

Dispositivos semiconductores: el transistor

Tema 6

Contenidos

- ① Transistor bipolar
- ② Estructura MOS
- ③ Transistor MOS
- ④ Tecnología CMOS

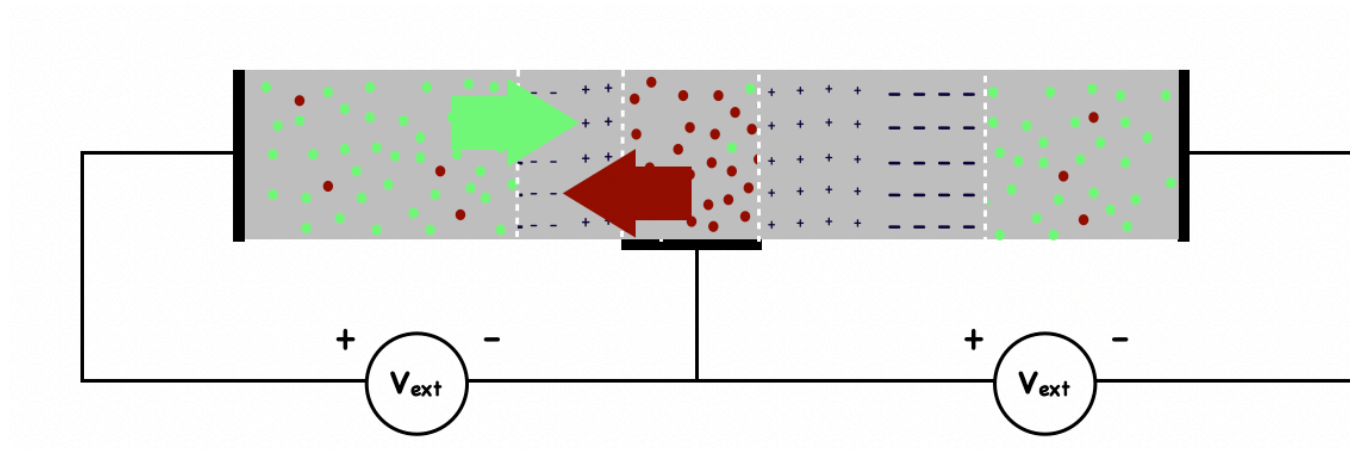
Transistor bipolar

Si unimos dos semiconductores extrínsecos de distinto tipo, crearemos una unión PN (diodo)

Si añadimos otro semiconductor extrínseco poniendo en los extremos los semiconductores del mismo tipo, el resultado serían dos diodos enfrentados (o de espaldas)

Si polarizamos una unión en directa y otra en inversa en el diodo polarizado en directa se produce un trasvase de portadores de donde son mayoritarios hacia donde son minoritarios

En el diodo polarizado en inversa no ocurre nada (la barrera de potencial lo impide)

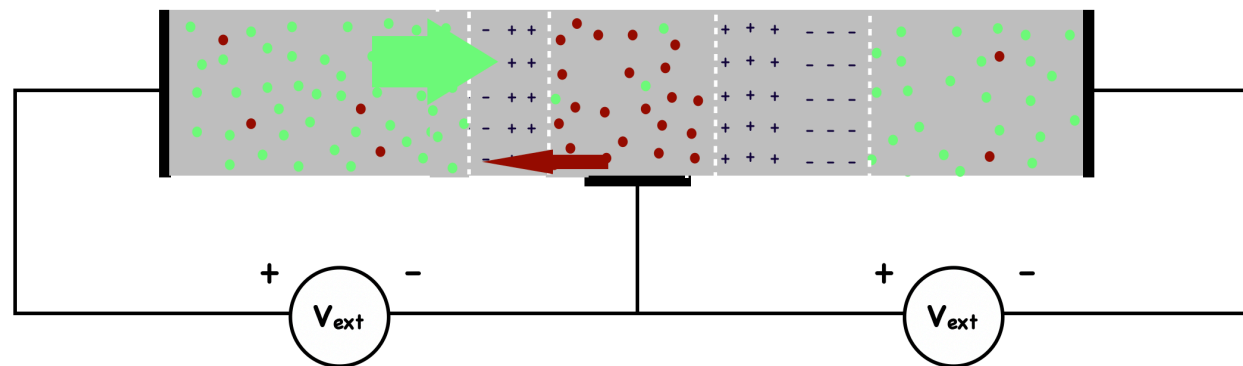


Vamos a hacer unos pocos cambios en nuestra estructura:

1. Vamos a dopar más el semiconductor de la izquierda que los otros dos
2. La primera consecuencia es un desajuste de la zona de vaciamiento de la unión de la izquierda
3. Si polarizamos igual que antes, obtendremos algo parecido pero ahora el flujo de huecos es mayor que el de electrones (debido a su mayor concentración)

Ahora, la corriente es sobre todo debida a la difusión de huecos. Estos pasan al semiconductor tipo N (el del medio) donde se recombinan. Los electrones perdidos por recombinación se reestablecen a partir del circuito

En la parte de la derecha sigue sin haber muchas novedades....



