

Apuntes Tema 3:

Medidas eléctricas.

Instrumentos analógicos de medida

1. Contenido

3.1	MEDIDAS ELECTRICAS. INSTRUMENTOS ANALÓGICOS.	3
3.1.1	Parámetros de la medición de variables eléctricas.	3
3.1.1.1	Tipos de medición	4
3.1.2	Patrones	5
3.1.3	Precisión	5
3.2	Aparatos e instrumentos de medida	7
3.2.1	Galvanómetro	8
3.2.1.1	Amperímetros.....	8
3.2.1.2	Voltímetros.....	9
3.2.1.3	Óhmetro.....	10
3.2.1.4	Multímetro o tester	11
3.2.1.5	Osciloscopio	11
3.3	Errores.....	12
3.3.1	Otros errores:	13
3.4	Sensibilidad.....	15
3.4.1	Limitaciones de las lecturas.....	16
3.4.2	Otras limitaciones	17
3.4.3	Magnitudes típicas de errores de medición	18
3.5	Preguntas de autoevaluación.....	19
3.5.1	Ejercicios propuestos	21
3.6	Instrumentos indicadores electromecánicos	23
3.6.1	Introducción:.....	23
3.6.2	Instrumentos de bobina móvil	23
3.6.2.1	Cupla antagónica y motora.....	27
3.6.2.2	Montaje mecánico	28

3.6.2.3	Amortiguamiento	29
3.6.2.4	Otros detalles constructivos	31
3.6.2.5	Sensibilidad	31
3.6.2.6	Escalas.....	33
3.6.3	Instrumentos de hierro móvil.....	33
3.6.3.1	Sensibilidad	35
3.6.3.2	Escalas.....	36
3.7	Preguntas de autoevaluación.....	36
3.7.1	Ejercicios propuestos.....	37
3.8	Amperímetros , voltímetros y óhmetros	37
3.8.1	Amperímetros	38
3.8.2	Voltímetros	41
3.8.3	Óhmetro	45
3.8.3.1	Indicaciones en las escalas de Amperímetros y Voltímetros	53
3.8.4	Descripción de la construcción de un multímetro comercial.	54
3.8.4.1	El multímetro como Amperímetro	55
3.8.4.2	El multímetro como Voltímetro	61
3.9	Preguntas de autoevaluación.....	66
3.9.1	Ejercicios propuestos.....	67
3.10	Multímetro híbrido	68
3.10.1	Voltímetro electrónico	70
3.11	Preguntas de autoevaluación	71
3.11.1	Ejercicios propuestos.....	72
3.12	Resumen.....	72
3.12.1	Problemas	75
3.13	Medición de inductancias y capacidades. Puetes	76
3.13.1	Principio del puente de Whastone.	77
3.13.2	Puente para C.C.	79
3.13.3	Puente para C.A.....	80
3.13.3.1	Consideración de la pérdida en los puentes	81

3.1 MEDIDAS ELECTRICAS. INSTRUMENTOS ANALÓGICOS.

3.1.1 Parámetros de la medición de variables eléctricas.

Para el ingeniero electrónico, el bioingeniero y el técnico, siempre será necesario realizar comprobaciones de distintas variables, ya sea en circuitos de equipos en reparación o en diseños desarrollados por él mismo. Así entonces se presenta la necesidad del conocimiento de los diversos instrumentos de medida y de las técnicas para medir. Por ejemplo, si se desea conocer la diferencia de potencial entre los bornes de un generador, deberá tenerse en cuenta las características del generador y por ello el tipo de instrumento a utilizar.

En forma general se puede decir que la medición de una cantidad determinada cualquiera, consiste esencialmente en su comparación con otra cantidad de la misma especie, elegida como unidad; también se puede ensayar la siguiente definición: medir es comparar una cantidad con su respectiva unidad, con la finalidad de determinar cuántas veces la primera contiene a la segunda. En mediciones eléctricas, la comparación es ordinariamente indirecta, necesitándose dos o más mediciones para pasar de la cantidad medida a la unidad

El método de unidades empleado en ingeniería eléctrica se basa en el sistema "cgs" (centímetro-gramo-segundo) y se define en función de los fenómenos electromagnéticos.

La norma metro-kilogramo-segundo da lugar a unidades prácticas, con miras a evitar la necesidad de usar cantidades muy grandes o muy pequeñas. Esta solución no ha sido suficiente, sin embargo, debido a lo extenso de la escala de cantidades empleadas en la ingeniería moderna ha sido necesario emplear los prefijos: mega (10^6), kilo (10^3), mili (10^{-3}), micro (10^{-6}), nano (10^{-9}) y pico (10^{-12}), para poder expresar en forma abreviada los múltiplos y sub-múltiplos necesarios de las unidades prácticas.

Las unidades prácticas de corriente y resistencia fueron establecidas como unidades eléctricas fundamentales por un acuerdo internacional, mientras que la diferencia de potencial, inductancia y capacidad son unidades derivadas.

3.1.1.1 Tipos de medición

La medición se puede clasificar de acuerdo a la forma de realización en:

Medida directa: La medida o medición es directa, cuando se dispone de un instrumento de medida que la obtiene. En otras palabras Medida directa es aquella que se realiza usando un instrumento destinado a medir esa magnitud.

Ejemplos:

- Medir una longitud con una cinta métrica.
- Medir intensidad de corriente eléctrica con un amperímetro.

Medida indirecta : No siempre es posible realizar una medida directa. Esto se puede deber a que no existe el instrumento, no se dispone del instrumento, el instrumento que se dispone no está en el rango adecuado o porque hay algún impedimento que no permita la medición; Las medición indirecta es aquella que realizando la medición de una o varias variables, se puede calcular otra distinta que es la que se tiene interés en conocer.

Son las que calculan el valor de la medida **mediante una fórmula** previo cálculo de las magnitudes que intervienen en la fórmula por medidas directas.

Ejemplo:

- Calcular el volumen de una habitación midiendo las el alto, largo y ancho.
- Calcular la corriente en una rama de un circuito midiendo el voltaje en una resistencia del mismo.
- Midiendo la presión en dos puntos de un tanque de líquido para luego obtener la columna de agua (altura del líquido).

3.1.2 Patrones

La comparación con su unidad da origen a la necesidad de contar con patrones para cada una de ellas. Un patrón es la representación material de una unidad. Así la unidad absoluta de resistencia está representada, con un error conocido, por resistencias de alambre conservadas en el National Bureau of Estándar (N.B.S.), de Washington (EE.UU). Similarmente el volt absoluto está representado por la fuerza electromotriz media de un grupo de pilas Weston saturadas, conservadas en el mismo laboratorio (N.B.S.). Para las mediciones industriales de la práctica, se emplean como patrones secundarios del ohm y del volt, otras resistencias metálicas y pilas Weston no saturadas de otros laboratorios verificadas periódicamente con los patrones del N.B.S. o de otras entidades (en la República Argentina es el Instituto Nacional de Tecnología Industrial: INTI).

La medición de la intensidad de la corriente se obtiene a base de los patrones antedichos, aplicando la ley de Ohm. En forma similar a los patrones del ohm y del volt, pueden conservarse bobinas patrones de inductancia y condensadores patrones de mica o de aire.

3.1.3 Precisión

Se denomina precisión a la capacidad que posee un instrumento en dar el mismo resultado en diferentes mediciones realizadas en las mismas condiciones.

Esta cualidad debe evaluarse a corto plazo. No debe confundirse con exactitud. La precisión refleja la proximidad de distintas medidas entre sí, y es función exclusiva de los errores accidentales. En ingeniería exactitud y precisión no son equivalentes.

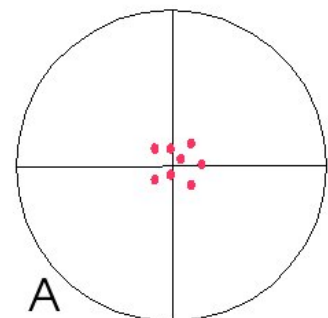
Precisión se refiere a la dispersión del conjunto de valores obtenidos de mediciones repetidas de una magnitud. ***Cuanto menor es la dispersión mayor la precisión.*** Una medida común de la variabilidad es la desviación estándar de las mediciones y la precisión se puede estimar como una función de ella. Es importante resaltar que la automatización de diferentes pruebas o

técnicas puede producir un aumento de la precisión. Esto se debe a que con dicha automatización, lo que logramos es una disminución de los errores manuales o su corrección inmediata.

Exactitud se refiere a cuán cerca del valor real se encuentra el valor medido. En términos estadísticos, la exactitud está relacionada con el sesgo de una estimación. Cuanto menor es el sesgo más exacto es una estimación. Cuando se expresa la exactitud de un resultado, se expresa mediante el error absoluto que es la diferencia entre el valor experimental y el valor verdadero.

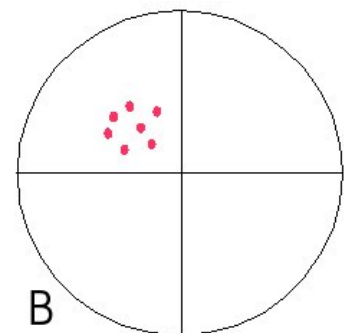
Como ejemplo de precisión y exactitud pongamos los disparos a una blanco, la precisión y la exactitud en el disparo, tienen que ver con la proximidad de los disparos entre sí: precisión, y con la concentración de los disparos alrededor del centro del blanco: exactitud.

En la figura A, tiene un alto grado de precisión dado que todos los disparos se concentran en un espacio pequeño, y un alto grado de exactitud dado que los

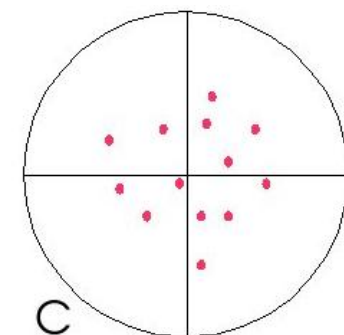


disparos se concentran sobre el centro del blanco.

En la figura B, el grado de precisión es similar a la de la figura A, los disparos están igual de concentrados, la exactitud es menor, dado que los disparos se han desviado a la izquierda y arriba, separándose del centro del blanco.

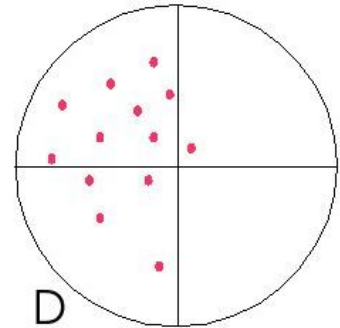


En la figura C, la precisión es baja como se puede ver por la dispersión de los disparos por toda la diana, pero



la exactitud es alta porque los disparos se reparten sobre el centro de la diana.

En la figura D, la distribución de los disparos por una zona amplia denota la falta de precisión, y la desviación a la izquierda del centro del blanco revela la falta de exactitud.



Como puede verse estas propiedades son independientes y la alta o baja precisión no implica ni alta ni baja exactitud, una operación, una información o una medición es de tanto mejor calidad cuando mayor es su precisión y exactitud.

3.2 Aparatos e instrumentos de medida

Para la medición de las distintas variables eléctricas existen en el mercado una variedad importante de instrumentos y los mismos se pueden clasificar en: electromecánicos; electrónicos y combinaciones de ellos.

Los primeros basan su principio de medición en que la misma variable a medir (intensidad) impulsa un sistema electromecánico que produce un movimiento proporcional (analógico) a dicha intensidad. El dispositivo posee además, una aguja indicadora en una escala adecuada. Los más universales de estos sistemas son los instrumentos indicadores de bobina móvil con "su antónimo", el de hierro móvil.

En cambio, los instrumentos electrónicos en general no poseen ningún mecanismo, ya que todo el proceso de medición se realiza mediante circuitos y técnicas apropiadas, mostrándose los resultados en una pantalla analógica o en forma numérica (digitales).

La combinación de un aparato electromecánico con circuitos electrónicos tales como amplificadores, da lugar a aparatos híbridos que incrementan las

excelentes características de los instrumentos de bobina móvil y preservan, en algunos casos, las singularidades propias de cada tipo de instrumento.

Como el lector habrá advertido, el campo inherente a las técnicas de medición es prácticamente infinito; pero también se deberá tener en cuenta que a pesar del perfeccionamiento alcanzado, siempre se producirá algún error entre el valor que debe tener la variable y el que se mide.

El avance tecnológico y el desarrollo de las técnicas digitales, hace aparecer una nueva generación de instrumentos de medida, del tipo digital, en los cuales se lee directamente en dígitos el valor de la variable.

Un instrumento totalmente electrónico por excelencia, infaltable hoy día en cualquier laboratorio, taller de reparaciones o centro de enseñanza, desarrollado con el advenimiento del tubo de rayos catódicos, es el osciloscopio. Este aparato permite "ver" en tiempo real directamente en una pantalla, las variables que permanecen constantes o aquellas que varían periódicamente.

Por ello es conveniente conocer, aunque muy sucintamente a los mismos. Por otro lado recuerde que anteriormente se ha hecho referencia a la precisión de los aparatos.

Existen muchos tipos de instrumentos diferentes siendo los más destacados los amperímetros, voltímetros, óhmetros, multímetros y osciloscopios.

3.2.1 Galvanómetro

Los galvanómetros son aparatos que se emplean para indicar el paso de corriente eléctrica por un circuito y para la medida precisa de su intensidad. Suelen estar basados en los efectos magnéticos o térmicos causados por el paso de la corriente. Son la base de muchos instrumentos analógicos de medida usados como amperímetros y voltímetros.

3.2.1.1 Amperímetros

Un amperímetro (Figura 3.1) es un instrumento que **sirve para medir la intensidad de corriente** que está circulando por un circuito eléctrico. En su diseño original los amperímetros están constituidos, en esencia, por un galvanómetro cuya escala ha sido graduada en amperes.



Fig 3.1



Fig 3.2

En la actualidad, los amperímetros utilizan un conversor analógico/digital para la medida de la caída de tensión sobre un resistor por el que circula la corriente a medir. La lectura del conversor es leída por un microprocesador que realiza los cálculos para presentar en un display numérico el valor de la corriente circulante. (Figura 3.2)

Para efectuar **la medida de la intensidad de corriente circulante por el amperímetro ha de colocarse en serie**, para que sea atravesado por dicha corriente. Esto lleva a que el amperímetro debe poseer **una resistencia interna lo más pequeña posible**, a fin de que no produzca una caída de tensión apreciable.

3.2.1.2 Voltímetros

Un voltímetro es un instrumento que sirve para **medir la diferencia de potencial** entre dos puntos de un circuito eléctrico cerrado pero a la vez abierto en los polos. Los voltímetros se clasifican por su funcionamiento mecánico, siendo en todos los casos el mismo instrumento:

- Voltímetros electromecánicos: en esencia, están constituidos por un galvanómetro cuya escala ha sido graduada en voltios.

Existen modelos que separan las corrientes continua y alterna de la señal, pudiendo medirlas independientemente. (Figura 3.1)

- Voltímetros electrónicos: añaden un amplificador para proporcionar mayor impedancia de entrada y mayor sensibilidad.
- Voltímetros digitales: dan una indicación numérica de la tensión, normalmente en una pantalla tipo LCD. Suelen tener prestaciones adicionales como memoria, detección de valor de pico, verdadero valor eficaz (RMS), selección automática de rango y otras funcionalidades. (Figura 3.2)

Para efectuar la medida de la diferencia de potencial el voltímetro **ha de colocarse en paralelo**, esto es, en derivación sobre los puntos entre los que se trata de efectuar la medida. Para ello, en el caso de instrumentos basados en los efectos electromagnéticos de la corriente con lo que con poca intensidad de corriente a través del aparato se consigue la fuerza necesaria para el desplazamiento de la aguja indicadora. Por ello un voltímetro ideal es el que tiene una **resistencia que tiende a infinito**.

3.2.1.3 Óhmetro

Un óhmetro (Figura 3.1 o 3.2) es un instrumento para medir la resistencia eléctrica. El diseño de un óhmetro se compone de una pequeña batería para aplicar un voltaje a la resistencia bajo medida, para luego mediante un galvanómetro medir la corriente que circula a través de la resistencia. La escala del galvanómetro está calibrada directamente en ohms, ya que en aplicación de la ley de Ohm, al ser el voltaje de la batería fija, la intensidad circulante a través del galvanómetro sólo va a depender del valor de la resistencia bajo medida, esto es, a menor resistencia mayor intensidad de corriente y viceversa.

3.2.1.4 *Multímetro o tester*

Un multímetro o tester, **es un instrumento que ofrece la posibilidad de medir distintas magnitudes en el mismo aparato**. Las más comunes son las de voltímetro, amperímetro y óhmetro. Es utilizado frecuentemente por el personal técnico en toda la gama de electrónica y electricidad. Existen distintos modelos que incorporan además de las tres funciones básicas antes citadas otras mediciones importantes, tales como medida de inductancias y capacitancias; comprobador de diodos y transistores. Este instrumento de medida por su precio y su exactitud sigue siendo el preferido del aficionado o profesional en electricidad y electrónica. Hay dos tipos de multímetros: analógicos y digitales.

3.2.1.5 *Osciloscopio*



Fig 3.3

Se denomina osciloscopio (Figura 3.3) a un instrumento de medición electrónico para la representación gráfica de señales eléctricas que pueden variar en el tiempo, que permite visualizar fenómenos transitorios así como formas de ondas en circuitos eléctricos y electrónicos y mediante su análisis se puede diagnosticar con facilidad cuáles son los problemas del funcionamiento de un determinado circuito. Es uno de los instrumentos de medida y verificación eléctrica más versátiles que existen y se utiliza en una gran cantidad de aplicaciones técnicas.

Existen dos tipos de osciloscopios: analógicos y digitales. Los analógicos trabajan con variables continuas mientras que los digitales lo hacen con variables discretas. Ambos tipos tienen sus ventajas e inconvenientes. Los analógicos son preferibles cuando es prioritario visualizar variaciones rápidas de la señal de entrada en tiempo real. Los osciloscopios digitales se

utilizan cuando se desea visualizar y estudiar eventos no repetitivos, como picos de tensión que se producen aleatoriamente.

3.3 Errores

El error de medición se define como la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero. Afectan a cualquier instrumento de medición y pueden deberse a distintas causas.

Tal como se dijo en párrafos anteriores, al realizar una medición de cualquier variable, se producirá un error entre ella y el valor verdadero que debería tener. Por ello, para los aparatos electromecánicos de medida que poseen una aguja indicadora sobre una escala, se pueden definir los siguientes errores:

Error absoluto: diferencia entre el valor verdadero y la lectura. Si se define como X al valor verdadero y X_L al valor leído, el error absoluto será:

$$E_{ab} = dX = X - X_L$$

Error relativo o clase del aparato:

$$E_{relat} = \frac{dX}{Rango} \cdot 100 = \frac{X - X_L}{Rango} \cdot 100$$

Esta expresión se interpreta como: Valor verdadero menos Valor leído dividido en el rango y el resultado multiplicado por cien. Este error es la incertidumbre que el fabricante garantiza a lo largo de la escala. En otras palabras, el valor que se obtiene a fondo de escala es el mismo para cualquier lugar de la misma.

Ello significa fundamentalmente que: por roces, ancho de la aguja indicadora y por la construcción del sistema móvil, el fabricante garantiza, para ese rango esa variación en \pm del valor leído.

Mediante ejemplos se interpretará este error.

Se posee un voltímetro que a fondo de escala mide 300 V y la clase dada por el fabricante es del 1%. La lectura es de 220 V. Mediante la expresión del error relativo se determina que a fondo de escala la incertidumbre de la medida es de ± 3 V. Este valor se obtiene por una aplicación de la regla de tres simple así: La clase es del 1%, lo que significa que para 100 V es un Volt; luego para 300 V serán 3 V. Por ello, el valor final del valor leído será de (220 ± 3) V o sea que estará comprendido entre 217 V y 223 V. Este valor será constante para cualquier valor que se lea. Por ello, la incidencia de este error aumenta para medidas cada vez menores. De allí es que es conveniente leer en el último tercio de la escala. En una lectura inferior tal como 10 V la incertidumbre será de (10 ± 3) V, estará comprendido entre 7 V y 13 V. Fig 3.4

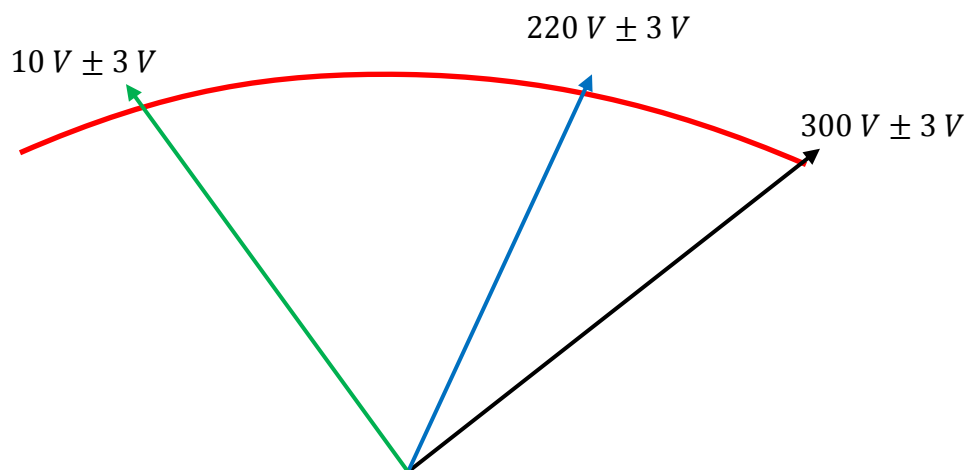


Fig 3.4

3.3.1 Otros errores:

Finalmente, en las mediciones con instrumentos analógicos aparece otro error que es inherente a la medida. Como se verá posteriormente, un voltímetro ideal es aquel cuya resistencia interna es infinita y un amperímetro ideal es aquel cuya resistencia interna es cero.

Como el lector comprenderá, al medir diferencias de potencial, el voltímetro se coloca en paralelo con los extremos del circuito a medir y por ello, la

resistencia interna del voltímetro, que no es infinita, interviene modificando a dicho circuito y por consiguiente variando la lectura que debería tener.

De la misma forma, al medir con un amperímetro, el mismo se coloca en serie con el conductor en el cual se desea medir la corriente y nuevamente aquí, como el amperímetro no es ideal ya que posee, aunque pequeña una determinada resistencia, también modifica la lectura que se debería obtener. Así entonces este error en el cual interviene la resistencia interna del instrumento se encuentra de la siguiente forma:

Error porcentual de la medición:

$$E_{medición} = \frac{dX}{X} \cdot 100 = \frac{X - X_L}{X} \cdot 100$$

Se interpreta como: Valor verdadero menos Valor leído dividido por el Valor verdadero por cien. Este error en muchas mediciones puede ser muy importante. Posteriormente, cuando se conozca la construcción de voltímetros y amperímetros analógicos, se ejemplificará este error.

