

CAPITULO VI

AMPERIMETRO, VOLTIMETRO, OHMETRO y MULTIMETRO

6.1 INTRODUCCION.

En el Capítulo V estudiamos uno de los dispositivos más útiles para detectar el paso de una corriente por un circuito: El galvanómetro de D'Arsonval. Ahora bien, debido a la poca capacidad de corriente de este instrumento, sólo lo podemos utilizar en su forma original en casos muy específicos, donde las corrientes que tengamos que medir sean muy pequeñas. En vista de lo anterior podemos plantearnos la siguiente pregunta: ¿En qué forma se pueden ampliar las posibilidades de medición de este dispositivo, para incluirlo en distintos tipos de circuitos y sistemas de medición?.

La respuesta a esta interrogación la encontramos en dos configuraciones circuitales sumamente sencillas: El divisor de corriente y el de voltaje. Vamos a estudiar a continuación en qué forma podemos utilizarlas para poder fabricar con el galvanómetro que tenemos a nuestra disposición amperímetros, voltímetros, y óhmetros cuyos rangos de medición se ajusten a nuestras necesidades.

6.2 AMPERIMETRO DC.

6.2.1.- Diseño.

El diseño de un amperímetro DC capaz de medir corrientes dentro de un rango específico, se basa en la utilización de un divisor de corriente, como el mostrado en la Figura 1.

En el nodo A la corriente i se divide en dos: i_1 e i_2 . Por ley de Kirchhoff se tiene que cumplir:

$$i = i_1 + i_2 \quad (6.1)$$

además

$$V_{AB} = i_1 R_1 = i_2 R_2 \quad (6.2)$$

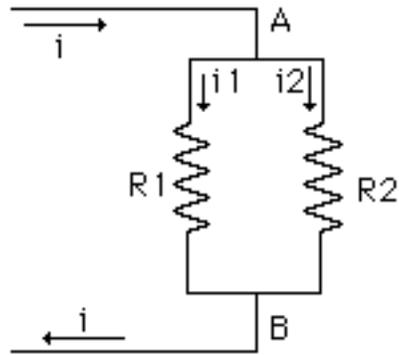


Fig. 1.- Divisor de Corriente.

De las dos ecuaciones anteriores podemos deducir las siguientes relaciones:

$$i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i \quad (6.3)$$

$$i_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i \quad (6.4)$$

Vamos a aplicar este principio a nuestro diseño. Supongamos que disponemos de un galvanómetro cuya corriente máxima es I_m y cuya resistencia interna es R_i , y queremos construir con él, un amperímetro capaz de medir una corriente I , donde $I > I_m$. Si colocamos el galvanómetro en una de las ramas de un divisor de corriente, obtenemos la configuración mostrada en la Figura 2.

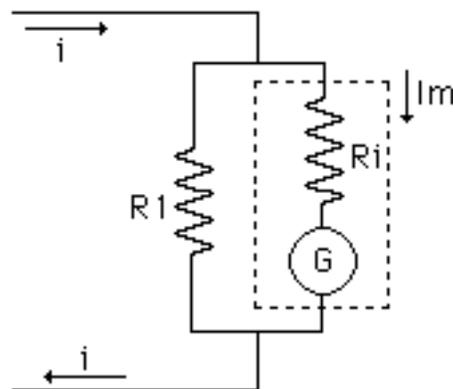


Fig. 2.-Galvanómetro en Divisor de Corriente: Amperímetro.

donde:

$$I_m = \frac{R_1}{R_1 + R_i} I \quad (6.5)$$

por lo tanto:

$$R_1 = \frac{R_i I_m}{I - I_m} \quad (6.6)$$

Para diseñar un amperímetro capaz de medir corrientes entre 0 e I Amp. a partir de un galvanómetro cuya corriente máxima es I_m y cuya resistencia interna es R_i , conectamos en paralelo con dicho dispositivo una resistencia de valor R_1 , calculado de tal forma que cuando la corriente incidente en el instrumento sea I , la que circule por el galvanómetro sea I_m . Con esto obtenemos un instrumento cuya corriente máxima es I y cuya resistencia interna es R_i en paralelo con R_1 .

6.2.2.- Forma de conexión.

Para que un amperímetro DC indique el valor de una corriente, debe circular por él dicha corriente, por lo tanto debemos conectar el amperímetro en serie dentro del circuito en el que deseamos realizar la medición, con la polaridad correcta. Por ejemplo, si queremos determinar la corriente que circula por el circuito mostrado en la Figura 3, debemos conectar el amperímetro de la forma indicada en la Figura 4.

Antes de conectar un amperímetro en un circuito debemos estimar el valor aproximado de la corriente que circula por el mismo, ya que en caso de que ésta sea superior a la máxima corriente que puede detectar el instrumento, podemos dañarlo.

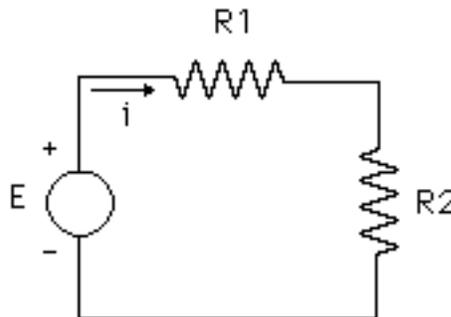


Fig. 3.- Circuito bajo medición

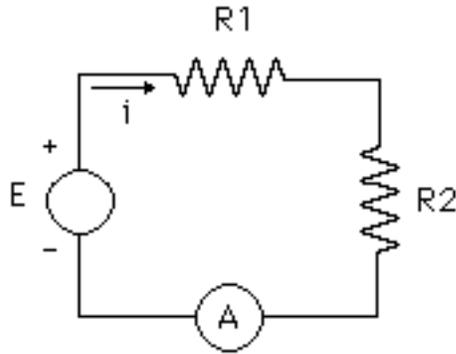


Fig. 4.- Conexión del amperímetro en el circuito bajo medición

Otro factor que debemos tener en cuenta al conectar un amperímetro es el valor de su resistencia interna. Si dicho valor es comparable o mayor que el de las resistencias del circuito, la introducción del instrumento altera en forma apreciable el valor de la resistencia total y por lo tanto el de la corriente, por lo que la medida realizada de esta forma se aleja mucho del valor que tenía la corriente antes de introducir el instrumento en el circuito.

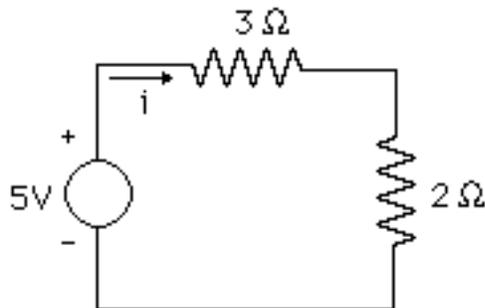


Fig. 5.- Circuito con resistencias comparables a la del amperímetro.

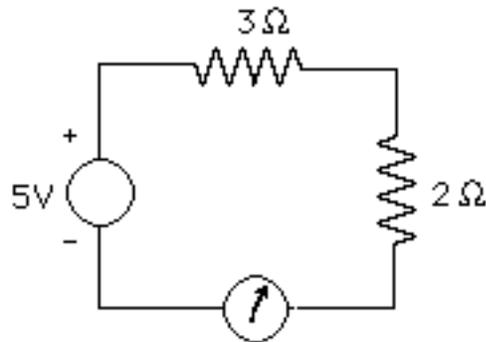


Fig. 6.- Amperímetro en el circuito anterior.

