

Tecnología de los componentes electrónicos

Unidad 1.2 Semiconductores

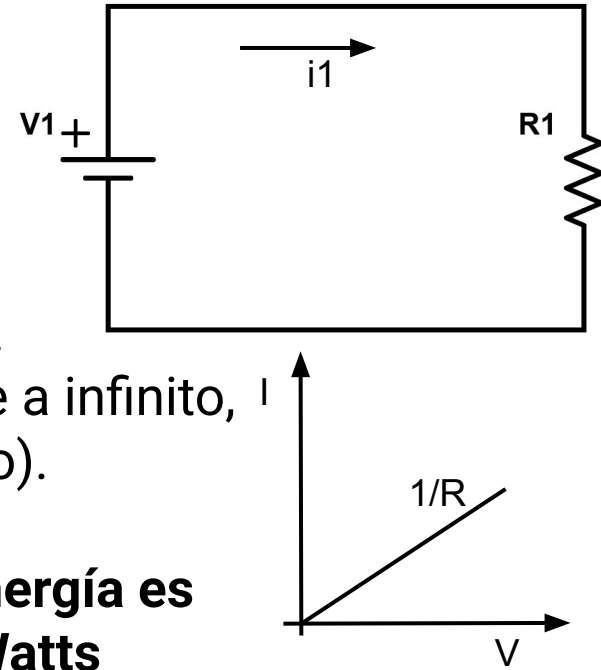
Versión 2024.01
Fundamentos de Sistemas Embebidos

Elementos lineales

Una **resistencia** es un elemento lineal. Sabiendo que $V = I \cdot R$, podemos graficar a I en función de V ... $I(V)$... despejando $I = V \cdot 1/R$. Vemos que es una **función lineal** cuya pendiente es $1/R$ y la ordenada al origen 0.

Notamos que **si la resistencia es casi cero**, $1/R$ tiende a infinito, I por ende **necesitamos corriente infinita** (corto circuito).

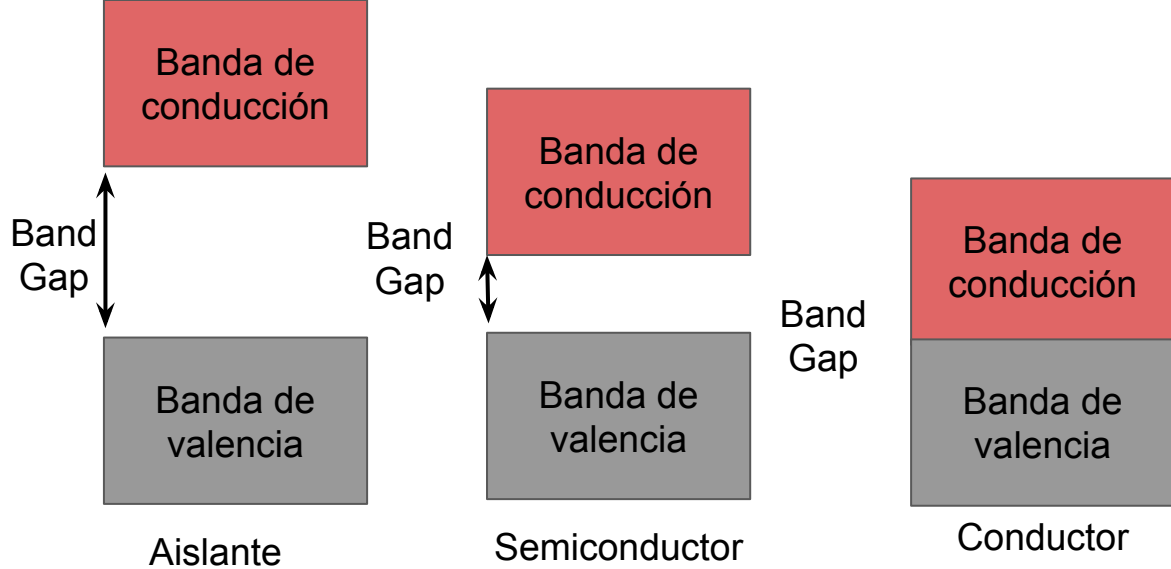
Definimos la **potencia** como una medida de **cuánta energía es utilizada en un intervalo de tiempo**. La medimos en **Watts** (joules/s), y la calculamos como la tensión por la corriente ($P = I \cdot V$). En el caso de utilizar resistencias, utilizando ohm, podemos plantear la potencia como $P = I^2 R = V^2 / R$. Tanto los resistores como las fuentes (baterías) soportan una potencia máxima. Exceder esa potencia máxima destruye al elemento.



Modelo de Bandas

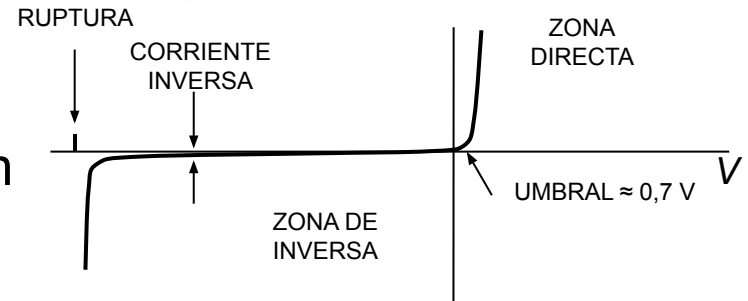
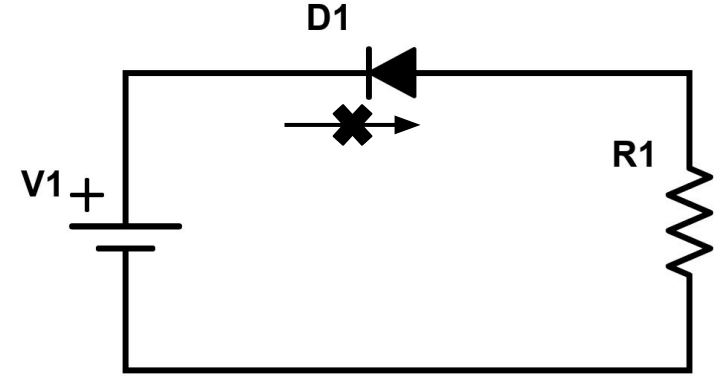
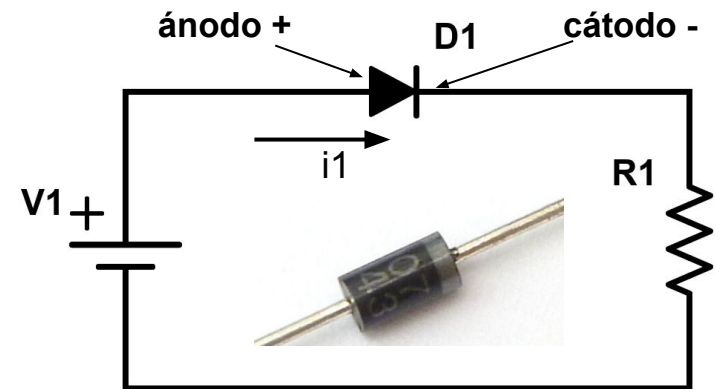
En los sólidos los electrones se agrupan según su nivel de energía formando niveles no discretos que llamamos *bandas*. La de menor energía es la de *valencia*, y la mayor energía es la de

conducción. La separación entre ambas se conoce como *Band-Gap*. Mientras **menor sea el Band-Gap, mejor conductor** es el sólido. En el conductor los electrones necesitan menos energía para pasar de valencia a conducción. Los aislantes (como el aire) requieren mucha energía (como por ejemplo una alta tensión) para conducir. Los **semiconductores van a conducir en ciertas circunstancias** que si no se cumplen el sólido se comporta como aislante. Esto es un tema de química, nosotros vamos a estudiarlos desde la práctica.