Errores sistemáticos: En estadística, un error sistemático es aquel que se produce de igual modo en todas las mediciones que se realizan de una magnitud. Puede estar originado en un defecto del instrumento, en una particularidad del operador o del proceso de medición, etc. Permanecen constantes en valor absoluto y en el signo al medir, una magnitud en las mismas condiciones

En muchas oportunidades, para tratar de obtener resultados más exactos, es conveniente medir varias veces una misma variable, encontrándose luego el promedio de las mismas. Así entonces, si se han realizado "n" mediciones, el promedio será la suma de las mediciones dividida por n. Sin lugar a dudas que el resultado es más digno de confianza que cualquiera de los valores leídos independientemente. Supóngase que el aparato con el cual se están efectuando las mediciones, falla por defecto (las lecturas son menores que los valores verdaderos), entonces el promedio adolecerá también de un error por

defecto. La ventaja de reiterar mediciones de una misma variable, será en este caso más ilusoria cuanto mayor sea el error sistemático del instrumento. La repetición de las mediciones solamente disminuye el efecto de los errores accidentales atribuidos al azar, y contribuye de paso a eliminar lecturas erróneas propias del operador.

3.4 Sensibilidad

Una de las cualidades que tienen los instrumentos de medida es la sensibilidad. Un instrumento de medida es tanto más sensible cuanto más pequeña sea la cantidad que puede medir. La sensibilidad con que se fabrican los aparatos de medida depende de los fines a los que se destina.

En cada tipo de medidas se requiere una determinada sensibilidad. Por ejemplo para medir la distancia entre dos ciudades no necesitamos un sistema de medida que aprecie los milímetros, sin embargo para medir el grosor de un conductor podríamos necesitar un aparato que apreciase 0.05 mm.

Una medición es sensible de acuerdo con el grado que permite apreciar pequeñas diferencias en la magnitud medida. Además, la apreciación de esta diferencia debe ser bien definida y repetible o precisa.

La sensibilidad suele depender de las características constructivas y de la forma que se combinan las variables que actúan en el método utilizado. Así por ejemplo, un instrumento de aguja, miliamperímetro o microamperímetro, será tanto más sensible cuanto mayor sea la longitud de la aguja, porque una variación de corriente Δi , al provocar una pequeña rotación, se hará observable como un desplazamiento del extremo de la aguja; una aguja más larga, permitirá ver el efecto de una variación relativa $\Delta i/I$ más pequeña.

Se debe mencionar también que la sensibilidad en los instrumentos mecánicos, también refleja la máxima desviación con la menor corriente. Se puede citar instrumentos que necesitan una corriente de un miliamper (1 mA) para la deflexión total y otros, 50 microamperes (50 μ A) para la misma deflexión. El segundo de los instrumentos, como se puede apreciar, opera con una corriente

20 veces menor que el primero, no obstante podría tener la misma sensibilidad relativa. Pero entendiendo también como sensibilidad a la habilidad del instrumento para detectar pequeñas variaciones de la corriente, se comprende en este aspecto que el aparato de 50 μA es más sensible.

3.4.1 Limitaciones de las lecturas.

En la mayoría de los instrumentos de medida la escala se inicia en cero y termina en un valor máximo dado. Por supuesto, esto se refiere a los instrumentos de aguja. Así por ejemplo, un voltímetro de alcance dado V , permite medir entre cero y V Volts.

En principio parecería, que numerosos instrumentos permiten realizar mediciones de cualquier valor comprendido entre cero y su alcance máximo. Esto, sin embargo, no es practicable. P

ara menores valores que cierto límite, que depende del aparato considerado, la medición es cada vez más incierta.

El lector debe recordar aquí la clase del instrumento que indicaba la incertidumbre constante en toda la escala, por lo que la incidencia de dicho error aumentaba con valores cada vez más pequeños. Para que no queden dudas, mediante un ejemplo se pondrá de manifiesto esta limitación. En la figura 3.5, se supone la escala de un miliamperímetro de ley lineal, que cubre la gama de valores de 0-100 mA.

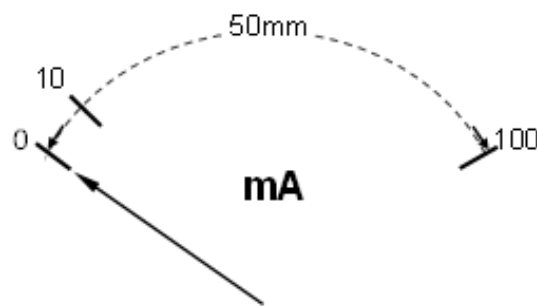


Fig. 3.5

La apreciación de una lectura sobre la escala poseerá siempre cierta incertidumbre, que depende del error de paralaje, del roce mecánico, del espesor de los trazos de la escala y de la agudeza del extremo de la aguja indicadora. Esta incertidumbre puede ser del orden de **0,1 mm** en los buenos aparatos con aguja a cuchilla y espejo (los multímetros que se utilizan en electrónica son de este tipo).

3.4.2 Otras limitaciones

En determinadas medidas eléctricas tales como mediciones de valores muy pequeños o muy elevados de resistencias, impedancias, tensiones, etc. se encuentran dificultades. Los fabricantes de los aparatos de medición, para cada caso se ocupan de disminuir al máximo las incertidumbres.

Como contrapartida, cabe aclarar que en la actualidad, con la irrupción masiva de instrumentos digitales de gran precisión, se han minimizado a extremos increíbles las irresoluciones que ya ni siquiera dependen del operador.

Así por ejemplo, cuando se desea medir una resistencia desconocida, al conectarla a los bornes o puntas de prueba del instrumento de medida., se introduce una resistencia parásita de contacto, que en la mayoría de los casos es despreciable (cuando la resistencia a medir es grande), pero que en otras situaciones no puede ser dejada de lado. Un caso semejante estará constituido por el problema para medir una resistencia del orden de $0,01\Omega$. Eventuales resistencias parásitas que pueden ser del orden de $0,001\Omega$, pueden falsear apreciablemente la medición de pequeñas resistencias como la mencionada más arriba.

Por otra parte, las resistencias de contacto pueden ser variables con la presión y con la limpieza de superficies, lo que da lugar a irregularidades en la medición de pequeños valores, que puede así resultar no repetible o imprecisa. Una consecuencia importante es que las resistencias de contacto con los terminales a medir, ya sea de tensión o corriente de valores pequeños, también producen errores en las lecturas.

Otro efecto a considerar, tiene lugar en la medición de resistencias muy elevadas (varios miles de ohm), como consecuencia de resistencias parásitas en paralelo, debidas a humedad, depósitos de polvo, etc. Un error frecuente en estos casos, es aquel en que el operador utiliza ambas manos como pinzas, para mantener unidos los terminales de la resistencia bajo medición con las puntas de prueba del instrumento. (Fig. 3.6). En este caso, se está agregando una resistencia en paralelo, constituida por el cuerpo humano, a través de las manos, lo que produce un valor erróneo. Por este motivo, es conveniente adosar a las puntas de prueba sendos clips tipo cocodrilo. Algunos aparatos los traen postizos, que se atornillan en las puntas.

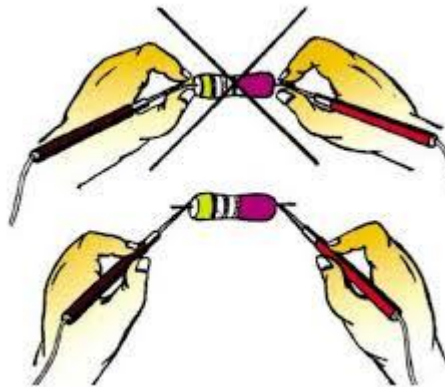


Fig. 3.6

También debe considerarse, al medir corrientes altas, la resistencia que introducen los conductores de las puntas de prueba. Generalmente, el fabricante del instrumento dota al mismo de los conductores adecuados a la corriente máxima a medir, pero si los mismos se deterioran y si hay que reemplazarlos, se debe tener cuidado en que la sección sea la adecuada.

3.4.3 Magnitudes típicas de errores de medición

Finalmente, es importante destacar, aunque sea repetitivo, que las mediciones eléctricas comunes son caracterizadas más a menudo por su error relativo que por su error absoluto; pero en problemas concretos este último suele constituir el mejor elemento de juicio.

Cabe mencionar que en los instrumentos analógicos de aguja tales como voltímetros, amperímetros, multímetros en general, normalmente se especifican por su error relativo a plena escala; y queda entendido que el error absoluto correspondiente puede afectar a cualquier lectura tomada en cualquier lugar de la escala. Un voltímetro de 100 Volt, clase 2 (2 % a fondo de escala), puede ser afectado por un error absoluto de 2 Volt en cualquier lugar de la escala. Por ello y dado que ya el lector conoce esta consecuencia, la recomendación para medir una variable con cierta precisión, es utilizar siempre que sea posible, la lectura **cerca del máximo de la escala o al menos en el último tercio tal como se comentó anteriormente.**

En los aparatos de medición digitales tales como multímetros, contadores universales y frecuencímetros, de elevada calidad y precio, suelen estar especificados por su error absoluto: un dígito de la lectura, un Hz, etc., lo que es posible por el principio que gobierna su funcionamiento. Se volverá sobre este tema, en los capítulos referidos a este tipo de instrumentos.

En cambio, como el lector ya conoce, en los aparatos mecánicos, se especifican por su error relativo. También, es general que en los instrumentos de tablero, el error relativo se especifique como clase. Así entonces, es común encontrar grabado en la escala de ellos, la clase del mismo: 0,5 ; 1 ; 2 ; etc. indicando dichos números el error relativo.

Para un frecuencímetro digital, cuyo error absoluto garantizado es de 1 Hz, originará evidentemente errores relativos inversamente proporcionales a la frecuencia. Al medir una frecuencia de 1 KHz, el error relativo será $1\text{Hz}/1\text{ KHz} = 0,001$, o sea 0,1% de la frecuencia medida; pero cuando se lo utiliza para la medición de una frecuencia de 1 MHz, el mismo error absoluto de 1 Hz producirá un error relativo de una parte por millón, o sea de 0,000001 que se especifica como 0,00001%.

3.5 Preguntas de autoevaluación

- 1) ¿En qué consiste medir una magnitud física?
- 2) ¿Qué es una medición directa y que es una medición indirecta? De

Ejemplos

- 3) ¿Qué es una unidad de medida básica y que es una unidad de medida derivada?
- 4) ¿Qué es un sistema de unidades? ¿Cuál es el más usado?
- 5) ¿Qué es un patrón de medida? ¿Qué características tienen que poseer?
- 6) ¿En el sistema internacional que significan los prefijos Mili, Micro, Nano y Pico?
- 7) ¿En el sistema internacional que significan los prefijos kilo, Mega y Giga?
- 8) ¿Qué es el error de medición? ¿Por qué se produce?
- 9) ¿Qué es el error absoluto y que es el error relativo de una medición? ¿Cuándo y por qué se utiliza cada uno de ellos?
- 10) ¿Qué tipos de instrumentos de medidas eléctricas existen?
- 11) ¿Qué es un galvanómetro?
- 12) ¿Qué es un amperímetro, cómo se conecta y cuál debe ser su principal característica?
- 13) ¿Qué es un voltímetro, cómo se conecta y cuál debe ser su principal característica?
- 14) ¿Qué es un Amperímetro y cuál es su principio de funcionamiento?
- 15) ¿Qué es un multímetro y para qué se utiliza?
- 16) ¿Qué es un osciloscopio y para que se utiliza?
- 17) ¿Qué es la precisión de un instrumento de medida?
- 18) ¿Qué es la exactitud de un instrumento de medida?
- 19) ¿Qué es la fidelidad o repetitividad de un instrumento de medida?
- 20) ¿Qué es la resolución o apreciación de un instrumento de medida?
- 21) ¿Qué es la sensibilidad de un instrumento de medida?
- 22) ¿Qué es el rango o intervalo de medida?
- 23) ¿Qué diferencia existe entre precisión y exactitud? Dé un ejemplo
- 24) ¿Qué es la fidelidad o repetitividad de un instrumento de medida?
- 25) ¿Qué es la resolución o apreciación de un instrumento de medida?
- 26) ¿Qué es la sensibilidad de un instrumento de medida?
- 27) ¿Qué es el rango o intervalo de medida?

- 28) ¿Qué diferencia existe entre precisión y exactitud? Dé un ejemplo
- 29) ¿Qué es la resistencia parásita de contacto? ¿En qué medición se hace importante?

3.5.1 Ejercicios propuestos

- 1) En la siguiente tabla en donde se indican valores de corriente, completarla indicando el valor equivalente.

Amper (A)	Mili Amper (mA)	Micro Amper (μA)
45		
	13	
		1500

- 2) En la siguiente tabla en donde se indican valores de tensión, completarla indicando el valor equivalente.

Volt (V)	Kilovoltio (kV)	Milivolt (mV)	Microvolt (μV)
2,5			
		2400	
			58000
	0,256		

- 3) En la siguiente tabla en donde se indican valores de resistencia, completarla indicando el valor equivalente.

Ohm (Ω)	KiloOhm (kΩ)	MegaOhm (MΩ)	MiliOhm (mΩ)
2,5			

	2,15		
		5800	
			58

4) 4) En la siguiente tabla en donde se indican valores de capacidad, completarla indicando el valor equivalente.

Faradio (F)	MicroFaradio (μF)	NanoFaradio (nF)	PicoFaradio (pF)
2,5			
	0,57		
		5800	
			58

5) En la siguiente tabla en donde se indican valores de inductancia, completarla indicando el valor equivalente.

Faradio (F)	MicroFaradio (μF)	NanoFaradio (nF)	PicoFaradio (pF)
2,5			
	0,57		
		5800	
			58

6) Al medir la longitud de una varilla para construcción se obtiene el resultado aproximado de 11,99 m mientras que al medir la longitud de un clavo, se obtiene el resultado de 11,99 cm. Suponiendo que los valores verdaderos de la varilla y el clavo son de 12 m y 12 cm respectivamente, calcular el error absoluto en ambos casos. ¿Cuál medición es mejor? Justificar.

7) Un instrumento es de clase 2.5 para todos sus rangos. Determinar el Error Absoluto Máximo (ERROR ABSOLUTO) para los rangos de 25V, 50V, 250 y 500V.

- 8) En un circuito, se mide una tensión de 25V con un voltímetro en la escala de 50V. Si el aparato es de clase 5, determinar Error Absoluto Máximo (ERROR ABSOLUTO) y entre que valores estará la lectura. Determinar el Error Porcentual Máximo (ERROR PORCENTUAL) de la medida.
- 9) En un circuito, se mide una tensión de 10V con un voltímetro sucesivamente en las escalas de 15V, 25V, 50V y 100V. Si el aparato es de clase 2.5 para todas las escalas, determinar entre que valores estará la lectura para cada caso. ¿Cuál es la medida más precisa? ¿Por qué?

3.6 Instrumentos indicadores electromecánicos

3.6.1 Introducción:

Para la medición de las variables, como ya se advirtió, se han desarrollado numerosos aparatos que combinan técnicas mecánicas con eléctricas, entre las cuales se destacan por excelencia, el denominado de bobina móvil e imán permanente y el de hierro móvil.

Ambos dispositivos, operan por la concurrencia de las leyes del electromagnetismo. En ellos, para su funcionamiento, toman energía eléctrica del circuito bajo medición, y tienen características que los distinguen entre sí como se verá posteriormente.

3.6.2 Instrumentos de bobina móvil

El primero de ellos, es el que tiene supremacía en las mediciones tanto eléctricas como electrónicas y ha logrado imponerse a través del tiempo, con sustanciales mejoras en las características tanto mecánicas como eléctricas. Respecto de esta última, lo que se ha mejorado es su sensibilidad, en cuanto a la mínima corriente requerida para su operación. Esto trae consigo la posibilidad de poder ser utilizados en circuitos en los cuales, las corrientes

que los circulan son pequeñas. **Se debe considerar también que solamente trabajan con corriente continua.**

En cambio, los de hierro móvil, necesitan para su operación corrientes mayores, pero con la ventaja que es indiferente su funcionamiento en cuanto a la C.C. o C.A. en forma directa. Esto limita sus aplicaciones a instrumentos de tablero, donde la demanda de energía eléctrica no es el requerimiento primordial.

Este instrumento, cuyo precursor fue desarrollado en el siglo XVIII, llamado galvanómetro, sigue teniendo vigencia y aún hoy se lo sigue conociendo con ese nombre. Su funcionamiento se basa en la acción conjunta de una corriente eléctrica y un campo magnético.

Recordando conceptos sobre electromagnetismo, si se dispone de un conductor por el cual circula corriente en un solo sentido, e inmerso en un campo magnético, sobre dicho conductor se producirá una fuerza, como puede observarse en la figura 3.7

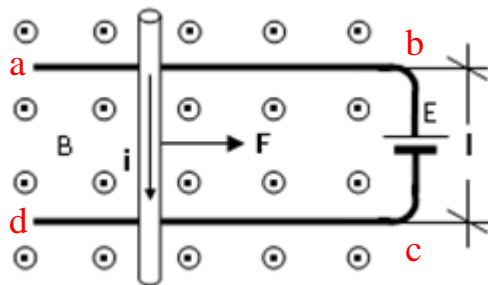


Fig. 3.7

Debe notarse, en la figura que el campo B , es perpendicular al papel saliendo del mismo (se observan las puntas de las líneas). El conductor rueda por alambre a , b , c y d que está fijo. La corriente i la suministra la fuente de tensión E . La fuerza que se produce en el conductor es: $F = B \cdot l \cdot i$ (1), o sea directamente proporcional al campo B , a la longitud del conductor l y a la corriente circulante i . Note además que como B es constante y l también, la fuerza depende del valor de la corriente circulante. Para poder aprovechar esta cualidad, al conductor se le da forma de espira tal como se puede observar en la figura 3.8a, que gira según un eje ee . En la figura se observa que la

corriente i se introduce por un extremo de la espira y la recorre saliendo por el otro. Así entonces, en el lado c , la corriente tiene una dirección y en el lado d , la opuesta. El campo magnético \mathbf{B} , en la posición dibujada, es paralelo al plano de la espira y su sentido y dirección, el mostrado. Por ello, aparece una la fuerza F_1 en el lado c y la F_2 en el d de la espira, formando una cupla y obligándola a girar sobre el eje ee . Como se habrá advertido y expresado anteriormente, la fuerza es directamente proporcional al campo magnético y a la corriente i . Ahora bien, si se deja constante al campo \mathbf{B} (el largo del conductor de la espira también es constante), la proporcionalidad será exclusivamente con la corriente. En otras palabras, para aumentar la cupla se deberá incrementar exclusivamente el valor de la corriente; pero esto no es conveniente, puesto que lo que se desea es que se produzca la mayor rotación (fuerza) posible con la menor corriente. Para ello, lo que se hace es colocar imanes poderosos y aumentar el número de espiras formando un cuadro bobinado, figura 3.8 b. Ahora, la misma corriente circulando por las N espiras, incrementa la fuerza proporcionalmente a ellas, lográndose así que con pequeños valores de i , se produzca una importante rotación (gran sensibilidad).

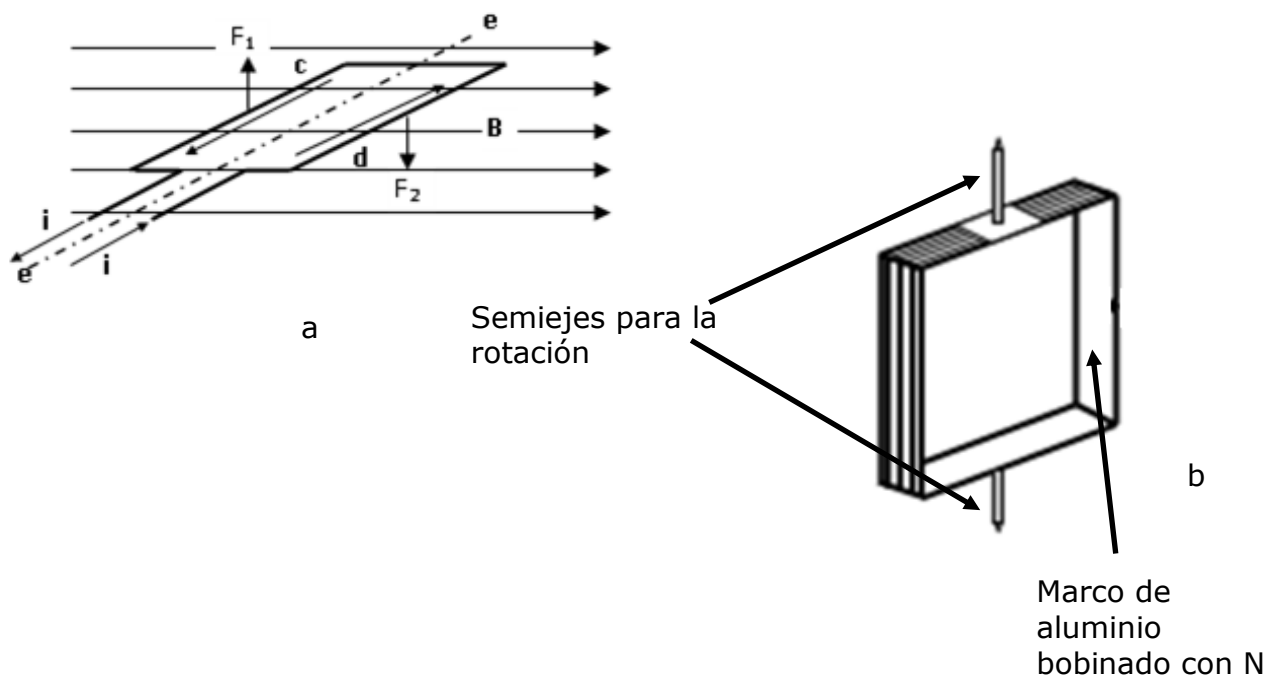


Fig. 3.8

Es importante ahora, mostrar que cuando el plano de la bobina es perpendicular a las líneas del campo magnético, las fuerzas actuantes hacen que el cuadro se inmovilice. Las leyes que controlan estas variables tienen su justificación en la expresión (1). Así entonces, la rotación del cuadro queda limitada solamente a 90° . En la figura 3.8 a se muestra esta condición. Por otro lado, y por construcción se logra además que siempre el campo magnético permanezca perpendicular a las espiras (uniforme a lo largo del recorrido del cuadro bobinado). Observando la figura 3.8 b, se destaca en ella, que se ha agregado un eje partido para que se produzca la rotación de la bobina.

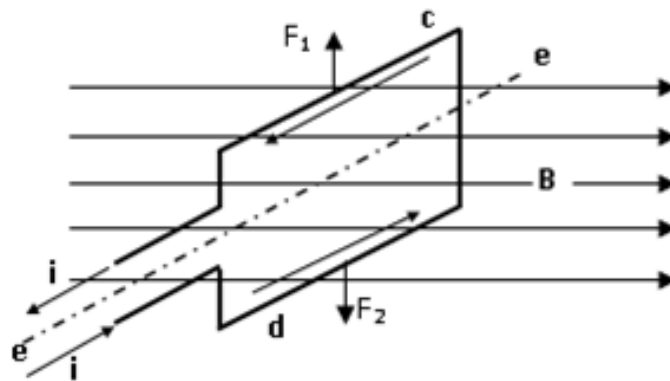


Fig. 3.4

El mismo, está constituido por dos semiejes. Cada uno de ellos es solidario desde el punto de vista mecánico, al cuadro que contiene al arrollamiento que forma la bobina. El motivo de que el eje esté dividido en dos partes, tiene dos causas: una, la imposibilidad de que el eje sea pasante a través del cuadro de la bobina y la otra, la más importante, es que cada mitad queda aislada eléctricamente del sistema, lo que permite conectar a ellos los extremos de la bobina. Se podrá advertir también, que los semiejes tienen los extremos aguzados, permitiendo ello que se apoyen en sendos pivotes con cavidad cónica, oficiando de cojinetes. De esta forma, el conjunto bobina-eje gira libremente.

