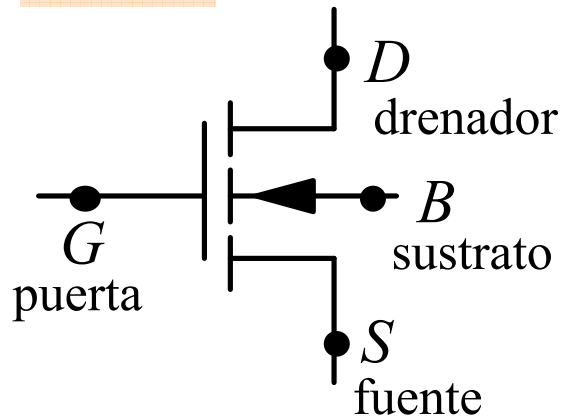
- Campo eléctrico influye en el comportamiento
- Corriente: movimiento sólo de electrones o huecos, según tipo
- Magnitud de control: diferencia de potencial
- JFET
- FETMOS: de canal N (electrones); de canal P (huecos)



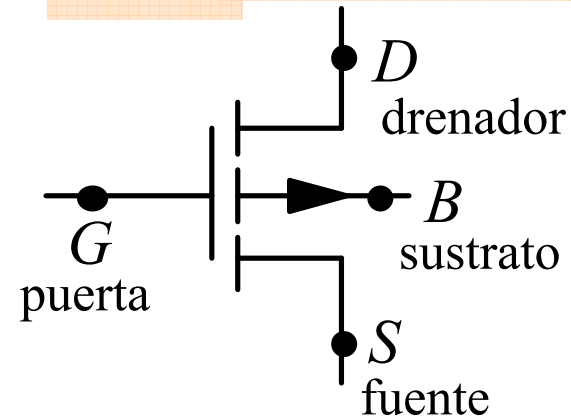
$$i = f(v_{AB}, v_{T.C.})$$

MOS, transistores metal-óxido-semiconductor

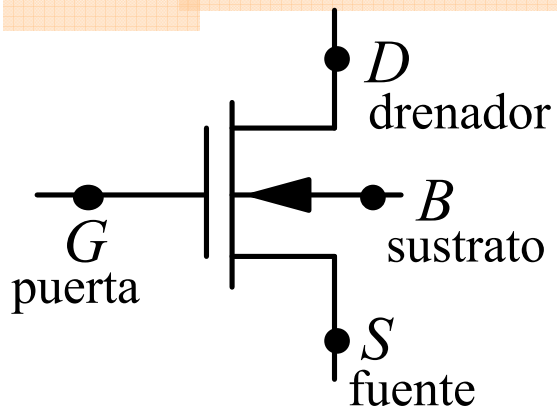
NMOS de enriquecimiento



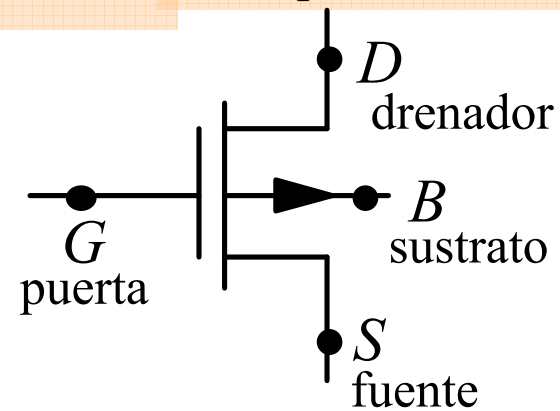
PMOS de enriquecimiento



NMOS de empobrecimiento



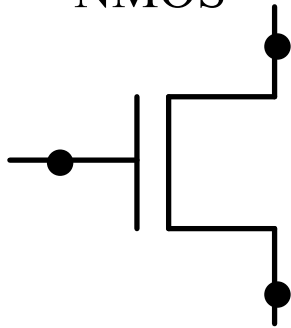
PMOS de empobrecimiento



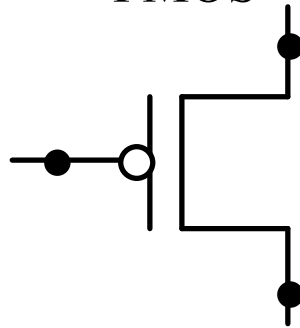
- Otros símbolos

transistores de enriquecimiento

NMOS

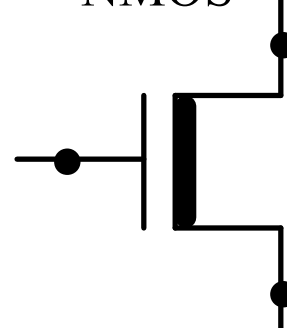


PMOS

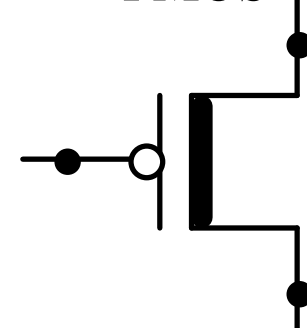


transistores de empobrecimiento

NMOS



PMOS

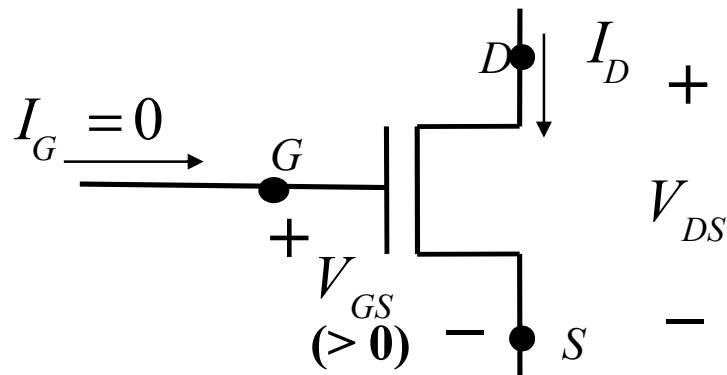


- **Enriquecimiento:** D y S físicamente separadas
- **Empobrecimiento:** entre D y S siempre hay canal
- B, sustrato (bulk). No es un terminal, sino la base física sobre la que se ha construido el MOS. Normalmente se conecta a S

