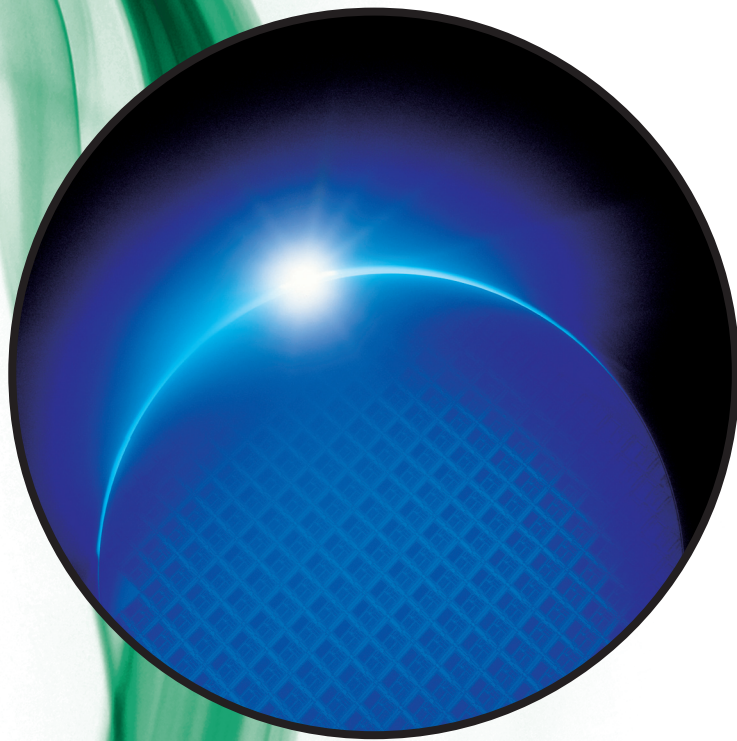


# Unidad 1

## Introducción a los sistemas digitales



### En esta unidad aprenderemos a:

- Diferenciar un sistema digital de uno analógico.
- Utilizar los diferentes sistemas de numeración y los códigos.
- Identificar las funciones lógicas básicas.
- Analizar los parámetros de las principales familias lógicas.
- Realizar medidas en circuitos digitales.

### Y estudiaremos:

- Los sistemas de numeración binario y hexadecimal.
- El álgebra de Boole.
- Los principales tipos de puertas lógicas.
- Las características de las familias lógicas.
- Los instrumentos de medida de este tipo de circuitos.

## ● 1. El módulo de Electrónica

El cambio en el perfil del tipo de instalaciones que se están realizando en el ámbito de las empresas del sector eléctrico ha provocado una profunda transformación en la formación de los instaladores electricistas. El ciclo formativo de grado medio **Técnico en instalaciones eléctricas y automáticas** nace para dar respuesta a esa demanda de nueva formación, con el fin de formar profesionales con un alto grado de especialización.

Aunque Electricidad y Electrónica son dos campos relacionados entre sí, hay que hacer una distinción entre la **Electricidad** y la **Electrónica** como ramas del conocimiento: la Electricidad está enfocada a la obtención y distribución de energía eléctrica, y la Electrónica se encarga del estudio y la aplicación de los electrones en diversos medios, bajo la influencia de campos eléctricos y magnéticos.

El perfil profesional de este título está encaminado a la formación de un profesional polivalente, que sea capaz de adaptarse a las nuevas necesidades del mercado laboral. Además, forma a un técnico con **gran especialización** en la instalación y mantenimiento de infraestructuras de **telecomunicaciones**, sistemas de domótica, sistemas de **energía solar fotovoltaica**, etc.

Una vez realizados todos los módulos del ciclo formativo, el alumno estará capacitado para realizar las siguientes **actividades profesionales**: montaje y mantenimiento de las instalaciones de telecomunicaciones en edificios, instalaciones domóticas, instalaciones eléctricas en el ámbito industrial e instalaciones de energía solar fotovoltaica, entre otras. Además poseerá los conocimientos necesarios para desarrollar su actividad profesional atendiendo a las medidas de seguridad en cada caso, a los protocolos de calidad y respetando el medio ambiente.

De uno de estos módulos profesionales, que contribuye a alcanzar dicha competencia, es del que nos vamos a ocupar a lo largo de este libro.

El nuevo Técnico especialista en instalaciones eléctricas y automáticas debe tener una buena base de conocimientos sobre el funcionamiento y la aplicación de los circuitos electrónicos que utilizará en el desarrollo de su profesión de manera habitual (Fig. 1.1).

El módulo de *Electrónica* tiene este cometido, aportar al alumno y futuro técnico, los conocimientos suficientes, tanto en el ámbito de la Electrónica analógica como en el de la Electrónica digital, para entender el funcionamiento de los equipos que utilizará en su entorno profesional.

*Electrónica* es un **módulo soporte**, que proporciona una adecuada base teórica y práctica para la comprensión de las funciones y características de los equipos y elementos electrónicos utilizados en instalaciones y sistemas de instalaciones comunes de telecomunicaciones, instalaciones domóticas e instalaciones fotovoltaicas, etc. Por eso, los montajes y aplicaciones propuestos en este módulo son la base del conocimiento para entender el funcionamiento de equipos más complejos.



**Fig. 1.1.** La Electrónica estudia los principios en los que se basa el funcionamiento de los equipos con los que el técnico instalador y mantenedor deberá trabajar en su entorno profesional.

En el currículo del ciclo, publicado en el Real Decreto 177/2008, de 8 de febrero (BOE de 1 de marzo), se establecen una serie de competencias, tanto a nivel profesional como personal, que se pretenden alcanzar a la finalización del mismo. En el caso del módulo de Electrónica aplicada, contribuye a alcanzar las siguientes competencias:

- Configurar y calcular instalaciones y equipos teniendo en cuenta las prescripciones y la normativa vigente.
- Mantener y reparar instalaciones y equipos electrónicos relacionados con su ámbito profesional.
- Verificar el funcionamiento de las instalaciones o los equipos realizando pruebas funcionales y de comprobación, para proceder a su puesta en funcionamiento.

Además, el módulo de *Electrónica* contribuye a alcanzar los **objetivos** generales del ciclo formativo, entre los que podemos destacar:

- a) Identificar los elementos de las instalaciones y los equipos, analizando planos y esquemas.
- b) Delinear esquemas, croquis o planos de emplazamiento de los circuitos, empleando los medios y las técnicas de dibujo y representación simbólica normalizada.
- c) Seleccionar el utillaje, las herramientas, los equipos, así como los medios de montaje y de seguridad en el desempeño de su función profesional.
- d) Aplicar técnicas de mecanizado, conexión, medición y montaje.
- e) Comprobar el conexionado, los aparatos de maniobra y protección, así como las señales y parámetros característicos en las instalaciones y los equipos.

A lo largo del libro desarrollaremos los bloques de contenidos que nos permitirán alcanzar los conceptos necesarios para cumplir estos objetivos descritos en el apartado anterior. Estos **bloques** los podemos estructurar de la siguiente manera:

1. Fundamentos de Electrónica digital.
2. Componentes electrónicos.
3. Circuitos de aplicación de Electrónica analógica: rectificadores y filtros, osciladores, etc.
4. Circuitos amplificadores.
5. Fuentes de alimentación.
6. Sistemas electrónicos de potencia.

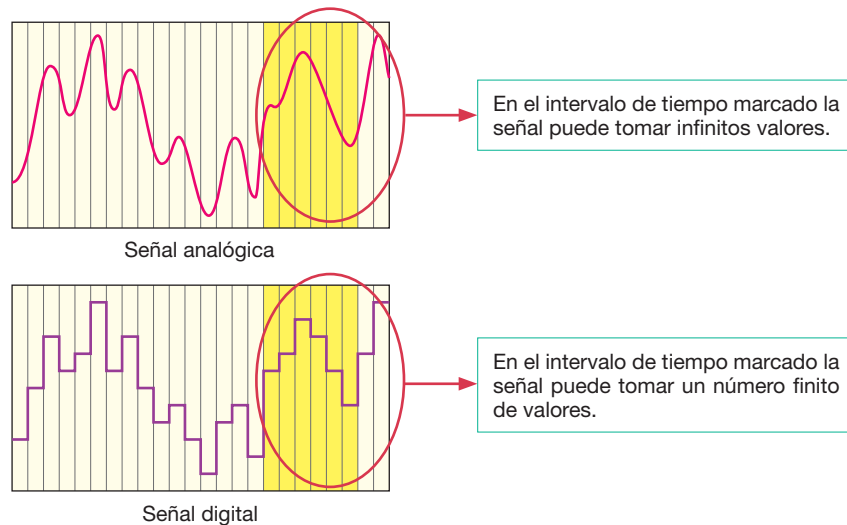
### Actividades

1. Busca en el BOE el listado de competencias profesionales que se adquieren gracias a la realización del ciclo. Añade a la lista anterior alguna más que no haya sido mencionada anteriormente.
2. Realiza una lista con las posibles funciones que puede desempeñar un instalador que haya cursado este ciclo formativo.
3. Busca en Internet ejemplos de instalaciones en las que podría intervenir un técnico que haya realizado el ciclo formativo de *Técnico en instalaciones eléctricas y automáticas*. Organiza una lista de las mismas con ayuda de tus compañeros. Añade, además, cuáles podrían ser las actuaciones que realizaría este técnico. Bázate para ello en la descripción que encontrarás en el BOE citado en esta misma página.

