



CAPITULO 2: MÉTODOS DE MEDICIÓN

2.1. CONCEPTO DE MEDICIÓN

Medir es contar, comparar una unidad con otra, dar una valoración numérica, asignar un valor, asignar números a los objetos. Todo lo que existe está en una cierta cantidad y se puede medir. Estos no se asignan de forma arbitraria sino que se rigen por ciertas reglas, se establece un sistema empírico y éste da lugar a un sistema formal.

La medición nos permite alejarnos de la realidad para formarla a partir de números. Las propiedades del sistema numérico y del sistema empírico han de ser iguales. El sistema formal, tiene que reunir dos criterios:

- Igualdad.
- Formal.

La medición es la determinación de la proporción entre la dimensión o suceso de un objeto y una determinada unidad de medida. La dimensión del objeto y la unidad deben ser de la misma magnitud. Una parte importante de la medición es la estimación de error o análisis de errores.

La operación de la medición consiste en dar valores a los fenómenos que interesan en el marco de un planteamiento geográfico. Por una parte, sirve inicialmente para caracterizar los atributos de los objetos que se estudian y después se emplea para dar comienzo al estudio del que van a ser objeto.



2.2. CLASIFICACIÓN DE LAS ESCALAS DE MEDICIÓN.

La más simple es la “NOMINAL”, en ella la operación empírica básica se establece por la determinación de igual y el sistema formal por la correlación de los números. Ejemplo: los números de clase, los números de los futbolistas, etc. (1, 2, 3, 4, 5,...)

En un aspecto más importante de escala, tenemos la escala “ORDINAL” en ella la operación empírica que se lleva a cabo es la determinación de mayor o menor respecto a otro.

Ejemplo: el sistema empírico, nos dice que en las personas difiere el grado de dolor, más o menos dolor. Habrá que crear un sistema formal que recoja este hecho utilizando el termino mayor o menor ($X = Y$; $X < Y$, $X > Y$)

Más compleja la “ESCALA DE INTERVALO O DE DISTANCIA”, se utiliza cuando se determina la igualdad de intervalo entre los puntos, se precisa el orden jerárquico en función de un atributo. Ejemplo: medición de la temperatura: El agua se congela a 0°C y hierve a 100°C .

En un nivel todavía más completo tenemos la “ESCALA DE RAZÓN”, se utiliza cuando se determina la igualdad de razones. En la misma debe haber igual distancia entre los grados sucesivos, supone un cero racional, suministra información sobre el orden jerárquico según un atributo, a los intervalos entre ellos y la magnitud absoluta a cada objeto (-30, -15, 0, 15, 30).

ESCALA DE MEDIDA. CONDICIÓN ENTRE SISTEMAS.

Nominal.	Determinación de igualdad.
Ordinal.	Determinación de mayor a menor.
Intervalo.	Determinación de igualdad entre intervalos.



CAPITULO 2: MÉTODOS DE MEDICIÓN



Razón. Determinación de la igualdad de razón.

También y en un plano más sencillo se pueden diferenciar las siguientes escalas de medida:

CUALITATIVAS: * Nominales y * Ordinales.

CUANTITATIVAS: * Intervalo y * Razón.

2.3. TIPOS DE MEDICIÓN

Hay dos tipos de medición, mediciones directas e indirectas. Vamos a ver en qué consiste cada uno de estos tipos.

- Mediciones directas

Las mediciones directas son aquéllas en las cuales el resultado es obtenido directamente del instrumento que se está utilizando. Por ejemplo, para medir la corriente que circula por un circuito podemos utilizar un amperímetro apropiado.

- Mediciones indirectas

Las mediciones indirectas son aquéllas en que el resultado deseado no lo obtenemos directamente de las lecturas realizadas con los instrumentos utilizados, sino que es necesario emplear los datos obtenidos para hallar la cantidad deseada mediante algunos cálculos. Por ejemplo, el valor de una resistencia lo podemos determinar de la siguiente forma: Con un amperímetro medimos la corriente que circula por ella, y con un voltímetro la caída de voltaje entre sus terminales cuando circula la corriente medida anteriormente. Con estas dos lecturas podemos calcular la resistencia aplicando la ley de Ohm.



2.3.1. ERRORES EN LAS MEDIDAS DIRECTAS

El origen de los errores de medición es muy diverso, pero podemos distinguir:

Errores sistemáticos: son los que se producen siempre, suelen conservar la magnitud y el sentido, se deben a desajustes del instrumento, desgastes etc. Dan lugar a sesgo en las medidas.

