



Componente formativo

Principios de medidas eléctricas

Breve descripción:

Este componente se relaciona con la medición que hace parte de las actividades de la vida, en especial hoy donde es normal usar dispositivos electrónicos que miden las pulsaciones y la distancia recorrida. También se hace imprescindible para controlar los procesos y obtener datos para la toma de decisiones; medir parámetros eléctricos permitirá adentrarse en el mundo de la medición.

Área ocupacional:

Procesamiento, fabricación y ensamble

Junio 2023

Tabla de contenido

Introducción.....	3
1. Instrumentos de medida	3
1.1. Exactitud y precisión	6
1.2. Clase de precisión, “burden” y error	8
1.3. Calibración de instrumentos	10
2. Tipos de instrumentos.....	11
3. Medida de potencia trifásica	17
3.1. Instrumentos trifásicos	18
3.2. Diagramas de conexión	19
Síntesis	23
Material complementario	24
Glosario.....	25
Referencias bibliográficas	26
Créditos	27

Introducción



Apreciado aprendiz, bienvenido a este momento de aprendizaje relacionado con los principios de las mediciones eléctricas. Para empezar, se sugiere observar el siguiente recurso de aprendizaje.

Es momento de iniciar con su aprendizaje. ¡Bienvenido!

1. Instrumentos de medida

El arte de la medida de magnitudes eléctricas, como corriente, voltaje y resistencia, empezó su desarrollo a finales del siglo XIX con el descubrimiento de la regla de la fuerza cuando se halló que la interacción entre los campos electromagnéticos produce fuerzas y, por lo tanto, movimiento que, con la estrategia correcta, resulta proporcional a la magnitud de la corriente que genera el campo. Fue así como aparecieron los instrumentos de medida analógicos.

Posteriormente, con el avance de la ciencia de la electrónica y microcontroladores, los instrumentos de medida han evolucionado de tal forma que la mayoría de los instrumentos que se encuentran hoy en el mercado son de tipo electrónico. El reconocimiento de los tipos de instrumentos de medida y los conceptos asociados a la medición, son muy importantes dado que mucha de la información que se maneja en el mundo laboral para tomar decisiones proviene, precisamente, de dichos instrumentos.

A continuación, se presentarán dos tipologías de instrumentos: analógicos y digitales en el siguiente recurso educativo.

Instrumentos analógicos

De acuerdo con “Purkait” et al. (2013) un dispositivo analógico es aquel en el cual su indicador o pantalla es una función continua del tiempo y tiene una relación con su entrada. La clasificación de los instrumentos de medida se realiza según la variable a medir por el instrumento como el principio de funcionamiento.

Los dos principios generales de funcionamiento son los siguientes:

Figura 1. Medidor energía



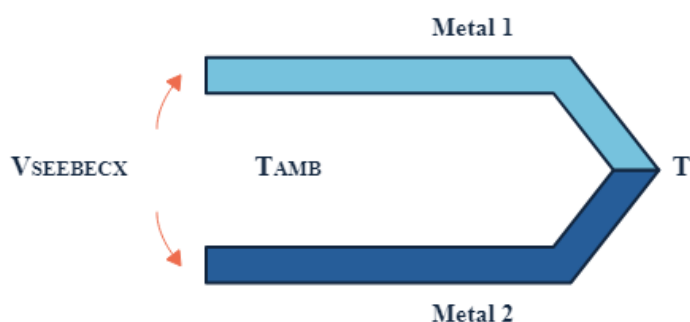
Nota. Tomada de <https://idelectricos.com.co/medidor-trifasico-electromagnetico/>

Principio electromagnético

Utiliza los efectos magnéticos de las corrientes eléctricas y también por imanes permanentes.

Son usados, principalmente, para medir corriente eléctrica, niveles de líquidos, presión y tensión eléctrica. Los antiguos medidores de energía pertenecen a esta categoría.

Principio electrotérmico



Metal 1

VSEEBECX

TAMB

T

Metal 2

Utiliza los efectos de calentamiento sobre un material. El más común de los instrumentos que utilizan este principio se denomina termocupla. En muchos automóviles se indica en el tablero la temperatura exterior utilizando como sensor principal una termocupla.

El principio de funcionamiento es utilizar las propiedades que tienen dos alambres metálicos (cada uno de diferente material) unidos generalmente con soldadura que generan un voltaje a la salida cuando están expuestos al ambiente o a diferentes temperaturas.