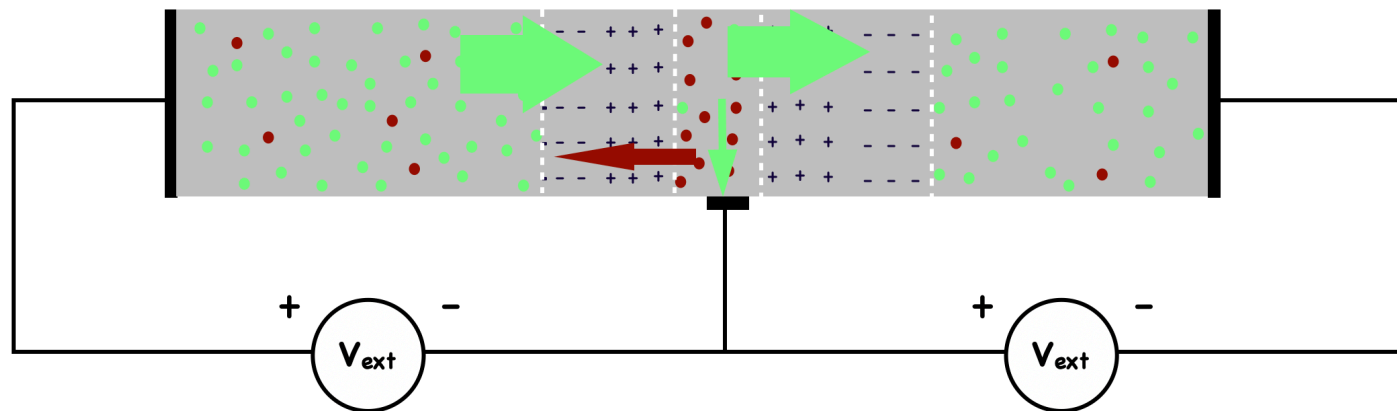
Más cambios:

4. Vamos a hacer el semiconductor del medio más estrecho que los otros dos

5. Volvemos a polarizar

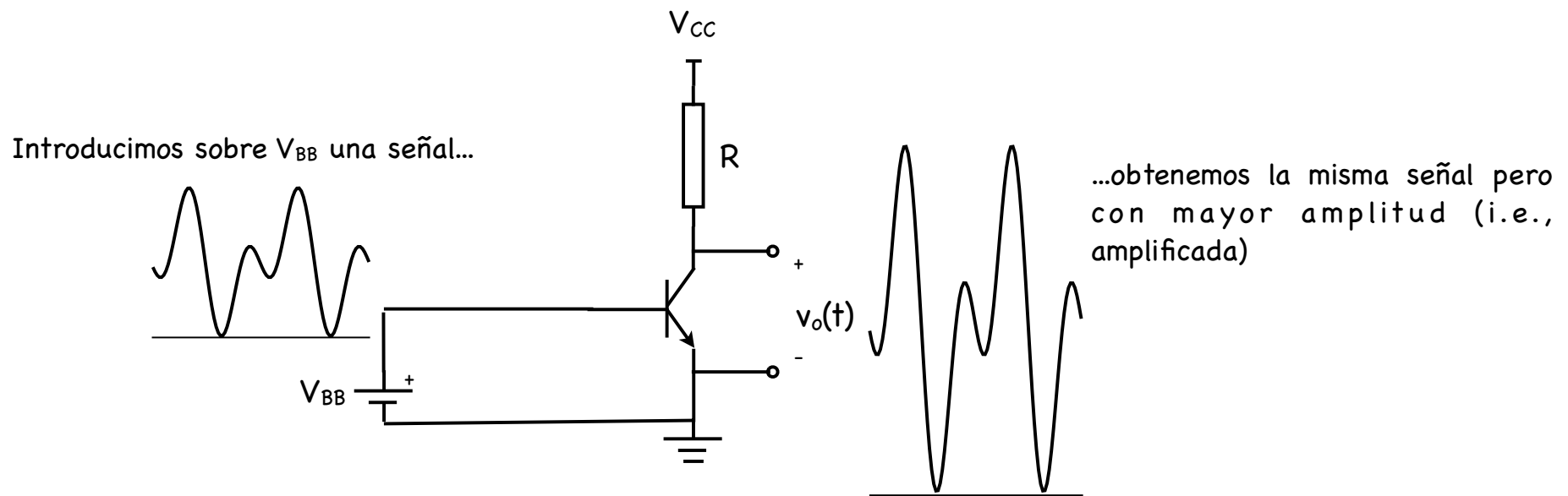
Ahora, la mayoría de los huecos que se difunden desde el semiconductor de la izquierda, atraviesan el semiconductor del medio sin recombinarse. Al alcanzar la región de vaciamiento de la izquierda son arrastrados por el campo eléctrico hacia la zona neutra del semiconductor de la derecha donde, de nuevo, son portadores mayoritarios

