

CAPÍTULO

13

Técnicas y aparatos de medida

13.1. CONCEPTO DE MEDIDA

Medir es comparar una cantidad con su respectiva unidad, con el fin de averiguar cuántas veces la primera contiene a la segunda.

La medida se puede hacer por comparación directa con la unidad de medida, mediante patrones (preferentemente en laboratorios) o, también, mediante un instrumento graduado previamente, de tal manera que la situación de una aguja u otra señal en una escala (indicación analógica) o una cifra en un contador (indicación digital) indica el valor buscado.

Un patrón sirve para definir una unidad, conservando la magnitud en su forma física. Magnitud, cualquier característica de un cuerpo capaz de ser medida. Los patrones pueden ser primarios o secundarios.

Un patrón primario generalmente representa a una unidad fundamental y se utiliza como referencias para la construcción de los patrones secundarios, que son los que se usan en las mediciones tecnológicas.

Los patrones industriales suelen ser de construcción relativamente simple y económica, y se caracterizan por la estabilidad de su valor nominal. Los más utilizados en las medidas eléctricas son los patrones de resistencias, de diferencia de potencial, de inductancia y de capacidad.

Los instrumentos o aparatos de medida indican, de forma indirecta, el valor de la magnitud física generalmente transformando dicha magnitud física en otra, que es la encargada de mover el elemento

indicador (indicación analógica) o convirtiendo la magnitud medida a información procesable por los dispositivos empleados en los aparatos de medida digitales.

Se hace la diferenciación entre indicación analógica e indicación digital, puesto que la forma de procesar la información sobre una magnitud, afecta de forma fundamental a la constitución del aparato de medida.

En los aparatos de medida analógicos la información procesada es una función continua en el tiempo, dentro del margen de funcionamiento del aparato, es decir, el número de valores distintos que puede tomar dicha información entre dos valores cualesquiera, es infinito.

En los aparatos de medida digitales, de la magnitud observada sólo se toman algunos valores, y mediante unos circuitos electrónicos llamados convertidores A/D (Analógico/Digital) se codifican según un sistema determinado. En estos aparatos la magnitud medida, que obviamente es analógica (continua en el tiempo), se divide en un número finito de bandas de valores y a cada banda se le asigna un código binario. Un código binario es un número representado en base dos y, por tanto, sus cifras son todas ceros y unos (cada cero o uno es una unidad de información digital y recibe el nombre de bit, que es la contracción de la denominación inglesa binary digit), que es el tipo de información que puede ser procesado por los sistemas digitales de tratamiento de la información.

13.2. ERRORES Y CLASES DE LOS APARATOS DE MEDIDA

Cuando se utiliza un aparato de medida se producen errores, por características propias del aparato, que se deben a:

- Las características constructivas del aparato.
- Los ajustes efectuados durante su construcción. (La contracción de un aparato de medida es el proceso por el que se comprueba su exactitud comparándola con la de un aparato de medida patrón).
- El desgaste por el uso del aparato.

Debido a esto, los valores de la magnitud medida son distintos del valor real de dicha magnitud. Estos errores se pueden cuantificar de forma absoluta o relativa.

• **Error absoluto:** El error absoluto, F_a , es la diferencia entre el valor indicado, A_i , por el aparato de medida y el valor real, A_r , de la magnitud medida

$$F_a = A_i - A_r \quad [13.1]$$

Este error puede ser positivo o negativo. Es positivo, si el valor indicado es mayor que el valor medido; en caso contrario, es negativo.

Para determinar el error absoluto de una medida se comparan las indicaciones del aparato a contrastar con las indicaciones del aparato patrón y se supone que las indicaciones del aparato patrón son sin error.

• **Error relativo:** El error relativo, F_r , es el cociente entre el error absoluto, F_a , y el valor máximo, A_{\max} , de la escala del aparato de medida

$$F_r = \frac{F_a}{A_{\max}} = \frac{A_i - A_r}{A_{\max}} \quad [13.2]$$

Este error suele expresarse en forma de porcentaje; para ello se utiliza la expresión

$$F_{r\%} = \frac{A_i - A_r}{A_{\max}} \cdot 100 \quad [13.3]$$

EJEMPLO 1

Durante la contrastación de un voltímetro, que tiene una escala de 0 a 500 V, cuando el voltímetro patrón indica 300 V el voltímetro contrastado indica 308 V. El error absoluto de la lectura es

$$F_a = A_i - A_r = 308 - 300 = 8 \text{ V}$$

y el error relativo, expresado en forma de porcentaje, es

$$F_{r\%} = \frac{A_i - A_r}{A_{\max}} \cdot 100 = \frac{8}{500} \cdot 100 = 1,6\%$$

La expresión anterior del error relativo se utiliza en aparatos de medida que tienen la escala uniforme o casi uniforme como la de la Figura 13.1a.

Cuando el aparato de medida tiene el cero de la escala en el centro (Fig. 13.1b), el error relativo se calcula mediante la expresión

$$F_{r\%} = \frac{A_i - A_r}{A_{\max 1} - A_{\max 2}} \cdot 100 \quad [13.4]$$

donde $A_{\max 1}$ y $A_{\max 2}$ indican los valores máximos de la escala a la derecha y a la izquierda del cero, respectivamente.

En aquellos aparatos de medida en los que la escala recoge una porción de la magnitud a medir,

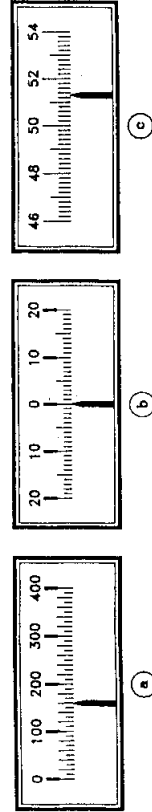


Figura 13.1. Escalas de aparatos de medida.

sin incluir el cero, como en la Figura 13.1.c, el error relativo se determina con la expresión

$$F_{r\%} = \frac{A_i - A_r}{A_{\max} - A_{\min}} \cdot 100 \quad [13.5]$$

donde A_{\max} y A_{\min} representan a los valores máximo y mínimo de la escala.

