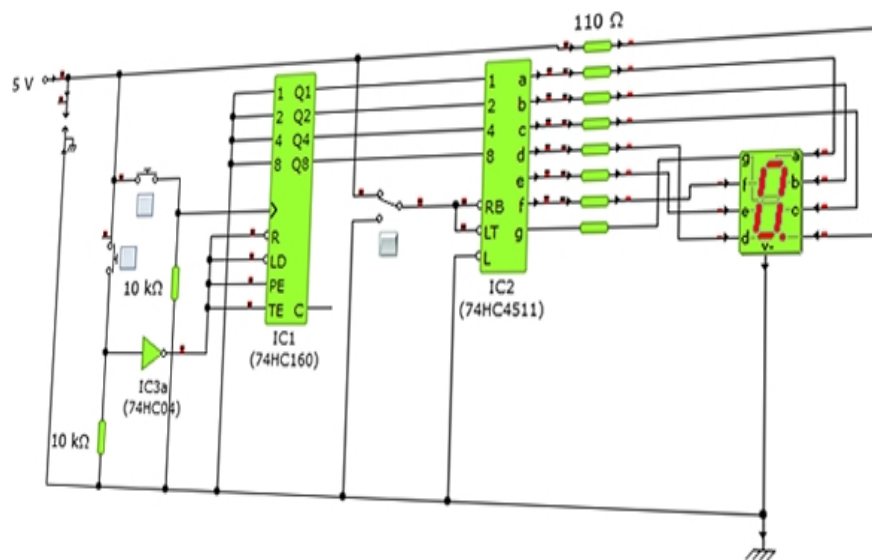


UNIDAD TEMÁTICA 4

Electrónica Digital



(4º DE ESO)

ELABORADO POR: *Pedro Landín*

CPR COLEXIO SAGRADO CORAZÓN DE XESÚS
(Placeres). Pontevedra



I. INTRODUCCIÓN

1. SEÑALES Y TIPOS

Como vimos en el tema anterior, la electrónica es la rama de la ciencia que se ocupa del estudio de los circuitos y de sus componentes que permiten modificar la corriente eléctrica amplificándola, atenuándola, rectificándola y filtrándola y que aplica la electricidad al tratamiento de la información. Por otro lado el término digital deriva de la forma en que las computadoras realizan las operaciones; i.e. contando dígitos o números.

Una **señal** es la variación de una magnitud que permite transmitir información. Las señales pueden ser de dos tipos:

- **Señales analógicas:** aquellas donde la señal puede adquirir infinitos valores entre dos extremos cualesquiera. La variación de la señal forma una gráfica continua. La mayoría de las magnitudes en la naturaleza toman valores continuos, por ejemplo la temperatura. Para pasar de 20 a 25°C, la temperatura irá tomando los infinitos valores entre 20 y 25°C.

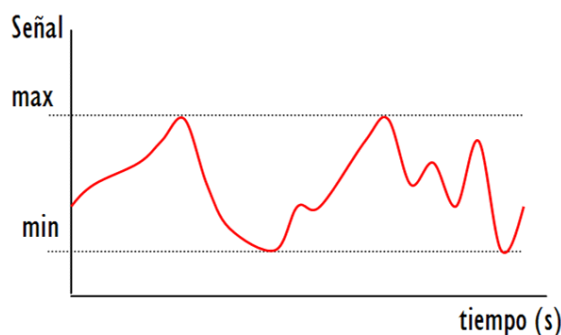
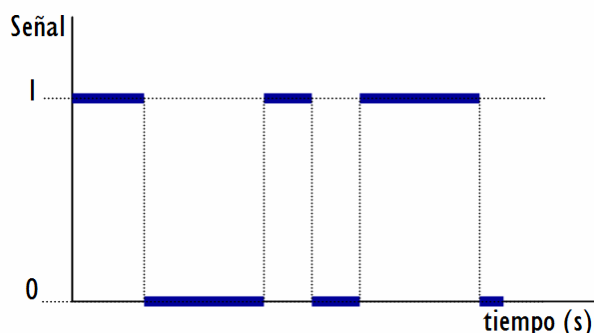


Fig 1: Ejemplo de señal analógica.

- **Señales digitales:** las cuales pueden adquirir únicamente valores concretos; i.e. no varían de manera continua.

Fig 2: Ejemplo de señal digital.



Para nosotros los sistemas digitales que tienen mayor interés, por ser los que se pueden implementar electrónicamente, son los sistemas binarios. Un **sistema binario** es aquel en el que las señales sólo pueden tomar dos valores, que representaremos de ahora en adelante con los símbolos 0 y 1. Por ejemplo, el estado de una bombilla sólo puede tener dos valores (0 apagada, 1 encendida).

A cada valor de una señal digital se le llama **bit** y es la unidad mínima de información.

2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DIGITALES

El mejor argumento a favor de la mayor flexibilidad de los sistemas digitales se encuentra en los actuales ordenadores o computadoras digitales, basados íntegramente en diseños y circuitos digitales. Las principales ventajas de los sistemas digitales respecto a los analógicos son:

- Mayor facilidad de diseño, pues las técnicas están bien establecidas.
- El ruido (fluctuaciones de tensión no deseadas) afecta menos a los datos digitales que a los analógicos, ya que en sistemas digitales sólo hay que distinguir entre valor alto y valor bajo.
- Las operaciones digitales son mucho más precisas y la transmisión de señales es más fiable porque utilizan un conjunto discreto de valores, fácil de diferenciar entre sí, lo que reduce la probabilidad de cometer errores de interpretación.
- Almacenamiento de la información menos costoso

Los sistemas digitales presentan el inconveniente de que para transmitir una señal analógica debemos hacer un muestreo de la señal, codificarla y posteriormente transmitirla en formato digital y repetir el proceso inverso. Para conseguir obtener la señal analógica original todos estos pasos deben hacerse muy rápidamente (aunque los sistemas electrónicos digitales actuales trabajan a velocidades lo suficientemente altas como para realizarlo y obtener resultados satisfactorios).

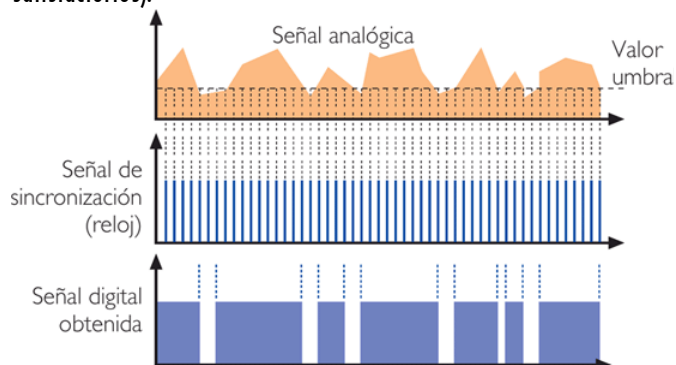


Fig 3: Conversión de señal analógica a señal digital. Si el valor de la señal en ese instante está por debajo de un determinado umbral, la señal digital toma un valor mínimo (0). Cuando la señal analógica se encuentra por encima del valor umbral, la señal digital toma un valor máximo (1).

3. TIPO DE LÓGICA

En los circuitos electrónicos digitales se emplean niveles de tensión distintos para representar los dos bits. Las tensiones que se utilizan para representar los unos y los ceros se les denominan niveles lógicos. Existen distintos tipos de lógica

- **Lógica positiva:** al nivel alto se le da el valor de 1 y al nivel bajo un valor de 0 ($V_H = 1$ y $V_L = 0$)
- **Lógica negativa:** al nivel alto se le da el valor 0 y al nivel bajo un valor de 1 ($V_H = 1$ y $V_L = 0$).
- **Lógica mixta:** se mezclan ambos criterios en el mismo sistema, eligiendo uno u otro según convenga.

Nosotros trabajaremos con la lógica positiva.

II. SISTEMAS DE NUMERACIÓN

El muestreo de una señal consiste en convertir su valor en un valor binario, por lo que es necesario estar familiarizado con los sistemas de numeración.

1. SISTEMA DECIMAL

Su origen lo encontramos en la India y fue introducido en España por los árabes. Es un sistema de base 10; i.e. emplea 10 caracteres o dígitos diferentes para indicar una determinada cantidad: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, y 9. Es un sistema posicional, de manera que el valor de cada cifra depende de su posición dentro de la cantidad que representa.

$$2165 = 2 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^2 + 6 \cdot 10^1 + 5 \cdot 10^0 = 2000 + 100 + 60 + 5$$

2. SISTEMA BINARIO

Los ordenadores y en general todos los sistemas que utilizan electrónica digital utilizan el sistema binario. En la electrónica digital sólo existen dos estados posibles (1 o 0) por lo que interesa utilizar un sistema de numeración en base 2, el sistema binario. Dicho sistema emplea únicamente dos caracteres, 0 y 1. Estos valores reciben el nombre de **bits** (dígitos binarios). Así, podemos decir que la cantidad 10011 está formada por 5 bits.