Errores aleatorios: son los que se producen de un modo no regular, variando en magnitud y sentido de forma aleatoria, son difíciles de prever, y dan lugar a la falta de calidad de la medición.

Error absoluto. Es el error en valor absoluto que se comete expresado en las mismas unidades que la magnitud medida. Sin equivocarse.

Error relativo. Es la relación que existe entre el error absoluto y la magnitud medida, es adimensional, y suele expresarse en porcentaje.

Error estándar. Si no hemos valorado el error que cometemos al medir, tomamos como error estándar:

Cinco veces la apreciación del instrumento.

El 5% de la magnitud medida.

El error estándar es la mayor de estas medidas.

2.3.2. ERRORES EN LAS MEDIDAS INDIRECTAS

Cuando el cálculo de una medición se hace indirectamente a partir de otras que ya conocemos, que tienen su propio margen de error, tendremos que calcular junto con el valor indirecto, que suele llamarse también valor derivado, el error de éste,



normalmente empleando el diferencial total. A la transmisión de errores de las magnitudes conocidas a las calculadas indirectamente se le suele llamar propagación de errores.

2.4. METODOS DE MEDICION

Tanto las medidas directas como las indirectas podemos realizarlas utilizando dos métodos generales: El método de deflexión y el método de detección de cero. Veamos en qué consiste cada uno de ellos.

➤ Método de deflexión

En éste primer método, la deflexión que sucede en la aguja del instrumento da directamente la medida. Por ejemplo: Supongamos que tenemos el circuito mostrado en la Fig. 1, y para medir la corriente que circula por él introducimos un amperímetro, como se indica en la Fig. 2.

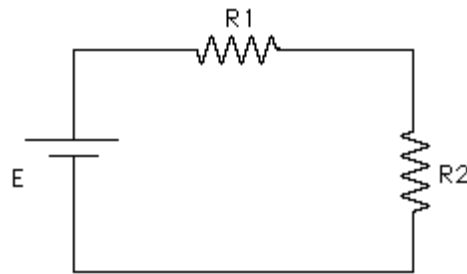


Fig. 1.- Circuito

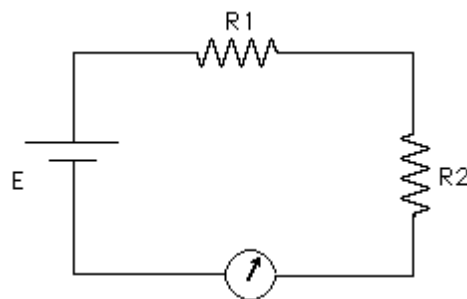


Fig. 2.- Medición de corriente



El instrumento ha deflectado tres divisiones de las diez que tiene, y como sabemos que cada una de ellas corresponde a 1 mA, podemos concluir que la corriente que circula por el circuito es de 3 mA.

➤ Método de detección de cero

En el método de cero, la indicación nula o cero del instrumento sensor lleva a determinar la incógnita que se busca a partir de otras condiciones conocidas. Esto lo podemos ver más claro con un ejemplo:

Hay un circuito especial denominado puente de Wheatstone, que tiene la configuración mostrada en la Fig. 3a:

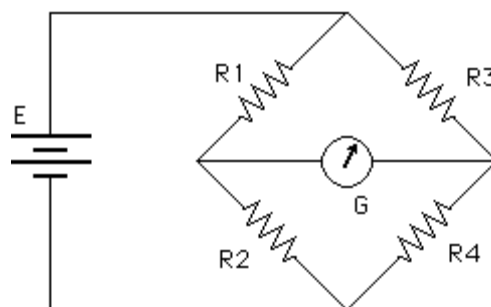


Fig. 3a - Puente de Wheatstone

Cuando se cumple que $R1/R2 = R3/R4$ el galvanómetro G indica cero corriente. Basándonos en esta propiedad, podemos medir resistencias utilizando el arreglo de la Fig. 3b. La resistencia incógnita vamos a ponerla en R1. En R2 vamos a poner una resistencia variable, mientras que R3 y R4 van a ser resistencias fijas.