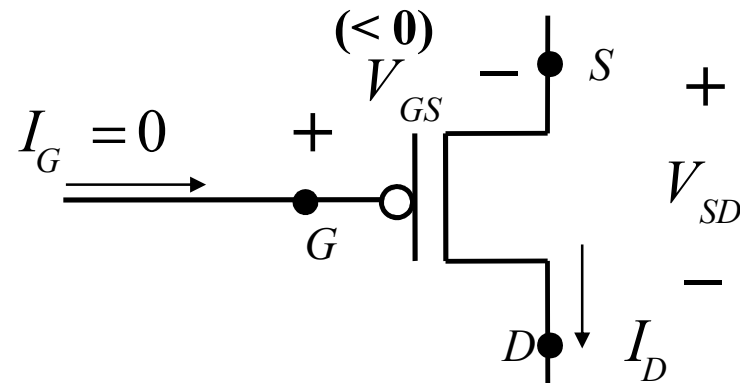
Magnitudes de los MOS

- Tres magnitudes para analizar comportamiento: I_D , V_{DS} y V_{GS} (t. control)
- Corriente $I_G = 0$ siempre, no dependiendo de la polarización
- Polarización adecuada para crear canal entre S y D (enriquecimiento) o para estrechar el canal existente (empobrecimiento)

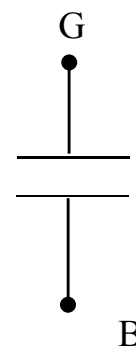
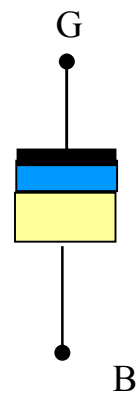
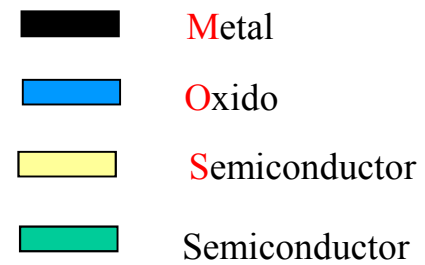
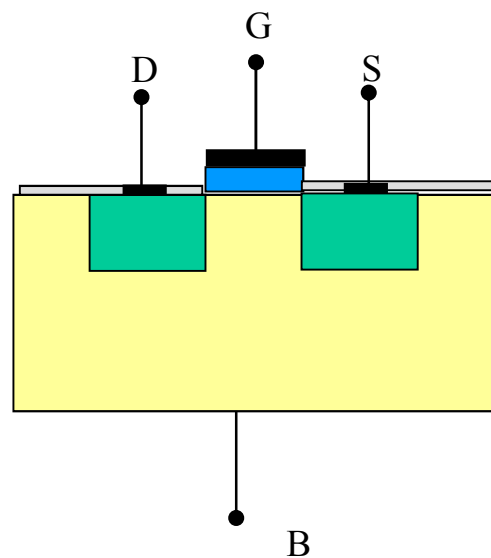
NMOS de enriquecimiento



PMOS de enriquecimiento

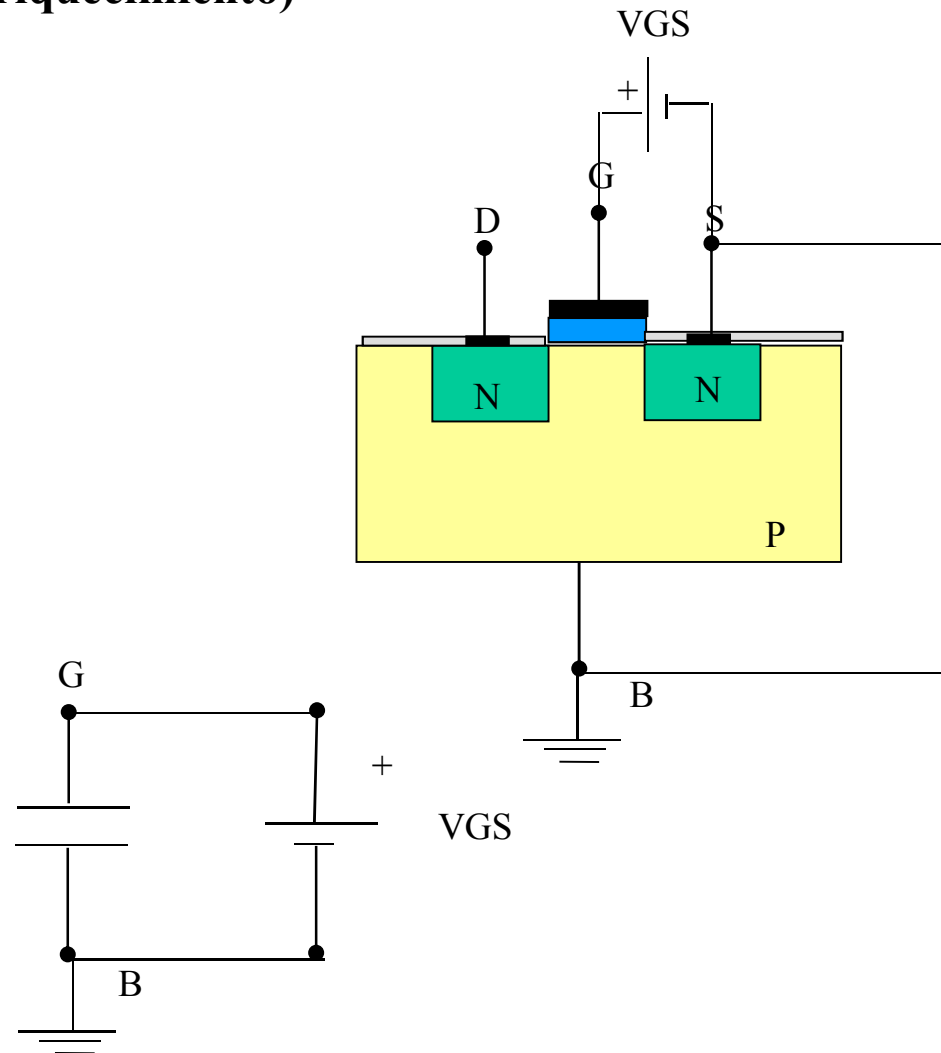
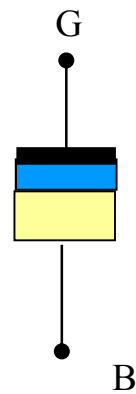
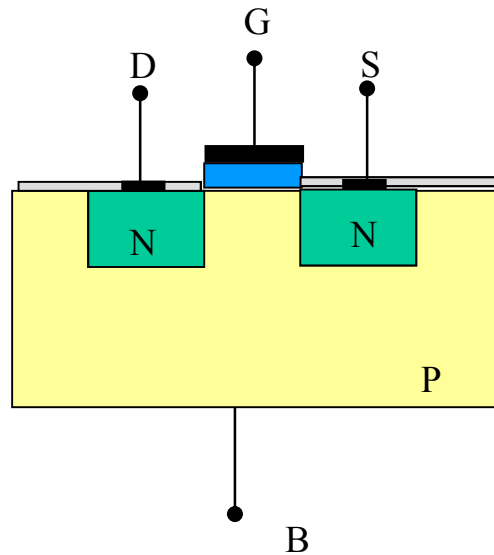