3.6.2.1 Cupla antagónica y motora

A todo esto, también será necesario dotar a la bobina móvil de una cupla antagónica para que se oponga a la que genera la corriente y que se denomina motora, y produzca el necesario equilibrio. Para ello se agregan dos resortes con forma de espirales de Arquímedes, figura 3.5, contruidos con una lámina muy delgada de bronce fosforoso. Cada resorte se coloca en oposición al otro, solidarios a cada semieje. De esta forma también, queda eléctricamente conectado cada extremo de la bobina con el exterior a través de las espirales para dar entrada y salida a la corriente que circulará por ella. Para completar el sistema, se le debe adicionar una aguja indicadora con contrapesos para equilibrar a la misma. En figuras posteriores se podrá observar el sistema completo.

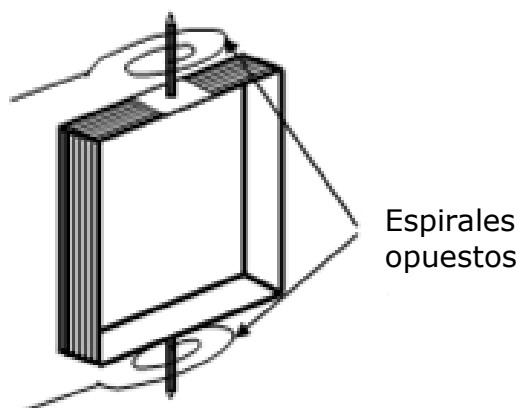


Fig. 3.5

La bobina, gira mediante sus semiejes en un entrehierro dejado por el circuito magnético. En la ilustración 3.6 se dibuja en planta la disposición de dicho sistema. En ella se presenta en primer lugar, el imán, al cual se le adosan dos piezas polares de hierro dulce, con la forma que se aprecia en el dibujo. O sea que sus caras planas, se apoyan perfectamente en las paredes internas del imán (polos), y las otras dos caras tienen cavidades semicilíndricas. Ello permite materializar entre ellas un cilindro de aire, el que a su vez está ocupado por un cilindro de hierro dulce, cuyo diámetro es inferior al dejado por

las piezas polares. Así entonces, se forma un entrehierro, dentro del cual girará la bobina móvil. El núcleo tiene como misión hacer que las líneas de campo magnético sean radiales en el entrehierro, lo que produce un flujo magnético constante. Por ello, el desplazamiento del cuadro o bobina móvil será lineal en todo su recorrido, correspondiente a la corriente que circula. En otras palabras, el plano de la bobina siempre encontrará en su movimiento, a las líneas magnéticas paralelas a él y por consiguiente concatenará un flujo magnético proporcional a la rotación.

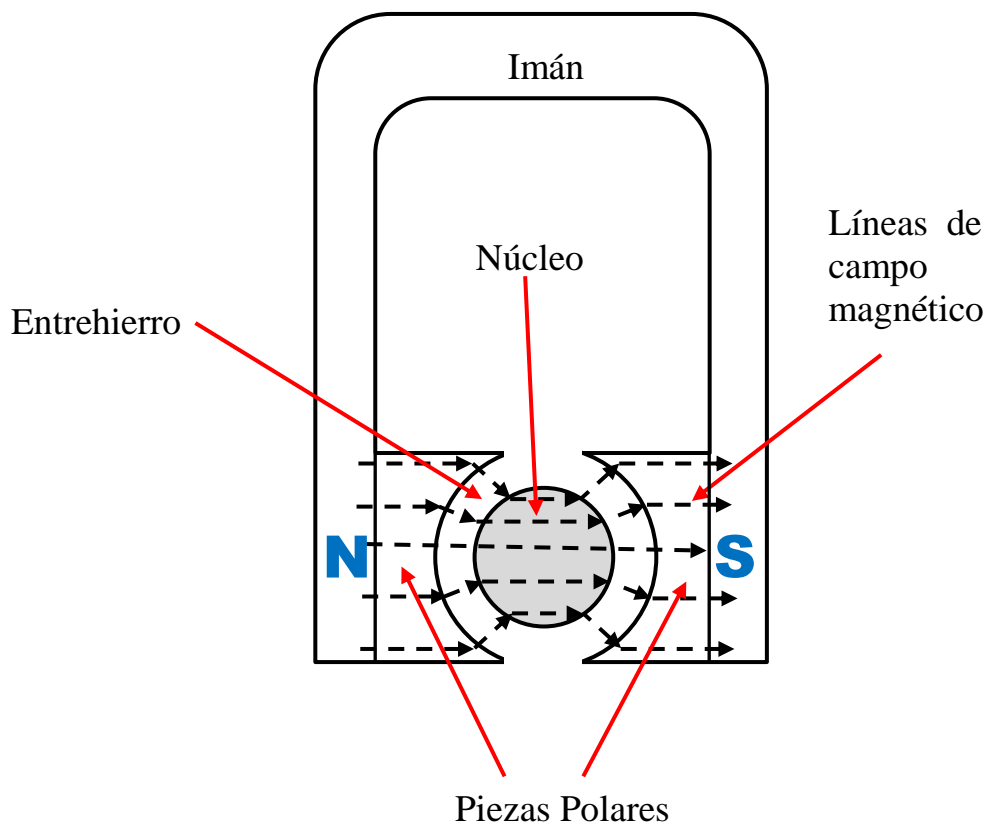


Fig. 3.6

3.6.2.2 Montaje mecánico

Ahora, para que el sistema descrito quede en condiciones de funcionamiento, será necesario realizar un montaje mecánico para que la bobina pueda moverse con toda precisión en el entrehierro. Para ello se le adosa a las piezas polares por arriba y por debajo, una estructura metálica no magnética,

apoyada y atornillada a dichas piezas. En ella van los dos cojinetes y los soportes de los resortes helicoidales. Así entonces, queda conformado el sistema completo. En la figura 3.7 se puede ver una ilustración de las piezas polares, núcleo central, bobina móvil, aguja y solo uno de los resortes espirales (el inferior). Complementariamente, es necesario argumentar que las puntas de los semiejes se apoyan en los pivotes a través de rubíes sintéticos, similares a los utilizados en los relojes. Con ello se logra minimizar el roce y aumentar la duración del sistema. Asimismo, los extremos de los resortes que actúan como cupla antagónica, y por donde ingresa y sale la corriente, también permiten realizar ajustes para ubicar a la aguja indicadora en el cero mecánico (está ubicado en la parte superior), el ajuste lo realiza el operador cada vez que sea necesario, mediante un tornillo externo.

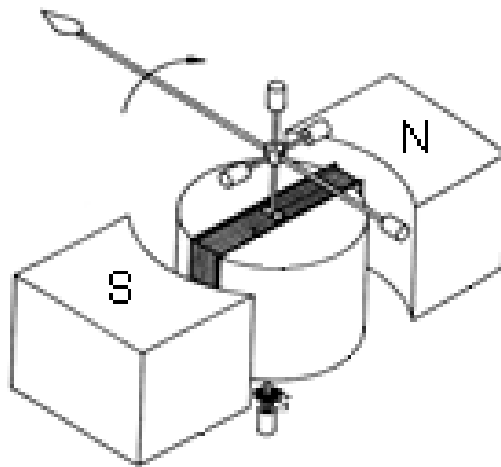


Fig. 3.7

3.6.2.3 Amortiguamiento

Al aplicar corriente a la bobina, se produce la cupla motora y la misma se desplazará, siendo equilibrada por la antagónica producida por los resortes helicoidales, deteniéndose proporcionalmente a la corriente aplicada. Esta detención no es instantánea ya que por efecto de la cupla motora, la masa equivalente a la bobina adquiere energía cinética, que es liberada al producirse el equilibrio, lo que hace que el sistema móvil no se detenga en forma

inmediata, sino que se producen oscilaciones indeseadas hasta que se detiene en el lugar de igualdad de la cupla motora con la antagónica, produciendo las mismas oscilaciones de la aguja indicadora, figura 3.8. Se debe recordar que estas oscilaciones componen un movimiento vibratorio armónico amortiguado por la interacción de masa-resorte que está en resonancia mecánica. Para minimizar este fenómeno, se debe dotar al sistema móvil, el amortiguamiento adecuado.

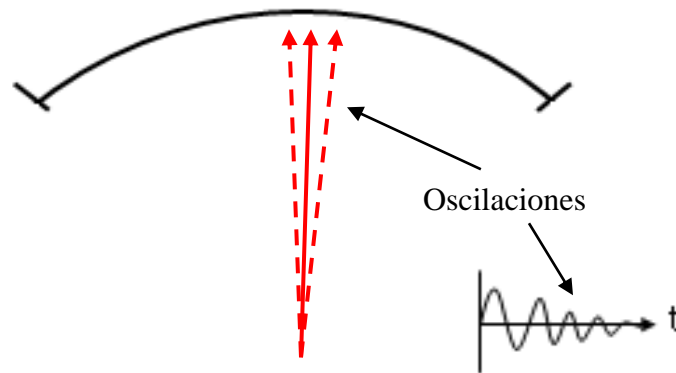


Fig. 3.8

En los primeros instrumentos de bobina móvil, se les colocó a modo de amortiguador, una pantalla adosada al eje. Al girar la bobina y la pantalla, la misma se frenaba por influencia del aire y por lo tanto suavizaba las vibraciones.

La solución actual, y que es muy efectiva, también se apoya en las leyes del electromagnetismo. Por ello, así como en un conductor inmerso en un campo magnético, por el que circula corriente, se produce una fuerza que desplaza al mismo, también aplicando una fuerza al conductor para que se desplace en el campo magnético, se producirá en él una fuerza electromotriz. Si el conductor es un circuito cerrado, circulará corriente por el mismo y por consiguiente también aparecerá una fuerza magneto motriz que se opondrá al movimiento del conductor. Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, el soporte de la bobina es un cuadro cerrado de aluminio y por consiguiente es conductor. En él cuando se mueva por influencia de la corriente que circula por la bobina se inducirá una fem que originará una corriente, quien finalmente produce la

fuerza magneto motriz que se opone al movimiento. Con ello se logra el necesario amortiguamiento de la aguja indicadora.

3.6.2.4 Otros detalles constructivos

La construcción del cuadro en el cual se arrolla la bobina, se realiza en aluminio, por ser un material **no magnético, muy liviano y conductor** (para generar el amortiguamiento). La aguja indicadora es del mismo metal. El alambre para la construcción de la bobina es de cobre esmaltado y la sección del mismo es muy pequeña. Normalmente, de unas pocas centésimas de milímetro, siendo común un diámetro de 0,05 mm, para el instrumento más común de bobina móvil. La bobina, con este alambre posee una resistencia de 2.000 Ω . Los fabricantes tratan además que todo el aparato indicador sea lo más robusto posible, para mantener sus características a pesar del mal trato o golpes involuntarios. Además logran un equilibrio mecánico del sistema móvil casi perfecto, lo que se traduce que pueden operar en forma vertical u horizontal indistintamente y particularmente para su uso como multímetro.

En instrumentos de tablero, que casi siempre trabajan en forma vertical, se marca en la escala con un símbolo que identifica dicha forma de trabajar como se verá posteriormente.

En cuanto a la corriente necesaria para su funcionamiento, son comunes instrumentos que operan con 1 mA; 0,5 mA; 50 μ A y especiales que operan con 10 μ A a fondo de escala.

3.6.2.5 Sensibilidad

La sensibilidad de estos aparatos, generalmente cuando se los utiliza como instrumentos indicadores en multímetros, se especifica en función de la **máxima corriente que provoca la desviación a fondo de escala**. Recuerde que anteriormente se habló de sensibilidad como la mínima corriente que producía el mayor desplazamiento. La definición anterior no se contrapone con esta última, y por ello se ha normalizado la siguiente definición: **se**

entiende por sensibilidad a la relación de los Ohms por cada voltio que ofrece el aparato en cuestión.

Así entonces, se especifica la sensibilidad como: Ohms/Volt. Entonces en la escala puede aparecer: 1 K Ω /V. Ello se está refiriendo al límite máximo de corriente que circula por la bobina móvil. Para este caso particular es de 1 mA, lo que se logra realizando el cociente de 1V en 1000 Ω . Para otro aparato de 20 K Ω /V, la corriente es de 50 μ A. Este último, lógicamente es más sensible que el anterior.

Otro factor importante a tener en cuenta, es la tensión máxima que admite la bobina para que circule el valor de corriente especificado y que se determina como se explicó en párrafos anteriores. Es así entonces, que los fabricantes han normalizado en 100 mV la máxima caída en la bobina móvil. Con ese valor y conociendo la sensibilidad, se puede conocer la resistencia que posee la bobina móvil.

Para el instrumento cuya sensibilidad es de 1 K Ω /V, y cuya corriente es de 1 mA, la resistencia del arrollamiento será:

$$\frac{0,1 V}{1 mA} = 100 \Omega$$

Para el aparato de 20 K Ω /V, realizando la misma operación

$$\frac{0,1 V}{50 \mu A} = 2000 \Omega$$

Una forma práctica para encontrar dicha resistencia es también realizando una simple regla de tres:

$$\begin{array}{l} 1 V \text{ ————— } 20 K\Omega \\ 0,1 V \text{ ————— } \frac{20 K\Omega \cdot 0,1 V}{1 V} = 2 K\Omega \end{array}$$

También, una forma cómoda es eliminando un cero del valor óhmico de la sensibilidad.

Finalmente, se destaca que la sensibilidad de los instrumentos de hierro móvil se especifica de la misma forma.

3.6.2.6 Escalas

La escala se dibuja en una placa de aluminio que tiene la ventaja de poder ser pulida en el lugar apropiado, para generar un espejo que minimiza o elimina el error de paralaje en la lectura.

En cuanto a las divisiones, como ya se advirtió anteriormente, son equidistantes entre sí por ser lineal la relación corriente/desplazamiento.

Otro dato a tener en cuenta, es que el fabricante, en función de la sensibilidad del indicador, marca 50 divisiones para el de 20 K Ω /V y 100 para el de 1 K Ω /V. Al construir el multímetro, los rangos son siempre o en la mayoría de los casos múltiplos de estos valores.

El ángulo total que barre la aguja, es generalmente de 90° para la mayoría de los instrumentos indicadores. Algunos de mayor precio se fabrican para que la aguja recorra 100°, obteniéndose una escala de mayor amplitud. En la escala también se indican otros valores como si es hierro móvil o de bobina móvil o la aislación del instrumento. En párrafos posteriores se volverá sobre estas cuestiones.

3.6.3 Instrumentos de hierro móvil

Este instrumento, posee una bobina fija y el sistema móvil está integrado por una pieza o lámina de hierro dulce adosada al eje móvil. A su vez, solidario con la bobina se dispone de otra lámina de hierro dulce. A esta configuración se la conoce como instrumento de hierro móvil a repulsión. En la figura 3.9 se presenta un esquema simplificado de este instrumento.

En este aparato, la corriente necesaria para accionar al sistema móvil se aplica a una bobina fija con forma de solenoide, bobinada sobre un material no

magnético. A su vez, también en el interior de la misma, se fija una lámina de hierro dulce. Por otro lado, el sistema móvil está integrado por un eje con sus respectivos cojinetes y solidario a él, otra lámina de hierro. De esta forma, al circular corriente por el arrollamiento, se magnetizan simultáneamente ambas láminas produciéndose en ellas un campo magnético de igual polaridad repeliéndose las mismas, por lo que la móvil se desplaza alejándose en forma proporcional al cuadrado de la corriente aplicada, por lo que como se dará cuenta el lector, es indiferente si la corriente es continua o alterna.

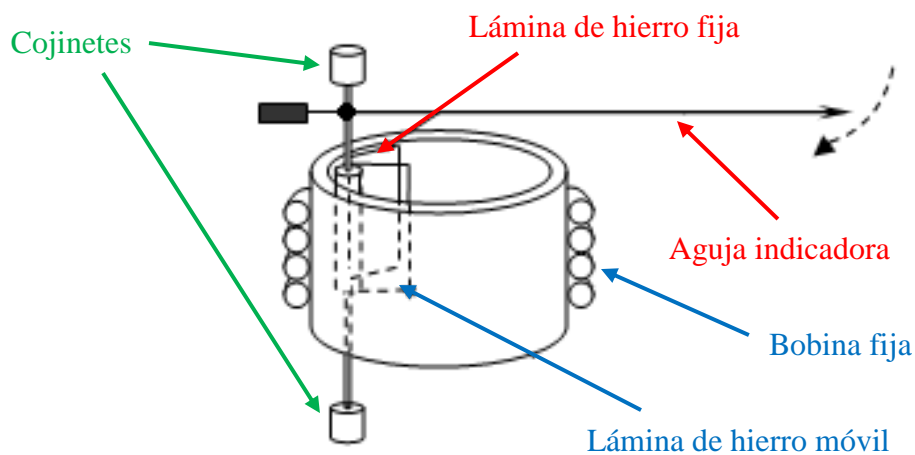


Fig. 3.9

Para aclarar más sencillamente este hecho, al ser el campo producido por una corriente alterna, la polaridad magnética en ambas láminas, también será cambiante al compás de la frecuencia de C.A., por lo que ambas láminas siempre se rechazarán. Como se advertirá también, si la fuerza es proporcional al cuadrado de la corriente, el desplazamiento **no será lineal**. También se observa en el dibujo, la aguja indicadora y su sentido de giro. No se ha dibujado el resorte helicoidal para producir la cupla antagónica. El amortiguamiento de este indicador ya no puede ser electromagnético, por lo que se lo dota de uno neumático, figura 3.10. Consiste en una paleta de aluminio muy delgada con nervaduras para proporcionarle rigidez y está unida al eje mediante un brazo. La paleta se desplaza ocupando toda la sección del

tubo rectangular que la rodea estrechamente. La resistencia del aire produce rozamiento neumático cuando la paleta se mueve, y esta resistencia dinámica amortigua de una manera muy conveniente al movimiento, sin hacerlo lento.

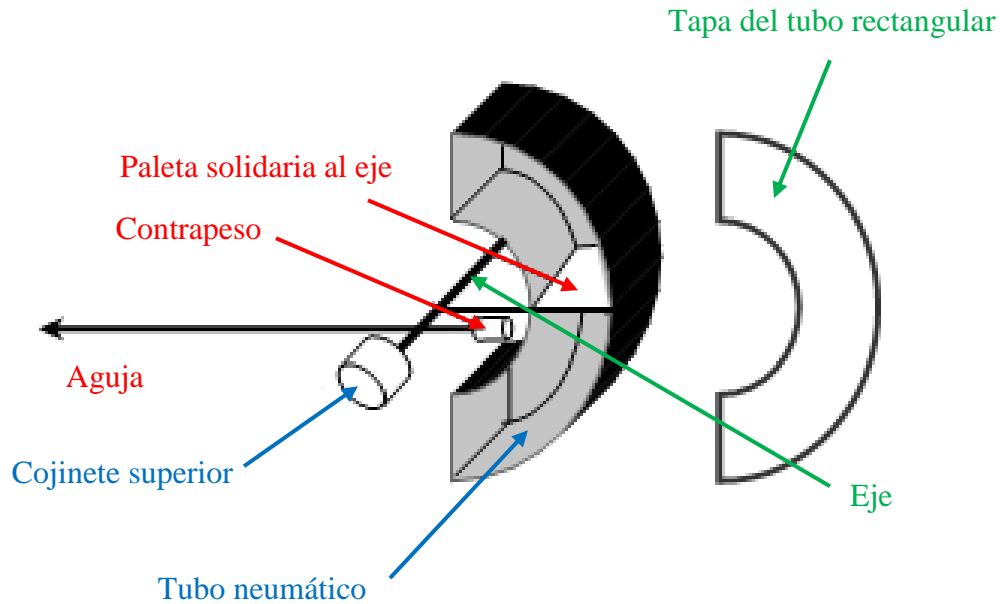


Fig. 3.10

3.6.3.1 Sensibilidad

La sensibilidad de este instrumento es mucho menor que el de bobina móvil, ya que en este caso, toda la cupla motora es producida solamente por la corriente aplicada. En el de bobina móvil, la misma también es producida por la corriente, pero fuertemente correlacionada por el imán permanente.

Los valores de sensibilidad comunes son de $100 \Omega/V$ y $20 \Omega/V$, lo que produce que la corriente para fondo de escala sea de 10 mA y 50 mA respectivamente. Este aparato es muy utilizado como se expresó anteriormente, en instrumentos de tablero, en los cuales, el consumo de potencia del circuito medido no sea importante. La propiedad fundamental que poseen, es su independencia de la C.C. o C.A. Además se construyen de mucha precisión, encontrándose en el mercado aparatos de clase 0,5% y mejores.

Un dato a tener en cuenta es la limitación en la frecuencia de la corriente alterna. Esto surge de la impedancia que ofrece la bobina, y que se incrementa con la frecuencia; por ello se asegura su precisión hasta no más de 500 Hz.

3.6.3.2 Escalas

Como se expresó en párrafos anteriores, la graduación de la escala no es lineal. Para mejorar la linealidad, se dota de formas especiales a la lámina móvil y a la fija, lográndose resultados muy buenos.

Asimismo, en la primera parte de la misma, las lecturas no son confiables, por lo que el fabricante ignora las primeras divisiones.

Es importante destacar, debido a su principio de funcionamiento, que se utiliza la misma escala tanto para C.C. como para C.A. En el último caso los valores están dados en valores eficaces. Esta es una consecuencia de la definición de valor eficaz, ya que representa el valor equivalente de corriente continua, por lo tanto la potencia necesaria para accionar al aparato es exactamente la misma en ambos casos.

3.7 Preguntas de autoevaluación

- 30) ¿Qué tipo de corriente miden los instrumentos de bobina móvil y de hierro móvil ?
- 31) ¿Cuál es el principio de funcionamiento de un instrumento de bobina móvil?
- 32) ¿Quién provee la cupla motora y la cupla antagónica en los instrumentos de bobina móvil? ¿Qué tiene que ocurrir cuando se realiza una medida ?
- 33) ¿ Por qué los campos polares tienen forma de semicírculo en los instrumentos de bobina móvil ? ¿ Qué sucede con el flujo magnético ?
- 34) ¿Cómo se indica en forma normalizada la sensibilidad de los instrumentos de bobina móvil?
- 35) ¿Qué implica para un instrumento de bobina móvil tener una

- sensibilidad de $1 \text{ K}\Omega/\text{V}$? ¿Y tener una de $20 \text{ K}\Omega/\text{V}$?
- 36) ¿Cuál es la máxima caída de tensión normalizada de los instrumentos de bobina móvil? ¿Qué se puede calcular con este valor si se conoce la sensibilidad del instrumento?
 - 37) ¿Cuál es la resistencia de la bobina de un instrumento de bobina móvil si la sensibilidad es de $1 \text{ K}\Omega/\text{V}$?
 - 38) ¿Cuál es la resistencia de la bobina de un instrumento de bobina móvil si la sensibilidad es de $20 \text{ K}\Omega/\text{V}$?
 - 39) ¿Qué característica tiene la escala de los instrumentos de bobina móvil?
¿Cómo son las distancia entre las líneas de la escala?
 - 40) ¿Cuál es el principio de funcionamiento de los instrumentos de hierro móvil?
 - 41) ¿Qué tipo de corriente miden los instrumentos de hierro móvil? ¿Por qué?
 - 42) ¿De qué forma es la escala de los instrumentos d hierro móvil? ¿Por qué?
 - 43) ¿Cómo obtiene la cupla antagónica y el amortiguamiento de los instrumentos de hierro móvil?
 - 44) ¿Qué características tiene la sensibilidad en los instrumentos de hierro móvil?