Despejando R1 de la fórmula: $R1 = (R3/R4) * R2$



Como R3 y R4 son constantes: $R1 = K R2$

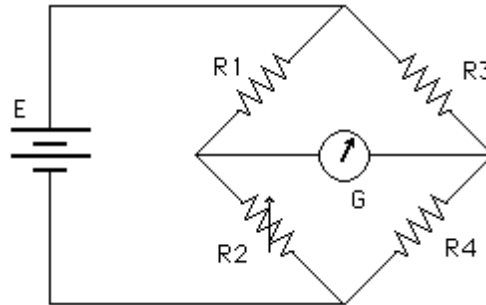


Fig. 3b.- Puente de Wheatstone para la medición de una resistencia R1

donde K es una constante conocida. Para medir una resistencia incógnita se coloca dicha resistencia en la posición R1 y se varía R2 hasta obtener una lectura de cero en el galvanómetro. En ese momento se cumple la ecuación indicada anteriormente, por lo que el valor de R1 será el de R2 (que lo conocemos) multiplicado por la constante K.

La diferencia fundamental entre el método de deflexión y el de detección de cero es que en el primero es necesario que circule una corriente por el instrumento para que se produzca la deflexión y podamos realizar la medida, por lo que la introducción del instrumento altera el circuito original, mientras que con el método de detección de cero, la cantidad a medir se determina cuando la indicación en el instrumento es nula, es decir, cuando no circula corriente por él, por lo que las condiciones del circuito no se ven alteradas en el momento de realizar la medición.

Debido a lo anterior, los métodos de detección de cero pueden ofrecer mayor exactitud que los de deflexión, pero estos últimos permiten realizar la medición mucho más rápidamente y por lo tanto son de mayor utilidad cuando la exactitud requerida no es muy alta.



Tanto los métodos de deflexión como los de detección de cero, pueden subdividirse de acuerdo al gráfico mostrado en la Figura 4.

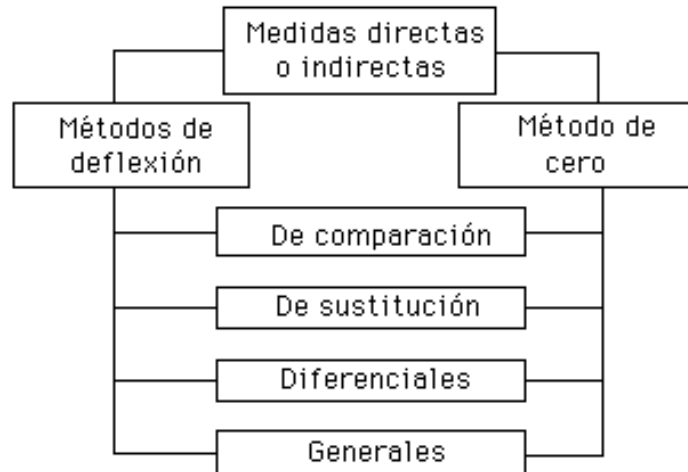


Fig. 4.- Métodos de medida

➤ Método de comparación.

Lo utilizamos cuando tenemos una incógnita, un parámetro conocido similar a la incógnita que se encuentra conectado al circuito simultáneamente con la anterior, y un instrumento de detección, que no tiene que estar calibrado en las mismas unidades que la incógnita. (Fig. 5a).

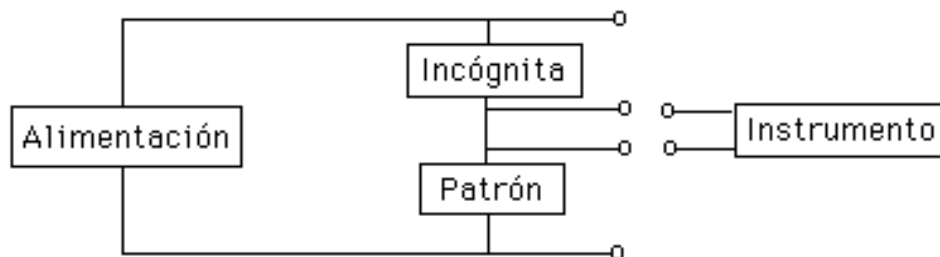


Fig. 5a.- Esquema genérico del método de comparación.