## ● 2. Introducción a la Electrónica digital

El gran desarrollo experimentado por la Electrónica en los últimos años ha propiciado que la mayoría de los equipos actuales funcionen con sistemas digitales. Un sistema digital se caracteriza por utilizar **señales discretas**, es decir, señales que toman un número finito de valores en cierto intervalo de tiempo.

La **comparación gráfica** entre una **señal analógica** y una **digital** es la siguiente:



**Fig. 1.2.** Comparativa gráfica de una señal analógica frente a una señal digital.

En la Figura 1.2, la señal inferior corresponde a la digitalización de la señal analógica, y contiene información suficiente para poder reconstruir la señal digital.

Todas las telecomunicaciones modernas (Internet, telefonía móvil, etc.) están basadas en el uso de este tipo de sistemas, por lo que el estudio de las mismas resulta de gran importancia para cualquier técnico que trabaje en este ámbito.

Son muchas las **razones** que han favorecido el **uso extensivo de los sistemas digitales**, entre ellas:

- Mayor fiabilidad en el procesamiento y transmisión de la información frente a los sistemas analógicos, ya que una pequeña degradación de la señal no influirá —en el sistema digital— en su valor (o en su influencia como entrada en un circuito digital). Sin embargo, en un circuito analógico, cualquier pequeño cambio que se pueda producir en la señal propiciará la pérdida de información en la misma.
- Disposición de un soporte matemático adecuado para su desarrollo, en concreto, el álgebra de Boole.
- Dominio de las tecnologías de fabricación adecuadas.
- Contar con una amplia distribución comercial gracias a sus diversas aplicaciones en múltiples campos.

Podemos **clasificar** los **circuitos digitales** en dos grandes grupos:

- **Circuitos combinatoriales:** se caracterizan porque las salidas únicamente dependen de la combinación de las entradas y no de la historia anterior del circuito; por lo tanto, no tienen memoria y el orden de la secuencia de entradas no es significativo.
- **Circuitos secuenciales:** se caracterizan porque las salidas dependen de la historia anterior del circuito, además de la combinación de entradas, por lo que estos circuitos sí disponen de memoria y el orden de la secuencia de entradas sí es significativo.

### ¿Sabías que...?

El álgebra de Boole son las *matemáticas* de la Electrónica digital. A lo largo de la unidad profundizaremos en su estudio.

## 3. Sistemas de numeración

La información que se va a manejar en cualquier sistema digital tiene que estar representada numéricamente. Para ello, necesitaremos un sistema de numeración acorde con las características intrínsecas de este tipo de señales.

Un **sistema de numeración** se define como un conjunto de símbolos capaces de representar cantidades numéricas. A su vez, se define la **base del sistema** de numeración como la cantidad de símbolos distintos que se utilizan para representar las cantidades. Cada símbolo del sistema de numeración recibe el nombre de **dígito**.

### ¿Sabías que...?

En Informática, suelen usarse el sistema octal y el hexadecimal. Este último fue introducido por IBM en los ordenadores en el año 1963.

Así, los **sistemas de numeración** más utilizados son:

<b>Sistema decimal o de base 10</b>	Consta de diez dígitos: {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}.
<b>Sistema binario o de base 2</b>	Consta de dos dígitos: {0, 1}.
<b>Sistema octal o de base 8</b>	Consta de ocho dígitos: {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7}.
<b>Sistema hexadecimal o de base 16</b>	Consta de dieciséis dígitos: {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F}.

Tabla 1.1. Sistemas de numeración más utilizados.

El sistema que utilizamos **habitualmente** es el sistema **decimal**, sin embargo, el sistema empleado en los **equipos digitales** es el sistema **binario**. Por tanto, es necesario conocer cómo podemos relacionar ambos sistemas.

### 3.1. Sistema binario

Como ya hemos estudiado, el sistema binario o de base 2 solo utiliza dos símbolos para representar la información: 0 y 1. Cada uno de ellos recibe el nombre de **bit**, que es la unidad mínima de información que se va a manejar en un sistema digital. A partir de esta información, vamos a analizar cómo podemos convertir un número dado en el sistema decimal en un número representado en el sistema binario.

#### Caso práctico 1: Conversión de un número decimal al sistema binario

Convertir el número 34 dado en decimal a su equivalente en binario.

#### Solución:

Los pasos que debemos dar son los siguientes:

1. Realizamos sucesivas divisiones del número decimal, por la base del sistema binario, 2, hasta llegar a un número no divisible:

$$\begin{array}{r}
 34 \quad |2 \\
 \hline
 0 \quad 17 \quad |2 \\
 \hline
 \quad 1 \quad 8 \quad |2 \\
 \hline
 \quad \quad 0 \quad 4 \quad |2 \\
 \hline
 \quad \quad \quad 0 \quad 2 \quad |2 \\
 \hline
 \quad \quad \quad \quad 0 \quad 1
 \end{array}$$

En la operación, está marcado en rojo el último cociente que obtenemos (ya no se puede dividir entre 2) y en amarillo los restos de cada una de las divisiones parciales.

2. El número binario pedido se forma cogiendo el último cociente obtenido, y todos los restos, en el orden que está marcado por la flecha en la figura. De esta forma, el resultado será: **100010<sub>2</sub>**.

### Caso práctico 2: Conversión de un número binario al sistema decimal

Convertir el siguiente binario 1011 en su equivalente número decimal.

#### Solución:

En este caso, lo que debemos hacer es multiplicar cada bit, empezando por la izquierda en dirección hacia la derecha, por las potencias de 2 y a continuación sumamos tal como se muestra en el siguiente ejemplo:

$1011_2 = 1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^3 = 1 + 2 + 0 + 8 = 11_{10}$ , como podemos ver, el número binario 1011 se corresponde con el número 11 decimal. **Luego el binario será  $1011_2 = 11_{10}$ .**

### Unidades de medida

Un *byte* (u octeto) es una secuencia de 8 bits.

El *byte* se representa con la letra B y es la unidad básica de almacenamiento de la información. Es la unidad que define el tamaño de la palabra de un ordenador. Suele ponerse al lado del número binario, decimal y hexadecimal la base en subíndice para diferenciarla.

Ej.:  $100_{10}$  sería el número cien decimales por la base 10 en subíndice;  $100_2$  es el uno, cero, cero, binario, por la base 2;  $100_{16}$  es el 1, 0, 0 hexadecimal por la base 16.

Su uso actual está muy vinculado a la informática y a los sistemas computacionales, pues los ordenadores suelen utilizar el *byte* u octeto como unidad básica de memoria. En principio, y dado que el sistema usual de numeración es de base decimal y, por tanto, solo se dispone de diez dígitos, se adoptó la convención de usar las seis primeras letras del alfabeto latino para suplir los dígitos que nos faltan. Así, el conjunto de símbolos hexadecimales es: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F.

Donde la letra A es el 10 decimal, la letra B es el 11 decimal, etc. La Tabla 1.2 recoge la conversión de los números decimales a binarios y a hexadecimales:

N.º decimal	N.º binario	N.º hexadecimal	N.º decimal	N.º binario	N.º hexadecimal
0	0	0	8	1000	8
1	1	1	9	1001	9
2	10	2	10	1010	A
3	11	3	11	1011	B
4	100	4	12	1100	C
5	101	5	13	1101	D
6	110	6	14	1110	E
7	111	7	15	1111	F

Tabla 1.2. Conversión de los números decimales a binarios y hexadecimales.

Al igual que un número binario tiene su equivalente decimal, un número hexadecimal también se puede convertir a decimal, y a su vez un número decimal se puede convertir o tiene su equivalencia en uno hexadecimal.

Es importante tener en cuenta que el sistema octal utiliza la base 8. El conjunto de símbolos octales sería: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.

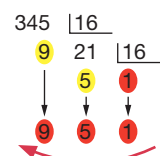
Por otra parte, la conversión de binario a octal se realiza igual que la conversión de binario a hexadecimal pero con grupos de tres bits; y en el caso de hexadecimal a binario, igual pero con grupos de tres bits para la conversión de octal a binario.

### Caso práctico 3: Conversión de un número dado en decimal al sistema hexadecimal

Convertir el decimal 345 en hexadecimal.

#### Solución:

- Se divide el número entre 16 tantas veces como sea necesario hasta que el último cociente sea inferior a 16.
- El número hexadecimal será el formado por el último cociente y los demás restos de las divisiones. Así: **El número decimal  $345_{10} = 159_{16}$  hexadecimal.**



### Caso práctico 4: Conversión de un número hexadecimal a decimal

Convertir el número  $78_{16}$  hexadecimal a decimal.