Transistores MOS



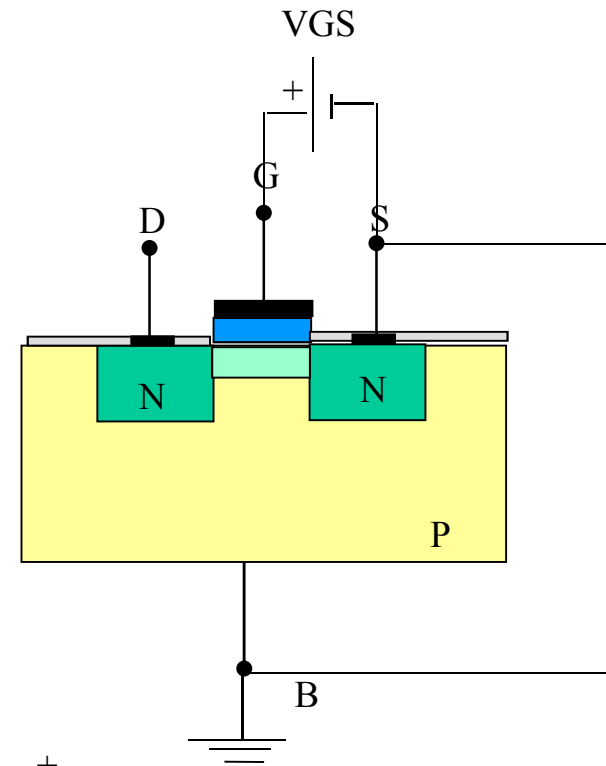
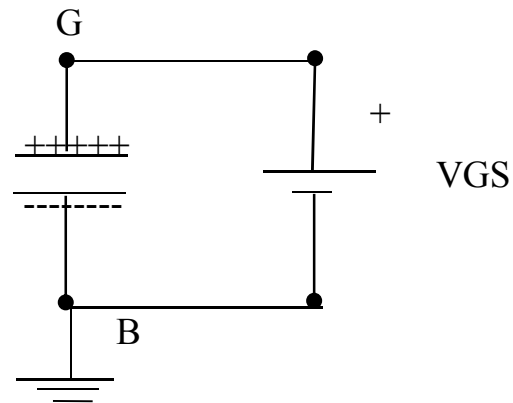
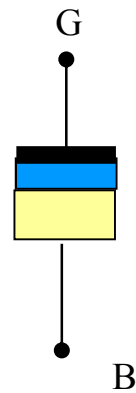
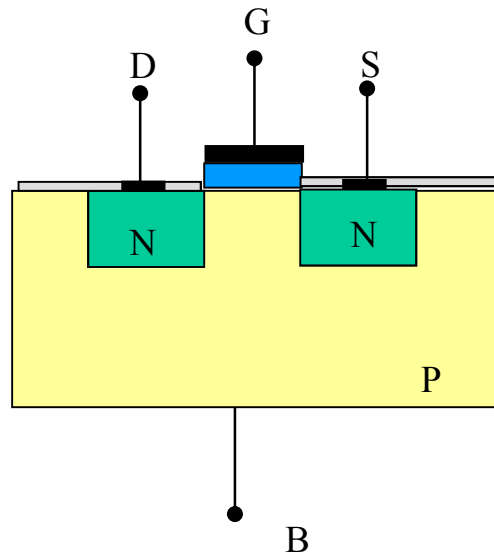
F.T.C.

