



Electrotecnia

Trabajo Práctico N° 4 Medición de Potencia Trifásica Método de Aarón

2021

Objetivos:

- Medir la potencia trifásica mediante el método de los dos vatímetros (Método de Aarón).
- Determinar las potencias trifásicas para cargas equilibradas y desequilibradas.-
- Realizar Informe del Ensayo.-

Consignas:

- El alumno debe presentar el trabajo impreso de la siguiente manera:
- Carátula con los datos del alumno y del grupo.
- Informe del Ensayo con los siguientes puntos:
 - a. Objetivo de la Práctica.
 - b. Fundamento Teórico.
 - c. Circuito utilizado.
 - d. Perspectiva del circuito con los instrumentos empleados.
 - e. Características de los instrumentos y/o elementos.
 - f. Maniobra Operativa.
 - g. Tabla de Valores Obtenidos.
 - h. Representación gráfica de los valores obtenidos.
 - i. Aplicaciones.
 - j. Precauciones a tener en cuenta.
 - k. Normas a consultar.
 - l. Síntesis y Conclusiones.

APELLIDO Y NOMBRE: _____

APROBACIÓN: _____

FIRMA: _____

FECHA: _____

**ELECTROTECNIA****Laboratorio Experimental 2021**

Trabajo Práctico N° 4:

Medición de Potencia Trifásica. Método de Aarón

Alumno:.....

Comisión:.....

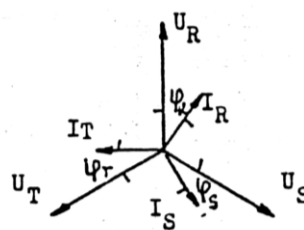
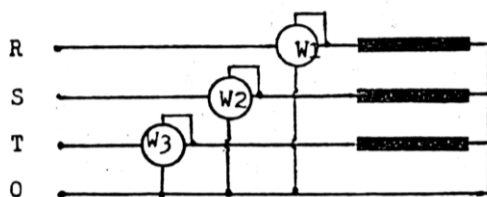
Grupo:.....

| | | | | | |
|---|------------------------|---------------------------|--|------------------|------------------|
| ASIGNATURA: | | CURSO: | | SEMESTRE: | |
| ELECTROTECNIA | | 3° | | 5° | |
| ALUMNO | FOTO | NOMBRE Y APELLIDO: | | | |
| | | | | | |
| | | Legajo N°: | ESPECIALIDAD: | AÑO: | GRUPO N°: |
| | | | ING. INDUSTRIAL | 2021 | |
| DOCENTES | Prof. Tit. | Ing. Alejandro FARA | | | |
| | J.T.P. | Ing. José CORBACHO | | | |
| | J.T.P. | Ing. Orlando ROMERO | | | |
| | J.T.P. | Ing. David MOLINA | | | |
| | Ayte Ad Honorem | | | | |
| TRABAJO PRÁCTICO DE LABORATORIO N° | | 4 | DENOMINACIÓN DEL PRÁCTICO: | | |
| | | | Medición de Potencia Trifásica Método de Aarón | | |
| | | | OBJETIVOS: | | |
| | | | Ver carátula | | |
| FECHA DE ENTREGA | | REVISIÓN N° | FECHA | FIRMA | |
| | | 1ª: | ___/___/___ | | |
| | | 2ª: | ___/___/___ | | |
| | | APROBACIÓN | ___/___/___ | | |
| INTEGRANTES DE LA COMISIÓN | | | | | |
| 1.- | | 6.- | | | |
| 2.- | | 7.- | | | |
| 3.- | | 8.- | | | |
| 4.- | | 9.- | | | |
| 5.- | | 10.- | | | |
| OBSERVACIONES | | | FIRMA DOCENTE | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | REVISIÓN N° | FECHA | |
| | | | REV. 0 | 12/09/14 | |
| | | | REV. 1 | 20/02/15 | |
| | | | REV. 2 | 25/02/16 | |
| | | | REV. 3 | 24/02/20 | |



1. Medida de la Potencia

La potencia demandada por una carga trifásica es igual a la suma de las potencias suministradas por cada una de las fases. Esto se cumple para cualquier tipo de conexión de la carga y características de ésta. Luego, la potencia del sistema trifásico puede medirse con tres vatímetros monofásicos conectados en la forma indicada en el esquema. Obsérvese que esto requiere tener acceso al punto neutro del sistema.