Los errores relativos obtenidos con las expresiones anteriores se utilizan para clasificar los aparatos de medida en clases de precisión.

- **Clase de precisión:** Es el error relativo máximo que puede cometer un aparato de medida, expresado en forma de porcentaje, referido al valor de final de escala, en condiciones normales de medida y para cualquier valor medido.
Se entiende por condiciones normales de medida las siguientes:

- Temperatura ambiente de 20 °C.
- En corriente alterna, la frecuencia nominal de funcionamiento (50 o 60 Hz si no hay otra indicación expresa).
- En corriente alterna, la forma de onda es sinusoidal (desviación de la curva de forma sinusoidal no mayor que el 5 por 100 del valor de cresta).
- La posición de uso del aparato debe ser la indicada en su escala.
- El aparato debe trabajar en ausencia de campos magnéticos externos.

En la escala de un aparato de medida normalizado debe figurar una cifra que indica su clase de precisión, y que debe ser una de las clases normalizadas indicadas en la Tabla 13.1.

EJEMPLO 2

Un voltímetro de escala 0 a 300 V, de clase 2,5, está indicando una medida de 220 V. ¿Entre qué valores estará el verdadero valor de la magnitud medida?

Solución:

El máximo error que puede cometer el aparato es

$$\text{el } 2,5\% \text{ de } 300 \text{ V} = \pm 7,5 \text{ V}$$

luego la magnitud medida estará comprendida entre los siguientes valores

$$220 \pm 7,5 = 212,5 \dots 227,5 \text{ V}$$

En determinados casos especiales, la clase de un aparato de medida se calcula con una expresión distinta a la expuesta anteriormente, como es el de aquellos aparatos que tienen una escala irregular (Fig. 13.2), y en los que se emplea la expresión

$$F_{r\%} = \frac{l_i - l_r}{l_e} \cdot 100 \quad [13.6]$$

donde l_e es la longitud de la escala del aparato, l_i indicadora, y l_r es la porción de escala correspondiente al valor real, todas ellas en milímetros.

También sucede lo mismo en aparatos en los que la escala comprende sólo una pequeña parte de la magnitud medida, como es el caso de la Figura 13.1.c. En este caso, la expresión utilizada es

$$F_{r\%} = \frac{A_i - A_r}{A_r} \cdot 100 \quad [13.7]$$

que es la clase referida al valor real y no al valor máximo de la escala del aparato.

Cuando la clase de un aparato ha sido determinada con una de estas dos expresiones, se significa en la escala del aparato, en el primer caso, subrayando la cifra de la clase con el símbolo $\underline{\quad}$, y en el segundo, encerrando la cifra de la clase en una circunferencia.

ejemplo: si nos dicen que la sensibilidad de un aparato es de 100 μA , nos están diciendo que para desviar la aguja a fondo de escala es necesario que estén circulando 100 μA , con lo cual, cuanto menor sea dicho valor tanto más sensible es el aparato de medida.

Otra forma de indicar la sensibilidad es en Ω/V y nos da la idea de la resistencia que nos presenta el aparato por cada voltio. En el caso anterior

$$R = \frac{1 \text{ V}}{100 \mu\text{A}} = 10.000 \Omega$$

y lo veremos expresado como 10.000 Ω/V . No confundir la sensibilidad con la exactitud de un aparato de medida: mediante el alargamiento de la aguja indicadora de un instrumento de medida, se aumenta la sensibilidad del mismo, sin que esto suponga una mejora de la exactitud.

La constante de un aparato de medida es la relación entre el campo de medida y el número de divisiones de la escala.

EJEMPLO 3

Un amperímetro tiene tres campos o alcances: 0-5 A, 0-15 A, 0-50 A. Si su escala tiene 50 divisiones, las constantes de escala para cada uno de los campos de indicación serán

$$K_{5 \text{ A}} = \frac{5}{50} = 0,1 \text{ A/división}$$

$$K_{15 \text{ A}} = \frac{15}{50} = 0,3 \text{ A/división}$$

$$K_{50 \text{ A}} = \frac{50}{50} = 1 \text{ A/división}$$

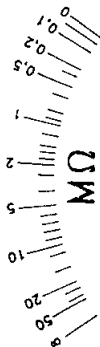


Figura 13.2. Escala irregular (logarítmica).

13.2.1. Campo de indicación, campo de medida, sensibilidad y constante de un aparato de medida

El campo o alcance de indicación de un aparato de medida es el valor de la magnitud medida que hace ir al elemento indicador del principio al final de la escala (Fig. 13.3).

El campo o alcance de medida de un aparato de medida es el intervalo de indicaciones en el que se cumplen las condiciones de exactitud o clase del aparato (Fig. 13.3).

La sensibilidad de un aparato de medida es el

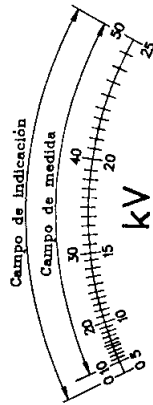


Figura 13.3. Campo de indicación y campo de medida de la escala de un aparato de medida.

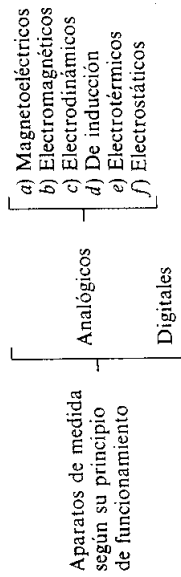
cociente entre la mínima variación observable del elemento indicador y el valor del incremento de magnitud que lo produce. También se suele dar la sensibilidad como el cociente entre la desviación máxima de la aguja y el valor que la origina. Por

Tabla 13.1. Clases normalizadas para aparatos de medida

Clase del aparato de medida	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2,5	5
Error relativo $F_{r\%}$ en condiciones normales de medida	$\pm 0,1\%$	$\pm 0,2\%$	$\pm 0,5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 1,5\%$	$\pm 2,5\%$	$\pm 5\%$

13.3. CLASIFICACIÓN DE LOS APARATOS DE MEDIDA

La clasificación de los aparatos de medida la vamos a hacer por su principio de funcionamiento



13.3.1. Aparatos de medida analógicos

En los aparatos de medida analógicos, la magnitud a medir se procesa en forma de señal analógica, que como vimos en el primer apartado de este Capítulo, es una función continua en el tiempo.