#### Solución:

Se multiplica el número hexadecimal por las potencias de 16 empezando por la derecha hacia la izquierda y a continuación se suma.

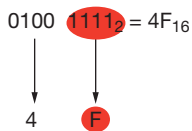
$$78_{16} = 8 \cdot 16^0 + 7 \cdot 16^1 = 8 + 112 = 120_{10}$$

Luego el número  $78_{16}$  hexadecimal =  $120_{10}$  decimal.

También podemos hacer conversiones de binario a hexadecimal y de hexadecimal a binario, tal como mostramos en los siguientes casos prácticos.

### Caso práctico 5: Conversión de un número binario a hexadecimal

Dado el número  $01001111_2$  binario, vamos a convertirlo en un número hexadecimal:



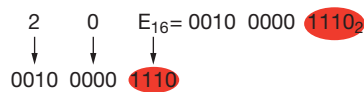
#### Solución:

Dado un número binario, debemos agrupar de cuatro en cuatro empezando por el lado derecho; si al llegar al final no hay un grupo de cuatro bits, se añaden ceros a la izquierda hasta completar el grupo y se sustituye por su correspondiente hexadecimal; en este caso el número  $1111_2$  es el F hexadecimal, y el  $0100_2$  es el 4 hexadecimal.

Luego el número binario  $01001111_2 = 4F_{16}$  hexadecimal.

### Caso práctico 6: Convertir un número hexadecimal a binario

Dado el número hexadecimal  $20E_{16}$ , convertir en binario.



#### Solución:

Dado el número hexadecimal, de derecha a izquierda sustituimos el número hexadecimal por el correspondiente binario de cuatro bits.

El número hexadecimal  $20E_{16} = 001000001110_2$  binario.

### Actividades

- Pasa los siguientes números decimales a binarios:  
a) 678.   b) 12.   c) 18.   d) 19.   e) 15.
- Pasa los siguientes números binarios a decimales:  
a) 1000111.   c) 10000.  
b) 1001.   d) 10101.
- Pasa los siguientes números decimales a hexadecimales:  
a) 456.   b) 89.   c) 90.   d) 100.
- Pasa los siguientes números hexadecimales a decimales:  
a) 23A.   b) 234D.   c) 56FF.   d) EF.
- Pasa los siguientes números binarios a hexadecimales:  
a) 1001111.   c) 1110101.  
b) 11110000.   d) 110101.
- Pasa los siguientes números hexadecimales a binarios:  
a) 23C.   b) 456E.   c) 234.   d) 445.   e) 78D.
- Pasa los siguientes números hexadecimales a decimales pasando por binarios:  
a) 546.   c) 78D.   e) 123B.  
b) 666.   d) 66BC.

## 4. Función lógica. Álgebra de Boole

El álgebra de Boole y los sistemas de numeración binarios vistos hasta ahora constituyen la base matemática para construir los sistemas digitales.

### ¿Sabías que...?

**George Boole** (1815-1864) fue un matemático y filósofo británico que inventó una serie de reglas para expresar y resolver problemas lógicos que solo podían tomar dos valores. Estas reglas conforman lo que conocemos como el álgebra de Boole.

El **álgebra de Boole** es una estructura algebraica que relaciona las operaciones lógicas O, Y, NO.

A partir de estas operaciones lógicas sencillas, se pueden obtener otras más complejas que dan lugar a las funciones lógicas. Por otra parte, hay que tener en cuenta que los valores que se trabajan en el álgebra de Boole son de tipo **binario**.

### 4.1. Álgebra de Boole

En el álgebra de Boole existen tres operaciones lógicas: **suma, multiplicación y complementación o inversión**. Sus postulados son los siguientes:

Operación	Forma de representarla	Postulados básicos
Suma	$F = a + b$	$0 + 0 = 0$ $a + 0 = a$ $0 + 1 = 1$ $a + 1 = 1$ $1 + 1 = 1$ $a + \bar{a} = 1$ $a + a = a$
Multiplicación	$F = a \cdot b$	$0 \cdot 0 = 0$ $a \cdot 0 = 0$ $0 \cdot 1 = 0$ $a \cdot 1 = a$ $1 \cdot 1 = 1$ $a \cdot a = a$ $a \cdot \bar{a} = 0$
Complementación o inversión	$F = \bar{a}$ $F = \overline{a \cdot b}$	$\bar{0} = 1$ $\bar{1} = 0$ $\overline{\bar{a}} = a$

**Tabla 1.3.** Postulados del álgebra de Boole.

Además de los postulados, se definen una serie de **propiedades** para sus operaciones, que son las siguientes:

- Propiedad conmutativa:  $a + b = b + a$   
 $a \cdot b = b \cdot a$
- Propiedad asociativa:  $a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c$   
 $a + (b + c) = (a + b) + c$
- Propiedad distributiva:  $a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$   
 $a + (b \cdot c) = (a + b) \cdot (a + c)$

Por último, para la simplificación de circuitos digitales, además de estas propiedades resultan fundamentales las **leyes de De Morgan**:

- Primera ley de De Morgan:  $\overline{a + b} = \bar{a} \cdot \bar{b}$
- Segunda ley de De Morgan:  $\overline{a \cdot b} = \bar{a} + \bar{b}$

### ¿Sabías que...?

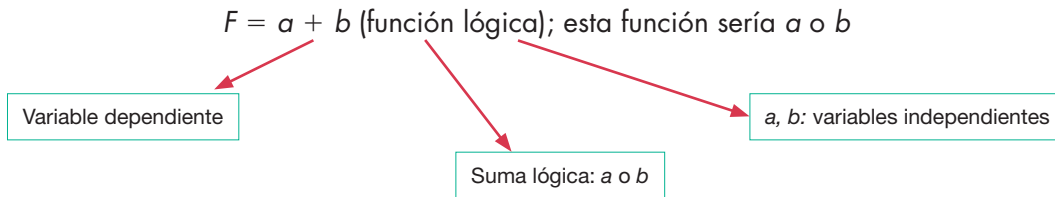
Las **leyes de De Morgan** deben su nombre a su creador, **Augustus De Morgan** (1806-1871), matemático de origen inglés nacido en la India que fue el primer presidente de la Sociedad de Matemáticas de Londres.



## 4.2. Función lógica

Se denomina **función lógica** a toda expresión algebraica formada por variables binarias que se relacionan mediante las operaciones básicas del álgebra de Boole.

Una función lógica podría ser por ejemplo la siguiente:



### Caso práctico 7: Aplicación de los postulados de Boole

Simplifica esta función aplicando los postulados de Boole:  $F = (a \cdot 1) \cdot (b \cdot b) \cdot (a \cdot 1) + (a \cdot 0) \cdot (a \cdot a) \cdot (b \cdot 1)$

#### Solución:

Aplicamos a cada paréntesis de esta función los postulados de Boole:

$$F = a \cdot b \cdot a + 0 \cdot a \cdot b$$

Aplicamos la propiedad conmutativa

$$F = a \cdot a \cdot b + 0$$

$$F = a \cdot b + 0$$

Aplicando el postulado:  $a \cdot 0 = 0$

Aplicando el postulado:  $a \cdot a = a$

Aplicando el postulado:  $a + 0 = a$

**Solución:  $F = a \cdot b$**

### Caso práctico 8: Aplicación de la primera ley de De Morgan

Simplifica, aplicando los postulados de Boole y las leyes de De Morgan:  $F = \overline{a + b} \cdot (a + b)$

#### Solución:

Aplicamos la primera ley de De Morgan:  $\overline{a + b} = \bar{a} \cdot \bar{b}$  a la función, y queda:  $F = \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot (a + b)$ ; aplicando la propiedad distributiva:  $F = \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot a + \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot b$ ; aplicamos los postulados de Boole y la propiedad conmutativa, y tenemos:

El postulado que aplicamos sería:  $a \cdot \bar{a} = 0$ ; luego  $F = 0 \cdot \bar{b} + \bar{a} \cdot 0$

Aplicamos de nuevo el postulado:  $a \cdot \bar{a} = 0$

**Solución:  $F = 0$**

### Actividad

11. Simplifica estas funciones aplicando los postulados, las propiedades de Boole y las leyes de De Morgan:

a)  $F = a \cdot b + a \cdot (b + 0) \cdot (b \cdot 0)$

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

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

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

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

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

g)  $F = a \cdot b \cdot c$

h)  $F = c \cdot b \cdot a + \bar{c} \cdot \bar{b} \cdot a + \bar{c} \cdot b \cdot a$

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

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

**Importante**

Los valores que pueden tomar las variables binarias son siempre dos: 0 y 1, que se representan como verdadero o falso.

En electrónica digital, los símbolos representan valores de tensión eléctrica.

