Electrónica digital

ELECTRICIDAD / ELECTRÓNICA

IES BELLAVISTA

Circuitos electrónicos digitales

- Son circuitos diseñados para poder distinguir (en sus *entradas*) y para poder producir (en sus *salidas*) señales eléctricas que sólo pueden adoptar dos niveles de tensión bien diferenciados.

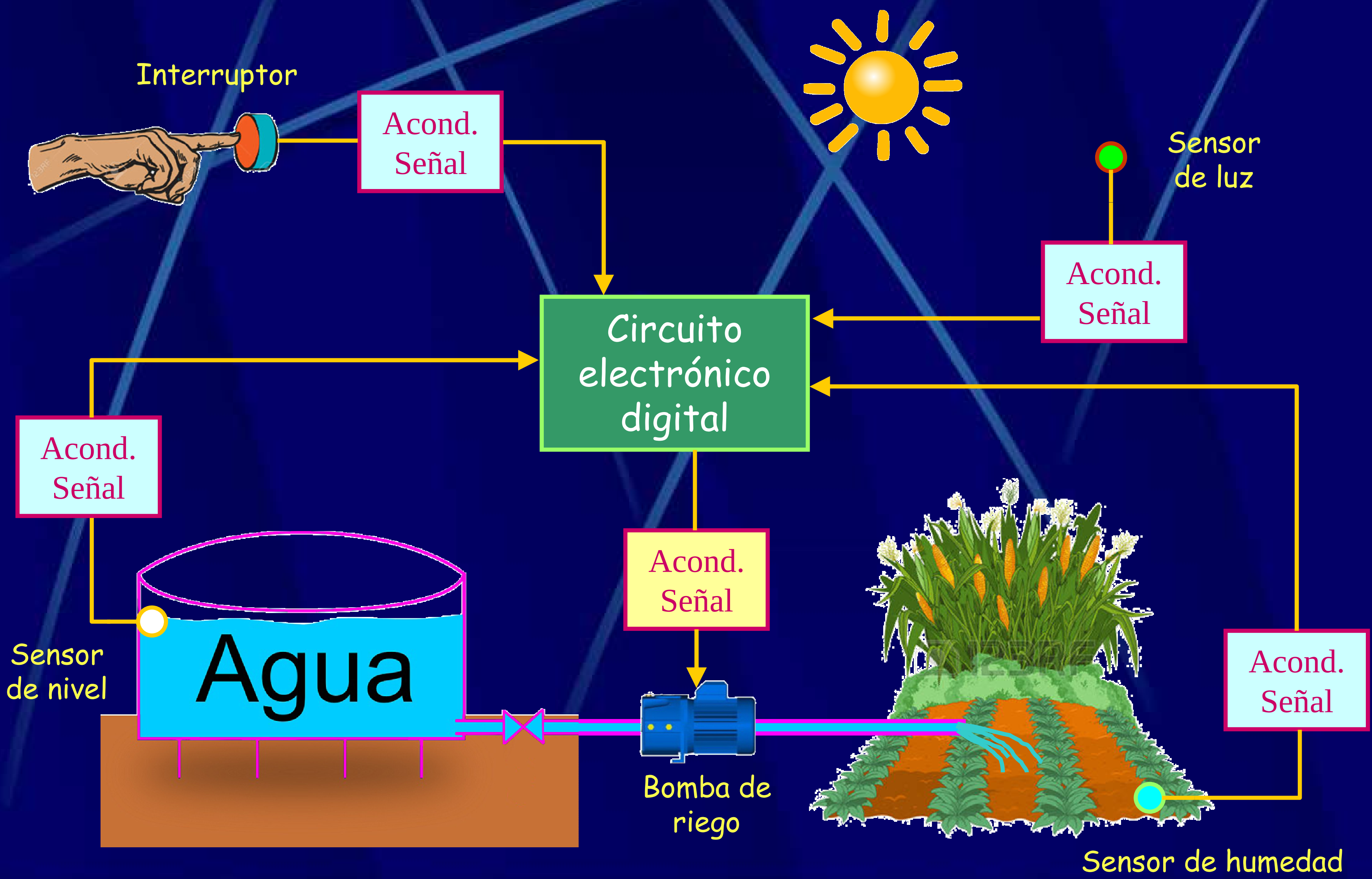
- Los valores más habituales son **0 V** (nivel bajo) y **5 V** (nivel alto).

- Estos circuitos interpretan los valores próximos a 0 V y 5 V de forma correcta, pero si son valores intermedios dan lugar a errores.

- Los circuitos digitales son muy útiles cuando queremos controlar sistemas técnicos en los que los receptores deben funcionar o no dependiendo del estado en que se encuentren unos elementos de maniobra (interruptores,…) o unos elementos sensores (luz, Tª,…).

Ejemplo: una bomba de riego debe funcionar cuando se cumpla que haya agua en el depósito (sensor de nivel) y, o bien el terreno esté seco (sensor de humedad) y sea de noche (sensor de luz) o bien si se acciona un interruptor.

Circuitos electrónicos digitales



Variables dependientes e independientes

- Las *señales que salen* (**salidas**) del circuito digital activan o desactivan los receptores dependiendo de los valores que adopten las *señales que entran* (**entradas**) en el circuito procedentes de los elementos de maniobra y/o de los elementos sensores.

- Las señales cuyo valor depende de otras se les denomina **variables dependientes**. A las señales que no dependen de ninguna otra se les denomina **variables independientes**.

Ejemplo: la señal que pone en marcha o para la bomba de riego es una variable dependiente. Las señales que aportan el sensor de nivel del depósito, el sensor de luz, el sensor de humedad y el interruptor son variables independientes.

- Podemos describir la relación que indica cómo depende cada variable dependiente de las variables independientes.

La bomba se activa si el sensor de nivel indica que hay agua en el depósito y además, o bien el sensor de luz indica que es de noche y el sensor de humedad indica que el terreno está seco, o bien se cierra el interruptor.

El tratamiento matemático: el álgebra de Boole

- Los circuitos digitales deben realizar a menudo operaciones de gran complejidad, y su diseño no es simple. Se utiliza una herramienta matemática que es **álgebra de Boole**.
- El álgebra de Boole es aplicable a variables que sólo admiten dos valores posibles (variables binarias), que se designan por 0 y 1.
- Para aplicar el álgebra de Boole a los circuitos digitales, asignaremos el valor 0 al nivel bajo de tensión y el valor 1 al nivel alto de tensión (aunque podríamos hacerlo al contrario).
- Los símbolos 0 y 1 no representan valores numéricos, sino dos estados de un dispositivo.