Estos aparatos de medida están compuestos de un sistema traductor y un sistema indicador. El primero suele ser un circuito de tipo eléctrico que se encarga de adecuar los parámetros de la señal eléctrica para poderla aplicar al sistema indicador. El sistema indicador se encarga de convertir la magnitud medida (por lo general aprovechando las propiedades magnéticas, térmicas o electrostáticas de la electricidad) en una fuerza capaz de desplazar una aguja u otro elemento indicador móvil sobre una escala graduada.

A continuación vamos a explicar el funcionamiento de los diferentes aparatos de medida analógicos, según la disposición y composición del sistema indicador.

■ a) Aparatos de medida magnetoeléctricos

Estos aparatos basan su funcionamiento en la acción recíproca de dos campos magnéticos producidos por un imán permanente y una bobina. Uno de los campos magnéticos es fijo y el otro móvil. Cuando la bobina es el elemento móvil, el aparato se denomina de bobina o cuadro móvil, y cuando es el imán el elemento móvil, el aparato se denomina de imán móvil.

En la actualidad, de los aparatos de medida magnetoeléctricos, los de bobina o cuadro móvil son los que se utilizan casi exclusivamente.

En la Figura 13.4 podemos ver la distribución de los elementos principales de un sistema de medida de cuadro móvil. El imán permanente (1),

Por tanto, este tipo de sistema de medida sólo puede utilizarse en la medida de corriente continua.

La escala de estos aparatos de medida es de graduación uniforme en toda su longitud. Su sensibilidad es constante en cualquier punto de su escala.

Se utilizan en la construcción de amperímetros y voltímetros de cc, multímetros, óhmetros y galvanómetros. Mediante la incorporación de un rectificador se utilizan en la construcción de amperímetros y voltímetros de ca, e incorporando un termoelemento se pueden utilizar para medir tensiones e intensidades en cc y ca con el mismo aparato.

■ b) Aparatos de medida electromagnéticos

En los aparatos de medida electromagnéticos (Fig. 13.5), también llamados de hierro móvil, al circular la corriente por una bobina fija (1), se produce un campo magnético de intensidad proporcional a la intensidad de dicha corriente. En el interior de la bobina están dispuestos dos núcleos de material magnético no remanente, uno fijo (2) y otro móvil (3). Los dos núcleos se magnetizan con polaridades iguales y, por tanto, se repelen haciendo girar el núcleo móvil y con él la aguja indicadora (4).

Los aparatos de medida electromagnéticos funcionan con cc y con ca.

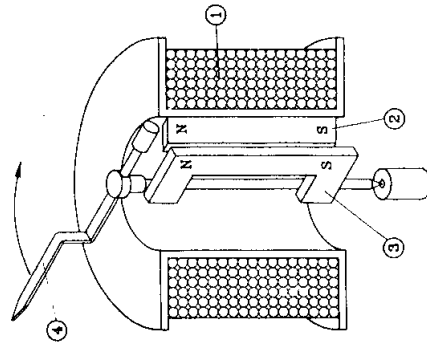


Figura 13.5. Aparato de medida electromagnético.

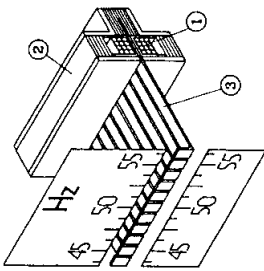


Figura 13.6. Frecuencímetro electromagnético de lengüetas.

Las escalas de estos aparatos pueden ser muy diferentes en función de la forma de los núcleos empleados, aunque todas ellas presentan una zona muerta, es decir, no utilizable para efectuar lecturas, al principio de las mismas.

Este sistema se utiliza en la construcción de amperímetros y voltímetros de cc y ca.

Un tipo especial de aparato de medida electromagnético es el **frecuencímetro de lengüetas** (Fig. 13.6), que se clasifica como aparato de medida de vibración, y que consta de un electroimán formado por una bobina (1) y un núcleo de material magnético no remanente (2), un conjunto de láminas o lengüetas de acero (3) de diferente anchura, espesor y longitud, con un extremo doblado y pintado de blanco, se encuentran en el campo de acción del mencionado electroimán. Cuando una ca se conecta al electroimán, las láminas son sometidas a un campo magnético variable que las hace vibrar, siendo más amplia la vibración en aquella de las láminas que tiene una frecuencia de resonancia mecánica que coincide con la frecuencia de la ca aplicada.

■ c) Aparatos de medida electrodinámicos

En estos aparatos (Fig. 13.7), dos bobinas concéntricas, una fija (1) y otra móvil (2), son atravesadas por la corriente a medir. Los campos magnéticos creados en las dos bobinas hacen girar a la bobina móvil, de manera que su campo ϕ_2 refuerce el campo ϕ_1 , creado por la bobina fija. Dos espirales (3) crean el par antagonista necesario para mantener a la bobina móvil en la posición de reposo y al mismo tiempo sirven para transportar la corriente a la mencionada bobina.

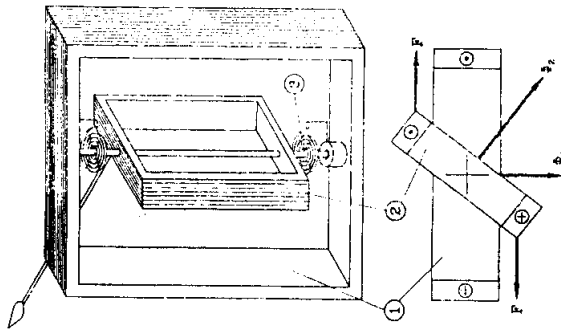


Figura 13.7. Aparato de medida electrodinámico.

Cuando las dos bobinas de un aparato electrodinámico incorporan núcleos de material magnético, el aparato pasa a denominarse electrodinámico con núcleo o **ferrodinámico**.

Si conectamos un aparato electrodinámico a una ca el sentido de la corriente varía en las dos bobinas al mismo tiempo y, por tanto, el sentido del movimiento de la bobina móvil es el mismo. Es decir, **los aparatos electrodinámicos pueden medir cc y ca indistintamente**.