Instrumentos digitales

A causa de los adelantos tecnológicos de la electrónica, se han desarrollado instrumentos de medida que utilizan componentes electrónicos activos para mejorar la calidad de la medición amplificando las magnitudes de las variaciones detectadas por los sensores analógicos.

Al interior de los instrumentos digitales se utilizan conversores analógicos digitales (ADC, por sus siglas en inglés) para poder hacer un tratamiento a las señales de entrada y poder medir variables físicas que los instrumentos analógicos no podrían realizar.

Figura 2. Medidor energía digital



Los principales componentes electrónicos que se encuentran al interior de los instrumentos digitales son:

- a. Amplificadores.
- b. Rectificadores.
- c. Conversores análogo digital.
- d. Pantalla o display electrónico.

Actualmente, la mayoría de los instrumentos utilizados comercialmente pertenecen a esta categoría, aunque aún podemos ver en muchos de los hogares medidores de energía eléctrica de tipo analógico.

Se invita a averiguar de qué tipo es el medidor de consumo de electricidad en los hogares.

1.1. Exactitud y precisión

Es común confundir los términos exactitud y precisión, sin embargo, ambos están relacionados, pero son diferentes; “Purkait, Biswas”, “Das y Koley” (2013), los definen así:

Exactitud

Cercanía con la que la lectura del instrumento se acerca al valor real de la variable bajo medición. Es decir, hace referencia a qué tan cerca está el valor medido del valor real o verdadero.



Precisión

Como una medida de la reproducibilidad de las mediciones, es decir, la precisión es una medida del grado en que las sucesivas mediciones difieren entre sí.



A continuación, se presenta el siguiente ejercicio para entender un poco más las anteriores definiciones.

1. Si practicamos tiro al blanco con dardos, se puede asumir que el valor real es el centro del tablero, como se muestra en la siguiente figura.

Ahora vamos a hacer varios grupos de lanzamientos. Cada lanzamiento se compone de seis intentos. Si hacemos tres grupos de lanzamientos obtenemos los siguientes resultados. Cada punto amarillo es el resultado de un lanzamiento.

2. Grupo de Lanzamientos 1

Observa el primer lanzamiento, ¿qué puedes concluir?, ¿hay exactitud?, ¿hay precisión?

De este lanzamiento se puede concluir:

- a. Que fue impreciso, porque los puntos amarillos están muy separados unos de otros.
- b. Que fue inexacto, porque ningún punto está cercano al centro del tablero.

3. Grupo de Lanzamientos 2

Observa nuestro segundo lanzamiento, ¿qué puedes concluir?

De este lanzamiento se puede concluir:

- a. Que fue impreciso, porque los puntos amarillos están muy separados unos de otros.
- b. Que fue exacto, porque los puntos están cercanos al centro del tablero.

4. Grupo de Lanzamientos 3

El último lanzamiento fue diferente a los otros, ¿lo percibes?, ¿qué se puede afirmar en este caso?

De este lanzamiento se puede concluir:

- a. Que fue preciso, porque los puntos amarillos están muy cerca unos de otros.
- b. Que fue inexacto, porque los puntos están lejanos al centro del tablero.

1.2. Clase de precisión, “burden” y error

Continuando con la temática se planteará, inicialmente, el concepto de error como una variable que tiene sus cualidades en el momento de la medición; en segundo lugar, se hablará de precisión y en tercer lugar se abordará un “burden” que es un término asociado a la carga máxima.

Es momento de iniciar con el primer concepto: de acuerdo a lo planteado por “Purkait” et al. (2013) en la práctica, es imposible medir una variable con exactitud perfecta ya que siempre existirá una diferencia entre el valor medido con el instrumento y el valor real de la variable desconocida. Sin embargo, es posible determinar qué tan cerca o tal lejos se está de dicho valor real; la diferencia entre el valor real y el valor medido por el instrumento se denomina error absoluto.

Los errores en las mediciones se pueden clasificar como:

Error grave

Se deben, principalmente, a fallas humanas en la lectura o conexión del instrumento de medición. Es decir, así se tenga disponible el medidor con mayor exactitud del mundo, si

se conecta o se lee de forma errónea estaremos muy lejos del valor real de la variable que deseamos medir.

Error sistemático

Hace referencia a los que son inherentes a la tecnología del medidor y también a las condiciones ambientales del sitio. Hay que tener en cuenta que este error se puede minimizar si se seleccionan las características del medidor de manera correcta antes de realizar la medición.