El vatímetro 1 indicará: $P_R = U_R \cdot I_R \cdot \cos \phi_R = \vec{U}_R \cdot \vec{I}_R$

El vatímetro 2 indicará: $P_S = U_S \cdot I_S \cdot \cos \phi_S = \vec{U}_S \cdot \vec{I}_S$

El vatímetro 3 indicará: $P_T = U_T \cdot I_T \cdot \cos \phi_T = \vec{U}_T \cdot \vec{I}_T$

La potencia total instantánea será: $P = P_R + P_S + P_T$

Para demostrar el método de Aaron partimos de la consideración de que la potencia activa, con los vatímetros W_1 conectado entre las fases R y T y el vatímetro 2 entre las fases S y T y además en el sistema eliminamos el neutro, tenemos que las lecturas de los vatímetros será:

$$P = W_{RT} \pm W_{ST}$$

$$W_{RT} = U_{RT} \cdot I_R \cdot \cos(\angle U_{RT}, I_R)$$

$$W_{ST} = U_{ST} \cdot I_S \cdot \cos(\angle U_{ST}, I_S)$$

La suma de las corrientes por la primera ley de Kirchhoff, valen:

$$\vec{I}_R + \vec{I}_S + \vec{I}_T = 0 \Rightarrow \vec{I}_T = -(\vec{I}_R + \vec{I}_S)$$

Que reemplazamos en la expresión de la potencia, entonces:

$$P = \vec{U}_R \cdot \vec{I}_R + \vec{U}_S \cdot \vec{I}_S + \vec{U}_T \cdot (-\vec{I}_R - \vec{I}_S) = \vec{I}_R \cdot (\vec{U}_R - \vec{U}_T) + \vec{I}_S \cdot (\vec{U}_S - \vec{U}_T)$$

Y las tensiones compuestas o de línea:

$$\vec{U}_{RT} = \vec{U}_R - \vec{U}_T$$

$$\vec{U}_{ST} = \vec{U}_S - \vec{U}_T$$

$$P = \vec{U}_{RT} \cdot \vec{I}_R + \vec{U}_{ST} \cdot \vec{I}_S \quad \textcircled{1}$$

De donde se demuestra que la potencia activa trifásica, es igual a la suma de las lecturas de los dos vatímetros:

$P = W_{RT} + W_{ST}$ Esta expresión general, nos permite concluir que el método de Aron o Aaron se aplicará a todo sistema **equilibrado o no, simétrico o no**, pero sin **neutro accesible**.



1.1 Cargas equilibradas y simétricas

En los sistemas trifilares la medida de la potencia se realiza conectando los elementos en la forma indicada en el esquema (conexión Aaron). Los vatímetros monofásicos quedan conectados a una tensión $\sqrt{3}$ Uf, desfasadas a 30° y para cargas **equilibradas y simétricas**; podemos considerar los vatímetros monofásicos en forma independiente para estudiar su comportamiento y medida que permite el cálculo de la potencia total.

De esta forma, desarrollando la expresión 1:

$$P = U_{RT} \cdot I_R \cdot \cos(\varphi - 30^\circ) + U_{ST} \cdot I_S \cdot \cos(\varphi + 30^\circ)$$

Como:

$$U_{RT} = U_{ST} = U_L$$

$$I_R = I_S = I_L$$

$$P = U_L \cdot I_L (\cos\varphi \cdot \cos 30^\circ + \sin\varphi \cdot \sin 30^\circ + \cos\varphi \cdot \cos 30^\circ - \sin\varphi \cdot \sin 30^\circ) = U_L \cdot I_L \cdot 2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cos\varphi$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos\varphi$$

Es decir la potencia activa trifásica se obtiene como la suma de las lecturas de los dos vatímetros, que para cargas equilibradas la designamos como:

$$P = W_1 + W_2$$

De la misma manera se puede analizar para la obtención de la potencia reactiva trifásica, a partir de la siguiente consideración, que parte de la diferencia de la lectura de los dos vatímetros:

$$Q = W_1 - W_2 \quad (\underline{2})$$

$$Q = U_{RT} \cdot I_R \cdot \cos(\varphi - 30^\circ) - U_{ST} \cdot I_S \cdot \cos(\varphi + 30^\circ)$$