Por ejemplo, si en el circuito mostrado en la Figura 5, donde $i = 1 \text{ A}$, introducimos un amperímetro cuya resistencia interna es de $5 \text{ } \Omega$, como se indica en la Figura 6, el amperímetro indicará 0.5 A , ya que la resistencia total del circuito se duplica debido a la introducción del instrumento. Este es uno de los errores de medición que debemos evitar, como discutimos en el Capítulo III.

6.2.3.- Amperímetro de varias escalas.

Si queremos diseñar un amperímetro de varias escalas, para cada una de ellas tendremos que calcular la resistencia que debemos colocar en paralelo con el galvanómetro. La configuración más simple de este instrumento es la mostrada en la Figura 7.

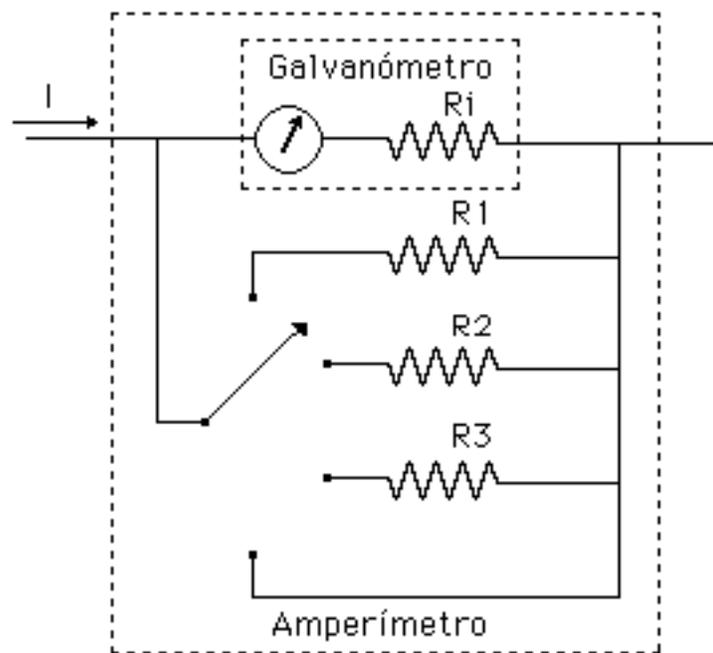


Fig. 7.- Amperímetro de varias escalas

En el esquema anterior podemos observar que si queremos cambiar de escala cuando el amperímetro está conectado a un circuito, debemos desconectarlo, efectuar el cambio y luego conectarlo nuevamente, ya que si realizamos dicho cambio sin eliminar la conexión, mientras el selector esté entre dos posiciones toda la corriente circulará por el galvanómetro, y como dicha corriente es mayor que I_m , probablemente dañará el instrumento. Para evitar esto podemos emplear la configuración de la Figura 8.

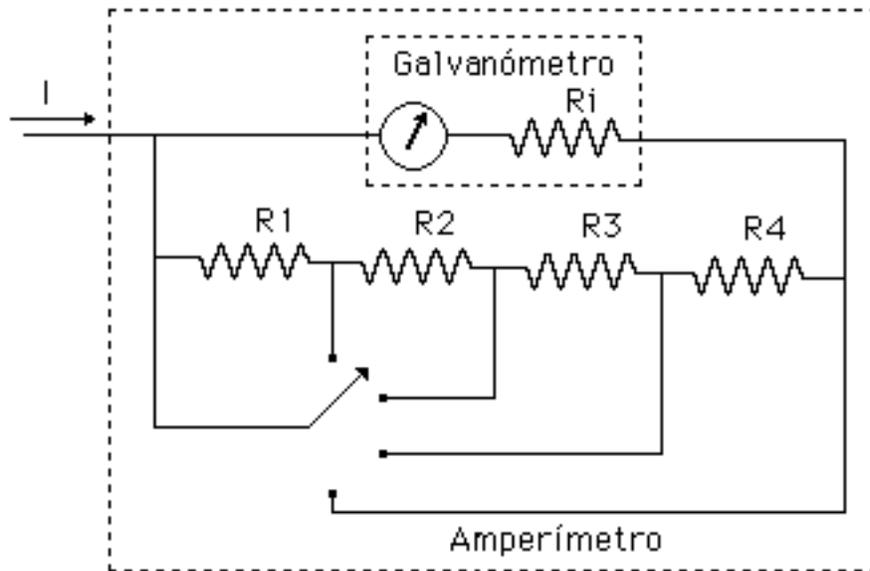


Fig. 8.- Configuración de seguridad para el amperímetro de varias escalas.

De esta forma mientras el selector se encuentra entre dos posiciones, el galvanómetro tiene siempre una resistencia conectada en paralelo.

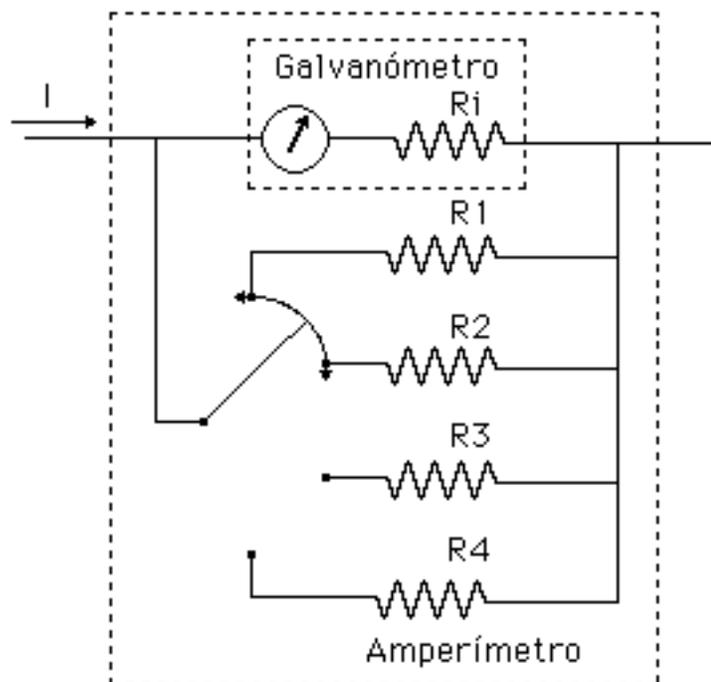


Fig. 9.- Amperímetro de varias escalas con selector de seguridad.

Otra solución posible para el circuito de la Fig. 7 es utilizar un selector tal que si se encuentra en una posición intermedia, esté conectado simultáneamente a dos resistencias adyacentes, como podemos observar en la Figura 9.

6.2.4.- Características de un amperímetro.

Las características que debemos indicar para especificar un amperímetro son:

- Corriente máxima
- Resistencia interna
- Exactitud
- Precisión
- Linealidad

Las definiciones de estas características se encuentran en el Capítulo III, mientras que en el próximo capítulo se discuten distintos métodos para determinar la resistencia interna de un instrumento.

6.3 VOLTÍMETRO DC.

6.3.1.- Diseño.

El diseño de un voltímetro DC capaz de medir voltajes dentro de un rango específico, se basa en la utilización de un divisor de voltaje, como el mostrado en la Figura 10.