Tendremos lógica positiva cuando el nivel de tensión para el 1 es mayor que para el estado 0; para la lógica negativa, al contrario. Así, para la lógica positiva el estado 1 es el nivel alto (*High*) H, y el nivel lógico 0 es el nivel bajo (*Low*) L, y para la lógica negativa al contrario.

## 5. Tabla de verdad de una función lógica. Puertas lógicas y circuitos integrados

En el álgebra convencional es habitual ayudarse de representaciones gráficas para formular y resolver expresiones. El tipo de representación que se utiliza para el mismo fin en el álgebra de Boole son las tablas de verdad.

### 5.1. Tabla de verdad

La **tabla de verdad** es una representación gráfica de todos los valores que puede tomar la función lógica para cada una de las posibles combinaciones de las variables de entrada. Es un cuadro formado por tantas columnas como variables tenga la función más la de la propia función, y tantas filas como combinaciones binarias sea posible construir.

El número de combinaciones posibles es  $2^n$ , siendo  $n$  el número de variables. Así, si tenemos dos variables ( $a, b$ ) tendremos:  $2^2 = 4$  combinaciones binarias (00, 01, 10, 11), etc.

### Caso práctico 9: Construcción de una tabla de verdad a partir de una función lógica

Dada la función lógica:  $F = a + b$ , hemos de construir la tabla de verdad:

**Solución:**

1. Tenemos dos variables,  $a$  y  $b$ , luego necesitamos dos columnas y la de la función.
2. Al tener dos variables, las combinaciones que podemos hacer son  $2^2 = 4$  combinaciones.

Luego la **tabla de verdad** será:

4 combinaciones, 4 filas

3 columnas

$a$	$b$	$F = a + b$
0	0	$0 + 0 = 0$
0	1	$0 + 1 = 1$
1	0	$1 + 0 = 1$
1	1	$1 + 1 = 1$

Fig. 1.3. Tabla de verdad.

### Actividades

12. Dibuja la tabla de verdad para las siguientes funciones, indicando el número de variables y las combinaciones posibles:

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

13. Dada la siguiente tabla de verdad incompleta, rellena las variables que tiene y sus combinaciones:


14. Termina la siguiente tabla de verdad de la función  $F = a \cdot b$ :

$a$	$b$	$F = a \cdot b$
0	0	
0	1	
1	0	

## 5.2. Puertas lógicas

Las **puertas lógicas** son pequeños circuitos digitales integrados cuyo funcionamiento se adapta a las operaciones y postulados del álgebra de Boole.

Las más importantes se muestran en la siguiente tabla:

Nombre de la puerta	Equivalencia eléctrica y símbolo lógico: a) Equivalente eléctrico b) Símbolo ANSI c) Símbolo lógico tradicional			Tabla de verdad y función lógica																	
Puerta NOT	a)	b)	c)		<table border="1"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	a	s	A	X	0	1	1	0	$s = \bar{a}$							
a	s																				
A	X																				
0	1																				
1	0																				
Puerta OR (O)	a)	b)	c)		<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	$s = a + b$
a	b	s																			
0	0	0																			
0	1	1																			
1	0	1																			
1	1	1																			
Puerta AND (Y)	a)	b)	c)		<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>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	a	b	s	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	$s = a \cdot b$
a	b	s																			
0	0	0																			
0	1	0																			
1	0	0																			
1	1	1																			
Puerta X-OR (OR exclusiva)	a)	b)	c)		<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>0</td> </tr> </tbody> </table>	a	b	s	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	$s = a \cdot \bar{b} + \bar{a} \cdot b$
a	b	s																			
0	0	0																			
0	1	1																			
1	0	1																			
1	1	0																			
Puerta NOR (No O)	a)	b)	c)		<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>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	a	b	s	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	$s = \overline{a + b}$
a	b	s																			
0	0	1																			
0	1	0																			
1	0	0																			
1	1	0																			
Puerta NAND (No Y)	a)	b)	c)		<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	$s = \overline{a \cdot b}$
a	b	s																			
0	0	1																			
0	1	1																			
1	0	1																			
1	1	0																			
Puerta X-NOR (NOR exclusiva)	a)	b)	c)		<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>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	a	b	s	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	$s = \bar{a} \cdot \bar{b} + a \cdot b$
a	b	s																			
0	0	1																			
0	1	0																			
1	0	0																			
1	1	1																			

Tabla 1.4. Principales puertas lógicas.

**Importante**

Existen chips con puertas lógicas con más de dos entradas, así:

Puertas NOR:

- **7427:**  
3 NOR de dos entradas.
- **74260:**  
2 NOR de cinco entradas.

Puertas NAND:

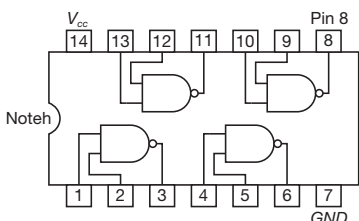
- **7410:**  
3 NAND de tres entradas.
- **7420:**  
2 NAND de cuatro entradas.
- **7430:**  
1 NAND de ocho entradas.
- **74133:**  
1 NAND de trece entradas.

**¿Sabías que...?**

También tenemos las **puertas triestados**, que además de poseer los estados lógicos de nivel alto y nivel bajo, poseen un tercer estado llamado de **alta impedancia (Z)**. En este estado la salida no está conectada ni a masa ni a la tensión, sino que está como flotante.

**Importante**

Los circuitos integrados con puertas lógicas tienen 14 patillas, siendo la numeración como sigue (empezando por la patilla 1 con el semicírculo a nuestra izquierda):



**5.3. Circuitos integrados digitales comerciales**

Una de las metas de los fabricantes de componentes electrónicos es la superación del número de componentes básicos que pueden integrarse en una sola pastilla, ya que permite la reducción del tamaño de los circuitos, del volumen y del peso.

Los **componente básicos** de los integrados son las **puertas** (Tabla 1.4), las cuales se encuentran dentro de un chip o en circuitos digitales integrados con una tecnología de fabricación que trataremos en el siguiente apartado: TTL y CMOS.

Cada chip o circuito integrado (Fig. 1.4) tiene una hoja de características que facilita el fabricante.



**Fig. 1.4.** Chip de puertas lógicas.

A su vez, cada tipo de puerta tiene su integrado del tipo 74xx, donde 74 (tecnología TTL) es la serie con las características más importantes:

- Tensión de alimentación: 5 voltios.
- Temperatura de trabajo: de 0 a 70 °C.

Y xx es un número que nos indica de qué tipo de puerta se trata. Así lo recoge la siguiente tabla:

Tipo de puerta (y nombre del circuito integrado)	Chip integrado	N.º de puertas
La puerta lógica NOT (7404)		Tiene seis puertas NOT de una entrada cada una.
La puerta lógica OR (7432)		Tiene cuatro puertas OR de dos entradas cada una.
La puerta lógica AND (7408)		Tiene cuatro puertas AND con dos entradas cada una.
La puerta lógica X-OR (7486)		Tiene cuatro puertas X-OR con dos entradas cada una.
La puerta lógica NOR (7402)		Tiene cuatro puertas NOR con dos entradas cada una.
La puerta lógica NAND (7400)		Tiene cuatro puertas NAND con dos entradas cada una.

**Tabla 1.5.** Chips integrados y n.º de puertas según el tipo de puerta lógica.

Estos chips tienen unos parámetros generales que vienen dados por el fabricante, como se puede ver en las hojas de características.

**Caso práctico 10: Comprobación de la tabla de verdad de las puertas lógicas**

Dado el siguiente esquema eléctrico (Fig. 1.5), monta y simula el circuito y comprueba la tabla de verdad. Para ello utiliza un circuito 7432, que contiene cuatro puertas lógicas OR de dos entradas.

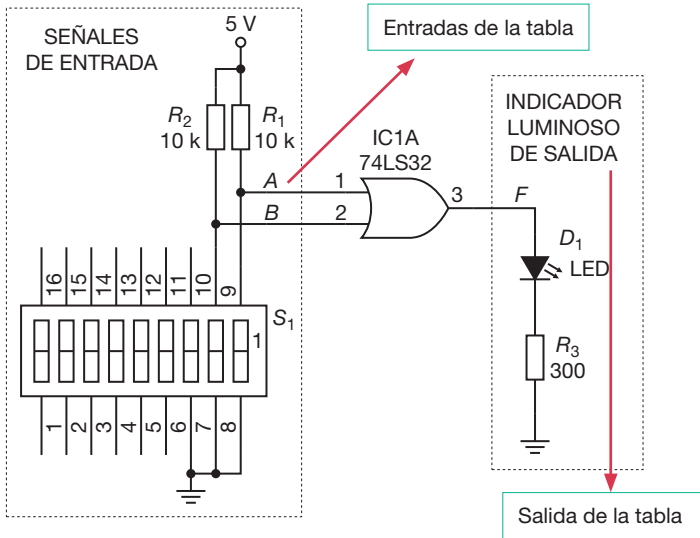


Fig. 1.5. Esquema eléctrico.