Igual que antes, desarrollamos la expresión, como sigue:

$$Q = U_L \cdot I_L (\cos\varphi \cdot \cos 30^\circ + \sin\varphi \cdot \sin 30^\circ - \cos\varphi \cdot \cos 30^\circ + \sin\varphi \cdot \sin 30^\circ) = U_L \cdot I_L \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \sin\varphi$$

$$Q = U_L \cdot I_L \cdot \sin\varphi$$

Para que la última expresión nos permita calcular la potencia reactiva en un sistema trifásico equilibrado, a la expresión 2, le agregamos el factor $\sqrt{3}$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin\varphi$$

De esta forma la expresión 2 quedaría:

$Q = \sqrt{3} \cdot (W_1 - W_2)$ Esta expresión debemos recordar sólo será aplicable a aquellos casos en los que carga sea **equilibrada**.

Se analizan ahora diferentes tipos de carga:

a- Carga $Z_R = Z_S = Z_T = R$

$$\varphi_R = \varphi_S = \varphi_T = 0^\circ$$

Del diagrama vectorial se deduce que el vatímetro 1 y el vatímetro 2 miden:



ELECTROTECNIA

Laboratorio Experimental 2021

Trabajo Práctico N° 4:

Medición de Potencia Trifásica. Método de Aarón

Alumno:.....

Comisión:.....

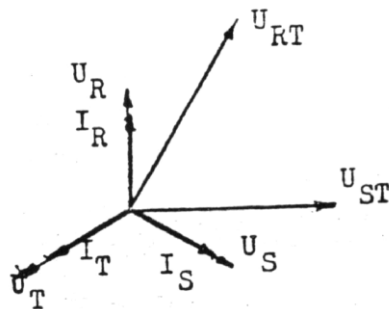
Grupo:.....

$$W_1 = U_{RT} \cdot I_R \cdot \cos 30^\circ$$

$$W_2 = U_{ST} \cdot I_S \cdot \cos 30^\circ$$

Considerando que: $U_{RT} = U_{ST} = U$; $I_{RT} = I_{ST} = I$; $\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$

La potencia total, resulta: $P = W_1 + W_2 = \sqrt{3} \cdot UI$ lo que significa $\cos \varphi = 1$ valor éste que, de acuerdo al tipo de carga considerado es correcto.



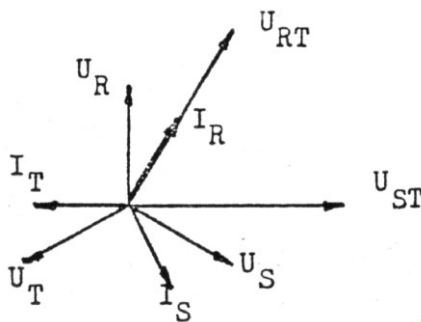
b- Carga $Z_R = Z_S = Z_T = R + j X$; $\frac{X}{R} = \arctg 30^\circ$

Del diagrama vectorial se deduce que el vatímetro 1 y el vatímetro 2 miden:

$$W_1 = U_{RT} \cdot I_R \cdot \cos 0^\circ = U \cdot I$$

$$W_2 = U_{ST} \cdot I_S \cdot \cos 60^\circ = 0,5 \cdot U \cdot I$$

La potencia total, resulta: $P = W_1 + W_2 = 1,5 \cdot U \cdot I$



c- Carga $Z_R = Z_S = Z_T = R + j X$; $\frac{X}{R} = \arctg 60^\circ$

Del diagrama vectorial se deduce que el vatímetro 1 y el vatímetro 2 miden:

$$W_1 = U_{RT} \cdot I_R \cdot \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} U \cdot I$$

$$W_2 = U_{ST} \cdot I_S \cdot \cos 90^\circ = 0$$

El vatímetro 2 permanecerá en la posición cero y la potencia total, será: $P = W_1$; $\varphi = 90^\circ$



ELECTROTECNIA

Laboratorio Experimental 2021

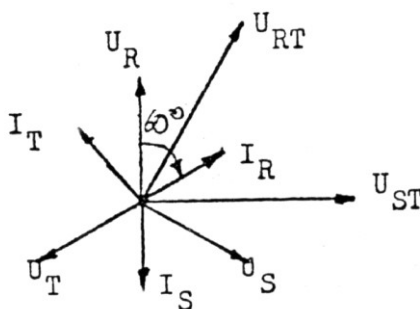
Trabajo Práctico N° 4:

Medición de Potencia Trifásica. Método de Aarón

Alumno:.....