Al igual que en el sistema decimal, la información transportada en un mensaje binario depende de la posición de las cifras. Por ejemplo, en la notación decimal, sabemos que hay una gran diferencia entre los números 126 y 621. ¿Cómo sabemos esto? Porque los dígitos (es decir, el 6, el 2 y el 1) se encuentran en posiciones diferentes.

Los grupos de bits (combinaciones de ceros y unos) se llaman **códigos** y se emplean para representar números, letras, instrucciones, símbolos. Cada bit dentro de una secuencia ocupa un intervalo de tiempo definido llamado **periodo del bit**. En los sistemas digitales todas las señales han de estar sincronizadas con una señal básica periódica llamada **reloj** (ver figura 3)

3. TRANSFORMACIÓN DE BINARIO A DECIMAL

Para pasar de binario a decimal se multiplica cada una de las cifras del número en binario en potencias sucesivas de 2.

EJERCICIO RESUELTO:

Transformar los números 1010 y 10011 en código binario a sistema decimal (el subíndice indica la base del sistema de numeración):

$$1010_2 = 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 8 + 2 = 10_{10}$$

$$11001_2 = 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 24 + 23 + 1 = 25_{10}$$

4. TRANSFORMACIÓN DE DECIMAL A BINARIO

El convertir un número decimal al sistema binario es muy sencillo: basta con realizar divisiones sucesivas por 2 hasta que el último cociente sea inferior a 2 y escribir los restos obtenidos en cada división en orden inverso al que han sido obtenidos.

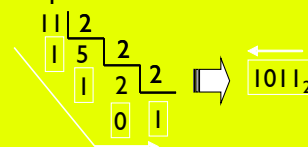
EJERCICIO RESUELTO:

Transformar los números 11 y 28 en sistema decimal a código binario (el subíndice indica la base del sistema de numeración):

Primero transformamos el número 11

$$\begin{array}{l} 11 : 2 = 5 \quad \text{Resto: } 1 \\ 5 : 2 = 2 \quad \text{Resto: } 1 \\ 2 : 2 = 1 \quad \text{Resto: } 0 \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} 11 : 2 = 5 \\ 5 : 2 = 2 \\ 2 : 2 = 1 \end{array}} \right\} 11_{10} = 1011_2$$

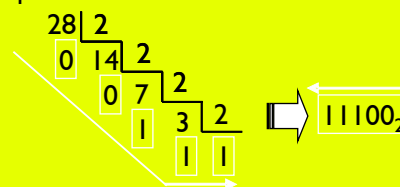
Otra manera de expresarlo será:



Ahora transformamos el nº 28

$$\begin{array}{l} 28 : 2 = 14 \quad \text{Resto: } 0 \\ 14 : 2 = 7 \quad \text{Resto: } 0 \\ 7 : 2 = 3 \quad \text{Resto: } 1 \\ 3 : 2 = 1 \quad \text{Resto: } 1 \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} 28 : 2 = 14 \\ 14 : 2 = 7 \\ 7 : 2 = 3 \\ 3 : 2 = 1 \end{array}} \right\} 28_{10} = 11100_2$$

0, al igual que antes:



5. CANTIDAD DE BITS NECESARIOS PARA REPRESENTAR UN NÚMERO

La cantidad de dígitos necesarios para representar un número en el sistema binario es mayor que en el sistema decimal. Así, en el ejemplo anterior, para representar el número 11, han hecho falta 4

dígitos en binario. Para representar números grandes harán falta muchos más dígitos. Por ejemplo, para representar números mayores de 255 se necesitarán más de 8 dígitos, porque $2^8 = 256$ y podemos afirmar, por tanto, que 255 es el número más grande que puede representarse con ocho dígitos.

Como regla general, con n dígitos binarios pueden representarse un máximo de 2^n códigos diferentes. El número más grande que puede escribirse con n dígitos es una unidad menos, es decir, $2^n - 1$.

EJERCICIO RESUELTO:

Calcular cuantas combinaciones posibles de bits puede hacerse con 4 bits:

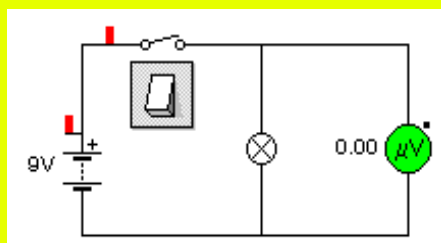
$2^4 = 16 \Rightarrow$ Pueden representarse un total de 16 combinaciones diferentes,

$2^4 - 1 = 15 \Rightarrow$ el mayor de los números en sistema decimal que podemos representar con 4 bits es el 15.

III. ÁLGEBRA DE BOOLE

En 1854, en su obra *An Investigation of the Laws of Thought* el matemático inglés George Boole desarrolló un álgebra que afecta a conjuntos de dos tipos: conjunto vacío y conjunto lleno. Este álgebra se puede extrapolar a sistemas que tienen dos estados estables, "0" y "1", encendido y apagado, abierto y cerrado, ... Boole nunca conoció las tremendas repercusiones de su álgebra, pues no fue hasta 1939, en que Claude. E. Shannon publicó su obra *A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits*, cuando se estableció la relación existente entre el álgebra de Boole y el estudio de los circuitos electrónicos.

Imaginemos el circuito de la figura. Si el interruptor está abierto, no pasa la corriente, la lámpara está apagada y el voltímetro que mide la tensión en la lámpara mide 0 voltios.



En electrónica digital, cuando no tenemos tensión (i.e. cuando la tensión es de cero voltios) decimos que la lámpara está en **OFF** o que tenemos un **bit "0"**.

Si ahora tenemos el interruptor cerrado, el voltímetro indica 9 V, la corriente está pasando por la bombilla (se enciende). En electrónica digital diremos que la lámpara está en **ON** o que tenemos un **bit "1"**.

Las tres operaciones o funciones lógicas del álgebra de Boole fueron la suma, a multiplicación y la negación, tal y como muestra la tabla.

Multiplicación (·)	$0 \cdot 0 = 0$	$0 \cdot 1 = 0$	$1 \cdot 0 = 0$	$1 \cdot 1 = 1$
Suma (+)	$0 + 0 = 0$	$0 + 1 = 1$	$1 + 0 = 1$	$1 + 1 = 1$
Negación (¬)	$\bar{0} = 1$		$\bar{1} = 0$	

La prioridad de estos operadores es: primero la negación, después la multiplicación y por último la suma.

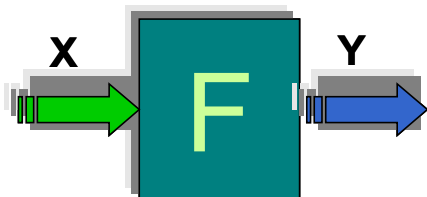
El álgebra de Boole son las matemáticas de los circuitos digitales. Para todas variables a,b y c que pertenecen al conjunto de álgebra de Boole se cumplen, entre otras propiedades:

PROPIEDADES DEL ÁLGEBRA DE BOOLE		
Propiedad asociativa	$(a+b)+c = a+(b+c)$	$(a \cdot b) \cdot c = a \cdot (b \cdot c)$
Propiedad conmutativa	$a + b = b + a$	$a \cdot b = b \cdot a$
Propiedad distributiva	$a \cdot (b+c) = (a \cdot b) + (a \cdot c)$	$a + (b \cdot c) = (a+b) \cdot (a+c)$
Elemento neutro	$0 + a = a$	$1 \cdot a = a$
Teoremas de identidad	$a + \bar{a} = 1$	$a \cdot \bar{a} = 0$
Teoremas de idempotencia	$a + a = a$	$a \cdot a = a$
Teorema de involución	$\overline{(\bar{a})} = a$	
Teoremas de absorción	$a + a \cdot b = a$	$a \cdot (a+b) = a$
	$a + \bar{a} \cdot b = a + b$	$a \cdot (\bar{a} + b) = a \cdot b$
Teoremas del consenso	$(a \cdot b) + (\bar{a} \cdot c) = (a \cdot b) + (\bar{a} \cdot c) + (b \cdot c)$ $(a + b) + (\bar{a} \cdot c) = (a + b) \cdot (\bar{a} + c) \cdot (b + c)$	
Teoremas de Morgan	$\overline{a + b} = \bar{a} \cdot \bar{b}$	$\overline{a \cdot b} = \bar{a} + \bar{b}$

IV. FUNCIONES LÓGICAS Y TABLAS DE VERDAD

Dentro de los sistemas digitales nos centraremos en el estudio de los llamados **sistemas digitales combinacionales**, que se definen, como aquel los sistemas en el que las salidas son solamente función de las entradas actuales, es decir, dependen únicamente de las combinaciones de las entradas, de ahí su nombre. Estos sistemas se pueden representar a través de una función digital del tipo $F(X) = Y$,

donde X representa todas las entradas posibles e Y el conjunto de todas las salidas posibles.



