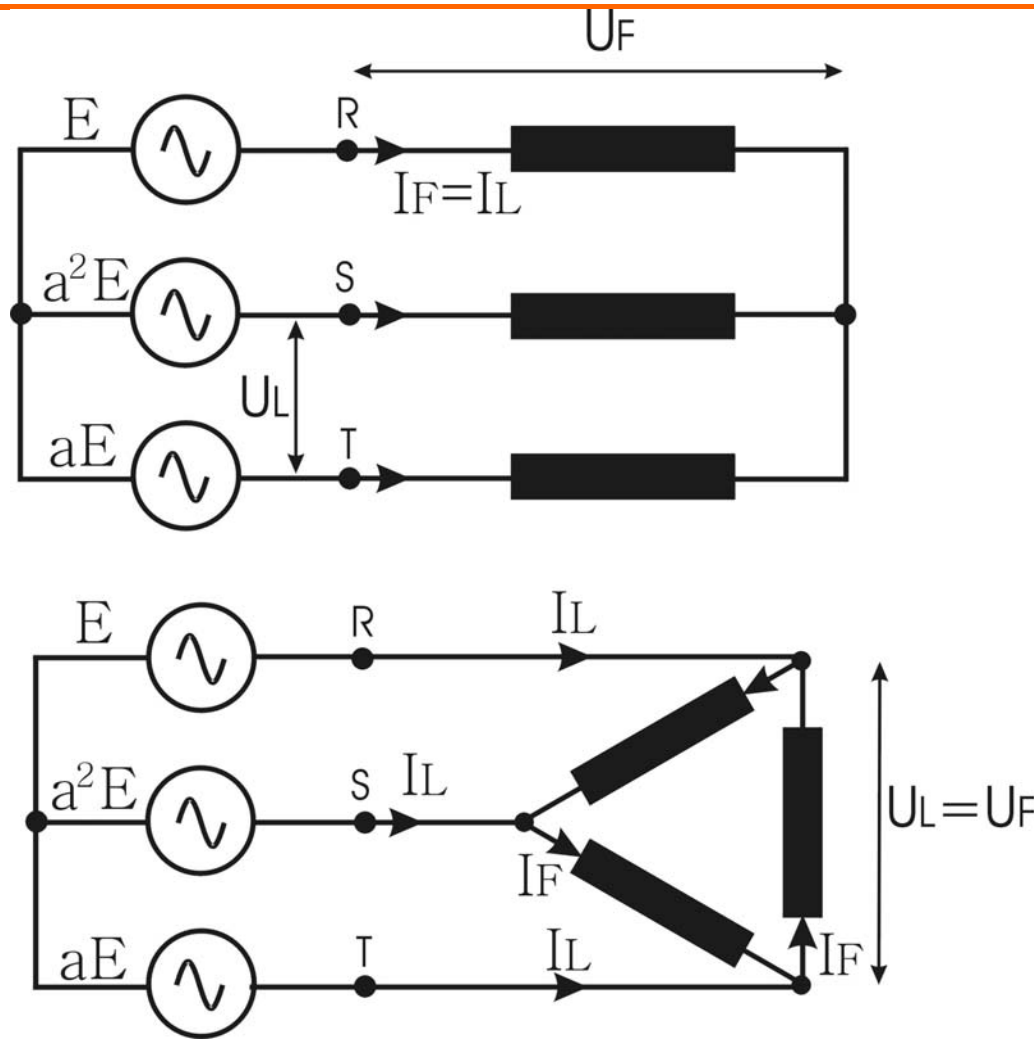




ELECTROTECNIA I

TRABAJO PRACTICO N° 3
MEDICION DE POTENCIA EN C.A.