CAPITULO 2: MÉTODOS DE MEDICIÓN



Vamos a aclarar este método mediante un ejemplo. Supongamos que queremos determinar el valor de una resistencia, y disponemos del circuito mostrado en la Fig. 5b:

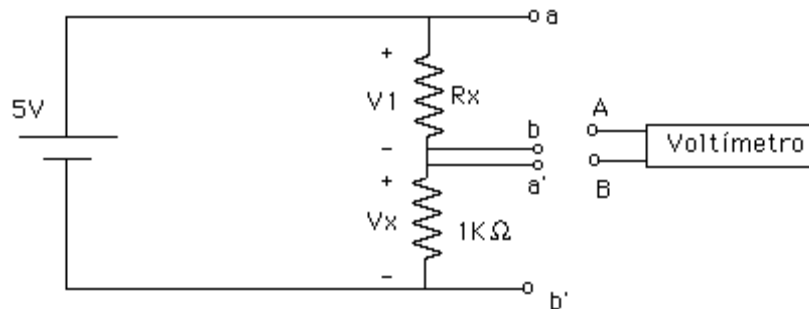


Fig. 5b.- Esquema circuital del método de comparación.

Comparando este circuito con el esquema anterior, vemos que la alimentación es la fuente de 5V, la incógnita es R_x , el parámetro similar a la incógnita es la resistencia patrón de $1K\Omega$ y el instrumento es un voltímetro, que como podemos observar, está calibrado en unidades diferentes a las de la incógnita.

Con el voltímetro vamos a determinar la caída de voltaje entre los extremos de cada una de las resistencias, esto es, V_x y V_1 . Como ambas resistencias están en serie, la corriente que circula por ellas es la misma, y por lo tanto se cumple:

$$i = V_x/R_x$$

$$i = V_1/1K\Omega$$

$$V_x/R_x = V_1/1K\Omega \text{ entonces } R_x = (V_x/V_1)*1K\Omega$$

Vemos que a partir de V_x y V_1 , podemos hallar el valor de R_x . Esta es una medición indirecta, realizada por un método de deflexión y de comparación.



➤ Método de sustitución.

Es aquél en que la incógnita se reemplaza por el patrón, el cual se ajusta para que produzca el mismo efecto de la incógnita. El instrumento utilizado puede estar calibrado en unidades diferentes a la incógnita. Lo podemos esquematizar en la forma presentada en la Fig. 6:

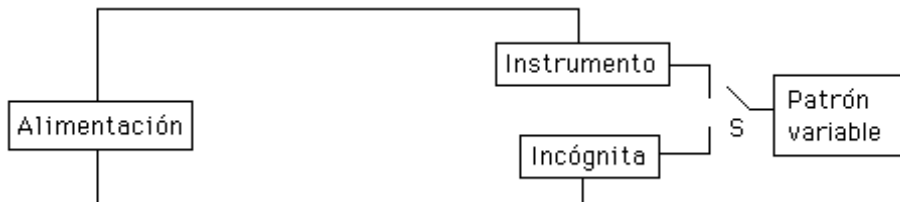


Fig. 6.- Esquema general del método de sustitución.

➤ Método diferencial.

Este método se utiliza cuando se quiere medir la variación de un parámetro con respecto a un valor inicial. En primer lugar este valor inicial se ajusta con respecto a una referencia estable, de forma que el instrumento sensor indique cero. Cualquier variación de la incógnita puede determinarse mediante la indicación del instrumento sensor. Podemos esquematizar este método como se indica en la Fig. 7:

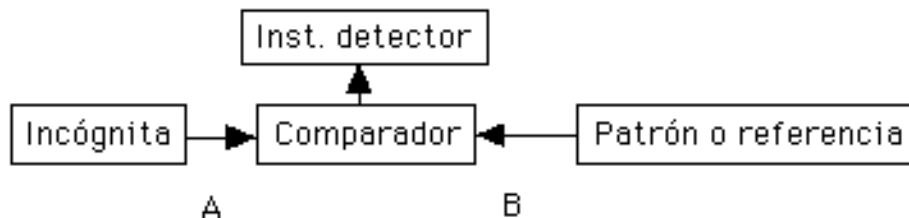


Fig. 7.- Esquema general del método diferencial.



➤ Métodos generales.

