

UNIVERSITAT POLITECNICA de CATALUNYA
DEPARTAMENT de FISICA i ENGINYERIA NUCLEAR
ESCOLA TECNICA SUPERIOR d'ENGINYERS INDUSTRIALS de TERRASSA

PRÀCTIQUES D'ELECTRICITAT I MAGNETISME

Setembre de 2002

LISTA DE PRÁCTICAS

0. LA MEDICION EN ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO	3
1. RESISTENCIA INTERNA DE UN VOLTIMETRO. REGLAS DE KIRCHHOFF	19
2. PUENTE DE SAUTY. MEDIDA DE CAPACIDADES	23
3. LEY DE BIOT Y SAVART	27
4. CARACTERISTICAS DE UN CIRCUITO RCL SERIE	31
5. DESCARGA DE UN CONDENSADOR	35
6. LEY DE OHM. REGLAS DE KIRCHHOFF	39
7. PUENTE DE WHEATSTONE. MEDIDA DE RESISTENCIAS	43
8. CAMPO MAGNETICO CREADO POR UNA ESPIRA	47
9. FACTOR DE POTENCIA. RESONANCIA EN PARALELO	51
10. BALANZA DE CORRIENTE	55

0. LA MEDICION EN ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

1. Introducción

Antes de la ejecución práctica de una medición en un sistema eléctrico o magnético, hemos de tener en cuenta que la medida implica siempre una **comparación** con el correspondiente patrón, establecido para definir físicamente la magnitud a medir. Los resultados nunca se podrán obtener con una precisión mayor que la correspondiente al patrón de comparación, pues tanto el método como el proceso de ejecución material de la medida llevan inherentes ciertas causas de error que limitan la exactitud que se puede obtener.

Previamente a la realización de mediciones, deberemos seguir una serie de pautas que nos ayudarán a conseguir mejor nuestro objetivo:

1. Hay que partir del mínimo de exactitud exigida en cada caso (dependiendo de los medios disponibles) y elegir el método adecuado, llevando a cabo el procedimiento con meticulosidad y pensando en todas las operaciones.
2. Se ha de anotar el esquema de conexiones, los datos de todos los aparatos de medida empleados, las diferentes lecturas y, para los aparatos que contienen diferentes campos de medida (como el multímetro), el campo en que se trabaja.
3. Es conveniente efectuar, de manera aproximada, una estimación previa de los resultados, ya que los defectos de conexiones o de razonamiento se descubren ya con esta valoración previa (por ejemplo, no se pueden obtener rendimientos superiores al 100 %).
4. No existe una seguridad absoluta para el manejo de los aparatos de medidas eléctricas; sólo un extremo cuidado al efectuar las conexiones y una estimación previa de las cargas esperadas evitarán daños en estos sensibles aparatos. En los aparatos de varias escalas de medida (como el multímetro) habrá que empezar siempre con la posición correspondiente a la escala de fondo mayor, y siempre, antes de guardarlo, dejarlo conectado a dicha escala.

2. Componentes de los circuitos eléctricos

Por muy complejos que sean los circuitos eléctricos, están fabricados a base de componentes relativamente sencillos. El esquema de la Figura 1 contiene la mayoría de los elementos más comunes, junto con su representación simbólica usual. A continuación analizaremos en detalle algunos de estos componentes.

2.1. Fuentes de energía

Se dividen en fuentes de corriente continua (c.c.) y de corriente alterna (c.a.).

a) **Corriente continua (c.c.):** se obtiene mediante motores generadores, bancos de baterías o fuentes de energía continuas de estado sólido. Para potenciales pequeños lo más común es la pila seca de 1.5 V. Si se requieren potenciales muy estables se usan fuentes de energía continua controladas electrónicamente (fuentes de tensión regulada, por ejemplo).

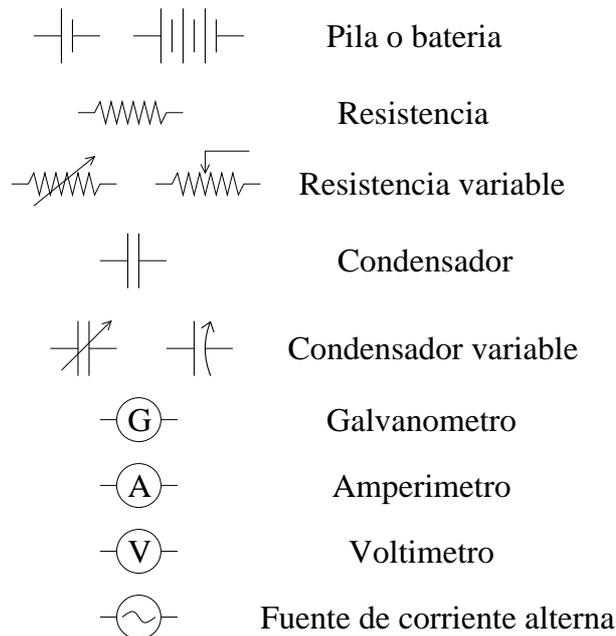


Figura 1. Componentes eléctricos

b) **Corriente alterna (c.a.):** generalmente se obtiene de la red, que usualmente suministra una tensión de 220 V. Cuando se necesitan potenciales mayores o menores se pueden usar transformadores para disminuir o aumentar el voltaje. Mayoritariamente los potenciales de línea tienen una frecuencia de 50 Hz. Para mayores frecuencias se han de utilizar osciladores controlados electrónicamente.

