



UNSE

Universidad Nacional
de Santiago del Estero



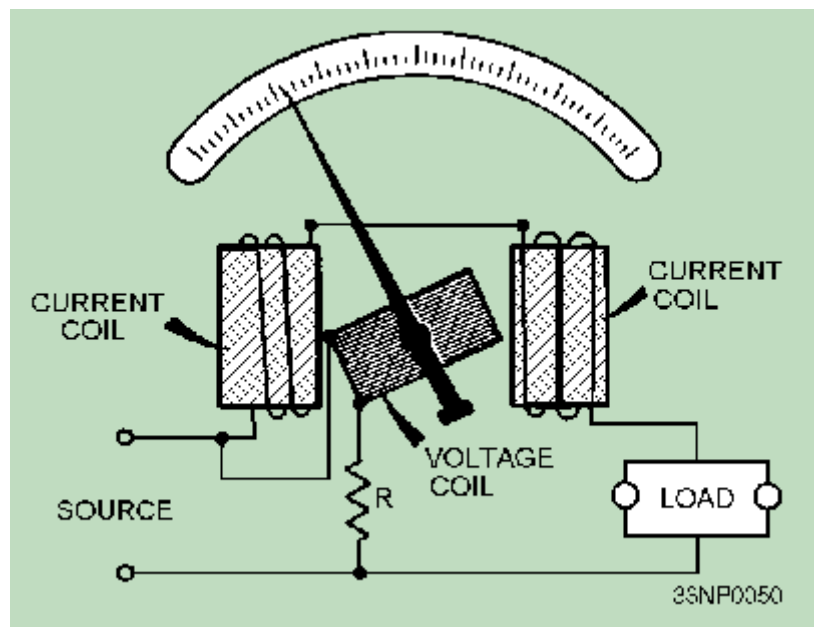
Facultad de Ciencias
Exactas y Tecnologías

Santiago del Estero, 21 de mayo del 2025

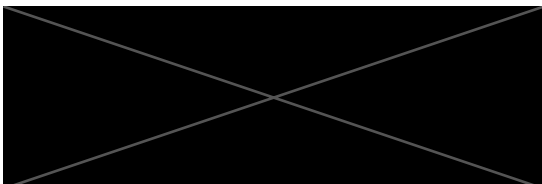
Ingeniería eléctrica

TP N° 6: Medición de Potencia monofásica con vatímetro

Medidas eléctricas



DOCENTES:



ALUMNO

- Chevauchey Clément

ÍNDICE

Objetivos	3
Materiales usados	4
Desarrollo	5
Datos y cálculos	7
Resultados y conclusión	10
Referencias	11

Objetivos

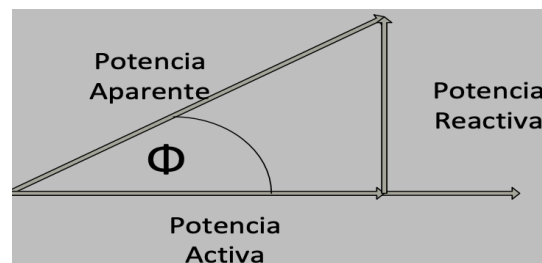
- Familiarizarse con la medición de potencia y sus componentes
- Determinación de la propagación de los errores en la medición y cálculo de los mismos

Introducción

La **potencia** en un circuito eléctrico es la **cantidad de energía** que se **consume** por unidad de **tiempo**. En términos sencillos, es la **velocidad** a la que la **energía eléctrica** se convierte en **otras formas** de energía.

En los sistemas de **corriente alterna** (CA), la potencia se clasifica en tres tipos:

- **Potencia activa (P)**: Es la potencia que realmente realiza trabajo, como el calentamiento o el movimiento de una máquina.
- **Potencia reactiva (Q)**: Es la potencia que circula entre la fuente y la carga, necesaria para generar los campos magnéticos, pero que no realiza trabajo útil.
- **Potencia aparente (S)**: Es la combinación vectorial de la potencia activa y la reactiva, y representa la potencia total que suministra el generador.



Vatímetro

En sistemas **monofásicos**, la **potencia activa** se puede medir utilizando un **vatímetro**, que es un instrumento diseñado para medir la **potencia consumida** por una **carga** en corriente alterna. Esta medición se realiza en función de la diferencia de fase entre la corriente y la tensión, y es esencial para conocer la eficiencia de los sistemas eléctricos.