Tal como indica el enunciado, el circuito integrado que necesitamos es el 7432 (Fig. 1.6):

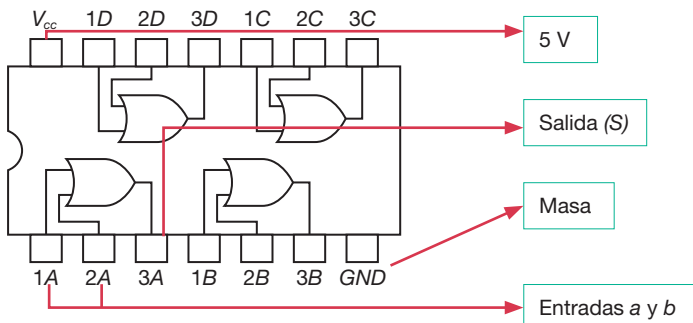


Fig. 1.6.

Por su parte, el montaje en el entrenador para la simulación es:

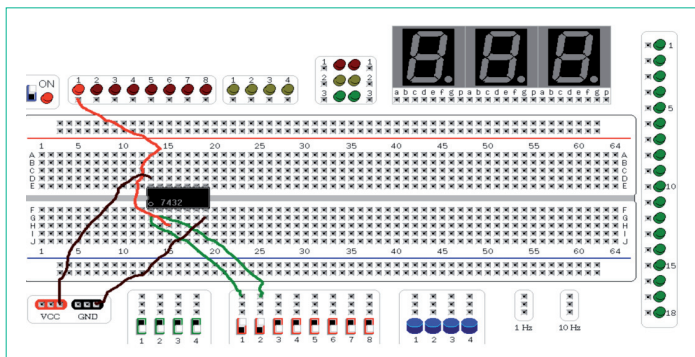


Fig. 1.7.

Para todos los integrados de puertas lógicas:

- En la patilla 14 ( $V_{CC}$ ) hay que colocar el positivo de la fuente de alimentación del entrenador (5 V).
- En la patilla 7 (GND) hay que colocar el negativo de la fuente de alimentación del entrenador digital.

**Solución:**

Si simulamos en el entrenador, los elementos mediante los cuales vamos a aplicar los niveles digitales a nuestro montaje (0 y 1 lógicos) son los interruptores (Fig. 1.8), que a su vez son las variables de entrada:

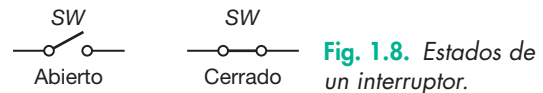


Fig. 1.8. Estados de un interruptor.

Estos estados permiten a estos dispositivos introducir un nivel lógico 0 o 1, según la posición en que se encuentren, cerrado o abierto, tal como se muestra en la Figura 1.6 (a la izquierda):

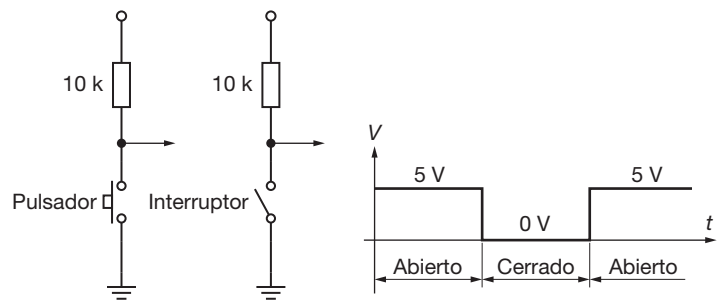


Fig. 1.9. Interruptores.

Fig. 1.10. Cronogramas.

Los niveles lógicos se representan en cronogramas como el de la Figura 1.10. La salida de la tabla de verdad iría al LED, y si el LED se enciende es un 1, y si no se enciende un 0. Con estos datos podemos construir la tabla de verdad (Fig. 1.11):

A	B	Salida
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Salida a 0 LED apagado

Salidas a 1 LED encendido

Fig. 1.11. Tabla de verdad.

## ● 6. Familias lógicas

Como consecuencia de las diferentes técnicas de fabricación de los circuitos integrados, podemos encontrarnos con diversas familias lógicas, que se clasifican en función de los transistores con los que están construidas.

Así, cuando se utilizan **transistores bipolares** se obtiene la familia denominada **TTL**, y si se utilizan **transistores unipolares**, se obtiene la familia **CMOS**. Cada una de estas familias tiene sus ventajas e inconvenientes, por eso, para el diseño de equipos digitales se utilizará la más adecuada en cada caso.

Las **características** de todas las familias lógicas integradas son las siguientes:

- Alta velocidad de propagación.
- Mínimo consumo.
- Bajo coste.
- Máxima inmunidad al ruido y a las variaciones de temperatura.

A continuación estudiaremos ambos tipos de familias: TTL y CMOS.

### ● 6.1. Familia lógica TTL

Las siglas TTL significan Lógica Transistor-Transistor (del inglés, *Transistor-Transistor Logic*). En este caso, las puertas están constituidas por resistencias, diodos y transistores. Esta familia comprende varias series, una de las cuales es la **74**, y cuyas **características** son:

- Tensión comprendida entre 4,5 y 5,5 V.
- Temperatura entre 0 y 70 °C.
- $V_{IH\ mín.} = 2,0\text{ V}$ .
- $V_{IL\ máx.} = 0,8\text{ V}$ .
- $V_{OH\ mín.} = 2,4\text{ V}$ .
- $V_{OL\ máx.} = 0,4\text{ V}$ .
- Tiempo de propagación medio, 10 ns.
- Disipación de potencia, 10 mW por función.

Otra serie es la **54**, que presenta las mismas características que la serie 74, con la diferencia de que la temperatura de trabajo está comprendida entre  $-55\text{ °C}$  y  $125\text{ °C}$ . Esta serie se utiliza en **aplicaciones espaciales**.

Las puertas más utilizadas son las de la serie 74, que son más comerciales. En concreto, las más empleadas son las que tienen como referencia **74Lxx**, donde la L significa *Low-power*, y cuyas características son:

- Potencia disipada por puertas: 1 mW.
- Tiempo de propagación: 33 ns.

A su vez, la S (**74Sxx**) significa *Schottky*, y sus características son:

- Potencia disipada por puertas: 19 mW.
- Tiempo de propagación: 3 ns.

Finalmente, LS (**74LSxx**) significa *Low-power Schottky*, y sus características son:

- Potencia disipada por puertas: 2 mW.
- Tiempo de propagación: 10 ns.

#### ¿Sabías que...?

El **diodo Schottky** está constituido por una unión metal-semiconductor (barrera Schottky), en lugar de la unión convencional semiconductor N- semiconductor P- utilizada por los diodos normales.

## ● 6.2. Familia lógica CMOS

En esta familia el componente básico es el transistor MOS (Metal-Óxido-Semiconductor).

Los circuitos integrados CMOS son una mezcla entre la NMOS, constituida por transistores de canal N, y la PMOS, cuyo elemento fundamental es el transistor MOS de canal P.

La familia CMOS básica que aparece en los catálogos de los fabricantes es la serie **4000**. Sus **características** más importantes son:

- La tensión de alimentación varía entre 3 y 18 V.
- El rango de temperaturas oscila entre  $-40$  y  $85$  °C.
- Los niveles de tensión son:  $V_{IL\ mín.} = 3,5$  V;  $V_{IL\ máx.} = 1,5$  V;  $V_{OH\ mín.} = 4,95$  V;  $V_{OL\ máx.} = 0,05$  V.
- Los tiempos de propagación varían inversamente con la tensión de alimentación, siendo de 60 ns para 5 V y de 30 ns para 10 V.
- La potencia disipada por puerta es de 10 nW.

Inicialmente, se fabricaron circuitos CMOS con la misma disposición de las puertas en los circuitos integrados que en las familias TTL. Así, se generó la familia **74C**, compatible con la familia TTL, cuyas características son muy parecidas a las de la familia **4000**. Debido a las mejoras en la fabricación, se desarrollaron las series **74HC** (alta velocidad) y la **74HCT** (alta velocidad compatible con los niveles TTL). Estas series poseen características muy parecidas a las **LS** de la familia TTL, pero con consumos inferiores.

Las series más utilizadas son las **74HCxx**, donde HC significa *High speed CMOS*. El tiempo de propagación de estas series ofrece valores del orden de 8 ns y se alimentan con tensiones de entre 2 y 6 V.

## ● 6.3. Compatibilidad entre las familias lógicas TTL y CMOS

Si queremos conectar las distintas familias lógicas entre sí, tenemos que tener en cuenta su compatibilidad, tanto de corriente como de tensión.