Ejemplo: una lámpara encendida se representa por 1 y apagada por 0; Un interruptor cerrado se representa por 1 y abierto por 0, etc.

Relación entre variables. Ejemplo sistema de riego

- Definimos las siguientes variables:
  - **A**: variable independiente que indica la humedad de la tierra. Si está húmeda vale 1 y si está seca vale 0.
  - **B**: variable independiente que indica si es de día o de noche. Si es de noche vale 1 y si es de día vale 0.
  - **C**: variable independiente que indica si hay agua en el depósito. Si hay vale 1 y si no vale 0.
  - **D**: variable independiente que indica la posición del interruptor. Si hay está cerrado vale 1 y si está abierto vale 0.
  - **R**: variable dependiente que pone en marcha o para la bomba de riego. Si vale 1 la pone en marcha y si vale 0 la para.

Relación: "R vale 1 si C vale 1 **y**, simultaneamente, **o** bien A no vale 1 **y** B vale 1 **o** bien D vale 1".

Las tablas de verdad

- En la **tabla de verdad** de una relación se indican los estados que adopta la variable dependiente (salida) ante todas y cada una de las combinaciones posibles de estados de las variables independientes (entradas). Cada fila corresponde a una combinación.
- En el lado izquierdo se representan las variables independientes y en el lado derecho la o las dependientes.
- Si hay "**n**" variables independientes, hay "2^n" combinaciones diferentes.

La tabla adjunta corresponde al sistema de riego que venimos poniendo de ejemplo.

A	B	C	D	R
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	1
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	1

Términos de indiferencia

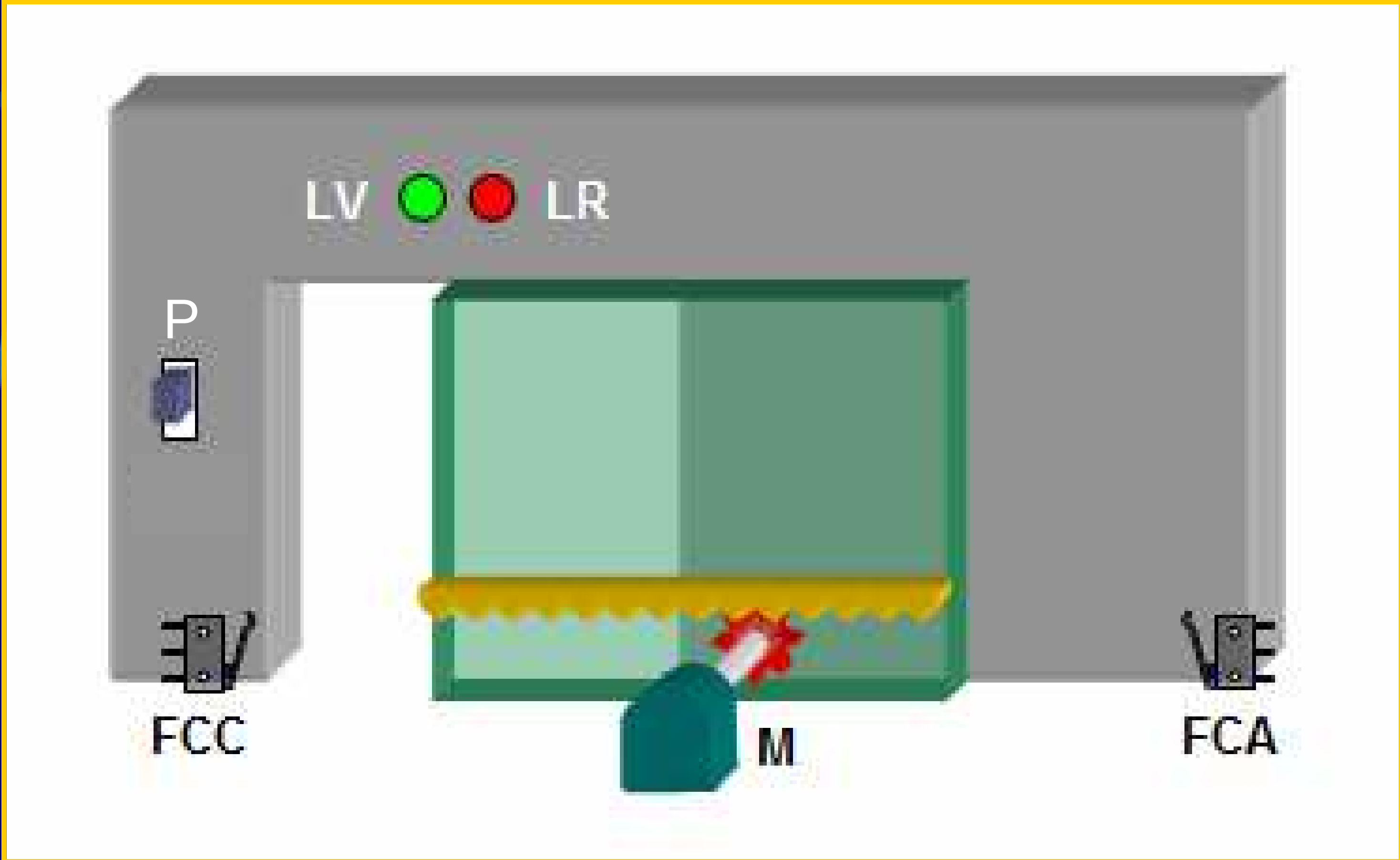
- En algunos casos hay combinaciones de entradas que no pueden darse en la práctica (salvo fallos).
- En estas combinaciones da igual que la variable de salida valga 0 o 1, pues nunca se van a dar. Se denominan **términos de indiferencia** y se representa por "x" en las tablas de verdad.

Ejemplo: si tenemos un final de carrera (A) que detecta que una puerta está abierta y otro (C) que detecta que está cerrada, es evidente que ambos no pueden estar activados al mismo tiempo.

Disponemos además de un pulsador P y dos lámparas, una verde (LV) y otra roja (LR). Queremos que al pulsar P se encienda LV si la puerta está abierta y se encienda LR si la puerta está cerrada. Si la puerta no está ni totalmente abierta ni totalmente cerrada no se encenderá ninguna de las lámparas.