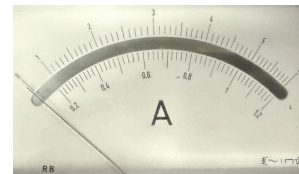
Transformador de Intensidad (TI)

En aplicaciones de alta corriente, como motores o instalaciones industriales, el uso de un **transformador de intensidad** (TI) es crucial. El TI permite **reducir la corriente** de un circuito de alta intensidad a un valor medible, **sin** la necesidad de **intervenir** directamente sobre la **carga** o el **conductor** de alta corriente, lo que mejora la **seguridad** y **facilita** la medición precisa.

El transformador de intensidad se conecta **en serie** con la **carga**, y su salida proporciona una **corriente proporcional** a la **corriente primaria**. El TI tiene una **relación de transformación** específica, que permite determinar la corriente primaria a partir de la corriente secundaria.

Materiales usados

- Fuente de corriente alterna
 - Voltaje de entrada 220 VAC
 - Voltaje de salida (0-250V)
 - Corriente máxima 12 A
- Motor
 - Voltaje de entrada 220 VAC
 - Corriente de línea 4,8 A
- Amperimetro
 - Hierro móvil
 - Corriente alterna
 - Clase de exactitud de 1
 - Posición de funcionamiento acostada
 - Clase de aislamiento Clase 2 = doble aislamiento, no necesita conexión a tierra
- Voltmetro
 - Hierro móvil
 - Corriente alterna
 - Clase de exactitud de 1
 - Posición de funcionamiento acostada
 - Clase de aislamiento Clase 2 = doble aislamiento, no necesita conexión a tierra
- Vatimetro
 - Electrodinámico con circuito de hierro
 - Corriente alterna
 - Clase de exactitud de 0,5
 - Posición de funcionamiento acostada
 - Clase de aislamiento Clase 1 = aislamiento básico y conexión a tierra de protección obligatoria.
 - 184 ohmios /3V
 - A 240V / 5A Alcance de 300 W
- Transformador de Intensidad
 - Clase de exactitud: 0,2
 - Relación de transformación:
 - Entrada: 50 – 25 – 10 ; Salida: 5
 - Frecuencia de servicio: 50 Hz
 - Tension de servicio: 500V
 - Carga máxima admisible 5VA



Desarrollo

Medición de potencia de Aire Acondicionado

Luego de verificar el correcto funcionamiento del disyuntor diferencial del laboratorio, se procedió al armado del circuito, conectando el variac, el Transformador de Intensidad (TI), el vatímetro (W), el voltímetro (V), el amperímetro (A) y el aire acondicionado del laboratorio (Imágenes 1 y 2).

El TI se conectó en 10 / 5, es decir una relación de 2 (K_{TI}), y el vatímetro en sus bornes de corriente de 5A y voltaje de 240V.

El amperímetro se conectó en su borne de 6A y el voltímetro en su borne de 260V.

Después de tensionar al circuito, se aumentó la tensión entregada por el variac, hasta llegar a la tensión de servicio del aire acondicionado ($\approx 220V$), asegurándose de que la corriente pasando por la bobina del vatímetro no pase los 5 Amperes y que la tensión en sus bornes no alcance los 240V.

Esta precaución permite evitar el riesgo de dañar una de las bobinas del vatímetro

A continuación, se registraron:

- Los valores indicados por el vatímetro, el amperímetro y el voltímetro.
- La relación de transformación del Transformador de Intensidad.
- La cantidad de divisiones de la escala de los instrumentos analógicos, sus alcances y sus clases de exactitud, y sus resistencias con el fin de calcular los errores asociados.
- El error de relación y de ángulo del transformador de intensidad.

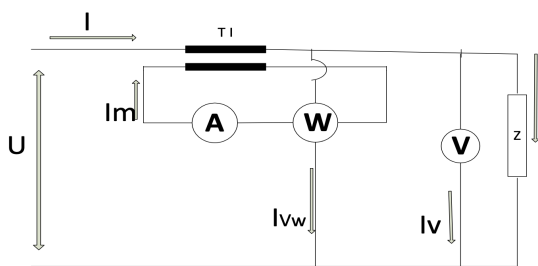


Imagen 1¹

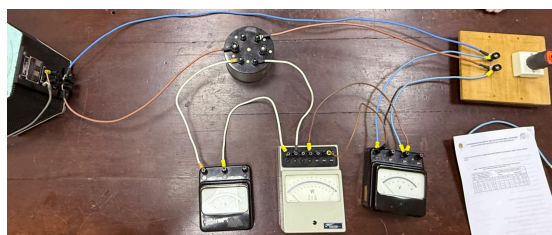


Imagen 2

¹ Apuntes de cátedra, Medidas Eléctricas, UNSE.