Se utilizan en la construcción de amperímetros, voltímetros y vatímetros de cc y ca.

Las escalas de estos aparatos son cuadráticas en el caso de los voltímetros y amperímetros, y uniformes o lineales en los vatímetros.

d) Aparatos de medida de inducción

En estos aparatos (Fig. 13.8), un electroimán (1) conectado a una corriente alterna crea un campo magnético variable del mismo período que el de la corriente. Un disco móvil de aluminio (2) está colocado en el entrehierro del electroimán, de tal

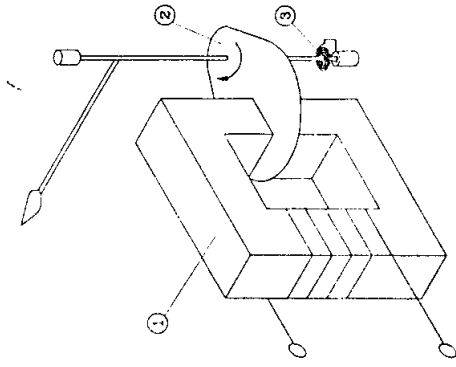


Figura 13.8. Aparato de medida de inducción.

manera que sólo parte del flujo magnético pasa por él. En el disco se inducen corrientes de Foucault que, a su vez, crean un campo magnético opuesto al que las induce. Esto hace girar el disco en el sentido indicado, hacia una posición en la que aumente el flujo. El par antagonista necesario lo proporciona una espiral (3).

La escala de estos aparatos es cuadrática. Por el sistema empleado, los ángulos de desviación de la parte móvil pueden ser muy grandes, posibilitando su empleo en aparatos de medida para instalación en cuadros y paneles de control.

Se utilizan en la construcción de voltímetros y amperímetros de ca.

e) Aparatos de medida electrotérmicos

Estos aparatos (Fig. 13.9) utilizan una lámina bimetálica (1) para producir el desplazamiento de una aguja indicadora (2). La lámina bimetálica está formada por dos tiras metálicas de diferente coeficiente de dilatación, soldadas longitudinalmente. Al pasar una corriente eléctrica por la lámina bimetálica, se calienta y se produce la dilatación de los dos metales que la componen, siendo mayor la dilatación de uno que de otro y produciéndose la curvatura de la lámina. El movimiento generado por la curvatura es transmitido a la aguja indicadora del aparato de medida.

tendrá a estabilizarse en la posición en la que la energía del campo eléctrico sea máxima. El par antagonista necesario lo proporciona un muelle en espiral (3).

Si se aplica una corriente alterna a las placas, la magnitud y el signo de las cargas se modificarán simultáneamente en las dos, por lo que estos aparatos pueden medir cc y ca indistintamente.

Las escalas de estos aparatos son cuadráticas, aunque en algunos casos se pueden conseguir escalas uniformes, entre ciertos límites del campo de medida, dando una forma apropiada a las placas del condensador.

Se utilizan casi exclusivamente en la construcción de voltímetros de cc y ca. Su pequeño consumo los hace muy apropiados para mediciones en las que la energía disponible sea muy escasa, o en las que otros aparatos, de consumo más elevado, introducirían errores inaceptables en la medición.

13.3.2. Aparatos de medida digitales

Como ya hemos visto, los aparatos de medida digitales de la magnitud a medir sólo toman algunos valores, que se codifican según un sistema determinado. Como la magnitud medida, que obviamente es analógica (continua en el tiempo), se tiene que convertir en información digital, vamos a explicar en qué consiste ese proceso de conversión.

El proceso de digitalización de una señal analógica (cuando hablamos de señal nos referimos a la magnitud eléctrica que estamos midiendo) consta de dos fases:

1. El muestreo u obtención del valor de la señal correspondiente a un instante T .
2. La cuantificación y codificación de la señal (asignación de un valor discreto y un código).

El muestreo de la señal (Fig. 13.11) se realiza por medio de un muestreador que se puede simbolizar

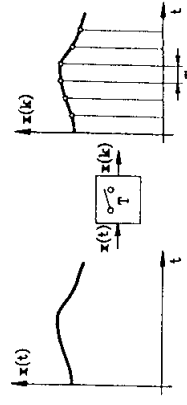


Figura 13.11. Muestreo de una señal analógica.

Figura 13.9. Aparato de medida electrotérmico.

La escala de estos aparatos es cuadrática. Se pueden utilizar para medir cc y ca, siendo su indicación, en este último caso, independiente de la frecuencia.

Se utilizan en la construcción de voltímetros y amperímetros, siendo su uso muy frecuente en aparatos de medida con contactos, medición de corriente de radiofrecuencia, y como maxímetros, dada la lentitud que presentan en sus indicaciones.

f) Aparatos de medida electrostáticos

Estos aparatos (Fig. 13.10) están constituidos por un condensador de capacidad variable. Una de las placas del condensador es la parte móvil (1) y la otra placa es la parte fija (2). Al conectar el condensador a una corriente eléctrica, las placas se cargan electrostáticamente y se produce una fuerza de atracción o repulsión, según el signo de las cargas eléctricas. La parte móvil del condensador

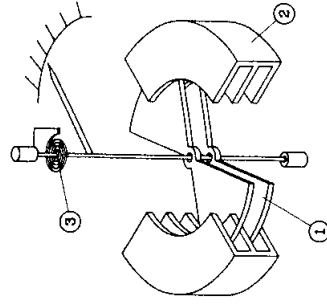


Figura 13.10. Aparato de medida electrostático.

por un interruptor que se abre y cierra a intervalos regulares de duración T , convirtiendo una señal $x(t)$ en un tren de pulsos periódicos $x(k)$, donde T es el período de muestreo. El período de muestreo T se hace lo menor posible con el fin de evitar que variaciones muy rápidas de la señal muestreada se queden sin reflejar.

Una vez muestreada la señal, se procede a su cuantificación y codificación.

Todo este proceso, en los aparatos de medida, lo realiza un dispositivo denominado convertidor analógico/digital (convertidor A/D o también ADC —Analog Digital Converter—). Este convertidor procesa la señal analógica dividiendo ésta en bandas de valores y asignando un código, generalmente binario, a cada banda de señal; consecuentemente, cuantifica y codifica la señal analógica.