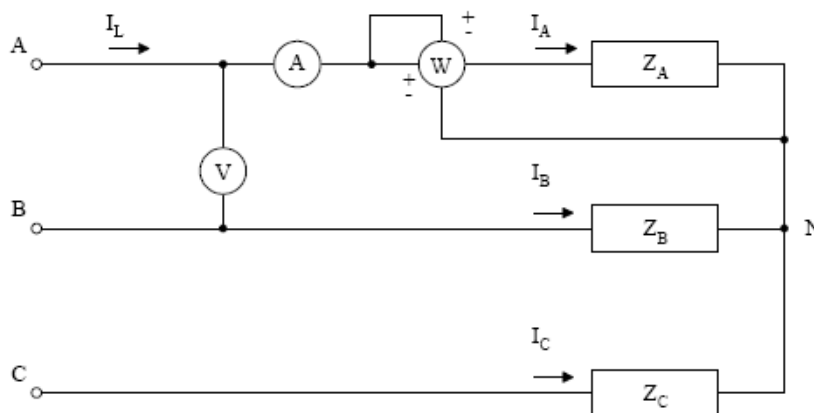
Son aquéllos que no pueden incluirse en cualquiera de los otros grupos. Entre los métodos directos generales de deflexión se encuentran la medición de corriente mediante un amperímetro, la de voltaje con un voltímetro, la de frecuencia con un frecuencímetro, etc. Entre los indirectos generales de deflexión están el del voltímetro y amperímetro para medir resistencias y potencia, el del voltímetro y una resistencia patrón para medir corrientes, etc.

2.5. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE POTENCIA.

❖ Método de un wattmetro

Debido a sus características el sistema trifásico es el más difundido para el suministro de energía eléctrica; en el que la energía por unidad de tiempo total cedida, potencia total, es igual a la suma de las potencias en cada una de las cargas de cada fase, por lo que:

$$S_{3\phi} = S_{\phi A} + S_{\phi B} + S_{\phi C} \dots (1)$$





CAPITULO 2: MÉTODOS DE MEDICIÓN



Figura 8 Medición de la potencia de un sistema trifásico equilibrado conectado en estrella.

Para el circuito de la Fig. 8

$$S_{3\phi} = V_{AN} I_A^* + V_{BN} I_B^* + V_{CN} I_C^* \dots (2)$$

Si $Z_A = Z_B = Z_C$ entonces

$$|I_A| = |I_B| = |I_C| = |I_L|$$

y

$$\phi_A = \phi_B = \phi_C = \phi$$

y la potencia compleja total es, sustituyendo las ecuaciones anteriores en la Ec. (2)

$$S_{3\phi} = |V_{AN}| |I_A| \angle \phi + |V_{BN}| |I_B| \angle \phi + |V_{CN}| |I_C| \angle \phi$$

y dado que

$$|V_{AN}| = |V_{BN}| = |V_{CN}| = |V_F| = \frac{|V_L|}{\sqrt{3}}$$

Se tiene

$$S_{3\phi} = 3 |V_F| |I_L| \angle \phi = \sqrt{3} |V_L| |I_L| \angle \phi [VA] \dots (3)$$

p



CAPITULO 2: MÉTODOS DE MEDICIÓN



de la ecuación 3, la potencia activa y reactiva son respectivamente:

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} |V_L| |I_L| \cos \theta [W] \dots (4)$$

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} |V_L| |I_L| \sin \theta [VAR] \dots (5)$$

De lo anterior puede concluirse que para medir la potencia total de un sistema trifásico balanceado conectado en estrella puede utilizarse el esquema de la Figura 8, o sea

$$P_{3\phi} = 3 \text{ veces la lectura del wattmetro}$$

Donde la lectura del wattmetro es proporcional al producto de la corriente que fluye en su bobina de corriente por el voltaje de su bobina de tensión y por el coseno del defasaje entre el voltaje y la corriente.

El método de un wattmetro tiene la desventaja de que es necesario tener acceso al punto neutro, N, lo que no es siempre posible, por ejemplo en una carga en delta. De aquí que para hacer mediciones de potencia trifásica, se emplee otro método; el cual se describe a continuación.

❖ Método de los dos wattmetros.

Este método es el que se utiliza comúnmente para medir la potencia en sistemas trifásicos. Un posible esquema de conexiones se muestra en la Fig. 9



CAPITULO 2: MÉTODOS DE MEDICIÓN

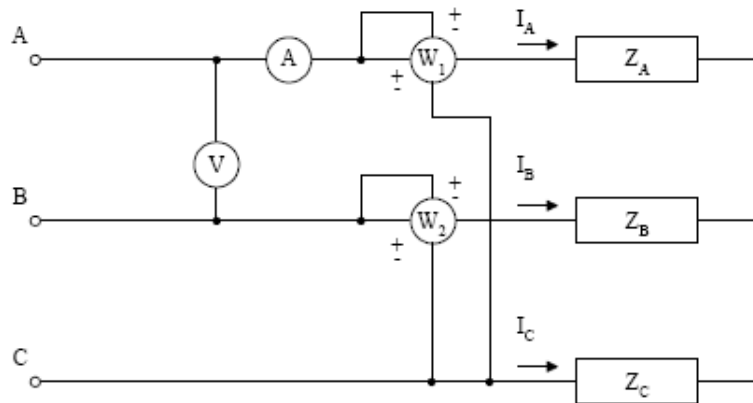


Figura 9. Método de los dos wattmetros para medir potencia en un sistema trifásico.