P	A	C	LV	LR
0	0	0	0	0
0	0	1	0	0
0	1	0	0	0
0	1	1	x	x
1	0	0	0	0
1	0	1	0	1
1	1	0	1	0
1	1	1	x	x

Sistema de puerta de garaje



La expresión matemática de las relaciones: la función lógica

- Conforme la relación entre las variables se hace más compleja, su descripción verbal se hace más farragosa y difícil de comprender.

Relación: "R vale 1 si C vale 1 **y**, simultaneamente, **o** bien A **no** vale 1 **y** B vale 1 **o** bien D vale 1".

- Esto se simplifica si la expresamos utilizando las tres operaciones matemáticas que constituyen el álgebra de Boole:
  - **Producto lógico**: equivale a la "**y**" de la expresión. Se representa por " **·** "
  - **Suma lógica**: equivale a la "**o**" de la expresión. Se representa por " **+** "
  - **Complementación**: equivale a la "**no**" de la expresión. Se representa con un guión "¯" encima de la letra que representa a la variable.

- La relación quedaría expresada como:

$$R = C \cdot (\overline{A} \cdot B + D)$$

- A esta expresión matemática le llamamos **función lógica**.

La operaciones matemáticas del álgebra de Boole

- El **producto lógico** de dos o más variables A, B, C,… se representa por **A · B · C ·….** y vale 1 cuando todas las variables valen 1.

A	B	A · B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

- La **suma lógica** de dos o más variables A, B, C,… se representa por **A + B + C +….** y vale 1 cuando al menos una de las variables vale 1.

A	B	A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

- La **complementación** o **negación** de una variable A se representa por $\overline{A}$ y vale 1 cuando la variable A vale 0.

A	$\overline{A}$
0	1
1	0

Obtención de la función lógica desde la tabla de verdad

- Se suman todos los productos lógicos correspondientes a las combinaciones que dan salida 1, asignando a los valores 1 de la combinación la variable en estado normal y a los valores 0 la variable en estado complementada.

Ejemplo: Disponemos de tres pulsadores (a, b y c) que dan 1 al pulsarlos y tres motores (M1, M2 y M3). Si no se pulsa ningún pulsador, los tres motores estarán parados, si se pulsa "a" funciona sólo M1, si se pulsa "b", sólo M2 y si se pulsa "c" sólo M3. Si se pulsan dos pulsadores cualesquiera funcionan los tres motores, y si se pulsan los tres pulsadores no funciona ningún motor.

a	b	c	M1	M2	M3
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	1
0	1	0	0	1	0
0	1	1	1	1	1
1	0	0	1	0	0
1	0	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1
1	1	1	0	0	0

$$M1 = \overline{a}\cdot b\cdot c + a\cdot\overline{b}\cdot\overline{c} + a\cdot\overline{b}\cdot c + a\cdot b\cdot\overline{c}$$

$$M2 = \overline{a}\cdot b\cdot\overline{c} + \overline{a}\cdot b\cdot c + a\cdot\overline{b}\cdot c + a\cdot b\cdot\overline{c}$$

$$M3 = \overline{a}\cdot\overline{b}\cdot c + \overline{a}\cdot b\cdot c + a\cdot\overline{b}\cdot c + a\cdot b\cdot\overline{c}$$

Propiedades del álgebra de Boole

- El álgebra de Boole tiene una serie de postulados, propiedades y teoremas que nos permitirá simplificar las funciones lógicas en algunos casos.

Postulados:

$a+1=1$ $\quad a\cdot 1=a$

$a+0=a$ $\quad a\cdot 0=0$

$a+a=a$ $\quad a\cdot a=a$

$a+\bar{a}=1$ $\quad a\cdot \bar{a}=0$

$\bar{\bar{a}}=a$

Propiedad conmutativa:

$a+b=b+a$ $\quad a\cdot b=b\cdot a$

Propiedad asociativa:

$(a+b)+c=a+(b+c)$ $\quad (a\cdot b)\cdot c=a\cdot(b\cdot c)$

Propiedad distributiva:

$a\cdot(b+c)=a\cdot b+a\cdot c$

$a+(b\cdot c)=(a+b)\cdot(a+c)$

Teoremas de Morgan

$\overline{a+b+\ldots+z}=\bar{a}\cdot\bar{b}\cdot\ldots\cdot\bar{z}$

$\overline{a\cdot b\cdot\ldots\cdot z}=\bar{a}+\bar{b}+\ldots+\bar{z}$

Teoremas de absorción

$a+(a\cdot b)=a$ $\quad a+\bar{a}\cdot b=a+b$

$a\cdot(a+b)=a$ $\quad a\cdot(\bar{a}+b)=a\cdot b$

Ejemplos de simplificación de funciones lógicas

$$M = a\cdot c + \bar{a}\cdot b\cdot c + b\cdot\bar{c}$$
$$M = (a + \bar{a}\cdot b)\cdot c + b\cdot\bar{c}$$
$$M = (a + b)\cdot c + b\cdot\bar{c}$$
$$M = a\cdot c + b\cdot c + b\cdot\bar{c}$$
$$M = a\cdot c + b\cdot(c + \bar{c})$$
$$M = a\cdot c + b$$

$$S = a\cdot\bar{c}\cdot d + a\cdot b\cdot\bar{c} + a\cdot c\cdot d + a\cdot b\cdot c\cdot d$$
$$S = a\cdot d\cdot(c + \bar{c}) + a\cdot b\cdot\bar{c} + a\cdot b\cdot c\cdot d$$
$$S = a\cdot d + a\cdot b\cdot\bar{c} + a\cdot b\cdot c\cdot d$$
$$S = a\cdot d\cdot(1 + c\cdot d) + a\cdot b\cdot\bar{c}$$
$$S = a\cdot d + a\cdot b\cdot\bar{c}$$