Por ejemplo, supongamos que tenemos que convertir en información digital una tensión analógica que puede variar entre 0 y 15 V con un convertidor A/D de 4 bits.

La tabla de asignación de bandas de señal analógica a códigos de información digital podría ser ésta:

Valor analógico	Código binario
Hasta 0 V	0 0 0 0
Más de 0 hasta 1 V	0 0 0 1
Más de 1 hasta 2 V	0 0 1 0
Más de 2 hasta 3 V	0 0 1 1
Más de 3 hasta 4 V	0 1 0 0
Más de 4 hasta 5 V	0 1 0 1
Más de 5 hasta 6 V	0 1 1 0
Más de 6 hasta 7 V	0 1 1 1
Más de 7 hasta 8 V	1 0 0 0
Más de 8 hasta 9 V	1 0 0 1
Más de 9 hasta 10 V	1 0 1 0
Más de 10 hasta 11 V	1 0 1 1
Más de 11 hasta 12 V	1 1 0 0
Más de 12 hasta 13 V	1 1 0 1
Más de 13 hasta 14 V	1 1 1 0
Más de 14 hasta 15 V o más	1 1 1 1

Como vemos, las bandas de valores de la señal analógica son de 1 V y a cada una se le asigna un código binario de 4 bits, de manera que si en la entrada del convertidor aparece una tensión de 4,5 V en la salida digital, tendremos el código binario 0101.

Una vez explicado el proceso de conversión de una señal analógica a señal digital, vamos a describir el funcionamiento de un aparato de medida digital. Como el aparato de este tipo más utilizado es el **multímetro** o polímetro digital, vamos a explicar el funcionamiento del mismo, puesto que en él se engloban todos los conceptos necesarios para medir casi cualquier magnitud, eléctrica o no.

Los **multímetros digitales** actuales permiten medir un número muy grande de magnitudes, entre las que podemos citar, como las más comunes: **tensión e intensidad en cc y ca, resistencia, conductancia, capacidad, temperatura, frecuencia y potencia**. Para ello disponen de un conjunto de dispositivos como los indicados en la Figura 13.12.

Esta figura es un diagrama de bloques funcionales, en el que, aparte de la unidad de control (1), los otros bloques son complementarios del convertidor A/D (2). Este es el que obtiene la información numérica, en forma de código digital, a partir de una tensión analógica de entrada (U_x), que debe permanecer constante durante el proceso de conversión.

En la salida del convertidor A/D (2) se dispone de un sistema de presentación numérico (3) y en la entrada deben aparecer todas las magnitudes que se quieren medir, convertidas en una tensión continua (U_x) con un valor máximo limitado (generalmente 10 V).

Para la medida de tensiones en cc y ca se utiliza un atenuador de tipo resistivo (4), además, se pueden incorporar filtros y circuitos protectores contra sobretensiones, inversión de polaridad y eliminación de tensiones parásitas de la tensión de entrada. Para la medida de aquellas tensiones en las que el valor de fondo de escala es inferior al máximo que acepta el convertidor A/D, se dispone de un amplificador (5).

La medida de **intensidad** se reduce a la medida de la caída de tensión que se produce en una resistencia en derivación (6), cuyo valor cambia al pasar de una escala a otra, de manera que en cada escala el valor máximo de la caída de tensión no supere el valor máximo aceptado por el convertidor A/D.

Para las **resistencias** se mide la caída de tensión producida en ellas por una corriente suministrada por un generador de corriente constante (7). El valor de la corriente constante se modifica con cada escala, de manera que a fondo de escala se

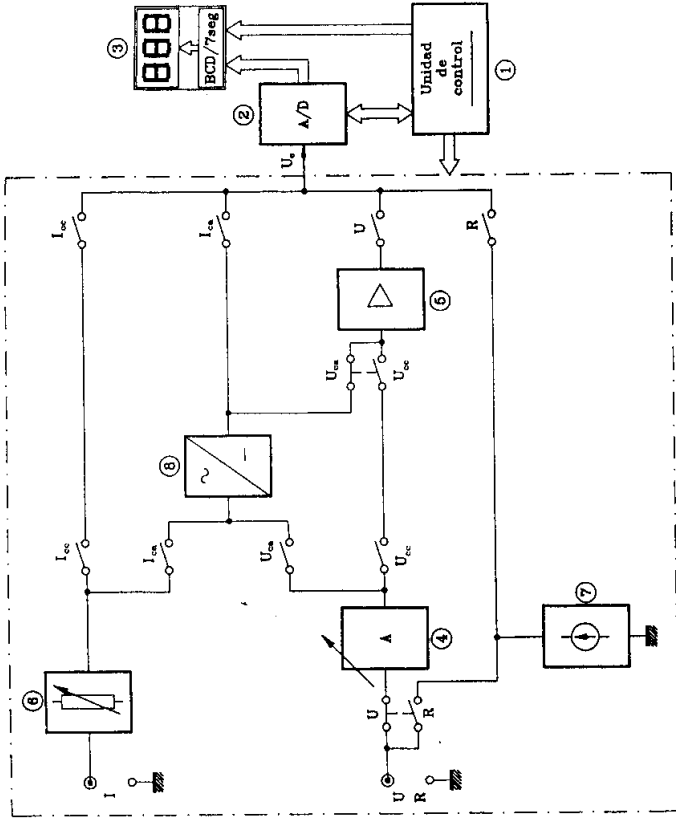


Figura 13.12. Diagrama de bloques de un aparato de medida digital.

obtiene el valor máximo de tensión del convertidor A/D.

La medida de **tensiones e intensidades** en ca se realiza convirtiéndolas en cc mediante un rectificador (8), de manera que se obtiene el valor medio de la señal rectificada. A continuación se multiplica el valor obtenido por el factor de forma (relación valor eficaz/valor medio), correspondiente al tipo de señal (senoidal pura, sin distorsión y sin componente continua).

En aparatos de medida de mucha calidad, se incorporan convertidores termoelectrónicos para la medida de valores eficaces de las tensiones y corrientes alternas.