Este exceso de huecos sale hacia la fuente de la izquierda: Aparece un flujo de corriente elevada por la unión que estaba polarizada en inversa \Rightarrow Efecto transistor



Un ejemplo de la repercusión de la invención del transistor:

Supongamos que V_{BB} y V_{CC} toman valores apropiados para tener el transistor con la unión base-emisor polarizada en directa y la unión base-colector en inversa \Rightarrow Sistema amplificador

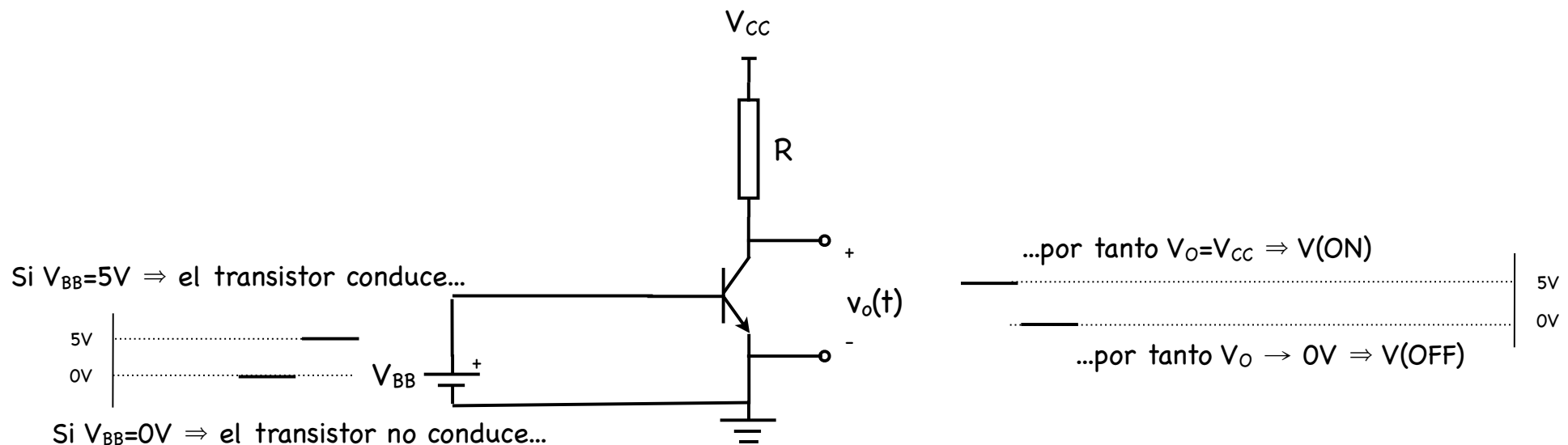


Componente fundamental de los sistemas electrónicos analógicos como equipos de audio, de comunicaciones, de tratamiento de señales e interfaces con el entorno

Otro ejemplo de la repercusión de la invención del transistor:

Sobre el mismo circuito, consideremos

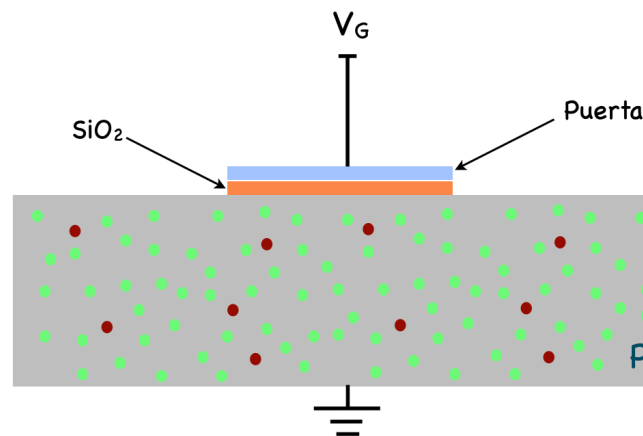
- $V_{CC}=V_{BB}(\text{max})=V(\text{ON})$ (por ejemplo 5V)
- $V_{BB}(\text{min})=V(\text{OFF})$ (por ejemplo 0V)