3.7.1 Ejercicios propuestos

- 10) Dado un instrumento indicador que posee una sensibilidad de $4 \text{ K}\Omega/\text{V}$, determinar el valor máximo de la corriente en la bobina para máxima deflexión de la aguja y el valor de su resistencia.
- 11) La sensibilidad de un instrumento de hierro móvil es de $500 \Omega/\text{V}$.
Determinar la potencia que absorbe la bobina móvil del circuito a medir.

3.8 Amperímetros , voltímetros y óhmetros

Puesto que se conoce el funcionamiento y las características generales de los instrumentos indicadores, ahora se está en condiciones de utilizarlos para construir Amperímetros y Voltímetros. La aplicación será tanto para aparatos

de bobina móvil como para hierro móvil. Posteriormente se analizará el diseño de un multímetro analógico comercial muy común en el mercado.

3.8.1 Amperímetros

El conocimiento de las características del instrumento a emplear es primordial. Por ello, lo primero que se debe conocer, es la sensibilidad del aparato. El lector recordará de párrafos anteriores que la sensibilidad indicaba cual es la máxima corriente que admite para máxima deflexión, y también se indicó que la **tensión máxima aplicada y normalizada es de 100 mV**.

Atendiendo a la premisa de que un instrumento cuya sensibilidad es de 1.000 Ω/V , podrá medir hasta 1 mA a fondo de escala aplicando 100 mV a su bobina móvil. Ahora se desea medir corrientes mayores, como por ejemplo 10 mA. Para ello se deberá colocar una resistencia en paralelo (shunt) con la bobina móvil cuya resistencia para este ejemplo es de 100 Ω de tal forma que el exceso de corriente se derive a esta última. En la figura 3.11 se puede observar el esquema necesario.

La corriente total a medir es $I_t = 10 \text{ mA}$. La bobina móvil admite $I_b = 1 \text{ mA}$ por lo que el exceso de corriente será: $I_{sh} = I_t - I_b = 10 \text{ mA} - 1 \text{ mA} = 9 \text{ mA}$. Con este valor de corriente se podrá ahora determinar la resistencia R_{sh} en paralelo, cuyo valor se encuentra así:

$$R_{sh} = \frac{0,1 \text{ V}}{9 \text{ mA}} = 11,11 \Omega$$

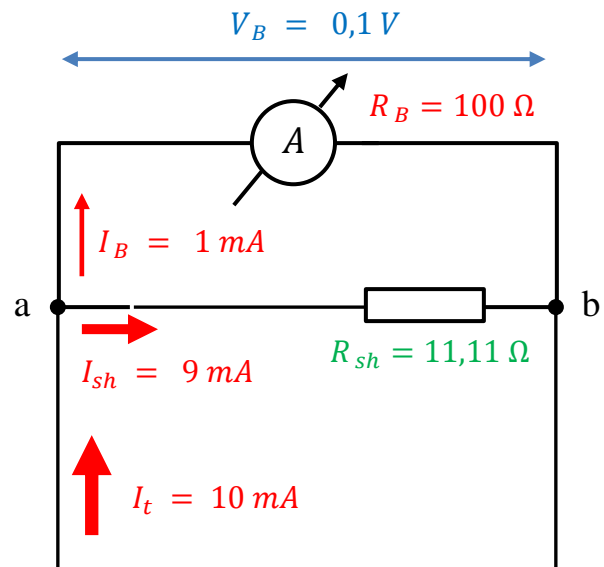


Fig. 3.11

Para comprobar si el valor es correcto, se propone el siguiente criterio: se realiza el paralelo de R_{sh} con R_b y el valor encontrado se lo multiplica por la corriente total. El resultado debe ser el siguiente:

$$(R_{sh} // R_b) \cdot I_t = \frac{11,11 \Omega \cdot 100 \Omega}{111,11 \Omega} \cdot 10 \text{ mA} = 0,1 \text{ V}$$

Esta última tensión indica que es correcto el valor de la resistencia shunt, ya que al aplicar los 10 mA caen en la bobina móvil y en la resistencia R_{sh} , 100 mV y la indicación de la medida es a fondo de escala. Es importante acotar que el valor de la resistencia en paralelo debe ser calculado con varios decimales, por lo menos 6 para que el resultado sea exacto.

La escala de este instrumento de 1 mA normalmente está dividida en 100 partes, por lo que en el rango de 1 mA, se tendrá una resolución de 0,01 mA = 10 μ A. Recuerde que nuevamente que la resolución es el menor valor que se puede leer. Para el nuevo rango de 10 mA, la resolución con las mismas divisiones será de 0,1 mA = 100 μ A.

De la misma forma se pueden determinar rangos mayores, teniendo en cuenta que los mismos sean múltiplos de la escala y además la relación de R_{sh} con la corriente es lineal.

Para que no queden dudas de la construcción de amperímetros, se establecerán otros rangos, como por ejemplo 100 mA y 10 A. La metodología para el cálculo de la resistencia paralelo o R_{sh} es la misma que se ha utilizado para la determinación del rango de 10 mA.

En el caso de 100 mA = I_t . La corriente que circula por la bobina móvil sigue siendo de 1 mA. La que se debe derivar por R_{sh} es ahora de 99 mA. Por lo tanto se tendrá que $R_{sh} = 0,1\text{V}/0,099 \text{ A} = 1,1111 \Omega$. Note el lector que la resolución es ahora de 1 mA para la escala dividida en 100 partes y además el valor de R_{sh} es diez veces menor que para el caso de 10 mA. Si ahora se determina la resistencia para el nuevo rango de 10 A, se tendrán las siguientes consideraciones: $I_t = 10\text{A}$; $I_b = 1 \text{ mA}$; por lo que la corriente que se deriva por la resistencia en paralelo será de $I_t - I_b = I_{sh} = 10\text{A} - 0,001\text{A} = 9,999\text{A}$.

Así entonces, el valor de R_{sh} será: $0,1V/9,999A = 0,010001\Omega$. La resolución ahora es de $0,1A = 100\text{ mA}$.

Es importante que el lector acredite que para cualquier valor de sensibilidad la aplicación del mismo criterio.

Otra consideración a tener en cuenta, es que a pesar de ser pequeña la resistencia R_{sh} , al conectar el amperímetro a un circuito, ella quedará en serie y producirá una variación en dicho circuito, produciendo un determinado error. La conclusión de esta aseveración es que un amperímetro será ideal cuando su resistencia interna sea cero ($R_{inst.} = R_b // R_{sh}$; la de la bobina en paralelo con la R_{sh}).

Mediante un ejemplo, figura 3.12, se verificará esta condición. Considere que el motor de arranque de un automóvil, consume de la batería que le proporciona la energía, en el momento que opera, aproximadamente 100 A . Suponga además que la resistencia interna de la batería es cero. Se desea medir dicha corriente con un amperímetro cuyo rango es de 100 A .

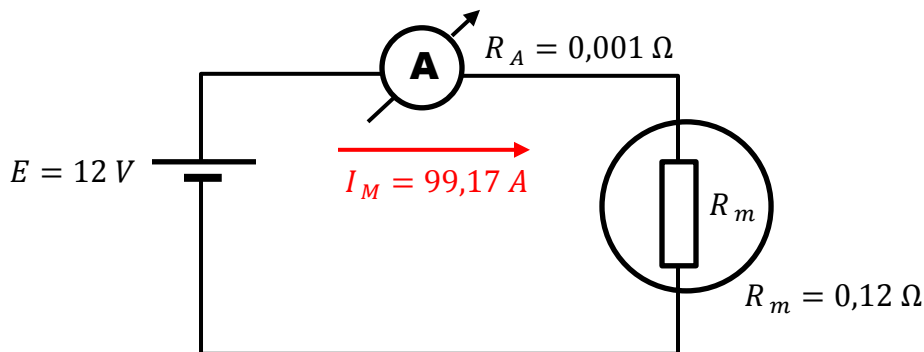


Fig. 3.12

En primer lugar, se debe determinar la resistencia que posee el motor de arranque. La misma se calcula así: por Ohm, si a la batería de 12 Volt se le extraen 100 A para el motor, el mismo posee una resistencia de:

$$\frac{12\text{ V}}{100\text{ A}} = 0,12\ \Omega$$

Por otro lado, el amperímetro posee una resistencia interna $R_A = 0,001 \Omega$. Este último valor se extrae de la siguiente forma: dado que rango es de 100 A , y la caída normalizada de 0,1 V , la resistencia equivalente total en la que se incluye la de la bobina R_b en paralelo con la R_{sh} es:

$$R_b // R_{sh} = R_A = \frac{0,1 V}{100 A} = 0,001 \Omega$$

Se aclara para el lector que para cualquier rango del amperímetro, siempre se utiliza esta forma de calcular la resistencia interna total del amperímetro.

$$R_{Amp} = \frac{0,1 V}{Rango}$$

Volviendo al ejemplo, se forma el circuito total incluyendo la resistencia del motor y la del amperímetro, tal como en el circuito de la figura 3.12. Se aplica Kirchoff y se obtiene:

$$E = (R_A \cdot I_M + R_M \cdot I_M) = (R_A + R_M) \cdot I_M \quad \Longrightarrow \quad I_M = \frac{E}{(R_A + R_M)}$$

$$I_M = \frac{12 V}{0,121 \Omega} = 99,17 \text{ Amp}$$

Ahora se calcula el error de medición, que ya se definió anteriormente como:

$$E_{medida} \% = \left[\frac{(Valor\ verdadero - Valor\ medido)}{Valor\ verdadero} 100 \right]$$

$$E_{medida} \% = \left[\frac{100 \text{ Amp} - 99,17 \text{ Amp}}{100 \text{ Amp}} 100 \right] = 0,83 \%$$

error que se produce al conectar el amperímetro.

3.8.2 Voltímetros

Para medir voltajes, a pesar que el instrumento toma corriente y produce la cupla motora, se debe tener en cuenta que ello lo hace con una tensión normalizada de 0,1V, por lo que se podría decir que **puede medir tensiones desde 0 a 100mV**. Partiendo de esta premisa y conociendo además la sensibilidad, se puede ampliar el rango del instrumento como voltímetro. Para ello se utilizará el mismo aparato que se utilizó para la construcción de amperímetros. Recuerde que la sensibilidad utilizada es $S = 1 \text{ K}\Omega/\text{V}$. Con este valor se conoce la corriente máxima y con ella se pueden determinar las maniobras necesarias para incrementar el rango como voltímetro. En la figura 3.13 se puede observar un instrumento de la sensibilidad aludida. Ahora se desea aumentar el rango a 1V. Cuando se aplique dicha tensión, se deberá colocar una resistencia en serie con el instrumento para que en ella se produzca una caída de potencial para que solo llegue a la bobina el valor normalizado de 0,1V. A dicha resistencia se la denomina resistencia multiplicadora: R_m (resistencia multiplicadora de rango).

El valor se determina aplicando Kirchoff:

$$R_m = \frac{V - V_b}{I_B} = \frac{1 \text{ V} - 0,1 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 900 \Omega$$

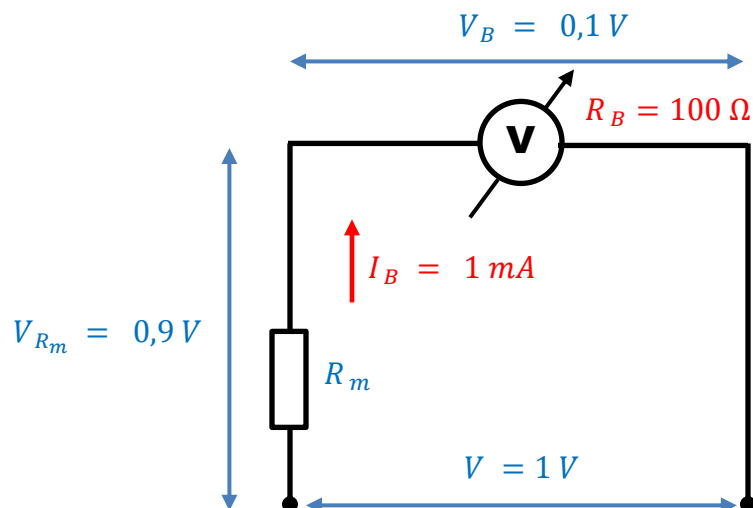


Fig. 3.13

Note el lector que la suma de $R_m + R_b = 1K\Omega$, y si se divide 1V por 1mA, se obtiene, como era de prever, el mismo valor y pasa por la bobina el máximo de la corriente que admite el instrumento. Para cualquier valor de tensión medido menor a 1V, la corriente será proporcional a él en forma lineal. De la misma forma se puede determinar cualquier otro rango, pero preferentemente siempre que sea múltiplo de las divisiones del instrumento.

Se aclara para el lector que para cualquier rango del voltímetro, siempre se utiliza esta forma de calcular la resistencia interna total del mismo.

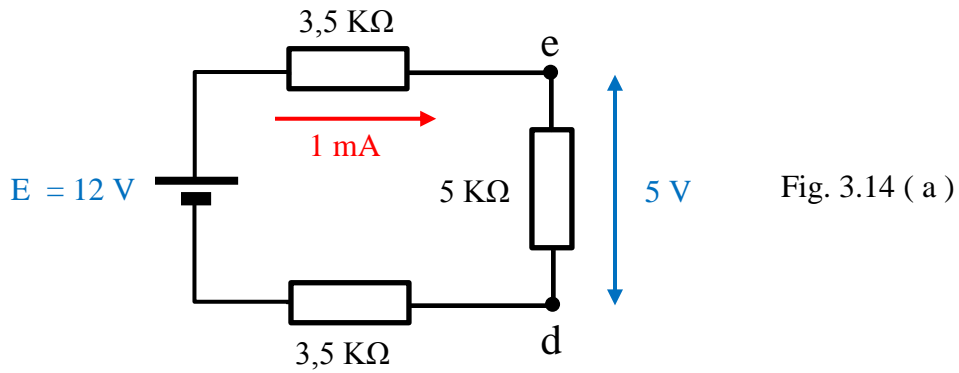
$$R_{volt} = \text{Sensibilidad} \cdot \text{Rango}$$

El lector debe recordar que en el valor obtenido está incluida la resistencia de la bobina móvil, R_b .

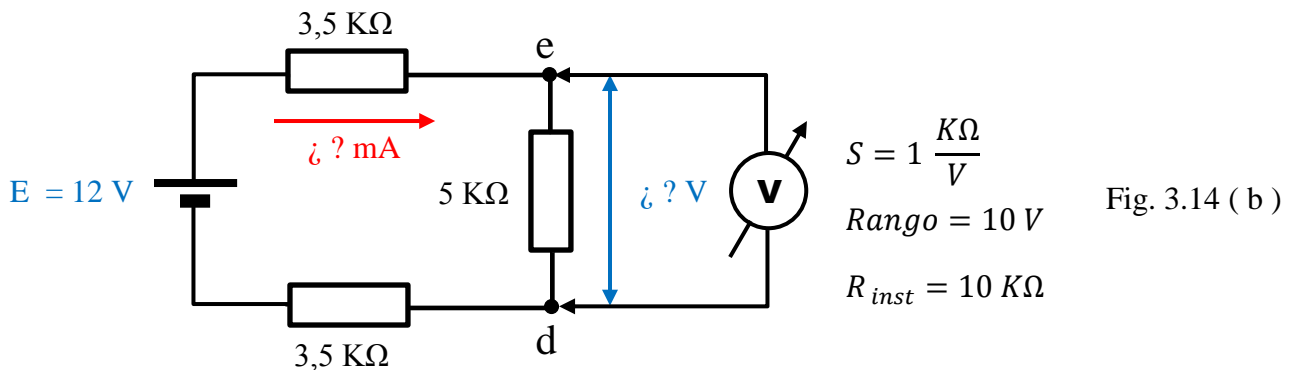
Ahora, el lector podrá determinar que al medir un potencial, debe colocar el voltímetro en paralelo con la rama del circuito a medir. Si es una fuente de tensión, coloca también el voltímetro en paralelo con ella, respetando la polaridad en ambos casos. Como se podrá advertir, la corriente necesaria para la medición, el voltímetro la toma del circuito bajo medida. En consecuencia, se produce un error, ya que la resistencia interna del aparato queda en paralelo con la del circuito y seguramente cambia las características del mismo y por ello se produce un error en la medición.

Esto trae como corolario que un voltímetro ideal debe tener una **resistencia interna infinita**. Por ello, al aumentar la sensibilidad del instrumento indicador se logra que la corriente necesaria para accionarlo sea menor. Se logra así aproximarse al voltímetro ideal.

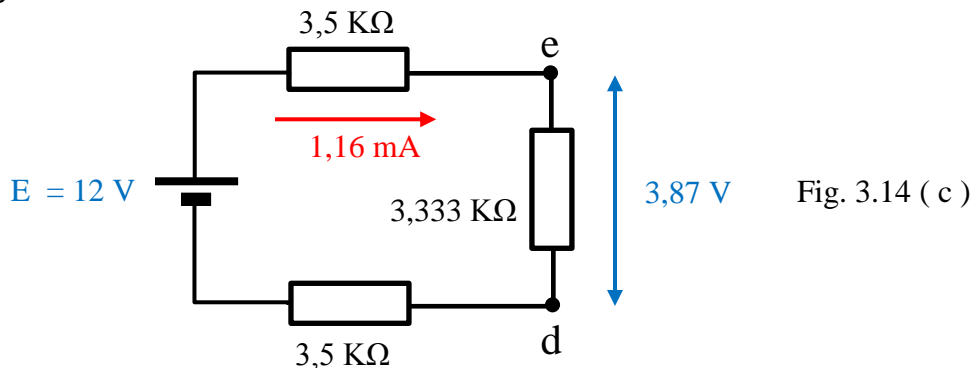
Con un ejemplo se llegará a conclusiones que permita verificar lo antedicho. En la figura 3.14 a se está en presencia de un circuito en el cual se desea medir la caída de potencial en la rama ed del mismo. El valor de la caída en la rama es:
 $1mA \cdot 5k\Omega = 5V$ (valor verdadero).



Se utiliza para medir un voltímetro con rango de 10V, que está construido con un instrumento cuya sensibilidad es $S = 1 \text{ K}\Omega/\text{V}$, figura 3.14 b. Por ello y de acuerdo a lo expresado en párrafos anteriores, la resistencia interna total del voltímetro R_t para ese rango y sensibilidad es de $10 \text{ K}\Omega$. Observe el voltímetro conectado en paralelo con la rama ed.



Al conectarlo en la rama, su R_{inst} queda en paralelo con la resistencia de $5 \text{ K}\Omega$, por lo que el nuevo valor de resistencia que ahora tendrá la rama es de $3,33 \text{ K}\Omega$, figura 3.15c.



Es evidente que ahora la corriente será distinta y su nuevo valor es de 1,16 mA. Como se advierte, el circuito ha sido modificado por el voltímetro y por ello, el valor que lee de tensión es de 3,87 V. El error por la medición es:

$$E_{\text{medida}} \% = \left[\frac{(\text{Valor verdadero} - \text{Valor medido})}{\text{Valor verdadero}} 100 \right]$$

$$E_{\text{medida}} \% = \left[\frac{5\text{ V} - 3,87\text{ V}}{5\text{ V}} 100 \right] = 22,6 \%$$

Si se utiliza por ejemplo, un instrumento cuya sensibilidad es de 20 K Ω /V, aparato que necesita 50 μ A para desplazar la aguja a fondo de escala, el error sería menor. Para corroborar estas expresiones se encuentra que la resistencia total para el mismo rango del nuevo voltímetro es de 200 K Ω . Este valor en paralelo con la resistencia de la rama ed de 5 K Ω da una nueva resistencia de 4878 Ω . La nueva corriente ahora es de 1,01 mA, que multiplicada por 4878 Ω , da la nueva caída de 4,928 V. Se observa sin ningún lugar a dudas que esta tensión se aproxima más al valor verdadero. El error de medición es ahora de 1,44 %.

Queda de manifiesto entonces, que mientras mayor sea la resistencia interna o total del voltímetro, menor será el error de medida. Por ello, la aseveración de que el voltímetro ideal, es aquel cuya resistencia interna es infinita.

3.8.3 Óhmetro

Para la medición de resistencias existen varios métodos, tales como el puente de Wheastone, que se verá más adelante y que aún hoy se sigue utilizando, y otros métodos basados en la medición de la corriente que se hace circular por la resistencia a medir y la caída que se produce; luego por Ohm se puede determinar el valor de la misma. Pero en la actualidad el desarrollo de la

tecnología permite diseñar aparatos analógicos y digitales para la medición de resistencias en forma sencilla y con un error mínimo.

Respecto a los aparatos analógicos y continuando con el ejemplo del multímetro se realizará ahora un análisis de la forma que utiliza este aparato para medir resistencias como así también sus inconvenientes y virtudes.

El lector que conoce ya el instrumento de bobina móvil y sus posibilidades para medir corriente y tensión, está ahora en condiciones de utilizarlo para la medición de resistencias. Para el análisis que a continuación se propone se seguirá utilizando el aparato de bobina móvil de sensibilidad de $20 \text{ K}\Omega/\text{V}$, pero todo lo que aquí se exponga es exactamente similar para otras sensibilidades.

En primer lugar se debe advertir que las resistencias son componentes pasivos y además lineales. Esto da como posibilidad que aplicando Ohm se pueden medir en forma indirecta como ya se especificó en párrafos anteriores. **Por otro lado hay que recordar que todos los aparatos indicadores de bobina móvil como así también de hierro móvil, toman potencia del circuito a medir.** Como se comprenderá, al medir un componente pasivo que solamente consume potencia será necesario que por él circule corriente. Esto da como alternativa que se necesite un generador externo. Es así entonces que se le agrega al multímetro pilas secas como generadores. En general se utilizan pilas de 1,5 Volt del tamaño AA.

Con estas premisas se le hace circular una corriente a la resistencia y su valor será proporcional a ella, ya que al ser la fuente de tensión constante, la corriente sólo dependerá de la resistencia: $R = V/I$. Ahora se está en condiciones de diseñar un circuito que sea útil para medir.

En el esquema de la figura 3.15 se propone un arreglo mínimo que servirá como óhmetro utilizando el instrumento de bobina móvil de $20 \text{ K}\Omega/\text{V}$ de sensibilidad.

En el circuito de la izquierda, se ha colocado una resistencia cuyo valor es de cero ohm, y se han ajustado las resistencias denominadas R_s y R_v para que circule la máxima corriente por el instrumento. Es de hacer notar que R_s es fija y R_v es un potenciómetro cuyo valor es diez veces menor a R_s . La suma de ambas resistencias deben dar un valor que permitan pasar una corriente de poco más de $60 \mu\text{A}$. De esta forma, mediante R_v se ajustará el cero del óhmetro cada vez que se utiliza, permitiendo compensar la descarga de las pilas en el tiempo. El ajuste es tal que se deben conseguir los $50 \mu\text{A}$, indicando la aguja indicadora en cero ohm.