2.2. Resistencias

Las resistencias pueden dividirse en fijas y variables. En los siguientes apartados describiremos ambos tipos de componentes.

Resistencias fijas

Suelen tener valores que oscilan entre 1 Ω varios millones de Ω . Según su valor, se fabrican de forma diferente:

- ★ Resistencias bajas (de uno a varios miles de Ω): son a menudo de alambre, particularmente si por ellas debe circular una corriente elevada.
- ★ Resistencias medias (de 200 Ω a decenas de $M\Omega$): se fabrican a partir de una composición de arcilla y carbón, dependiendo la resistencia más de la proporción de carbón que de las dimensiones del dispositivo.
- ★ Resistencias muy altas (del orden de centenas de $M\Omega$), se fabrican depositando una capa fina de metal o carbón en una fibra de vidrio.

Color	Cif. Signific.	Multiplíc.
Negro	0	10^0
Marrón	1	10^1
Rojo	2	10^2
Naranja	3	10^3
Amarillo	4	10^4
Verde	5	10^5
Azul	6	10^6
Violeta	7	10^7
Gris	8	10^8
Blanco	9	10^9

Y según la última franja, la tolerancia viene dada por:

Color	Tolerancia
Oro	5 %
Plata	10 %
sin color	20 %

Ejemplo: supongamos una resistencia con el siguiente aspecto

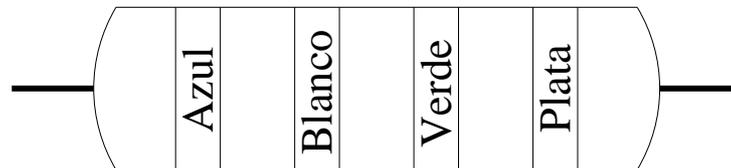


Figura 2. Resistencia ejemplo

Para hallar su valor numérico procedemos de la siguiente manera. En primer lugar hacemos la siguiente asociación:

<u>Azul</u>	<u>Blanco</u>	<u>Verde</u>	<u>Plata</u>
6	9	100.000	10 %

Por tanto, la resistencia valdría $69 * 100.000 = 6.9 \text{ M}\Omega$, siendo la tolerancia de este valor del 10 %. ■

Por otro lado, las resistencias bobinadas de gran disipación no suelen estar codificadas con colores, pero tienen el valor de la resistencia impreso en su cuerpo. Cabe comentar por último que los resistores comerciales pueden presentarse de dos formas:

- ★ De cuerpo marrón — son aislados.
- ★ De cuerpo negro — no son aislados.

NOTA: Es importante recordar las siguientes notaciones, que se emplean usualmente para escribir los valores de las resistencias:

k, multiplicador equivalente a 1,000

M, multiplicador equivalente a 1,000,000

Por ejemplo:

$33\text{ k}\Omega$ es equivalente a $33,000\ \Omega = 33 \cdot 10^3\ \Omega$

$1,2\text{ M}\Omega$ es equivalente a $1,200,000\ \Omega = 1,2 \cdot 10^6\ \Omega$

Resistencias variables

Las hay de tres tipos, el reóstato, el potenciómetro y la caja de resistencias.

Reóstato. Es un dispositivo de dos terminales (A y B), tal y como se muestra en la Figura 3. La flecha representa un medio mecánico de ajuste del reóstato, de manera que la resistencia medida entre sus dos terminales (A y B) pueda ajustarse a un valor intermedio entre un valor máximo y un mínimo. Un reóstato tiene un valor máximo de resistencia especificado por el fabricante y un valor mínimo que teóricamente es de $0\ \Omega$.

Potenciómetro. Es un dispositivo de tres terminales (A, B y C), mostrado en la Figura 4. La resistencia entre los puntos A y B es fija y define el tipo de dispositivo. Por ejemplo, si la resistencia entre A y B es de $10\text{ k}\Omega$ se dice que se trata de un potenciómetro de $10\text{ k}\Omega$. El punto C corresponde al cursor (brazo variable) del potenciómetro, y consiste en un contacto de metal que se desliza a lo largo de la resistencia AB dando lugar diferentes longitudes de superficie resistiva. Como la resistencia de un elemento es proporcional a su longitud, a mayor distancia entre A y C mayor será la resistencia entre ambos puntos, y menor la existente entre B y C:

$$R_{AC} + R_{BC} = R_{AB} \quad (1)$$

Por tanto, la acción del cursor es la de aumentar la resistencia entre él (terminal C) y uno de los terminales exteriores, con lo que al mismo tiempo disminuye la resistencia entre el cursor y el otro terminal exterior. Un ejemplo bien conocido de potenciómetro es el control de volumen de un receptor de radio.