Hemos construido un inversor, la puerta lógica más elemental y componente fundamental de los sistemas digitales. A partir de variantes de este circuito se puede implementar cualquier función lógica

Estructura MOS

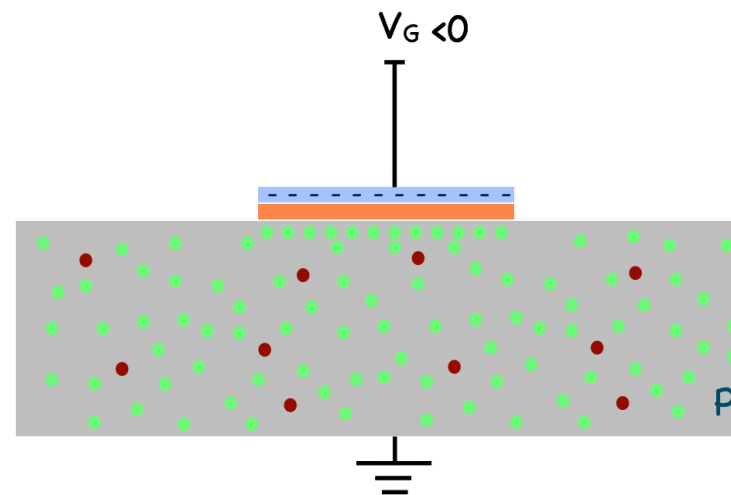
- Partimos de un semiconductor intrínseco (consideraremos silicio) y lo dopamos para convertirlo en un semiconductor extrínseco (por ejemplo de tipo P)
- Situamos en la parte de arriba una capa de óxido (SiO_2)
- Y encima de la capa de óxido una capa metálica que llamaremos puerta (gate)
- Si aplicamos una tensión (V_G) sobre la puerta, el semiconductor situado debajo responderá de diferentes maneras, en función del signo y valor de dicha tensión



Si $V_G < 0$:

- Se depositará carga negativa sobre la puerta, procedente del generador de V_G
- Como consecuencia, se induce una carga positiva al otro lado de la capa de óxido
- Debido a la alta concentración de huecos presente en el semiconductor, la compensación de carga se lleva a cabo fácilmente mediante carga móvil (en este caso, huecos)
- En definitiva, tenemos un comportamiento similar al de un condensador. No hay gran diferencia entre tener un semiconductor en la parte de abajo o un conductor

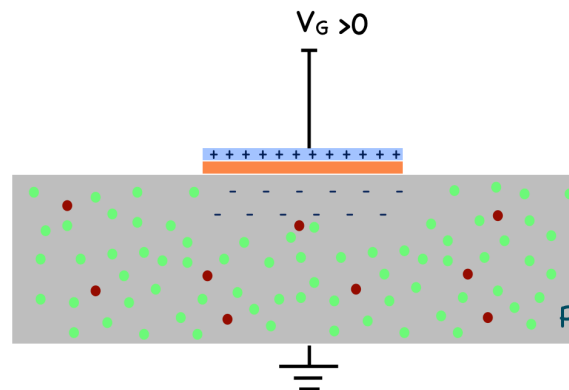
Modo de
acumulación



Si $V_G > 0$:

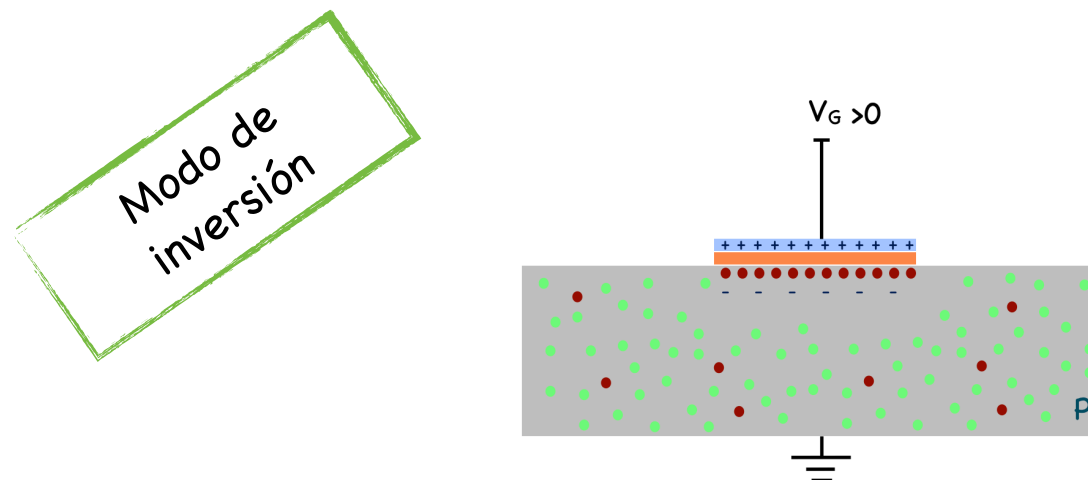
- Se depositará carga positiva sobre la puerta, procedente del generador de V_G
- Como consecuencia, se induciría una carga negativa al otro lado de la capa de óxido, pero:
 1. La cantidad de portadores móviles con carga positiva (electrones libres) podría ser insuficiente para equilibrar la carga de la puerta...
 2. Mientras no se compense dicha carga, existirá un campo eléctrico originado por la carga de la puerta que repelerá a los huecos del semiconductor, alejándolos de la superficie
- Como consecuencia de ambos factores, aparece una capa de vaciamiento (de carga iónica negativa) desde la superficie del semiconductor, que se extiende hacia abajo, hasta compensar la carga positiva de la puerta