Elementos NO lineales

El **diode** es un elemento de estado sólido, construido generalmente de silicio (0,7V) o germanio (0,3V) el cual es dopado para convertirlo en un **semiconductor**. Cuando la diferencia de potencial entre ánodo (positivo) y cátodo (negativo) supera la tensión de umbral permite la circulación de corriente. A esto se lo conoce como **polarización en directa**. Si se polariza en inversa entonces no deja circular corriente, salvo que se alcance la tensión de ruptura. En la vida real no funcionan como llaves perfectas. Existen límites en cuanto a la corriente que circula cuando está polarizado en directa.



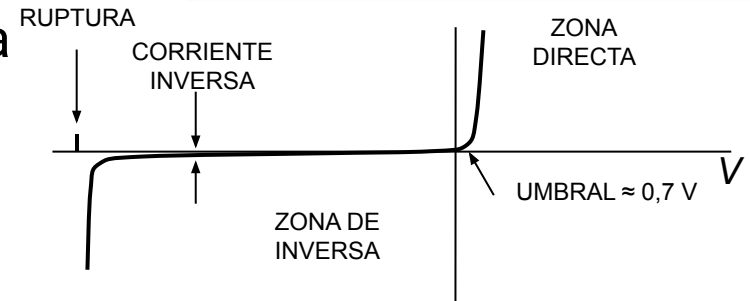
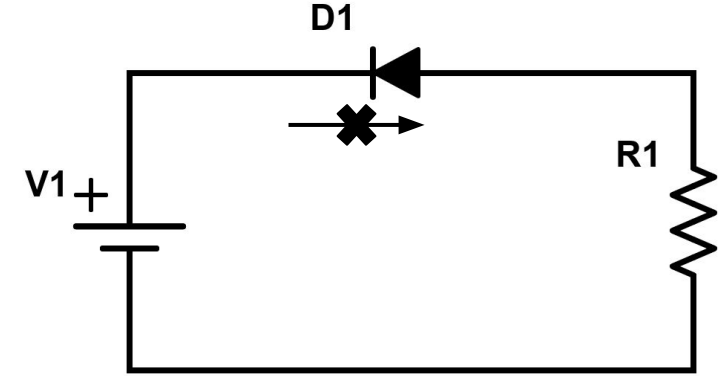
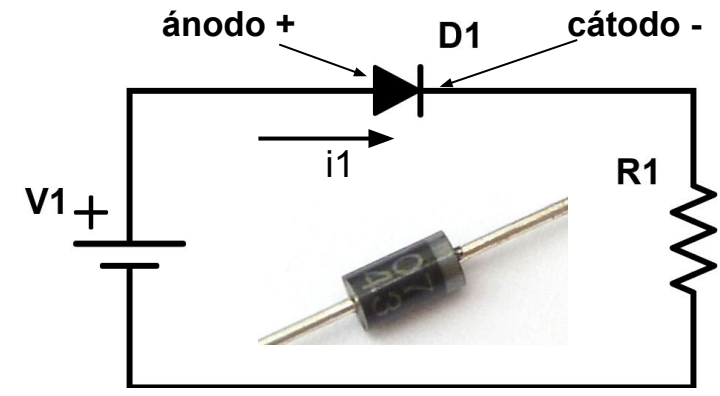
LVK

En el caso de D1 polarizado en directa (arriba), podemos plantear LVK tomando al diodo como una caída de tensión (en este caso el umbral).

Entonces $V_1 - V_{D1} - V_{R1} = 0$.

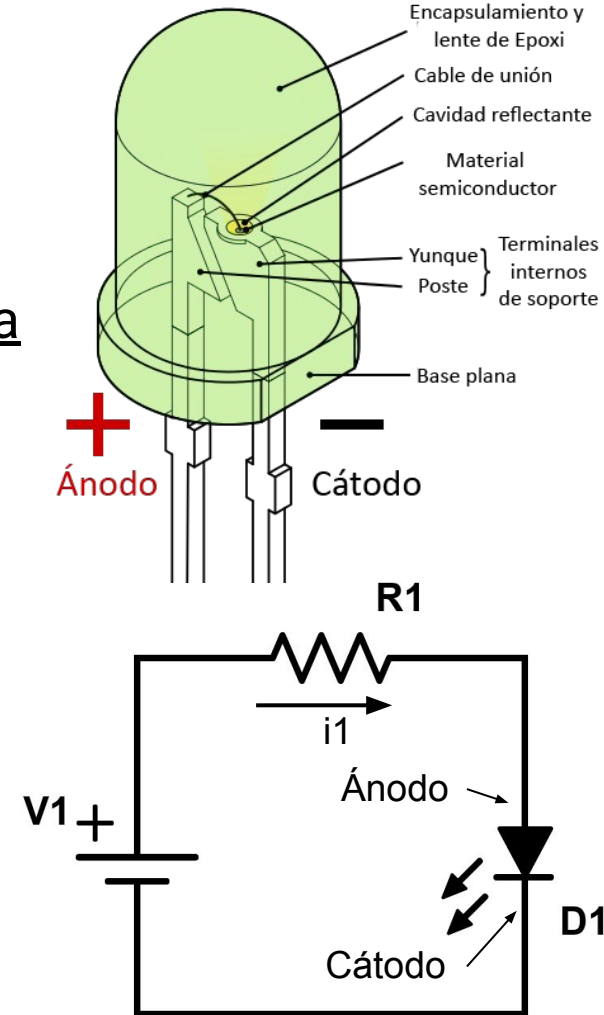
En el caso que la diferencia de potencial en D1 no supere el umbral, entonces **NO** circula corriente (salvo una despreciable corriente de fuga).

En el caso de D1 polarizado en inversa, mientras la diferencia de potencial no supere la tensión de ruptura, en este circuito NO circula corriente (salvo una despreciable corriente de fuga).



Light Emitting Diode (LED)

Un diodo emisor de luz requiere mayor tensión de umbral debido al material con el que se construye (arseniuro de galio - GaAs). Al estar **polarizado en directa emite luz**. La intensidad de la luz depende de la corriente que circule, la cual limitamos con una resistencia en serie en la malla. La corriente máxima suele estar en el orden de 20mA. Debemos entonces calcular R_1 para limitar la corriente. Ej: $V_1=5V$, y el umbral de $D_1=2V$, planteamos $V_1 - V_{R_1} - V_{D_1} = 0$, y obtenemos que $5 - (0,02 \cdot R) - 2 = 0$, luego $R = 150\Omega$. La tensión en el ánodo será en este caso de 2V. Recuerde que V_1 tiene que ser mayor a la tensión de umbral (sino el diodo no deja circular corriente).

