

TEMA – 1

INTRODUCCIÓN A LA *ELECTRÓNICA DIGITAL*

El tratamiento de la información en electrónica se puede realizar de dos formas, mediante técnicas analógicas o mediante técnicas digitales. El tratamiento analógico requiere un análisis detallado de las señales, ya que éstas pueden pasar por infinidad de valores, mientras que, el concepto digital de las señales las limita a niveles o valores (el cero y el uno lógicos).

La electrónica digital analiza y estudia los criterios para procesar estos niveles de forma que permitan el diseño de sistemas electrónicos que sustituyan o complementen a los analógicos.

Para la fabricación de estos sistemas se recurre a los dispositivos lógicos que existen en el mercado. Estos dispositivos generalmente se encontrarán en forma de circuitos integrados y estarán diseñados basándose en una filosofía de trabajo, o lo que es lo mismo, partiendo de una familia lógica determinada.

1. Sistemas analógicos y digitales.

El hombre desarrolla una gran cantidad de sistemas para interactuar con el medio que le rodea. Estos sistemas generalmente perciben magnitudes físicas, tales como temperatura, humedad, posición, intensidad de luz, tiempo, etc. y generan un cambio en ellas.

Muchos de estos sistemas emplean circuitos electrónicos porque resulta muy sencillo representar magnitudes físicas mediante señales eléctricas y, además, estas señales eléctricas son fáciles de procesar mediante circuitos electrónicos económicos y fiables, se pueden transmitir a largas distancias y almacenarse para reproducirlas más tarde.

Los sistemas electrónicos se clasifican en **analógicos** y **digitales**:

1. Los primeros trabajan con señales analógicas, que son señales **continuas**.
 2. Los sistemas digitales son aquellos que trabajan con señales digitales, que son señales **discretas**.
- **Señales continuas** son aquellas que pueden tomar un número infinito de valores y cambian interrumpidamente sin escalonamientos ni discontinuidades. La mayoría de magnitudes físicas de la naturaleza varían de forma continua. Por ejemplo, la

temperatura (ver figura 1-1) no varía de 20°C a 25°C de forma instantánea, sino que alcanza los infinitos valores que hay en ese rango.

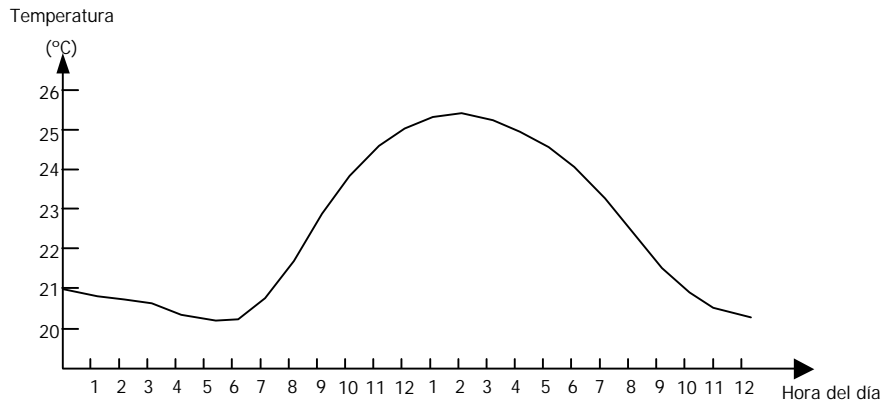


Figura 1-1. Gráfica de una magnitud analógica.

- **Señales discretas** son aquellas que no cambian de forma uniforme, presentan discontinuidades (varían bruscamente de un instante a otro) y sólo pueden adquirir un número finito de valores.

En algunos casos interesa representar las magnitudes analógicas de forma digital. Si simplemente medimos la temperatura cada hora, obtenemos muestras que representan la temperatura a lo largo de intervalos de tiempo (cada hora). De esta forma, se ha convertido la magnitud continua en una magnitud discreta, que se puede digitalizar, representando cada valor muestreado mediante un código digital. La figura 1-2 representa el resultado¹ de muestrear la evolución de la temperatura cada hora.