La restricción del método es que la suma de corrientes debe ser cero; lo cual se logra cuando el neutro de la carga se encuentra desconectado del neutro del sistema de suministro, para una conexión en estrella, o que las cargas estén balanceadas, para una conexión delta y/o estrella, lo que generalmente ocurre en plantas y fábricas.

Por lo tanto, si

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

$$I_C = -I_A - I_B \dots (6)$$

Sustituyendo la ecuación 6 en la ecuación 2

$$S_{3\phi} = V_{AN} I_A^* + V_{BN} I_B^* + V_{CN} (-I_A^* - I_B^*)$$



CAPITULO 2: MÉTODOS DE MEDICIÓN



$$S_{3\phi} = (V_{AN} - V_{CN}) I_A^* + (V_{BN} - V_{CN}) I_B^*$$

$$S_{3\phi} = V_{AC} I_A^* + V_{BC} I_B^* \dots (7)$$

La Ec. (7) es congruente con el esquema de la Fig. 9, ya que la bobina de tensión de W1, está conectada a la tensión entre las fases A y C y la bobina de tensión de W2, está conectada a la tensión entre las fases B y C y a través de las bobinas de corriente de W1 y W2 circulan las corrientes de la fase A, I_A , y de la fase B, I_B , respectivamente.

Para una carga inductiva y resistiva balanceada el diagrama fasorial correspondiente es el de la Fig. 10.

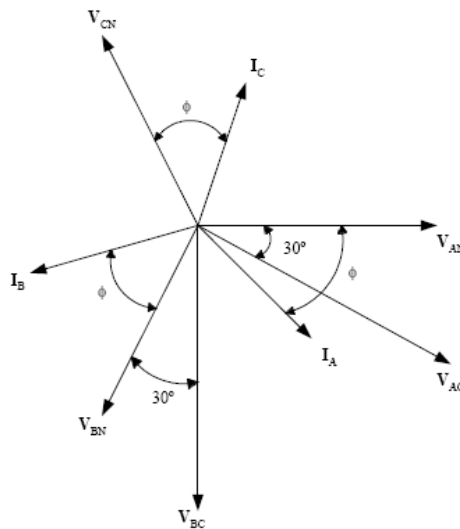


Figura 10. Diagrama fasorial de una carga inductiva y resistiva trifásica balanceada.



