

INTRODUCCIÓN A LAS MEDICIONES ELÉCTRICAS

5.1 Introducción

Nos vamos a ocupar de las mediciones destinadas a la determinación de magnitudes eléctricas, como ser: intensidad de corriente, tensión, potencia, resistencia, inductancia, capacidad, frecuencia, etc.

Estas magnitudes pueden medirse con instrumentos que dan directamente el valor correspondiente, mediante una lectura clara y constante, mediante instrumentos que reciben el nombre de la magnitud a medir, como ser, amperímetro, voltímetro, vatímetro, etc.

Dentro de los instrumentos nos encontramos con los analógicos, los cuales son de medición directa, basándose la lectura en la posición de una aguja sobre una escala adecuada y los digitales, en los cuales el instrumento por "sí" lee el valor de la medición y la misma aparece en un display.

5.2 Clasificación de los instrumentos analógicos

Podemos clasificar los instrumentos analógicos, de acuerdo a su principio de funcionamiento, o los efectos por los cuales deflexionan, de acuerdo al siguiente esquema:

5.2.1 Bobina móvil e Imán permanente

Son instrumentos que deflexionan cuando se les aplica corriente continua únicamente o bien corriente alterna con el agregado de rectificadores.

Este instrumento consta de un imán permanente, con dos expansiones polares, entre las cuales gira un bastidor formado por una base de aluminio, sobre el cual se monta un arrollamiento de alambre conductor muy de muy pequeña sección (o bien una bobina autosoportada).

Dentro de bastidor se encuentra un cilindro de hierro dulce, fijado al instrumento, con lo cual se disminuye la reluctancia del circuito magnético. En la figura 5.1 se encuentra un detalle del mismo.

El bastidor está guiado por dos semiejes de material conductor, cuyos extremos son cónicos y poseen una terminación fina, los cuales se montan sobre sendos pivotes, que le permite un movimiento giratorio.

Sobre cada semieje encontramos dos resortes arrollados en sentido contrario, los cuales se hallan fijos en un extremo a la estructura del instrumento y por la otra al semieje correspondiente, con lo cual la posición del bastidor se mantiene en una cierta posición.

El sistema está construido en forma tal, que la corriente a medir ingresa a través de uno de los resortes, pasa por el semieje correspondiente, circula por la bobina y sale por el otro semieje y su resorte.

Sobre el eje de suspensión está montada una aguja indicadora ó índice que se desplaza sobre una escala adecuada, en la cual se efectúa la lectura correspondiente.

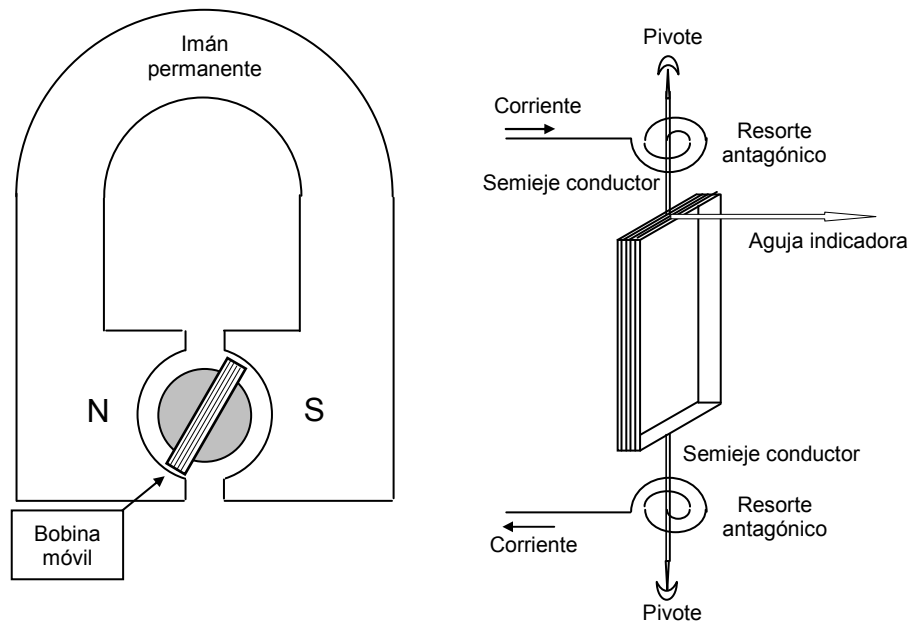


Figura 5.1 Esquema de un instrumento de imán permanente y bobina móvil

Debido a la forma que presenta el imán en la zona que enfrenta a la bobina, el campo magnético que atraviesa la misma es radial, lo cual hace que el mismo tenga un valor constante en cualquier posición de dicha bobina (dentro del ángulo que gira la misma).