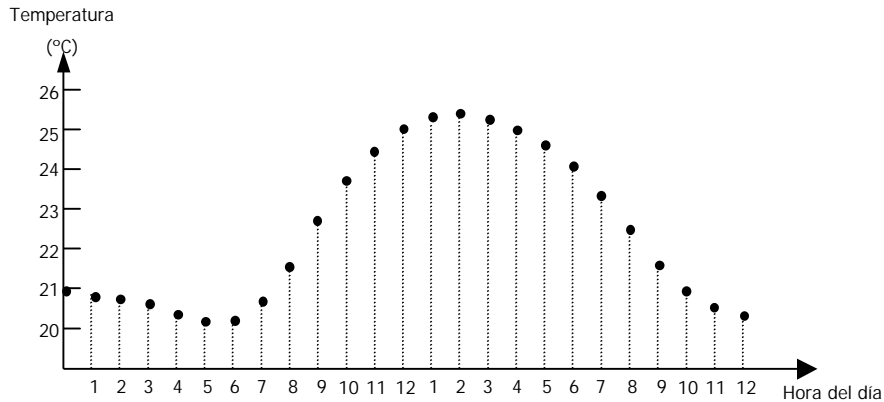


Figura 1-2. Gráfica de una magnitud discreta.

La electrónica digital emplea sistemas binarios, en los que sólo existen dos estados posibles, un nivel de tensión alto *HI*, llamado '1' (a veces 5V) y un nivel de tensión bajo *LO*, llamado '0' (a veces 0V) (ver figura 1-3).

En los sistemas digitales la combinación de estos dos estados se denomina código y se utiliza para representar números e información en general. Un dígito se denomina **bit**. La información binaria que manejan los sistemas digitales aparece en forma de señales que representan secuencias de bits.

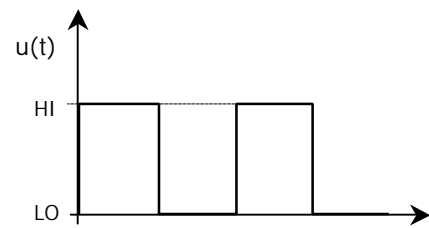


Figura 1-3. Señal digital.

¹ Hay que hacer notar que la señal obtenida tras muestrear es una señal discreta pero no digital.

2. Códigos de numeración.

La necesidad de establecer cantidades para poder ponderar magnitudes, contar y operar con ellas, hace que se establezcan unos sistemas de numeración a través de unos códigos perfectamente estructurados que facilitarán dichas tareas.

2.1. Sistema numérico decimal.

El sistema de numeración más utilizado en la actualidad es el **sistema numérico decimal**, que presenta las siguientes características:

- Tiene base 10.
- Usa 10 símbolos para representar los valores numéricos, que son los dígitos del 0 al 9.
- Se originó como consecuencia de tener 10 dedos.
- Es un sistema dependiente del orden, el valor numérico se obtiene sumando los productos de cada dígito por la base (10) elevada a la posición que ocupa ese dígito.

El valor del número decimal 7438 se calcula como: $7 \times 10^3 + 4 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 8 \times 10^0$

2.2. Sistema numérico binario.

Los sistemas lógicos binarios basan su funcionamiento en dos estados ('0' y '1'), por tanto será necesario construir un código basado en dos dígitos que permita ponderar magnitudes y operar con ellas. Al código binario más empleado se le denomina **binario natural** y posee las siguientes características:

- Tiene base o raíz 2.
- Usa solamente dos dígitos, 0 y 1.
- Se incluye con el número el subíndice '2', para diferenciar las formas binarias de las decimales.
- A los dígitos binarios se les llama **bits** (del inglés *binary digit*).
- Al igual que en los número decimales, el valor de una palabra binaria dependen de la posición de sus bits, y es igual a la suma de los productos de cada dígito por dos elevado a la posición relativa del bit.