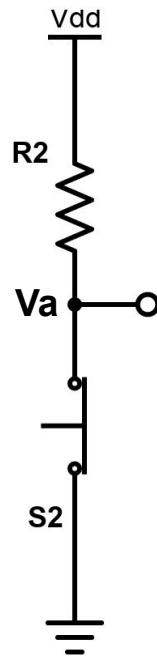
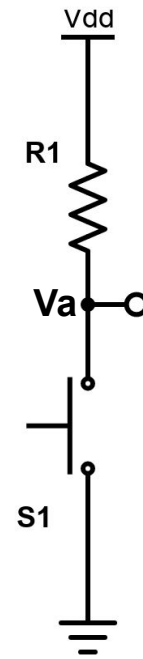


Interacción con pulsadores

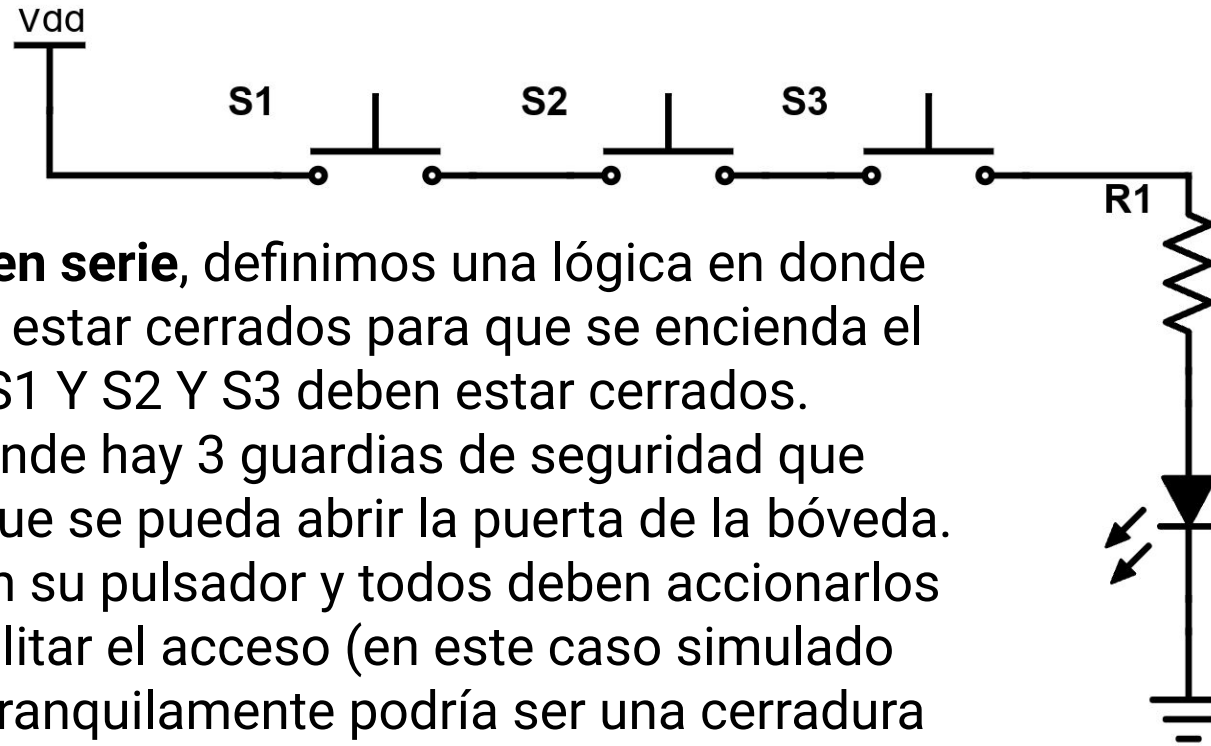
Podemos utilizar pulsadores mecánicos para controlar la corriente. En este caso S1 es un pulsador **Normal Abierto** (NA) que en su estado de reposo NO deja circular corriente.

Por ende el punto Va tendrá potencial cuando el pulsador no esté presionado. Al presionarlo el punto Va queda a potencial de masa y por ende no tiene más potencial eléctrico. El otro circuito posee a S2 que es un pulsador **Normal Cerrado** (NC), el cual **permite circular corriente normalmente hasta que se lo presiona** donde

desconecta el punto Va de masa. Estos pulsadores mecánicos nos permiten controlar lo que sucede con la corriente y como consecuencia cambiar el nivel de potencial en ciertos puntos del circuito. Vamos a utilizar esto para fabricar circuitos útiles que nos permitan controlar elementos variando las tensiones.



Lógica Serie (AND)



Si utilizamos los **pulsadores en serie**, definimos una lógica en donde TODOS los pulsadores deben estar cerrados para que se encienda el LED. Decimos entonces que S1 Y S2 Y S3 deben estar cerrados.

Supongamos un banco en donde hay 3 guardias de seguridad que deben estar presentes para que se pueda abrir la puerta de la bóveda. Cada guardia debería estar en su pulsador y todos deben accionarlos al mismo momento para habilitar el acceso (en este caso simulado con un LED encendido, pero tranquilamente podría ser una cerradura electromagnética que se abre).

A este tipo de lógica la conocemos como AND.

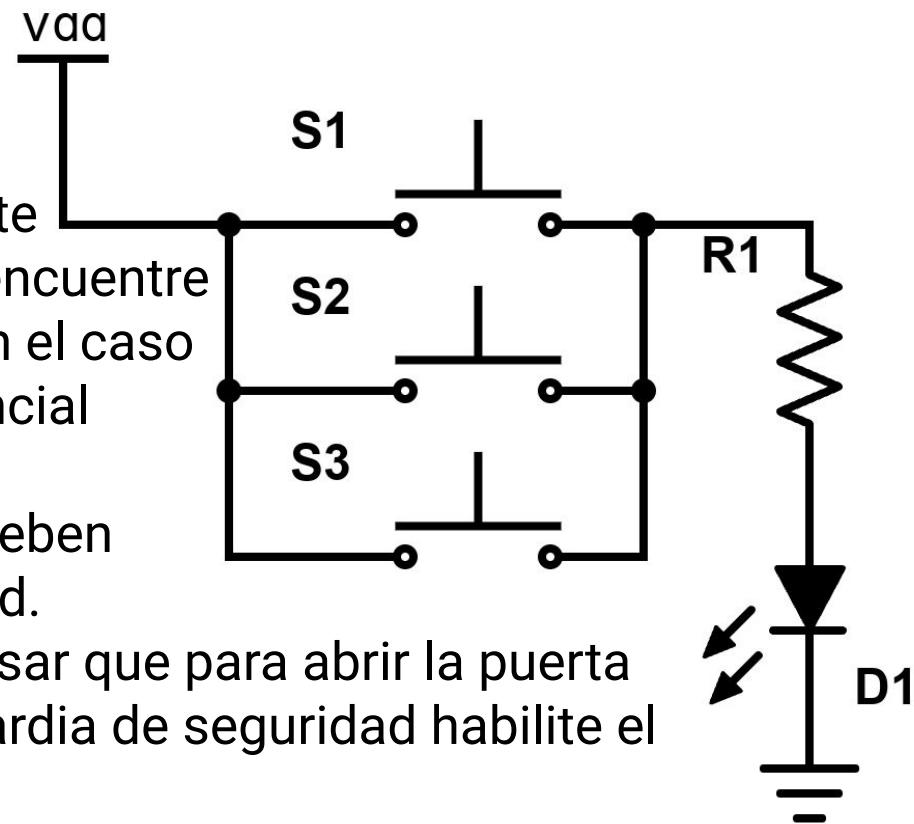
Lógica en Paralelo (OR)

Tenemos ahora otro ejemplo en donde estudiamos una lógica en **paralelo**. En este caso basta con que solo un pulsador se encuentre presionado y el LED se van a encender. En el caso que más de uno esté presionado, el potencial aplicado a R1 es el mismo.