Si se hace circular corriente por la bobina, en cada conductor de la misma se origina una fuerza, cuya magnitud está dada por la siguiente expresión

$$F = N \cdot B \cdot I \cdot L$$

Donde: F: Fuerza [N]

N: número de espiras que conforman la bobina

B: inducción magnética producida por el imán permanente [T]

I: Corriente que circula por la bobina [A]

L: Longitud del conductor que se encuentra inmerso en el campo magnético [m]

Esta fuerza aparece en los conductores, cuya dirección es perpendicular al campo magnético, de forma tal que de un lado de la bobina tiene un sentido y en el otro lado tiene sentido contrario (Dichos sentidos se determinan por medio de alguna regla conocida).

Dado que estas dos fuerzas tienen distinto sentido y además están en distintos planos de acción, se origina una cupla, cuyo valor está dado por:

$$C_m = F \cdot d = N \cdot I \cdot B \cdot L \cdot d = K \cdot I \quad (d: \text{ancho de la bobina})$$

De aquí observamos que la cupla es proporcional a la corriente que circula por la bobina, y origina un giro del sistema, el cual se detendrá cuando la cupla motora y la cupla antagonista originada por los resortes se igualen.

La cupla resistente provocada por los resortes, es proporcional al ángulo de giro de los mismos y a una constante propia de los mismos, siendo su valor:

$$C_R = K_R \cdot \theta$$

En equilibrio: $C_m = C_R$

$$K \cdot I = K_R \cdot \theta$$

$$\theta = K/K_R \cdot I = K_A \cdot I$$

Con lo cual se observa que el ángulo de giro del sistema es proporcional a la corriente que circula por la bobina.

Este instrumento es apto para corriente continua, ya que de aplicar corriente alterna, el signo de la cupla estaría cambiando de sentido en función de la frecuencia de la corriente y el sistema quedaría en la posición de cero.

La aguja indicadora se desplaza sobre una escala adecuada, cuyo tarado se efectúa en base a la corriente que circula, lo cual hace que este instrumento se lo pueda utilizar para medir corrientes o tensiones con los aditamentos necesarios para limitar la corriente al valor máximo que pueda soportar la bobina, con el agregado de resistencias en serie o en paralelo.

Instrumento utilizado como amperímetro

El instrumento utilizado como amperímetro se debe conectar en serie con la carga cuyo valor de corriente queremos determinar, tal como se muestra en la figura 5.2.

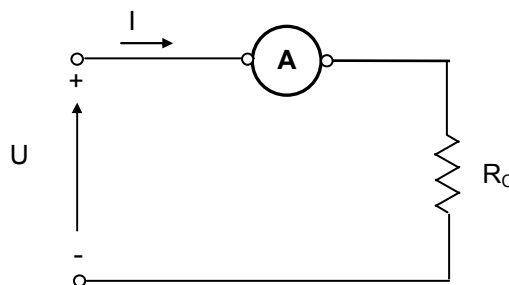


Figura 5.2 Conexión de un instrumento utilizado como amperímetro

Debido a la pequeña corriente que admite la bobina del instrumento, para poder usar este instrumento como amperímetro, debemos poder ampliar su alcance, lo cual se efectúa mediante el agregado de resistencia en paralelo (Shunt).

En la figura 5.3 observamos la forma de conexión.

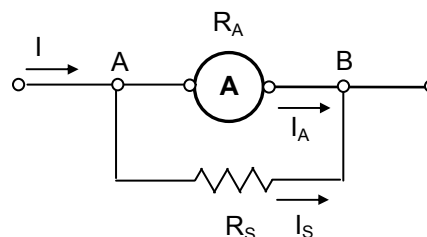


Figura 5.3 Conexión de una resistencia en derivación

Esta resistencia en paralelo deberá tener un valor, el cual surge del alcance que se desee obtener.

De la figura 5.3, la corriente que puede soportar el instrumento está indicado por I_A , siendo R_A la resistencia de la bobina.

Si queremos utilizar el mismo instrumento para poder efectuar mediciones de corriente cuyo valor máximo será " I ", la resistencia shunt a colocar, surge del siguiente análisis:

La diferencia de potencial entre los bornes A y B está dada por:

$$U_{AB} = R_A \cdot I_A = R_S \cdot I_S$$

$$R_S = \frac{R_A \cdot I_A}{I_S} = \frac{R_A \cdot I_A}{I - I_A} = \frac{R_A}{\frac{I}{I_A} - 1}$$

Este valor de la resistencia shunt, es menor que la resistencia de la propia bobina, para poder derivar por la misma la diferencia de corrientes.

Con el agregado de la resistencia mencionada se puede realizar el tarado de la escala para este mayor rango de corriente.

Instrumento usado como voltímetro

En este caso el instrumento se debe conectar en paralelo con la carga de acuerdo a lo indicado en la figura 5.4.