Por ejemplo el valor decimal del número binario 1101_2 se calcula como:

$$1101_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 8 + 4 + 1 = 13$$

El bit más a la derecha (**LSB**) es el menos significativo, es decir, el de menor peso.

El bit más a la izquierda (**MSB**) es el más significativo, es decir, el de mayor peso.

Se puede establecer una regla para pasar siempre de cualquier código al decimal:

Se multiplicará cada coeficiente por la base elevada a la posición que ocupa y posteriormente se sumará todo.

El valor binario del número decimal 175 es 10101111_2 y se obtiene de la siguiente forma:

$$\begin{array}{r}
 175 \overline{) 2} \\
 \underline{187} \quad \text{LSB} \leftarrow \\
 1 \quad 43 \overline{) 2} \\
 \underline{42} \\
 1 \quad 21 \overline{) 2} \\
 \underline{21} \\
 1 \quad 10 \overline{) 2} \\
 \underline{10} \\
 0 \quad 5 \overline{) 2} \\
 \underline{4} \\
 1 \quad 2 \overline{) 2} \\
 \underline{2} \\
 0 \quad 1 \rightarrow \text{MSB}
 \end{array}$$

De igual forma existe una regla que permite pasar de un código en sistema decimal a cualquier otro sistema:

Se dividirá sucesivamente el código decimal por la base del nuevo sistema, hasta que el cociente ya no sea divisible. Entonces se tomará como dígito mayor el último cociente y los siguientes dígitos lo formarán los restos obtenidos hasta el primero.

2.2.1. Tamaño de los números binarios.

A los números binarios se les llama palabras binarias, por ejemplo el número 101_2 es una palabra binaria de tres bits. A las palabras binarias de 8 bits se les llama **bytes** y a las de 4, **nibbles**. La mayoría de equipos digitales utilizan tamaños de palabra múltiplos de 8 bits.

Tabla 1-1. Códigos binarios de 3 bits.

Decimal	Binario
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111

Con un número binario de n bits se pueden representar 2^n valores distintos. Para:

- $n = 8$, tenemos $2^8 = 256$ valores.
- $n = 16$, tenemos $2^{16} = 65536$ valores.
- $n = 32$, tenemos $2^{32} = 4294967296$ valores.

En la tabla 1-1 se muestran las posibles combinaciones de una palabra de 3 bits.

El mayor número decimal que podemos representar con n bits es $2^n - 1$ (restamos uno por empezar en cero). En el ejemplo anterior, para $n = 3$ podemos representar 8 números decimales distintos (del 0 al 7). Para 8 bits el valor máximo sería $2^8 - 1 = 255$ (1111111_2).

2.3. Código BCD (Binary Coded Digit).

Es un código binario que como su nombre indica está formado por la conversión de cada dígito de un número decimal a su forma binaria, por ejemplo $9450 = (1001)(0100)(0101)(0000)_{BCD}$. Se puede apreciar que el equivalente BCD del número 9450 difiere del equivalente binario ($9450 = 10010011101010_2$).

Para obtener el valor decimal de un número codificado en BCD, haremos agrupaciones de 4 bits empezando por la derecha (bit menos significativo) y convertiremos cada grupo en la cifra decimal correspondiente, por ejemplo: $(11)(1000)(0111)(0110)_{BCD} = 3876$.

La principal ventaja de este código de numeración es la facilidad para convertir a/desde decimal. Sin embargo presenta grandes inconvenientes, ya que requiere más dígitos que la forma binaria por lo que resulta menos eficiente y no se emplea cuando hay que almacenar mucha información, y la aritmética es más complicada que en binario.

En la tabla 1-2 se muestran los primeros 15 números codificados en BCD.

² Suponemos que sólo vamos a trabajar con números positivos.

Tabla 1-2. Código BCD de 0 a 15.