En general, los aparatos de medida digitales permiten una mayor exactitud en las medidas, sobre todo porque eliminan buena parte de los errores cometidos por el observador en la lectura de la escala de los aparatos analógicos. No obstante, determinadas medidas son más difíciles de realizar con un aparato digital, por ejemplo: **medida de continuidad, detección de cortocircuitos, medida de valores máximos y mínimos, el ajuste de cero o de un valor dado**, etc. Algunos multímetros van incorporando indicaciones visuales en forma de columnas de diodos emisores de luz (LED) o indicaciones acústicas, para poder mejorar estas funciones.

13.4. ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DE LOS APARATOS DE MEDIDA

En este apartado vamos a hacer una descripción de los tipos de componentes más importantes de los aparatos de medida estudiados, como pueden ser: escalas, dispositivos indicadores, dispositivos amortiguadores, soportes de la parte móvil y muelles antagonistas.

13.4.1. Escalas

En los aparatos de medida analógicos las indicaciones se efectúan sobre una escala graduada en unidades, múltiplos o sub-múltiplos de la magnitud medida.

Las escalas se pueden clasificar de muchas ma-

neras, pero la más importante es la que se puede hacer en función de la disposición de las divisiones, siendo las más usuales:

- **Escalas lineales** (Fig. 13.13a). Se utilizan en aparatos de medida magnetoeléctricos de cuadro móvil y en aparatos de medida electrodinámicos cuando se emplean como medidores de potencia.
- **Escalas cuadráticas** (Fig. 13.13b). Se utilizan en aparatos de medida electrodinámicos cuando se emplean como medidores de tensión e intensidad, y en los aparatos de medida electro-térmicos y electrostáticos.
- **Escalas fraccionadas** (Fig. 13.13c). Se utilizan en frecuencímetros fundamentalmente.
- **Escalas comprimidas** (Fig. 13.13d). En estas escalas se comprime el final de las mismas para prevenir los casos en los que se sobrepase el campo de indicación. Es el caso de los amperímetros conectados de forma permanente en el circuito de un motor de ca, que durante el arranque puede sobrepasar en cuatro o cinco veces su intensidad nominal.
- **Escalas para aparatos electromagnéticos** (Fig. 13.13e). Se caracterizan por presentar una zona muerta al principio de la escala.
- Otras escalas pueden ser las de los ohímetros u ohmímetros, un ejemplo de las mismas lo hemos visto en la Figura 13.2.

13.4.2. Dispositivos indicadores

En los aparatos analógicos la lectura de la escala se efectúa a partir de las indicaciones de una aguja, en la mayor parte de los casos.

En la Figura 13.14 podemos ver un grupo de las más usuales. Las agujas (Fig. 13.14a y 13.14b) se utilizan en aparatos que tienen que leerse a distancia, por ejemplo, los que se instalan en los cuadros y paneles eléctricos. Para indicaciones a distancias más cortas se utilizan agujas como la de la Figura 13.14c. En aparatos de precisión se utilizan agujas en forma de cuchilla (Fig. 13.14d y 13.14e), que tienen un hilo muy fino como elemento indicador.

En la lectura de los aparatos de medida con indicadores de aguja se puede cometer un error en

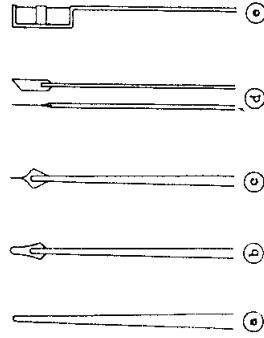


Figura 13.14. Agujas indicadoras.

la lectura, conocido como **error de paralaje** (Fig. 13.15a). Se debe a la incorrecta alineación de la visual del ojo con la aguja (1) y la escala (2). Para evitar este error, se utiliza uno de los sistemas siguientes:

- Situar la aguja (1) en el mismo plano que la escala (2) (Fig. 13.15b).
- Poner un espejo (3) sobre la escala (2) (Fig. 13.15c) de manera que, para una lectura correcta, la imagen de la aguja (1) en el espejo (3) debe quedar oculta por la aguja misma.

En los aparatos de medida digitales, el conjunto escala-dispositivo indicador es sustituido por un indicador numérico, como los de la Figura 13.16. En estos indicadores cada dígito está formado por siete segmentos denominados a, b, c, d, e, f, g (Fig. 13.16a), que se pueden encender o apagar a voluntad y de forma independiente, por ejemplo,

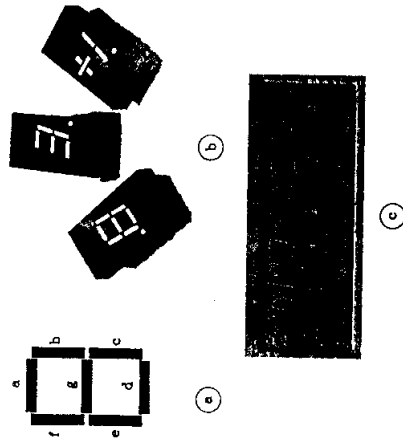


Figura 13.16. Indicadores numéricos.

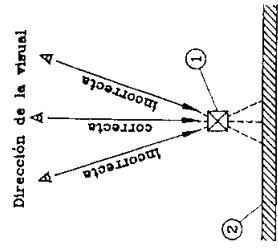


Figura 13.15. (a) Error de paralaje. (b) y (c) Sistemas correctores del error de paralaje.

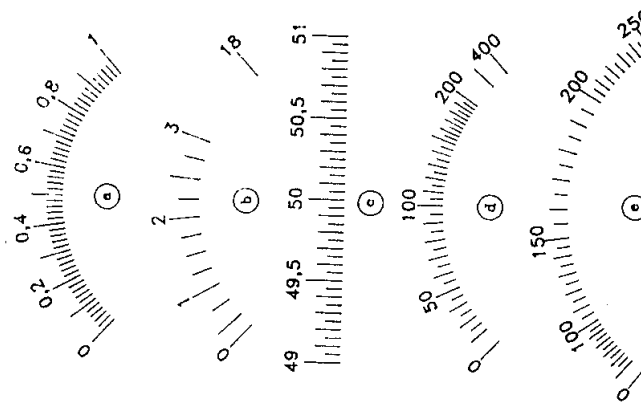


Figura 13.13. Escalas: (a) Lineal. (b) Cuadrática. (c) Fraccionada. (d) Comprimida. (e) Con zona muerta.

entradas le llega ceros lógicos) y de cátodo común (se encienden con unos lógicos). Su principal característica es su visibilidad incluso a gran distancia, teniendo como principal inconveniente su consumo, que hace que no se utilicen en aparatos de medida portátiles (con baterías).