Un ejemplo sencillo de sistema combinacional es un portaminas. En este sistema sólo son posibles dos acciones o entradas (pulsar o no pulsar), y sólo son posibles dos salidas (salir la mina o no hacer nada). El sistema es combinacional porque, siempre que se aplique una entrada, la respuesta del sistema sólo depende de esa entrada.

Las relaciones entre variables de entrada y salida se pueden representar en una **tabla de verdad**. Una **tabla de verdad** es una tabla que indica qué salida va a presentar un circuito para cada una de las posibles combinaciones de sus entradas. (El número total de combinaciones es 2^n , siendo n el número de las entradas).

Imaginemos una circuito con una única salida y tres entradas (a, b, y c), donde la salida (S) toma el valor de 1 para 3 de estas combinaciones. Una posible tabla de verdad sería:

VARIABLE DE ENTRADA			SALIDA
a	b	c	S
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

En la parte izquierda de la tabla figuran las variables de entrada y todas las posibles combinaciones de las entradas, donde según una lógica positiva el 0 representa el nivel bajo, y un 1 representa un valor alto de la tensión. En la parte derecha figurarán las salidas en función de las entradas. Los valores de la salida son función de las entradas, cuya función, como veremos en otro apartado pueden obtenerse operando *booleanamente* con los valores de las entradas.

Así, toda función lógica puede quedar definida de tres maneras: por su expresión matemática, por su tabla de verdad o por su símbolo.

V. PUERTAS LÓGICAS

Las operaciones matemáticas habituales, en el mundo de las matemáticas binarias, son operaciones “complicadas”. Existen operaciones más sencillas llamadas operaciones lógicas. Las operaciones lógicas pueden hacerlas algunos circuitos contruidos

con transistores. Este tipo de circuitos se llaman **puertas lógicas**. Por consiguiente, una **puerta lógica** no es ni mas ni menos que un circuito electrónico especializado en realizar operaciones booleanas.

Las puertas lógicas fundamentales son tres AND, OR y NOR): Combinando algunas de las puertas anteriores podemos obtener otras nuevas (NAND, NOR, XOR, XNOR.....).

1. PUERTA LÓGICA AND (“Y”)

Aquella en la que la señal de salida (S) será un 1 solamente en el caso de que todas (dos o más) señales de entrada sean 1. Las demás combinaciones posibles de entrada darán una señal de salida de 0. Dicho de otra manera, realiza la función lógica de multiplicación.

SÍMBOLO	SÍMBOLO NORMALIZADO
TABLA DE VERDAD	FUNCIÓN
2 entradas = $2^2 = 4$ combinaciones de las entradas	$S = a \cdot b$
CIRCUITO EQUIVALENTE	

2. PUERTA LÓGICA OR (“O”)

Realiza la función lógica de la suma lógica. Por consiguiente, la señal de salida será un 1 siempre que alguna de las señales de entrada sea un 1.

SÍMBOLO	SÍMBOLO NORMALIZADO
TABLA VERDAD	FUNCIÓN
2 entradas = $2^2 = 4$ combinaciones de las entradas	$S = a + b$
CIRCUITO EQUIVALENTE	

3. PUERTAS LÓGICAS NOT ("NO")

Realiza la operación lógica de inversión o complementación i.e. cambia un nivel lógico al nivel opuesto. En este caso la puerta sólo tiene una entrada.

SÍMBOLO	SÍMBOLO NORMALIZADO						
TABLA DE VERDAD	FUNCIÓN						
1 entrada = 2 ¹ = 2 combinaciones de entradas	S = \bar{a}						
CIRCUITO EQUIVALENTE							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	a	S	0	1	1	0	
a	S						
0	1						
1	0						

4. PUERTAS LÓGICAS NAND

La función toma valor lógico 1 cuando las entradas valen 0. Es la negación de la AND, de manera que combinando una puerta AND y una NOT obtendríamos la nueva puerta NAND.

SÍMBOLO	SÍMBOLO NORMALIZADO															
TABLA VERDAD	FUNCIÓN															
2 entradas = 2 ² = 4 combinaciones de las entradas	S = $\overline{a \cdot b} = \bar{a} + \bar{b}$															
CIRCUITO EQUIVALENTE																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>b</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	a	b	S	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	
a	b	S														
0	0	1														
0	1	1														
1	0	1														
1	1	0														

5. PUERTAS LÓGICAS NOR

La función toma valor lógico 1 cuando las entradas valen 0. Es la negación de la OR, de modo que combinando una puerta OR y una NOT obtendríamos la nueva puerta NOR.

SÍMBOLO	SÍMBOLO NORMALIZADO															
TABLA DE VERDAD	FUNCIÓN															
2 entradas = 2 ² = 4 combinaciones de las entradas	S = $\overline{a \cdot b} = \bar{a} + \bar{b}$															
CIRCUITO EQUIVALENTE																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>b</th> <th>S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	a	b	S	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	
a	b	S														
0	0	0														
0	1	1														
1	0	1														
1	1	1														

VI. RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Para llevar a buen término la resolución de problemas deberemos seguir un orden determinado. Para poderlo explicar emplearemos el siguiente enunciado.

Implementar con puertas lógicas un sistema para determinar si un n° entre 0 y 7 es numero primo.

- Identificar las entradas y salidas:** en los enunciados se dan las condiciones a partir de las cuales identificaremos las entradas y salidas. En el ejemplo, como debemos obtener números entre 0 y 7 debemos emplear 3 entradas (2³-1=7) con una única salida.
- Crear la tabla de verdad a partir de del enunciado:** en nuestro caso pondremos como salida un 1 en todos los casos donde las combinaciones binarias corresponden a un número primo (2,3,5 y 7).

Nº representado	a	b	c	S
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
2	0	1	0	1
3	0	1	1	1
4	1	0	0	0
5	1	0	1	1
6	1	1	0	0
7	1	1	1	1

Normalmente las tablas de verdad deben simplificarse empleando

técnicas como la de los mapas de Karnaugh (no estudiaremos este curso los métodos de simplificación)

3. Obtener la función lógica a partir de la tabla de verdad: podemos elegir por dos opciones, implementación por 1s o por 0s.

◆ **Implementación por 1s** para obtener la *primera forma canónica de una función lógica*. Se obtiene directamente a partir de la tabla de verdad sumando todos los productos lógicos correspondientes a las salidas que dan una salida igual a 1 (despreciamos los que corresponden a una salida igual a 0). Las entradas con 0 se consideran negadas, y las entradas con 1 no negadas.

a	b	c	S	
0	0	0	0	
0	0	1	0	
0	1	0	1	⇒ f = $\bar{a} \cdot b \cdot \bar{c}$
0	1	1	1	⇒ f = $\bar{a} \cdot b \cdot c$
1	0	0	0	
1	0	1	1	⇒ f = $a \cdot \bar{b} \cdot c$
1	1	0	0	
1	1	1	1	⇒ f = $a \cdot b \cdot c$

La 1ª forma canónica (F1) en nuestro ejemplo será:

$$F_1 = \bar{a} \cdot b \cdot \bar{c} + \bar{a} \cdot b \cdot c + a \cdot \bar{b} \cdot c + a \cdot b \cdot c$$

◆ **Implementación por 0s** para obtener la *segunda forma canónica de una función lógica*. Se obtiene a partir de la tabla de verdad multiplicando todos los sumandos lógicos cuya salida sea 0 (despreciamos los aquellos cuya salida es 1). Las entradas con 1 se consideran negadas, y las entradas con 0 no negadas.

a	b	c	S	
0	0	0	0	⇒ f = $a + b + c$
0	0	1	0	⇒ f = $a + b + \bar{c}$
0	1	0	1	
0	1	1	1	
1	0	0	0	⇒ f = $\bar{a} + b + c$
1	0	1	1	
1	1	0	0	⇒ f = $\bar{a} + \bar{b} + c$
1	1	1	1	

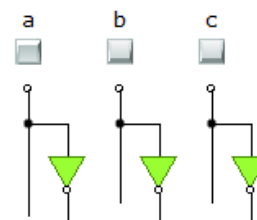
La 2ª forma canónica (F2) es un producto de sumas lógicas en las que interviene todas las variables; por lo que en nuestro ejemplo será:

$$F_2 = (a + b + c) \cdot (a + b + \bar{c}) \cdot (\bar{a} + b + c) \cdot (\bar{a} + \bar{b} + c)$$