Decimal	Binario	BCD	
		Decenas	Unidades
0	0000	0	0000
1	0001	0	0001
2	0010	0	0010
3	0011	0	0011
4	0100	0	0100
5	0101	0	0101
6	0110	0	0110
7	0111	0	0111
8	1000	0	1000
9	1001	0	1001
10	1010	1	0000
11	1011	1	0001
12	1100	1	0010
13	1101	1	0011
14	1110	1	0100
15	1111	1	0101

2.4. Código Gray.

Es un código binario que se caracteriza por modificar un sólo bit de un estado al siguiente.

Para convertir un número binario (natural) a un número en código Gray se aplican las siguientes reglas (ver tabla 1-3):

- El bit más significativo (MSB) en el código Gray es el mismo que el correspondiente al número binario.
- Yendo de izquierda a derecha, sumamos cada par adyacente de los bits en código binario para obtener el siguiente bit en código Gray, teniendo en cuenta que los acarros deben descartarse.

Al cambiar un solo bit permite detectar errores. Por ejemplo imaginemos la salida de un dispositivo que cambia de un valor 7 a 8. En binario sería de 0111_2 a 1000_2 , con lo que varían en total 4 dígitos (tres pasan de 1 a 0 y otro de 0 a 1). Si leemos la salida del dispositivo en el momento que ésta está cambiando de valor, podríamos leer 1111 u otro dato erróneo si los bits no cambiaran a la misma velocidad. En el código Gray esto no sucede, ya que al cambiar un solo bit siempre leeríamos 7 (0100_2) u 8 (1100_2).

Tabla 1-3. Código Gray de 4 bits.

Decimal	Binario	Gray
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101
10	1010	1111
11	1011	1110
12	1100	1010
13	1101	1011
14	1110	1001
15	1111	1000

Por este motivo se emplea mucho en sensores de posición angular (ver figura 1-4).

Su mayor inconveniente es la dificultad de realizar cálculos.

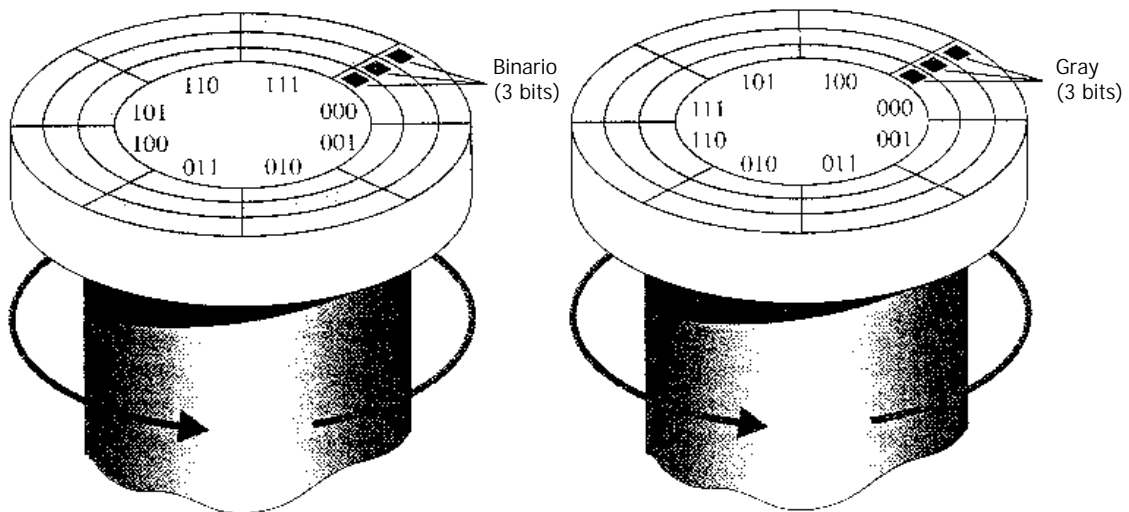


Figura 1-4. Ilustración de cómo el código Gray resuelve errores en sensores de posición de ejes.

2.5. Código hexadecimal.

Cualquier entero se puede usar como base de un sistema numérico. Entre los sistemas de numeración más comunes, además de los códigos binarios mencionados, se encuentra el código hexadecimal. Los números hexadecimales requieren de 16 símbolos, empleando 0,1,...,9, A,B,C,D,E y F (tabla 1-4). Se utiliza este código para representar de forma compacta los números binarios debido a que es muy sencillo convertir de binario a hexadecimal y viceversa.