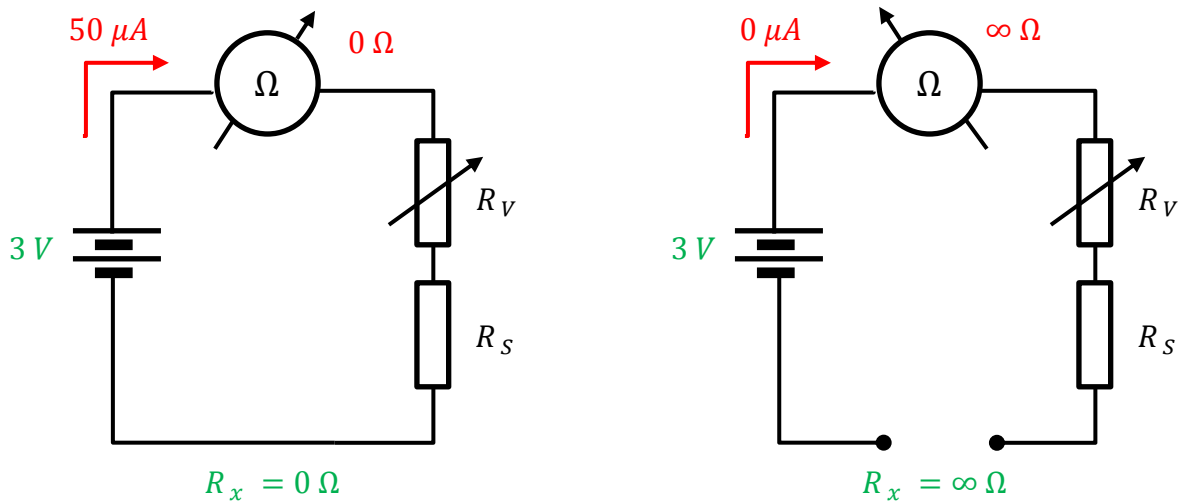


Fig. 3.15

En el esquema de la derecha, al dejar abierto al circuito, equivale a una resistencia de valor infinito, por lo que no circula corriente y la aguja quedará en reposo (cero mecánico) indicando entonces infinito.

Entre estos valores se podrán incorporar valores de resistencias. El valor de la serie $(R_s + R_v) - R_b$ se calcula como $= 3\text{V}/0,00005\text{A} = 60 \text{K}\Omega - 2 \text{K}\Omega = 58 \text{K}\Omega$. Generalmente, se podría colocar una resistencia fija de $50 \text{K}\Omega$ y un potenciómetro de $10 \text{K}\Omega$. Para definir ahora los valores intermedios se colocarán resistencias patrones o por lo menos al 1% y se dibujará la escala.

Se confeccionará una tabla con valores crecientes de resistencias, obteniéndose para cada caso la magnitud de la corriente (recuerde el lector que la escala primaria está dividida en 50 divisiones correspondientes a 50 μA).

Analizando la tabla II, se observa en ella que los valores pequeños y medianos de resistencia están muy próximos al cero, ya que de 6 a 600 Ω los mismos están contenidos en 1 μA , desde 49 a 50 μA , haciendo imposible su lectura, pero además los 6 $\text{K}\Omega$ también están muy cerca del máximo, 45,45 μA , haciendo también difícil la lectura de valores intermedios. Nótese que para 60 $\text{K}\Omega$ la lectura es de la mitad de la mitad de la escala lo que sí se puede leer, pero para más de 600 $\text{K}\Omega$, también se comprimen los valores, pero en este caso no es grave ya que inclusive si se realiza la cuenta para 1 $\text{M}\Omega$ se tendría: $3/1.060.000 = 2,8 \mu\text{A}$, posible de leer. Como conclusión se obtiene que de esta forma es muy dificultoso construir un óhmetro para valores pequeños y medianos, pero si se puede utilizar para valores grandes. Inclusive incrementando la fuente se logra mejorar las lecturas de estas resistencias. Algunos multímetros utilizan una fuente de 9V exclusivamente para resistencias de gran valor y una fuente de 3V para el resto.

TABLA II		
Rx	$(R_x+60\text{K})=R_{eq}$	$3V/R_{eq}(\mu\text{A})$
Para 6 Ω	60.006 Ω	49,99
Para 60 Ω	60.060 Ω	49,99
Para 600 Ω	60.600 Ω	49,50
Para 6 $\text{K}\Omega$	66.000 Ω	45,45
Para 60 $\text{K}\Omega$	120.000 Ω	25,00
Para 600 $\text{K}\Omega$	660.000 Ω	4,54
Para 6 $\text{M}\Omega$	6.060.000 Ω	0,49

Se plantea entonces qué hacer para poder leer resistencias pequeñas, las que por el uso de transistores y circuitos integrados son muy comunes. Existen varias soluciones y aquí se planteará solamente una de ellas. Consiste en hacer que en la resistencia desconocida de pequeño valor pase una corriente importante, con lo que incrementa la caída en ella y en consecuencia la corriente. Pero dado que es imposible que por la bobina móvil circulen más de

50 μA , será necesario colocar una resistencia en paralelo con R_b para no destruirla. A esta resistencia que permitirá derivar parte de la corriente de la bobina móvil se la denomina R_p y al método, *óhmetro paralelo*. En el circuito de la figura 3.16 se esquematiza esta conexión

El planteamiento que se realiza es el siguiente: Puede realizarse el cálculo de que un valor dado de resistencia se ubique en un determinado lugar de la escala. Luego este cálculo se traslada a los demás valores de resistencias que están en el rango utilizado.

Es sabido que el movimiento de la aguja se debe a la corriente que pasa por la bobina móvil. Para que la aguja se posicione a fondo de escala (denominado CERO DEL OHMETRO) debe pasar por ella 50 μA (en el caso de que el instrumento tenga una sensibilidad de 20 $\text{K}\Omega/\text{V}$). Si por la bobina circulan un porcentaje de la máxima corriente la aguja se posicionará a ese porcentaje de la escala.

Cero del mecánico



Cero del Óhmetro

El método que acá se explicará se denomina Óhmetro paralelo.

Lo que se busca es que para un determinado valor de resistencia R_x la corriente que circula por la bobina haga que la aguja se detenga en un lugar en donde se designará luego el valor de la resistencia en esa escala. En otras palabras el cálculo se basa en encontrar el valor adecuado de la resistencia R_p y de la resistencia R_s para que al colocar en los puntos d y c una resistencia R_x la aguja se ubique en el lugar pedido de la escala.

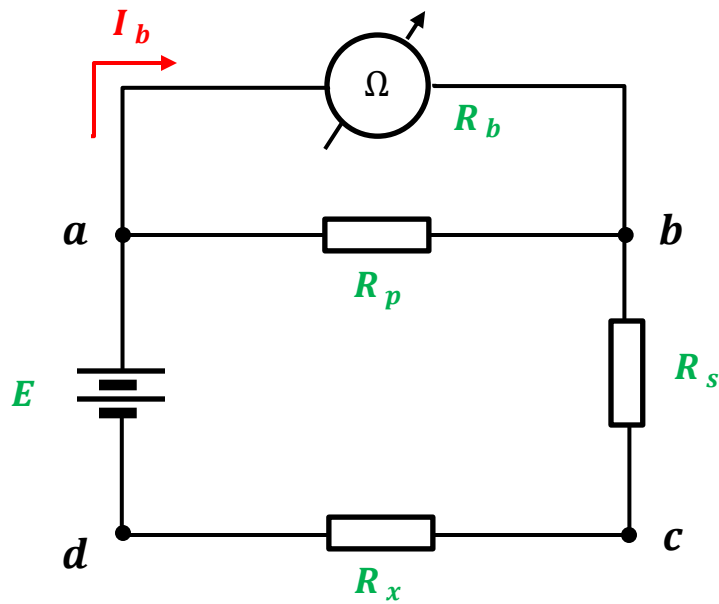
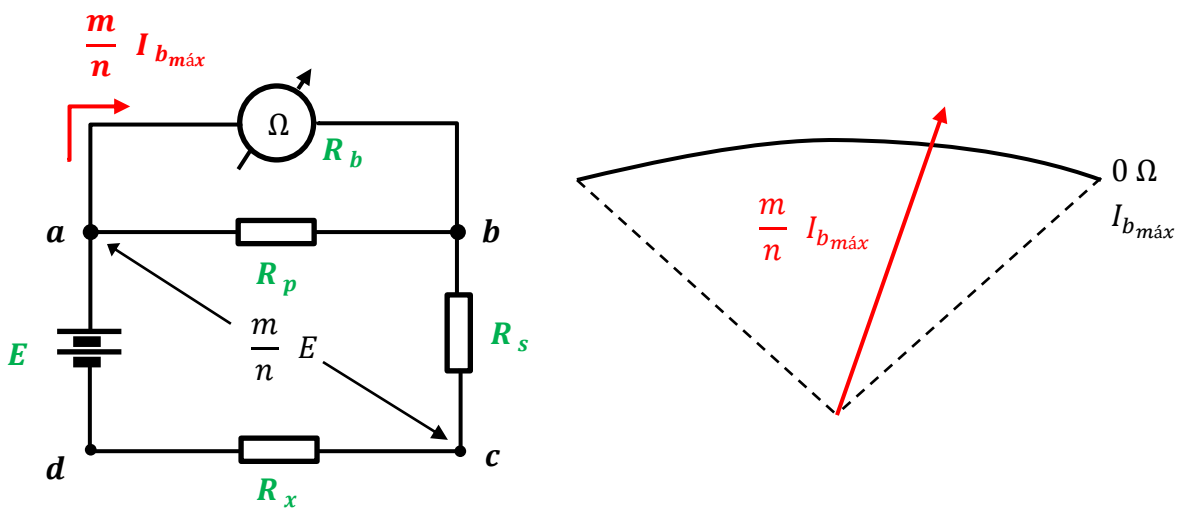
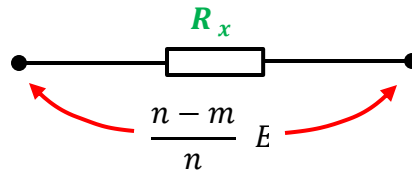


Fig. 3.16

Si se desea por ejemplo que para una R_x la aguja se sitúe en un porcentaje de la escala. Por ello debe caer entre los puntos a - c el mismo porcentaje de la batería de alimentación E . Para un mejor entendimiento se cambiará el porcentaje por una fracción de la escala. Supongamos que se desea calcular las resistencias para que al colocar una R_x la aguja se posicione a m/n de la escala del Óhmetro, por lo antes dicho la tensión V_{ac} debe ser m/n de la tensión de la batería.



Teniendo en cuenta esto se llega a que la tensión en los extremos de la resistencia R_x está dada por la fracción faltante respecto de la tensión que cae en a-c.



Con ello aplicando ley de Ohm se conoce el valor de la corriente que circula por la rama b-c-d-a.

$$I = \frac{\frac{n-m}{n} E}{R_x}$$

Esta corriente que llega al nodo a se bifurca pasando $\frac{m}{n} I_{b_{\max}}$ por la bobina y lo restante por la resistencia R_p .

Sabiendo que la tensión en dicha resistencia es la misma que en la bobina, y ésta es igual a la fracción de corriente que por ella pasa multiplicada por la tensión máxima se concluye que:

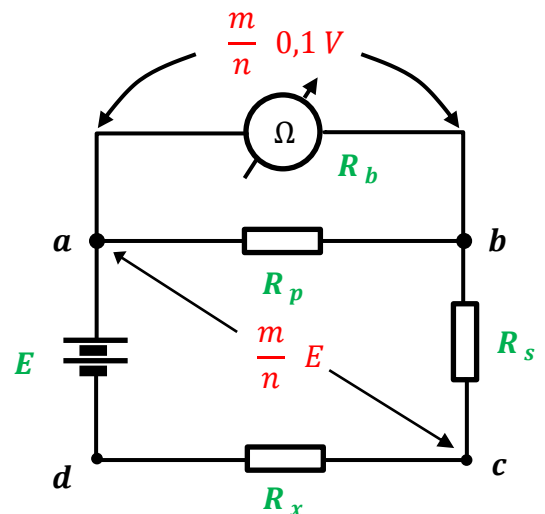
$$R_p = \frac{\frac{m}{n} 0,1 V}{I_{R_p}}$$

Teniendo en cuenta que la caída de tensión en la resistencia R_s está dada por:

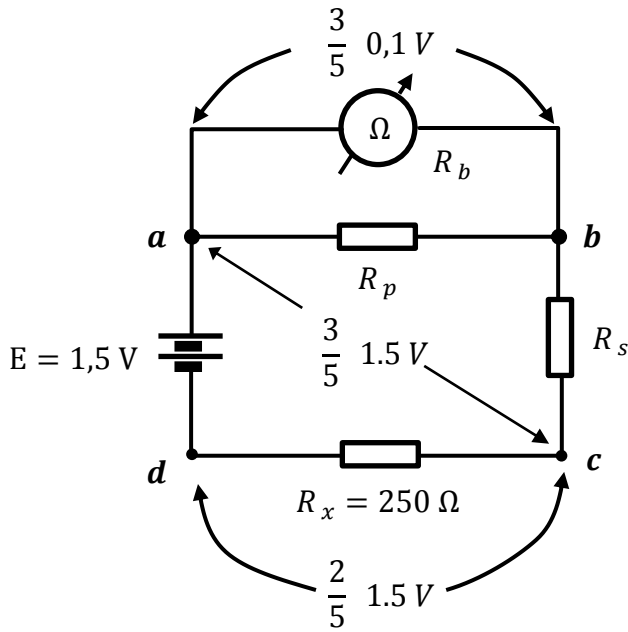
$$V_{R_s} = \frac{m}{n} E - \frac{m}{n} 0,1 V$$

Se llega a la conclusión de que la resistencia R_s se encuentra como:

$$R_s = \frac{V_{R_s}}{I}$$



A modo de ejemplo se verá cómo se calculan ambas resistencias R_p y R_s para que la aguja se posicione a $\frac{2}{5}$ de la escala del Óhmetro cuando se coloca una resistencia de 250Ω en los extremos del mismo. La sensibilidad del instrumento es de $20 \text{ K}\Omega/\text{V}$.



$$I_x = \frac{\frac{2}{5} 1,5 \text{ V}}{250 \Omega} = 2,4 \text{ mA}$$

$$I_b = \frac{\frac{3}{5} 0,1 \text{ V}}{2000 \Omega} = 30 \mu\text{A}$$

$$I_{R_p} = I_x - I_b = 2,4 \text{ mA} - 30 \mu\text{A}$$

$$I_{R_p} = 2,37 \text{ mA}$$

El valor de la resistencia paralelo está dado por :

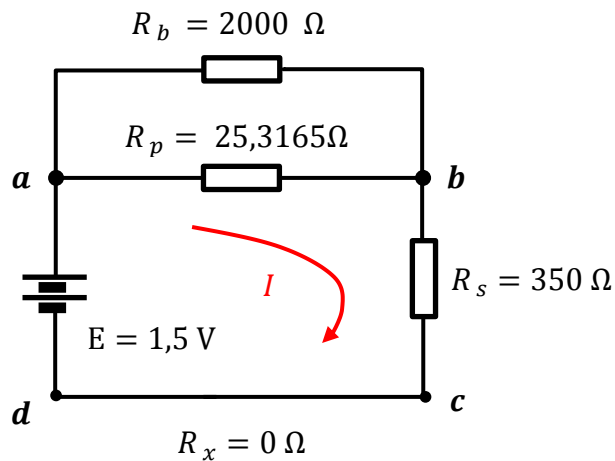
$$R_p = \frac{\frac{3}{5} 0,1 \text{ V}}{2,37 \text{ mA}} = 25,3165 \Omega$$

El valor de la resistencia serie se calcula como :

$$R_s = \frac{\frac{3}{5} (1,5 - 0,1 \text{ V})}{2,4 \text{ mA}} = 350 \Omega$$

VERIFICACION

Para verificar que los valores de resistencias están bien calculadas se cortocircuitan las puntas del instrumento (resistencia cero) y la aguja debe posicionarse en el valor cero de su escala. Es decir debe irse a fondo de escala



$$R_{eq} = R_b // R_p = 25,00004 \Omega$$

$$I = \frac{1,5 \text{ V}}{375,00004 \Omega} = 0,039999 \text{ A}$$

$$V_{ab} = I \cdot R_{eq} = 0,1 \text{ V}$$

Esto indica que es correcto el cálculo de las resistencias ya que la aguja se va a fondo de escala cuando se cortocircuitan las puntas del instrumento.

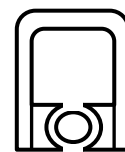
3.8.3.1 Indicaciones en las escalas de Amperímetros y Voltímetros

El fabricante incorpora información y símbolos en las escalas de sus aparatos, los que identifican ciertas cualidades de los mismos. Los más comunes son los referidos a tipo de aparato, posición, aislación eléctrica con el operador, clase y sensibilidad. Se ejemplifican algunos que se pueden observar en las escalas de los instrumentos.

Para indicar si el aparato es de hierro móvil su símbolo es :



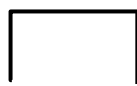
Para indicar si el aparato es de bobina móvil su símbolo es :



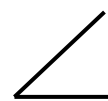
La posición de trabajo queda identificada con los signos:



Vertical



Horizontal



30

La estrella con un número en su interior, significa la aislación de seguridad, siendo el 2 representativo de 2.000V, y sin número, 500V.



Luego se tiene la clase 0,5 - 1 - 2

Finalmente la sensibilidad 20 $K\Omega/V$ C.C. 8 $K\Omega/V$ C.A.

En el dibujo se han escrito clases o errores porcentuales del 0,5%; 1%; 2% y 3% y las sensibilidades de 20 $K\Omega/V$ para corriente continua y 8 $K\Omega/V$ para corriente alterna. En este último caso, el valor de sensibilidad para C.A. es menor porque el aparato es de bobina móvil y se rectifica la C.A. para que se pueda medir como C.C. El proceso de rectificación hace bajar la sensibilidad. Finalmente, cabe destacar que los instrumentos de tablero son de hierro móvil, cuya sensibilidad es muy baja, pero como generalmente van conectados en instalaciones eléctricas tanto de C.C. como de alterna, el consumo no tiene importancia.

3.8.4 Descripción de la construcción de un multímetro comercial.

Dado que ya se conoce el funcionamiento de los instrumentos indicadores de bobina móvil y de hierro móvil, y teniendo en cuenta que el de bobina móvil es el más utilizado en los multímetros analógicos de uso intensivo en electrónica, se procederá ahora a que el lector conozca el diseño de estos aparatos paso a paso para las diferentes prestaciones que ofrece. En la figura 3.15 se expone el frente de este aparato.

Es importante destacar, para conocimiento, que los multímetros deben su nombre a que son capaces de medir diferentes variables, tales como corriente, diferencia de potencial, medida de resistencias y otras tales como estado de pilas y baterías y niveles sonoros. También, popularmente se conocen estos instrumentos como tester, derivado del idioma inglés, pero el nombre correcto es multímetro.

No se descarta que un aparato de hierro móvil también pueda ser utilizado para medir varias variables, pero dado que este tiene una sensibilidad muy pobre, no es recomendable para usos en electrónica, pero si se utiliza para instrumentos de tablero por su robustez y porque es accionado indistintamente con corriente alterna como continua.

3.8.4.1 El multímetro como Amperímetro

En primer lugar se analizará la operación del multímetro como amperímetro para diferentes alcances o rangos. Se debe recordar que cuando se analizaron los instrumentos de bobina móvil, se definió la sensibilidad del mismo como los ohms que ofrece por volt: $S = \Omega/V$, valiendo la misma definición también para los de hierro móvil. La tecnología ha logrado que los instrumentos de bobina móvil deflexionen a fondo de escala con corrientes tan pequeñas como $50\mu A$. Esto presupone una bobina móvil con una resistencia de 2.000Ω . La sensibilidad es justamente de $20K\Omega/Volt$. Se fabrican también aparatos con una sensibilidad de $100K\Omega/Volt$, lo que indica una corriente para plena deflexión de $10\mu A$, pero su precio es elevado. Por ello el anterior resume en él un precio accesible y una buena prestación.

De esta forma se partirá para diseñar los primeros rangos como amperímetro con un instrumento de $20.000\Omega/V$.

Realizando el cociente entre 1 Volt y los $20K\Omega$ se encuentra la máxima corriente, que como ya se explicitó en párrafos anteriores, es de $50\mu A$.

Por otro lado, la caída normalizada de los dos aparatos (hierro y bobina móvil) es de $0,1V = 100mV$. Con este parámetro se obtiene inmediatamente el valor de la resistencia que posee la bobina móvil o fija. Para los $20K\Omega/V$ de sensibilidad, el valor de la misma es de 2.000Ω ; razonando así: si para $1V$ olt son $20K\Omega$, para $0,1V$ olt serán 2.000Ω .

El lector comprenderá a esta altura que el primer rango como amperímetro que podría disponer este instrumento, es justamente el de $50\mu A = 50 \cdot 10^{-6} A = 0,00005 A$. La escala, generalmente está dividida en 50 partes, por lo que la

resolución para los $50\mu A$ será de $1\mu A$ (la resolución es la menor lectura que posee la escala). Las divisiones son iguales ya que el desplazamiento del sistema móvil es **lineal** con la corriente. Al diseñar el resto de los alcances, no solo de corrientes sino también de voltajes se realizan con múltiplos de 10 o de 50 para disponer de una sola escala que sirva para todos los alcances, tal como se muestra en el frente de un multímetro comercial. Nótese que este aparato no tiene el rango de $50 \mu A$, pero en otros si se dispone. En la parte superior del dibujo están impresas las escalas para todas las variables que mide. La segunda desde arriba hacia abajo, es la que se utiliza para medir magnitudes de corriente y voltajes de continua. Se indican a la derecha las letras DC (corriente continua) y la única escala está dividida en 50 partes iguales. Los distintos alcances son múltiplos de 10 o de 50 tal como se describió en párrafos anteriores. Fig. 3.16

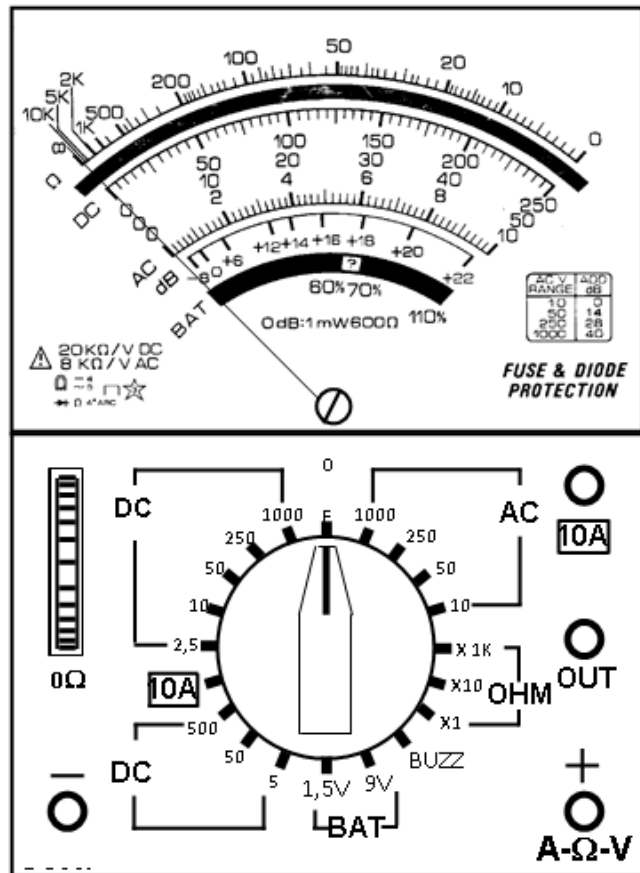


Fig. 3.15

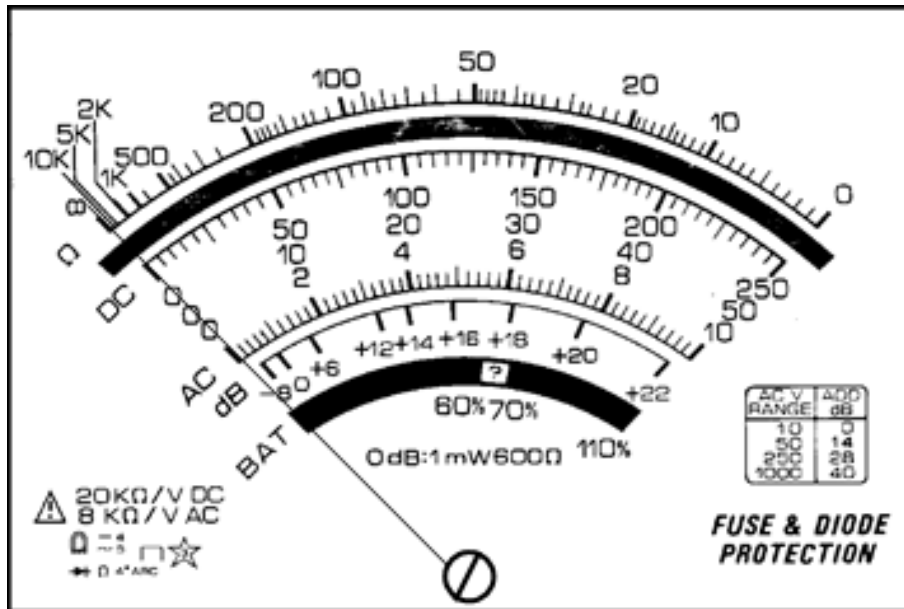


Fig. 3.16

En la parte inferior se muestra el panel de control del aparato y se observa para los rangos de corriente continua tres alcances: 5, 50 y 500 mA con los dos bornes de entrada en la parte inferior de este panel y otro rango de 10 A con un borne común y el otro independiente Fig. 3.17. Este diseño se corresponde con la importante corriente de 10A que se conduce en forma separada para no dañar la llave conmutadora.