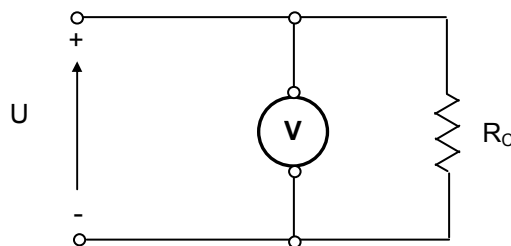


Figura 5.4 Conexión de un instrumento utilizado como voltímetro

Debido a que la corriente que circula por el instrumento depende de la resistencia de la bobina y de la tensión aplicada, para poder utilizar el instrumento como voltímetro deberemos agregar una resistencia en serie, de acuerdo a lo indicado en la figura 5.5

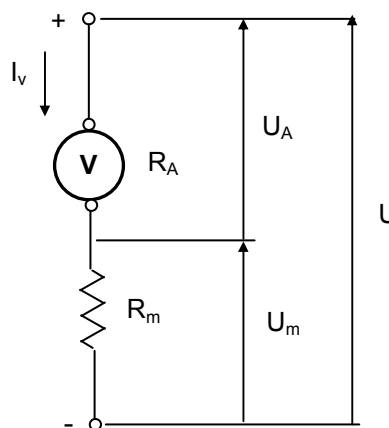


Figura 5.5 Conexión de una resistencia en serie

En el gráfico se cumple:

$$U = U_A + U_m = I_v \cdot R_A + I_v \cdot R_m$$

De lo que obtenemos:

$$R_m = \frac{U}{I_A} - R_A$$

En este caso el tarado de la escala se efectuará en volt.

5.2.2 Instrumentos de hierro móvil

En este tipo de instrumentos, la corriente a medir circula por una bobina fija, motivo por el cual la sección de los conductores que la conforman pueden tener mayor sección, que en el caso del instrumento de imán permanente.

El sistema móvil está conformado por un eje, sobre el cual se monta la aguja indicadora y el sistema de resortes antagónicos, tal lo visto en el instrumento anterior y además lleva una chapa de hierro dulce, que es la que provoca el movimiento de giro ante la presencia de un campo magnético producido por la corriente que circula por la bobina, al producir una imantación en la misma. En la figura 5.6, se muestra un esquema de funcionamiento de este tipo de instrumento.

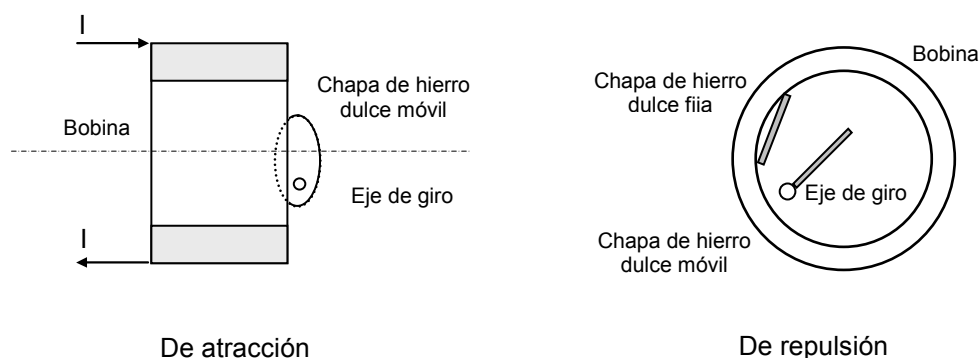


Figura 5.6 Instrumento de hierro móvil

Cuando el sistema comprende una bobina y una sola chapa de hierro dulce, el movimiento que se produce al imanarse la chapa es de atracción, en cambio en aquellos sistema que tienen dos chapas, una fija a la bobina y otra móvil, la imanación de las dos chapas provoca un movimiento de repulsión.

Las fuerzas que se producen son proporcionales al cuadrado de la intensidad que circula por la bobina., en consecuencia, para cualquiera de los dos sentidos que pueda tener la circulación de la corriente, el esfuerzo experimentado por la lámina móvil es del mismo sentido, lo cual hace que este instrumento sea apto para corriente continua o alterna.

Instrumento utilizado como amperímetro

Este instrumento se puede utilizar como amperímetro para corrientes de 20 a 50 A, para valores superiores se utilizan con un transformador de medida auxiliar.

Instrumento utilizado como voltímetro

Se lo utiliza con el agregado de resistencia en serie al igual que el instrumento de imán permanente.

5.2.3 Instrumentos electrodinámicos

Los instrumentos electrodinámicos poseen dos bobinas, una fija y la otra giratoria, sobre ejes, semejante a los instrumentos de bobina móvil e imán permanente. Ambas bobinas pueden estar sometidas a la misma corriente (conectadas en serie) o a dos corrientes diferentes (conectadas en paralelo).

La bobina fija, que es externa al ser recorrida por una corriente crea en su interior un campo magnético que actúa sobre la corriente que circula por la bobina móvil que es interior, lo cual produce fuerzas sobre los lados de la misma y por lo tanto produce el giro correspondiente.