Medición de Potencia en un circuito de C.A. trifásico TRIFILAR



$$P_3 = 3U_F I_F \cos \Phi = \sqrt{3} U_L I_L \cos \Phi$$

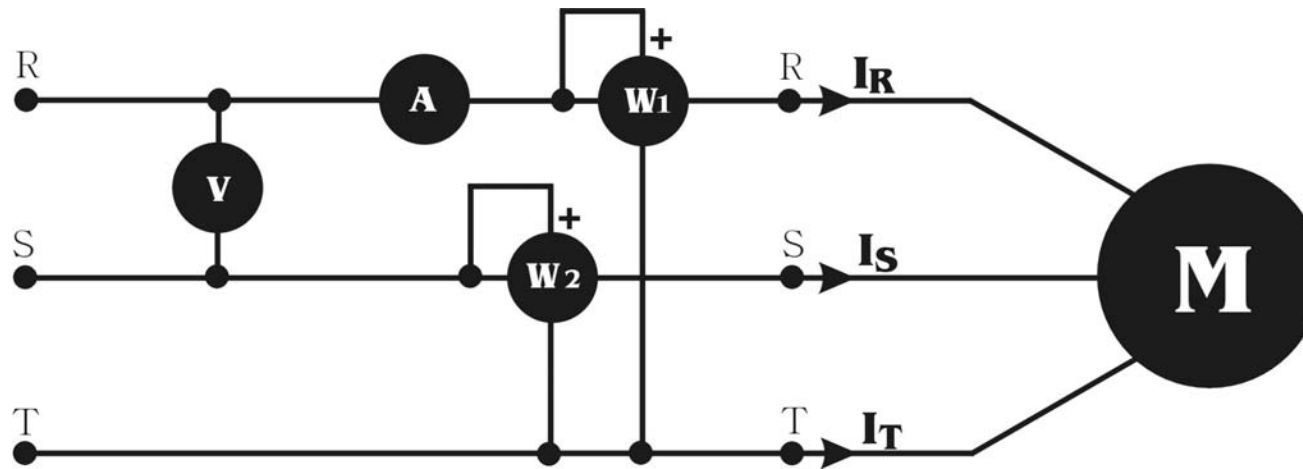
$$Q_3 = 3U_F I_F \sin \Phi = \sqrt{3} U_L I_L \sin \Phi$$

$$S_3 = \sqrt{3} U_L I_L$$

Teorema de Blondel:

“Si el suministro de energía a un determinado circuito se realiza a través de “n” conductores, la potencia total entregada estará dada por la suma algebraica de las indicaciones de “(n-1)” vatímetros dispuestos en forma tal que cada conductor contenga una bobina amperométrica y el correspondiente circuito de tensión quede conectado entre ese conductor y un punto común a todos los circuitos voltimétricos.”

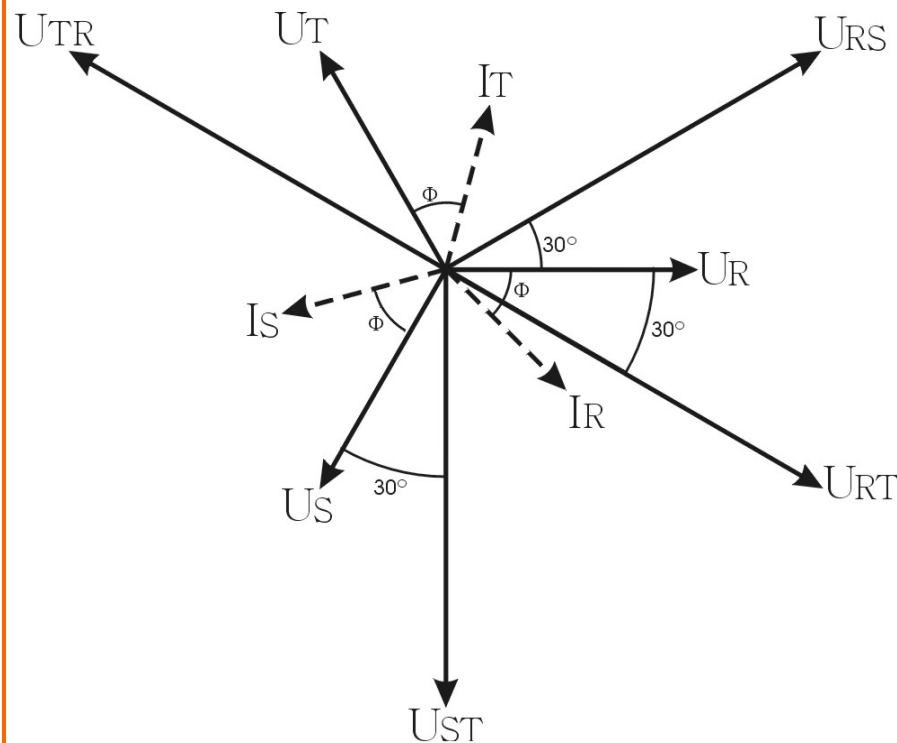
Medición de potencia con dos vatímetros (Método Aron)