Figura 3. Reóstato

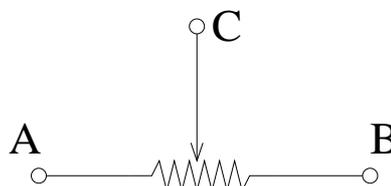


Figura 4. Potenciómetro

Podemos a su vez convertir un potenciómetro en un reóstato. Para hay ello, hay dos formas de proceder:

1. Conectar al circuito el cursor y uno de sus terminales, dejando libre el otro.

2. Cortocircuitar el cursor y uno de los terminales exteriores (es decir, conectarlos mediante un hilo de conexión, con lo que pasan a ser eléctricamente idénticos, al encontrarse sometidos a igual potencial).

Cajas de resistencias. Se trata de cajas de conexiones que contienen una serie de resistencias de precisión conectadas entre barras pesadas de un material conductor (usualmente latón). Estas barras pueden conectarse entre sí mediante contactos metálicos móviles que cortocircuitan las resistencias. De esta forma, la resistencia total del circuito es igual a la suma de las resistencias de los lugares donde se quitaron los contactos.

Para asegurar un buen contacto eléctrico, deben atornillarse los contactos en el sentido de las manecillas de reloj, sin excesiva presión; recordemos que son éstos los que establecen la continuidad con el circuito al ser atornillados.

En estas cajas la corriente debe ser siempre menor que la máxima indicada por el fabricante. Una sobrecarga puede variar para siempre los valores de las resistencias.

2.3. Condensadores

Se podría decir que los condensadores constituyen unos de los componentes más importantes de los circuitos. Consisten en un conjunto de dos conductores (armaduras) separados por un dieléctrico, que pueden almacenar una cierta cantidad de carga (y, por tanto, energía en forma de campo eléctrico), cuando existe una diferencia de potencial entre ellos. Podemos establecer una clasificación entre condensadores fijos y variables.

Condensadores fijos

Es conveniente que los condensadores cumplan una serie de características, entre las que destacan:

- Sus propiedades han de ser lo menos dependientes posibles de la temperatura.
- Han de resistir cambios en la frecuencia de operación de la corriente a que se les somete.
- Han de soportar grandes diferencias de tensión entre sus armaduras.
- Han de ser compactos.

Para ello se suelen construir a partir de hojas de metal delgadas colocadas tan cerca como sea posible, y separadas por capas de mica, papel parafinado o cerámica. Estos materiales, que actúan de dieléctricos, proporcionan el carácter compacto. En el caso de diferencias de tensión altas, sin embargo, se suelen utilizar armaduras planas paralelas o bien electrodos cilíndricos concéntricos separados por aire.

Al igual que ocurre con las resistencias, el valor de la capacidad de un condensador suele venir dado por el fabricante (en pF) mediante un código de colores. Los símbolos usados para los colores son los mismos que en el caso de las resistencias (ver tabla correspondiente), pero ahora la presentación es diferente, y depende del tipo de condensador con que nos encontremos. En el caso de los condensadores de mica, por ejemplo, los colores se presentan mediante puntos que, siguiendo el sentido de las agujas de un reloj, denotan las dos primeras cifras significativas, el multiplicador y la tolerancia. En los condensadores de cerámica, por otro lado, se presentan franjas como en las resistencias, pero ahora

con una quinta franja a la izquierda que indica el coeficiente de temperatura del condensador (ritmo de variación de su capacidad con la temperatura).

NOTA: Es importante recordar las siguientes notaciones, que se emplean usualmente para escribir los valores de las capacidades de un condensador:

μ , multiplicador equivalente a 10^{-6}

n , multiplicador equivalente a 10^{-9}

p , multiplicador equivalente a 10^{-12}

Por ejemplo:

$5 \mu F$ es equivalente a $5 \cdot 10^{-6} F$

$2 pF$ es equivalente a $2 \cdot 10^{-12} F$

Condensadores variables

Se utilizan usualmente, por ejemplo, para sintonizar equipos de radio. Constan de un conjunto de placas metálicas paralelas aproximadamente semicirculares colocadas entre otro conjunto similar, y montadas todas sobre un mismo eje común. Haciendo girar el eje, el primer conjunto de placas se mueve hacia dentro o hacia fuera del segundo, de manera que varía el área enfrentada de las placas, con lo cual varía también la capacidad.

Para una mayor precisión, se han de utilizar sin embargo cajas de condensadores, que constan de un conjunto de condensadores asociados que se pueden conectar de varias maneras a los terminales del elemento, por lo que se puede variar la capacidad total de éste. Consideremos, por ejemplo, la caja de condensadores mostrada en la Figura 5, formada por cinco condensadores de precisión de mica de $1 \mu F$ de capacidad, situados de forma que entre cada par de ellos se coloca una barra corta de metal pesado. Las líneas discontinuas indican las diferentes conexiones que pueden hacerse (las continuas indican, como siempre, conexiones permanentes).