Para poner un caso específico, si las condiciones ambientales que define el fabricante del medidor es que la medida se haga a una temperatura de 25° C, tendremos un error sistemático si la temperatura ambiente a la que lo sometemos es de 30°C.

Error aleatorio

La causa de este tipo de error es desconocida. A pesar de tener bien calibrado el medidor y cumplir con las condiciones ambientales sugeridas por el fabricante, aún puede existir un error desconocido. La forma correcta de minimizar los efectos de este tipo de errores es medir en repetidas ocasiones y aplicar métodos estadísticos para obtener un valor real.

Comprendido el concepto de error, se continúa con la clase de precisión la cual hace referencia al error relativo que, como máximo, puede tener un instrumento de medida. Los valores asignados para la clase de precisión están determinados por normas específicas y para cada instrumento debe estar indicado en su escala. Por lo general, la clase de precisión se simboliza mediante un número que representa el porcentaje de error relativo como, por ejemplo, lo que se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Clase de precisión

Clase de precisión	Error relativo
0,1	+/- 0,1%
0,2	+/- 0,2%
0,5	+/- 0,5%
1	+/- 1%

Clase de precisión	Error relativo
1,5	+/- 1,5%
2,5	+/- 2,5%
5	+/- 5%

Por ejemplo, si se tiene un amperímetro de rango de medición máximo de 100 amperios, y es de clase de precisión 1, el error máximo absoluto resulta de multiplicar el error relativo de la clase 1 igual a 1% y luego multiplicarlo por el rango máximo de medición que, en este caso, es 100 amperios. De lo anterior resulta:

$$\text{Error máximo} = 100 \text{ amperios} \times 1\% = \pm 1 \text{ amperio}$$

Finalmente, se aborda el concepto de “burden”, una palabra asociada a la carga máxima que puede soportar un instrumento de medida que garantice que se pueda confiar en la medida. Es decir, si la salida de un instrumento de medición se quiere enviar eléctricamente a otros medidores, hay una carga límite que se debe tener en cuenta para garantizar el error determinado por la clase de precisión.

1.3. Calibración de instrumentos

El proceso de calibración es importante para los procesos de medición, ya que se podrá confiar en la medida que arroja un instrumento si está correctamente calibrado, pero, ¿qué pasaría si el medidor de la velocidad en un automóvil está descalibrado? Probablemente que un agente de la ley interponga una infracción por exceso de velocidad sin que el conductor se dé cuenta de que estaba en una velocidad no permitida. Otro ejemplo es: ¿qué pasaría si el medidor de energía de una vivienda está descalibrado? Probablemente el cobro que llegue en la factura no es confiable.

Según Villalobos (2006), los instrumentos deben proveer la exactitud necesaria para que las condiciones de diseño de un sistema o proceso se cumplan y funcione de manera apropiada. El nivel de confianza en los equipos de medición se logra realizando pruebas en intervalos de tiempo determinados y ajustando el instrumento de acuerdo a los resultados de la calibración.

En los procesos de calibración se toma como referencia un patrón, es decir a un instrumento que está debidamente calibrado en ambientes especiales de tal manera que se pueda utilizar como punto de comparación para determinar la diferencia en la medida con otro equipo que se pretende analizar.

En Colombia la calibración de los instrumentos de medida la realizan organizaciones públicas y privadas creadas para tal fin, las cuales deben estar autorizadas y avaladas previamente por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC). Por lo general, cuando un equipo ha pasado por un proceso de calibración, se expide un certificado que incluye el resultado de las pruebas y el dictamen de la calibración.

2. Tipos de instrumentos

En los sistemas de gestión de la energía, la medición es una fuente de información primaria para la planificación de las acciones de mejora para el desempeño energético. Adicionalmente, a través de los instrumentos de medida se observa y concluye, posteriormente, la efectividad de dichas acciones al interior de la organización.