$$\begin{aligned}\tilde{S}_3 &= U_R \cdot I_R^* + U_S \cdot I_S^* + U_T \cdot I_T^* \\ I_R + I_S + I_T &= 0; \quad I_T = -I_R - I_S; \quad \text{Reemplazando,} \\ \tilde{S}_3 &= U_R \cdot I_R^* + U_S \cdot I_S^* + U_T (-I_R^* - I_S^*); \quad \text{Agrupando,} \\ \tilde{S}_3 &= (U_R - U_T) \cdot I_R^* + (U_S - U_T) \cdot I_S^* \\ \tilde{S}_3 &= U_{RT} \cdot I_R^* + U_{ST} \cdot I_S^*\end{aligned}\quad (1)$$

Esta última ecuación concuerda con el circuito de la figura; dado que la bobina voltimétrica del vatímetro W_1 está conectada entre las fases R y T, y, la bobina de tensión del vatímetro W_2 , se encuentra conectada entre las fases S y T. A través de las bobinas amperométricas circulan respectivamente las corrientes I_R e I_S .

Aplicando el método en sistemas simétricos y equilibrados



$$|U_{RS}| = |U_{ST}| = |U_{TR}| = |U_L| \quad \text{y} \quad |I_R| = |I_S| = |I_T| = |I_L|$$

$$P_{W1} = U_{RT} \cdot I_R \cos(U_{RT} \angle I_R)$$

$$P_{W2} = U_{ST} \cdot I_S \cos(U_{ST} \angle I_S)$$

$$P_{W1} = U_{RT} \cdot I_R \cos(\Phi_R - 30^\circ)$$

$$P_{W2} = U_{ST} \cdot I_S \cos(\Phi_S + 30^\circ)$$

$$\Phi_R = \Phi_S = \Phi_T = \Phi$$

$$I_R = I_S = I_T = I_L$$

$$U_R = U_S = U_T = U_F$$

$$U_{RS} = U_{ST} = U_{TR} = U_L$$

$$P_3 = P_{W1} + P_{W2} = U_L \cdot I_L (\cos(\Phi - 30^\circ) + \cos(\Phi + 30^\circ)); \text{ siendo:}$$

$$\cos(\Phi + 30^\circ) = \cos \Phi \cos 30^\circ - \text{sen} 30^\circ \text{sen} \Phi$$

$$\cos(\Phi - 30^\circ) = \cos \Phi \cos 30^\circ + \text{sen} 30^\circ \text{sen} \Phi;$$

luego reemplazando se tendrá:

$$P_3 = U_L \cdot I_L \cdot \cos \Phi \cdot 2 \cdot \cos 30^\circ = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos \Phi$$

Conclusiones:

- La **Potencia Trifásica** resulta ser la suma de las indicaciones de ambos vatímetros.
- Como no se han impuesto condiciones de simetría ni equilibrio para la demostración (1), se podría tener que:

$$|U_{RS}| \neq |U_{ST}| \neq |U_{TR}| \quad \text{y/o} \quad |I_R| \neq |I_S| \neq |I_T|$$

equivale a decir que el método es válido para sistemas simétricos o no, equilibrados o no, siempre que **sea trifilar**.

Se puede decir que el sistema de medición sirve para **cualquier sistema trifásico trifilar**.

- El método también será válido para un sistema de conexión tetrafililar, siempre que se garantice que la corriente de neutro es nula.
- El método es válido sin importar la secuencia.

pongamos ahora:

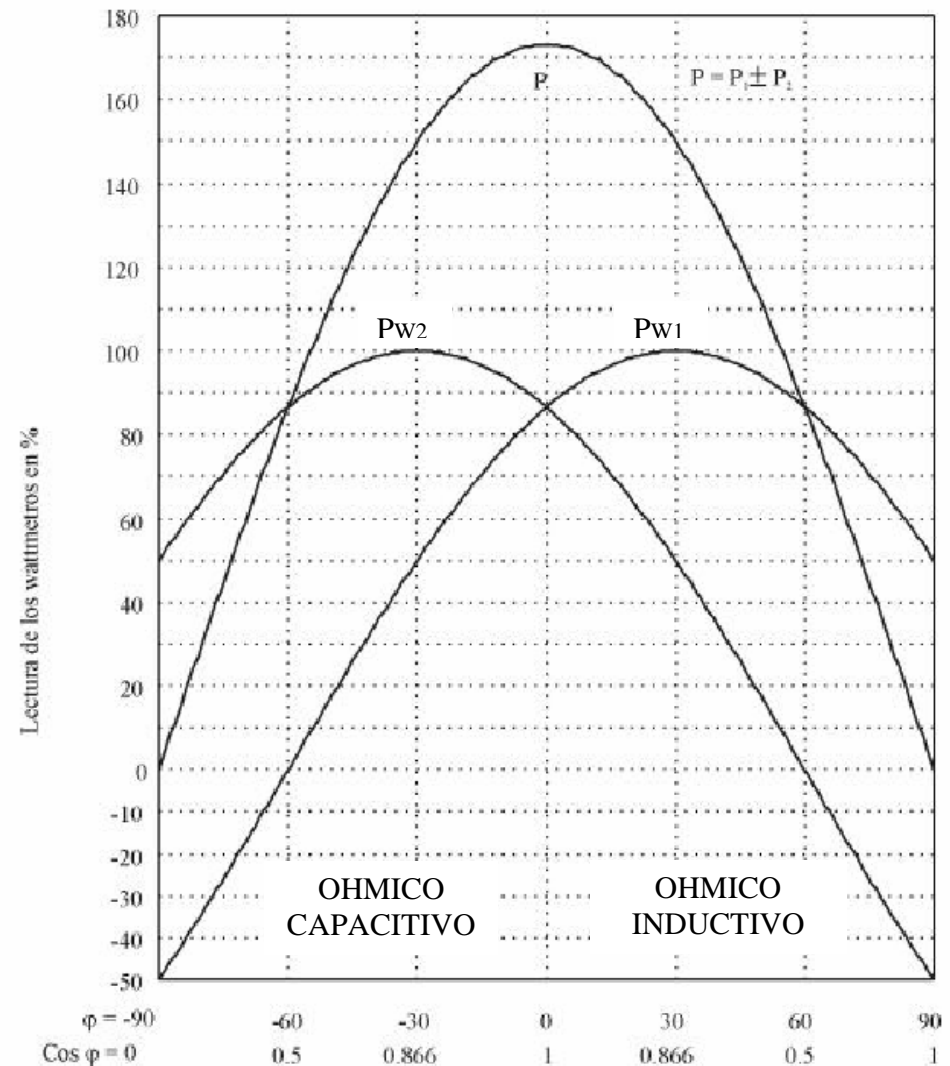
$$P_{W1} = k \cdot \cos(\Phi_R - 30)$$

$$P_{W2} = k \cdot \cos(\Phi_S + 30)$$

Φ	P_{W1}	%	P_{W2}	%	P_3	%
90°	$k \cdot \frac{1}{2}$	50	$-k \cdot \frac{1}{2}$	-50	0	0
60°	$k \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$	86.6	0	0	$k \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$	86.6
30°	k	100	$k \cdot \frac{1}{2}$	50	$k \cdot \frac{3}{2}$	150
0°	$k \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$	86.6	$k \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$	86.6	$k \cdot \sqrt{3}$	173
-30°	$k \cdot \frac{1}{2}$	50	k	100	$k \cdot \frac{3}{2}$	150
-60°	0	0	$k \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$	86.6	$k \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$	86.6
-90°	$-k \cdot \frac{1}{2}$	-50	$k \cdot \frac{1}{2}$	50	0	0

Con los datos podemos representar en un gráfico las lecturas de ambos vatímetros y la potencia activa trifásica en función del ángulo y del factor de potencia de la carga.

Lectura de los Vatímetros



En el gráfico anterior podemos observar:

- Si $\Phi = 0^\circ$, (receptor óhmico puro), ambos vatímetros tendrán igual indicación y de valor positivo.
- Cuando $60^\circ < \Phi < 90^\circ$, uno de los ángulos (Φ_{RT} ó Φ_{ST}) varía entre 90° y 120° , lo cual hace que la indicación de uno de los vatímetros se haga negativa (se debe restar para obtener la potencia trifásica).
- Cuando el receptor es de características **óhmico-inductiva**, siempre es mayor la lectura del vatímetro conectado a la fase que sigue a la fase común, cuando la secuencia es directa y menor cuando es inversa.
- Cuando el receptor es de características **óhmico-capacitivas**, siempre es mayor la indicación del vatímetro conectado a la fase que precede a la fase común, cuando la secuencia es directa y menor cuando la secuencia es inversa.
- Cuando el receptor es de características **inductivas o capacitivas** puras ($\Phi = \pm 90^\circ$), los vatímetros tienen igual indicación pero con signo contrario ($P_3 = 0$).