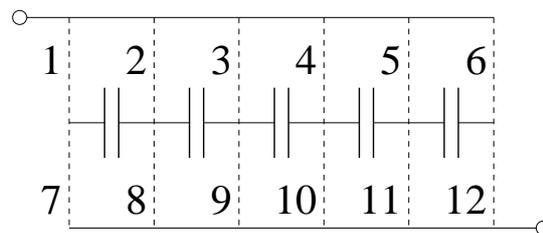


Figura 5. Caja de condensadores

Las conexiones pueden ser en serie o en paralelo. Si establecemos por ejemplo conexiones en los puntos 1 y 9, se tienen dos de los condensadores individuales en serie, con una capacidad total C_{TOT} dada por:

$$\frac{1}{C_{TOT}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}, \quad (2)$$

con lo que la capacidad total entre los terminales de la caja es de $0,5 \mu F$.

Para obtener una capacidad total de $2 \mu F$, se pueden colocar las conexiones en los puntos 2, 4 y 9, con lo que entre los terminales del elemento hay una asociación de dos condensadores de $1 \mu F$ en

paralelo, con una capacidad equivalente de:

$$C_{\text{TOT}} = C_1 + C_2 = 2\mu F. \quad (3)$$

Es importante notar que, en este elemento, hay que asegurarse de no colocar en cortocircuito los condensadores mediante la activación de dos conexiones contiguas (por ejemplo, 1 y 7, 4 y 10, etc.).

2.4. Inductancias

También llamadas bobinas o solenoides, se construyen a partir de un hilo de alambre enrollado en forma de bobina, en la cual se introduce un núcleo de aire o de material magnético, tal como acero, hierro o un conglomerado de partículas ferromagnéticas. Este tipo de sistema es capaz de almacenar en su interior energía en forma de campo magnético. Un ejemplo común de inductancia ordinaria lo constituyen los transformadores. La mayoría de las bobinas que se usan en el laboratorio tienen un valor fijo de inductancia, que depende de la geometría de la bobina, del número de vueltas del alambre y del material del interior del núcleo.

Existen también elementos de inductancia variable, que en general se construyen a partir de dos bobinas conectadas en serie, cuya inductancia se hace variar girando una de las bobinas respecto de la otra.

3. Aparatos de medida

Amperímetros, voltímetros y óhmetros son dispositivos que miden la intensidad de la corriente, la diferencia de potencial y la resistencia, respectivamente. Pero existe también el multímetro, que agrupa en un sólo aparato a los tres anteriores, conectándolo de forma diferente según el uso.

Estos aparatos tienen en común un componente principal llamado **galvanómetro**, que es un dispositivo que detecta pequeñas corrientes. El galvanómetro se fabrica de manera que la lectura en la escala graduada sea proporcional a la corriente que lo atraviesa. Hay que destacar dos características importantes en lo que se refiere a su uso como amperímetro o como voltímetro, que son:

- la resistencia del galvanómetro R_g .
- la corriente necesaria para producir una desviación máxima correspondiente a toda la escala de la intensidad del galvanómetro I_g .

Valores típicos de estos parámetros pueden ser $R_g = 20 \Omega$ y $I_g = 0,5 \text{ mA}$. Para un galvanómetro con estos parámetros, la caída de potencial a su través para una desviación en el fondo de la escala es, según la ley de Ohm:

$$V = I_g R_g = 10^{-2} V. \quad (4)$$

Un galvanómetro se compone de (ver Figura 6):

- Una **bobina** de alambre conductor, colocada de tal manera que puede girar libremente bajo la acción del campo magnético creado por un **imán permanente**.

- Una **aguja indicadora** que, al estar unida a la bobina, puede girar con ella. Al estar situada la bobina dentro de un campo magnético, y al circular corriente por ella, experimenta un par de fuerzas proporcional a la corriente que circula, por lo que gira hasta que se ve equilibrada por el par restaurador proporcionado por la suspensión mecánica de la bobina (el **muelle**). Puesto que el momento restaurador del muelle es proporcional al ángulo de rotación de la bobina, el ángulo de equilibrio de la rotación será proporcional a la corriente que circula. Deducimos por ello que, calibrando adecuadamente la escala, la posición de la aguja indicadora señalará las intensidades y diferencias de potencial proporcionales a ella (utilizando la ley de Ohm).