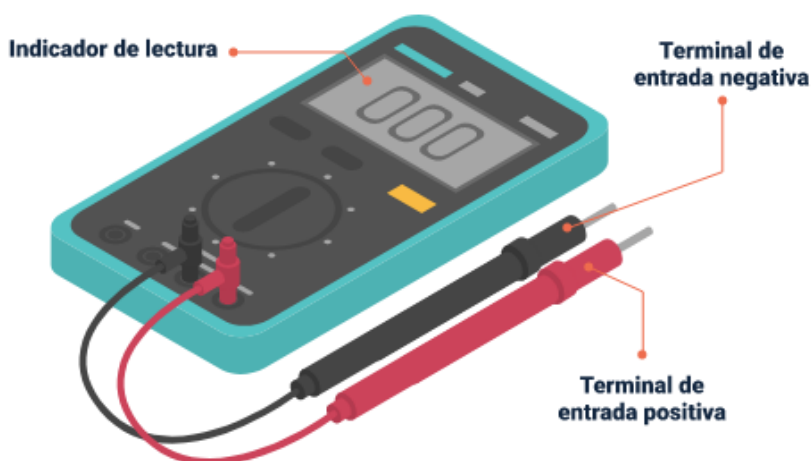
Existen diferentes tipos de instrumentos que se deben seleccionar de acuerdo con la variable eléctrica a medir. Como se enunció antes, cada instrumento de medición posee unas características propias y tecnologías específicas para efectuar la medida.

A continuación, se presentan los tipos de instrumentos más utilizados en el sector para la medición de variables eléctricas.

Voltímetros

El voltímetro es un instrumento de medición utilizado para medir, de forma segura, la diferencia de potencial o voltaje entre dos puntos de un circuito eléctrico o electrónico.

Para medir el voltaje entre dos puntos no es necesario desconectar el circuito, ya que se conecta en paralelo. Internamente la entrada del voltímetro tiene una alta resistencia que no modifica significativamente el comportamiento del circuito a medir. El voltímetro está conformado por:



- Indicador de lectura.
- Terminal de entrada negativa.
- Terminal de entrada positiva.

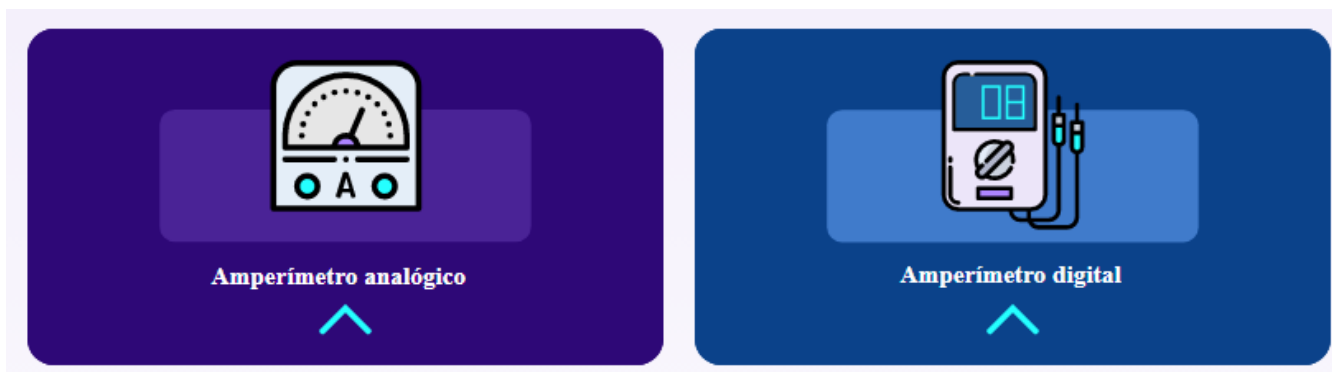
Amperímetros

El amperímetro es un instrumento utilizado para medir la corriente eléctrica al interior de un circuito eléctrico; la unidad que utiliza el amperímetro es el amperio.

Para medir la corriente en un circuito, se requiere que dicha corriente circule a través del amperímetro; normalmente esto se conoce como conexión en serie. Por tal razón, es necesario abrir el circuito antes de conectar el amperímetro.

a. Amperímetro analógico

Utiliza internamente un medidor denominado galvanómetro compuesto a su vez por una aguja indicadora, una bobina, dos imanes y un resorte que generan la oscilación de la aguja durante la medición.

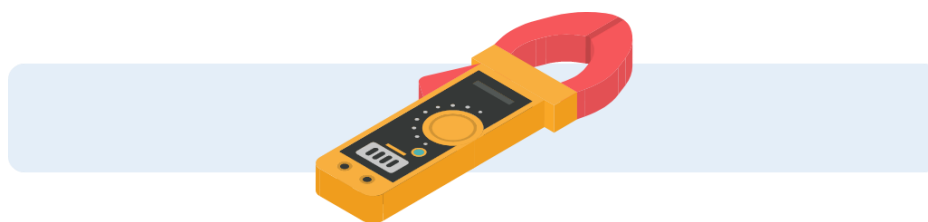


b. Amperímetro digital

Es un instrumento que, a diferencia del analógico, no utiliza partes móviles, sino componentes electrónicos para la medición. Adicionalmente posee una pantalla en lugar de una aguja para la lectura de la corriente.