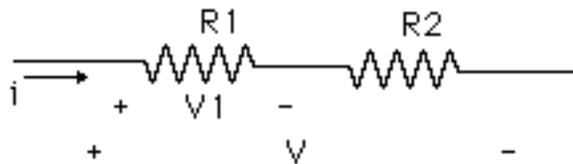


Fig. 10.- Divisor de voltaje

En dicho circuito, a corriente que circula por ambas resistencias es la misma, por lo tanto se cumple:

$$V = i R1 + i R2 \quad (6.7)$$

$$V = (R1 + R2) i \quad (6.8)$$

pero

$$V_1 = i R_1 \Rightarrow i = \frac{V_1}{R_1} \quad (6.9)$$

$$V = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_1 \quad (6.10)$$

de donde

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V \quad (6.11)$$

Vamos a aplicar este principio al diseño de un voltímetro.

El galvanómetro tiene una resistencia interna R_i y una corriente máxima I_m , debido a esto el voltaje máximo entre los extremos del mismo es $V_{max} = R_i I_m$. Si queremos diseñar un voltímetro capaz de detectar entre sus terminales voltajes hasta de E voltios (donde $E > V_{max}$) debemos conectar en serie con el galvanómetro una resistencia R_1 , como se indica en la Figura 11.

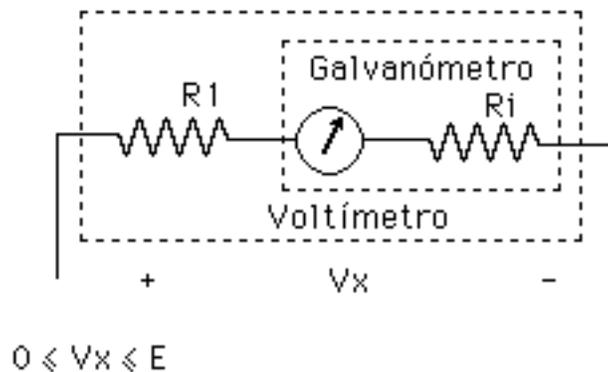


Fig. 11.- Galvanómetro en Divisor de Voltaje: Voltímetro.

El valor de R_1 debe ser tal que:

$$V_m = R_i I_m = \frac{R_i}{R_1 + R_i} E \quad (6.12)$$

Por lo tanto:

$$R1 = \frac{E - Ri I_m}{I_m} \quad (6.13)$$

Con esta configuración tenemos un instrumento que marca máxima escala cuando el voltaje entre sus terminales es E.

6.3.2.- Conexión del voltímetro.

Para que un voltímetro DC indique el valor de un voltaje, debe existir dicho voltaje entre sus terminales, por lo tanto tenemos que conectar el voltímetro en paralelo con el elemento al que queremos determinarle su voltaje con la polaridad adecuada.

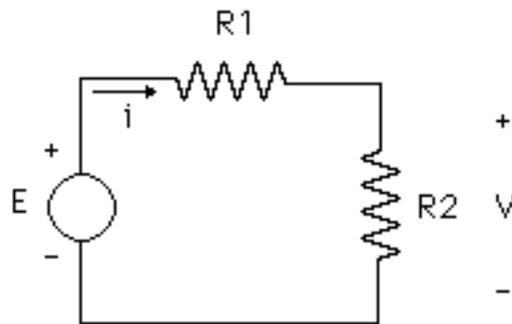


Fig. 12.- Circuito bajo medición.

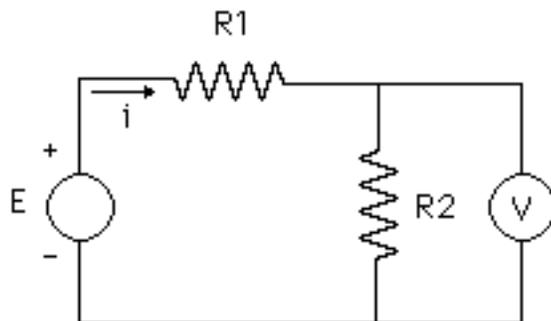


Fig. 13.- Conexión de un voltímetro para medir el voltaje en R2.

Por ejemplo, si deseamos medir el voltaje existente entre los terminales de la resistencia R2 del circuito mostrado en la Figura 12, debemos conectar el voltímetro como se indica en la Figura 13.

Antes de conectar un voltímetro, al igual que en el caso del amperímetro, debemos estimar el valor aproximado del voltaje que vamos a medir, ya que en caso de que éste sea superior al máximo voltaje que puede detectar el instrumento, podemos dañarlo.

De la misma forma, otro factor que debemos tener en cuenta al conectar un voltímetro es su resistencia interna. Si esta resistencia es del mismo orden de magnitud que aquella sobre la que vamos a conectar el voltímetro en paralelo, la introducción del instrumento afecta la resistencia total del circuito en forma apreciable, y por lo tanto altera el voltaje que deseamos medir. Por ejemplo, en el circuito de la Figura 14, el voltaje entre los extremos de R2 es de 4V. Si para medir dicho voltaje conectamos un voltímetro cuya resistencia interna sea de 400K, alteraremos significativamente la resistencia total del circuito, y la lectura del instrumento será de 2.5V.

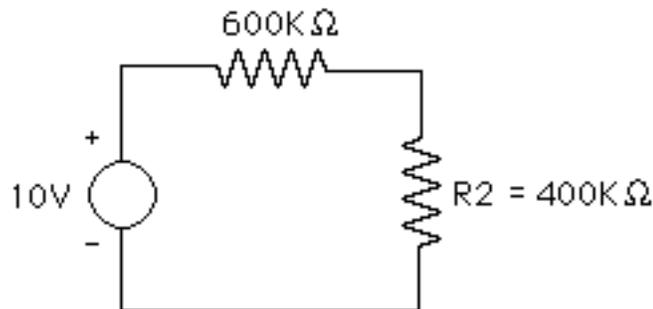


Fig. 14.- Circuito con resistencias comparables a la del voltímetro.

6.3.3.- Voltímetro de varias escalas.

Para cada una de las escalas que deseamos diseñar, debemos calcular la resistencia que debemos conectar en serie con el galvanómetro. Una vez realizado este cálculo, podemos implementar el voltímetro de varias escalas utilizando una de las configuraciones presentadas en las Figuras 15 y 16.

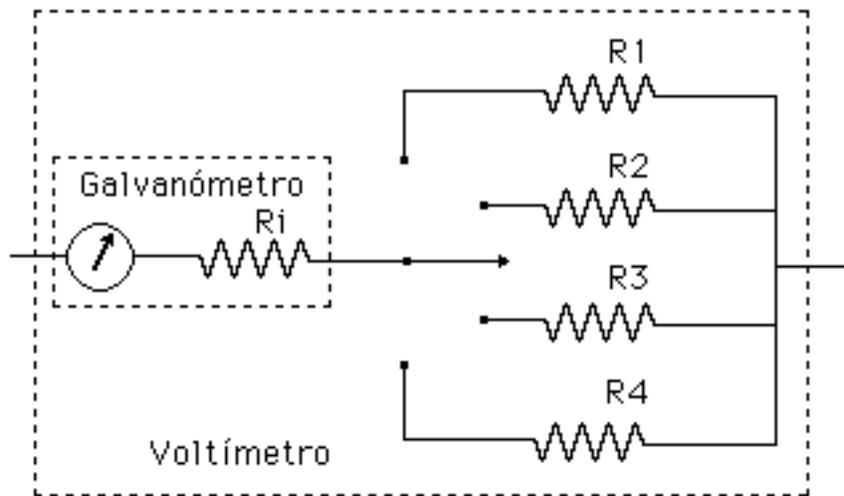


Fig. 15.- Primera configuración para el voltímetro de varias escalas.