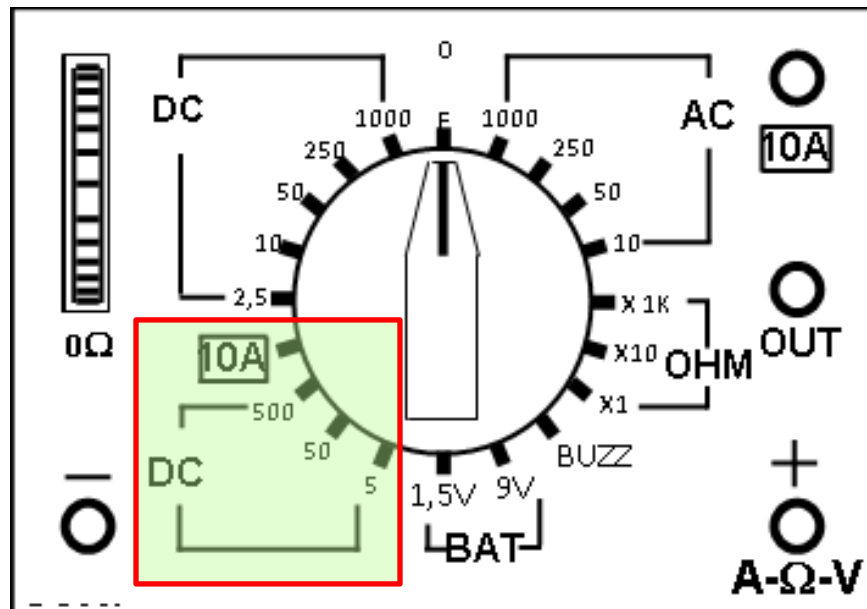


Fig. 3.17

Recordando conceptos vistos para el diseño de amperímetros, se verán solo dos rango: 5 mA y 10 A de acuerdo a las figuras 3.18 y 3.19.

Para resolver ambos problemas, el procedimiento es igual y se iniciará el mismo con el rango de 5 mA.

Es lógico que parte de la corriente es necesaria derivarla porque por el instrumento de bobina móvil la máxima corriente es de 50µA. Por ello, se plantea por Kirchoff la siguiente relación :

$$I_{total} = I_{sh} + I_B \quad \Longrightarrow \quad I_{sh} = I_{total} - I_B$$

$$I_{sh} = 5000 \mu A - 50 \mu A = 4950 \mu A$$

Con este valor y conociendo que la caída normalizada es de 0,1V, se puede determinar por ohm el valor de la resistencia en paralelo o shunt R_{sh} .

$$R_{sh} = \frac{0,1 V}{4950 \mu A} = 20,202 \Omega$$

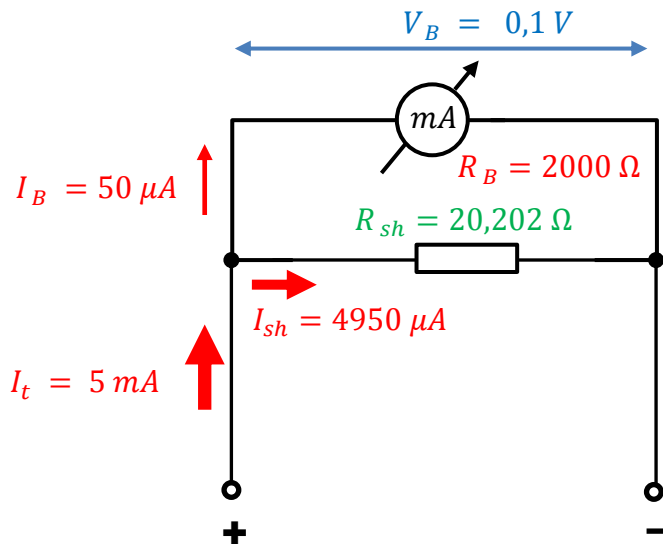


Fig. 3.18

Note el lector que esta resistencia está en paralelo con la bobina móvil que posee una resistencia de 2.000 Ω y se puede sacar el equivalente haciendo :

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{2000 \Omega} + \frac{1}{20,202 \Omega} \quad \Longrightarrow \quad R_{eq} = 20 \Omega$$

Así se plantea con este procedimiento que la caída en $R_{sh} // R_B$ debe ser igual a 0,1V. Lo que indica que el resultado de la R_{sh} es correcto.

Para el segundo caso, figura 3.19 aplicando el mismo razonamiento: $I_{sh} = 9,99995$ Amp, por lo que $R_{sh} = 0,0105\Omega$. Si se hace el paralelo entre R_{sh} y R_b se obtiene $R_{eq} = 0,1\Omega$, valor que multiplicado por 10 A encuentra el valor de 0,1V que debe tener la caída normalizada tanto en R_b como en R_{sh} .

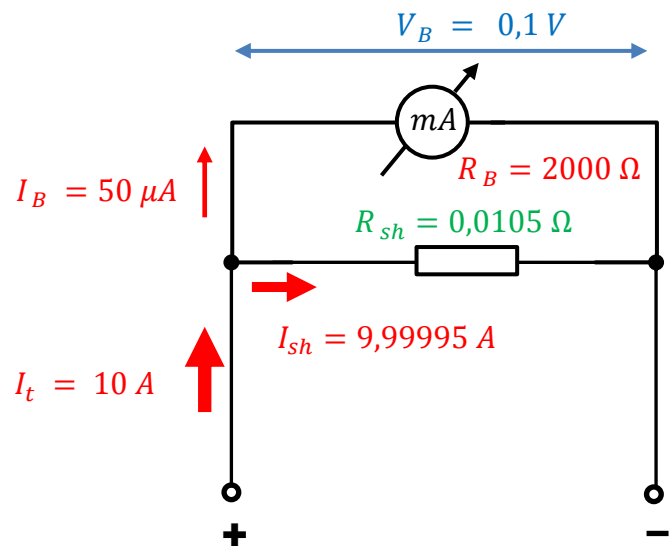


Fig. 3.19

Es además importante destacar y repetir que el mismo procedimiento se utiliza para aparatos tanto de bobina móvil como de hierro móvil, ya sea de un solo alcance (aparatos de tablero) o de varios alcances como los multímetros teniendo siempre presente como dato fundamental la sensibilidad del instrumento.

No debe tampoco dejarse de pasar que el instrumento de bobina móvil no puede medir en forma directa corriente alterna, pero si agregándole un circuito denominado puente rectificador que transforma la C.A. en C.C. Este último circuito hace que se pierda sensibilidad y por ello la misma es de $8\text{ K}\Omega/\text{V}$. En las escalas reproducidas en la figura 3.15, parte superior está indicada dicha sensibilidad.

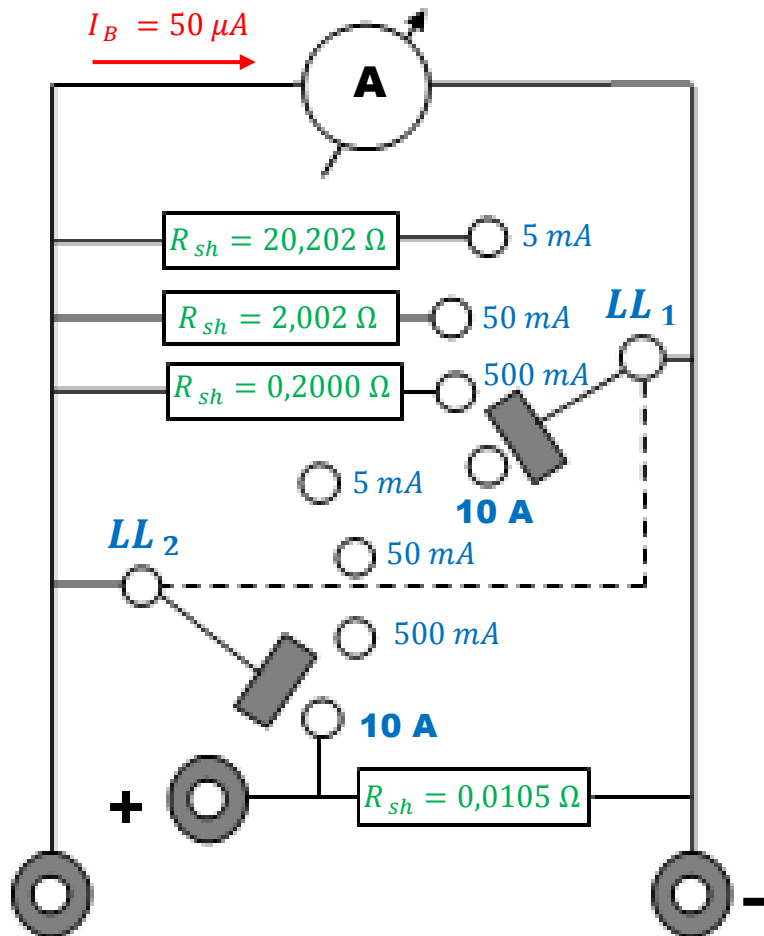


Fig. 3.20

En la figura 3.20 se representa la conmutación de los rangos del aparato descrito y sirve de referencia para cualquier otro. En el circuito se puede interpretar como se produce la conmutación mediante las llaves LL1 y LL2. Los valores: (5 , 50 , 500) mA y 10A son los rangos de C.C. con sus respectivas R_{sh} . Al cambiar de rango, pasando de uno a otro, la llave LL1 mantiene siempre conectado el rango anterior para que en ningún momento se quede abierta (sin conectar) alguna de las resistencias R_{sh} , porque se destruiría la bobina móvil del aparato.

Para el rango de mayor corriente, 10 A , se utiliza un borne independiente designado 10 A y la llave LL2 que está en tándem con LL1 (indicado por la línea de trazos, (figura 3.20), conecta a la resistencia shunt como se ve en el circuito para que solamente por LL2 pase una corriente muy pequeña, nunca

mayor a $50 \mu\text{A}$. Por otra parte se debe recordar que el amperímetro desarrollado con bobina móvil se debe conectar con la polaridad adecuada.

3.8.4.2 El multímetro como Voltímetro

Para continuar con el desarrollo del multímetro, como voltímetro, se analizará ahora el diseño necesario para que pueda medir los diferentes rangos que posee.

Se recuerda que el aparato que se utiliza tiene una sensibilidad de $20 \text{ K}\Omega/\text{Volt}$, ya que como se dijo en el estudio de los multímetros, esta sensibilidad es la más adecuada. Si se observa en la fig. 3.21 el panel de control del multímetro con sus rangos, se observa que posee cinco rangos de C.C. y cuatro de C.A. La escala es la misma que para los alcances de amperímetro para C.C., no siendo así para C.A. Para lograr estos alcances, se aplicará lo visto para el diseño de voltímetros.

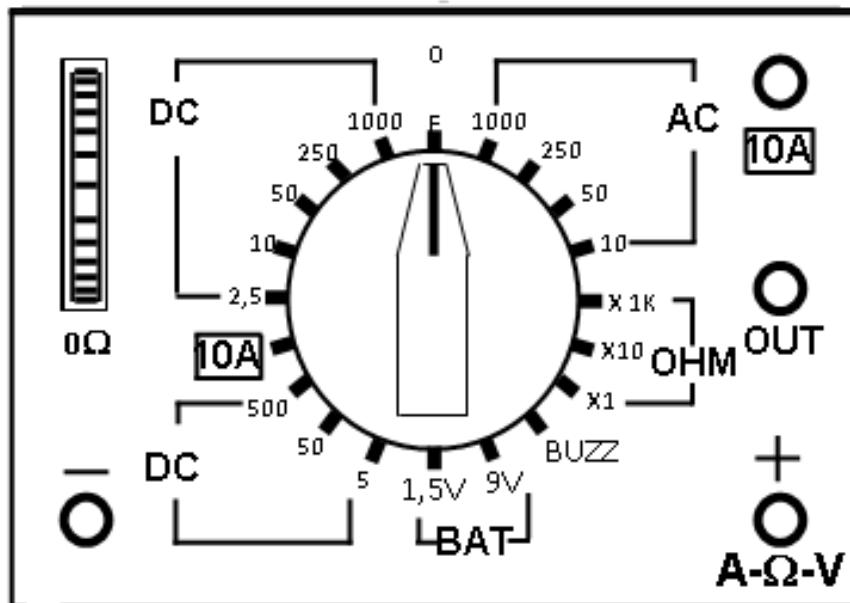


Fig. 3.21

Por ello, al incrementar los alcances se deberá determinar la resistencia multiplicadora (R_m). Así entonces y teniendo a la vista la figura 3.22 se

tendrá: la tensión total a medir o alcance que se establece V_t (debe ser múltiplo de 10 o de 50 para el multímetro considerado).

Para el rango de 2,5 V, resulta por Kirchoff : $V_t = V_{R_m} + V_b$ y dado que la caída en la bobina móvil es de 0,1 V ; despejando la caída en la resistencia multiplicadora: $V_{R_m} = 2,5 - 0,1 = 2,4 V$

Por otra parte y recordando que la corriente que circula es de $50 \mu A$, se puede encontrar el valor de R_m así:

$$R_m = \frac{2,4 V}{50 \mu A}$$

$$R_m = 48000 \Omega$$

$$V_{R_m} = V_t - 0,1 V$$

$$R_m = \frac{V_{R_m}}{I_B}$$

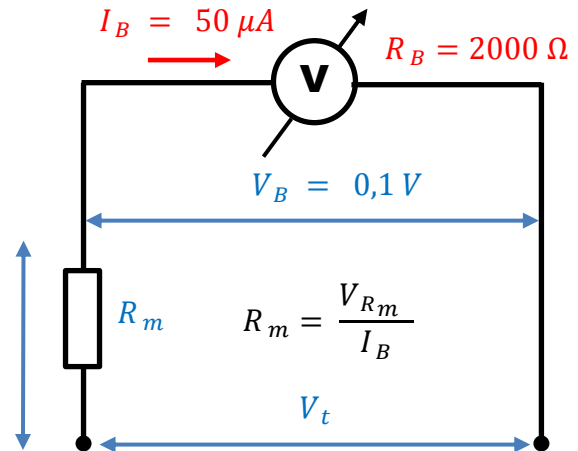


Fig. 3.22

Un simple análisis permite verificar si el resultado es correcto: Recuerde el lector que el valor de la resistencia de la bobina móvil para este instrumento es de 2.000Ω y si se le suma el valor encontrado de $48 K\Omega$, se encuentra que la resistencia total del aparato es de 50.000Ω , resultado igual que haciendo :

$$R_t = \frac{2,5 V}{50 \mu A} = 50 K\Omega$$

Esto indica que también el cálculo de la resistencia multiplicadora se puede realizar de otra forma. Teniendo en cuenta la sensibilidad del instrumento que en este caso es de $20 K\Omega/Volt$, aplicando la regla de tres simple se plantea así:

$$\begin{array}{l} 1 V \quad \text{-----} \quad 20 K\Omega \\ 2,5 V \quad \text{-----} \quad \frac{2,5 V \cdot 20 K\Omega}{1 V} = 50 K\Omega \end{array}$$

Restándole la resistencia de la bobina móvil cuyo valor es de 2.000Ω , se tiene entonces: $R_m = 50 \text{ K}\Omega - 2 \text{ K}\Omega = 48 \text{ K}\Omega$, llegándose al mismo resultado que por el camino normal. Esta forma permite rápidamente calcular el valor total de la resistencia interna total para cada rango.

Se encontrarán ahora las otras resistencias multiplicadores para los otros alcances, recordando que este aparato posee cinco rangos de tensión en C.C. Ellos son: $2,5 \text{ V}$; 10 V ; 50 V ; 250 V y 1.000V . Utilizando cualquiera de los dos métodos vistos se llega a los siguientes resultados para cada rango que se muestran en la tabla I. Además también se ha incorporado en ella el alcance de $2,5 \text{ V}$ ya determinado.

Se puede observar en la tabla I que los valores de las resistencias multiplicadoras van incrementándose a medida que el alcance es cada vez mayor. Ello es consecuencia de que la corriente necesaria para que deflexione la aguja indicadora a plena escala es de $50 \mu\text{A}$ constante para todos los alcances.

TABLA I	
Para $2,5\text{V}$ ———	$R_{m_1} = 48.000\Omega$
Para 10V ———	$R_{m_2} = 198.000\Omega$
Para 50V ———	$R_{m_3} = 998.000\Omega$
Para 250V ———	$R_{m_4} = 4.998.000\Omega$
Para 1.000V ———	$R_{m_5} = 19.998.000\Omega$

En los circuitos siguientes de la figura 3.23 se ha dibujado dos formas en que el fabricante conmuta los distintos rangos del multímetro en los alcances de voltímetro:

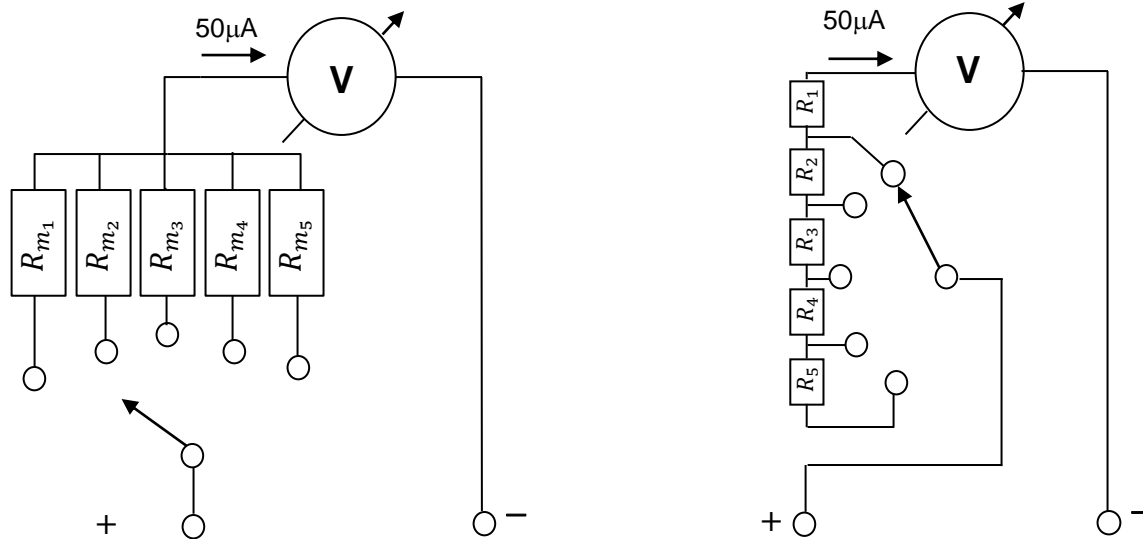


Figura 3.23

Se nota, que de acuerdo a las dos conexiones que se observan en la figura de la izquierda responde a la tabla I, pero la de la derecha tiene para cada una de las resistencias multiplicadoras, distintos valores, los que se calculan a continuación. Para el primer rango de 2,5 V la R_1 es igual que en el caso anterior, ya que es ella solamente la que se interpone entre el circuito de medida, pero para el segundo rango, la resistencia R_2 se obtendrá de multiplicar los 10 V por los 20 K Ω o dividir 10 V en 50 μ A; y a ella restarle los 50 K Ω , resultante de la suma de 48 K Ω + 2 K Ω = 50 K Ω ; o sea la suma de R_{m1} más la R_b . Las demás resistencias se calculan de la misma manera.

Por ello resultan agrupados los siguientes resultados: $R_1 = 48$ K Ω ; $R_2 = 150$ K Ω ; $R_3 = 800$ K Ω ; $R_4 = 4$ M Ω y $R_5 = 5$ M Ω . Note el lector que mientras en la conexión anterior cada resistencia posee el valor total para cada rango menos la resistencia de la bobina móvil, en la segunda conexión, cada resistencia del rango menor anterior se compone de la suma de las anteriores y la resistencia de la bobina móvil. Se resta solamente una vez en el alcance de los 2,5V.

Para los rangos de corriente alterna, la sensibilidad baja a 8 K Ω /Volt, por lo que la corriente es ahora de 125 μ A. Esta pérdida de sensibilidad, tiene su consecuencia en el proceso de conversión de C.A. a C.C., ya que a la bobina

móvil que opera exclusivamente con C.C. se le incorpora un circuito rectificador del tipo puente con diodos para la conversión. Dadas las características de los diodos, es imposible medir tensiones por debajo de 1 Volt, y por ello el multímetro que se está estudiando no posee el rango de 2,5 V en alterna. En la figura 3.24 se expone el diagrama de la conexión específica para C.A., e inclusive el cálculo de las resistencias multiplicadoras (impedancias) para los distintos alcances se realiza ahora con 125 μ A. Se observa en la figura que los diodos componen un puente rectificador, siendo los diodos D_1 y D_3 los encargados de rectificar el semiciclo positivo y D_2 y D_4 , el negativo.