Con carga óhmico-inductiva		Con carga óhmico-capacitivas	
$W_{RT} > W_{ST}$	Secuencia directa	$W_{RT} < W_{ST}$	Secuencia directa
$W_{RT} < W_{ST}$	Secuencia inversa	$W_{RT} > W_{ST}$	Secuencia inversa

Factor de potencia

$$f_p = \frac{P_3}{S_3} = \frac{P_{W1} + P_{W2}}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L}$$

Donde U_L e I_L son las lecturas respectivas del voltímetro y amperímetro conectados en el circuito.

En el caso de que el ángulo $\Phi > 60^\circ$, uno de los vatímetros indicará en sentido contrario, por lo que será necesario invertir la bobina voltimétrica.

Determinación de la potencia reactiva

Recordemos, como se ha expresado al inicio que:

$$Q_3 = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \text{sen}\Phi$$

Operemos matemáticamente:

$$P_{W1} - P_{W2} = U_L \cdot I_L (\cos(\Phi - 30^\circ) - \cos(\Phi + 30^\circ))$$

$$\cos(\Phi - 30^\circ) = \cos\Phi \cos 30^\circ + \text{sen}30^\circ \text{sen}\Phi$$

$$\cos(\Phi + 30^\circ) = \cos\Phi \cos 30^\circ - \text{sen}30^\circ \text{sen}\Phi$$

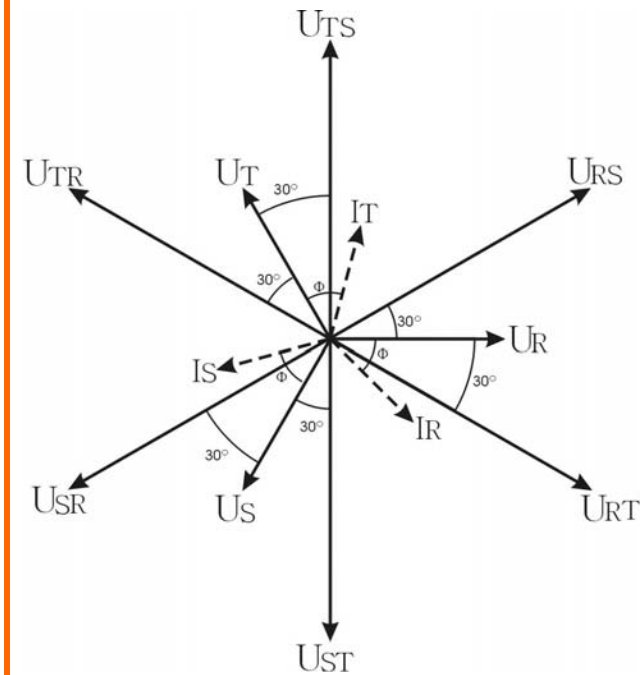
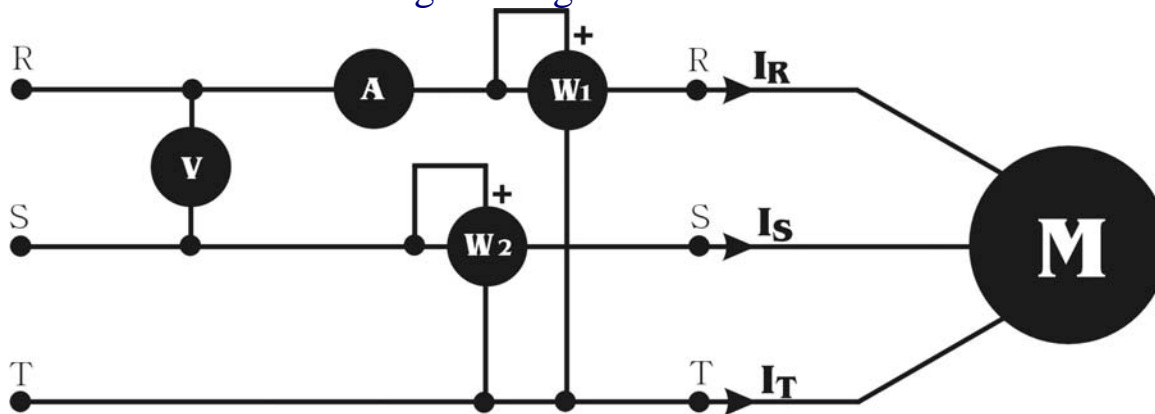
$$P_{W1} - P_{W2} = U_L \cdot I_L \cdot 2 \cdot \text{sen}30^\circ \cdot \text{sen}\Phi = U_L \cdot I_L \cdot \text{sen}\Phi$$