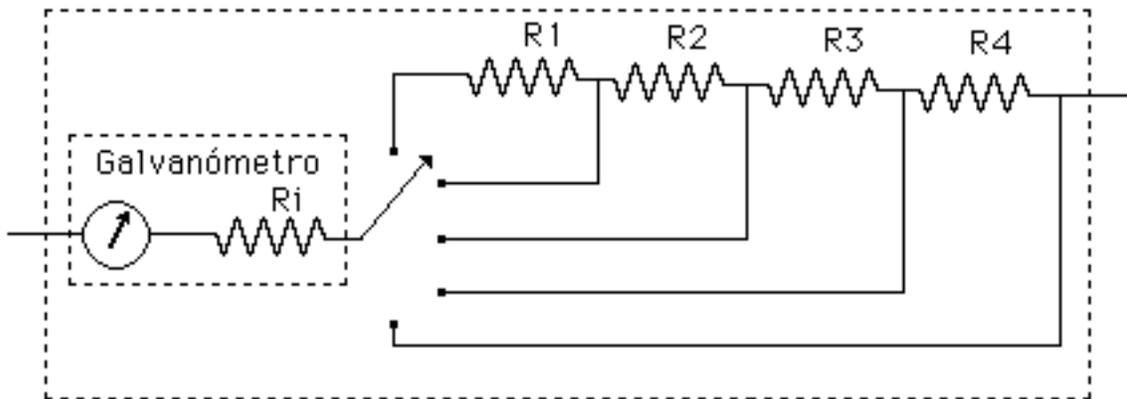


Fig. 16.- Segunda configuración para el voltímetro de varias escalas.

6.3.4.- Características de un Voltímetro.

Al igual que para un amperímetro, las características más importantes que es necesario especificar para un voltímetro son:

- Corriente máxima
- Resistencia interna
- Exactitud
- Precisión
- Linealidad

Para este instrumento está definido otro parámetro denominado característica ohmios/voltio y que algunos fabricantes llaman también sensibilidad.

Vamos a analizar de dónde surge esta característica.

Para diseñar un voltímetro de varias escalas, debemos calcular la resistencia que tenemos que conectarle en serie al galvanómetro para cada una de ellas. O sea, para obtener una escala que pueda indicar hasta V_1 voltios, debemos conectar una resistencia R_1 , para tener otra que llegue hasta V_2 , debemos conectar R_2 y así sucesivamente. Para la primera escala la resistencia interna total que presentará el voltímetro será $R_{T1} = R_i + R_1$, para la segunda será $R_{T2} = R_i + R_2$, etc. La tabla N° 1 resume el procedimiento de diseño.

Voltaje máximo (V)	R_x ()	R_T ()	R_T/V_n (/V)
V_1	$R_1 = (V_1 - I_m R_i) / I_m$	$R_{T1} = V_1 / I_m$	$1 / I_m$
V_2	$R_2 = (V_2 - I_m R_i) / I_m$	$R_{T2} = V_2 / I_m$	$1 / I_m$
:	:	:	:
V_n	$R_n = (V_n - I_m R_i) / I_m$	$R_{Tn} = V_n / I_m$	$1 / I_m$

Tabla 1.- Procedimiento de diseño de un voltímetro de varias escalas.

Como podemos observar en la tabla anterior, la relación (resistencia interna total)/(voltaje máximo de la escala) es una constante que depende del galvanómetro que estamos utilizando, ya que es igual al inverso de la corriente máxima de dicho instrumento. Esta relación se conoce con el nombre de característica ohmios/voltio ya que éstas son las unidades en que viene expresada.

¿Cuál es la utilidad de dicha característica?

Observando la primera, tercera y cuarta columnas de la tabla anterior podemos deducir que si conocemos dicha característica del voltímetro y la escala que vamos a utilizar para realizar una medición determinada, podemos calcular la resistencia interna que presenta el voltímetro en dicha escala. Por ejemplo, en el circuito de la Figura 17 queremos medir el voltaje V_{ab} con un voltímetro que tiene una característica /V de 10K /V, y cuyas escalas son 1V, 5V, 10V y 50V. El voltaje que deseamos medir es de 8V por lo que la escala más apropiada es la de 10V.

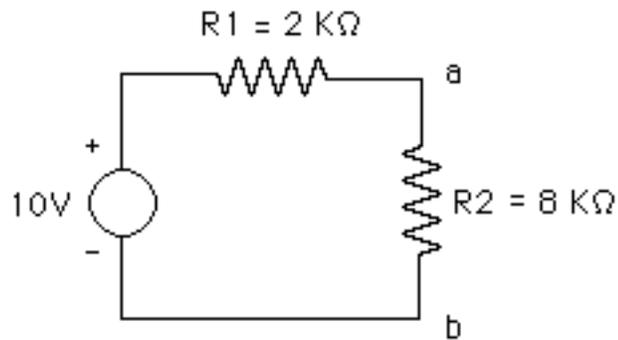


Fig. 17.-Circuito bajo medición.

En dicha escala el voltímetro presenta una resistencia interna de: $10V \times 10K = 100K$, que comparada con $8K$ es mucho mayor, por lo que la conexión del voltímetro no afectará mucho las variables del circuito en el que deseamos realizar la medición. Podríamos utilizar también la escala de $50V$, cuya resistencia interna es de $500K$ por lo que en esta escala la conexión del voltímetro afecta aún menos el circuito bajo medición, pero en este caso la precisión de la medida sería mucho menor.

6.4 OHMETRO.

6.4.1.- Diseño básico.

Un óhmetro es un instrumento capaz de medir el valor de una resistencia cuando ésta se conecta entre sus terminales. Dado que la resistencia es un elemento pasivo, es necesario que el instrumento contenga un elemento activo capaz de producir una corriente que pueda detectar el galvanómetro incluido en dicho instrumento. Por lo tanto, el circuito básico del óhmetro es el mostrado en la Figura 18.

El procedimiento de diseño básico para este instrumento es el siguiente: En primer lugar, supongamos que la batería tiene un valor dado (es una pila de las que podemos conseguir en el mercado), por lo que el valor que debemos determinar para fijar las condiciones del circuito es el de la resistencia R .

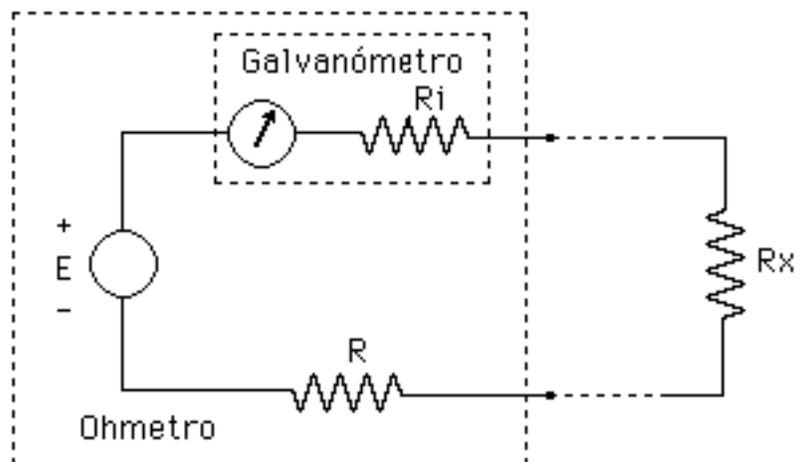


Fig. 18.-Circuito básico del óhmetro.