Los indicadores LCD (*Liquid Cristal Display*), —Indicador de Cristal Líquido— utilizan las características ópticas de ciertos componentes orgánicos que, en estado líquido y por los efectos de un campo eléctrico, pueden pasar de ser transparentes a ser opacos y viceversa.

Su principal ventaja es su bajo consumo, que los hace ideales para su utilización en aparatos portátiles, teniendo como inconveniente su mala visibilidad en lugares con poca iluminación y su baja velocidad de respuesta.

13.4.3. Soportes de la parte móvil

En los aparatos de medida analógicos la parte móvil debe girar sobre un eje. Para evitar que los rozamientos de este eje al girar afecten a la precisión de la medida, se colocan cojinetes como el de la Figura 13.17a, de manera que el eje (1), terminado en punta redondeada, se apoya sobre un cojinete (2) de un material especial, que atenúa el rozamiento.

En algunos aparatos de muy alta precisión se utilizan cintas (1) (Fig. 13.17b) para suspender la parte móvil (2), de forma que se elimina totalmente

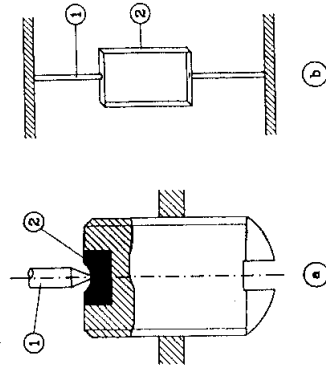


Figura 13.17. Soportes de la parte móvil en los aparatos analógicos.

el rozamiento del eje. En este caso, la propia cinta sirve para proporcionar el par antagonista necesario.

13.4.4. Dispositivos antagonistas

En los aparatos de medida analógicos, el dispositivo que proporciona el par antagonista necesario para mantener el elemento indicador en reposo, suele ser un muelle en espiral (Fig. 13.4, componente 4), fabricado con una aleación de bronce-fósforo u otra de similares características.

13.4.5. Dispositivos de amortiguación

En los aparatos de medida analógicos, es necesario que la indicación de la parte móvil sea rápida y sin muchas oscilaciones, es decir, que se establezca en un corto espacio de tiempo. Para conseguir esto, se utilizan amortiguadores, que pueden ser de dos tipos: neumáticos y electromagnéticos.

En los amortiguadores neumáticos (Fig. 13.18a), una aleta (1) se mueve, solidaria con la parte móvil, dentro de una cámara cerrada (2). El aire comprimido por la aleta en su movimiento de un lado a otro de la cámara, amortigua el movimiento de la parte móvil proporcionándole estabilidad.

En los amortiguadores electromagnéticos (Fig. 13.18b) se utilizan las corrientes de Foucault generadas en un disco (1) que se mueve dentro del entrehierro de un imán (2) con la parte móvil, o incluso el propio soporte de la bobina en los aparatos que tienen una móvil, para generar una fuerza opuesta a la que genera el movimiento.

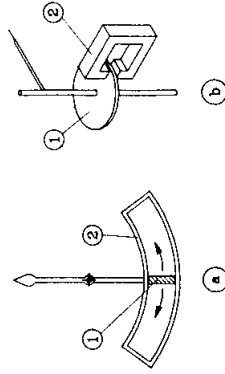


Figura 13.18. Dispositivos de amortiguación: (a) Neumático. (b) Electromagnético.

13.5. INDICACIONES CONVENCIONALES EN LAS ESCALAS

De acuerdo con las normas y recomendaciones internacionales, en el frente y junto a la escala de los aparatos de medida analógicos se debe indicar, mediante un conjunto de símbolos normalizados (Tablas 13.1 a 13.6), la siguiente información:

- Año de fabricación.
- Unidad de medida.
- Sistema o principio de funcionamiento (Tabla 13.2).
- Tipo de corriente (Tabla 13.3).
- Clase de precisión del aparato (Tabla 13.1).
- Posición de utilización del aparato (Tabla 13.4).
- Marca del fabricante.
- Número de fabricación.

Tabla 13.2. Símbolos de sistemas de funcionamiento de aparatos de medida

Símbolo	Designación	Aplicación
	Mecanismo de medida magnetoelectrónico de bobina o cuadro móvil	Voltímetros, amperímetros y galvanómetros de cc
	Mecanismo de medida magnetoelectrónico de imán móvil	Voltímetros, amperímetros y galvanómetros de cc
	Mecanismo de medida electromagnético o de hierro móvil	Voltímetros y amperímetros de cc y ca
	Mecanismo de medida electrodinámico sin hierro	Voltímetros, amperímetros, vatímetros y vatímetros
	Mecanismo de medida electrodinámico con hierro o ferrodinámico	Voltímetros, amperímetros, vatímetros y vatímetros
	Mecanismo de medida electrodinámico con hierro o ferrodinámico diferencial	Medidores del factor de potencia
	Mecanismo de medida magnetoelectrónico con convertidor termoelectrónico de caldeo directo	Voltímetros y amperímetros para medir valores eficaces
	Convertidor termoelectrónico en general (termoelemento o termopar)	Voltímetros, amperímetros y relés térmicos
	Convertidor termoelectrónico con caldeo indirecto	Voltímetros, amperímetros y relés térmicos
	Mecanismo de medida magnetoelectrónico con rectificador	Polímetros y medidores de aislamiento

Tabla 13.2. Símbolos de sistemas de funcionamiento de aparatos de medida (continuación)

Símbolo	Designación	Aplicación
	Diodo rectificador	Convertidores de ca en cc
	Mecanismo de medida por inducción	Voltímetros, amperímetros y vatímetros en ca, frecuencímetros
	Mecanismo de medida electrotérmico o por hilo calefactor	Amperímetros y voltímetros de ca y cc
	Mecanismo de medida termoeléctrico o bimetalico	Relés, amperímetros, voltímetros (con transformador), registradores
	Mecanismo de medida electrostático	Voltímetros
	Mecanismo de medida electromagnético de vibraciones	Frecuencímetros de lengüetas