Modo de
vaciamiento



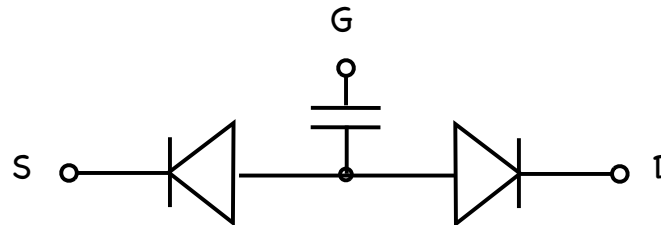
Si $V_G > 0$:

- Si aumentamos V_G , llegará a un valor (dependiente del tipo de estructura) a partir del cual, se empezarán a romper enlaces dando lugar a un crecimiento progresivo de la concentración de electrones libres, que se acumularán en la interfaz óxido-semiconductor, para compensar parcialmente la carga de la puerta
- Este fenómeno es la que nos llevará de nuevo al efecto transistor



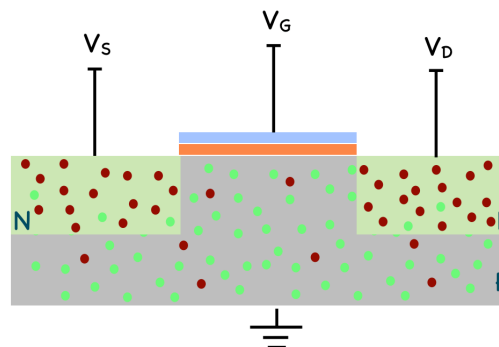
Transistor MOS

- Partimos de la estructura MOS que acabamos de describir
- Llevamos a cabo un dopado del semiconductor a ambos lados de la puerta para crear dos regiones semiconductoras de tipo N
 1. La región tipo N, a la izquierda de la puerta se denomina fuente (source)
 2. La región tipo N, a la derecha de la puerta se denomina drenador (drain)
- Inicialmente, no hemos hecho más que crear un par de diodos conectados como en la figura



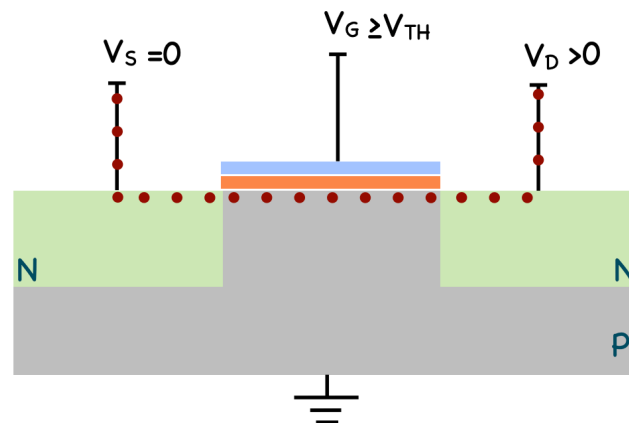
En este circuito nunca fluirá corriente por los dos diodos a la vez