Si la resistencia incógnita es (circuito abierto) no circula corriente por el circuito, por lo tanto, en la escala del galvanómetro, $R_x = \infty$ corresponde a la posición de la aguja cuando la corriente es nula (usualmente el extremo izquierdo de la escala).

Para cualquier otro valor de R_x circulará cierta corriente por el circuito, que será máxima cuando $R_x = 0$. Ahora bien, como la máxima corriente que puede circular por el galvanómetro es I_m , para $R_x = 0$ se debe cumplir:

$$E = (R_i + R) I_m \quad (6.14)$$

de donde

$$R = \frac{E}{I_m} - R_i \quad (6.15)$$

Una vez calculado este valor, el circuito está totalmente especificado. Podemos ahora calibrar la escala en ohmios utilizando resistencias patrón de distintos valores, o realizar una calibración en forma teórica, empleando la ecuación anterior.

Como podemos observar, la ubicación de los valores de las resistencias en la escala es única y está totalmente definida. Si por ejemplo, obtenemos una distribución como la mostrada en la Figura 19, será muy difícil realizar mediciones de resistencias cuyos valores sean del orden de 10^3 o de 10^6 . Por lo tanto para diseñar óhmetros donde podamos seleccionar por ejemplo la resistencia correspondiente a media escala, es necesario plantear nuevas configuraciones.

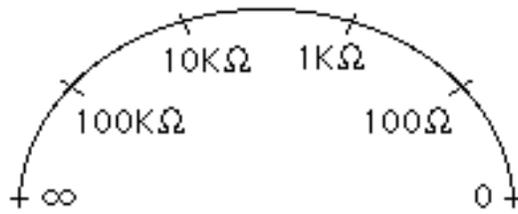


Fig. 19.- Calibración de la escala de un óhmetro.

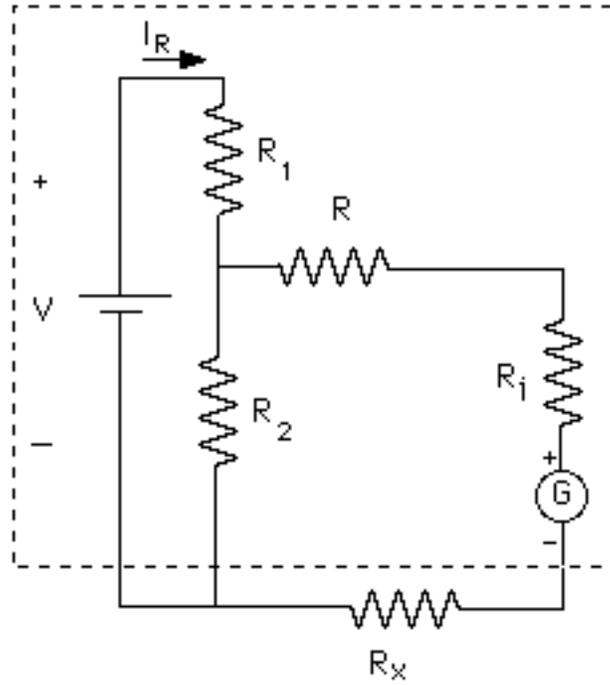
6.4.2.- Diseño de un óhmetro con selección de la resistencia a media escala.

En el circuito de la Figura 18 solo hay una incógnita: el valor de R , y por lo tanto sólo podemos imponerle una condición: Cuando la resistencia incógnita es nula, debe circular la corriente máxima por el galvanómetro. Si queremos imponerle otra condición, como por ejemplo cual debe ser el valor de la resistencia incógnita para la que el galvanómetro indicará media escala, es necesario que contemos con otra variable que podamos calcular en el circuito.

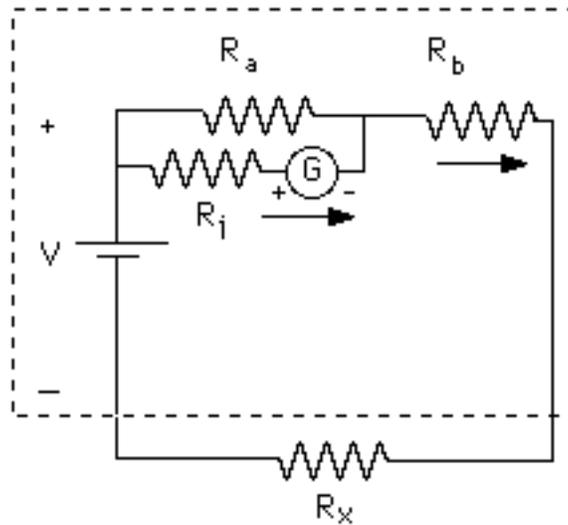
Hay dos configuraciones posibles para contar con un circuito con dos incógnitas, cuyos circuitos pueden observarse en la Figura 20.

Con la primera configuración, el valor de la resistencia que se le puede asignar a la posición de media escala del óhmetro (R_M) es siempre mayor que la resistencia interna del galvanómetro, ya que como se verá posteriormente, en caso contrario el valor de R resultaría negativo.

Con la segunda configuración, a R_M se le pueden asignar valores tanto mayores como menores que la resistencia interna del dispositivo, dentro de los límites que se van a determinar durante el análisis de dicha configuración.



(a) Primera configuración



b) Segunda configuración

Fig. 20.- Configuraciones para un óhmetro con selección de la resistencia a media escala.

6.4.2.1.- Diseño de un óhmetro con un valor a media escala específico utilizando la primera configuración.

La Figura 21 presenta el circuito Thévenin equivalente de la primera configuración, en el que podemos observar los elementos equivalentes V_{eq} y R_{eq} .

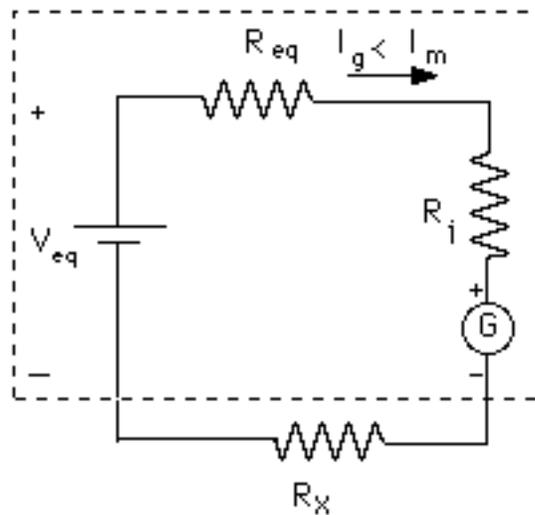


Fig. 21.- Thévenin equivalente de la primera configuración.