En este caso decimos que S1 o S2 o S3 deben estar pulsados para que se encienda el led.

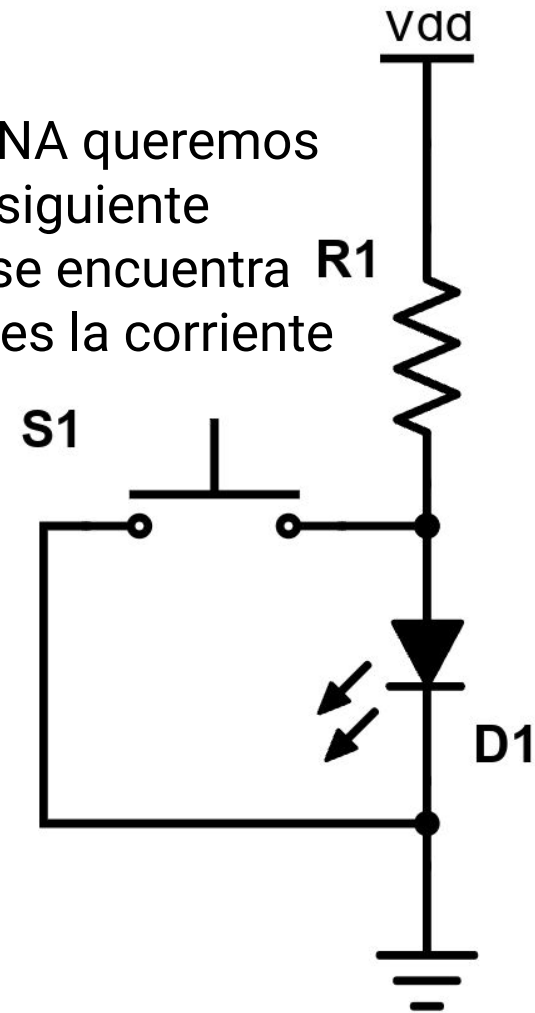
En el caso del banco, sería análogo a pensar que para abrir la puerta de la bóveda alcanza con que solo un guardia de seguridad habilite el acceso a la misma.

A este tipo de lógica la conocemos como OR.



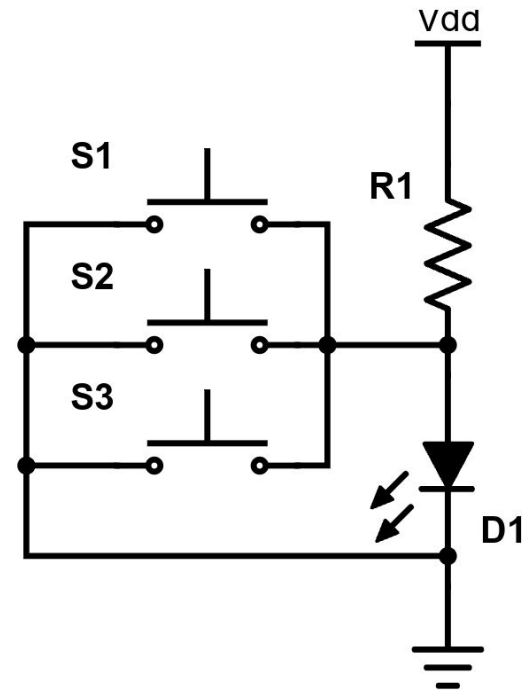
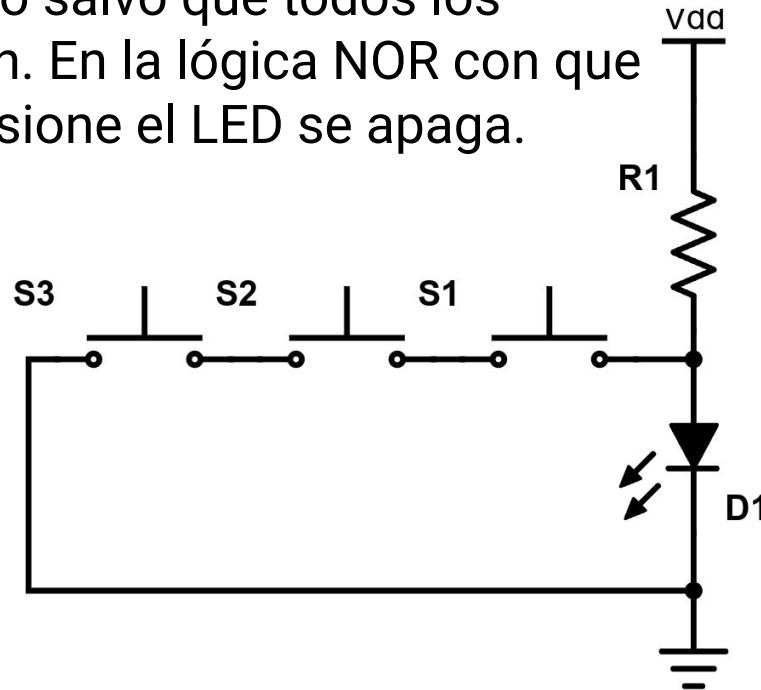
Lógica Negada (NOT)

Si bien tenemos pulsadores NA y NC, si con un pulsador NA queremos implementar una negación (invertir), implementamos el siguiente circuito de forma que el LED se enciende cuando S1 NO se encuentra pulsado. En el caso que S1 se encuentre pulsado, entonces la corriente *encuentra un camino directo* a masa, o sea, D1 queda en su ánodo a potencial de masa, por ende no supera la tensión de umbral y el LED se apaga. Esta lógica la definimos como NO S1. A este tipo de lógica la conocemos como NOT.