Los términos originales pueden usarse tantas veces como se quiera en las simplificaciones

$$S = \underbrace{a\cdot b\cdot\bar{c}\cdot d + a\cdot b\cdot c\cdot d}_{a\cdot b\cdot d} + \underbrace{a\cdot\bar{b}\cdot\bar{c}\cdot d + a\cdot\bar{b}\cdot c\cdot d}_{a\cdot\bar{b}\cdot d} + a\cdot\bar{b}\cdot c\cdot\bar{d}$$

$$\underbrace{a\cdot b\cdot d + a\cdot\bar{b}\cdot d}_{a\cdot d}$$

$$\underbrace{a\cdot\bar{b}\cdot c\cdot d + a\cdot\bar{b}\cdot c\cdot\bar{d}}_{a\cdot\bar{b}\cdot c}$$

$$S = a\cdot d + a\cdot\bar{b}\cdot c$$

Simplificación por el método gráfico de Karnaugh

- Se fundamenta en reducir a un solo término grupos de 2, 4, 8,… términos adyacentes de la función lógica.
- Se entiende por **términos adyacentes** aquellos que sólo difieren en el estado de una de las variables.
- La suma lógica de dos términos adyacentes es igual a un único término al que le falta la variable cuyo estado difería en los términos originales.
- Ejemplos:

$$a \cdot b \cdot \overline{c} \cdot d + a \cdot b \cdot c \cdot d = a \cdot b \cdot d \cdot (c + \overline{c}) = a \cdot b \cdot d$$

$$a \cdot \overline{b} \cdot c + a \cdot \overline{b} \cdot \overline{c} = a \cdot \overline{b} \cdot (c + \overline{c}) = a \cdot \overline{b}$$

Simplificación por el método gráfico de Karnaugh

- Para aplicar el método de una forma sistemática se emplean tablas con el mismo número de casillas que la tabla de verdad.

- La forma de las tablas para 2, 3 y 4 variables es la que se indica. Es muy importante establecer correctamente el orden de numeración de las casillas, de modo que dos casillas contiguas (un lado común) correspondan siempre a términos adyacentes.

b \ a	0	1
0		
1		

c \ a b	00	01	11	10
0				
1				

c d \ a b	00	01	11	10
00				
01				
11				
10				

Simplificación por el método gráfico de Karnaugh

- Las **relaciones de adyacencia** en las tablas de Karnaugh son:
  - En la **tabla de dos variables** son adyacentes las casillas contiguas.
  - En la **tabla de tres variables** son adyacentes tanto las casillas contiguas como las casillas de la primera y la última columna.
  - En la **tabla de cuatro variables** son adyacentes, además de las anteriores, las de la fila superior con las de la misma columna de la fila inferior.

- El **procedimiento** del método consiste en:
  - Pasar los valores de la variable de salida desde la tabla de verdad a la tabla de Karnaugh
  - Realizar agrupamientos de casillas adyacentes con valor 1, del máximo tamaño posible, hasta que todos los 1 hayan sido incluidos. No hay ningún problema en que una casilla pertenezca a más de un agrupamiento.
  - La suma lógica de todos los agrupamientos más los 1 aislados será la función lógica simplificada.

Ejemplos del método gráfico de Karnaugh

a	b	c	M
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

a	b	c	S
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	x
1	1	0	x
1	1	1	x

c \ a b	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	1	1	0	1

$\bar{a}\cdot c$ $\quad a\cdot b\cdot\bar{c}$ $\quad \bar{b}\cdot c$

$$M = a\cdot b\cdot\bar{c} + \bar{a}\cdot c + \bar{b}\cdot c$$

c \ a b	00	01	11	10
0	1	1	x	0
1	0	1	x	x

$\bar{a}\cdot\bar{c}$ $\quad b$

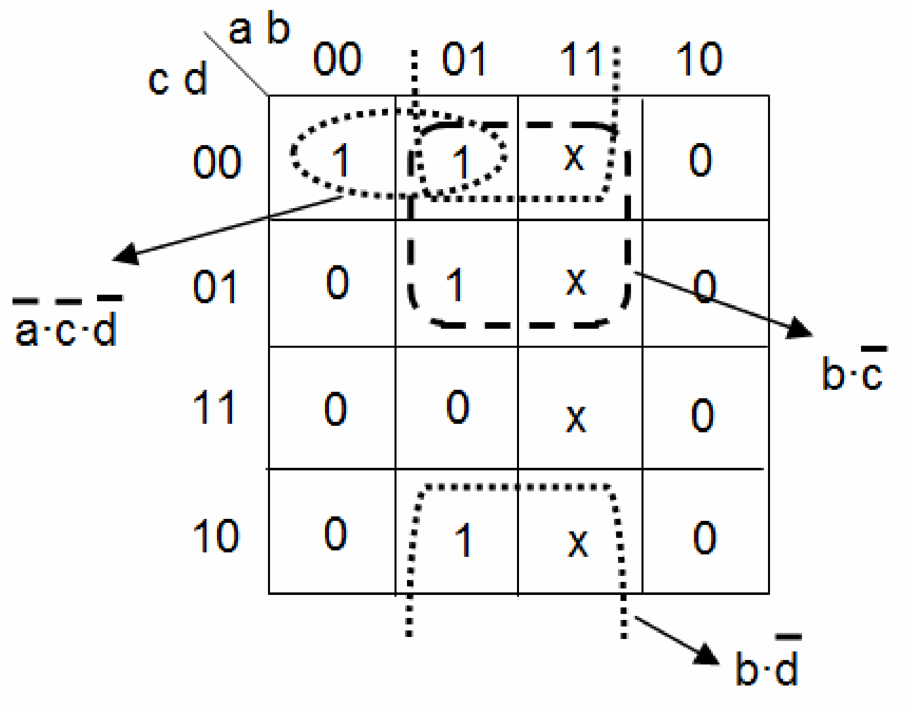
$$S = \bar{a}\cdot\bar{c} + b$$

Cuando hay términos de indiferencia podemos considerarlos como “1” o como “0” según nos convengan de cara a conseguir los agrupamientos lo más grandes posibles.

En este caso, tomamos las dos “x” de la columna 11 como “1” mientras que la “x” de la casilla inferior de la columna 10 la tomamos como “0”.