Medición de potencia de motor

Luego de verificar el correcto funcionamiento del disyuntor diferencial del laboratorio, se procedió al armado del circuito, conectando el variac, el Transformador de Intensidad (**TI**), el vatímetro (**W**), el voltímetro (**V**), el amperímetro (**A**) y el motor (*Imágenes 1 y 2*).

Después de tensionar al circuito, se aumentó la tensión entregada por el variac, hasta llegar a la tensión de servicio del motor ($\approx 220V$), asegurándose de que la corriente pasando por la bobina del vatímetro no pase los 5 Amperes y que la tensión en sus bornes no alcance los 240V.

Esta precaución permite evitar el riesgo de dañar una de las bobinas del vatímetro

A continuación, se registraron:

- Los valores indicados por el vatímetro, el amperímetro y el voltímetro.
- La relación de transformación del Transformador de Intensidad.
- La cantidad de divisiones de la escala de los instrumentos analógicos, sus alcances y sus clases de exactitud, y sus resistencias con el fin de calcular los errores asociados.
- El error de relación y de ángulo del transformador de intensidad.

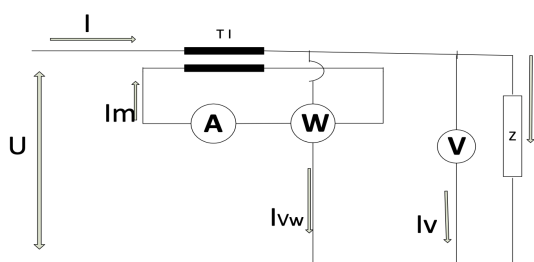


Imagen 3²

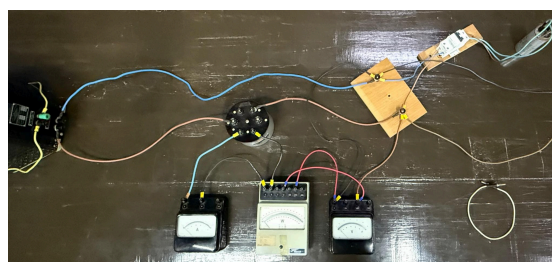
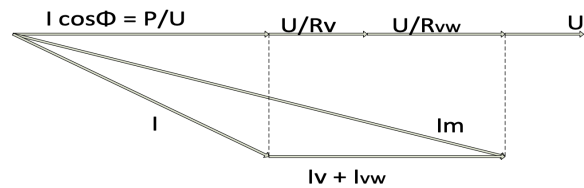


Imagen 4

² Apuntes de cátedra, Medidas Eléctricas, UNSE.

Datos y cálculos

Medición de potencia



La potencia consumida está dada por la medida de vatímetro salvo los errores presentes que sean metodológicos, de inserción, de clase, de apreciación, y de ángulo.

También se puede deducir del diagrama fasorial, que la corriente medida por el amperímetro, no es la que circula por la carga: Se deberá tener en cuenta las corrientes que se desvían hacia el voltímetro y hacia el circuito voltimétrico del vatímetro.

La potencia consumida por la carga, estará dado por:

$$P = P_m - P_V - P_{VW} = P_m - \frac{U^2}{R_V} - \frac{U^2}{R_{VW}} = P_m - U^2 \left(\frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_{VW}} \right)$$

Tomando en cuenta que la corriente pasando por el vatímetro no es la misma que la corriente pasando por la carga, tenemos que usar la relación de transformación del TI:

$$P = K_t \cdot P_m - U^2 \left(\frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_{VW}} \right)$$

Se calcularon a continuación los errores en la medición realizando la propagación del error:

$$e_{P\%} = \frac{K_t \cdot P_m}{k} e_{Pm\%} - \frac{2U^2}{k} \left(\frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_{VW}} \right) \cdot e_{V\%}$$

Donde:

$$\rightarrow k = K_t \cdot P_m - U^2 \left(\frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_{VW}} \right)$$

$$\rightarrow e_{V\%} = e_{CI\%} + e_{Ap\%}$$

$$\rightarrow e_{Pm\%} = e_{CI\%W} + e_{Ap\%W} + e_{\alpha\%W} + e_{R\%TI} + e_{\alpha\%TI}$$