En este circuito nunca fluirá corriente entre el drenador y la fuente

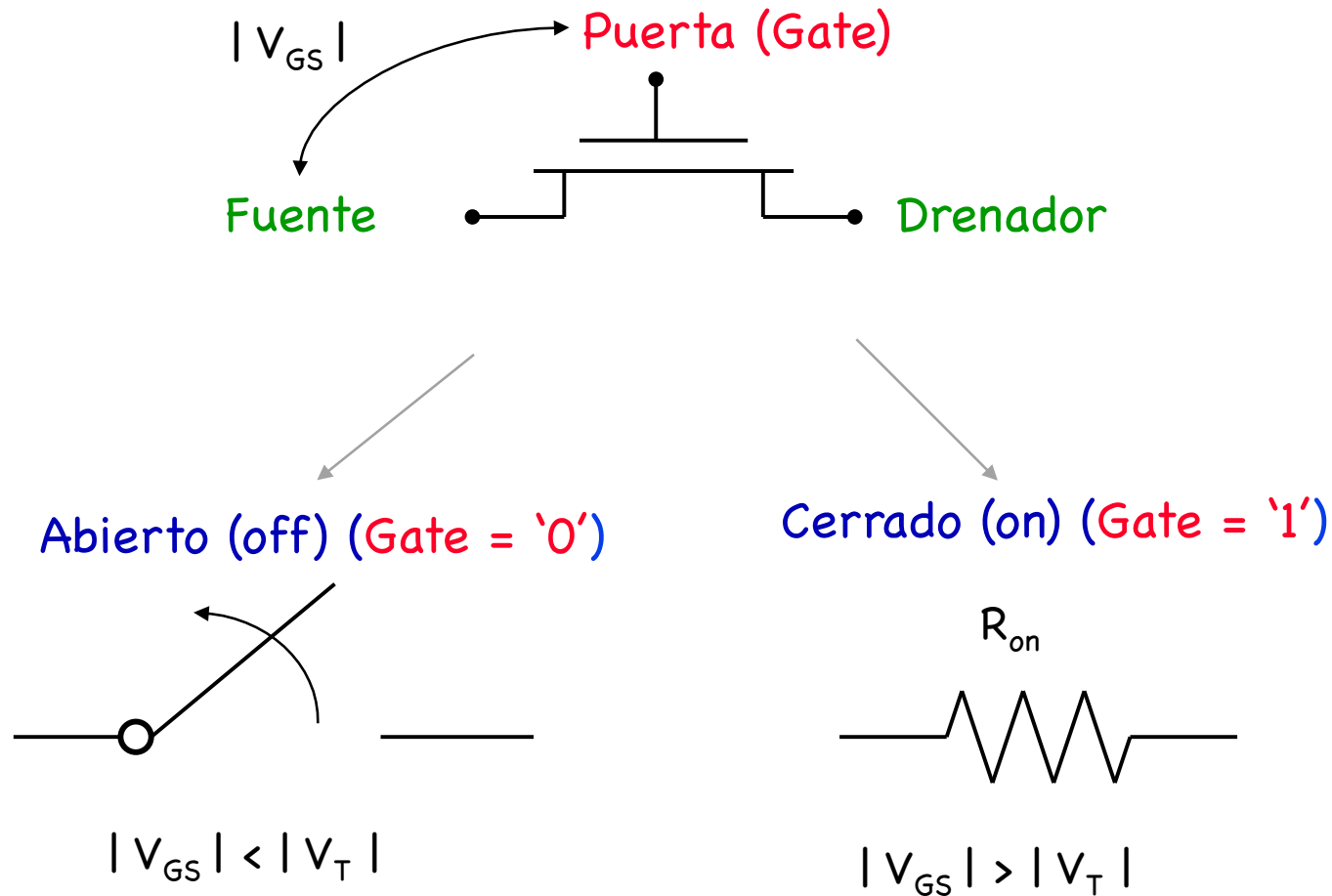


Transistor MOS

- Sin embargo, si aplicamos un potencial suficientemente alto a la puerta, aparece un canal entre el drenador y la fuente que permitirá el flujo de carga entre ambos terminales (en este caso, electrones libres)
- El valor de tensión necesaria para que aparezca canal debajo la puerta, se denomina tensión umbral (V_{TH})
- Si aplicamos una tensión positiva en el drenador, en relación a la fuente, fluirá corriente entre ambos terminales
- Este transistor se denomina transistor MOS de canal N o directamente transistor NMOS