### • Compatibilidad de corriente

Para conectar la salida de un circuito con la entrada de otro, el circuito de la salida debe suministrar suficiente corriente en su salida, tanta como necesite la entrada del otro circuito. Por tanto se tiene que cumplir que:

- $I_{OH\ máx.} \geq I_{IH\ máx.}$  nivel alto
- $I_{OL\ máx.} \geq I_{IL\ máx.}$  nivel bajo

### • Compatibilidad de tensión

Si queremos conectar la salida de un circuito con la entrada de otro circuito, se tiene que verificar que:

- $V_{OL\ máx.} \leq V_{IL\ máx.}$  nivel bajo
- $V_{OH\ mín.} \geq V_{IH\ mín.}$  nivel alto

Dado que la primera condición se cumple casi siempre, lo que tenemos es que verificar que se cumple la última (de nivel alto).

### Importante



El componente básico de cualquier circuito integrado perteneciente a una familia lógica es el transistor, que estudiaremos en la Unidad 5.

## Caso práctico 11: Análisis de la hoja de características de un circuito integrado con puertas

A continuación tenemos las características del circuito integrado 74LS00 (puerta NAND). Vamos a analizar sus **parámetros más importantes**, aprovechando que son iguales para todos los integrados de las demás puertas vistos hasta ahora (características generales).

**Tiempo de propagación medio:** es el retraso o el periodo que transcurre desde que se produce el cambio lógico a la entrada, hasta que lo hace a la salida:  $t_{PLH}$  tiempo de propagación de nivel bajo a nivel alto;  $t_{PHL}$  tiempo de propagación de nivel alto a nivel bajo.

SN74LS00						
DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)						
Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
$V_{IH}$	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
$V_{IL}$	Input LOW Voltage			0.8	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
$V_{IK}$	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	$V_{CC} = \text{MIN}$ , $I_{IN} = -18 \text{ mA}$
$V_{OH}$	Output HIGH Voltage	2.7	3.5		V	$V_{CC} = \text{MIN}$ , $I_{OH} = \text{MAX}$ , $V_{IN} = V_{IH}$ or $V_{IL}$ per Truth Table
$V_{OL}$	Output LOW Voltage		0.25	0.4	V	$I_{OL} = 4.0 \text{ mA}$ $V_{CC} = V_{CC} \text{ MIN}$ , $V_{IN} = V_{IL}$ or $V_{IH}$ per Truth Table
			0.35	0.5	V	
$I_{IH}$	Input HIGH Current			20	$\mu\text{A}$	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_{IN} = 2.7 \text{ V}$
				0.1	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_{IN} = 7.0 \text{ V}$
$I_{IL}$	Input LOW Current			-0.4	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$ , $V_{IN} = 0.4 \text{ V}$
$I_{OS}$	Short Circuit Current (Note 2)	-20		-100	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$
$I_{CC}$	Power Supply Current Total, Output HIGH Total, Output LOW			1.6	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$
				4.4		

2. Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )						
Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
$t_{PLH}$	Turn-Off Delay, Input to Output		9.0	15	ns	$V_{CC} = 5.0 \text{ V}$ $C_L = 15 \text{ pF}$
$t_{PHL}$	Turn-On Delay, Input to Output		10	15	ns	

(Cortesía de ON Semiconductor.)

## Actividades

15. Consulta la hoja de características de los siguientes circuitos integrados:

a) 74LS02 b) 74HC02 c) 74LS86 d) 74HC86

Y responde a las siguientes preguntas:

- ¿Cuánto vale la tensión de entrada cuando hay un 0 lógico?
- ¿Cuánto vale la tensión de entrada cuando hay un 1 lógico?
- ¿Cuál es la tensión de alimentación para cada circuito integrado?
- ¿Cuánto vale la corriente de entrada a nivel bajo?
- ¿Cuál es el tiempo de propagación de los circuitos integrados?
- ¿Cuál es el valor de la corriente de cortocircuito de los circuitos integrados?

16. Busca en Internet la hoja de características de los siguientes integrados y explica los parámetros principales de:

a) 74HC02 b) 74HC32 c) 74LS00

Señala, además, a qué tecnología lógica pertenecen.

17. Coge del taller un inyector lógico y detecta las señales lógicas de los chips 74LS00 y 74HC00 una vez montados en el entrenador lógico.

18. Explica qué significan las letras de los chips de la Actividad 15 e indica qué puertas lógicas son. Una vez hecho esto, realiza la tabla de verdad.

19. Detalla las diferencias que observas entre los circuitos integrados de las familias lógicas TTL y las familias lógicas CMOS.



## 7. Instrumentos de medida

En este apartado vamos a conocer los diferentes instrumentos de medida que se usan con mayor frecuencia para el estudio de los circuitos integrados aprendidos.

### 7.1. Sonda lógica

La **sonda lógica** es un instrumento de medida que se utiliza con mucha frecuencia en electrónica digital y que sirve para comprobar el nivel lógico existente en la entrada o en un circuito digital.

La sonda tiene **tres LED: rojo** para el nivel de lógica alto; **verde** para el nivel de lógica bajo; y **amarillo** para pulsos. Cuando tocamos la patilla de un circuito integrado con la punta de prueba de una sonda lógica, se encenderá uno de los LED, dependiendo del nivel. Además, la sonda cuenta con **dos cables con pinzas**: una de color **rojo** y otra **negra**. Al usarse, la pinza roja debe conectarse al positivo del circuito y la negra al negativo. Al efectuar la conexión, el LED amarillo puede pestañear una o dos veces, pero si parpadea continuamente significa que el suministro de alimentación tiene excesiva ondulación. La sonda lógica nos puede ayudar a encontrar averías en los circuitos digitales, ya que aunque se podría utilizar un polímetro, este no puede detectar los cambios rápidos de los niveles lógicos que tiene la patilla de un circuito integrado, por eso resulta más adecuado utilizar la sonda lógica.

En la Figura 1.12 se muestra una **sonda lógica y sus elementos**:

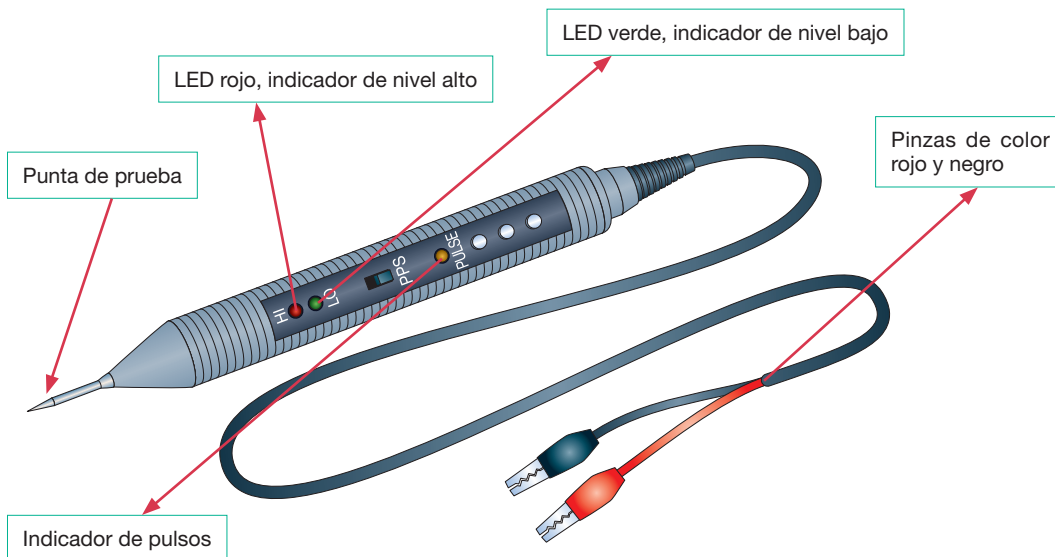


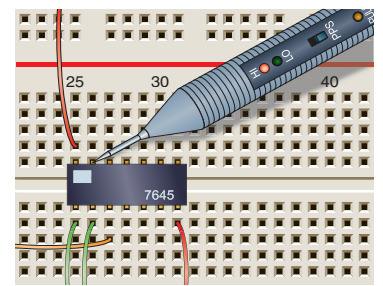
Fig. 1.12. Sonda lógica.

### 7.2. Pinza lógica

Cuando utilizamos una sonda lógica puede que se produzcan cortocircuitos involuntarios entre los pines del circuito integrado, y entonces solo se pueda visualizar un punto simultáneamente. Sin embargo, dado que en ocasiones tendremos que visualizar simultáneamente el estado de varias o todas las patillas de un circuito integrado, y en este caso la sonda lógica resulta insuficiente, emplearemos otro instrumento de medida: la pinza lógica.

#### Importante

En esta imagen puedes ver una sonda lógica comprobando el nivel en un circuito integrado.



Para cada circuito integrado existe una pinza concreta, que depende del número de patillas. Así, por ejemplo, una pinza de 16 patillas permite comprobar el funcionamiento de un circuito integrado de 16 patillas, así como el estado lógico de todas las patillas del circuito integrado, ya que para cada patilla contamos con un diodo LED.