Donde:

$$\blacklozenge e_{\alpha\%W} = \frac{W \cdot L_w}{R_{VW}} \cdot Tg(\phi) \cdot 100$$

$$\blacklozenge e_{\alpha\%TI} = \frac{\beta(Red)}{180.60} \cdot Tg(\phi) \cdot 100$$

$$\blacklozenge \phi : \text{ángulo entre la tensión y la corriente en el vatímetro}$$

Se adjuntan aquí los valores leídos durante el laboratorio:

Valores	Motor
P_m	$55 \text{ div} \cdot 2 = 111 \text{ W}$
U	220 V
I_c	$1,61 \text{ A} \cdot 2 = 3,22 \text{ A}$
S	$220 \text{ V} \cdot 3,22 \text{ A} = 708,4 \text{ VA}$
R_{VW}	$\frac{240 \text{ V} \cdot 184 \Omega}{3 \text{ V}} = 14,720 \text{ K}\Omega$
R_V	$40 \text{ K}\Omega$ (Dato constructor)
P_{carga}	$2 \cdot 111 - 220^2 \cdot \left(\frac{1}{40000} + \frac{1}{14720} \right) = 217,50 \text{ W}$
Q_{carga}	$\sqrt{708,4^2 - 217,50^2} = 674,18 \text{ VAR}$
F.P	$\frac{217,50}{708,4} = 0,31$

Valores	Aire acondicionado
P_m	$300 \text{ W} + 9 \text{ div} \cdot \frac{10 \text{ W}}{\text{div}} \cdot 2 = 780 \text{ W}$
U	233 V
I_c	$1,5 \text{ A} + 2,5 \text{ div} \cdot \frac{0,1 \text{ A}}{\text{div}} \cdot 2 = 3,5 \text{ A}$
S	$233 \text{ V} \cdot 3,5 \text{ A} = 815,5 \text{ VA}$
R_{VW}	$\frac{240 \text{ V} \cdot 550 \Omega}{3 \text{ V}} = 44 \text{ K}\Omega$
R_V	$40 \text{ K}\Omega$ (Dato constructor)
P_{carga}	$2 \cdot 780 - 233^2 \cdot \left(\frac{1}{40000} + \frac{1}{44000} \right) = 1557,4 \text{ W}$ No tiene sentido físico porque $P > S$, indica sobrecompensación por el capacitor
F.P	Aproximado usando $P_m \frac{780}{815,5} = 0,96$

Se adjuntan aquí los errores calculados para la potencia del motor:

Errores	Voltmetro
$e_{Cl\%V}$	$C \cdot \frac{X_f}{X_m} = 1 \cdot \frac{260 \text{ V}}{220 \text{ V}} = 1,182\%$
$e_{Ap\%V}$	$\frac{Ap}{div} \cdot 100 = \frac{0,2}{40} \cdot 100 = 0,5\%$
$e_{V\%}$	$e_{Cl\%V} + e_{Ap\%V} = 1,54\%$

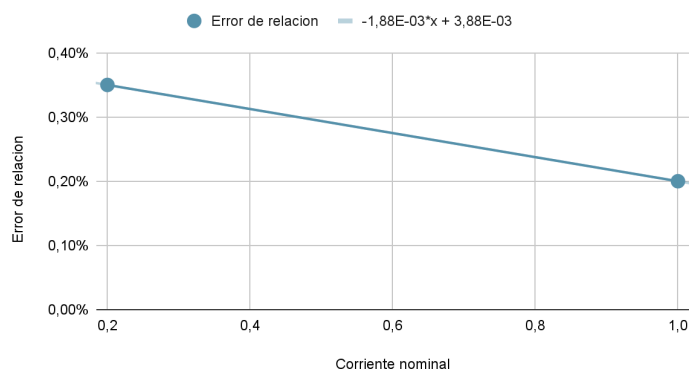
Errores	Potencia medida
$e_{Cl\%W}$	$C \cdot \frac{X_f}{X_m} = 0,5 \cdot \frac{240 \text{ W}}{111 \text{ W}} = 1,081\%$
$e_{Ap\%W}$	$\frac{Ap}{div} \cdot 100 = \frac{0,2}{55,5} \cdot 100 = 0,36\%$
$e_{\alpha\%W}$	$\frac{2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 10 \text{ mH}}{14720 \Omega} \cdot Tg(52,1^\circ) \cdot 100 = 2,1$
$e_{R\%TI}$	$y = -0,00188 \cdot x + 0,00388$ con $x = \frac{1,61 \text{ A}}{5 \text{ A}} = 0,322 \rightarrow 0,327\%$
$e_{\alpha\%TI}$	$y = -0,16 \cdot x + 2,6$ con $x = 0,322$ $\rightarrow B = 0,04247^\circ e_{\alpha\%TI} = 0,0505\%$
$e_{Pm\%}$	$3,91\%$

Para encontrar el error de relación y el error de ángulo del TI, se usa la tabla provista por el constructor y se construye para cada error, una gráfica en función los valores de corriente expresados

en % de la corriente nominal.