Transistor MOS Canal N (NMOS enriquecimiento)

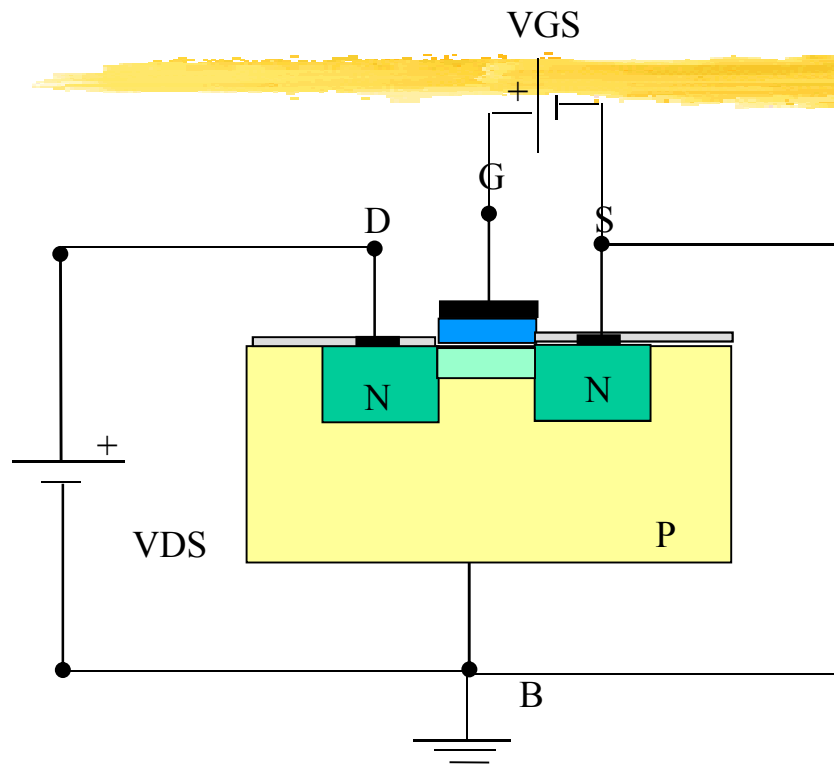


F.T.C.

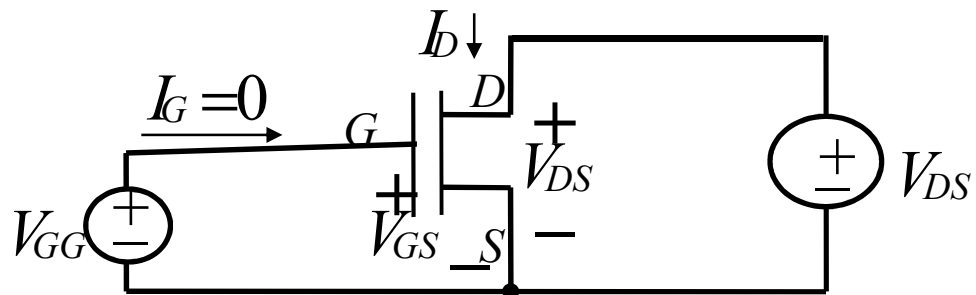
Transistor MOS Canal N (NMOS enriquecimiento)



F.T.C.



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

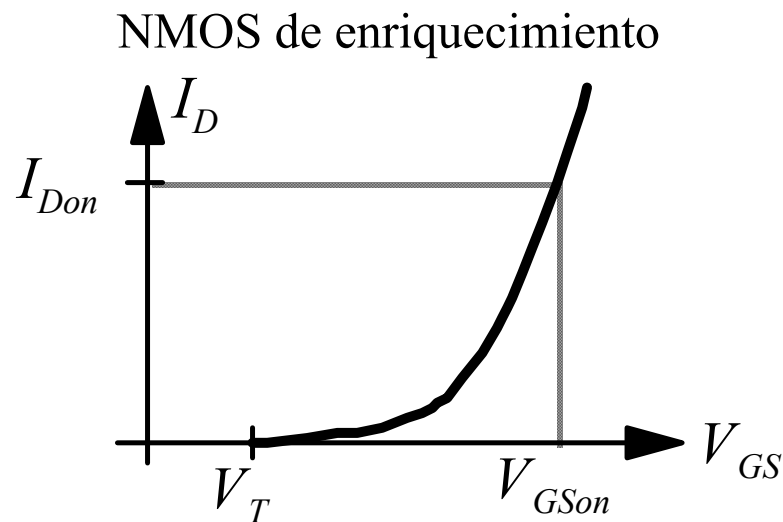


F.T.C.

Curvas de transferencia en los MOS

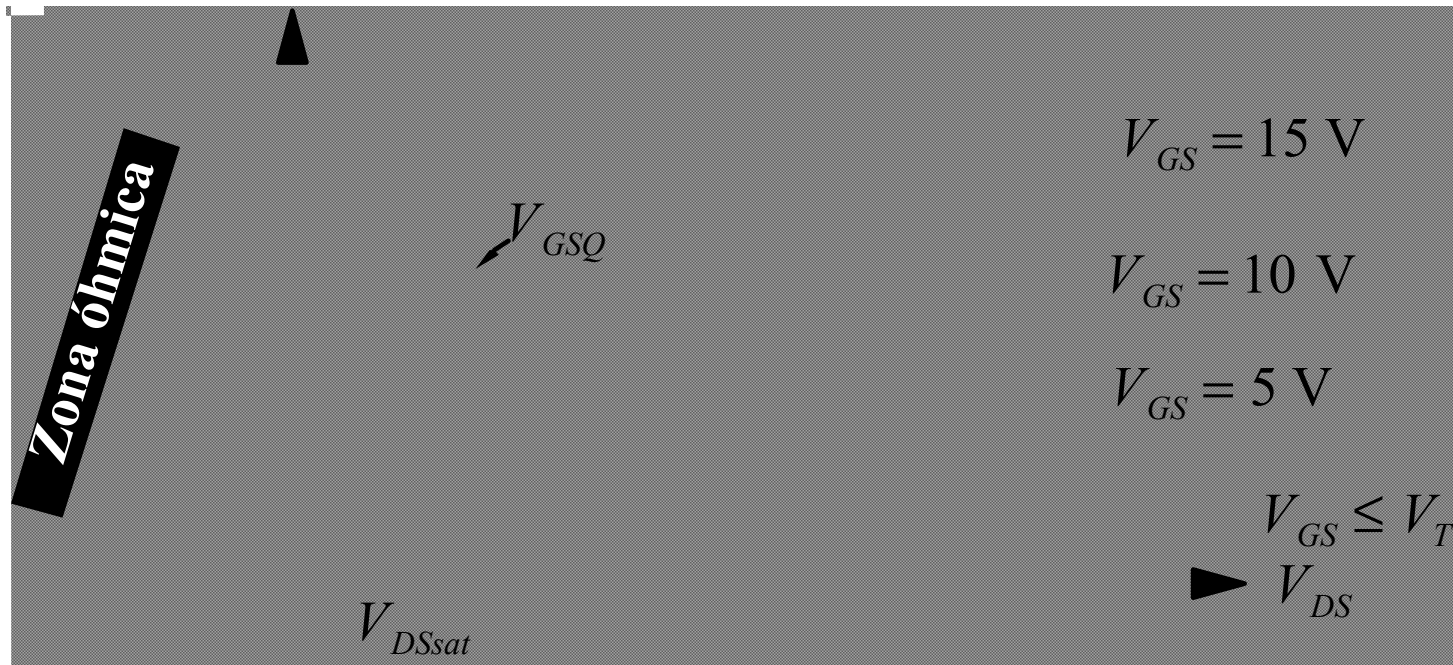
- Punto de operación: $Q(I_{DQ}, V_{DSQ}, V_{GSQ})$
- Corriente I_D depende de las dos tensiones: $I_D = f(V_{GS}, V_{DS})$
- Obtenemos esa curva experimentalmente, al igual que antes, con un circuito similar