A partir de dicho circuito, podemos plantear un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, imponiendo las condiciones de diseño deseadas: Cuando $R_x = 0$, por el circuito debe circular la corriente máxima permitida por el Galvanómetro y cuando $R_x = R_m$, la corriente debe ser igual a la mitad de dicha corriente máxima. Por lo tanto :

$$\begin{aligned} V_{eq} &= (R_{eq} + R_i) I_{max} \\ V_{eq} &= (R_{eq} + R_i + R_m) \frac{I_{max}}{2} \end{aligned} \quad (6.16)$$

Despejando los valores de R_{eq} y V_{eq} se obtiene:

$$R_{eq} = R_m - R_i \quad (6.17)$$

$$V_{eq} = R_m I_{max} \quad (6.18)$$

De la ecuación (6.17) podemos concluir que la resistencia que se puede seleccionar como lectura de media escala (R_m) debe ser siempre mayor que la resistencia interna del galvanómetro (R_i) tal como se había mencionado anteriormente, ya que en caso contrario la resistencia R_{eq} tendría un valor negativo, lo cual no es físicamente posible.

Una vez determinados los valores de R_{eq} y V_{eq} , es necesario hallar los valores de V , R , R_1 y R_2 , ya que éstos son los verdaderos componentes del instrumento que queremos diseñar. Las relaciones entre estos parámetros son las siguientes:

$$R_{eq} = R + (R_1 // R_2) \quad (6.19)$$

$$V_{eq} = V \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (6.20)$$

Como podemos observar, contamos con dos ecuaciones y cuatro incógnitas, por lo que para completar el trabajo debemos incluir dos criterios de diseño que nos ayuden a determinar el valor más adecuado para los componentes. Dichos criterios de diseño son:

- Vamos a utilizar una o más pilas comerciales, cuyo valor nominal es de 1,5V. Por lo tanto, si V_{eq} es menor que 1,5V, hacemos los cálculos con $V = 1,5V$, esto es, colocamos en el instrumento una sola pila; si V_{eq} se encuentra entre 1,5V y 3V, utilizamos dos pilas, por lo que $V = 3V$, y así sucesivamente. Por lo general, los óhmetros no acostumbran a tener más de dos pilas.

- Si en el circuito de la Figura 20(a) consideramos que la corriente que circula por el lazo donde se encuentra el galvanómetro es mucho menor que la corriente que circula por la fuente V y la resistencia R_1 (I_R), la corriente por R_2 va a ser prácticamente igual a la de R_1 y por lo tanto el voltaje sobre R_2 va a ser independiente de las variaciones de I_g . Al aplicar este criterio, el valor de la resistencia R es igual a R_{eq} , ya que el paralelo de R_1 y R_2 va a ser mucho menor que R . La condición que debemos imponer para que la aproximación anterior sea válida es que la corriente I_R sea mucho mayor que I_{max} , por lo menos unas 10 veces mayor, o preferiblemente más. Ahora bien, si escogemos un valor de I_R excesivamente alto, la disipación de potencia

en las resistencias R_1 y R_2 será muy elevada, y las pilas se descargan muy rápidamente, por lo que debemos llegar a una situación de compromiso, como por ejemplo $I_R = 20 I_{max}$. (Al realizar cada diseño en particular podemos probar otras relaciones).

Al aplicar los dos criterios de diseño mencionados, quedan determinados los valores de V y R , y podemos plantear el siguiente sistema de ecuaciones para calcular R_1 y R_2 :

$$\begin{aligned} V_{eq} &= V \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\ I_R = 20 I_{max} &= \frac{V}{R_1 + R_2} \end{aligned} \quad (6.21)$$

Resolviendo obtenemos:

$$R_1 = \frac{V - V_{eq}}{20 I_{max}} = \frac{V - R_m I_{max}}{20 I_{max}} \quad (6.22)$$

$$R_2 = \frac{V_{eq}}{20 I_{max}} = \frac{R_m I_{max}}{20 I_{max}} = \frac{R_m}{20} \quad (6.23)$$

En resumen, el procedimiento para diseñar un óhmetro con la primera configuración, utilizando un galvanómetro que tenga una resistencia interna R_i y cuya corriente máxima sea I_{max} , de forma tal que la lectura a media escala sea R_m , (valor que debe ser mayor que R_i), es el siguiente:

a) Seleccionar una o más pilas de forma que el valor de V sea mayor que $R_m I_{max}$.

b) Seleccionar $R = R_m - R_i$

c) Seleccionar un factor F entre la corriente que va a circular por la fuente y la corriente máxima del galvanómetro (por ejemplo $F = 20$).

d) Calcular $R_1 = \frac{V - R_m I_{max}}{F I_{max}}$

e) Calcular $R_2 = \frac{R_m}{F}$

f) Determinar la potencia disipada por cada una de las tres resistencias calculadas.

6.4.2.2.- Diseño de un óhmetro de valor a media escala específico utilizando la segunda configuración.

En el circuito presentado para la segunda configuración en la Figura 20(b) podemos establecer las siguientes condiciones:

Cuando R_x es igual a cero, por el galvanómetro debe circular la corriente I_{max} . Por la resistencia R_b circula una corriente I_1 de valor desconocido. Al aplicar la Ley de Kirchhoff de los Voltajes al lazo inferior se obtiene:

$$V = I_{max} R_i + R_b I_1 \quad (6.24)$$

Donde V es una pila de valor comercial. La corriente I_1 está relacionada con I_{max} mediante el divisor de corriente dado por la siguiente ecuación:

$$I_{max} = I_1 \frac{R_a}{R_a + R_i} \quad (6.25)$$

Cuando R_x es igual a R_m , por el galvanómetro debe circular la mitad de la corriente máxima, $I_{max}/2$, y por la resistencia R_b circula una corriente I_2 de valor desconocido. Al aplicar la Ley de Kirchhoff de los Voltajes al lazo inferior se obtiene:

$$V = \frac{I_{max}}{2} R_i + R_b I_2 + R_m I_2 \quad (6.26)$$

La corriente I_2 está relacionada con $I_{max}/2$ mediante el divisor de corriente dado por la siguiente ecuación:

$$\frac{I_{max}}{2} = I_2 \frac{R_a}{R_a + R_i} \quad (6.27)$$

Las ecuaciones (6.24), (6.25), (6.26) y (6.27) forman un sistema de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas (R_a , R_b , I_1 e I_2) a partir del cual se pueden calcular los valores de interés para diseñar un óhmetro utilizando la segunda configuración (R_a y R_b). A partir de las ecuaciones (6.25) y (6.27) se puede deducir:

$$I_1 = 2 I_2 \quad (6.28)$$

Sustituyendo esta relación en la ecuación (6.24) se obtiene:

$$V = I_{\max} R_i + R_b 2 I_2 \quad (6.29)$$

Las ecuaciones (6.24) y (6.29) forman un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas (I_2 y R_b) tal como se puede observar a continuación:

$$\begin{aligned} V &= I_{\max} R_i + R_b 2 I_2 \\ V &= \frac{I_{\max}}{2} R_i + R_b I_2 + R_m I_2 \end{aligned} \quad (6.30)$$

De donde se obtiene:

$$R_b = \frac{V - I_{\max} R_i}{V} R_m \quad (6.31)$$

$$I_2 = \frac{V}{2 R_m} \quad (6.32)$$

La ecuación (6.31) indica que para que el diseño sea realizable es necesario que el voltaje V sea mayor que $I_{\max} R_i$, es decir, que la pila comercial tenga un voltaje superior al máximo voltaje que puede haber entre los extremos del galvanómetro.