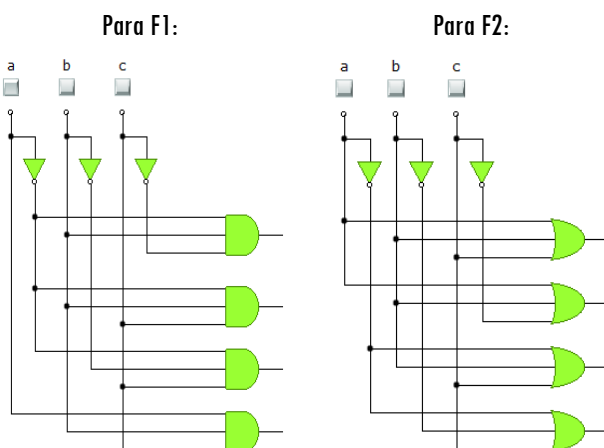
Las formas canónicas obtenidas deben ser lo más simples posibles, por lo que deben intentarse simplificar con el objeto de reducir el coste, ocupar menos espacio y aumentar la fiabilidad del circuito. Métodos de simplificación tales como los mapas de Karnaugh, métodos algebraicos, de Quine-McCluskey... (que no estudiaremos) intentan obtener una función lógica equivalente a la anterior; es decir, que con las mismas entradas, proporcione las mismas salidas, pero con el menor número de términos posible y cada término con el menor número de variables posible.

4. Implementar el circuito empleando puertas lógicas a partir de las funciones obtenidas:

4.1 Para ello se dibujarán tantos terminales lógicos de entrada (inputs) como variables de las que dependa la función (tres en nuestro ejemplo). Estos terminales deberían incluir, en caso necesario) sus valores negados utilizando puertas NOT.

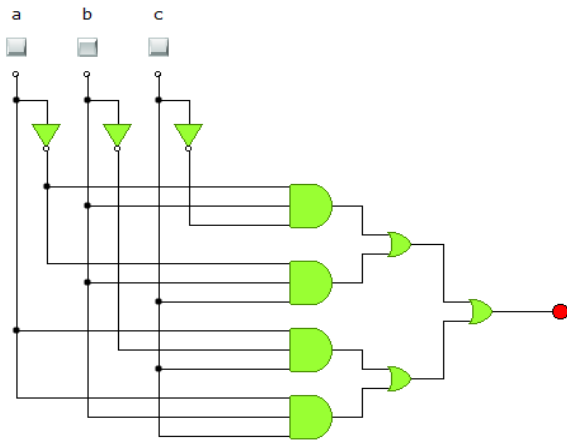


4.2 A continuación conectamos las variables de cada término con puertas AND (si empleamos la 1ª forma canónica) o OR (si usamos la 2ª forma canónica). Si sólo hay dos entradas se usará una sola puerta, si hay tres o más se irán añadiendo puertas.

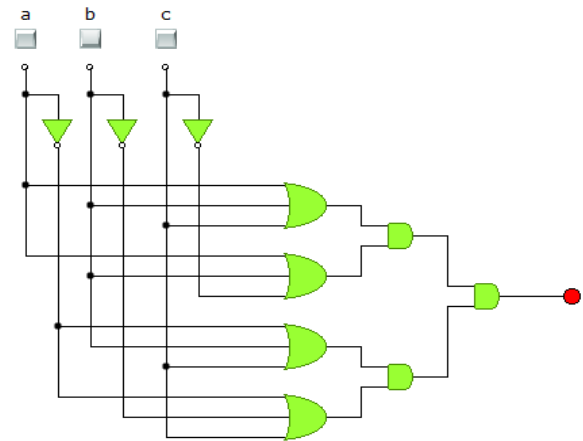


4.3 Seguidamente, conectaremos las salidas de las últimas puertas AND (de cada sumando) o OR (de cada producto) utilizando puertas OR (suma) o AND (producto), respectivamente. De esa manera conseguiremos implementar las operaciones correspondientes.

Así, si usamos la 1ª forma canónica tendremos el siguiente circuito:



Si partimos de la 2ª forma canónica tendremos el siguiente circuito:



EJERCICIO RESUELTO: SISTEMA DE SEGURIDAD DE UNA VIVIENDA

Se desea instalar un sistema de alarma en una vivienda compuesto por dos sensores (a y b) en sendas ventanas, y un interruptor de la alarma (c). Cuando el sistema está activado (se cerrará el interruptor), un timbre deberá sonar al abrir alguna o las dos ventanas. Si el sistema no está activado, el timbre no sonará aunque se abra alguna de las ventanas. Implementar un circuito electrónico digital empleando puertas NOT, OR y AND para el control del sistema

→ Identificamos 3 entradas (a,b y c) y la salida (S), asignando los siguientes valores lógicos 0 y 1 a los estados físicos: entradas y salidas:

x Ventanas: cerradas (0), abiertas (1) x Interruptor: abierto (0), cerrado (1) x Alarma sonora : inactiva (0), activa (1)

→ Elaboramos la tabla de verdad y obtenemos la 1ª forma canónica (en la salida hay más 1s que 0s).

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

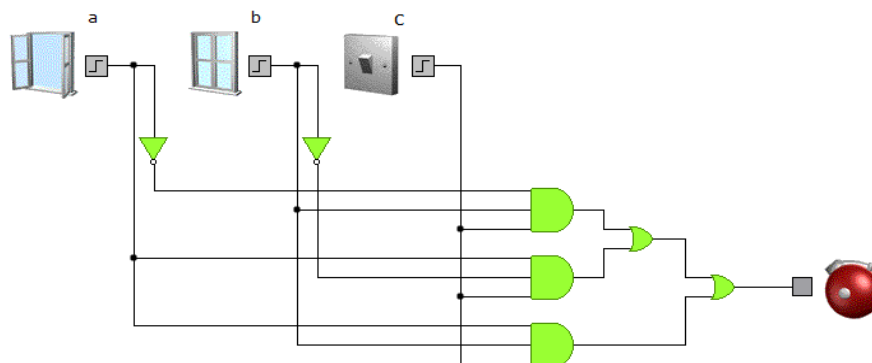
⇒ $f = \bar{a} \cdot b \cdot c$

⇒ $f = a \cdot \bar{b} \cdot c$

⇒ $f = a \cdot b \cdot c$

$F_1 = \bar{a} \cdot b \cdot c + a \cdot \bar{b} \cdot c + a \cdot b \cdot c$

→ Finalmente implementamos el circuito:



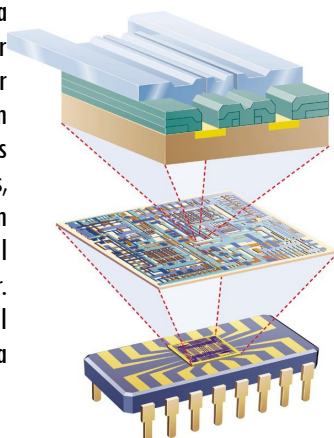
VII. CIRCUITOS INTEGRADOS

Históricamente las primeras puertas lógicas se hicieron con relés. Después con válvulas de vacío (ya en desuso) y finalmente, con transistores. Las puertas lógicas no se comercializan individualmente, sino que se presentan empaquetadas en un circuito integrado.



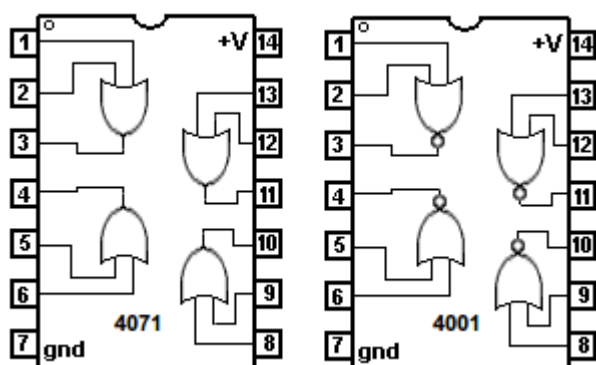
Los **Circuitos Integrados** (I.C. *Integrated Circuits*) son circuitos que están formados por componentes electrónicos (transistores, diodos, resistencias, condensadores...) fabricados en una oblea de silicio (miniaturizados), Utilizan pequeños chips de silicio protegidos por una funda o carcasa de plástico y con unas patillas para realizar las conexiones. También se les llama chip o **microchip**.

En un chip, los elementos del circuito son tan pequeños que se necesita un buen microscopio para verlo. En un microchip de un par de centímetros de largo por un par de centímetros de ancho pueden haber millones de transistores además de resistencias, condensadores, diodos, etc. Un ejemplo muy bueno sería el microprocesador de un ordenador. El pentium IV de Intel, sacado al mercado en el 2001, integraba unos 42 millones de transistores.