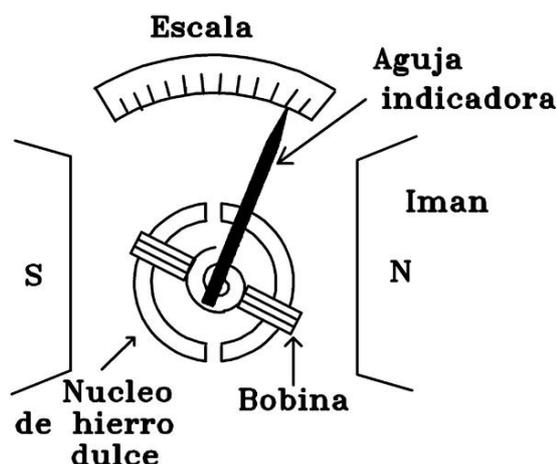


Figura 6. Estructura de un galvanómetro

La aguja indicadora girará en el sentido en que la corriente recorra la bobina. Por tanto, si queremos que dicha aguja gire de acuerdo con el sentido creciente de la escala, tendremos que conectar el galvanómetro de modo que la corriente circule en el sentido adecuado. Para ello es útil distinguir los **polos** en los aparatos eléctricos. Se elige el siguiente convenio:

Polo rojo: positivo	Polo negro: negativo
----------------------------	-----------------------------

La corriente siempre ha de circular del polo positivo al negativo; de este modo la aguja indicadora del galvanómetro girará en el sentido creciente de la escala del aparato. Estudiaremos a continuación en detalle cada uno de los aparatos de medida basados en el galvanómetro.

3.1. Amperímetro

Partiendo de un galvanómetro y colocando en paralelo una **resistencia de desviación** (resistencia mucho más pequeña que la que posee el galvanómetro), podemos construir un amperímetro. Esto se muestra en la Figura 7, donde R_g representa la resistencia interna del galvanómetro, y R_d la resistencia de desviación.

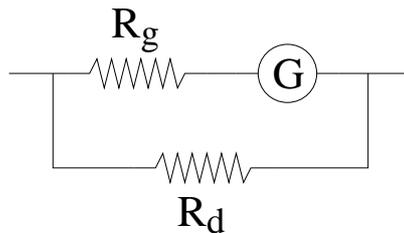


Figura 7. Esquema de un amperímetro

Debido a que $R_d \ll R_g$, la mayor parte de la corriente circula por la resistencia de desviación R_d , con lo cual la resistencia equivalente del amperímetro es mucho más pequeña que la del galvanómetro, y aproximadamente igual a la resistencia de desviación R_d .

Es importantísimo que el amperímetro posea una resistencia interna r pequeña (en comparación con la resistencia del circuito cuya intensidad nos interesa medir). De no ser así, al introducir el amperímetro en el circuito, la intensidad que pasa por el mismo se modificaría. De acuerdo con la Figura 8, aplicando la ley de Ohm se obtiene la siguiente expresión para la intensidad medida por el amperímetro:

$$I = \frac{V}{R + r}, \quad (5)$$

con lo que, para r tendiendo a 0, se recupera el resultado correspondiente a la ausencia del amperímetro (circuito original).

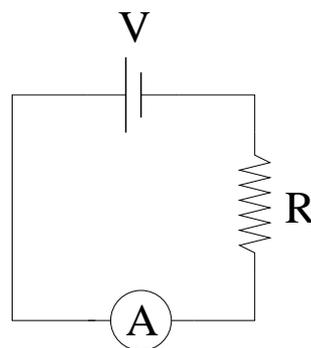


Figura 8. Medida de corriente

Para la correcta utilización del amperímetro como instrumento de medida de corriente, hemos de tener en cuenta los siguientes puntos básicos:

- Recordemos que el Amperio (A) es la unidad de corriente. Las medidas que suelen emplearse con más frecuencia son:

- miliamperio (mA) — milésima parte de un amperio ($\times 10^{-3}$)
 - microamperio (μA) — millonésima parte de un amperio ($\times 10^{-6}$)
- El amperímetro siempre debe conectarse en serie.
 - Nunca debe conectarse un amperímetro directamente a una fuente de tensión.
 - Para protegerlo de sobrecargas, cuando se intercala un amperímetro en un circuito siempre deberá colocarse en su escala más alta.
 - Al conectar el amperímetro en serie con el circuito hemos de tener en cuenta la polaridad. El cable de medida común (negativo) debe conectarse al punto negativo (más cercano al electrodo negativo de la fuente) del circuito. El cable vivo (positivo) se conecta al punto más positivo del circuito.
 - Cuando el amperímetro se conecta de forma adecuada la aguja se mueve de izquierda a derecha. Si lo hace en sentido contrario es que los cables están invertidos.
 - Circuito en serie implica que la corriente es igual en todos los puntos, con lo cual no importa donde se corte el circuito para incorporar el aparato.

3.2. Voltímetro

Es un galvanómetro al que se conecta en serie una resistencia grande R_s , para que así la resistencia equivalente del voltímetro sea muchísimo más grande que la del galvanómetro (ver Figura 9). De este modo, como veremos a continuación, la diferencia de potencial que se quiere medir no se ve afectada por la propia presencia del voltímetro en el circuito. La Figura 10 muestra el esquema de un circuito simple al que se ha incorporado un voltímetro.