La bobina móvil está provista como hemos visto de los resortes antagónicos y la aguja indicadora.

En la figura 5.7 vemos un esquema de este tipo de instrumento

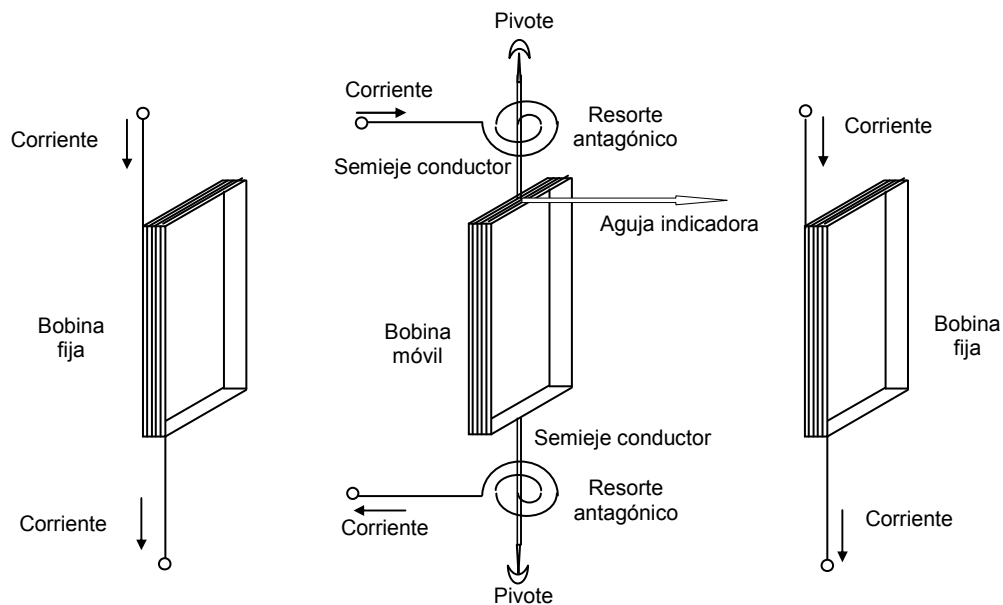


Figura 5.7 Instrumento electrodinámico

La bobina exterior o fija está dividida en dos partes, lo cual permite que las misma se puedan conectar en serie o en paralelo (en este caso se duplica la corriente que puede ingresar a la parte fija del instrumento).

El ángulo de giro de la bobina móvil esta dado por:

$$\theta_{CC} = K_{CC} I_{Fija} \cdot I_{Móvil} \quad (\text{en corriente continua})$$

$$\theta_{CA} = K_{CA} I_{Fija} \cdot I_{Móvil} \cdot \cos \beta \quad (\text{en corriente alterna, siendo } \beta \text{ el ángulo de desfase entre las corrientes})$$

Este instrumento al igual que el anterior se puede utilizar como amperímetro o como voltímetro, a cuyos efectos la bobina fija y la móvil se deben conectar en serie ya que la corriente es única (su costo es más elevado).

El principal uso de este instrumento es como vatímetro, para lo cual la bobina fija se utiliza para medir la corriente que pasa por la carga y la bobina móvil para medir la tensión sobre la carga.

Vatímetro electrodinámico

Este instrumento presenta cuatro terminales, de los cuales dos se conectan en serie con la carga y miden la corriente que pasa por la misma mediante la bobina fija de mayor capacidad y los otros dos se conectan en paralelo para medir la tensión, mediante el agregado de una resistencia en serie (R_m) a la bobina móvil, de acuerdo al esquema de la figura 5.8