Para determinar el valor de la resistencia R_a se sustituye la ecuación (6.32) en la (6.27), de donde se obtiene:

$$R_a = \frac{I_{\max} R_i}{V - I_{\max} R_m} R_m \quad (6.33)$$

Esta ecuación impone una segunda condición al diseño, que puede expresarse de la siguiente forma:

$$R_m < \frac{V}{I_{\max}} \quad \text{o} \quad V > R_m I_{\max} \quad (6.34)$$

Es decir, la resistencia seleccionada como valor de media escala debe ser menor que V/I_{\max} , ya que si esta condición no se cumple, el valor de la resistencia R_a debería ser negativo, lo cual es físicamente imposible. Ahora bien, esta condición no es una restricción severa, dado que podemos seleccionar el valor de la fuente V utilizando las pilas que sean necesarias.

En resumen, para diseñar un óhmetro con la segunda configuración, utilizando un galvanómetro que tenga una resistencia interna R_i y cuya corriente máxima sea I_{\max} , de forma tal que la lectura a media escala sea R_m , se debe aplicar el siguiente procedimiento:

a) Seleccionar un valor de V comercial que sea mayor que el producto $R_i I_{\max}$ y que el producto $R_m I_{\max}$.

$$b) \text{ Calcular } R_a = \frac{I_{\max} R_i}{V - I_{\max} R_m} R_m$$

$$c) \text{ Calcular } R_b = \frac{V - I_{\max} R_i}{V} R_m$$

d) Determinar la potencia disipada por cada una de las resistencias calculadas.

6.4.3.- Potenciómetro de ajuste de un óhmetro.

Por lo general, cuando se montan los circuitos correspondientes a cada una de las dos configuraciones analizadas, no se coloca exactamente el valor de la resistencia R obtenido para la primera configuración ni el de la resistencia R_b obtenido para la segunda, sino que se conectan resistencias de valores inferiores a los calculados y se completan colocando potenciómetros (resistencias variables) en serie. De esta forma, a medida que se va descargando la pila comercial, puede irse ajustando la resistencia total de cada uno de los circuitos para poder cumplir con la condición de que cuando la resistencia de medición es cero, por el galvanómetro debe circular la máxima corriente I_{\max} .

6.4.4.- Diseño de un óhmetro de varias escalas.

En las Figuras 22 y 23 podemos observar los diagramas de óhmetros de varias escalas correspondientes a cada una de las dos configuraciones estudiadas.

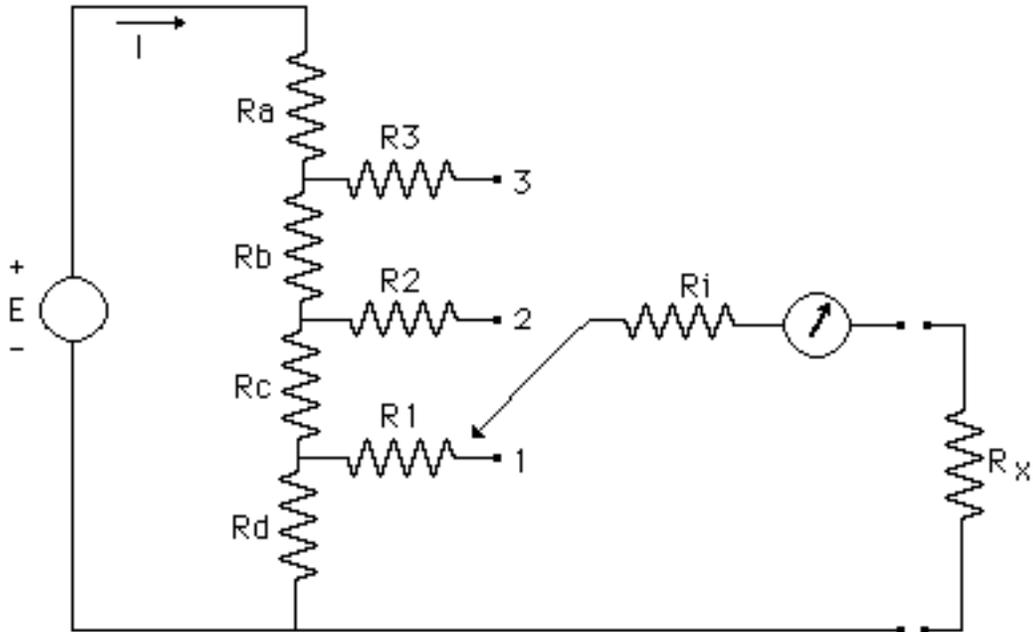


Fig. 22.- Ohmetro de varias escalas con la primera configuración.

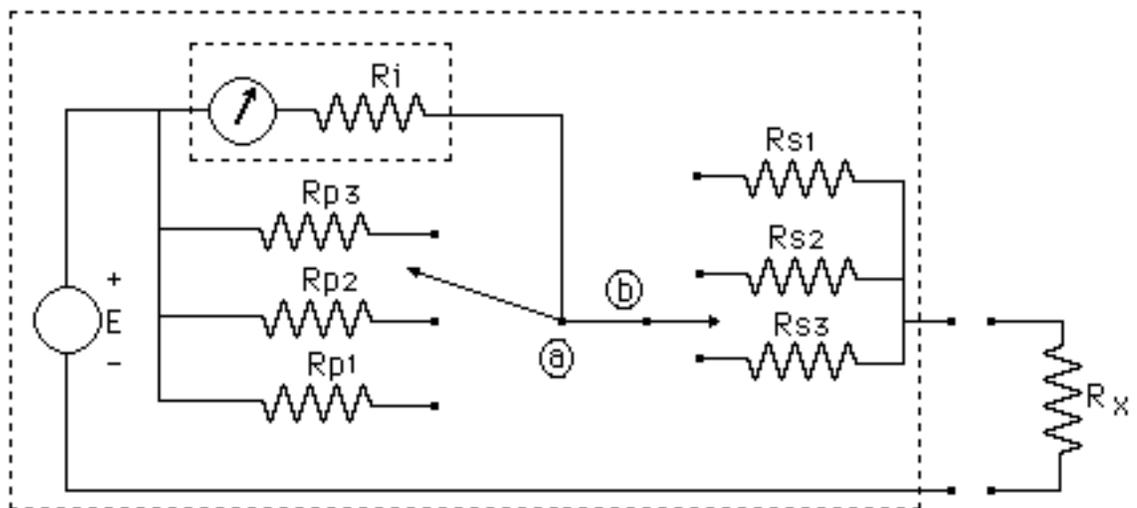


Fig. 23.- Ohmetro de varias escalas con la segunda configuración.

El procedimiento de diseño para cada configuración es el explicado anteriormente. En este caso la segunda configuración presenta una desventaja con respecto a la primera, porque requiere un selector doble, mientras que el de la primera es sencillo.

6.5 MULTIMETRO.

Hemos visto que el diseño de los amperímetros, voltímetros y óhmetros se basa en la utilización de un galvanómetro de D'Arsonval. Debido a esto surge la idea de diseñar un instrumento capaz de incluir a los otros tres. Este instrumento es el que conocemos con el nombre de multímetro.

Para diseñar un multímetro debemos tener en cuenta cuál va a ser su aplicación, ya que este hecho determinará el rango de cada una de las escalas del amperímetro, voltímetro y óhmetro. Además hay una serie de requisitos adicionales que debe cumplir un multímetro para que sea realmente un instrumento versátil, entre los cuales están:

- Debe ser liviano, para que sea fácil transportarlo de un lugar a otro.
- Debe ser compacto, por la misma razón anterior.
- Debe tener una buena protección mecánica, para que sea resistente tanto a los golpes como a las vibraciones.
- Debe ser de fácil manejo y lectura.