Los IC se pueden implementar con diferentes técnicas o *tecnologías*, según sean los métodos de fabricación de los componentes. Las tecnologías más conocidas y usadas son las TTL (Transistor-Transistor Logic) y CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), aunque existen otras, tales como la ECL, DTL, Bipolar, NMOS, PMOS. Sin embargo, no es el objetivo de esta unidad el profundizar en su conocimiento.

Fig 4: Diagrama de las conexiones de un circuito integrado CMOS



El empleo de los IC desde la década de 1950 ha permitido, entre otros:

- minimizar el cableado de los equipos electrónicos
- minimizar el tamaño y el peso de éstos
- facilitar el ensamblaje y montaje de los equipos electrónicos

Algunas de las ventajas del empleo de IC frente a una implementación tradicional basada en transistores discretos, son:

- Alto grado de integración, llegándose a implementar millones de componentes en un chip de reducidas dimensiones.
- Reducción de coste, debido al alto grado de automatización existente en la fabricación de los CI y la producción en masa.
- La fiabilidad. Un IC posee mayor fiabilidad en cuanto a funcionamiento y duración que los transistores discretos.
- La velocidad de funcionamiento es mayor ya que el paso de la corriente depende de las longitudes de las interconexiones, muy pequeñas dentro del CI.
- Reducción de los posibles errores de montaje e interconexión de componentes.
- Disminución del nº de averías debido al contacto entre cables, malas soldaduras, errores en la fabricación...

Existen miles de circuitos integrados diferentes. Cada fabricante especifica las funciones y condiciones de funcionamiento de cada uno de ellos. Uno de los factores más importantes a considerar es la temperatura, ya que algunos trabajan a tales velocidades (por ejemplo los microprocesadores de los ordenadores) o con corrientes tan elevadas que podrían llegar a fundir.

A continuación presentamos algunos de los más habituales:

- ★ **Amplificadores Operacionales (µ741):** Este circuito integrado de 8 patas sirve para aumentar una señal de entrada; por ejemplo, la señal de voltaje que tiene un micrófono para que salga por un altavoz, o para amplificar la señal de antena de una televisión (no el 741 sino otro modelo).
- ★ **Comparador (LM741, LM311...)** se emplea para comparar el nivel de dos señales; por ejemplo activar un ventilador si se supera determinada temperatura...
- ★ **Regulador de tensión (7805,7806,7809...):** Se emplea cuando es necesario una tensión continua a partir de la tensión alterna de la red eléctrica.
- ★ **Temporizador (N555):** El temporizador NE555 es otro circuito integrado de 8 patas. Genera señales temporales con mucha estabilidad y precisión, lo cual lo convierte en el circuito base de muchas aplicaciones que necesite un control del tiempo: temporizadores, generadores de señales, relojes, retardadores, etc.

DISPLAY DE 7 SEGMENTOS

Muchos equipos electrónicos emplean un display de 7 segmentos (Fig: 5) formado por 7 LEDs y un circuito decodificador BCD (de 4 bits) para formar los caracteres decimales de 0 a 9 (y algunas veces los caracteres hexadecimales de A a F). Para tratar de explicar su funcionamiento, vamos a considerar un depósito de agua en el cual hemos colocado 3 sensores de humedad (S1, S2 y S3) para poder conocer su nivel de llenado. Cada sensor entregará un 1 cuando el agua haya alcanzado o superado el nivel del sensor, y un valor 0 cuando no le alcance el agua. Los tres sensores irán conectados al circuito de control que vamos a diseñar.

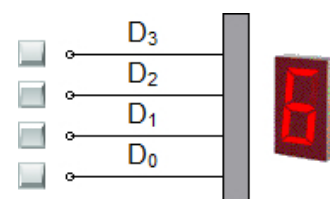


Fig 5: Display de 7 segmentos

Tabla 1: Visualización del display en función de las entradas

D3	D2	D1	D0	Mensaje
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	1	0	A
1	0	1	1	B
1	1	0	0	C
1	1	0	1	D
1	1	1	0	E
1	1	1	1	F

Los displays de 7 segmentos suelen comercializarse con un codificador BCD incorporado, que dispone de 4 terminales de entrada (D1, D2, D3 y D4). La tabla 1 muestra la visualización que ofrece el display en función de las entradas del codificador BCD. Estos 4 terminales serán las salidas del circuito lógico, por lo que a cada uno le asignaremos una función lógica. Un valor lógico 0 indicará que no llega corriente y un valor 1 indicará que llega corriente. Emplearemos la tabla de verdad 2 para diseñar el circuito de control. En nuestro sistema cuando se presente una situación absurda (por ejemplo que el sensor S3 detecte agua, no detectándola el sensor S1) el mensaje que debe mostrar el display será de E de error.

Tabla 2: Tabla de verdad según las variables de entrada

Variables			MENSAJE DEL DISPLAY	Funciones			
S3	S2	S1		D3	D2	D1	D0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	1
0	1	0	E	1	1	1	0
0	1	1	2	0	0	1	0
1	0	0	E	1	1	1	0
1	0	1	E	1	1	1	0
1	1	0	E	1	1	1	0
1	1	1	3	0	0	1	1

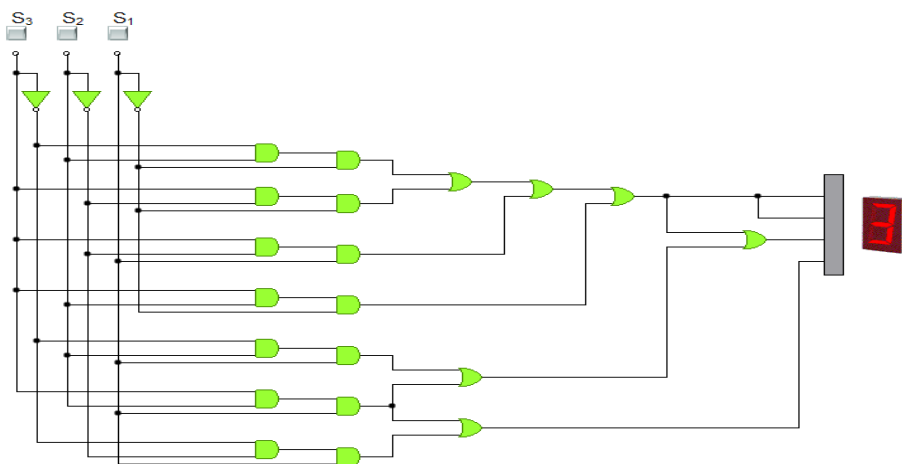
A partir de la tabla de verdad 2 podemos deducir las primeras formas canónicas (Fijaros que en este ejemplo, las funciones D2 y D3 son iguales). Estas formas canónicas serán:

$$D3 = D2 = \bar{S3} \cdot \bar{S2} \cdot \bar{S1} + S3 \cdot \bar{S2} \cdot \bar{S1} + S3 \cdot \bar{S2} \cdot S1 + S3 \cdot S2 \cdot \bar{S1}$$

$$D1 = \bar{S3} \cdot S2 \cdot \bar{S1} + \bar{S3} \cdot S2 \cdot S1 + S3 \cdot \bar{S2} \cdot \bar{S1} + S3 \cdot \bar{S2} \cdot S1 + S3 \cdot S2 \cdot \bar{S1} + S3 \cdot S2 \cdot S1$$

$$D0 = \bar{S3} \cdot \bar{S2} \cdot S1 + S3 \cdot S2 \cdot S1$$

Según estas funciones una posible implementación del circuito con puertas NOT, OR y NAD con dos entradas puede ser como el mostrado. Sin embargo empleando el álgebra de Boole u otro cualquier método de simplificación (no estudiado) dicho circuito se podrá simplificar, con el propósito de obtener un circuito con menos puertas y por lo tanto más barato, y que tarde menos tiempo en procesar la información.