La operación es la siguiente: cuando en la unión de D_1 y D_4 se hace presente el semiciclo positivo, y en D_2 y D_3 , el negativo, conducen los diodos D_1 y D_3 mientras que D_2 y D_4 no conducen; y cuando se invierte la polaridad (semiciclo negativo), conducen los diodos D_2 y D_4 y los otros dos no conducen, por ello en el instrumento sólo se tienen semiciclos positivos (corriente continua pulsante) tal como se observa en la parte superior del circuito, y la bobina móvil deflexiona proporcionalmente a la corriente alterna pero no en forma lineal, como se advierte en la escala del multímetro (tercera de arriba hacia debajo de la escala del instrumento). De esta forma entonces, el aparato mide tensiones de corriente alterna.

Otro parámetro que se debe tener en cuenta en la medición de C.A. es la máxima frecuencia admitida para realizar la lectura, que generalmente es de 500 Hz. Para frecuencias mayores, la impedancia se incrementa y disminuye la sensibilidad, produciendo errores importantes en la medición. Generalmente el fabricante especifica dicha frecuencia que admite sin producir errores.

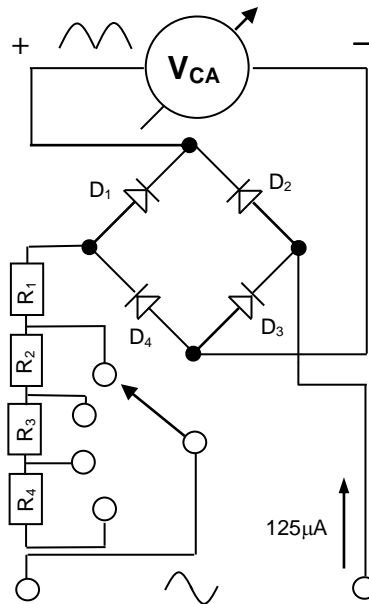


Figura 3.24

3.9 Preguntas de autoevaluación

- 45) ¿Qué indica la sensibilidad de un aparato de bobina móvil o de hierro móvil? ¿Cómo se Indica? ¿Cuál es la tensión máxima normalizada de un aparato de bobina móvil o de hierro móvil?
- 46) ¿Por qué se amplía el rango como amperímetro de los instrumentos de bobina móvil? ¿Cómo se amplía?
- 47) ¿Qué característica tiene que tener la resistencia en paralelo que se conecta con un amperímetro para aumentar su escala? ¿Por qué?
- 48) ¿Cómo se conecta un amperímetro a un circuito? ¿Cuál es el valor de resistencia interna ideal?
- 49) ¿Qué sucede con el valor de la resistencia en paralelo que se usa para ampliar el rango un amperímetro cuando el rango aumenta?
- 50) ¿Cómo se calcula la resistencia interna total de un amperímetro cuando tiene diferentes rangos
- 51) ¿Se comete un error de medición cuando se utiliza un amperímetro? ¿Por qué?

- 52) ¿Cuál es la tensión normalizada de un instrumento de bobina móvil?
¿Cómo se obtiene la corriente para máxima deflexión?
- 53) ¿Cómo se aumenta el rango de medida de un voltímetro? ¿Que dato hay que conocer del mismo?
- 54) ¿Por qué normalmente en los instrumentos de medición los rangos son múltiplos enteros unos de otros?
- 55) ¿Cómo se obtiene la resistencia total de un voltímetro conociendo su sensibilidad y el valor del rango?
- 56) ¿Cómo se conecta un voltímetro? ¿Qué hay que tener en cuenta?
- 57) ¿Qué características tiene que tener un voltímetro ideal?
- 58) ¿Cuál es la ley fundamental que permite utilizar un instrumento de bobina móvil como óhmetro? ¿Qué se necesita para ello?
- 59) ¿Cuál es el principio de funcionamiento de un óhmetro?
- 60) ¿Qué sucede cuando se diseña un óhmetro solo con una resistencia en serie con la bobina del instrumento? ¿Qué hay que agregar?
- 61) ¿Qué valor de medida de referencia se da para calcular las resistencias de un óhmetro?
- 62) ¿Cómo es la escala en los óhmetros? ¿Qué relación tienen normalmente los alcances en el mismo?
- 63) ¿Cuáles son los símbolos de hierro móvil y bobina móvil en la indicación de un instrumento de medición analógico?
- 64) ¿Cuáles son los símbolos de posición vertical, horizontal e inclinada en la indicación de un instrumento de medición analógico?
- 65) ¿Cuáles es el símbolo de aislamiento de seguridad en la indicación de un instrumento de medición analógico?
- 66) ¿Cómo se indican la clase y la sensibilidad en un instrumento de medición analógico?

3.9.1 Ejercicios propuestos

- 12) Se posee instrumento de bobina móvil que tiene una sensibilidad de $10 \text{ K}\Omega/\text{V}$ para C.C. y $4 \text{ K}\Omega/\text{V}$ para C.A. Determinar el valor máximo de corriente para C.C. y el valor de R_b .
- 13) Supóngase un voltímetro cuyo rango es de 400V y su $S = 20 \text{ K}\Omega/\text{V}$ calcule la resistencia multiplicadora necesaria para este rango.
- 14) Se debe diseñar un amperímetro para medir 1 Amper y se posee un instrumento de sensibilidad de $1 \text{ K}\Omega/\text{V}$. Calcule la R_{sh} necesaria con cuatro decimales.
- 15) Se posee un amperímetro cuyo rango es de 1 A y se desea incrementar su rango para 100A . Calcule la R_{sh} necesaria a agregar con tres decimales.
- 16) Diseñar un óhmetro a $1/3$ de la escala del óhmetro con instrumento de sensibilidad de $1 \text{ K}\Omega/\text{V}$. La fuente es de 3 V y el valor de resistencia a leer es de 30Ω .
- 17) Diseñar un óhmetro que indique a mitad de escala una resistencia de 50Ω con un instrumento cuya sensibilidad es de $20\text{K}\Omega/\text{V}$ La fuente es de $1,5 \text{ V}$.

3.10 Multímetro híbrido

Al ser necesario mejorar las características de los instrumentos analógicos para medir la tensión y corriente en función de su resistencia interna se desarrollaron técnicas con circuitos integrados (amplificadores operacionales) obteniéndose aparatos que se aproximan a lo ideal.

Las características fundamentales de un amplificador ideal son: que su impedancia de entrada sea infinita, y la de salida, cero. La salida del amplificador debe ser igual a la entrada para no modificar las dichas condiciones es decir que: *la salida sigue fielmente a la entrada.*

La representación esquemática es la que se muestra en la Figura 3.25

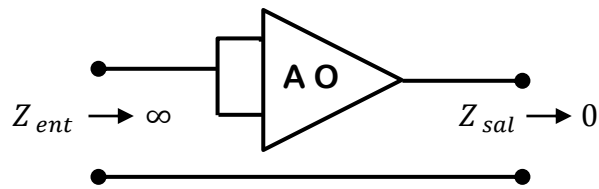


Fig. 3.25

Un voltímetro ideal es aquel que presenta una resistencia infinita o mucho mayor que la resistencia que presenta el circuito en los puntos en donde se quiere realizar la medición de tensión, esto se debe a que se conecta en paralelo con dicho circuito y no debe extraerle corriente al mismo para NO variar las condiciones propias del circuito.

Veamos un ejemplo para entender este concepto. Figura 3.26. Utilizamos para ello un multímetro cuya sensibilidad es de $20 \text{ K}\Omega/\text{V}$. Para una medición en el rango de 10 V , el mismo posee una resistencia interna de $200 \text{ K}\Omega$. Se observa que los valores de las resistencias están en el orden de la resistencia interna

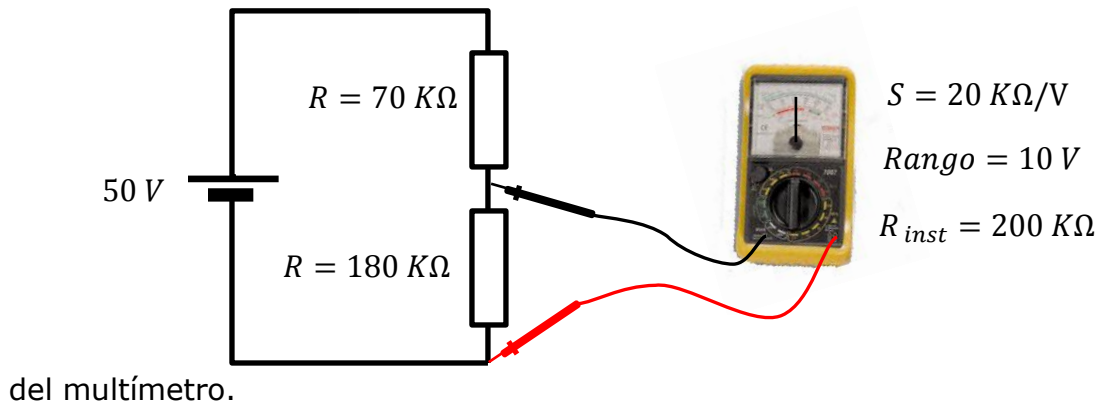


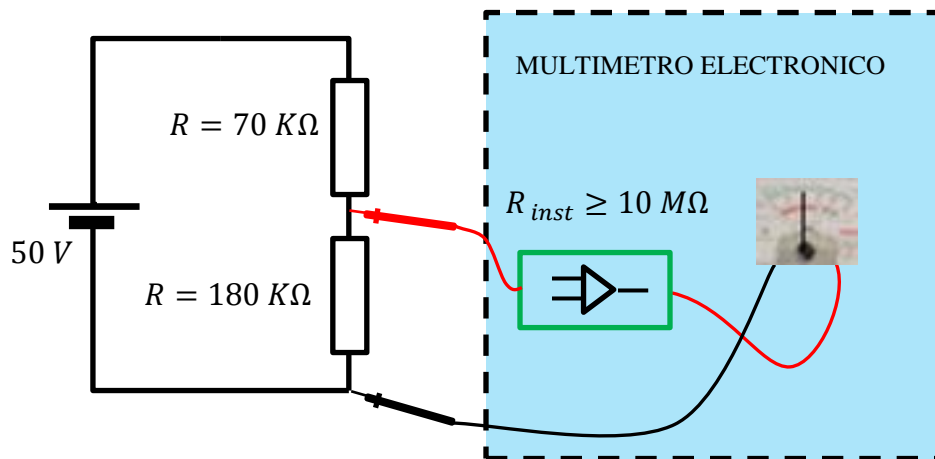
Fig. 3.26

Esto afecta la lectura por lo que sería necesario aumentar el valor de la resistencia interna del mismo.

3.10.1 Voltímetro electrónico

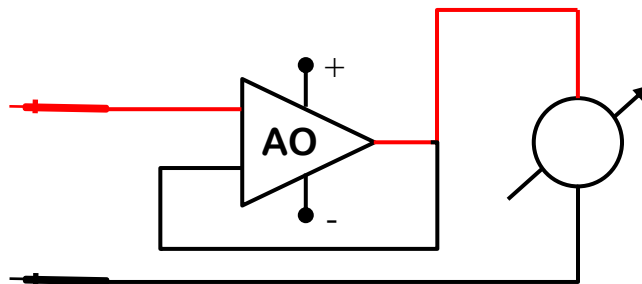
Intercalando un amplificador operacional a la entrada del dispositivo se logra aumentar su resistencia de entrada aproximándolo a la condición del voltímetro ideal. El valor de esta resistencia está en el orden de los "Mega Ohms". Valores típicos son $10\text{ M}\Omega$ o $100\text{ M}\Omega$. Esta nueva disposición es conocida como voltímetro electrónico.

Haciendo un esquema muy simplificado de esta situación puede representarse a través de la siguiente figura.



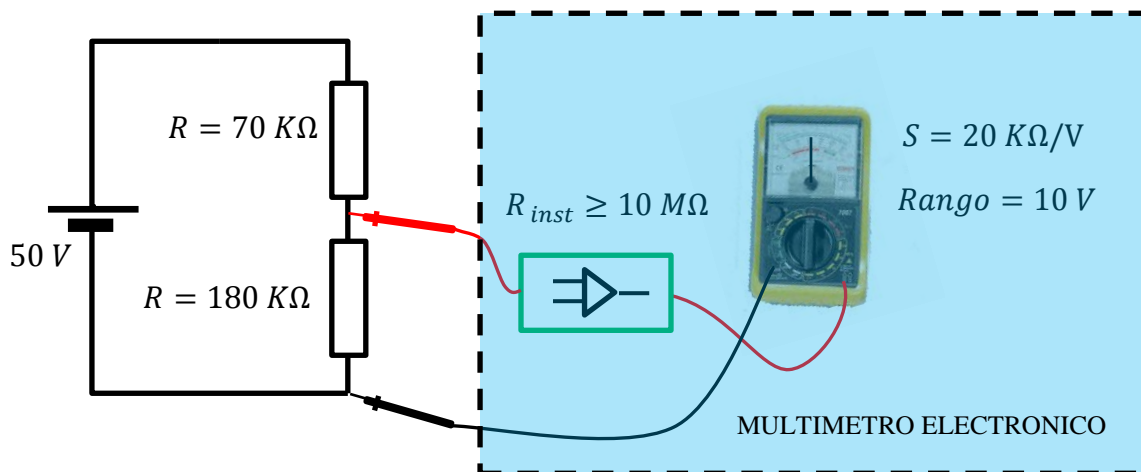
Si recordamos el circuito anterior (Fig. 3.26) se aprecia que el multímetro electrónico modifica mucho menos las condiciones del circuito original ya que su resistencia de interna aumenta.

Al aumentar la resistencia de entrada el multímetro tomará menos corriente del circuito y con ello no variará las condiciones de funcionamiento del mismo. La conexión del amplificador para ganancia unitaria es la siguiente. Se observa que se respetan las polaridades de las puntas del multímetro.



Si el amplificador operacional se calcula para una ganancia distinta de la unitaria puede aprovecharse esta característica para lograr medir valores de tensión más chicos y que la aguja se posicione en el último tercio de la escala como ya se estudió en párrafos anteriores.

Si se tiene un multímetro cuya impedancia de entrada no es suficientemente grande para una determinada medición puede realizarse la siguiente configuración para aumentar la impedancia de entrada.



Esto sería una forma práctica de incrementar la impedancia y por ello hacer que el multímetro analógico se aproxime un poco al ideal.

3.11 Preguntas de autoevaluación

- 67) ¿Qué objeto tiene la construcción de un voltímetro o amperímetro híbrido?
- 68) ¿Qué características del voltímetro ideal se pretenden con un voltímetro híbrido? ¿Qué sucede cuando el voltímetro no es ideal?
- 69) ¿Que se utiliza para construir los voltímetros híbridos? ¿Cuáles son sus características ideales?
- 70) ¿Cómo se construye un voltímetro electrónico híbrido? ¿Qué valores de resistencia de entrada presentan? Compárelos con los de los Voltímetros

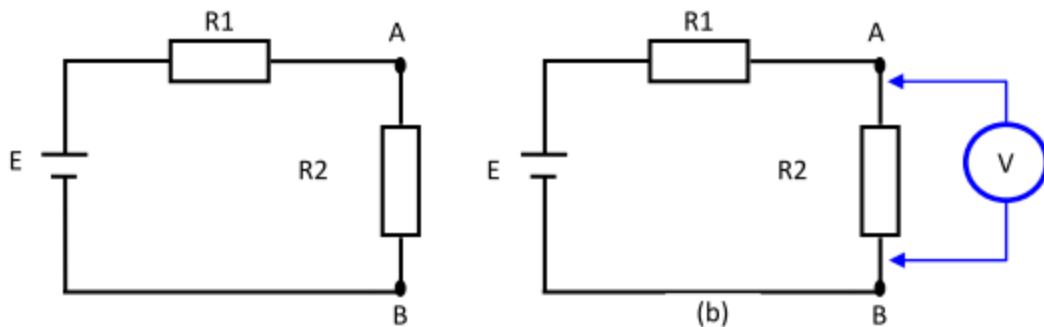
electromagnéticos.

71) ¿Cómo se puede medir con un voltímetro electrónico híbrido pequeñas valores de tensión? ¿Qué es importante realizar para obtener estas medidas?

3.11.1 Ejercicios propuestos

18) Dado el circuito de la figura a donde $E = 20V$, $R1 = 400K\Omega$ y $R2 = 500K\Omega$, calcular lo siguiente:

- Determinar el valor de tensión correspondiente a $R2$ sin la medición con el voltímetro
- Suponga que se está midiendo la tensión con un voltímetro con una sensibilidad de $20 K\Omega/V$ en la escala de $25V$ determinar la caída de tensión en la resistencia $R2$ y el error porcentual de la medición.
- Suponga que se está midiendo la tensión con un voltímetro electrónico híbrido cuya resistencia de entrada es de 10 Mega ohm , determinar la caída de tensión en la resistencia $R2$ y el error porcentual de la medición.



3.12 Resumen

Medir: Medir es comparar una cantidad con su respectiva unidad, con la finalidad de determinar cuántas veces la primera contiene a la segunda.

Errores: Al realizar una medición con cualquier instrumento, se producen errores. Particularmente, en la medición de variables eléctricas con instrumentos del tipo analógicos se producen los siguientes errores:

- **Error absoluto:** diferencia entre el valor verdadero con la obtenida por medición.
- **Error relativo por ciento o clase:** error absoluto dividido por la escala y por cien. Este error es constante para toda la escala; luego la incidencia del mismo es mayor a menores lecturas. Por ello se aconseja leer en el último tercio.
- **Error de medición:** error absoluto dividido por el verdadero y por cien.

Instrumentos electromecánicos: Para la medición se utilizan instrumentos analógicos de dos tipos:

- **Bobina móvil:** Una bobina se desplaza con una cupla motora en el interior de un campo magnético uniforme en forma proporcional a la corriente continua que toma del circuito a medir. Este movimiento es lineal y se dispone de una cupla antagónica con resortes en espiral que además sirven para conectar la bobina móvil con el exterior. Además el movimiento se amortigua en forma electromagnética por fem inducida en el cuadro móvil que es cerrado.
- **Hierro móvil:** Este aparato se compone de una placa de hierro fija y otra móvil, solidaria a la aguja indicadora, ambas colocadas en el interior de una bobina fija. Al circular corriente por la bobina, se imanán ambas placas y la móvil se desplaza de la fija en forma cuadrática a la corriente. Opera indistintamente con C.C. o C.A. La cupla antagónica se logra por un resorte en espiral y el amortiguamiento es neumático.

Sensibilidad: En ambos instrumentos indicadores se define la sensibilidad como la resistencia por voltio: $S = \text{Ohm/Volt}$. Los de bobina móvil son más sensibles que los de hierro móvil. Para los primeros, una sensibilidad común es de $20 \text{ K}\Omega/\text{V}$ y para los segundos: de $1 \text{ K}\Omega/\text{V}$. Los primeros se utilizan en

electrónica en los multímetros porque toman poca corriente del circuito; los segundos en instrumentos de tablero, en los cuales la corriente tomada no es importante.

Del conocimiento de la sensibilidad se obtiene la corriente para la máxima desviación o fondo de escala y el valor de la resistencia que ofrece la bobina. La tensión máxima para máxima corriente se ha normalizado en 100 mV, por ello para una sensibilidad de $20 \text{ K}\Omega/\text{V}$, la corriente es: $I_b = 1\text{V}/20\text{K}\Omega = 50 \mu\text{A}$ y la resistencia es de $2 \text{ K}\Omega$, ya que $50 \mu\text{A} \cdot 100 \text{ mV} = 2 \text{ K}\Omega$.

Escalas: Las escalas utilizadas para los de bobina móvil, son lineales y para los de hierro móvil, cuadráticas. Ambas poseen espejo para evitar el error de paralaje.

Amperímetros: Dado que la desviación de la aguja es proporcional a la corriente, se mide la misma, teniendo en cuenta la sensibilidad. Para incrementar el rango de medida se coloca una resistencia en paralelo (R_{sh}) con el instrumento. Por ella se hace pasar el exceso de corriente. Como complemento, se debe manifestar que un amperímetro ideal es aquel cuya resistencia interna se aproxima a cero.

Voltímetros: La caída de potencial en la bobina de un instrumento de medición está normalizada en 0,1 V. Para incrementar el rango se coloca una resistencia multiplicadora (R_m) en la que se hace caer la tensión a medir menos la caída en la bobina. Así como un amperímetro ideal es aquel cuya resistencia debe ser mínima o cero, el voltímetro ideal es aquel cuya resistencia interna es infinita (no toma corriente del circuito).

Voltímetros híbridos: Combinando un instrumento de bobina móvil con un amplificador electrónico se logra construir un voltímetro que se acerca al ideal.

Ohmetros: Puesto que las resistencias son elementos pasivos, se deberá dotar al instrumento de bobina móvil (es el que se utiliza) de una fuente compuesta por pilas secas. Así entonces, se determina un circuito que para un valor cero de resistencia, el instrumento marca a fondo de escala (0Ω); y sin resistencia, no circula corriente, Ω infinito. Note que la escala es invertida

respecto a su funcionamiento como voltímetro y amperímetro. Por otro lado, para resistencias muy pequeñas, la variación de corriente es prácticamente nula; por ello se utiliza un esquema circuital que se denomina óhmetro paralelo lo que permite medir resistencias muy pequeñas. Existen otras configuraciones para el mismo resultado.

3.12.1 Problemas

- 19) En un circuito, se mide una tensión de 25 V con un voltímetro en la escala de 50 V. Si el mismo tiene un error relativo del 5 %, determinar entre que valores estará la lectura.
- 20) En el mismo ejemplo anterior, determinar la incidencia del error para esa lectura.
- 21) Se mide en una instalación trifásica el valor de 385 V con un voltímetro cuyo rango es de 400 V y su clase del 1,5 %. Determinar en más y menos el valor final de la tensión.
- 22) Determine el error de medida que se produce al medir una tensión cuyo valor debe ser de 12 V y se leen 11 V.
- 23) ¿ De cuánto será la incidencia del error de un amperímetro que posee un error relativo de 3 % en el rango de 400 mA, midiendo 40 mA?
- 24) Se posee un voltímetro de clase 0,5 en el rango de 400 V; ¿de cuánto será el error en más y menos cuando se miden 380 V?
- 25) Dado un instrumento indicador que posee una sensibilidad de $4 \text{ K}\Omega/\text{V}$, determinar el valor máximo de I_b para máxima deflexión de la aguja y el valor de R_b .
- 26) Se posee instrumento de bobina móvil que tiene una sensibilidad de $10 \text{ K}\Omega/\text{V}$ para C.C. y $4 \text{ K}\Omega/\text{V}$ para C.A. Determinar el valor máximo de corriente para C.C. y el valor de R_b ; asimismo, determinar el máximo valor de C.A. y el valor de Z_b .
- 27) La sensibilidad de un instrumento de hierro móvil es de $500 \Omega/\text{V}$. Determinar la potencia que absorbe la bobina móvil del circuito a medir.

- 28) Supóngase un voltímetro cuyo rango de medida es de 400 V y su sensibilidad de $20 \text{ K}\Omega/\text{V}$ calcule la resistencia multiplicadora necesaria para este rango.
- 29) Se debe diseñar un amperímetro para medir 1 A y se posee un instrumento de sensibilidad de $1 \text{ K}\Omega/\text{V}$. Calcule la R_{sh} necesaria con cuatro decimales.
- 30) Diseñar un óhmetro cuya aguja se posicione a $1/3$ de escala del instrumento para una resistencia de 30Ω , el instrumento tiene una sensibilidad es de $1 \text{ K}\Omega/\text{V}$. La fuente es de 3V.
- 31) Diseñar un óhmetro cuya aguja se posicione a $2/5$ del cero mecánico para una resistencia de 50Ω con un instrumento cuya sensibilidad es de $20 \text{ K}\Omega/\text{V}$. La fuente es de 1,5V.
- 32) Un voltímetro electrónico (híbrido) que posee una resistencia interna de $10^7 \Omega$, en el rango de 10V, qué corriente le toma al circuito bajo medida?