Para elegir la escala deseada utilizamos un "conmutador o selector" , el cual es un dispositivo mecánico mediante el cual podemos seleccionar las conexiones eléctricas.

Un selector giratorio común consta, como podemos observar en la Figura 24, de uno o dos discos denominados galletas, en los cuales se encuentran los contactos dispuestos en forma radial.

El puente de contacto es una lámina metálica conductora fijada a un eje de rotación que establece la conexión entre dos contactos determinados, de acuerdo a su posición angular. La fijación mecánica de las posiciones del eje se logra mediante un disco rígido provisto

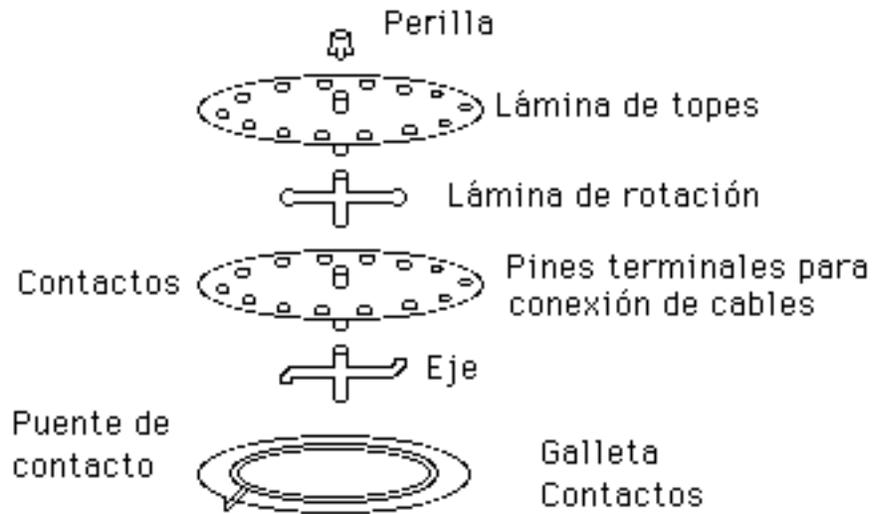


Fig. 24.- Conmutador o selector para multímetros

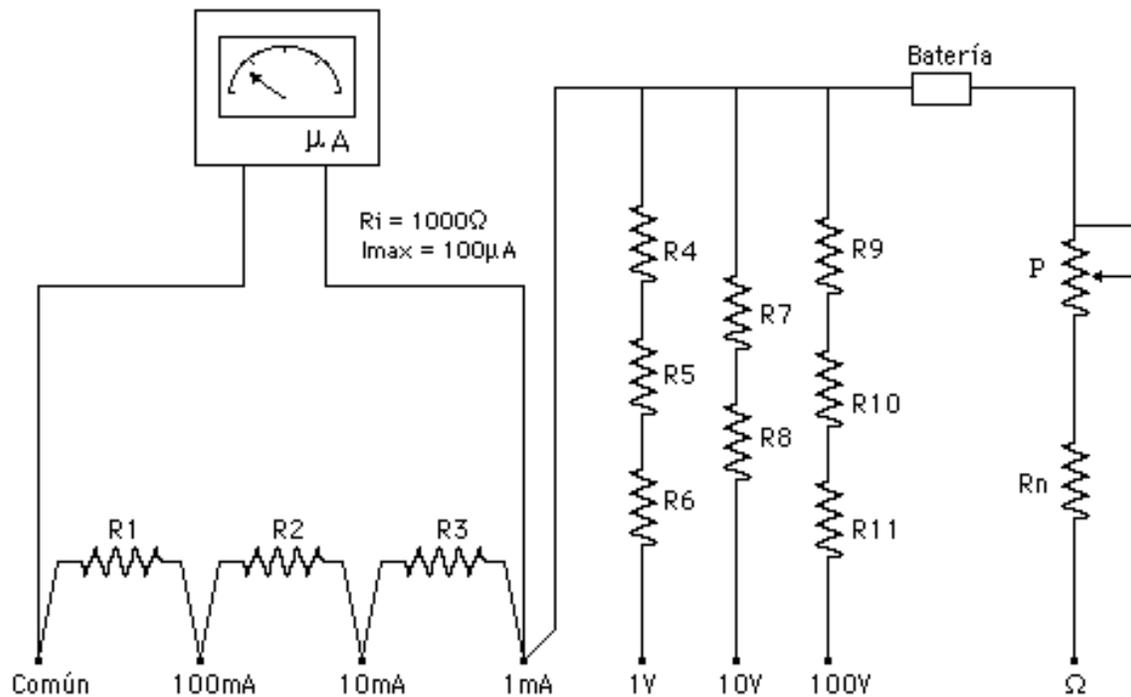


Fig. 25
Diagrama de un multímetro elemental

de una serie de topes que determinan la posición de una lámina metálica fijada al eje. La rotación del eje se logra en forma manual, a través de una perilla colocada al final de éste. Los selectores pueden tener una, dos o más galletas, de acuerdo a la cantidad de contactos necesarios.

En la Figura 25 podemos observar el diagrama de un multímetro elemental. La determinación de los valores de las resistencias que lo constituyen queda como ejercicio para el lector.

6.6 INSTRUMENTOS AC.

Todos los instrumentos que hemos estudiado hasta este punto están diseñados para medir señales continuas. Las corrientes y los voltajes alternos, como su nombre lo indica, varían en el tiempo, y por lo general, un instrumento de aguja como el Galvanómetro de D'Arsonval no es capaz de seguir estas variaciones. Por lo tanto, si hacemos circular una corriente alterna por un Galvanómetro, el instrumento indicará el valor promedio de la señal, que usualmente es cero.

Ahora bien, cuando trabajamos con corrientes y voltajes alternos, por lo general nos interesa conocer su valor eficaz (r.m.s.), el cual, para señales sinusoidales, es igual al valor pico multiplicado por $\frac{1}{\sqrt{2}}$. Una forma simple de medir este parámetro es rectificar la señal alterna mediante un puente de diodos y aplicar la señal rectificada a un instrumento DC, como podemos observar en la Figura 26. La escala del Galvanómetro se calibra para que la lectura corresponda al valor r.m.s de la señal bajo medición.

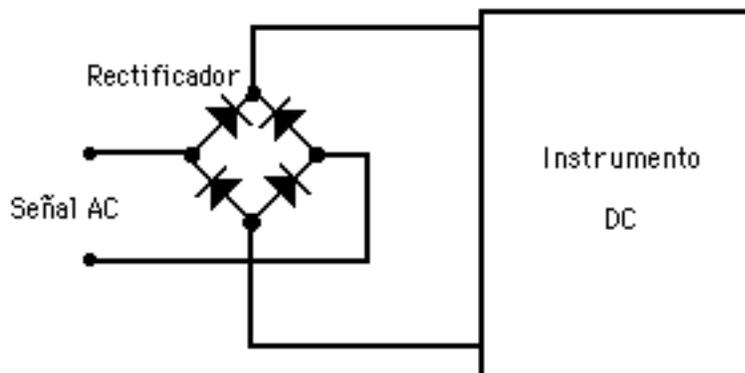


Figura N° 26.- Medición de señales AC