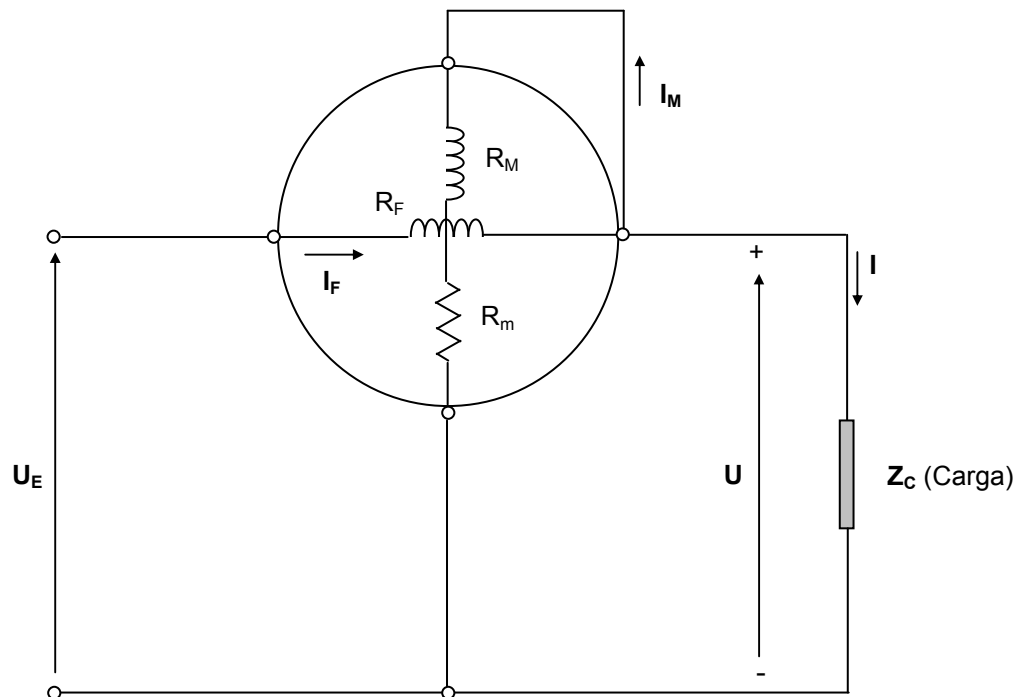


Figura 5.8 Esquema de conexión de un vatímetro electrodinámico

Con este tipo de conexión la corriente que circula por la bobina móvil, es proporcional a la tensión sobre la carga, en cambio la corriente que circula por la bobina móvil, es la suma de la corriente que pasa por la carga y la que se deriva por la bobina móvil.

Suponiendo que la carga es de carácter óhmico-inductiva, la corriente estará en atraso a la tensión en función del factor de potencia de la misma.

En cambio la corriente que pasa por la bobina móvil, debido al valor elevado de la resistencia adicional R_m , podemos considerar que está en fase con la tensión sobre la carga.

De acuerdo a esta situación el diagrama fasorial correspondiente es el de la figura 5.9.

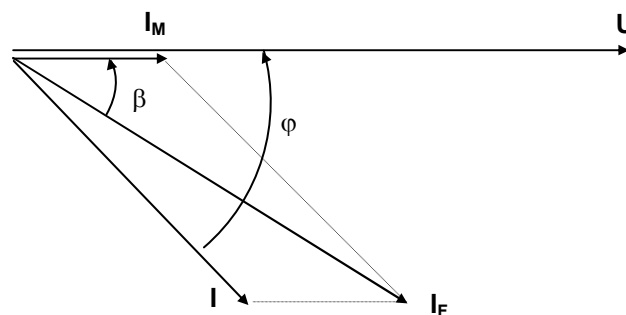


Figura 5.9 Diagrama fasorial

De acuerdo al diagrama fasorial se cumple:

$$I_F \cdot \cos \beta = I_M + I \cdot \cos \varphi$$

La corriente que pasa por la bobina móvil es:

$$I_M = \frac{U}{R_W} \quad \text{Donde } R_W = R_M + R_m$$

Habíamos visto que el ángulo de deflexión esta dado por:

$$\theta_{CA} = K_{CA} I_F \cdot I_M \cdot \cos \beta \quad \text{Reemplazando}$$

$$\theta_{CA} = K_{CA} \cdot I_M \cdot (I_M + I \cos \varphi)$$

$$\theta_{CA} = K_{CA} (I_M^2 + I_M \cdot I \cos \varphi)$$

$$\theta_{CA} = K_{CA} \left(\frac{U^2}{R_W^2} + \frac{U}{R_W} \cdot I \cdot \cos \varphi \right)$$

$$\theta_{CA} = \frac{K_{CA}}{R_W} \left(\frac{U^2}{R_W} + U \cdot I \cdot \cos \varphi \right)$$

$$\theta_{CA} = K_W \left(\frac{U^2}{R_W} + U \cdot I \cdot \cos \varphi \right)$$

En esta expresión $U \cdot I \cdot \cos \varphi =$ Potencia activa consumida por la carga

$$\frac{U^2}{R_W} = \text{Potencia que se consume en la resistencia de la bobina móvil o voltimétrica } (R_M + R_m)$$

Por lo tanto en este tipo de conexión la indicación del instrumento es proporcional al consumo de la carga más el consumo de la bobina voltimétrica.

En el caso de que la resistencia del circuito voltimétrico sea muy grande, se puede despreciar dicho consumo.

Esta forma de conectar la bobina voltimétrica sobre la carga recibe también el nombre de conexión “atrás”, en cambio si la misma se conecta sobre la fuente recibe el nombre de conexión “adelante”, en cuyo caso la tensión que mide dicha bobina no es la de la carga, sino que hay que adicionarle la caída de tensión en la bobina amperométrica o fija, mientras que la corriente que mide esta última es la corriente que pasa por la carga.

En la figura 5.10 se muestran esquemáticamente ambos tipos de conexión.