EJERCICIOS. TEMA 4: ELECTRÓNICA DIGITAL

1. Transforma los siguientes números en código binario a sistema decimal:

- ✓ 110101 ✓ 101111011 ✓ 1000011
 ✓ 1011011000 ✓ 111111 ✓ 10000011

2. Transforma los siguientes números en sistema decimal a código binario:

- ✓ 32 ✓ 261 ✓ 107 ✓ 108 ✓ 90

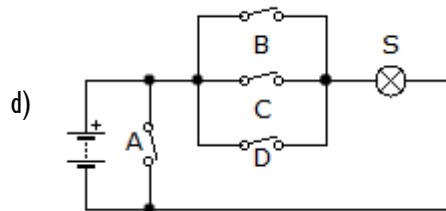
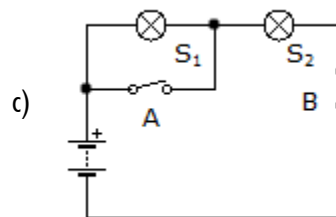
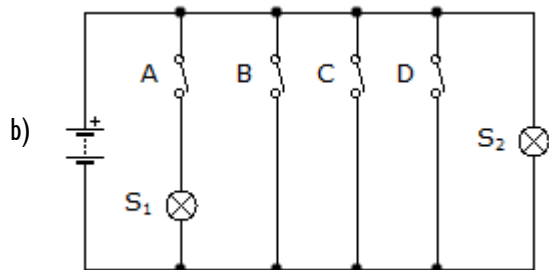
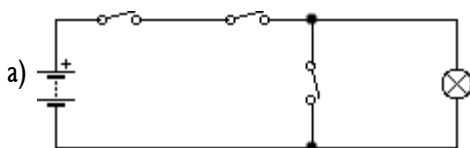
3. ¿Cuál es el mayor número en sistema decimal que se puede representar con los siguientes números de bits?

- ✓ 2 bits ✓ 3 bits ✓ 4 bits ✓ 8 bits ✓ 10 bits

4. ¿Cuántas combinaciones se pueden obtener con los siguientes números de bits? Escribe las posibles combinaciones.

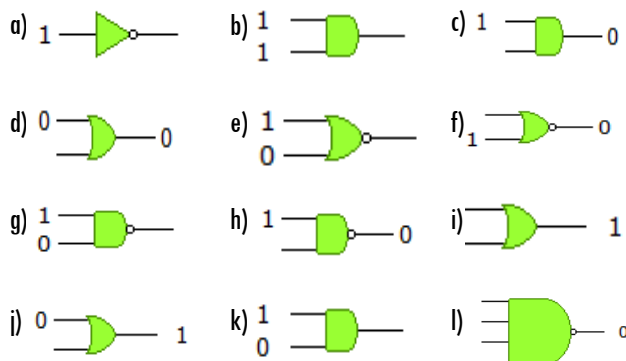
- ✓ 2 bits ✓ 3 bits ✓ 4 bits ✓ 5 bits

5. Realiza la tabla de verdad para los siguientes circuitos

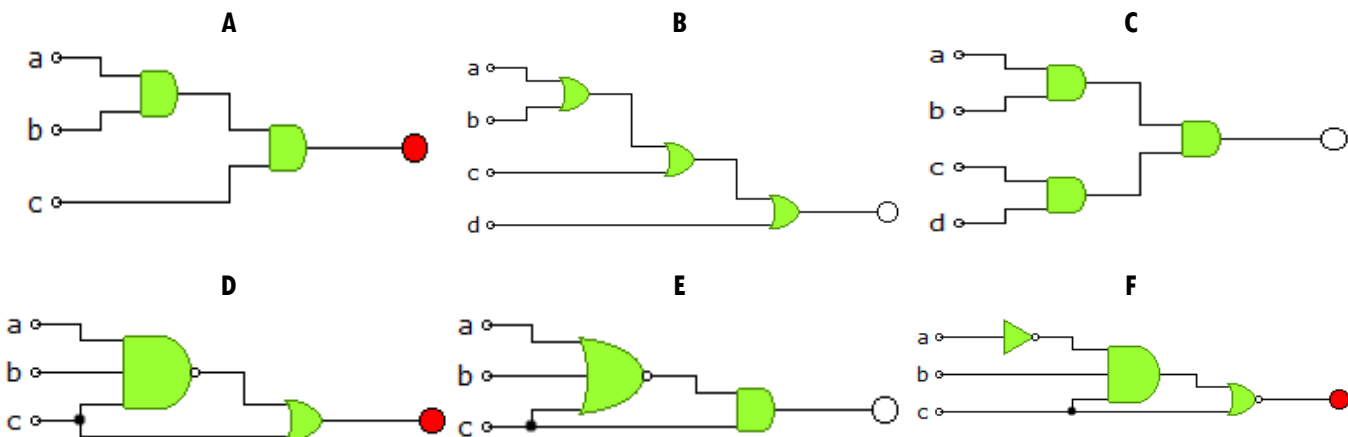


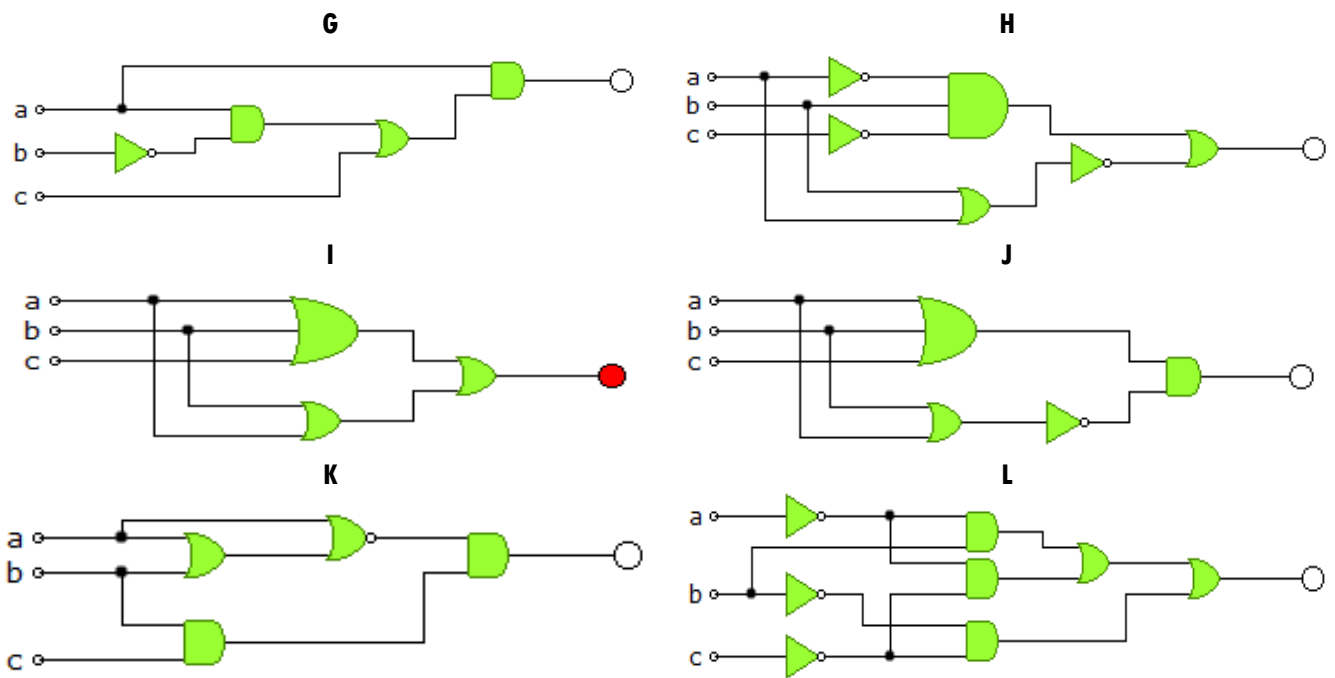
6. Obtiene las tablas de verdad de las puertas lógicas OR, AND, NAND, e NOR de tres entradas (o inputs). Representa las portas.

7. Nombra los tipos de puertas lógicas y coloca el valor del bit que falta, bien en la entrada o bien en la salida, según corresponda.



8. Nombra las puertas lógicas y obtén la función lógica de salida de los siguientes circuitos.





9. Diseña el esquema del circuito combinacional para las siguientes funciones lógicas:

a) $S = ab + cd + \bar{a}b + \bar{c}d$

d) $S = \overline{(abc + \bar{a}bc + \bar{a}b\bar{c} + \bar{a}b\bar{c})}$

f) $S = \overline{a\bar{b} + \bar{a}bc + ab}$

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

e) $S = ab + a(\bar{d} + c)$

g) $S = \overline{(ab + \bar{c}d)}$

c) $S = abc + \bar{a}\bar{b}c + \bar{a}b\bar{c} + \bar{a}b\bar{c} + a\bar{b}$

10. Obtén las tablas de verdad y diseña el esquema del circuito para las siguientes funciones lógicas:

a) $S = ab + \bar{a}b + \bar{a}\bar{b}$

d) $S = \bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d} + \bar{a}b\bar{c}\bar{d} + \bar{a}\bar{b}c\bar{d} + \bar{a}b\bar{c}d + \bar{a}\bar{b}cd + \bar{a}bcd$

b) $S = abc + \bar{a}\bar{b}c + \bar{a}b\bar{c} + \bar{a}b\bar{c}$

e) $S = ab + a(\bar{d} + c)$

c) $S = abcd + \bar{a}\bar{b}cd + \bar{a}b\bar{c}d + \bar{a}b\bar{c}d + \bar{a}b\bar{c}d$

11. Para cada una de las siguientes tablas de verdad, obtener la función lógica e implementar el circuito de puertas lógicas.