Tabla 13.3. Símbolos de tipos de corriente en aparatos de medida

Símbolo	Designación	Aplicación
	Corriente continua (c.c.)	Aparato contrastado para medir en c.c. aun cuando por su mecanismo de medida pudiera medir ca
	Corriente continua y corriente alterna (cc y ca)	Aparato contrastado para medir indistintamente en cc y ca
	Corriente alterna (ca)	Aparato contrastado para medir en ca aun cuando por su mecanismo de medida pudiera medir cc
	Aparato de campo giratorio con un mecanismo de medida (trifásico con un circuito medidor)	Vatímetros trifásicos para redes equilibradas
	Aparato de campo giratorio con dos mecanismos de medida (trifásico con dos circuitos medidores)	Vatímetros trifásicos para redes sin neutro
	Aparato de campo giratorio con tres mecanismos de medida (trifásico con tres circuitos medidores)	Vatímetros trifásicos para redes desequilibradas y con neutro

Tabla 13.4. Símbolos de posición de utilización de aparatos de medida

Símbolo	Designación	Aplicación
	Posición de uso vertical (posición normal)	Para realizar medidas, el aparato debe colocarse con la escala vertical. Instrumentos de montaje en panel
	Posición de uso horizontal	Para realizar medidas, el aparato debe colocarse con la escala horizontal. Instrumentos portátiles
	Posición de uso inclinada, por ejemplo, 30°	Para realizar medidas, el aparato debe colocarse con la escala inclinada 30°. Instrumentos de montaje en pupitres

Tabla 13.5. Símbolos de tensión de prueba de aislamiento de un aparato de medida

Símbolo	Designación	Aplicación
	Tensión de prueba de aislamiento. El número indica la tensión en kV, por ejemplo, 1 kV	Importante: La tensión de prueba de aislamiento no es la tensión nominal del aparato de medida
	Si no se indica ningún número, la tensión de prueba es 500 V	
	Si se indica un cero es que el aparato no ha sido sometido a prueba de aislamiento	

- Tensión de prueba del aislamiento del aparato (Tabla 13.5).
- Instrucciones especiales (Tabla 13.6).

EJEMPLO 4

En la Figura 13.19 vemos un aparato de medida con las indicaciones de su marca, número de fabricación y año de fabricación, en la parte inferior derecha. En la parte inferior izquierda aparecen los símbolos correspondientes a un aparato con sistema electrodinámico, utilizable con ca y cc, de clase 1, para utilizarlo en posición horizontal y con una tensión de prueba de aislamiento de 1 kV. La unidad de medida, situada en el centro de la escala, es el voltio (V).

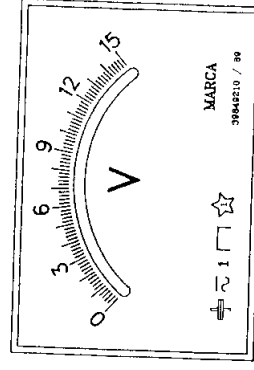


Figura 13.19. Escala completa de un aparato de medida.

Tabla 13.6. Símbolos de instrucciones especiales de un aparato de medida

Símbolo	Designación	Aplicación
	Posición cero de la aguja ajustable	Pivote que desplaza ligeramente la aguja del aparato con objeto de colocarla sobre el cero de la escala
	Instrumento sometido a tensiones peligrosas	Instrumento que es peligroso tocarlo cuando está en funcionamiento, sin las debidas precauciones
	Apantallamiento magnético	Apantallamiento de aparatos contra los campos magnéticos
	Apantallamiento electrostático	Apantallamiento de aparatos contra los campos electrostáticos
	Aparato de medida con instrucciones especiales de uso	En aparatos en los que se debe consultar el manual de utilización para evitar averías por su mal uso

y el error relativo expresado en forma de porcentaje. Indica la clase del aparato suponiendo que el error anterior es el máximo.

- Averigua las constantes de medida de un voltímetro, que tiene una escala con 100 divisiones, para los alcances siguientes: 0-10 V, 0-100 V y 0-300 V.
- Un voltímetro digital dispone de un convertidor analógico/digital de 12 bits. Si la tensión de entrada máxima al convertidor es de 10 V, calcula la banda de tensión que se le asigna a cada código binario de 12 bits.
- Se contrasta un amperímetro magnetoelectrónico con escala 0-5 A y se obtiene la tabla de datos siguiente:

A _r	1	2	3	4	5	4	3	2	1
A _r	1,05	2,04	2,98	3,99	4,92	4,02	2,97	1,95	0,94

Construye una tabla con los errores absolutos y relativos, estos últimos en forma de porcentaje. Dibuja un gráfico de errores relativos y otro de errores absolutos en un sistema de coordenadas, indicando en el eje de abscisas las indicaciones en el aparato de medida y en el eje de ordenadas los errores cometidos para cada lectura. ¿Cuál es la clase del aparato según la contrastación realizada?

EJERCICIOS Y PROBLEMAS

a	
b	
c	
d	
e	

- Durante la contrastación de un voltímetro de escala 0-300 V, se obtiene una lectura de 258 V cuando el voltímetro patrón indica 250 V. Calcula el error absoluto y el error relativo expresado en forma de porcentaje. Si el error cometido es el máximo durante la contrastación, ¿qué clase tendrá el aparato?
- Un amperímetro con cero central, de escala -5 A...0...+5 A, se contrasta con un amperímetro patrón obteniéndose en un determinado momento una lectura de 3 A, cuando el patrón indica 2,92 A. Determina el error absoluto y el error relativo expresado en forma de porcentaje. Suponiendo que el error anterior es el máximo, ¿qué clase tendrá el aparato?
- Interpreta, en función de los símbolos indicados en la tabla de la derecha, las características de los correspondientes aparatos de medida.
- Un frecuencímetro con escala 46-54 Hz indica 50,4 Hz durante la contrastación con un aparato patrón que indica 50,2 Hz. Halla el error absoluto