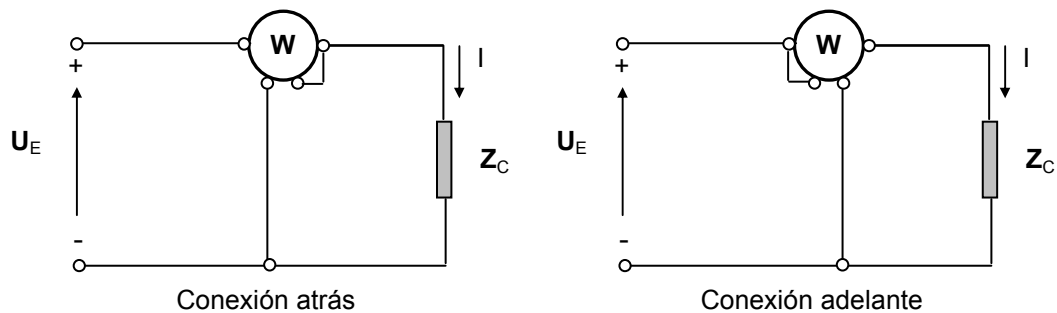


Figura 5.10 Formas de conexión de los vatímetros

5.3 Instrumentos digitales

En los aparatos de medida digitales, solamente se toman algunos valores de las magnitudes que se desean medir. Mediante circuitos electrónicos, estas magnitudes se codifican de acuerdo a un sistema determinado. Estos circuitos se llaman convertidores A/D (Analógico/Digital).

Dado que la magnitud a medir es una función continua en el tiempo, se efectúa en ella un muestreo de la señal correspondiente a un determinado instante, y se convierte la señal en un tren de pulsos periódicos, debiéndose realizar el muestreo en un período lo mas pequeño posible, a los efectos de que no haya una variación brusca de la señal a medir y que no sea detectada.

En la figura 5.11 se muestra una señal continua (Tensión, corriente, potencia, etc.), en la cual el período de muestreo es "T".

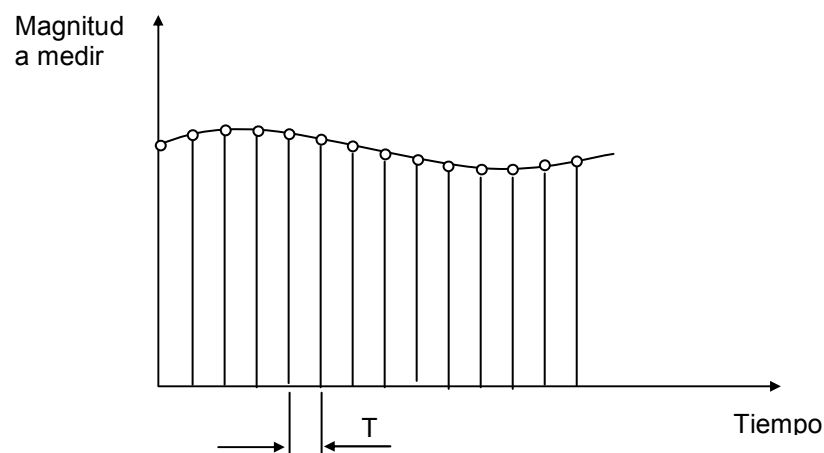


Figura 5.11 Muestreo de una señal analógica

En los aparatos digitales, el sistema indicador (escala – aguja) es sustituido por un indicador numérico,

5.4 Fundamentos de la teoría de errores

En la técnica de las mediciones eléctricas se puede aplicar la teoría de errores, desde el punto de vista matemático. Pero desde el punto de vista práctico lo fundamental alcanza para la solución de los casos comunes.

Partiendo de que ninguna medida es exacta, en el sentido absoluto de su palabra, toda medida está afectada por un error.

Definimos como error absoluto a la diferencia entre la cantidad que medimos “C” y la cantidad que consideramos verdadera “C”.

$$e_a = C_m - C$$

Este error será en más o en menos, según cual sea mayor. En la técnica es conveniente expresar los errores en forma porcentual, en relación con la cantidad considerada verdadera o más probable, con lo cual el error relativo lo podemos expresar en forma porcentual.

$$e\% = \frac{C_m - C}{C} 100 = \frac{e_a}{C} 100$$

5.4.1 Clasificación de los errores

Los errores posibles a ser cometidos se pueden clasificar en:

Errores groseros

Son aquellos que se pueden producir por inexperiencia del observador o falta de atención.

La magnitud de los mismos hace que sean fácilmente advertidos por simple observación y por lo tanto descartarlos. Para evitarlos es conveniente efectuar repetición en las medidas.

Errores sistemáticos

Estos errores son previsibles y tienen el mismo signo, lo cual lleva a que los mismos puedan calcularse y desafectarlos de la medición. Los mismos aparecen por:

Método: Depende de cómo se efectuó la medición, ya que los instrumentos a utilizar introducen modificaciones en las condiciones del circuito. Como ejemplo tomemos la medición del valor de una resistencia, por medio de un voltímetro y un amperímetro, los cuales los podemos conectar de dos formas distintas.