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

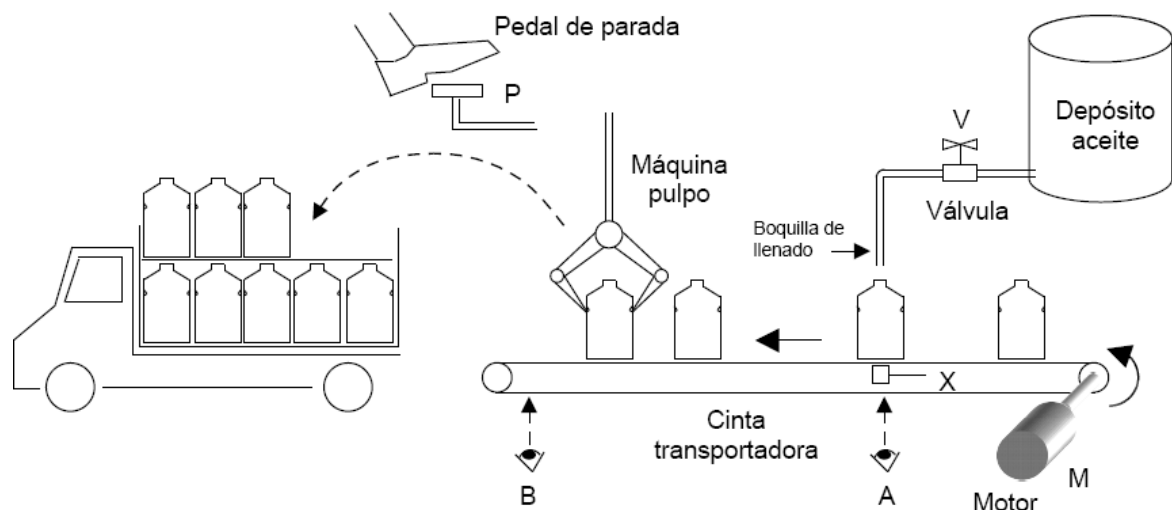
a	b	c	S
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

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

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

12. Diseña el circuito lógico combinacional para abrir automáticamente la puerta de un comercio (Sensor interior A e exterior B)
13. Diseña el circuito lógico combinacional que active una alarma sonora cuando la temperatura y la humedad de una habitación sean demasiado elevadas.
14. Diseña el circuito lógico combinacional que active una alarma sonora cuando la temperatura y/o la humedad de una habitación sean demasiado elevadas.
15. Obtén la función lógica que permita decidir si se ve o no la televisión en una casa sabiendo, que en el caso de que los dos padres estén de acuerdo esa será la decisión a tomar. Sólo en el caso de que los padres no estén de acuerdo, la decisión la tomará el hijo (A:madre; B:padre; C: hijo). Cuando la salida S sea 1 se verá la tele.
16. En un coche al abrir cualquiera de las cuatro puertas se activa un LED en señal de alarma. Obtén la función lógica para controlar el funcionamiento de la alarma.
17. Diseña un circuito constituido por tres pulsadores (a,b y c) y una lámpara que se encenderá cuando se pulsen los tres pulsadores a la vez o sólo uno de ellos.
18. Una habitación dispone de un sistema de alumbrado con 4 interruptores. El sistema se encenderá cuando el número de interruptores accionados sea impar. Obtén la tabla de verdad y la función lógica.
19. Diseña un circuito que conste de 3 variables de entrada y una de salida que toma el valor de 1 cuando el número representado a la salida sea par y mayor o igual a 6.
20. Obtén la función lógica se salida de un sistema lógico digital capaz de detectar los números comprendidos entre 8 y 12, ambos inclusive.
21. Se quiere diseñar un sistema en el que dado un número entre 0 y 7 en binario, nos indique si el número se encuentra entre el 0 y el 5, ambos inclusive (salida S1); y si el número está entre 3 y 7 ambos incluidos (salida S2). Escribir la tabla de verdad para el sistema y halla las formas canónicas.
22. Diseña un circuito con puertas lógica que nos indique si un número inferior a 10, codificado en binario, es primo (1) o no (0).
23. En una casa con dos puertas de acceso, una trasera y otra delantera, se quiere montar un sistema de alarma que funciona cuando se conecta un interruptor (P), de modo que cuando se abre cualquiera de las puertas se activa una alarma sonora. Obtén la tabla de verdad y el circuito lógico correspondiente.
24. Obtén la tabla de verdad y las funciones lógicas correspondientes a un circuito formado por tres pulsadores (a,b y c), un motor y una lámpara que cumple las siguientes condiciones:
 - El motor funciona con los tres pulsadores activados.
 - Si se pulsan dos pulsadores el motor funciona y se enciende la lámpara
 - Si se pulsa sólo un pulsador el motor no funciona y se enciende la lámpara.
 - Si no se pulsa ningún pulsador no funciona ni la lámpara ni el motor.
25. Un sistema indicador de la temperatura de un proceso químico posee tres sensores de temperatura digitales. Cada indicador dará una salida de 1 si la temperatura está por encima del valor tarado. Diseña el circuito para que el sistema detecte cuando la temperatura del proceso esté comprendida entre T1 y T2, o que sea superior a T3 ($T1 > T2 > T3$). Obtén la tabla de verdad, la función lógica y diseña el circuito.
26. Un pueblo dispone de un depósito que se llana con agua bombeada desde una presa. La bomba es accionada cuando el nivel del depósito es inferior a un valor mínimo o cuando el nivel de la presa es superior al nivel máximo predeterminado. Obtén la tabla de verdad, la función lógica y diseña el circuito.
27. Se desea diseñar un circuito de control de una máquina trituradora provista de dos trituradores (S1 y S2) y de dos sensores (a,b) que determinan el nivel de los elementos a triturar. Cuando la máquina está llena deben entrar en funcionamiento ambos trituradores. A niveles intermedios sólo debe funcionar uno de los trituradores. Si no se detecta ningún elemento a triturar, ambos trituradores han de estar parados. Además, el sistema dispone de un interruptor de emergencia (p) de modo que cuando esté conectado, la máquina opera según su contenido. Si el interruptor p está desconectado, la máquina ha de pararse independientemente de su contenido. Obtén la función lógica del circuito.
28. Se dese diseñar el circuito de control de una planta de montaje encargado de dar la señal de aviso de evacuación. El sistema dispone de tres sensores: A (sensor de encendido), B (sensor de humedad) y C (sensor de presión). Los materiales con los que se trabaja son inflamables y sólo toleran unos niveles mínimos de presión y humedad de forma conjunta. Estos niveles se encuentran programados en los sensores correspondientes. El circuito a diseñar debe activar una señal de alarma cuando exista riesgo para los operarios de la planta. Obtén la tabla de verdad y la función lógica correspondiente.

29. Una prensa se pone en marcha mediante la activación simultánea de 3 pulsadores. Si se pulsa sólo dos pulsadores, la prensa funcionará, pero se activará una señal luminosa indicando una manipulación incorrecta. Cuando se pulse un sólo dispositivo se encenderá la lámpara pero no se activará la prensa. Obtener la tabla de verdad y las funciones lógicas correspondientes.
30. Un invernadero está controlado por tres sensores de temperatura (T_1, T_2 y T_3). Los valores son tales que $T_1 < T_2 < T_3$. Para refrigerar el invernadero existen dos ventiladores (V_1 y V_2) cuyo modo de funcionamiento es el siguiente:
- Por debajo de T_1 , no se activa ningún ventilador.
 - Entre T_1 y T_2 , se activa el ventilador pequeño (V_1)
 - Entre T_2 y T_3 , se activa el ventilador grande (V_2)
 - Por encima de T_3 , se activan los dos ventiladores.
- Diseña el circuito combinacional correspondiente.
31. En un coche de dos plazas se quiere instalar un sistema que indique si los viajeros tienen puesto el cinturón de seguridad. Para conseguirlo se instalan dos sensores de peso (a y c) que indican si está el viajero en el asiento. Otros dos sensores (b y d) informan si los correspondientes cinturones están abrochados. La salida del sistema será 1 en el caso de que el sistema detecte cuando un viajero no lleve el cinturón abrochado. Obtén la tabla de verdad y la función lógica.
32. El motorcillo M del limpiaparabrisas de un coche se pone en marcha cuando está cerrada la llave de contacto C y se cierra el interruptor del limpiaparabrisas L . Sin embargo, al abrir el interruptor L , el motor del limpiaparabrisas sigue funcionando hasta que la escobilla llega a su punto de reposo (para que no se quede en mitad del parabrisas), lo que es detectado por un final de carrera, F . Determinar la tabla de verdad y la función lógica del sistema. Implementar el circuito con puertas lógicas.
33. Se quiere diseñar un sistema de riego automático de un invernadero. El sistema está formado por tres sensores:
- **S**: detecta la Sequedad del suelo. Si está seco da un 1.
 - **T**: detecta la Temperatura. Si es demasiado alta da un 1.
 - **A**: detecta si hay Agua en el depósito desde el que se riega. Si hay agua da un 1.
- El sistema tiene las siguientes salidas:
- **V_R**: Válvula de Riego. Cuando se pone a 1 se abre el sistema de riego. Si se pone a 0 se deja de regar.
 - **A_V**: Mecanismo que abre ventanas para que entre aire fresco. Cuando se pone a 1 se abren las ventanas, cuando se pone a 0 se cierran las ventanas.
 - **G_D**: Grifo Depósito. Cuando se pone a 1 este grifo empieza a llenar el depósito de agua.
 - **L_A**: Luz de Alarma. Cuando se pone a 1 se enciende una luz roja de alarma que indica peligro
- Las condiciones de funcionamiento son:
- Se riega si hay sequedad, no es alta la temperatura y hay agua en el depósito.
 - Se abren ventanas si es alta la temperatura.
 - Se empieza a llenar el depósito si éste se queda sin agua.
 - Se enciende la luz de alarma si hay sequedad y no hay agua en el depósito para regar.
- Obtener la tabla de verdad y las funciones lógicas de las cuatro salidas del sistema (V_R, A_V, G_D y L_A).
34. Obtener las tablas de verdad e implementar los circuito con puertas lógicas para las salidas M y V para el control electrónico de un sistema de llenado automático de bidones de aceite cuyo funcionamiento es el siguiente:



- El sistema consiste en una cinta transportadora movida por el motor M , encima de la cual vienen los bidones vacíos hasta que llegan

debajo de la boquilla de llenado, lo cual es detectado por el sensor de posición **A**.

- Durante el llenado del bidón, la cinta transportadora permanece parada. Para echar aceite en el bidón, el sistema tiene que activar (abrir) la válvula de llenado **V**. El sensor de peso **X** se activa cuando el peso del bidón indica que ya está lleno, con lo cual se tiene que desactivar (cerrar) la válvula **V** para dejar de echar aceite.
- Una vez lleno el bidón, la cinta se pone en marcha de nuevo y el bidón sigue hacia adelante hasta que lo recoge una máquina-pulpo que lo deposita en un camión.
- El operario que dirige la máquina-pulpo dispone de un pedal de parada (**P**) que al ser pisado detiene la cinta transportadora, de forma que en el momento de agarrar un bidón éste no se esté moviendo.
- Al final de la cinta transportadora está el **sensor de posición B** que tiene que detener la cinta en caso de que un bidón llegue al final sin ser recogido por la máquina-pulpo (es un elemento de seguridad para evitar que se caigan los bidones al llegar al final de la cinta).

Las entradas del sistema son:

- **A**: Sensor de posición de la boquilla de llenado. Da un 1 cuando un bidón se pone encima.
- **X**: Sensor de peso. Da un 1 cuando el bidón situado encima está lleno.
- **B**: Sensor de posición de fin de cinta. Da un 1 cuando un bidón se pone encima.
- **P**: Pedal de parada. Da un 1 mientras lo pisa el operario de la máquina-pulpo para coger el bidón.

Las salidas del sistema son:

- **M**: Motor que mueve la cinta. Si se pone a 1 la cinta se mueve y a 0 la cinta de para.
- **V**: Válvula de llenado. Si se pone a 1 se echa aceite en el bidón y a 0 se deja de echar.

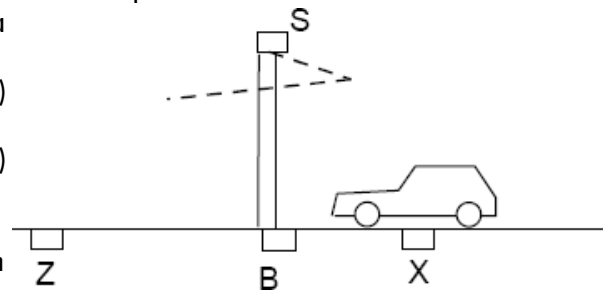
35. El circuito de un sistema de alarma de una vivienda consta de un sensor en la puerta (**C**) y dos sensores **A** y **B** en las ventanas. Los sensores entregan un 1 cuando están abiertas las ventanas o puertas y un 0 en caso contrario. El sistema se activa con un interruptor **P** que ha de estar activado para que la alarma funcione. Cuando la alarma está conectada, la apertura de la puerta o de alguna de las ventanas ha de activar una alarma sonora. Si el sistema está desconectado, se encenderá un LED (LED1) informando que alguna de las ventanas están abiertas; y otro LED (LED2) si la puerta está abierta.

36. Se quiere diseñar un sistema para la apertura y cierre automático de una puerta de garaje. La puerta es sólo de entrada y abre subiendo hacia arriba. Dispone de cuatro sensores, llamados **X**, **Z**, **B** y **S**, que detectan lo siguiente:

- El sensor de peso **X** entrega un 1 cuando un vehículo se sitúa sobre él delante de la puerta.
- El sensor de peso **Z**, entrega un 1 cuando un vehículo está pasada la puerta.
- El sensor **B** es un final de carrera que se presiona (entregando un 1) cuando la puerta está totalmente bajada (= cerrada).
- El sensor **S** es otro final de carrera que se presiona (entregando un 1) cuando la puerta está totalmente subida (=abierta).

Las condiciones de funcionamiento serán las siguientes:

- La puerta se abre o cierra por la acción de un motor que funciona en dos sentidos. Cuando se activa el relé "A", la puerta abre (=sube) y cuando se activa el relé "C" la puerta cierra (=baja).
- Cuando la puerta esté cerrada o bajando, se encenderá una luz roja "R" y cuando la puerta esté totalmente abierta se encenderá una luz verde "V".
- Cuando llegue un vehículo a **X** la puerta empieza a subir hasta abrirse completamente.
- Cuando la puerta se ha abierto el vehículo avanza y al pasar por **Z** la puerta empieza a bajar hasta cerrarse. No hace falta que el vehículo permanezca en **Z** hasta que la puerta se cierre, basta que pase por el sensor un breve tiempo.
- Considerar que el tiempo que tarda el vehículo en pasar por el sensor **Z** es suficientemente largo como para que cuando haya pasado le ha dado tiempo a la puerta a bajar lo suficiente para que se haya dejado de pisar el final de carrera **S** y se tenga ya $S = 0$.
- Se pide:
 - a) La tabla de verdad del sistema.
 - b) Hallar la función lógica simplificada de cada salida del sistema ("A", "C", "V" y "R")

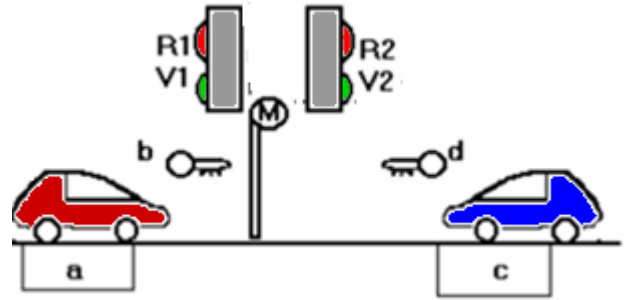


37. Obtén la tabla de verdad y las funciones lógicas del circuito de apertura de la puerta del garaje de la figura que consta de 4 entradas:

- **a:** detector de coche en la entrada
- **b:** llave de apertura fuera del garaje
- **c:** detector de coche que quiere salir
- **d:** llave de apertura dentro del garaje

El circuito posee 5 salidas:

- **M:** Motor de la puerta (0 : cerrar; 1: abrir).
- **R1, V1:** Luces rojas y verdes de la entrada del garaje.
- **R2, V2:** Luces rojas y verdes del interior del garaje.



Las condiciones de funcionamiento son las siguientes:

- La puerta se tiene que abrir si hay un coche en la entrada y acciona la llave de entrada (siempre y cuando no haya nadie dentro) o si hay alguien en el interior del garaje y acciona la llave.
- La luz roja R1 ha de encenderse si hay alguien dentro que quiera salir.
- La luz V1 ha de encenderse si hay alguien fuera, y dentro no hay nadie.
- La luz roja R2 ha de encenderse si hay alguien fuera que quiere entrar.
- La luz V2 ha de encenderse si hay alguien dentro, y fuera no hay nadie.
- Si hay dos coches (en la entrada y en el interior) y accionan la llave a la vez, las luces deben indicar que la preferencia es para el coche que sale, abriéndose la puerta.