Tabla 1-4. Código hexadecimal.

Decimal	Binario	Hexadecimal
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F

Para convertir un número hexadecimal en decimal empleamos la regla genérica expuesta con anterioridad, es decir, multiplicaremos cada cifra por potencias de 16.

Por ejemplo $123_{16} = 1 \times 16^2 + 2 \times 16^1 + 3 \times 16^0 = 1 \times 256 + 2 \times 16 + 3 = 291$.

Para realizar la transformación inversa también aplicamos la regla general, dividimos sucesivamente por 16. En la tabla 1-5 se puede ver un ejemplo.

Tabla 1-5. Conversión de binario a hexadecimal

Número	Resto
7046	
440	6
27	8
1	11=B
0	1

$$7046 = 1B86_{16}$$

Para obtener el equivalente hexadecimal de un número expresado en forma binaria agruparemos los bits de cuatro en cuatro comenzando por el bit de menor peso (más a la derecha) y codificaremos cada grupo. Por ejemplo $11010001_2 = (1101)(0001)_2 = D1_h$

Dado que esta transformación es muy sencilla, para convertir un número decimal a hexadecimal lo expresaremos primero en binario y a partir de este último en hexadecimal.

En el proceso inverso (hexadecimal a binario) sustituiremos cada dígito hexadecimal por el código binario de cuatro bits correspondiente.

3. Ventajas e inconvenientes de las técnicas digitales frente a las analógicas.

Existe una creciente dependencia de las técnicas digitales más que de las analógicas debido a que presentan:

- 1) **Facilidad para transmitir, procesar y almacenar** información, y de forma más fiable y eficiente.
- 2) **Mayor exactitud y precisión.** La representación de una magnitud analógica que puede tomar un número infinito de valores, mediante una digital que puede tomar sólo un número finito, supone siempre una aproximación. Sin embargo el proceso de medición siempre representa una aproximación, por lo que si se realiza la aproximación digital con la definición suficiente (empleando un número alto de dígitos de precisión), las señales digitales obtenidas no deben reducir la precisión de la medición. En los sistemas analógicos la precisión está limitada, a tres o cuatro dígitos, ya que los valores de los voltajes y corrientes dependen de los componentes del circuito.
- 3) **Los sistemas digitales son más fáciles de diseñar.** Esto se debe a que los circuitos empleados son circuitos de conmutación, donde no son importantes los valores exactos de corriente y voltaje, sino el rango donde se encuentran (ALTO o BAJO).
- 4) **Mayor estabilidad.** Se ven menos afectados por ruidos, mientras que los sistemas analógicos varían con la temperatura, por la tolerancia de los componentes, etc.
- 5) **Flexibilidad.** El comportamiento de un circuito digital se puede reprogramar fácilmente.

Como inconveniente cabe destacar, que dado que las variables reales (temperatura, presión, humedad, etc.) son de carácter continuo y por tanto analógico, para realizar el procesamiento digital es necesario incorporar al sistema convertidores analógicos-digitales (A/D) y/o digitales-analógicos (D/A) que encarecen el coste del sistema.

En la figura 1-5 se observa un ejemplo de *Procesamiento de Señal* en el que se utilizan ambas técnicas (analógicas y digitales). La señal analógica será una representación de la magnitud física objeto de procesamiento (en la figura 1-5, temperatura) y la señal digital será una aproximación de esta señal analógica.