Lógica NAND (Not AND) y Lógica NOR (Not OR)

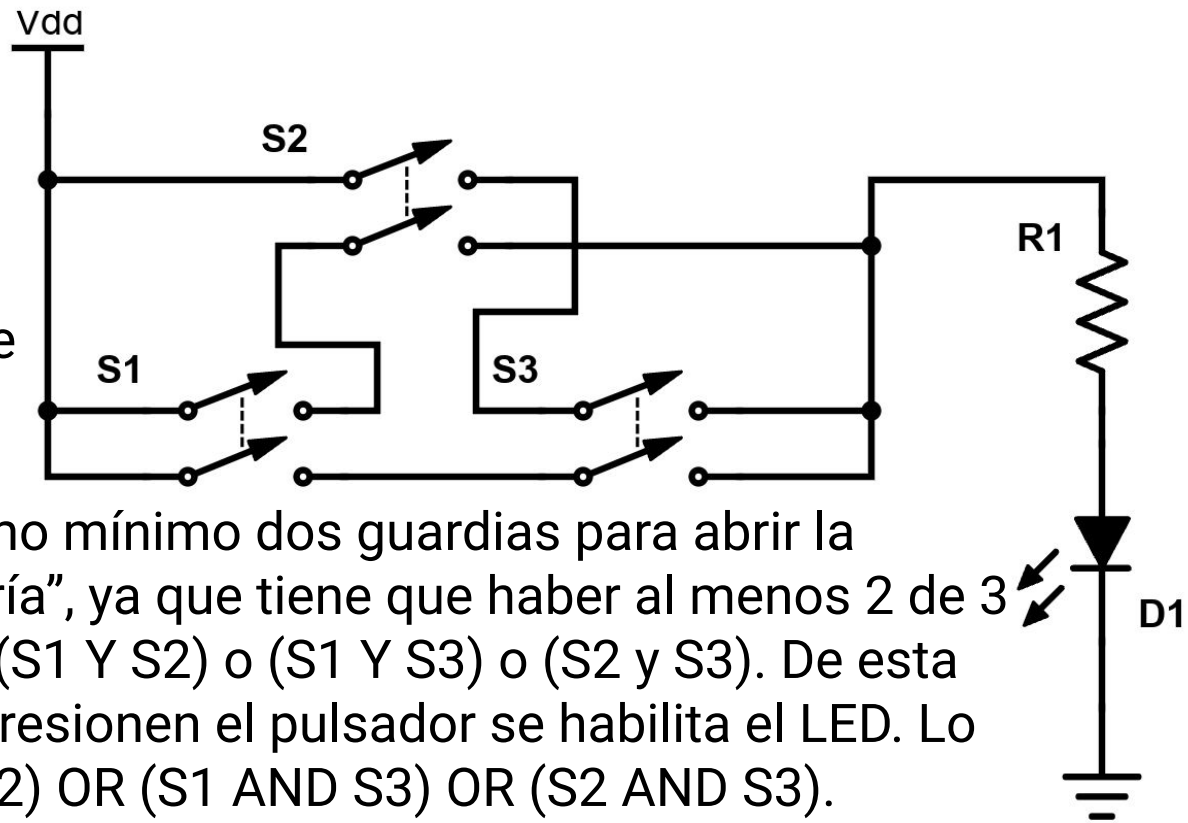
Vemos que combinando NOT con AND y OR podemos generar lógicas del tipo NAND y NOR. En la lógica NAND vemos que funciona como serie (AND) pero negando el LED. Es decir NO (S1 Y S2 Y S3). El LED se mantendrá en encendido salvo que todos los pulsadores se presionen. En la lógica NOR con que un solo pulsador se presione el LED se apaga.



Lógicas combinadas

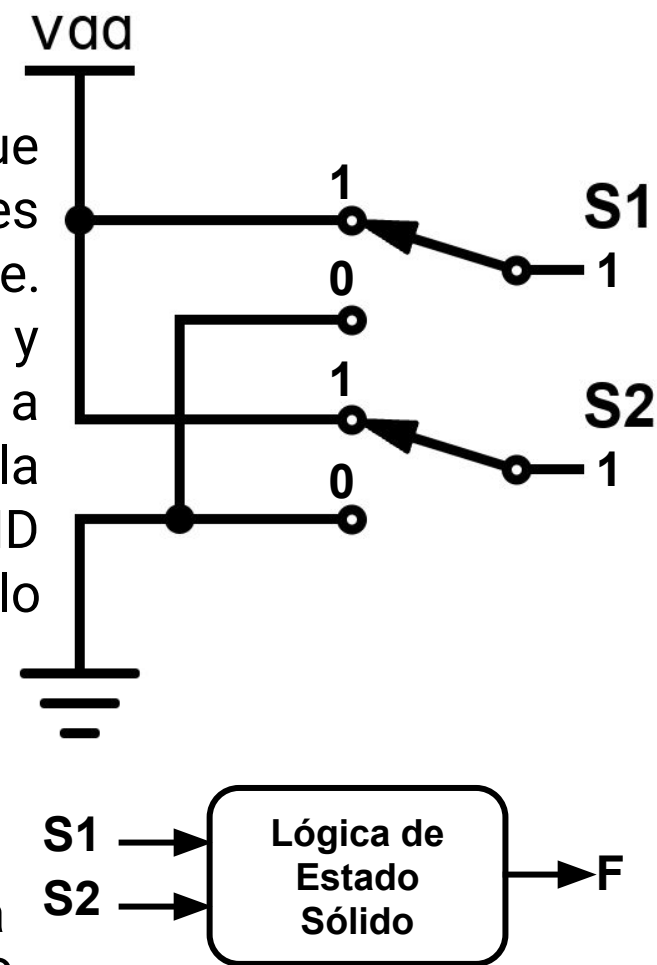
Si deseamos una lógica más compleja, vamos a requerir de pulsadores que permitan controlar más de una corriente a la vez con la acción del pulsador. Supongamos que queremos hacer que haya como mínimo dos guardias para abrir la bóveda. Esta sería una “mayoría”, ya que tiene que haber al menos 2 de 3 guardias. Lo definimos como (S1 Y S2) o (S1 Y S3) o (S2 y S3). De esta forma con que dos guardias presionen el pulsador se habilita el LED. Lo resumimos en $D1 = (S1 \text{ AND } S2) \text{ OR } (S1 \text{ AND } S3) \text{ OR } (S2 \text{ AND } S3)$.

El problema ahora es que necesitamos pulsadores múltiples que manejen tantas corrientes como la cantidad de veces que aparezcan en la lógica. Si por ejemplo S1 apareciera 6 veces, necesitamos S1 séxtuple.