Ejemplos del método gráfico de Karnaugh

a	b	c	d	S
0	0	0	0	1
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	0	0	x
1	1	0	1	x
1	1	1	0	x
1	1	1	1	x

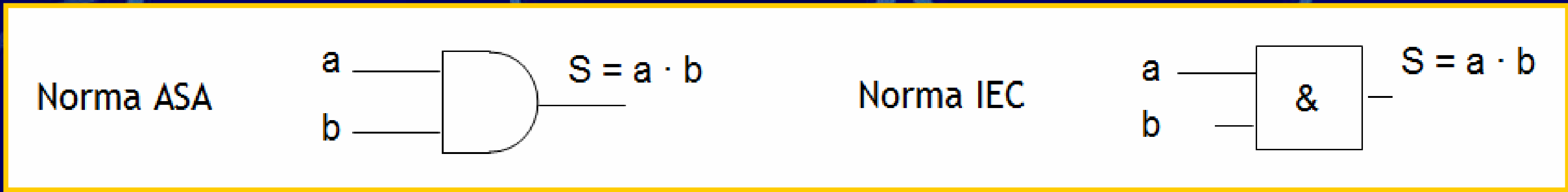


$$S = \bar{a} \cdot \bar{c} \cdot \bar{d} + b \cdot \bar{c} + b \cdot \bar{d}$$

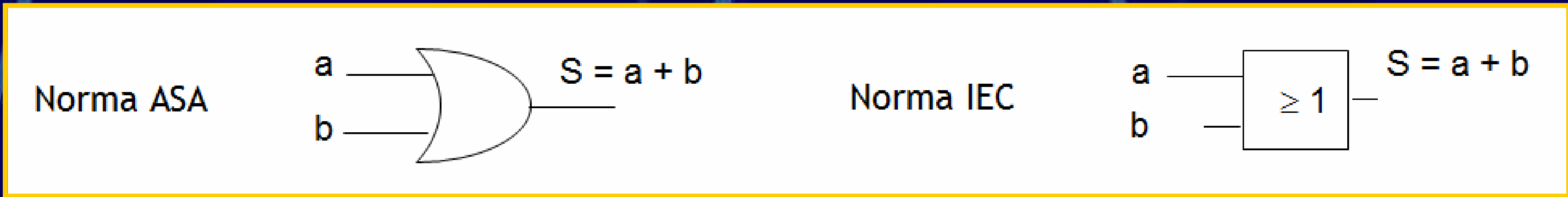
Las puertas lógicas básicas

- Son los dispositivos electrónicos digitales que realizan, a nivel eléctrico, las relaciones entre las variables dadas por las funciones lógicas.

  - **Puerta AND**: realiza el producto lógico



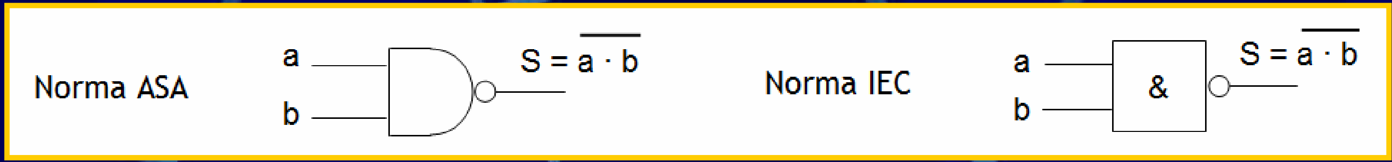
  - **Puerta OR**: realiza la suma lógica



  - **Puerta NOT** o **Inversor**: realiza la complementación

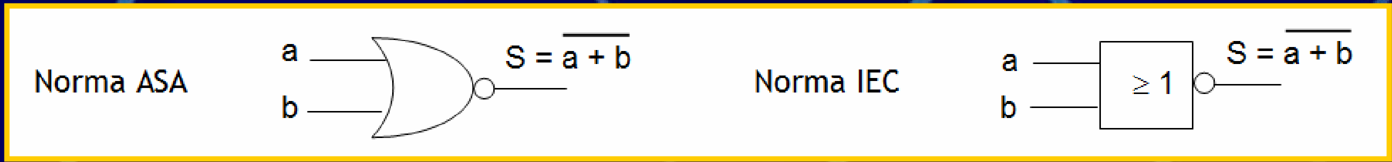
Otras puertas lógicas

- **Puerta NAND**: realiza la negación del producto lógico.



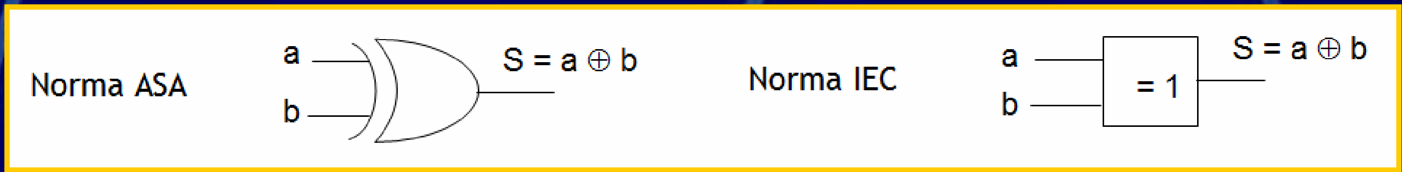
a	b	S
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

- **Puerta NOR**: realiza la negación de la suma lógica.



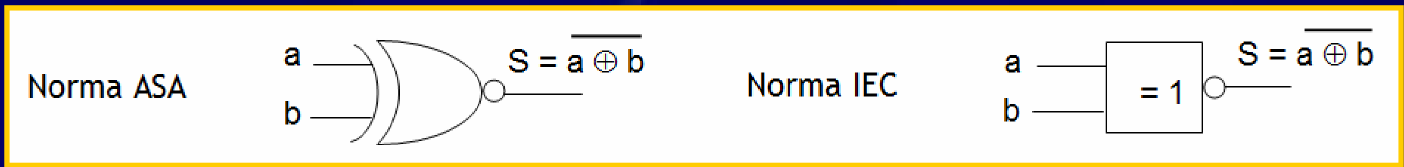
a	b	S
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

- **Puerta EXOR (Exclusive OR)**: la salida vale “1” cuando las dos variables de entrada son distintas y vale “0” cuando son iguales.



a	b	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

- **Puerta EXNOR**: realiza la negación de la suma exclusiva.



a	b	S
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

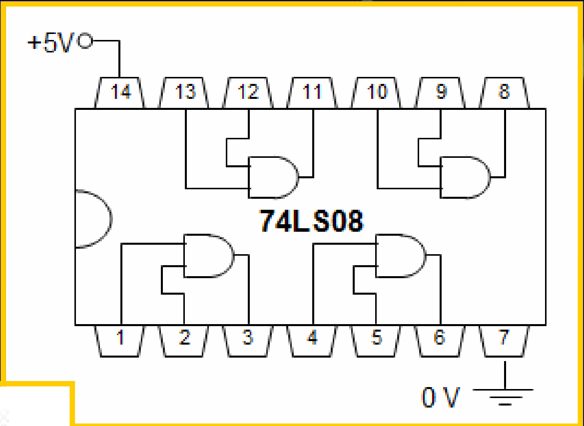
Circuitos integrados con puertas lógicas TTL

- Los circuitos integrados de puertas lógicas más conocidos son los de la serie **74LSXX** fabricados con tecnología TTL, que se alimentan a 5 V.