* Curva 1: manteniendo V_{DS} , $I_D = f(V_{GS})$ (transistor en saturación)



$$I_D = I_{Don} \cdot \left(\frac{V_{GS} - V_T}{V_{GSon} - V_T} \right)^2$$

* Curva 2: para distintos valores de V_{GS} , $I_D = f(V_{DS})$



N MOS enriquecimiento, tres zonas de funcionamiento:

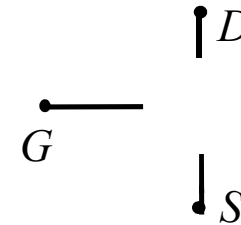
CORTE:

condición

$$V_{GSQ} \leq V_T$$

ecuación

$$I_D = 0$$

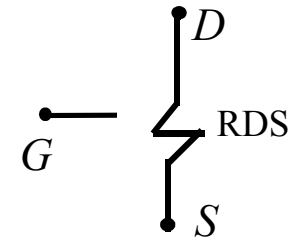


ZONA OHMICA:

$$V_{GSQ} \geq V_T$$

$$V_{DSQ} \leq V_{DSsat}$$

$$I_D = V_{DSS} / R_{DS}$$



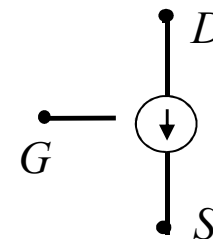
SATURACIÓN:

$$V_{GSQ} \geq V_T$$

$$I_D = K I_{Don}$$

$$V_{DSQ} \geq V_{DSsat}$$

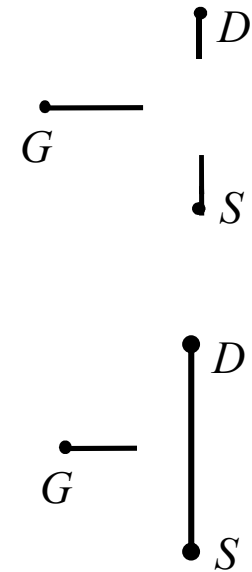
$$K = \left(\frac{V_{GS} - V_T}{V_{GSon} - V_T} \right)^2$$



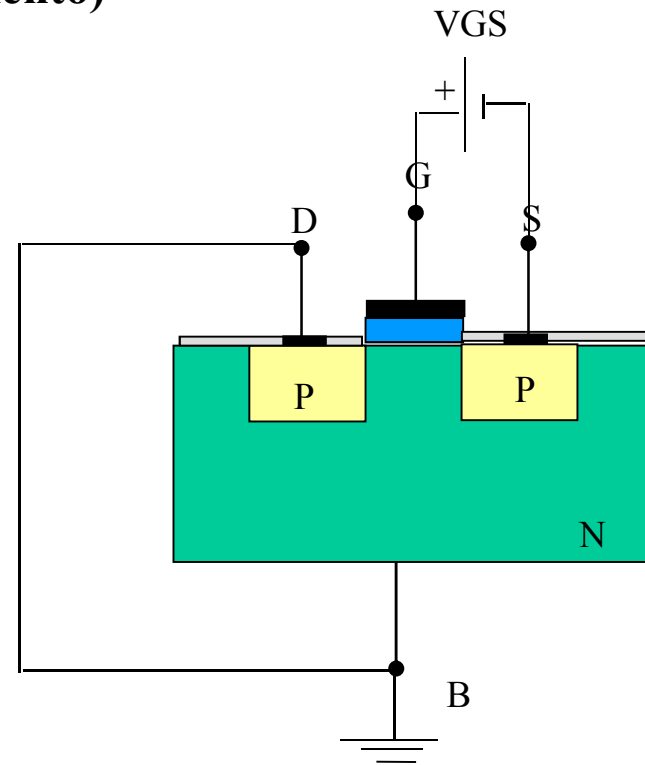
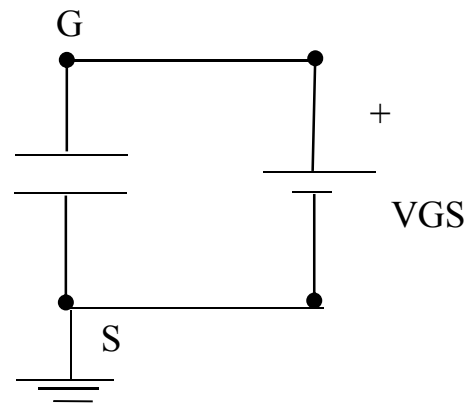
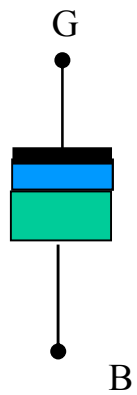
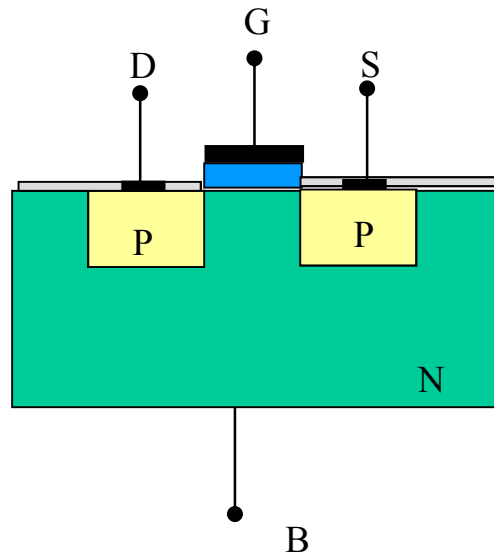
F.T.C.