Comisión:.....

Grupo:.....



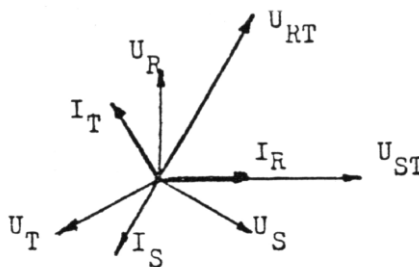
d- Carga $Z_R = Z_S = Z_T = j X$; $\varphi = 90^\circ$

Del diagrama vectorial se deduce que el vatímetro 1 y el vatímetro 2 miden:

$$W_1 = U_{RT} \cdot I_R \cdot \cos 60^\circ = 0,5 \cdot U \cdot I$$

$$W_2 = U_{ST} \cdot I_S \cdot \cos 120^\circ = -0,5 \cdot U \cdot I$$

El resultado negativo nos indica que el vatímetro 2 tenderá a señalar la medida con movimiento de la aguja en sentido contrario al normal. Para lograr la medida, se invierte la conexión de intensidad.



Para el tipo de carga considerada la potencia total será: $P = W_1 + (-W_2) = 0$. En general, cuando uno de los vatímetros (en este caso el 2), tiende a señalar en sentido contrario (lo que ocurre para $\varphi > 60^\circ$), se invierte la conexión de uno de sus circuitos y la potencia total se obtiene por diferencia:

$$P = W_1 - W_2$$



ELECTROTECNIA

Laboratorio Experimental 2021

Trabajo Práctico N° 4:

Medición de Potencia Trifásica. Método de Aarón

Alumno:.....

Comisión:.....

Grupo:.....

ENSAYO

1) Objetivo de la práctica:

- 1.1 Medir de la potencia de una carga trifásica equilibrada inductiva (Motor eléctrico trifásico).
- 1.2 Determinar de la Potencia reactiva.
- 1.3 Obtener el factor de potencia.

2) Enumerar los instrumentos e identificar las características de los instrumentos y/o elementos utilizados, indicando, para cada uno:

Instrumentos:

- ⇒ Magnitud que mide.....
- ⇒ Principio de funcionamiento.....
- ⇒ Rango o alcance.....
- ⇒ Tipo de corriente.....
- ⇒ Posición de trabajo.....
- ⇒ Tensión de prueba.....
- ⇒ Clase de exactitud.....
- ⇒ Otras características especiales.....
- ⇒ Dibujar los símbolos correspondientes.....

Elementos:

- ⇒ Denominación.....
- ⇒ Tensión de entrada
- ⇒ Tensión de salida
- ⇒ Corriente máxima
- ⇒ Potencia aparente

3) Armar el circuito eléctrico siguiente:

Debido a los alcances de los vatímetros que son de 400W y de 2000W y a que nuestra medición es de relativa poca potencia, incorporamos en el circuito un transformador de medida de intensidad para obtener una mejor medición y adaptar la escala amperométrica a los requerimientos de la carga. El circuito utilizado es el siguiente:



ELECTROTECNIA

Laboratorio Experimental 2021

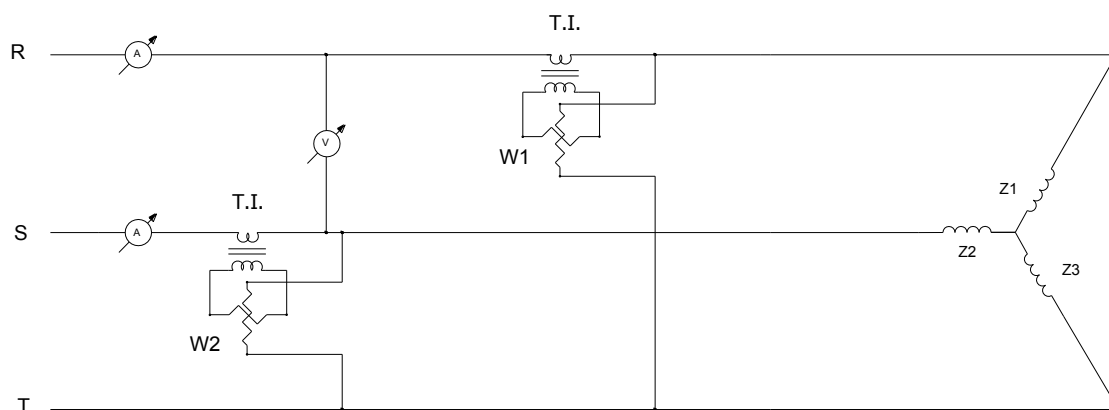
Trabajo Práctico N° 4:

Medición de Potencia Trifásica. Método de Aarón

Alumno:.....

Comisión:.....

Grupo:.....



La constante de escala de los vatímetros será:

$$K_W = \frac{Alc. A. K_{T.I.} \cdot Alc. V.}{n^{\circ} div.}$$

- 4) Maniobra operativa
- 5) Tomar las lecturas.
 - 5.1 De los vatímetros W_1 y W_2
 - 5.2 Del voltímetro y amperímetro
- 6) Valores obtenidos

a. Carga equilibrada

| Vatímetro 1 W_1 | Vatímetro 2 W_2 | Potencia Activa [W] | Potencia Reactiva [VAR] | Potencia Aparente [VA] | $\cos\phi$ | Voltímetro [V] | Amperímetro [A] | Valor conocido de las cargas | Error relativo porcentual |
|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|------------|----------------|-----------------|------------------------------|---------------------------|
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

$$P = W_1 \pm W_2 \quad ; \quad Q = \sqrt{3} \cdot (W_1 \mp W_2) \quad ; \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \cos\phi = \cos \left[\arctg \frac{Q}{P} \right]$$

b. Carga desequilibrada

| Vatímetro 1 W_{RT} | Vatímetro 2 W_{ST} | Potencia Activa [W] | Potencia Aparente [VA] | $\cos\phi$ | Voltímetro [V] | Amperímetro [A] | | | Valor conocido de las cargas | Error relativo porcentual |
|-------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|------------|----------------|-----------------|-------|-------|------------------------------|---------------------------|
| | | | | | | I_R | I_S | I_T | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |



ELECTROTECNIA

Laboratorio Experimental 2021

Trabajo Práctico N° 4:

Medición de Potencia Trifásica. Método de Aarón

Alumno:.....

Comisión:.....

Grupo:.....

$$P = W_{RT} \pm W_{ST} \quad ; \quad Q = \sqrt{3} \cdot (W_{RT} \mp W_{ST}) \quad ; \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \cos \varphi = \cos \left[\arctg \frac{Q}{P} \right]$$

c. En el caso de carga desequilibrada medir las tensiones:

| | V _{NO} [V] | V _{RO} [V] | V _{SO} [V] | V _{TO} [V] |
|---------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Tensión | | | | |

d. Construir en papel milimetrado el triángulo de tensiones correspondientes suponiendo una secuencia directa RST e indicar en escala conveniente el vector representativo de la tensión de neutro flotante, tensiones simples con respecto al neutro y al neutro flotante y las tensiones compuestas.

7) Precauciones a tener en cuenta

- ⇒ Seleccionar adecuadamente los rangos de tensión y de corriente de los vatímetros.
- ⇒ Verificar el sentido de deflexión de las agujas de los vatímetros, y en caso de ser contrario al normal, intercambiar la polaridad en la entrada de la bobina amperométrica.
- ⇒ Respetar el esquema circuital presentado de los vatímetros y la carga.

8) Aplicaciones: En todos los casos que se desee medir potencia trifásica en sistemas simétricos o no y equilibrados o no pero que sean *trifilares*, es decir sin neutro.-

9) Conclusiones y comentarios:.....

.....

.....