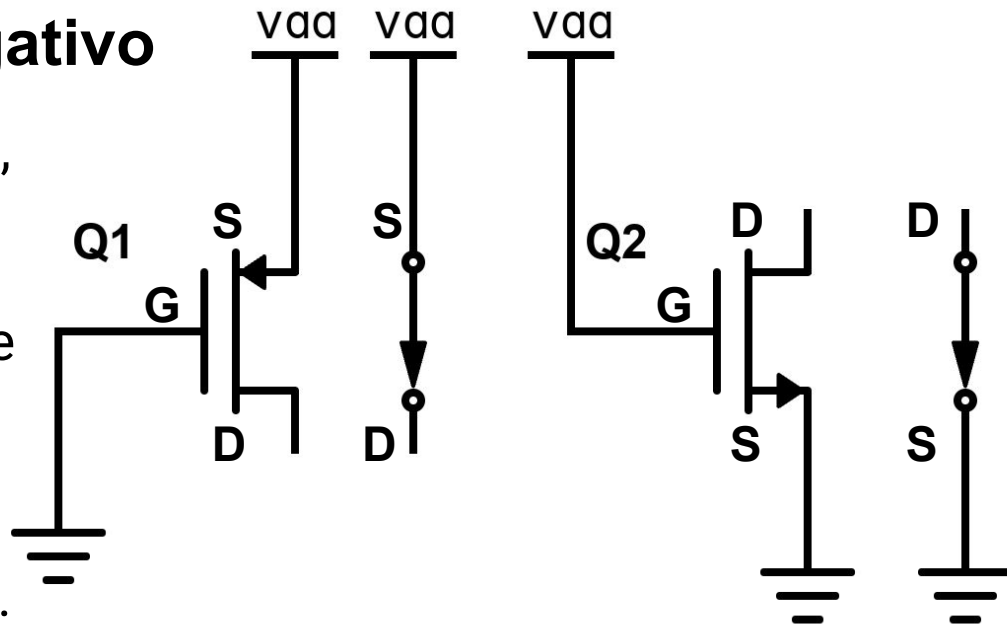
Lógicas más complejas

Hasta ahora hemos usado entradas (pulsadores) que conectaban Vdd cuando eran pulsados y la salida es un LED el cual se enciende si circula corriente. Vamos a hablar entonces de señales de entrada y señal de salida. Si la señal de entrada se encuentra a potencial de Vdd vamos a decir que está en 1. Si la señal de entrada se encuentra a potencial de GND (masa) vamos a decir que está en 0. En este ejemplo S1 y S2 están ambas en 1. Si la salida se encuentra a potencial de Vdd vamos a decir que está en 1 mientras que si está a potencial de GND está en 0. Esta salida (F) ahora puede ser la entrada de otro circuito o simplemente conectamos un LED con una resistencia. Para esto utilizaremos transistores MOS.



Llave a positivo y llave a negativo

Usamos dos tipos de llaves (switchs), el transistor tipo PMOS y el NMOS. Ambos poseen 3 terminales, G (gate) que controla el flujo de corriente entre S (source) y D (drain). En el caso de **Q1** (PMOS), si $G = \text{GND}$, entonces al conectar Vdd a S obtenemos Vdd en D. Si $G = \text{VDD}$ entonces no circula en D.

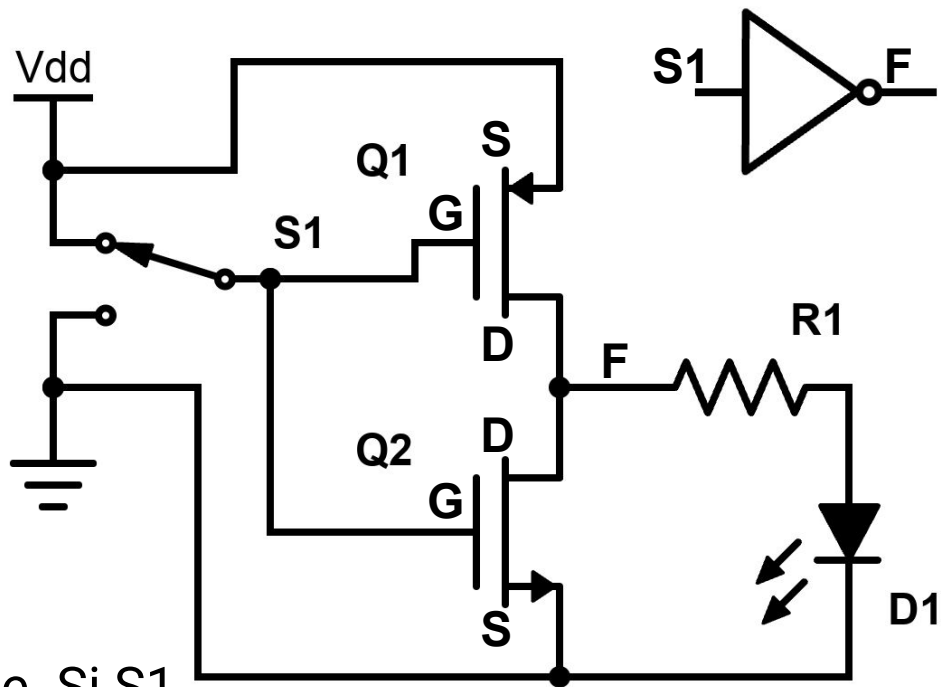


En el caso de **Q2** (NMOS), si $G = \text{Vdd}$, entonces al conectar GND a S obtenemos GND en D. Si $G = \text{GND}$ entonces no circula corriente en D, queda “al aire”. Con estos transistores podemos definir el potencial en D dependiendo del valor de tensión que tengamos en G. Hay que tener en cuenta que si en D queremos Vdd entonces vamos a usar un tipo P. Si queremos GND vamos a utilizar entonces un tipo N. Nótese el sentido de las flechas en S indicando el tipo.

Inversor (NOT) CMOS

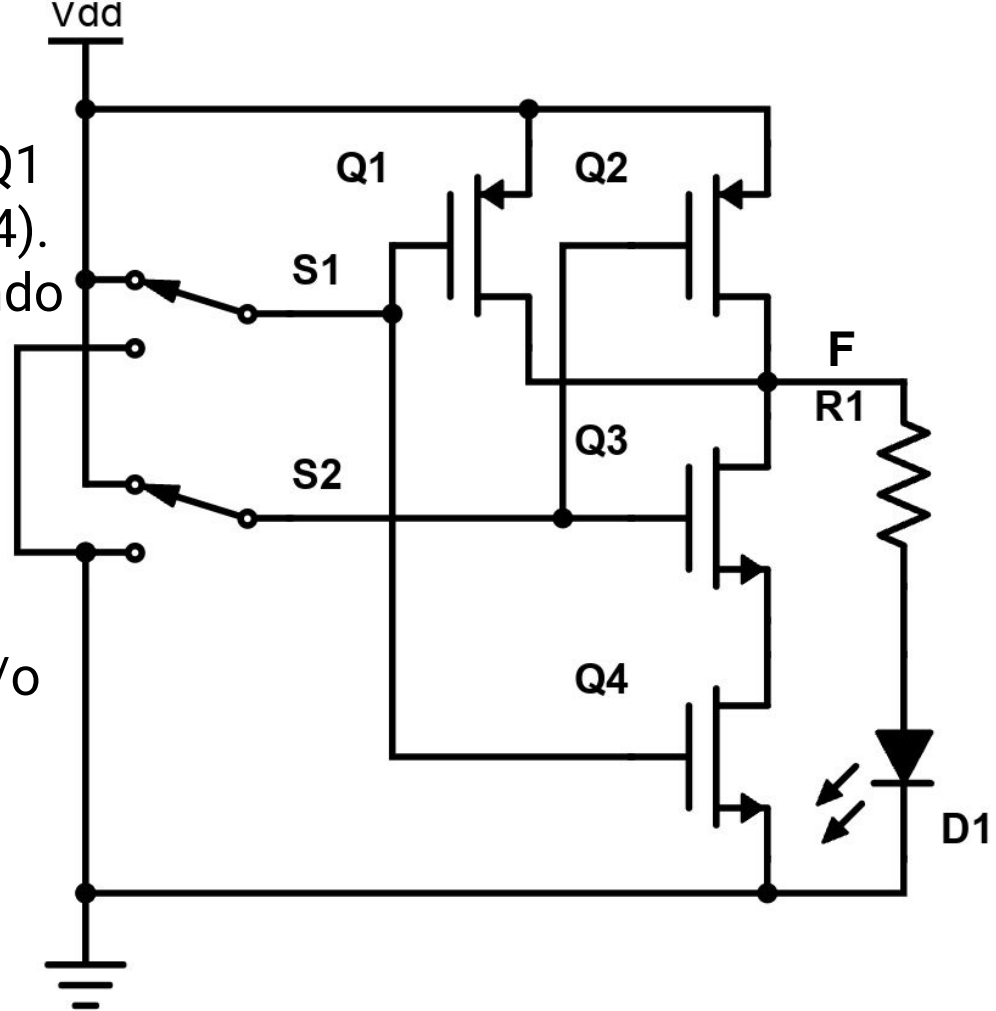
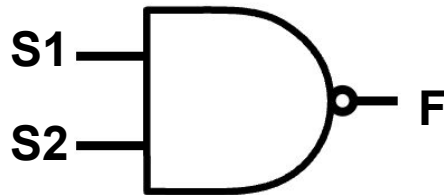
Utilizando un transistor PMOS y otro NMOS fabricamos un inversor CMOS. Notamos que S1 es la entrada, que puede estar en 1 (Vdd) o 0 (GND). En el caso de Vdd el PMOS (Q1) tiene Vdd en G por ende no circula corriente. En cambio el NMOS (Q2) conduce entre D y S dejando la salida F a potencial GND.