### 7.3. Inyector lógico

El inyector lógico (Fig. 1.13) es otro instrumento de medida muy utilizado para comprobar el funcionamiento de los circuitos integrados. Conectado a una de las patillas de entrada del circuito integrado, introduce un tren de pulsos en el mismo que, junto con la sonda lógica a la salida, nos permite verificar si el circuito funciona correctamente.

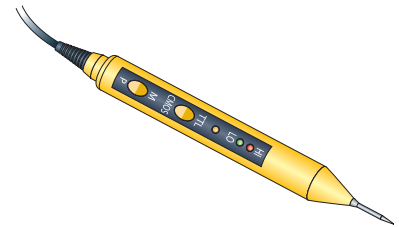


Fig. 1.13. Inyector lógico.

### 7.4. Analizador lógico

El analizador lógico (Fig. 1.14) es un aparato de medida que recoge los datos de un circuito digital y los muestra en una pantalla. Se parece al osciloscopio, pero este instrumento es capaz de mostrar no solo dos o tres señales (muestran los cronogramas) como lo hace el osciloscopio, sino que puede mostrar las señales de múltiples canales.

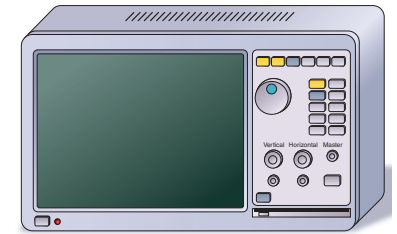


Fig. 1.14. Analizador lógico.

Se emplea con mucha frecuencia para detectar errores en los circuitos digitales.

## Caso práctico 12: Comprobación con una sonda lógica del nivel lógico de un circuito integrado

En la Figura 1.15 se muestra un chip 74LS32. Hemos de comprobar, con una sonda lógica, el nivel lógico a la salida del circuito integrado, y realizar su tabla de verdad.

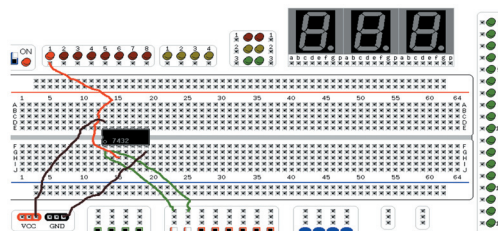


Fig. 1.15.

### Solución:

Se conecta la sonda lógica a la salida del chip, o sea a la patilla número 3, y se puede comprobar que cuando la salida es un 1, se enciende el LED rojo, y cuando da un 0 a la salida, se enciende el verde. Luego la tabla de verdad es:

A	B	Salida
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

## Actividad

20. Dado el siguiente montaje de un circuito integrado 74LS86, conecta una sonda lógica a la salida del chip y comprueba la tabla de verdad.

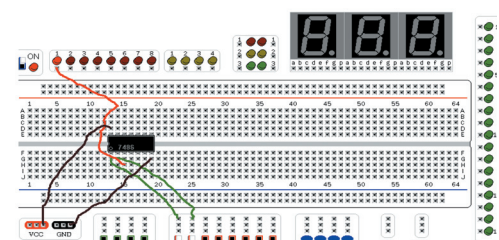


Fig. 1.16.

## Práctica final: Comprobación de la tabla de verdad de las puertas NAND y NOR

### 1. Objetivo

Realizar el montaje en un entrenador digital y simular los siguientes esquemas eléctricos, utilizando para ello los chips con tecnología TTL necesarios.

**Nota:** el diodo LED está integrado en el entrenador, por lo que ya lleva la resistencia correspondiente.

Los esquemas eléctricos a montar son los siguientes:

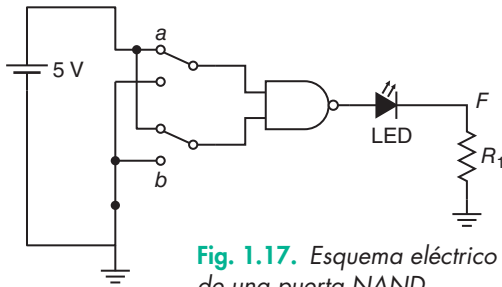


Fig. 1.17. Esquema eléctrico de una puerta NAND.

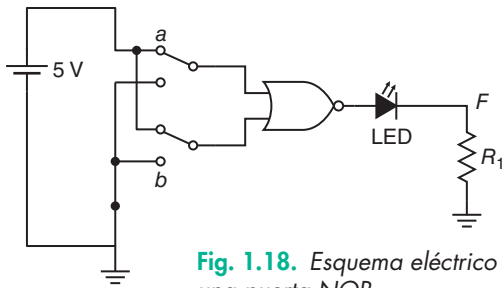


Fig. 1.18. Esquema eléctrico de una puerta NOR.

### 2. Materiales

- Entrenador digital con placa BOARD para el montaje de los circuitos.
- Circuitos integrados: 74LS00 para la puerta NAND y el 74LS02 para la puerta NOR.
- Un diodo LED.
- Una fuente de alimentación de 5 V del entrenador.
- Cables.
- Hoja de características del fabricante.

### 3. Técnica

1. Coloca los dos circuitos integrados sobre la placa BOARD. Realiza las conexiones de alimentación para ambos:  $V_{cc}$  al positivo de la fuente de alimentación y GND al negativo (Fig. 1.19).
2. Conecta a cada entrada del 74LS00 y 74LS02 un interruptor para simular la combinación binaria de entrada (Fig. 1.20).
3. Conecta a cada salida del 74LS00 y 74LS02 un diodo LED (Fig. 1.21).
4. Trabaja primero con un integrado y luego con otro, pero aplica a los dos el mismo procedimiento.
5. Introduce las combinaciones binarias en los interruptores, que son las variables de entrada ( $a$  y  $b$ ).
6. Realiza las tablas de verdad de los dos integrados, siendo la salida 1 cuando el LED se encienda y la salida 0 cuando el LED esté apagado, y rellénala.

$a$	$b$	F (diodo LED) para el chip 74LS02	F (diodo LED) para el chip 74LS00
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

### 4. Cuestiones

1. ¿Qué tipo de tecnología hemos utilizado?
2. Analiza la hoja de características del fabricante y explica los parámetros fundamentales de cada uno.
3. ¿Cuál es su equivalente eléctrico? ¿Y la función lógica de cada puerta?

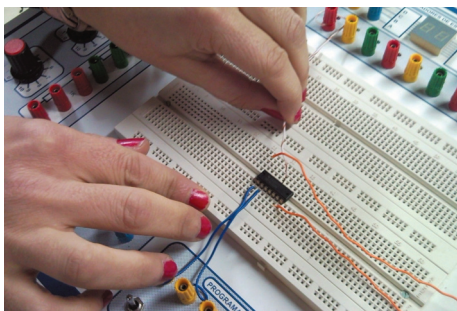


Fig. 1.19.

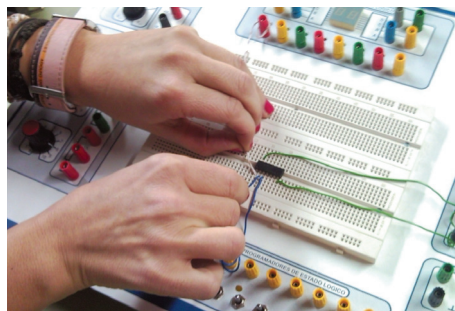


Fig. 1.20.

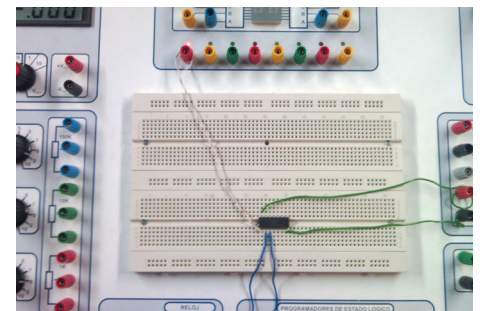


Fig. 1.21.