Se encuentran las ecuaciones de los errores con regresión lineal y se encuentra el valor exacto de los errores buscados.

Error de relación Vs % de corriente nominal



Error de ángulo Vs % de corriente nominal

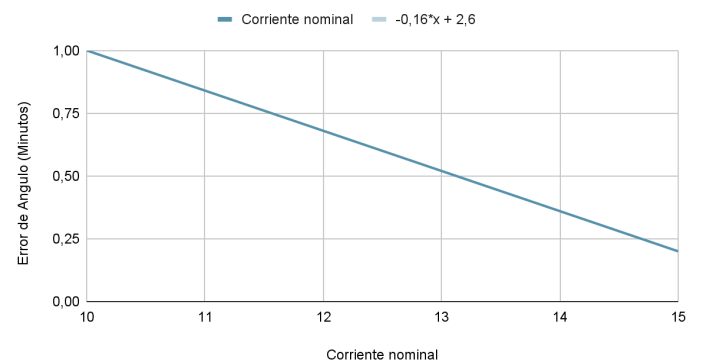


Tabla 11 - Límites del error de relación y del error de ángulo de los transformadores de corriente para medición (Clases de 0,1 a 1,0)

Clase de exactitud	Error de relación (±) en porcentaje, para los valores de corriente expresados en % de la corriente nominal:				Error de ángulo (±), para los valores de corriente expresados en % de la corriente nominal:							
					Minutos				Centirradiares			
	5 %	20 %	100 %	120 %	5 %	20 %	100 %	120 %	5 %	20 %	100 %	120 %
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5	0,45	0,24	0,15	0,15
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9
1,0	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60	5,4	2,7	1,8	1,8

Errores	Potencia corregida
K	217,5W
$e_{p\%}$	$\frac{2 \cdot 111}{217,50} \cdot 4,814 - \frac{220^2}{217,50} \left(\frac{1}{40000} + \frac{1}{14720} \right) \cdot 1,54 = 3,96\%$

Corrección del factor de potencia

Se busca tener $X_L = X_C$ suponiendo que el motor monofásico solo tiene componente inductiva, la potencia reactiva será:

$$Q = \frac{U^2}{X_L} \rightarrow X_L = \frac{U^2}{Q} \rightarrow \frac{U^2}{Q} = \frac{1}{\omega \cdot C} \rightarrow C = \frac{Q}{\omega \cdot U^2}$$

$$\text{Sabemos que } Q = 674,18 \text{ VAR, entonces } C = \frac{674,18}{2\pi \cdot 50 \cdot 220^2} = 44,338 \mu F$$

Resultados y conclusión

Se realizaron mediciones de potencia activa, aparente y reactiva en dos dispositivos monofásicos: un motor y un aire acondicionado, utilizando instrumentos analógicos y un transformador de intensidad. Los cálculos se ajustaron considerando los errores propios de medición, inserción, ángulo y clase de exactitud.

$$P_{Motor} = 217,50 \text{ W} \pm 3,96\%$$

$$P_{Motor} = (218 \pm 9) \text{ W}$$

En el caso del motor, se obtuvo un factor de potencia bajo (0,614), con una potencia reactiva significativa, lo que evidencia una carga inductiva no corregida. En contraste, la medición del aire acondicionado mostró un factor de potencia cercano a la unidad (0,96), lo que sugiere la existencia de un capacitor de corrección de FP incorporado en el equipo. Este elemento reduce notablemente la potencia reactiva medida y, en consecuencia, puede invalidar algunos cálculos si no se considera.

Finalmente, se calculó el valor de un capacitor que corregiría el FP del motor, obteniendo un valor de $C = 44,338 \mu\text{F}$.

Se recomienda el uso de un capacitor estándar de $47 \mu\text{F}$, 400 V AC, de funcionamiento permanente.

Las mediciones permitieron confirmar los conceptos teóricos de potencia en sistemas CA y la importancia de los dispositivos de corrección del FP para mejorar la eficiencia del sistema.

Referencias

- Apuntes de cátedra, Medidas Eléctricas, UNSE.