En este caso ($F=0$) el LED no se enciende. Si S1 se conecta a GND, entonces el NMOS no conduce pero si lo hace el PMOS que deja la salida F a potencial de Vdd ($F=1$) y enciende el LED. Si bien en este caso conectamos S1 a un switch que elige entre Vdd y GND, ese punto donde ingresa S1 podría estar conectado a la salida de otro circuito, permitiendo negar (NOT) cualquier otro circuito lógico utilizando solo estos dos transistores.



NAND CMOS

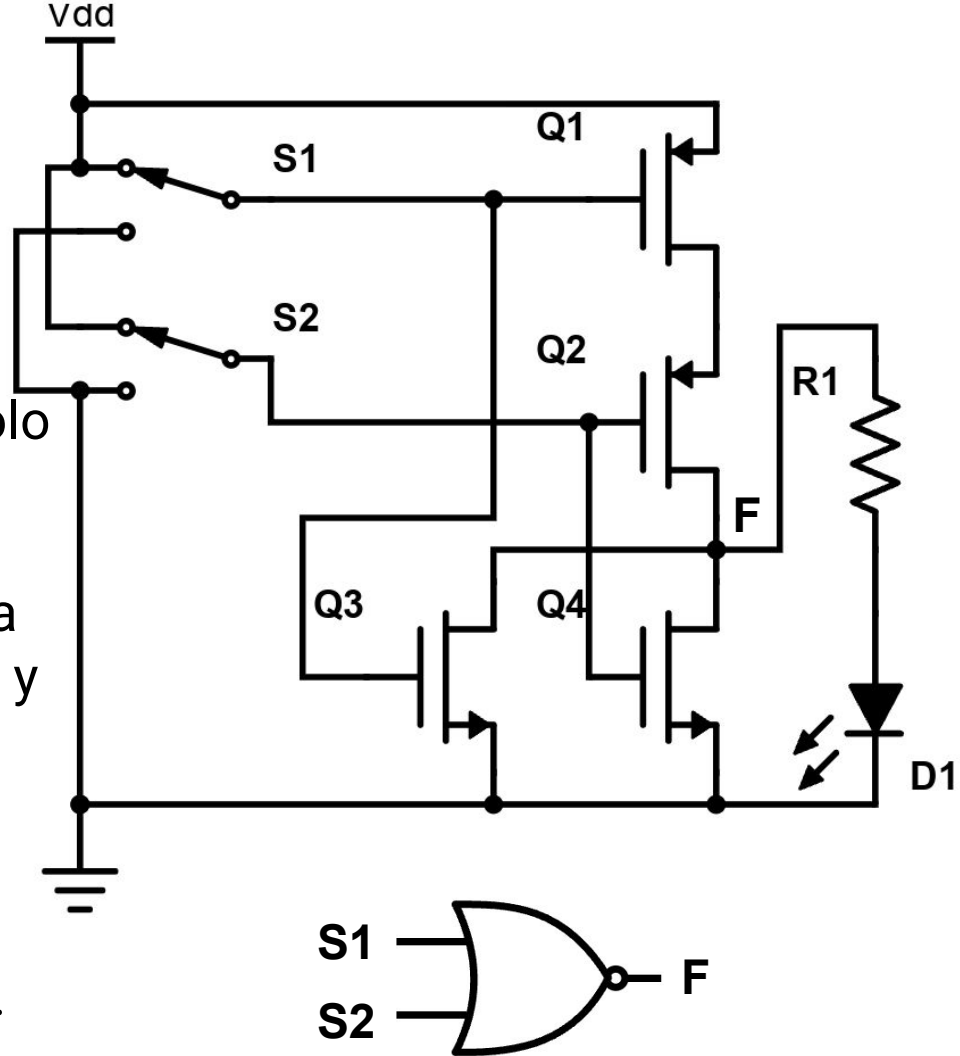
Aquí usamos 2 transistores PMOS (Q1 y Q2) y 2 transistores NMOS (Q3 y Q4). En la lógica NAND F vale 0 solo cuando S1 y S2 valen 1. Vemos que si esto ocurre Q1 y Q2 no conducen (no hay Vdd en F) pero Q3 y Q4 si conducen, dejando a F a potencial de GND. En cualquier otro caso Q1 y/o Q2 van a conducir dejando a F=1 (Vdd) y Q3 y/o Q4 no van a conducir evitando que F quede a potencial de GND.