- a) Conexión corta: En la figura 5.12 se muestra este tipo de conexión, en la cual el voltímetro mide la tensión real sobre la resistencia, pero el amperímetro mide la suma de la corriente que pasa por la resistencia más la que se deriva por el voltímetro.

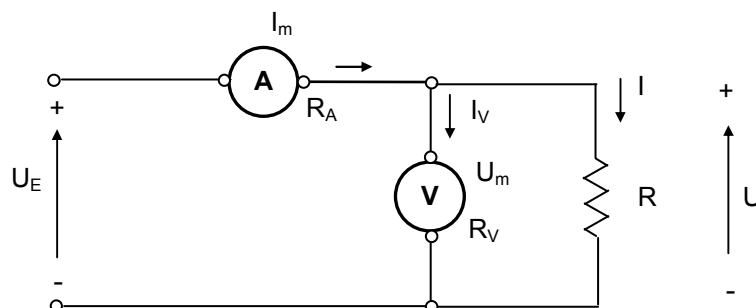


Figura 5.12 Conexión corta o atrás

El valor de la resistencia medida esta dado por:

$$R_m = \frac{U_m}{I_m}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U_m}{I_m - I_v} = \frac{U_m}{I_m - \frac{U_m}{R_v}}$$

El error que se comete está dado por: $\Delta R = R_m - R$ el cual se puede desafectar.

- b) Conexión larga: En la figura 5.13 se muestra este tipo de conexión, en la cual el voltímetro mide la tensión sobre la resistencia más la caída de tensión en el amperímetro, pero el amperímetro mide la corriente que pasa por la resistencia.

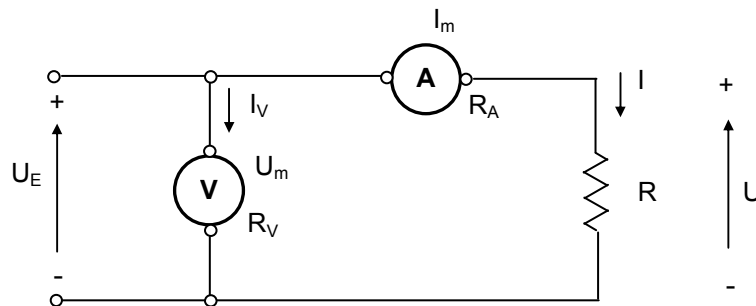


Figura 5.13 Conexión larga o adelante

El valor de la resistencia medida esta dado por:

$$R_m = \frac{U_m}{I_m}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U_m - R_A \cdot I_m}{I_m} = \frac{U_m}{I_m} - R_A$$

Como la resistencia voltimétrica tiene valores muy grandes, la conexión corta es conveniente cuando la resistencia a medir es mucho más pequeña, y en este caso se puede despreciar el error, en cambio la conexión larga es conveniente cuando la resistencia a medir es muy grande con respecto a la del amperímetro.

En el caso de que realice la corrección cualquiera de los dos métodos es factible. También surge que habrá un valor de resistencia a medir que produce el mismo error con una conexión o la otra, la cual se puede determinar en forma analítica.

Instrumental: Este error se debe al trazado de la escala cuando se efectúa la misma por comparación con un instrumento patrón. A este error debemos agregarle el error de lectura del instrumento patrón, lo cual lleva a lo que se llama error de trazado.

Otro error que comete el instrumento es debido a los rozamientos que tiene el sistema de suspensión, lo cual hace que para la misma corriente la aguja indicadora no ocupe la misma posición.

Errores debidos al observador: Nacen del hecho de que cada observador tiene una forma particular de efectuar las lecturas, como interpolar en la mitad, tercera ó cuarta parte de una división, leer en exceso o en defecto, tomar valores pares o impares.

Errores debido a las condiciones donde se efectúa la medición: Son los que se provocan por condiciones de temperatura, humedad, presión atmosférica, presencia de campos magnéticos o eléctricos, etc.

Errores accidentales

Son errores casuales, fortuitos, inevitables producidos por la imperfección de nuestros sentidos y las perturbaciones del medio ambiente. No obedecen a una ley por lo tanto no se reproducen en forma igual en situaciones iguales. Los mismos son producidos por:

Paralaje: Son motivados por la falta de perpendicularidad entre el ojo del observador y la escala del instrumento, tal como se muestra en la figura 5.14.