en consecuencia si multiplicamos la diferencia por $\sqrt{3}$ tendremos :

$$Q_3 = \sqrt{3}(P_{W1} - P_{W2}) = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \text{sen}\Phi$$

EJECUCIÓN DEL PRACTICO

1. Armar el circuito según la figura o relevar el circuito armado:



2. En el circuito de la figura se utilizan dos vatímetros y la potencia total se obtiene de la expresión:

$$P = \pm P_{W1} \pm P_{W2}$$

La conexión de los vatímetros se dispone de forma tal, que ambas deflexiones sean positivas. En esas condiciones la lectura de mayor valor se toma como positiva. Ahora debemos asignar el signo a la lectura del segundo vatímetro. La manera de determinarlo es:

Se levanta la conexión de la bobina voltimétrica del vatímetro que indica menos sobre la fase común.

Se conecta en la fase del vatímetro de mayor indicación. Según sea el sentido de la deflexión se le asignara:

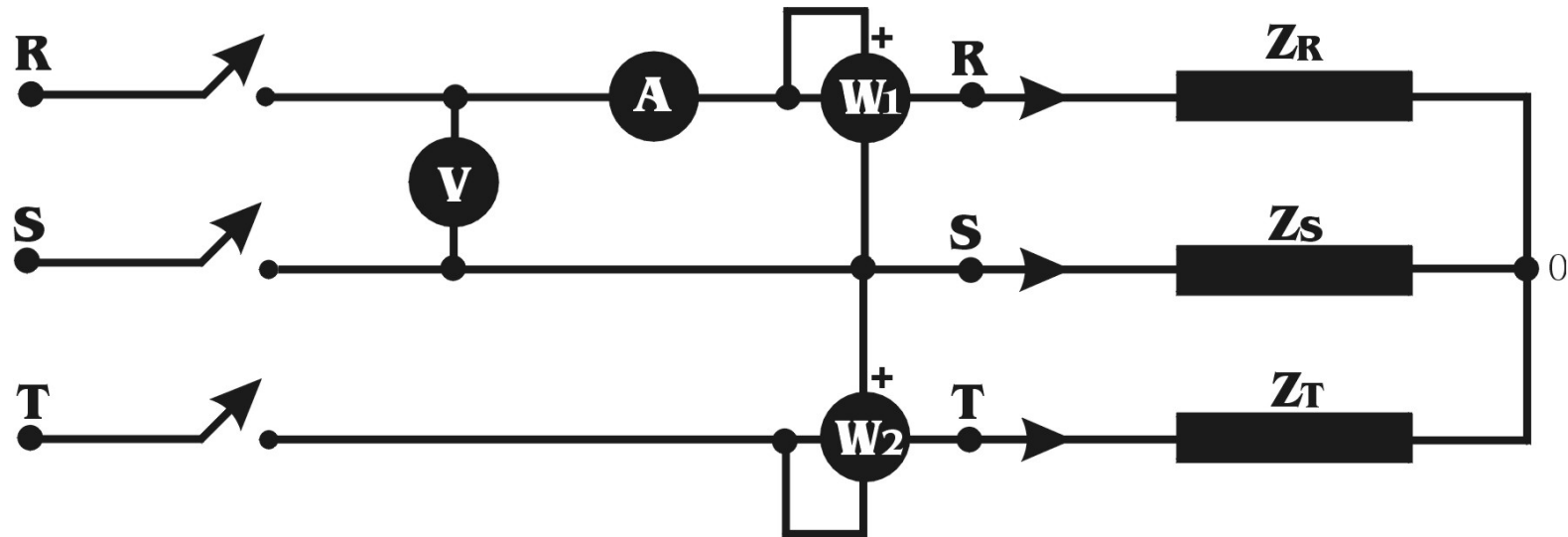
- Signo [+]
positivo, para una deflexión en el sentido horario.
- Signo [-]
negativo, para una deflexión en sentido anti-horario.