- Todos tienen 14 patillas. La nº 14 es la de alimentación (5 V) y la nº 7 la de conexión a masa (0 V).

- Ejemplo:

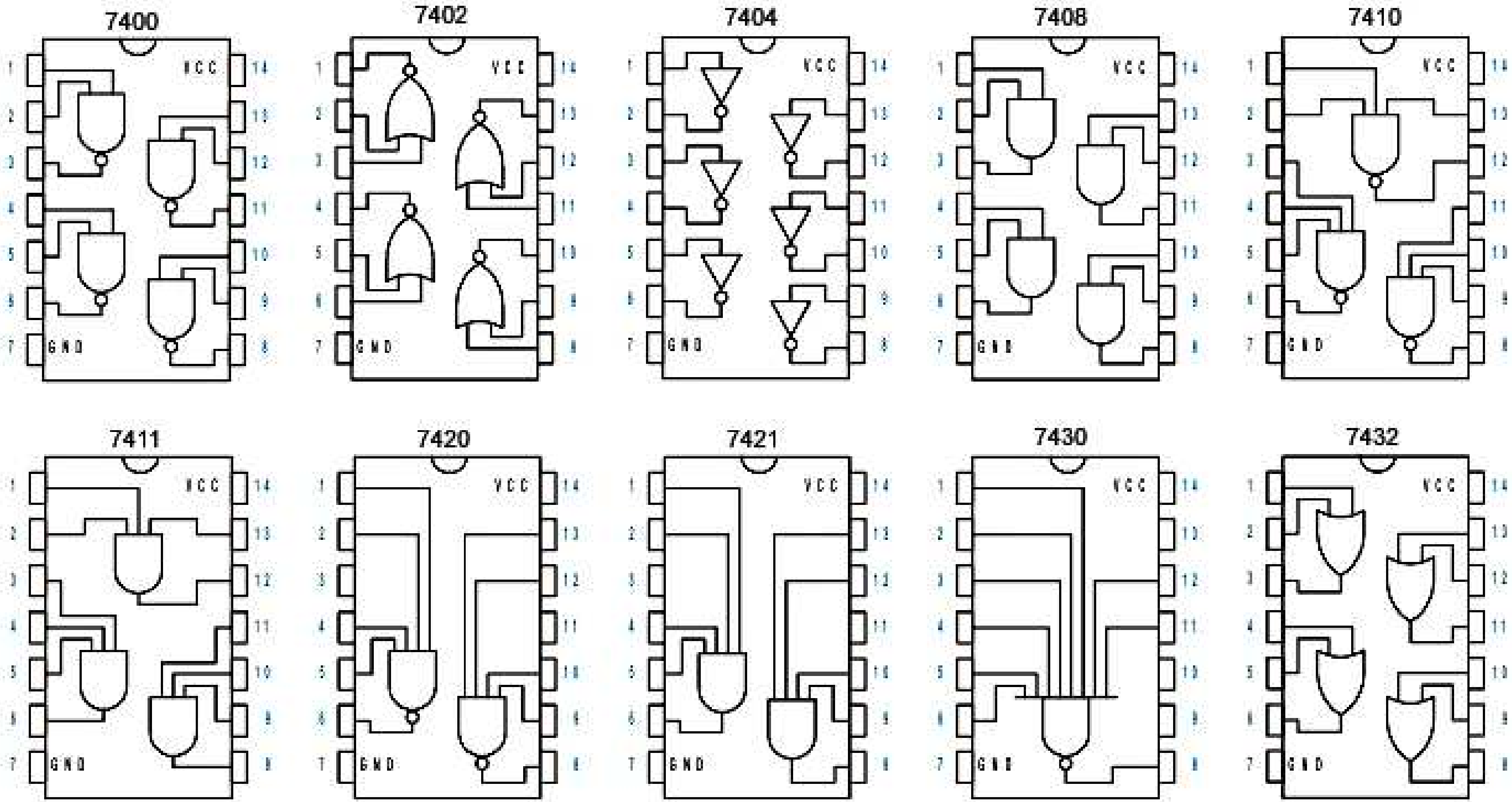
  74LS08



Función	C. integrado	Nº puertas	Nº entradas
OR	74LS32	4	2
AND	74LS08	4	2
	74LS11	3	3
	74LS21	2	4
NOT	74LS04	6	1
NOR	74LS02	4	2
	74LS27	3	3
	74LS260	2	4
NAND	74LS00	4	2
	74LS10	3	3
	74LS20	2	4
	74LS30	1	8
EXOR	74LS86	4	2
EXNOR	74LS266	4	2

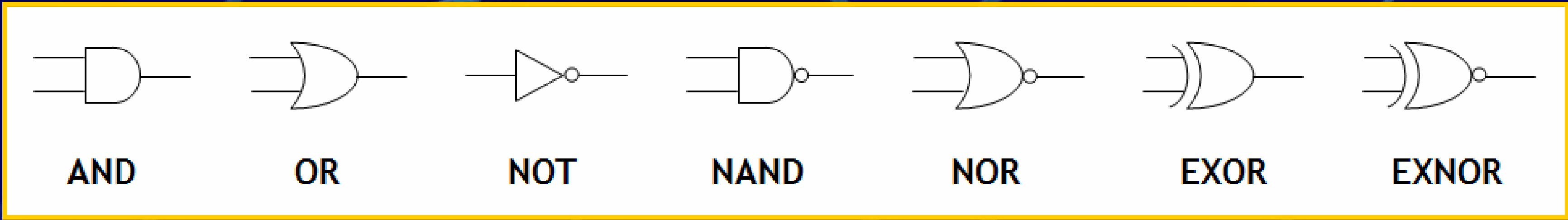
Circuitos integrados con puertas lógicas TTL