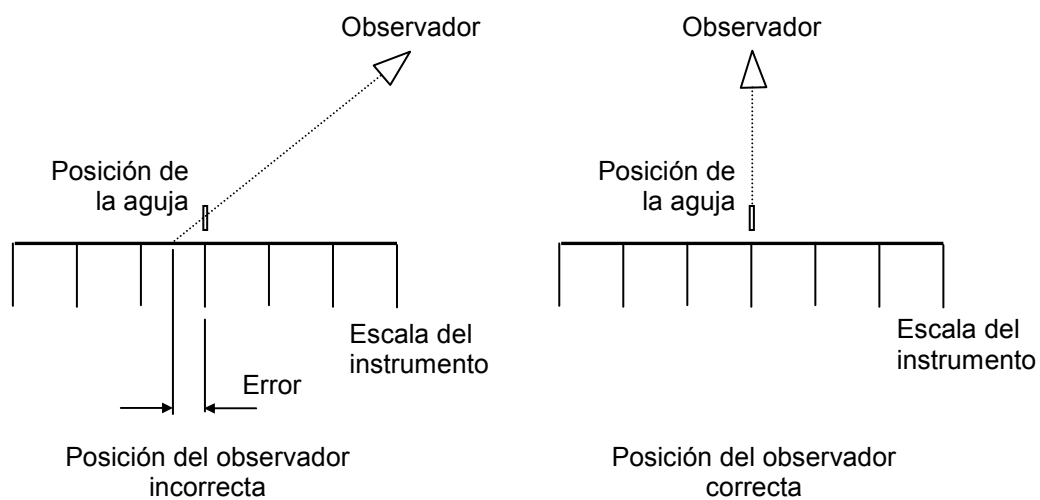


Figura 5.14 Lectura con error de paralaje

Para disminuir este tipo de error los instrumentos cuentan con un espejo, sobre la escala a los efectos de que el observador no vea el reflejo de la aguja, según se indica en la figura 5.15.

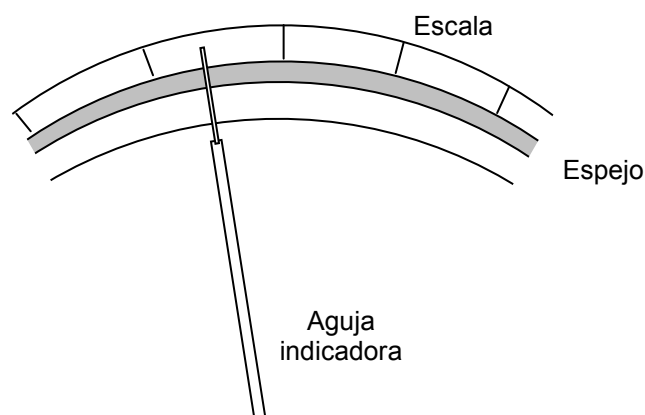


Figura 5.15 Escala con espejo para disminuir el efecto de paralaje

Poder separador del ojo: El ojo humano no puede diferenciar dos puntos situados a una distancia tal que el ángulo sustentado por los mismos no supere un cierto valor que aproximadamente es de 2 minutos. El ojo para una distancia aproximada de 30 cm detecta una separación mínima de 0,1 mm.

Apreciación: Nace de la necesidad de interpolar la lectura cuando la aguja indicadora se detiene entre dos divisiones.

Estos errores que no se pueden acotar, se tienen en cuenta como si su valor fuera de 0,2 a 0,25 de la menor división de la escala del instrumento.

5.4.2 Error de clase

Es el error que tiene el instrumento que no es acotable y por lo tanto corregible. Para acotarlo se define como clase del instrumento y está dado por:

$$\beta\% = \frac{\text{Máximo error absoluto por calibración}}{\text{Máxima cantidad medible a fondo de escala}} 100$$

Es importante tener en cuenta que la clase de un instrumento, nos indica cual es el error absoluto máximo, el cual se mantiene en cualquier lugar de la escala. Lo que cambia es el error relativo, el cual aumenta a medida que la aguja se detiene en las primeras partes de la escala.

Tomemos un ejemplo:

Sea un voltímetro cuyo alcance máximo es de 100 V y tiene una clase igual a 1.

El error absoluto que se repite para cualquier indicación es:

$$e_a = 0,01 \cdot 100 = 1 \text{ V}$$

Esto nos indica que si la lectura es a fondo de escala (100 V) el error relativo que estamos cometiendo es del 1%, en cambio si la lectura fuera de 10 V, el error relativo para esa medición es del 10%.

Esto trae aparejado que en lo posible se utilicen instrumentos que nos permita efectuar lecturas en el último tercio de la escala del mismo.

5.5 Simbología para identificar los instrumentos

Por lo general los instrumentos traen sobre su frente una serie de símbolos que nos permite identificarlos y cuales son los límites de su uso:



Instrumento a bobina móvil e imán permanente



Instrumento de hierro móvil



Instrumento electrodinámico



Instrumento para ser usado en posición vertical



Instrumento para ser usado en posición horizontal



Tensión de ensayo de la caja del instrumento en kV(en este caso 2 kV)



Instrumento apto para corriente alterna



Instrumento apto para corriente continua



El número indica la clase del instrumento