N MOS enriquecimiento, funcionamiento como conmutador:

	condición	ecuación
CORTE:	$V_{GSQ} \leq V_T$	$I_D = 0$
Conducción:	$V_{GSQ} \geq V_T$	$V_{DS=0}$

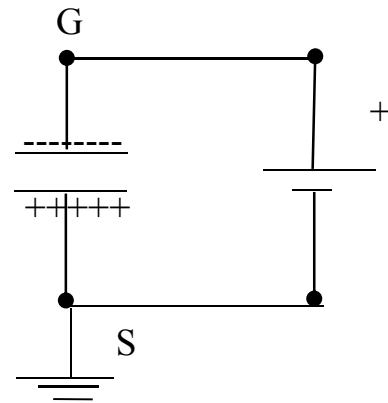
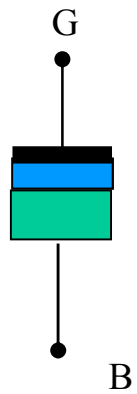
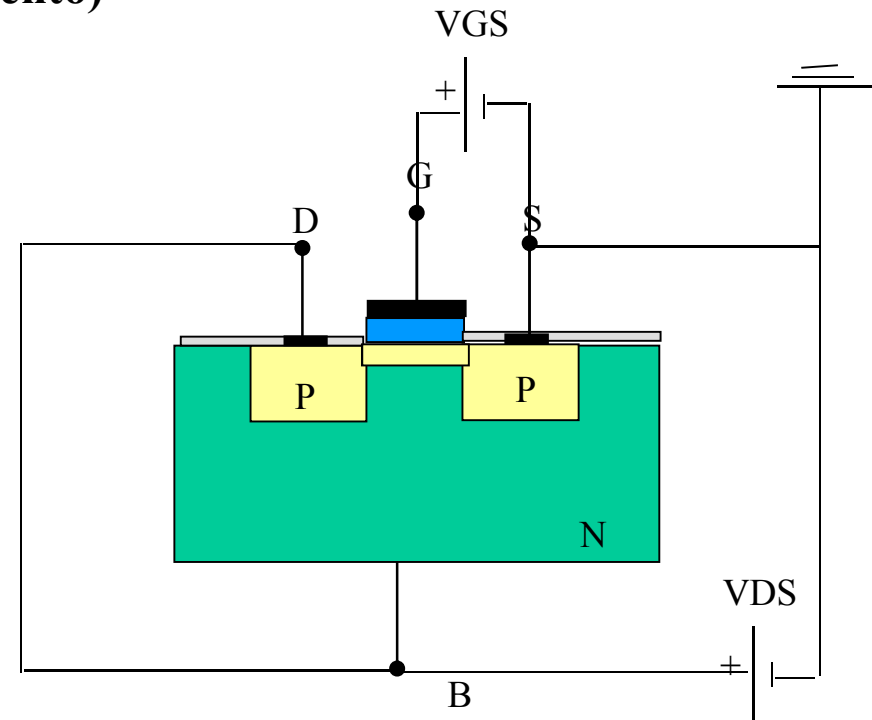
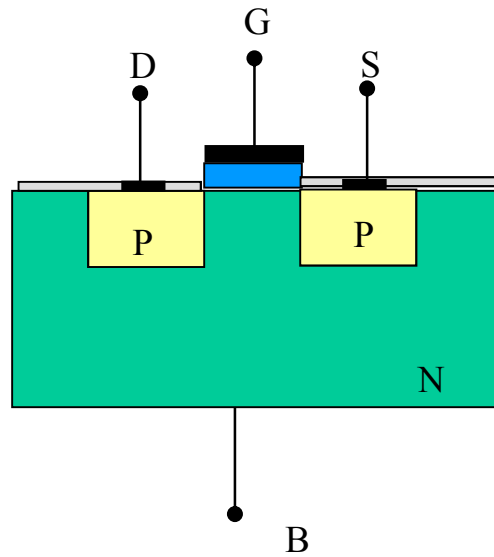


Transistor MOS Canal P (PMOS enriquecimiento)