Familia TTL

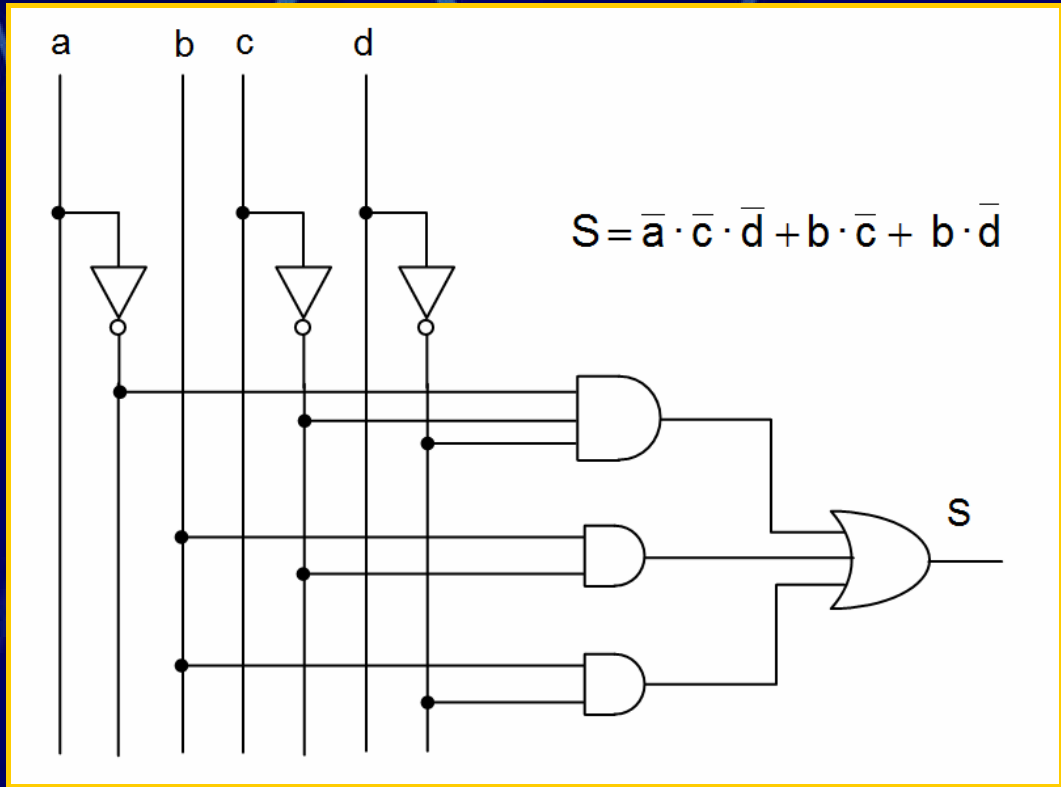


Implementación de funciones con puertas lógicas

- Utilizaremos puertas lógicas para implementar las funciones lógicas.

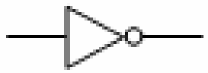
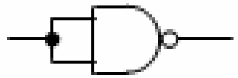
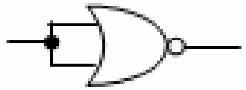
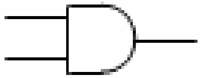
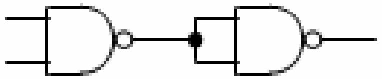
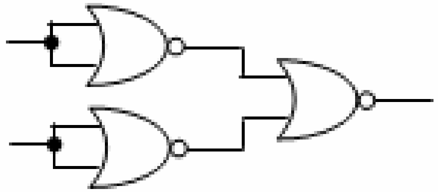
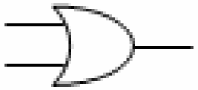
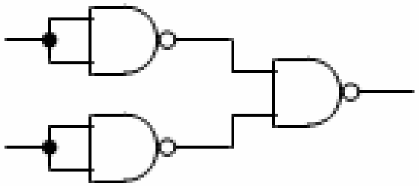
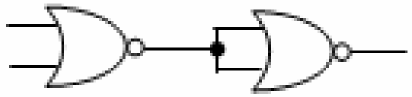


- El problema es que estamos utilizando cuatro tipos de puertas lógicas distintas, por lo que necesitaremos cuatro circuitos integrados para implementar el circuito. En todos ellos no utilizaremos ni la mitad de las puertas que contienen.



Las puertas universales NAND y NOR

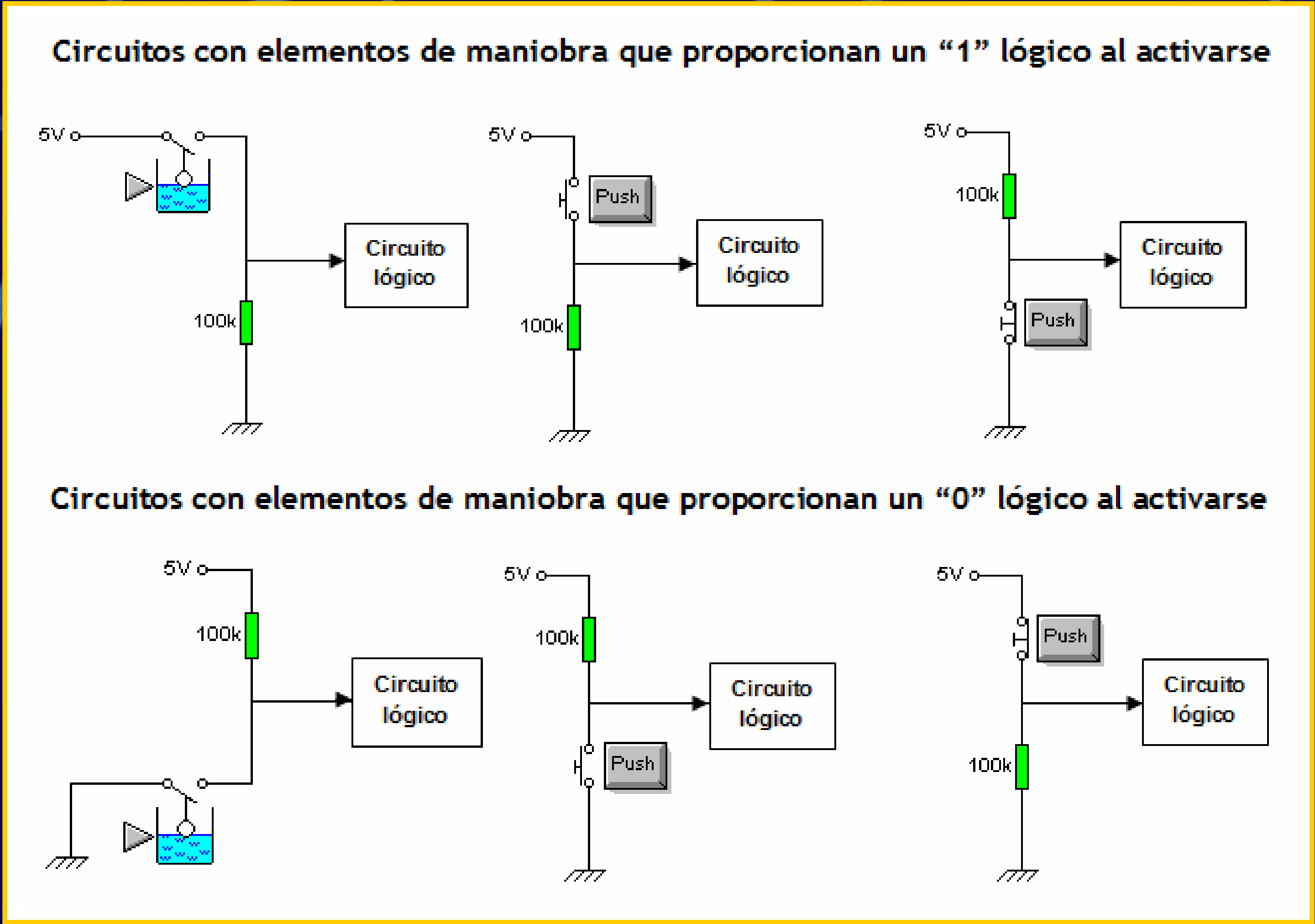
- Las puertas NAND y NOR se llaman **puertas universales** porque a partir de ellas pueden construirse todas las demás.