3.13 Medición de inductancias y capacidades. Puentes

La determinación del valor numérico de los componentes pasivos tales como inductores y capacitores, determina en la mayoría de los casos, la necesidad de utilizar corriente alterna para realizar la medición. Esto es así puesto que una inductancia se comporta como un cortocircuito (resistencia cero) para la C.C.; y un capacitor es un circuito abierto (resistencia infinita) para C.C.

Uno de los métodos más utilizados para medir estos componentes, es el denominado puente para C.A. Como se podrá interpretar en los párrafos siguientes, el sistema puente nace para la medición de resistencias, utilizando una fuente de C.C. Posteriormente se encuentra que el puente de C.A. también es útil para medir resistencias. Para introducirse en el tema, se comenzará con el origen del sistema puente que lleva el nombre de su creador: Wheastone, quien lo diseñó en el siglo XVIII.

La denominación de puente surge en forma genérica de conectar cuatro componentes formando un rombo, por lo que poseerá cuatro terminales: dos extremos opuestos del conjunto se conectan al resto del circuito y los otros dos también. Aparte de su uso para medir componentes pasivos, tiene varias aplicaciones en diferentes partes de un circuito. Una de estas aplicaciones es el puente de diodos para rectificar C.A. en C.C.

3.13.1 Principio del puente de Whastone.

Como el alumno recordará, el circuito puente permite la medición de una resistencia en base a otras tres cuyos valores son conocidos. La medición resulta con una exactitud que depende principalmente de la precisión de las tres resistencias consideradas patrones, y además de la sensibilidad del puente. En la figura 3.27 se esquematiza el circuito ya conocido.

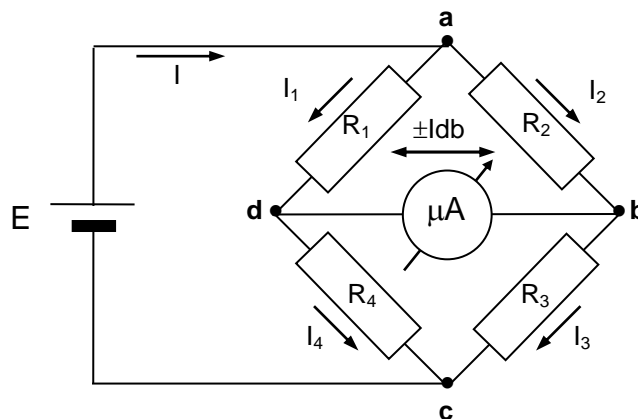


Fig. 3.27

En dicho esquema se observa que cuando la diferencia de potencial en la rama d-b, del puente es nula, el mismo está en equilibrio, produciéndose la siguiente relación:

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4 \quad (1)$$

de la cual, conociendo tres de ellas, se puede averiguar el valor de la cuarta..

Para demostrar lo aseverado, se partirá imponiendo que en la rama d-b el potencial es nulo. Así entonces, por R_1 en serie con R_4 circulará la corriente I_1 y por la resistencia equivalente R_2 en serie con R_3 , la I_2 . Operando se obtiene:

$$R_1 \cdot I_1 = V_{ad} \quad ; \quad R_4 \cdot I_1 = V_{dc}$$

y por otro lado también se obtiene en la otra rama:

$$R_2 \cdot I_2 = V_{ab} \quad ; \quad R_3 \cdot I_2 = V_{bc}$$

por lógica conclusión para que se produzca la condición anterior (que por la rama d-b no circule corriente), la única posibilidad es:

$$R_1 \cdot I_1 = R_2 \cdot I_2 \quad \text{y que} \quad R_4 \cdot I_1 = R_3 \cdot I_2$$

de dónde despejando las corrientes en la primera y segunda igualdades, se obtiene:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1}{R_2} \quad \text{y} \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{R_4}{R_3}$$

lo que demuestra que: $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$

quedando entonces la expresión conocida (1):

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$$

Esta relación se puede expresar de la siguiente manera: **estando el puente en equilibrio, el producto de las resistencias cruzadas es igual.**

Se puede expresar que en el planteamiento realizado, la intervención de la fuente de alimentación del puente prácticamente no tiene influencia en cuanto a la precisión de la medición. La fuente utilizada es de C.C., note que en las aseveraciones de los párrafos anteriores, no se tuvo en cuenta si dicha fuente era de C.C. o de C.A. Una breve reflexión indicaría que sería indistinto siempre y cuando las resistencias involucradas no tuviesen efectos inductivos ni

capacitivos. Esto es así y además se puede determinar también que mediante este sistema de medición con C.A., se podrían medir los otros componentes pasivos y lineales tales como inductancias y capacitores.

3.13.2 Puente para C.C.

Para la medición de resistencias, normalmente se utiliza C.C., con ello deja de ser relevante la construcción de la resistencia. Mirando el esquema de la figura 3.27, en ella se observa que el puente tiene dos diagonales a saber: una, en la que se coloca la fuente de alimentación de C.C., y la otra, el dispositivo indicador de corriente cero por esa rama. Este último, puede ser un microamperímetro o un voltímetro cuya resistencia interna sea prácticamente infinita; o mejor aún un voltímetro electrónico.

De la ecuación de equilibrio del puente, ya conocida por el lector (ecuación 1), se extrae la desconocida, por ejemplo si se desconoce la R_4 puede encontrarse su valor como :

$$R_4 = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2}$$

Esto indica que cuando R_1 , R_2 y R_3 , poseen los valores adecuados para satisfacer esta ecuación, la corriente en el instrumento resulta nula, a pesar que las corrientes en las cuatro resistencias pueden ser considerablemente intensas. Por ello, un instrumento muy sensible (μA), indicará entonces corriente nula cuando el puente se encuentre en equilibrio, pero será recorrido por una corriente de efecto muy visible apenas el puente se encuentre ligeramente desequilibrado. Por otro lado, se debe tener en cuenta, que la corriente de desequilibrio puede tener cualquiera de los dos sentidos, de acuerdo al mayor potencial del nodo b o d. Por ello en este circuito es necesario colocar por un lado un instrumento de medida con cero al centro. Esta técnica, en la actualidad ya no se utiliza, puesto que en los puentes recientes la fuente es de C.A., con lo cual el instrumento de cero es un voltímetro para C.A. y es innecesario que tenga cero al centro.

En la actualidad, los puentes de medición incorporan tecnologías muy modernas y la operación de los mismos es muy sencilla, lográndose precisiones mejores que el 0,5%.

3.13.3 Puente para C.A.

Para la medición de componentes reactivos, tales como inductores y capacitores, se alimenta el puente con una fuente de C.A. armónica. A tal efecto, se han desarrollado una variedad muy importante de circuitos que tienen en cuenta la resistencia de la inductancia y las pérdidas del capacitor para la medición. Una primera aproximación, retomando las figuras 3.27 es la representada en la figura 3.28 en las cuales Z representa tanto a la reactancia de las inductancias como de los capacitores.

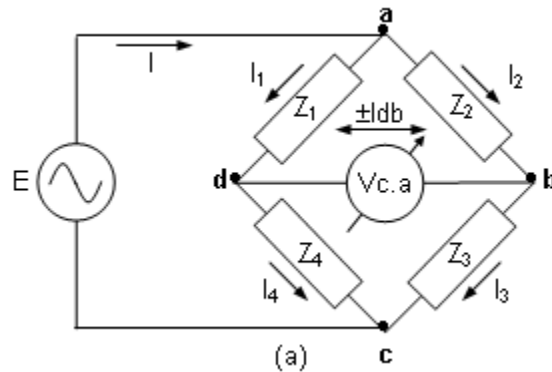


Fig. 3.28

En los esquemas anteriores no se han tenido en cuenta la resistencia asociada a la inductancia. Téngase en cuenta que un inductor real es una inductancia ideal en serie con una resistencia, equivalente esta última a la del conductor con que está construida, figura 3.29 (a). Adviértase que en ella se produce una potencia indeseable, equivalente a $R_L I_L^2$, que se conoce como pérdidas (de potencia); y cuando la misma es cero, se está en presencia de una inductancia ideal.

Por otro lado, también los capacitores no son componentes ideales, ya que su dieléctrico no es un aislante perfecto. Por ello se considera que se produce una circulación de corriente a través de él, y por consiguiente, se puede esquematizar como un capacitor ideal en paralelo con una resistencia. La corriente circulante por ella, produce una potencia que se conoce como pérdidas del capacitor, figura 3.29 (b₁).

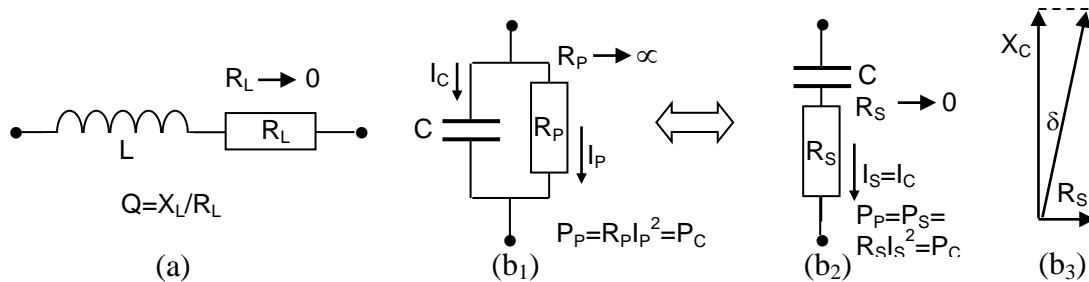


Fig. 3.29

El valor de esta resistencia será más elevado mientras mejor sea el dieléctrico, adquiriendo el valor infinito para un dieléctrico perfecto. También se puede conectar una resistencia en serie con el capacitor, que produzca la misma pérdida de potencia que con R_P , figura 3.29 (b₂). En este caso, el valor de R_S , en cuanto a las pérdidas, es aproximadamente inverso a R_P : $R_P \approx 1/R_S$. Todo ello se ha representado en las figuras 3.29 (b₁ y b₂).

Cabe consignar que para tener en cuenta las pérdidas de la inductancia, se introduce al factor Q como representante de ellas. Se determina como el cociente entre la reactancia inductiva, X_L sobre la resistencia del conductor R_L , siendo su valor adimensional: $Q = X_L/R_L$.

En cuanto a las pérdidas del capacitor, las mismas se determinan por la tangente delta: $\text{tang } \delta$, equivalente al cociente entre R_S y la reactancia capacitiva: $\text{tg } \delta = R_S / X_C$

3.13.3.1 Consideración de la pérdida en los puentes

Tal como se expresó en párrafos anteriores y teniendo en los esquemas de la figura 3.28, en ellos no se tuvo en cuenta las pérdidas, tanto en los inductores como en los capacitores. Esas configuraciones, solamente permiten encontrar los valores de L y de C sin sus pérdidas, (Q y $\text{tg } \delta$). Para ello, se han desarrollado algunos circuitos que permiten encontrar los valores de Q y $\text{tg } \delta$. El más utilizado es el puente de Sauty, que también se suele llamar: comparador de impedancias. El nombre deriva de que se pueden realizar en el mismo, la determinación de L, C y sus resistencias asociadas.

Los esquemas para este puente, tanto para inductancias como para capacitores, se exponen en la figura 3.30.

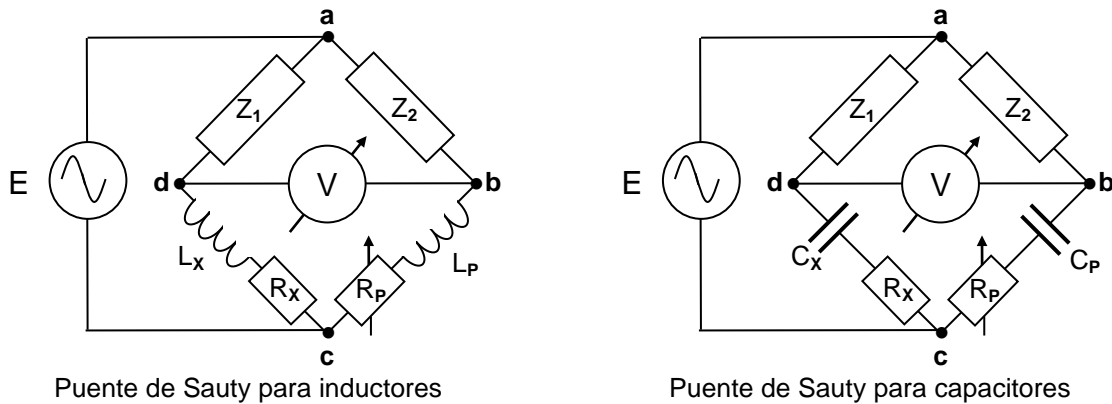


Fig. 3.30

En el primer puente comparador de impedancias para inductancias, el equilibrio se produce cuando:

$$Z_1 \cdot Z_P = Z_2 \cdot Z_X \quad (1)$$

Colocando las impedancias en forma compleja, se escribe:

$$Z_1 = R_1 + j 0 \quad Z_2 = R_2 + j 0 \quad Z_P = R_P + j X_P \quad Z_X = R_X + j X_X$$

Siendo: $X_P = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_P$ $X_X = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_X$

Cuando se equilibra el puente en su parte real e imaginaria se obtiene de la expresión (1):

$$Z_1 \cdot Z_P = Z_2 \cdot Z_X$$

$$(R_1 + j 0) \cdot (R_P + j X_P) = (R_2 + j 0) \cdot (R_X + j X_X)$$

Operando queda:

$$R_1 \cdot R_P + j R_1 X_P = R_2 \cdot R_X + j R_2 X_X$$

Igualando las partes reales e imaginarias se logra:

$$R_1 \cdot R_P = R_2 \cdot R_X$$

$$R_1 \cdot X_P = R_2 \cdot X_X$$

En Donde: $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_P}{R_X}$ $\frac{R_2}{R_1} = \frac{X_P}{X_X}$

Según estas dos igualdades resulta que:

$$\frac{R_P}{R_X} = \frac{X_P}{X_X} \quad \longrightarrow \quad \frac{X_P}{R_P} = \frac{X_X}{R_X} = Q$$

Que escrito de otra forma resulta el Q , de la inductancia desconocida.

La operación del puente es la siguiente: primero se equilibra con R₁ y R₂ que en realidad es un potenciómetro, y en forma conjunta con R_L, para el menor valor que se obtenga sobre el voltímetro. Así se obtienen el valor de L_X y el de Q de la misma. (L_X con R₁,R₂ y Q con R_P). Recuerde que el Q indica las pérdidas de la inductancia desconocida. El valor de Q se logra en un dial más pequeño.

En el segundo puente, se obtiene el valor de una capacidad desconocida C_X en función de una conocida C_P. Para el análisis téngase en cuenta que:

$$X_X = \frac{1}{2 \pi f C_X} \quad \text{reactancia del condensador desconocido y} \quad X_P = \frac{1}{2 \pi f C_P}$$

reactancia del condensador patrón.

Equilibrando el puente, se obtiene: $R_1 \cdot (R_P - j X_P) = R_2 \cdot (R_X - j X_X)$

$$R_1 \cdot R_P - j R_1 \cdot X_P = R_2 \cdot R_X - j R_2 \cdot X_X$$

Igualando partes reales e imaginarias(semejante al caso anterior) queda:

$$R_1 \cdot R_P = R_2 \cdot R_X \qquad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_X}{R_P}$$

Por otro lado:

$$R_1 \cdot X_P = R_2 \cdot X_X \qquad \frac{R_1}{R_2} = \frac{X_X}{X_P}$$

Según estas dos igualdades resulta que:

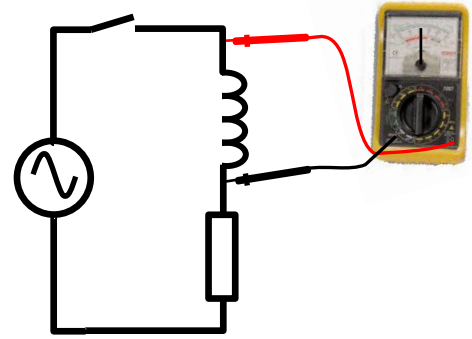
$$\frac{R_X}{R_P} = \frac{X_X}{X_P} \quad \longrightarrow \quad \frac{R_X}{X_X} = \frac{R_P}{X_P} = \tan \delta$$

Note que en cada caso, el cociente entre la resistencia serie y la reactancia indica las pérdidas del condensador. En los puentes, estas pérdidas se obtienen al igual que el Q de las bobinas, en un dial más chico que el de la terminación del valor de C_X . Cuando el condensador no tiene pérdidas, el valor de la $\tan \delta$ es cero. También, el equilibrio perfecto se logra cuando se ajustan para la menor tensión las resistencias R_1 y R_2 (que es un potenciómetro) y el potenciómetro R_P .

3.13.3.2 Otros métodos para medir inductancias y capacitores.

Existen otros métodos indirectos para la medición de L y C pero aproximados. Uno de ellos es determinando las caídas de tensión que se producen en las reactancias, tanto capacitivas como inductivas.

Previamente, es la resistencia R_L de la inductancia desconocida. Con un multímetro común, en su función como óhmetro se puede medir dicho valor.



En la figura 3.31 se esquematiza un circuito para medir por ejemplo, el valor de una inductancia.

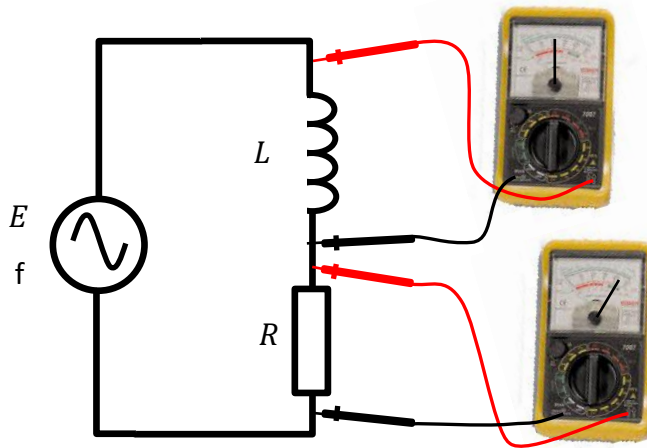


Fig 3.31

El valor de la corriente por el circuito se encuentra midiendo la caída de tensión en la resistencia.

$$I = \frac{V_R}{R}$$

Luego aplicando ley de Ohm se calcula el valor de la impedancia del circuito teniendo en cuenta al valor de la resistencia de la bobina medida anteriormente

$$Z = \frac{E}{I} = \sqrt{(R_L + R)^2 + X_L^2}$$

De donde sale despejando $X_L = \sqrt{Z^2 - (R_L + R)^2}$

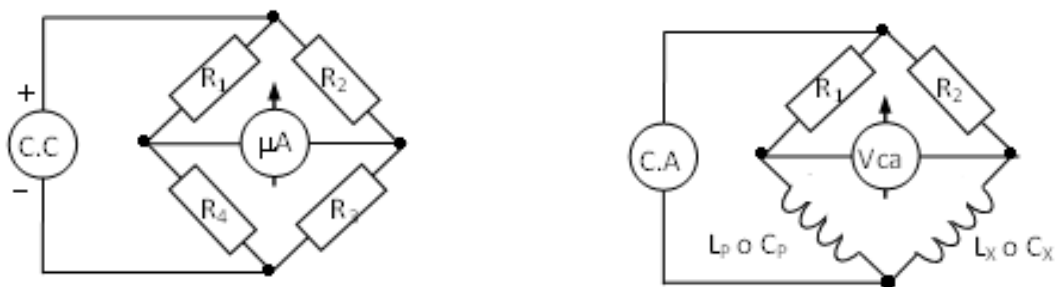
Luego sabiendo que : $X_L = 2 \pi f L$ se llega a :

$$L = \frac{X_L}{2 \pi f}$$

Para el caso de la determinación de la corriente y dado que es difícil poseer un miliamperímetro de C.A., resulta mucho más conveniente medir la caída de tensión en un resistor de valor conocido R y preciso. Posteriormente, midiendo la caída de potencial la bobina se obtiene el valor de L. La frecuencia del generador de C.A.

3.13.3.3 Resumen

La medición de componentes lineales tales como inductancias y capacitores, no se puede realizar con un multímetro analógico. Por ello, existen otras técnicas para la medición de esos elementos. Una de las más comunes es el puente de C.A. Este instrumento tiene su aplicación inicial en la medición de resistencias, para lo cual se utilizó el puente alimentado con C.C. denominado de Wheastone. El mismo es una malla con cuatro resistencias, R_1 , R_2 , R_3 y R_4 formando un rombo.



Entre dos puntos opuestos del rombo se conecta la fuente C.C. y en los otros dos puntos opuestos, un microamperímetro. Cuando los valores de las resistencias cruzadas son iguales, se dice que el puente está en equilibrio. Por ello, conociendo a tres de las mismas se puede encontrar el valor de la cuarta. Si ahora, se alimenta a este dispositivo con C.A., se encuentra que se pueden

medir elementos reactivos tales como inductancias y capacitores. Estos puentes los reciben nombres de sus creadores tales como: puente de Sauty.

3.13.4 Preguntas de autoevaluación

- 33) ¿Cómo está construido un puente de Wheastone? ¿Para qué se utiliza?
- 34) ¿De qué depende la exactitud de las mediciones que se realizan con un puente de Wheastone?
- 35) ¿Cuándo se está midiendo con un puente de Wheastone cuál es la condición fundamental que se tiene que conseguir? ¿Para qué se hace esto?
- 36) ¿Cuál es la condición que se cumplen con las resistencias cuando el puente de Wheastone está en equilibrio? Realice un gráfico indicado el nombre de las resistencias.
- 37) ¿En que influye la fuente de alimentación cuando se utiliza un puente de Wheastone para calcular el valor de una resistencia?
- 38) ¿Qué características tiene que tener el instrumento que censa la corriente en un puente Wheastone? ¿Por qué?

3.8 Bibliografía

[1] Knowlton, A. E.; "Manual Estándar del Ingeniero Electricista"; Editorial LABOR; 1956.

[2] Pueyo, Héctor, Marco, Carlos y QUEIRO, Santiago; "Circuitos Eléctricos: Análisis de Modelos Circuitales 3ra Ed. Tomo 1"; Editorial Alfaomega ; 2009.

[3] Pueyo, Héctor, Marco, Carlos y QUEIRO, Santiago; "Circuitos Eléctricos: Análisis de Modelos Circuitales 3ra Ed. Tomo 2"; Editorial Alfaomega ; 2011.

[4] Terman, Frederick E.; "Ingeniería en Radio"; Editorial ARBÓ; 1952.

[5] PACKMAN, Emilio; "Mediciones Eléctricas"; Editorial ARBO; 1972.

[6] CASTEJÓN, Agustín y SANTAMARIA, Germán; "Tecnología Eléctrica"-
Editorial Mc GRAW HILL; 1993.

[7] SANJURJO NAVARRO, Rafael; "Maquinas Eléctricas"; Editorial Mc GRAW
HILL; 1989.

[8] POLIMENI, Héctor G.; "Documentos de Cátedra"; 2009.