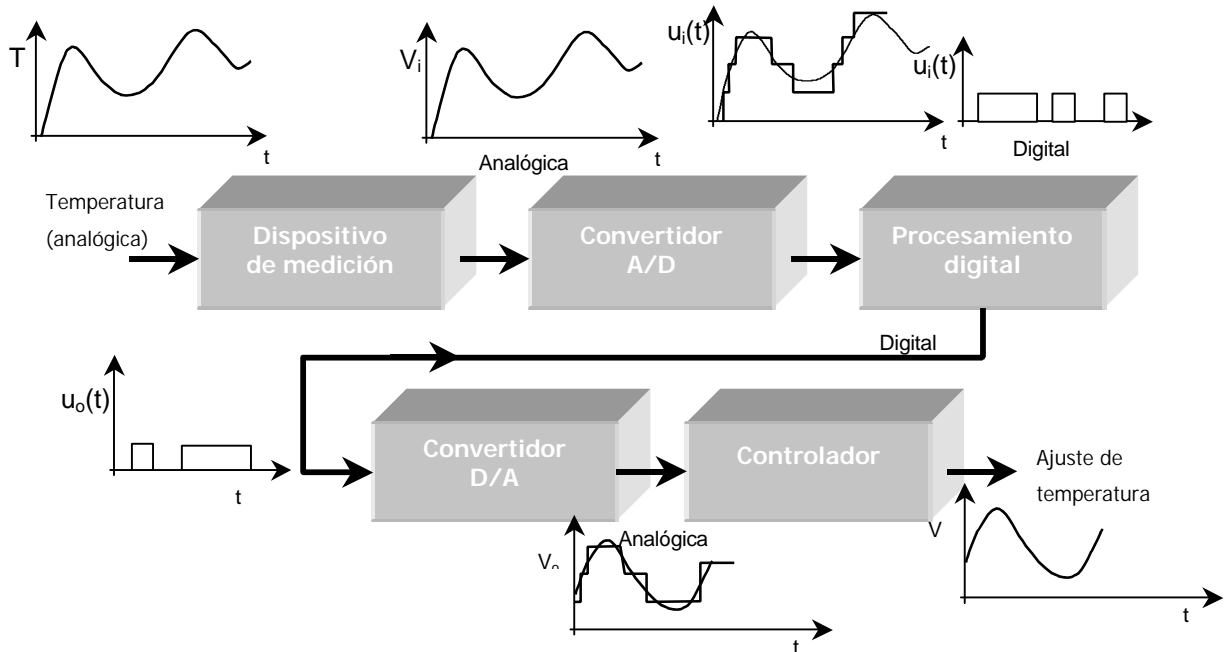


Figura 1-5. Esquema típico de un sistema de procesamiento de señales.

4. Clasificación de los circuitos digitales.

Los circuitos digitales según su funcionamiento los podemos dividir en combinacionales y secuenciales (ver figura 1-6):

1. Los **sistemas combinacionales** son aquellos en los cuales la salida sólo depende de la combinación de las entradas (se estudiarán en el tema 2).
2. En los **sistemas secuenciales** la salida depende no sólo de la combinación de las entradas sino también del estado anterior. Son sistemas con memoria (se estudiarán en el tema 3).

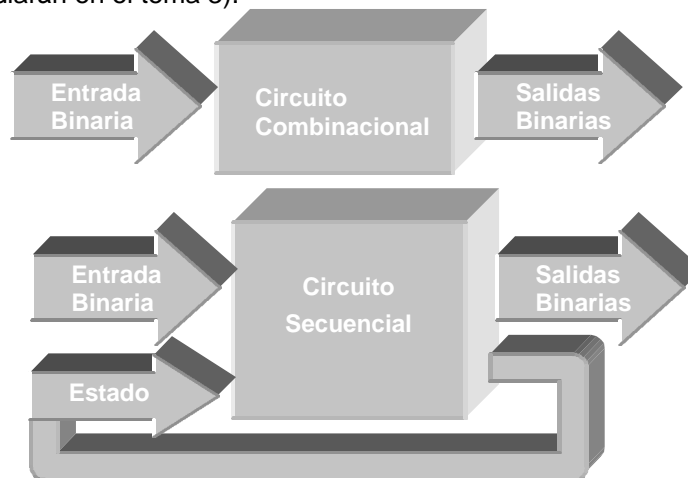


Figura 1-6. Sistema combinacional y sistema secuencial.