Figura 9. Esquema de un voltímetro

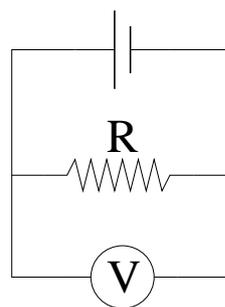


Figura 10. Medida de tensión

Así pues, para medir la diferencia de potencial entre los extremos de una resistencia se coloca el voltímetro en paralelo con ella, para que de este modo los extremos del voltímetro y los de la resistencia coincidan.

Vamos a comprobar que la diferencia de potencial es la misma cuando el voltímetro está conectado y cuando no lo está. Sea r la resistencia interna del voltímetro. Supongamos que la fuente de energía (c.c.)

de la Figura 10 es una *fente de corriente*, esto es, que proporciona un valor constante de intensidad de corriente (no de tensión). En ausencia del voltímetro, la caída de tensión entre los extremos de la resistencia viene dada simplemente por la ley de Ohm:

$$V = IR \quad (6)$$

En presencia del voltímetro, la resistencia total que “ve” la fuente viene dada por la ley de asociación de resistencias:

$$\frac{1}{R_{\text{TOT}}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{r} \quad (7)$$

y la caída de tensión entre los extremos de la resistencia (la medida por el voltímetro) es ahora:

$$V = IR_{\text{TOT}} \quad (8)$$

Para que las mediciones no se vean afectadas por la presencia del propio aparato de medida, interesa que el voltímetro no tome parte de la corriente del circuito. Para ello, la resistencia interna del voltímetro ha de ser muy grande. De hecho, en el límite en que r tiende a infinito, según (7), $R_{\text{TOT}} = R$ y (6) y (8) dan lugar al mismo valor de la tensión, que es lo que se pretende, ya que en este caso la diferencia de potencial es la misma tanto si el voltímetro está conectado como si no.

En la actualidad se emplean dos tipos de voltímetros: el analógico (una aguja indica la tensión sobre una escala calibrada) y el digital (que posee un visualizador numérico). La precisión de este último es mucho mayor.

3.3. Ohmímetro

Consisten en una batería conectada en serie (Figura 11) con un galvanómetro y una resistencia R_s escogida de tal forma que la desviación a fondo de escala se produce cuando cortocircuitamos los puntos a y b (los unimos entre ellos), de manera que no haya resistencia entre ellos. En este caso, la corriente a través del galvanómetro es I_g , y corresponde a la corriente mínima para la cual el galvanómetro presenta una desviación a fondo de escala (correspondiente a la ausencia de resistencia entre los terminales a y b). Por otro lado, una desviación nula indica una resistencia infinita entre los terminales.

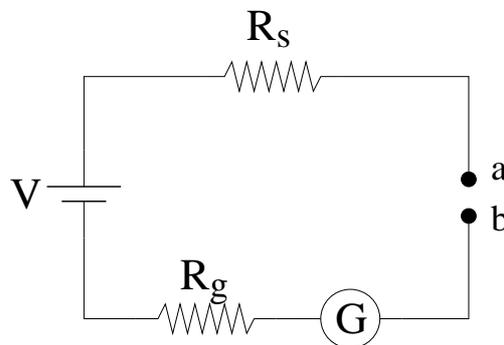


Figura 11. Esquema de un ohmímetro

Cuando conectamos los terminales con una resistencia incógnita R , la corriente a través del galvanómetro es más pequeña que I_g :

$$I = \frac{V}{R + R_s + R_g} \quad (9)$$

La corriente depende de R , luego podemos calibrar la escala para tener una medida directa de R . Hay que tener en cuenta que en este caso, contrariamente al del amperímetro y el voltímetro estudiados anteriormente, la escala no es lineal.

El ohmímetro no es un instrumento de gran precisión, pues ésta depende de lo constante que sea la fem de la batería. No obstante, es de gran ayuda para la determinación rápida y aproximada de una resistencia desconocida.

3.4. Multímetros

Son aparatos que en una sola unidad, que contiene las escalas, combinan amperímetro, voltímetro y ohmímetro, siendo válidos tanto para corriente alterna como para continua. Según su mecanismo de funcionamiento, los multímetros pueden clasificarse en:

- Multímetros **electrónicos**, basados como su nombre indica en dispositivos electrónicos. Ejemplos de multímetros electrónicos son el *voltímetro a válvulas*, que emplea tubos de vacío, y el *voltímetro transistorizado*, más moderno y basado en transistores y otros dispositivos de estado sólido.
- Multímetros **electromecánicos**, fundamentados en el uso del galvanómetro, descrito anteriormente. Un multímetro electromecánico típico es el llamado VOM (voltímetro-ohmímetro-miliamperímetro), que puede ser analógico o digital.

El VOM consta, como acabamos de mencionar, de un galvanómetro que puede conectarse alternativamente a diferentes circuitos internos, según la magnitud que se desee medir. De este modo, de acuerdo con lo que se ha discutido en las secciones anteriores, si queremos

- ★ un amperímetro, se elige una resistencia muy pequeña.
- ★ un voltímetro, la conexión se realiza a una resistencia muy grande.