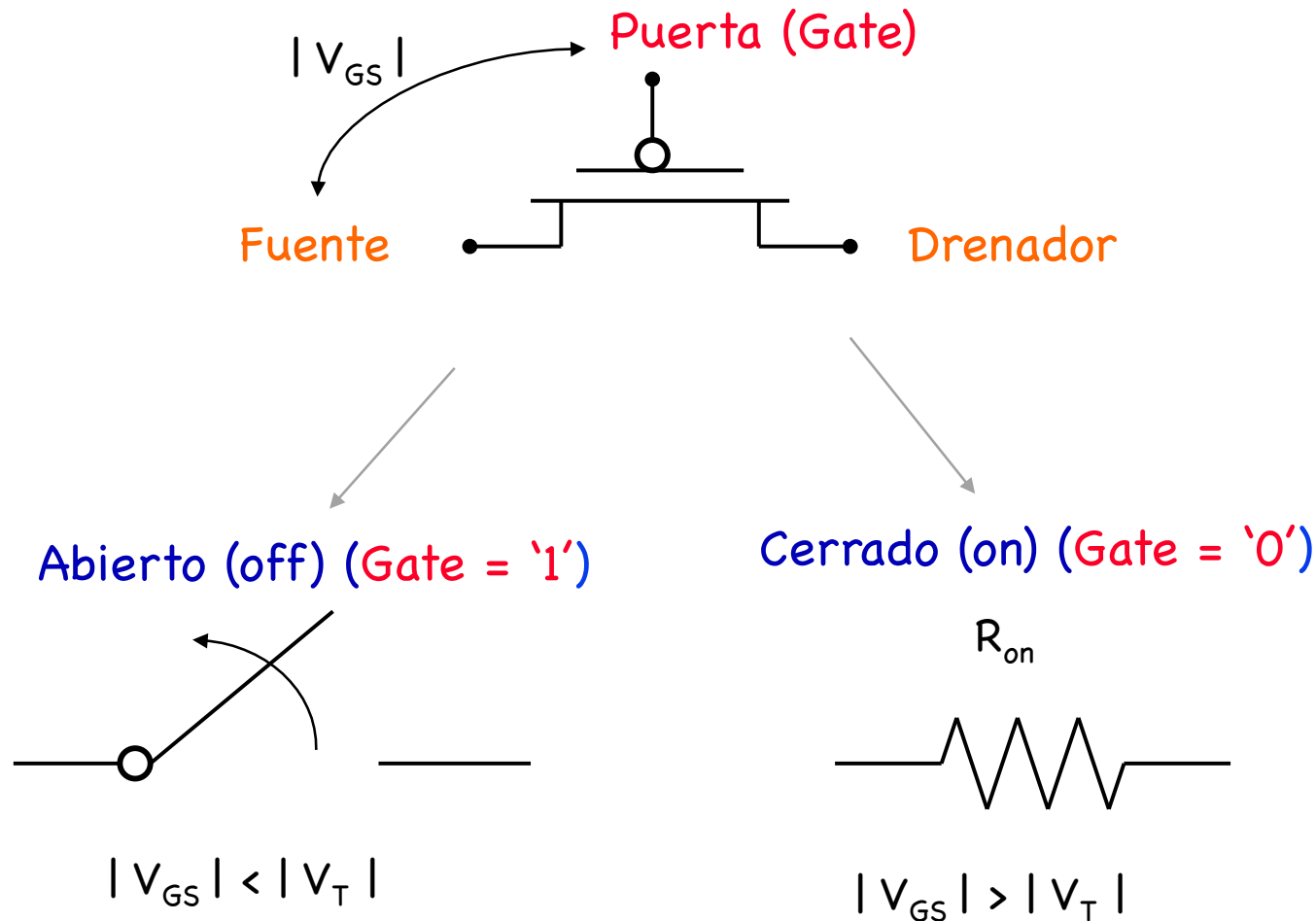


Modelo de conmutador del transistor NMOS



- El valor de la resistencia entre fuente y drenador es inversamente proporcional a la anchura del canal (W) y directamente proporcional a la longitud (L)