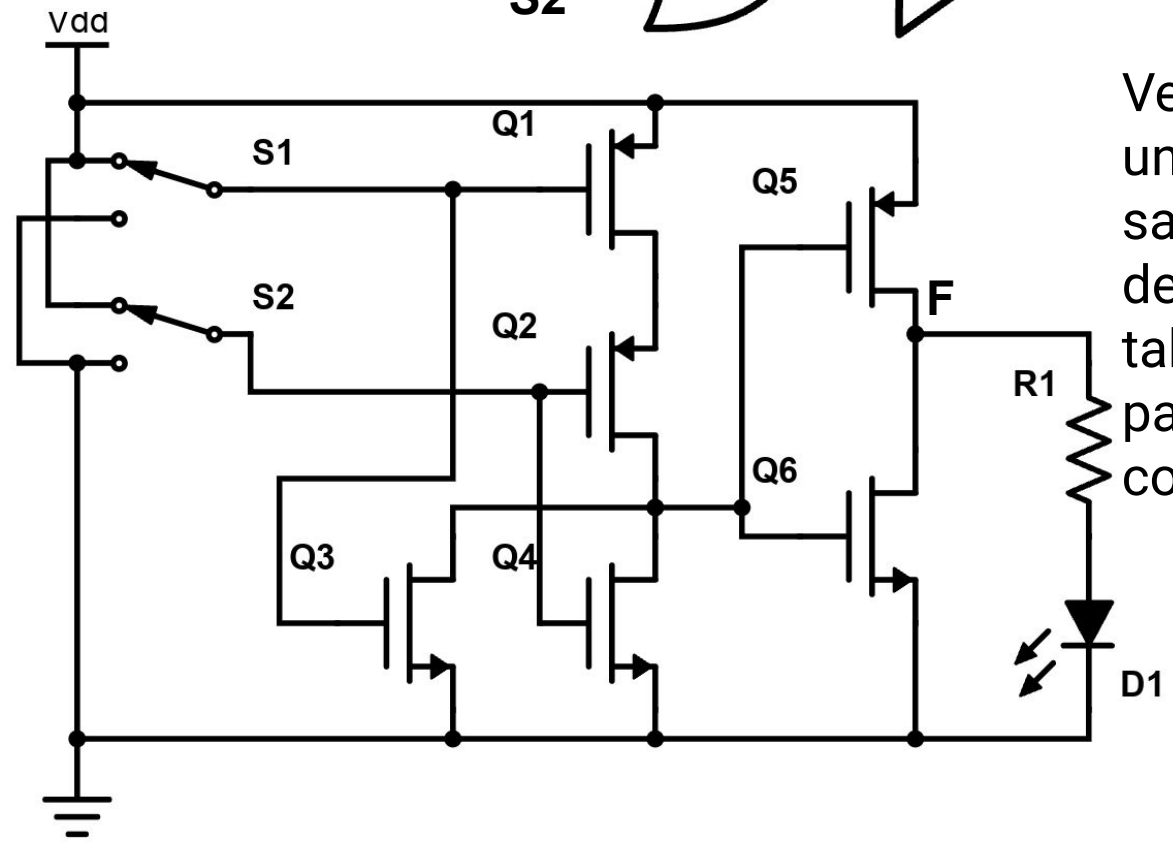
NOR CMOS

Nuevamente 4 transistores (2 PMOS y 2 NMOS) pero ahora los PMOS Q1 y Q2 están en serie con Vdd mientras que los NMOS Q3 y Q4 conectan F en paralelo con GND. En la lógica NOR la salida F solo vale 1 cuando ambas entradas S1 y S0 están en 0. Cuando esto ocurre vemos que ambos PMOS conducen dejando F a Vdd. Caso contrario F nunca llega a Vdd y queda siempre a GND ($F=0$).

Estos 3 bloques (**NOT**, **NAND**, **NOR**) nos van a permitir muy fácilmente construir **AND** y **OR**. Si negamos NOR obtenemos OR. Si negamos NAND obtenemos AND.



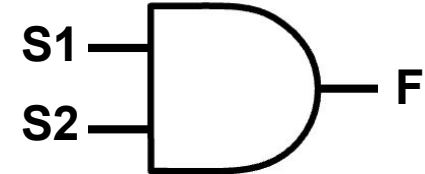
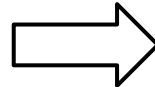
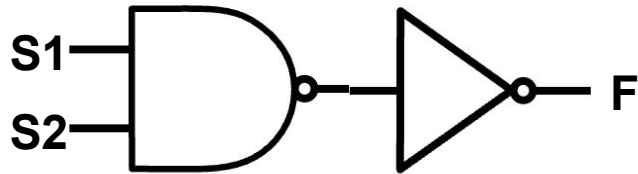
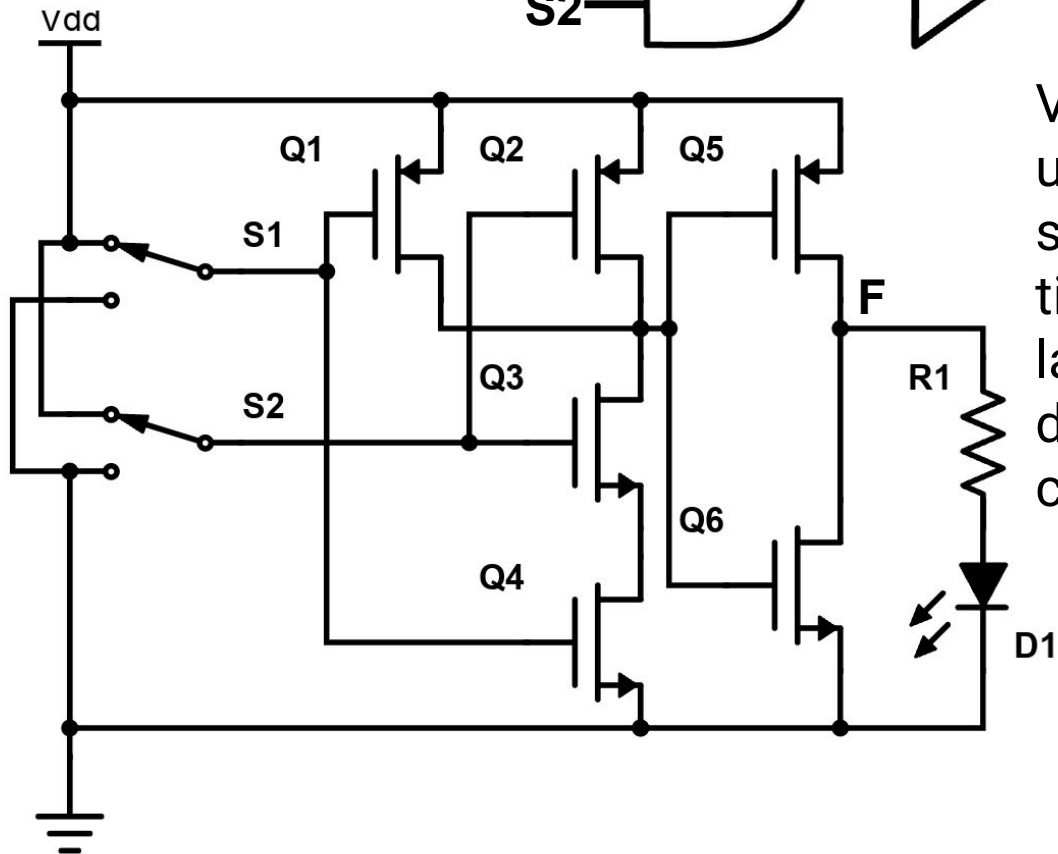
OR CMOS



Vemos que utilizando primero una NOR y luego negando esa salida fabricamos una lógica del tipo OR. Planteamos las tablas de verdad para NOR y para OR. Vemos que son complementarias.

S1	S2	NOR	OR
0	0	1	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	0	1

AND CMOS



Vemos que utilizando primero una NAND y luego negando esa salida fabricamos una lógica del tipo AND. Nuevamente vemos en las tablas de verdad de NAND y de AND que ambas son complementarias.

S1	S2	NAND	AND
0	0	1	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Circuitos integrados (74HC Familia CMOS)

Estas compuertas que aprendimos a fabricar con transistores las conseguimos comercialmente como circuitos integrados. Se estudiarán en la unidad 1.3.