Los mandos de funcionamiento y de ajuste de un multímetro VOM incluyen:

1. Conmutador de función: selecciona la función de medida deseada, tensión, resistencia o corriente.
2. Conmutador de escala: selecciona la escala adecuada para una determinada medida.
3. Ajuste de cero: sitúa la aguja del instrumento en la indicación de cero de las escalas.
4. Ajuste de la escala de ohmios: el ajuste con el mando “ohmios” se emplea para alinear la aguja con la última marca de calibración (infinito) de la escala de resistencia.

En un VOM las escalas de tensiones y de corrientes son lineales, excepto la de resistencias que no es lineal (**escala lineal**: la distancia entre dos marcas es la misma en toda la escala).

El VOM digital tiene un funcionamiento similar al analógico. Tiene dos controles principales:

1. Un selector de función (corriente continua, corriente alterna, resistencia, tensión de c.c., tensión de c.a.). La posición OFF del conmutador corta la alimentación del aparato.
2. Un conmutador de escala.

A la hora de utilizar un multímetro, es necesario advertir que no debe circular por él más corriente de la que admite el fondo de escala, y que cuando se miden resistencias, se debe ajustar el cero de la escala antes de la medida.

4. Métodos de cero: puentes

Los métodos de medida denominados de cero ofrecen la máxima precisión y, por tanto, son los más utilizados en laboratorios y en aquellos casos en los que se requiere alta precisión. En los métodos de cero (también denominados de puente) se obtiene el valor del parámetro a determinar mediante su comparación con los valores de patrones regulables. La comparación será válida en el momento en el que el instrumento indicador acuse corriente nula en una rama determinada del circuito de medida. Esta característica hace que los resultados obtenidos por este método no se vean afectados por la calibración del instrumento indicador, y que su exactitud dependa únicamente de la sensibilidad de dicho instrumento.

Así, un puente será un dispositivo fundamentado en la reducción a cero de la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito constituido por dos ramas en paralelo. Las caídas de potencial en ambas ramas son originadas por una única fuente de potencial, de manera que los resultados de la medida serán independientes del valor de la tensión de alimentación.

Se denomina puente a un cuadripolo en el cual se ha conectado la fuente a un par de bornes y el indicador de equilibrio al otro par. La Figura 12 muestra un esquema habitual de un puente de cuatro brazos. El indicador de equilibrio (señalado con G) puede ser un instrumento de medida muy sensible, en este caso un galvanómetro.

Estos puentes consisten en cuatro impedancias Z_1 , Z_2 , Z_3 y Z_4 . La fuente de alimentación está conectada entre los puntos A y B, y el indicador de equilibrio entre los puntos C y D. El procedimiento de medida consiste en modificar uno o más parámetros del circuito hasta que la diferencia de potencial entre C y D se haga cero. En esta situación, se verifican unas relaciones entre los componentes del puente que permiten calcular una impedancia en función de las impedancias conocidas. El tipo de alimentación de los puentes permite clasificarlos en puentes de corriente continua y puentes de corriente alterna.

4.1. Puentes de corriente continua

Los puentes de corriente continua tienen resistencias en sus ramas y son utilizados para determinar resistencias desconocidas. Para la medida de resistencias de valor medio se utiliza el puente de Wheatstone; en el caso de resistencias muy pequeñas el puente Kelvin (o puente Thomson).

La Figura 13 muestra un puente de corriente continua equilibrado. Esta situación se consigue cuando no hay corriente entre los puntos C y D, lo que sucede cuando la diferencia de potencial entre estos puntos se hace cero ($U_{CD}=0$). En este caso se verifican las siguientes relaciones para las caídas de tensión:

$$U_{AC} = U_{AD} \quad \text{y} \quad U_{CB} = U_{DB} \quad (10)$$

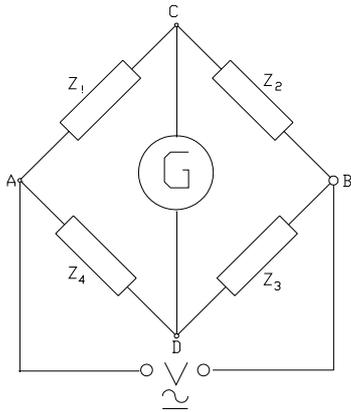


Figura 12. Puente de cuatro brazos

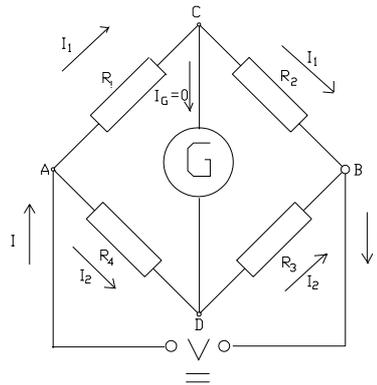


Figura 13. Puente de corriente

En el nudo A, las intensidades de corriente se distribuyen según el lema de Kirchhoff: $I = I_1 + I_2$. Consecuentemente tenemos:

$$U_{AC} = I_1 R_1; \quad U_{AD} = I_2 R_4; \quad U_{CB} = I_1 R_2 \quad \text{y} \quad U_{DB} = I_2 R_3 \quad (11)$$