## Test de repaso

- Si aplicamos las leyes de De Morgan a la siguiente función:  $F = \overline{a + b}$ , obtenemos:
  - $F = a \cdot b$ .
  - $F = a + b$ .
  - $F = \overline{a} \cdot \overline{b}$ .
  - $F = \overline{a \cdot b}$ .
- Si aplicamos las leyes de De Morgan a la siguiente función:  $F = \overline{a \cdot b}$ , obtenemos:
  - $F = a \cdot b$ .
  - $F = a + b$ .
  - $F = \overline{a} \cdot \overline{b}$ .
  - $F = \overline{a} + \overline{b}$ .
- Si tenemos tres variables de entrada para construir la tabla de verdad, ¿cuántas combinaciones necesita?
  - 4.
  - 16.
  - 8.
  - 6.
- La función de una puerta OR es:
  - $F = a \cdot b$ .
  - $F = \overline{a \cdot b}$ .
  - $F = a + b$ .
  - $F = \overline{a \cdot b}$ .
- La función de una puerta NAND es:
  - $F = a \cdot b$ .
  - $F = \overline{a \cdot b}$ .
  - $F = a + b$ .
  - Ninguna es correcta.
- ¿Cuál de estos chips tiene tecnología TTL?
  - 74LS00.
  - 74LS32.
  - 74LS02.
  - Todos los chips anteriores.
- El chip 74LS86 es un chip con puertas:
  - NOR.
  - X-OR.
  - NAND.
  - NOT.
- La puerta que hace la función de inversor es la:
  - NOT.
  - NOR.
  - NAND.
  - Ninguna es correcta.
- Las características ideales de los circuitos integrados son:
  - Alta velocidad de propagación.
  - Mínimo consumo.
  - Bajo coste.
  - Todas las anteriores son correctas.
- Un integrado con tecnología CMOS es:
  - 74LS00.
  - 74LS08.
  - 74HC02.
  - Ninguna es correcta.
- $t_{PHL}$  es el tiempo de propagación de:
  - Nivel bajo a nivel alto.
  - Nivel alto a nivel bajo.
  - Nivel medio a nivel alto.
  - Nivel bajo a nivel medio.
- $t_{PLH}$  es el tiempo de propagación de:
  - Nivel bajo a nivel alto.
  - Nivel alto a nivel bajo.
  - Nivel medio a nivel alto.
  - Nivel bajo a nivel medio.

Soluciones: 1c, 2d, 3c, 4c, 5b, 6d, 7b, 8a, 9d, 10c, 11b, 12a.

## Comprueba tu aprendizaje



### Manejar los diferentes sistemas de numeración y los postulados de Boole

- Pasa los siguientes números decimales a binarios:
  - 789.
  - 657.
  - 312.
  - 24.
  - 16.
- Pasa los siguientes números binarios a decimales:
  - 100101.
  - 11100.
  - 1110.
  - 0011.
  - 0101.
- Pasa los siguientes números binarios a hexadecimales:
  - 1000111.
  - 111000.
  - 110101.
  - 11010101.
  - 111111.
- Pasa los siguientes números hexadecimales a binarios:
  - 87D.
  - 8B.
  - 34A.
  - 55CB.
- Pasa los siguientes números decimales a hexadecimales:
  - 675.
  - 45.
  - 9.
  - 89.
  - 16.
  - 14.

- Pasa los siguientes números hexadecimales a decimales:
  - 78B.
  - 678.
  - 10.
  - 07.
  - 9B.
- Aplica los postulados de Boole en las siguientes funciones:
  - $F = a + b \cdot (a + b)$ .
  - $F = a \cdot (a \cdot \bar{a}) + b \cdot \overline{(a + b)} \cdot a + b$ .
  - $F = a \cdot 0 + b \cdot b + 0 \cdot a$ .
  - $F = \overline{a + b} \cdot (a + b)$ .
  - $F = \overline{a \cdot b} \cdot (a \oplus b) \cdot c$ .
  - $F = \overline{a + b + c} \cdot (a + b) \cdot (a \oplus b)$ .

### Identificar las funciones lógicas básicas

- Obtén la función lógica y la tabla de verdad de las siguientes puertas lógicas:

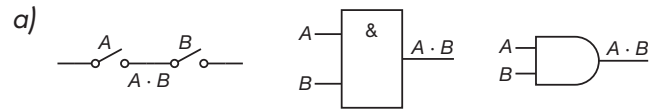


Fig. 1.22.

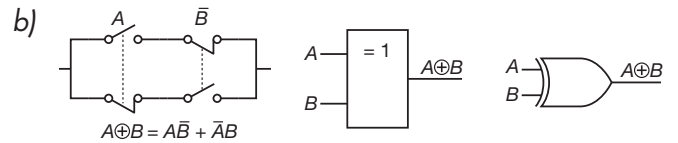


Fig. 1.23.

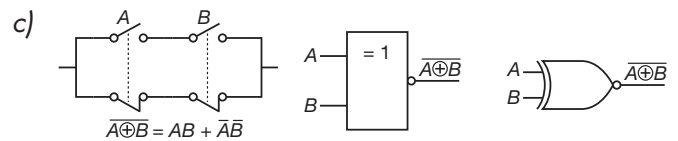


Fig. 1.24.

- Indica a qué puertas pertenecen las siguientes funciones lógicas y pon el símbolo lógico de cada una de ellas.
 

a) $F = a \cdot b$ .	d) $F = a \oplus b$ .
b) $F = \overline{a \cdot b}$ .	e) $F = \overline{a + b}$ .
c) $F = \bar{a}$ .	f) $F = \overline{a \oplus b}$ .

## Comprueba tu aprendizaje

10. Obtén, del ejercicio 2, las tablas de verdad.

11. Dados los siguientes chips, identifica de qué puerta se trata, mótalas en un entrenador y construye su tabla de verdad:

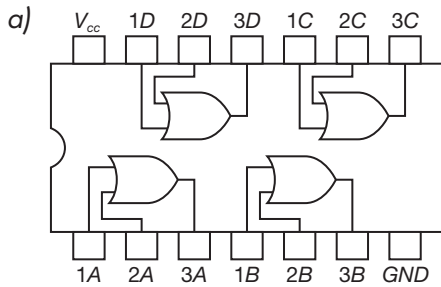


Fig. 1.25.

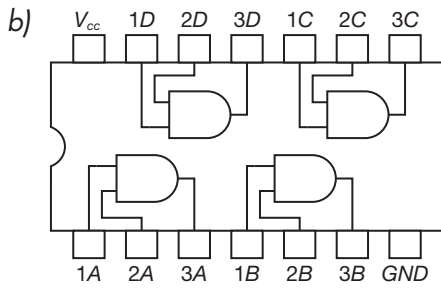


Fig. 1.26.

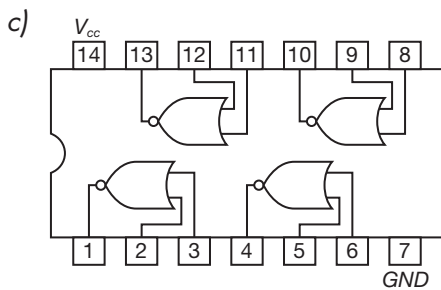


Fig. 1.27.

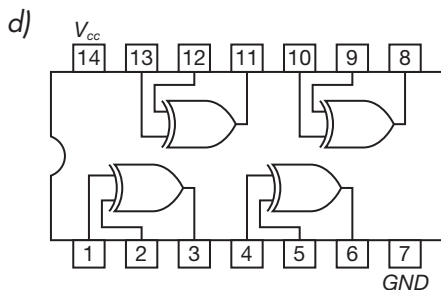


Fig. 1.28.

12. Dadas las siguientes placas de ordenador, identifica los circuitos integrados que tienen:

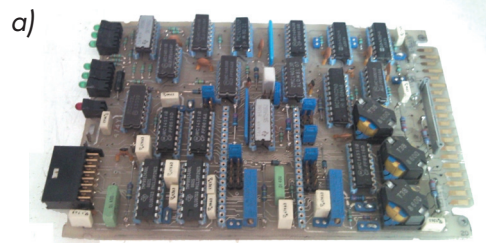


Fig. 1.29.

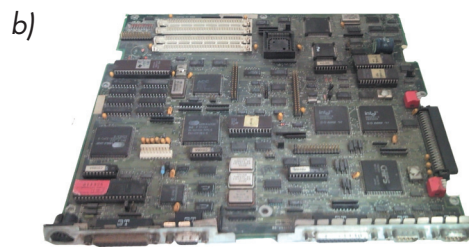


Fig. 1.30.

### Analizar los parámetros de las principales familias lógicas

13. Busca en Internet las características del fabricante de los integrados vistos hasta ahora y explica los parámetros fundamentales de cada uno de ellos.

14. Explica las características ideales de los circuitos integrados.

15. Analiza la hoja de características de un circuito integrado 74LS00 y de un integrado 74HC00 y detalla las diferencias que encuentras en los parámetros característicos.

### Realizar medidas en circuitos digitales

16. Comprueba el funcionamiento del siguiente circuito con ayuda de una sonda lógica:

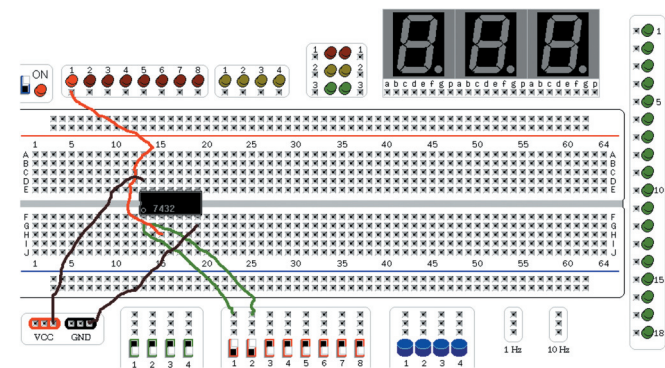


Fig. 1.31.