Función		Con puertas NAND	Con puertas NOR
NOT			
AND			
OR			

- La ventaja de esto es que podemos implementar cualquier circuito utilizando sólo integrados de estos tipos, con lo que aprovechamos más las puertas que contienen y necesitaremos menos integrados.

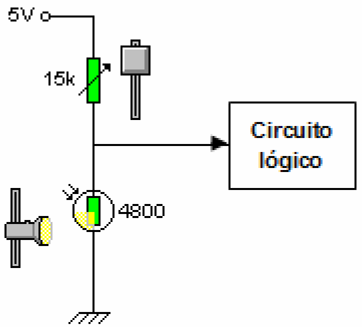
El acondicionamiento de las entradas

- Las variables de entrada proceden de elementos de maniobra o de sensores, y deben proporcionar señales de 0 ó 5 V.

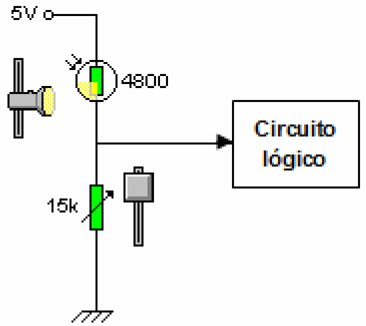


El acondicionamiento de las entradas

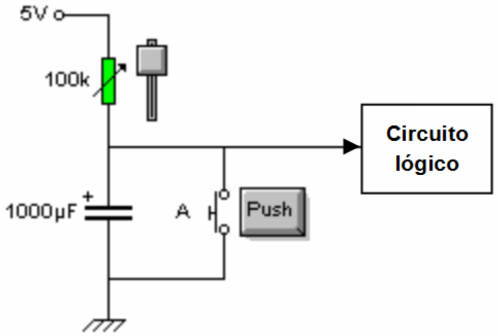
Circuito que proporciona un "1" lógico al oscurecer la LDR.



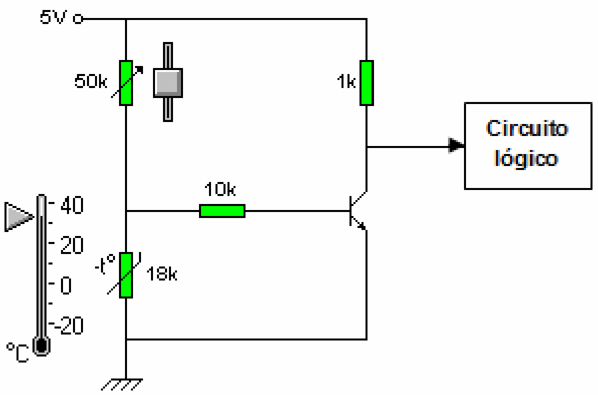
Circuito que proporciona un "1" lógico al iluminar la LDR.



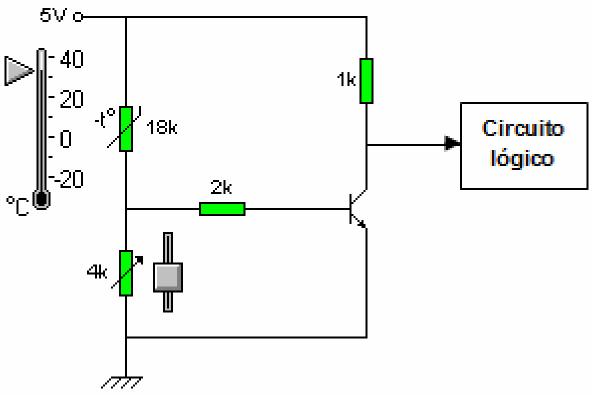
Circuito temporizador que proporciona un "0" lógico a la salida durante un tiempo determinado.



Circuito que proporciona un "1" lógico al subir la temperatura por encima de un valor dado.



Circuito que proporciona un "0" lógico al subir la temperatura por encima de un valor dado.



El acondicionamiento de las salidas

- Los dispositivos electrónicos digitales apenas pueden aportar por sus salidas más de unos pocos mA. En ningún caso podemos conectar a las salidas elementos como motores, lamparitas, relés, ni siquiera LEDs, ya que todos ellos consumen corrientes muy superiores.

- Se hace necesario utilizar **transistores**, de modo que apliquemos las salidas de los circuitos digitales a la base del transistor (que requiere poca corriente) y conectemos los receptores en el colector.