CAPITULO 2: MÉTODOS DE MEDICIÓN

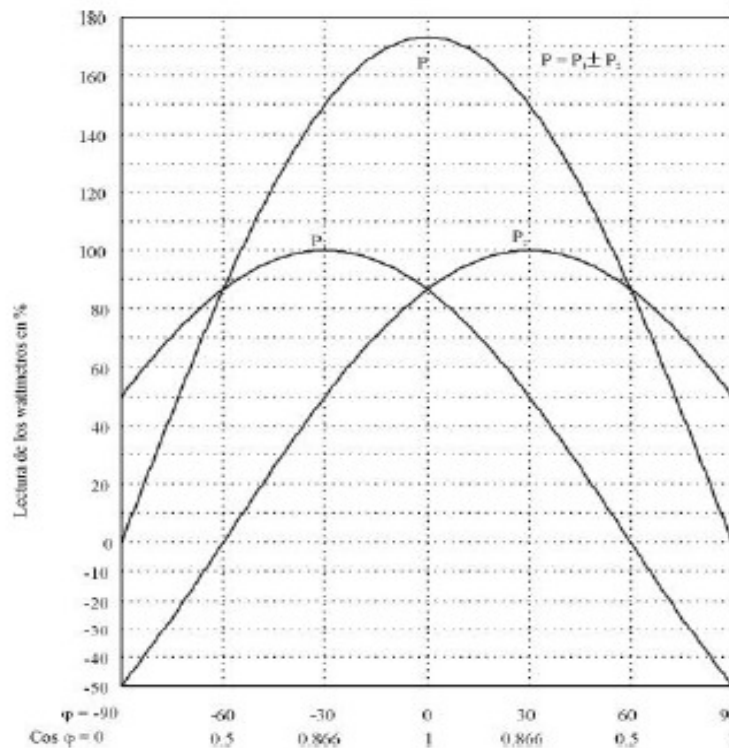


Según la Fig. 10, y considerando que $|I_A| = |I_B| = |I_C| = |I_L|$ y $|V_{AB}| = |V_{BC}| = |V_{CA}| = |V_L|$ las potencias indicadas en cada wattmetro son:

$$P_{W1} = |V_L| |I_L| \cos\left(\phi - \frac{\pi}{6}\right) \dots (8)$$

$$P_{W2} = |V_L| |I_L| \cos\left(\phi + \frac{\pi}{6}\right) \dots (9)$$

En la Fig. 11, se presentan las gráficas en por ciento de P_{3f} , P_{W1} y P_{W2} para una carga inductiva y resistiva. La manera de utilizarla se describe a continuación:





CAPITULO 2: MÉTODOS DE MEDICIÓN



Figura 11. Gráfica de las lecturas de PW1 y PW2 en por ciento para el método de los dos wattmetros.

Una vez que se efectúan las mediciones, las lecturas indicadas por los wattmetros se dividen por el producto $|V_L||I_L|$ se determina ϕ .

Nótese que las curvas de P1 y P2 están dibujadas en función del ángulo de defasaje, ϕ , del diagrama fasorial y no del correspondiente al triángulo de potencias. Cuando la carga es capacitiva y resistiva los wattmetros se intercambian.

En el caso de que $\phi > 60^\circ$, uno de los wattmetros marque en sentido contrario, por lo que es necesario invertir la polaridad de su bobina de tensión y considerar su valor negativo para sumarlo algebraicamente con el valor marcado por otro wattmetro.

Medición de la potencia reactiva.

La potencia reactiva en un sistema trifásico es:

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3}|V_L||I_L|\sin\phi \dots [\text{VAR}]$$

Por lo que cuando la carga es reactiva pura un wattmetro marcará cero ($\phi = 90^\circ$). Sin embargo, es posible medir la potencia reactiva por medio de este instrumento al efectuar un defasaje de 90° entre el flujo de la bobina de tensión y el flujo de la bobina de corriente. En los sistemas trifásicos, se puede obtener ese defasaje conectando la bobina de corriente a una fase y la bobina de tensión entre las fases restantes, como se muestra en la Fig.12.



CAPITULO 2: MÉTODOS DE MEDICIÓN

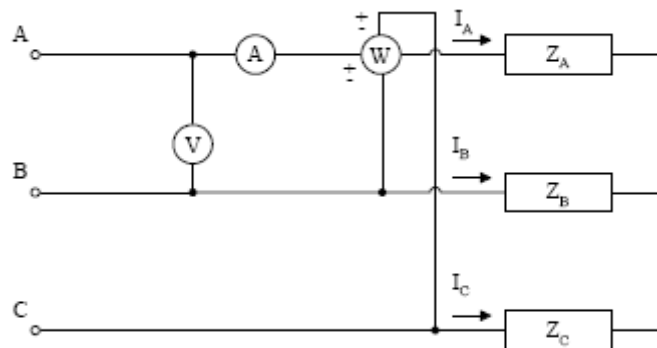


Figura 12. (a) Conexión del wattmetro para medir potencia reactiva en un sistema trifásico.

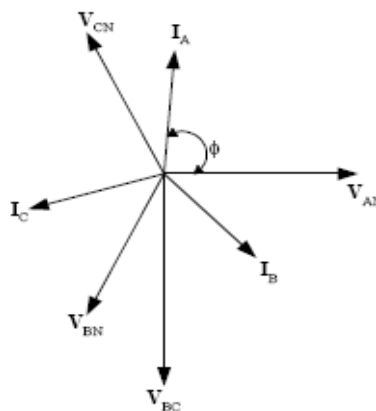


Figura 12. (b) Diagrama fasorial correspondiente a una carga capacitiva balanceada

El valor indicado por el wattmetro será

$$P_w = |V_L| |I_L| \cos(90^\circ - \phi) = |V_L| |I_L| \text{sen}\phi$$