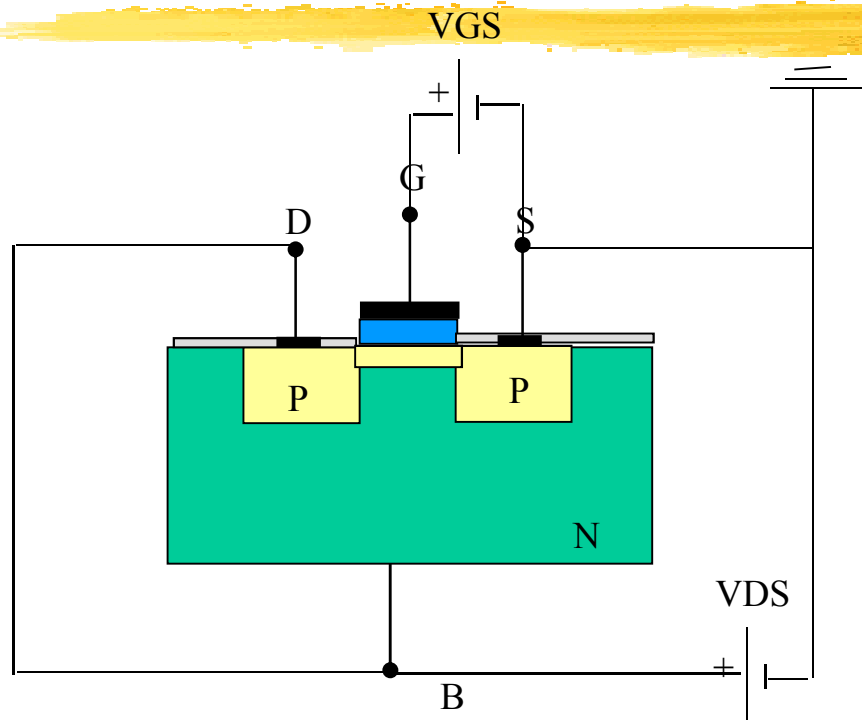
F.T.C.

Transistor MOS Canal P (PMOS enriquecimiento)

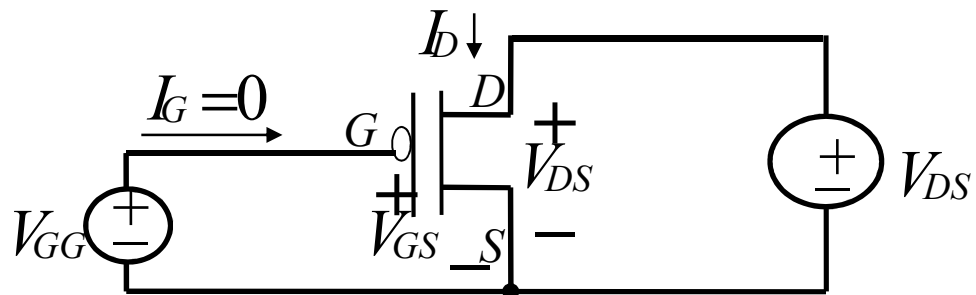


$V_{GS} < 0$

F.T.C.



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



F.T.C.

N MOS enriquecimiento, tres zonas de funcionamiento:

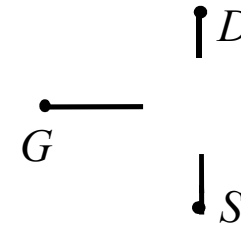
CORTE:

condición

$$V_{GSQ} \geq V_T$$

ecuación

$$I_D = 0$$

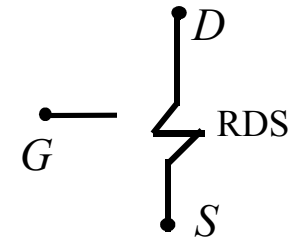


ZONA OHMICA:

$$V_{GSQ} \leq V_T$$

$$V_{DSQ} \leq V_{DSsat}$$

$$I_D = V_{DSS} / R_{DS}$$

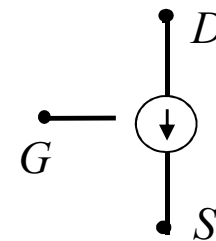


SATURACIÓN:

$$V_{GSQ} \leq V_T \quad I_D = K I_{Don}$$

$$V_{DSQ} \geq V_{DSsat}$$

$$K = \left(\frac{V_{GS} - V_T}{V_{GSon} - V_T} \right)^2$$



F.T.C.

P MOS enriquecimiento, funcionamiento como conmutador:

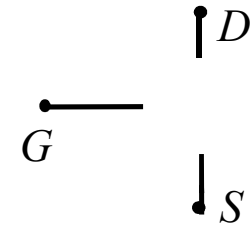
CORTE:

condición

$$V_{GSQ} \geq V_T$$

ecuación

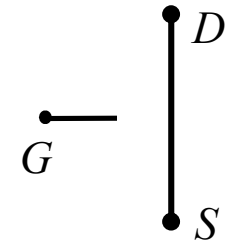
$$I_D = 0$$



Conducción:

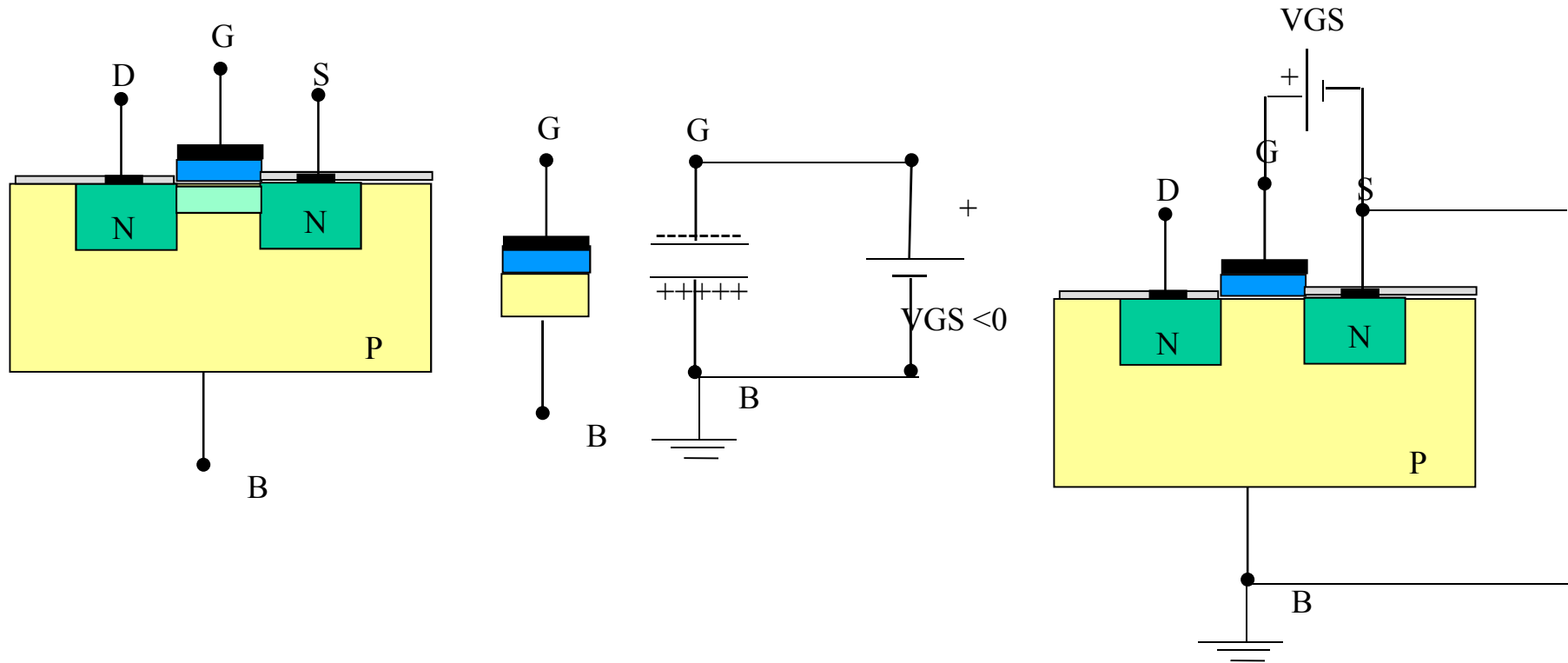
$$V_{GSQ} \leq V_T$$

$$V_{DS=0}$$



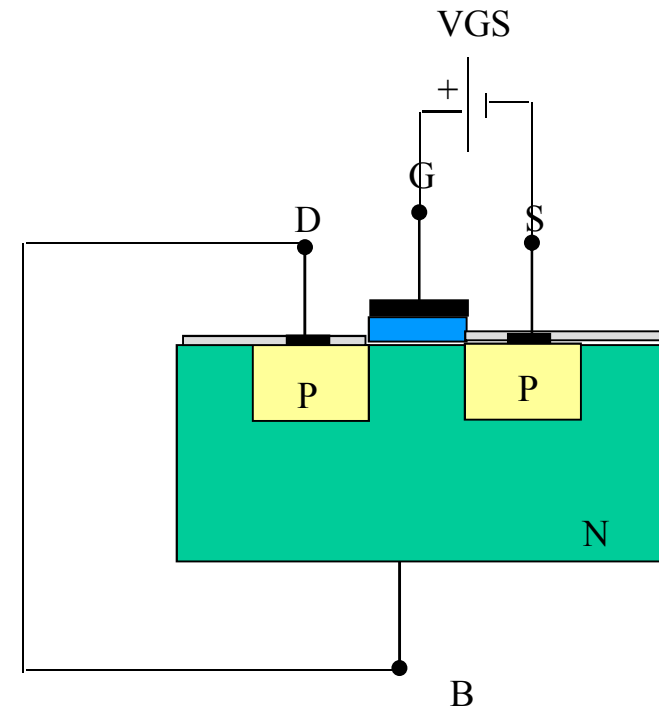
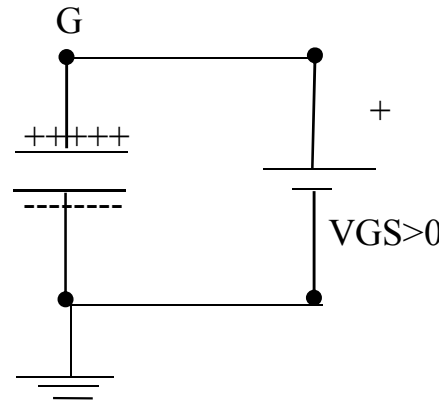
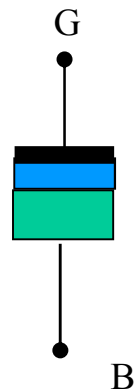
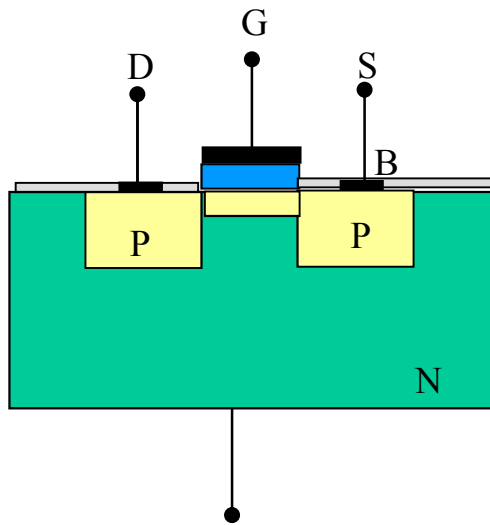
Transistor MOS Canal N (NMOS empobrecimiento)

- Existe un canal en ausencia de tensión aplicada (proceso de fabricación)
- Por defecto y al aplicar una tensión $V_{DS} > 0$ el transistor conduciría
- Para destruir ese canal y hacer que el transistor no conduzca se necesita aplicar una tensión $V_{GS} < 0$



Transistor MOS Canal P (PMOS empobrecimiento)

- Existe un canal en ausencia de tensión aplicada (proceso de fabricación)
- Por defecto y al aplicar una tensión $V_{DS} > 0$ el transistor conduciría
- Para destruir ese canal y hacer que el transistor no conduzca se necesita aplicar una tensión $V_{GS} > 0$



F.T.C.