Sustituyendo estas ecuaciones en las anteriores obtenemos la condición de equilibrio del puente:

$$R_1 R_3 = R_2 R_4 \quad (12)$$

La condición de equilibrio permite determinar el valor de la resistencia desconocida; si suponemos que la resistencia desconocida es R_1 , equilibrando el puente la podemos obtener como:

$$R_1 = \frac{R_2 R_4}{R_3} \quad (13)$$

4.2. Puentes de corriente alterna

A diferencia de los puentes de corriente continua, existen una gran variedad de puentes de corriente alterna. Utilizando puentes de corriente alterna se pueden determinar valores de resistencias, inductancias, capacidades, ángulos de pérdidas y frecuencias. En los puentes de corriente alterna el cuadripolo está formado por 4 impedancias, que pueden ser resistencias, capacidades, inductancias o cualquier combinación entre ellas. Por este motivo el equilibrado de estos puentes es más difícil.

La condición de equilibrio se puede escribir en este caso como:

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4 \quad (14)$$

En el caso más general de que todas las impedancias tengan carácter reactivo y resistivo, tenemos que cualquiera de las impedancias se puede expresar $Z_\alpha = R_\alpha + j X_\alpha$, donde $\alpha = 1, 2, 3, 4$.

Sustituyendo estos valores en las ecuaciones de equilibrio obtenemos:

$$(R_1 + j X_1)(R_3 + j X_3) = (R_2 + j X_2)(R_4 + j X_4) \quad (15)$$

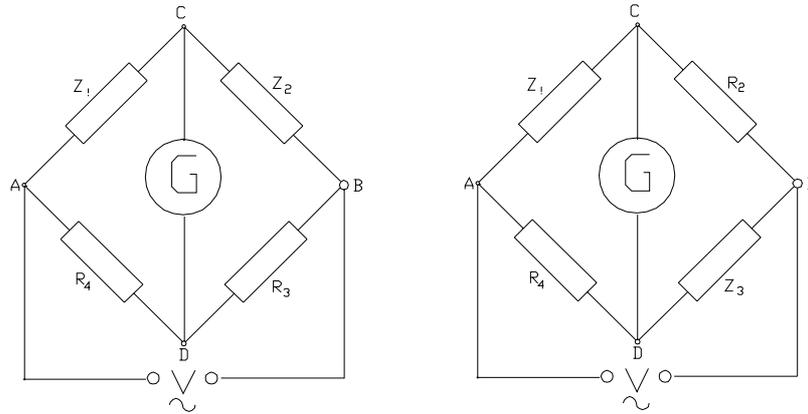


Figura 14. Esquemas de puentes de corriente alterna

Igualando las partes reales e imaginarias entre sí, resultan las ecuaciones:

$$R_1 R_3 - X_1 X_3 = R_2 R_4 - X_2 X_4 \quad (16)$$

$$R_1 X_3 - X_1 R_3 = R_2 X_4 - X_2 R_4 \quad (17)$$

La existencia de dos ecuaciones simultáneas indica que es necesario la verificación de dos condiciones. Por este motivo, es más difícil obtener el equilibrado de un puente de corriente alterna que uno de corriente continua.

La mayoría de los puentes de corriente alterna constan de dos impedancias y dos resistencias, las cuales pueden estar en ramas adyacentes o en ramas opuestas. Consideremos estos dos casos, para los que es más sencillo el proceso de equilibrado. Si queremos determinar el valor de la impedancia Z_1 y el puente se conecta según el esquema de la izquierda en la figura 14, el puente se equilibra cuando:

$$Z_1 = \frac{Z_2 Z_4}{Z_3}; \quad R_1 + j X_1 = \frac{(R_2 + j X_2) R_4}{R_3} = \frac{R_4}{R_3} R_2 + j \frac{R_4}{R_3} X_2 \quad (18)$$

De manera que el equilibrio puede tener lugar cuando los signos de los términos imaginarios son iguales, es decir, cuando la impedancia que se quiere determinar y Z_2 tienen el mismo carácter, inductivo o capacitivo. En el caso de utilizar el dispositivo del esquema de la derecha de la figura 14, el equilibrio se consigue cuando:

$$Z_1 = \frac{Z_2 Z_4}{Z_3}; \quad R_1 + j X_1 = \frac{R_2 R_4}{R_3 + j X_3} = \frac{R_2 R_4 R_3}{R_3^2 + X_3^2} - j \frac{R_2 R_4 X_3}{R_3^2 + X_3^2} \quad (19)$$

Así, en este caso, se puede equilibrar el puente, y determinar Z_1 , si ésta y la impedancia patrón Z_3 tienen diferente carácter reactivo (una inductivo y la otra capacitivo o al revés).