Modelo de conmutador del transistor PMOS

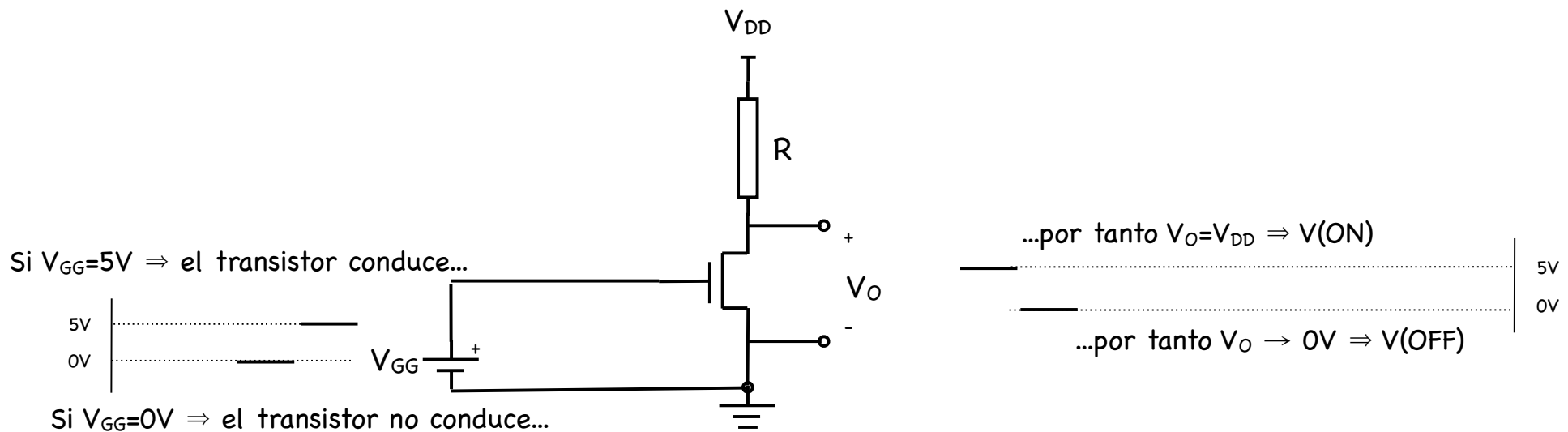


- El valor de la resistencia entre fuente y drenador es inversamente proporcional a la anchura del canal (W) y directamente proporcional a la longitud (L)

Siguiendo un ejemplo similar al del transistor bipolar:

Sobre el siguiente circuito, consideremos

- $V_{DD}=V_{GG}(\text{max})=V(\text{ON})$ (por ejemplo 5V)
- $V_{GG}(\text{min})=V(\text{OFF})$ (por ejemplo 0V)

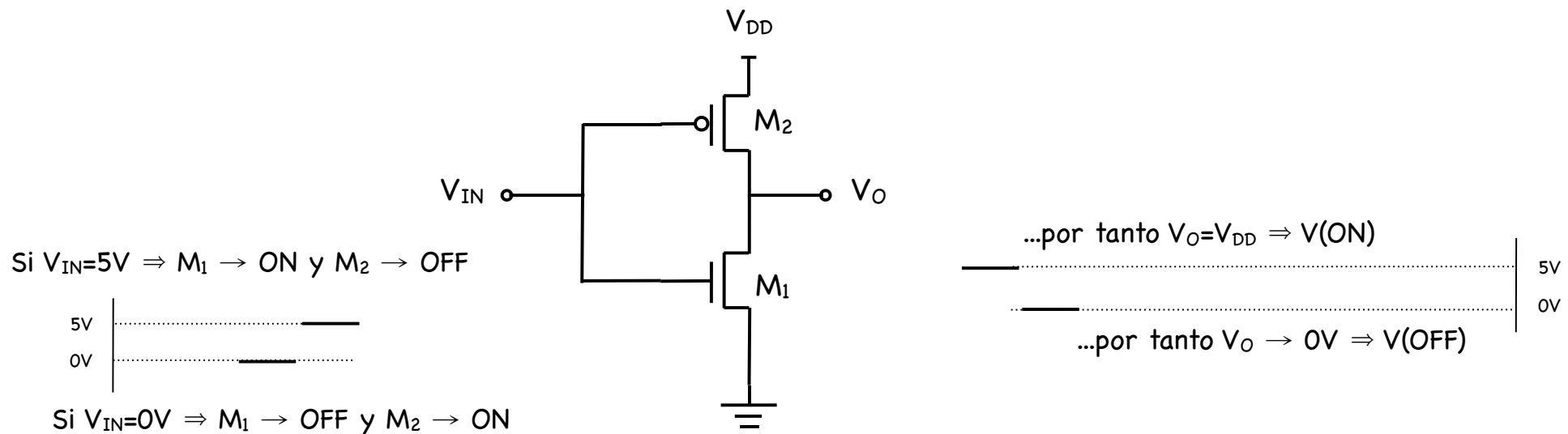


Hemos construido un inversor, igual que antes. Sin embargo, hay una diferencia notable entre el funcionamiento de la versión MOS y la versión bipolar: En el transistor MOS no fluye corriente por el terminal de puerta \Rightarrow Menor consumo de potencia

Tecnología CMOS

Vamos a hacer un nuevo inversor pero con un transistor PMOS en lugar de una resistencia. Seguimos manteniendo los valores de antes

- $V_{DD}=V_{GG}(\text{max})=V(\text{ON})$ (por ejemplo 5V)
- $V_{GG}(\text{min})=V(\text{OFF})$ (por ejemplo 0V)



De nuevo tenemos un inversor, igual que antes. Sin embargo, ahora en situación estable (salida ON o salida OFF) no hay paso de corriente por ninguna parte del circuito. Hemos reducido notablemente el consumo de potencia

Este tipo de circuitos, que combinan transistores NMOS con PMOS constituyen la denominada tecnología CMOS