3. Proceder a completar las tablas según la guía del Trabajo Práctico

4. Proceder a efectuar los cálculos y analizar las situaciones propuestas en los ítem 3, 4 y 5 de la guía.

Dado el circuito propuesto en el ítem 6:

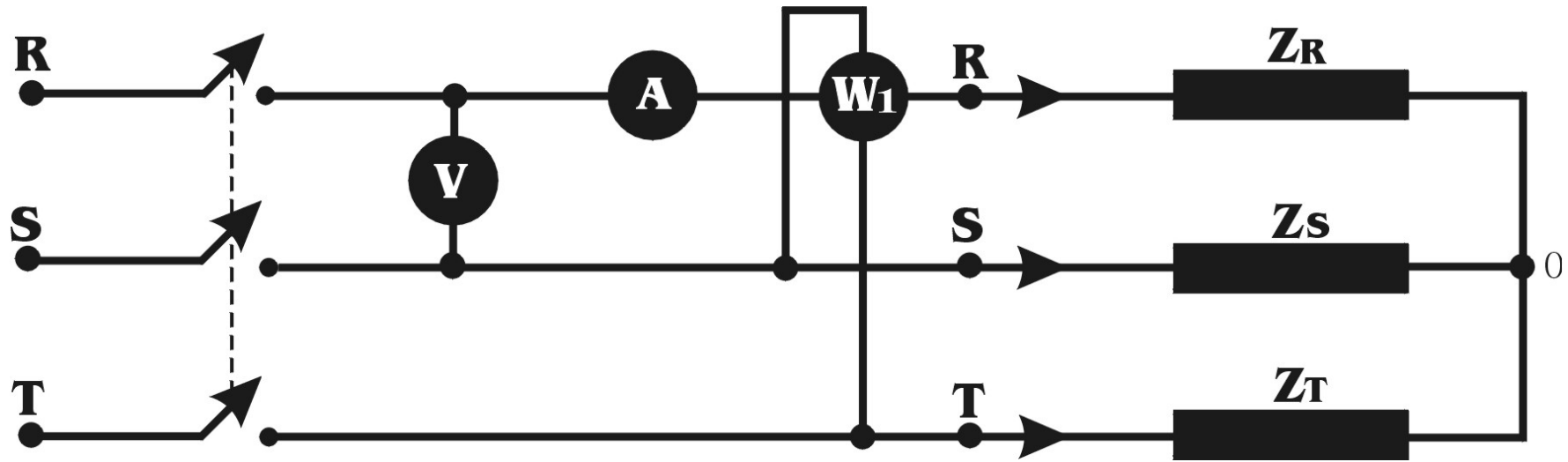
Sea una carga industrial equilibrada, modelizada por una resistencia $R = 6 \Omega$ y una $X_L = 8 \Omega$ por fase, en estrella; siendo la tensión de Línea $U_L = 380 \text{ V}$.



Confeccionar el respectivo diagrama fasorial y analizar la indicación de los vatímetros en la conexión. En todos los casos: Justificar las respuestas.

1. Inicialmente ¿ambos vatímetros tienen una deflexión positiva? – en caso de una respuesta negativa, ¿cuál de ellos no lo hace?
2. ¿Cual de los vatímetros es el de menos deflexión?
3. ¿Se sigue cumpliendo en esta conexión el método Aron?
4. Para obtener la potencia activa trifásica ¿se deben sumar o restar las indicaciones?.

Para la misma carga y diagrama fasorial expresados en el ítem anterior, se puede concluir que el vatímetro indicará:



$$W_1 = U_L \cdot I_L \cdot \cos(90 - \Phi) = U_L \cdot I_L \cdot \text{sen}\Phi$$

por cuanto este vatímetro estará indicando indirectamente la potencia reactiva, que podemos calcular multiplicando la indicación del vatímetro por la raíz de tres.

$$Q_3 = \sqrt{3} \cdot W$$

Ver guía de Trabajo Práctico N° 3