Pinza amperimétrica

Pertenece a la clasificación de amperímetro digital, sin embargo, tiene una ventaja constructiva que permite medir la corriente en un conductor sin necesidad de abrir el circuito eléctrico. Es el más utilizado en las empresas e industrias por su practicidad y funcionalidad, pero solo funciona en corriente alterna.



Vatímetro y varímetro

Es un instrumento usado para medir la potencia consumida o generada por un elemento de circuito. Su unidad de medida es el vatio [W] y la ley de Joule establece que es igual a voltaje por corriente; por lo tanto, un vatímetro está compuesto internamente por un amperímetro y un voltímetro y el producto de sus lecturas equivale a la lectura de potencia. Para su uso se requiere conectar respecto a la carga la bobina de corriente en serie y la bobina de tensión en paralelo.

Al igual que los amperímetros y voltímetros, existen vatímetros analógicos y digitales.



Vatímetros analógicos



Vatímetros digitales

El vatímetro se usa en corriente alterna para medir la potencia promedio, conocida también como potencia activa, la cual es igual al producto de los valores eficaces de corriente y voltaje por el coseno del ángulo de desfase entre ellos. El producto de los valores eficaces de corriente y voltaje por el seno del ángulo de desfase entre ellos se conoce como potencia reactiva y su unidad de medida es el voltio amperio reactivo [VAR].

El instrumento de medida usado para la potencia reactiva se conoce como varímetro, que constructivamente es igual a un vatímetro con una bobina de gran inductancia conectada internamente en serie con la bobina de voltaje para obtener un desfase adicional de 90° y como $\sin \Phi = \cos (90^\circ - \Phi)$ la lectura del vatímetro así conectado equivale a la potencia reactiva. Se conecta igual que el vatímetro; también existen varímetros análogos y digitales.

Multímetros

Es un instrumento que se construye con la capacidad de medir varias magnitudes, una a la vez, como voltaje, corriente y resistencia, principalmente. Viene equipado con un selector desde donde es posible seleccionar el tipo de medida, el tipo de corriente alterna o continua y la escala de la lectura.



Multímetro analógico



Multímetro digital

Los hay análogos y digitales, algunos de estos últimos con capacidad de medir valores eficaces de ondas alternas diferentes a la senoidal lo que se conoce como True RMS o valor eficaz verdadero. Los instrumentos análogos y los digitales No True RMS en alterna solo miden correctamente ondas senoidales, porque, según la teoría de circuitos, el valor RMS corresponde en ese caso al valor máximo dividido entre la raíz de dos.

Transformadores de medida

Los transformadores de medida son elementos usados en corriente alterna para cambiar el rango de la medida de los instrumentos y para garantizar la seguridad de los usuarios aislando la etapa de potencia donde se manejan normalmente altos niveles de corriente y voltaje de la etapa de medida donde se encuentran localizados los instrumentos.

De esta manera, los circuitos primarios de los transformadores, de voltaje y corriente, están conectados a las líneas de potencia y los lados secundarios están conectados a los instrumentos de medida. El cociente de los valores nominales de las magnitudes del primario dividido entre el valor nominal de las magnitudes del secundario se conoce como relación de transformación.

Se dispone de dos tipos de transformadores de medida, así:

a. Transformadores de corriente (CT)

El lado primario se conecta en serie con la carga y el secundario en serie con las bobinas de corriente de los instrumentos de medida. El lado secundario de un transformador de corriente nunca debe ser abierto en condiciones de carga ya que la alta inductancia de este tipo de transformadores hará que el voltaje en bornes $V = L (di/dt)$ crezca hasta superar

el valor de la rigidez dieléctrica del aire ocasionando un arco eléctrico que sólo se extingue con la destrucción del transformador y todo lo que esté en su área de influencia.

b. Transformadores de potencial (PT)

El lado primario se conecta en paralelo con la carga y el secundario en paralelo con las bobinas de voltaje de los instrumentos de medida. Normalmente se usan cuando el nivel de voltaje de la carga es en media tensión o superior.

Contadores monofásicos de energía eléctrica

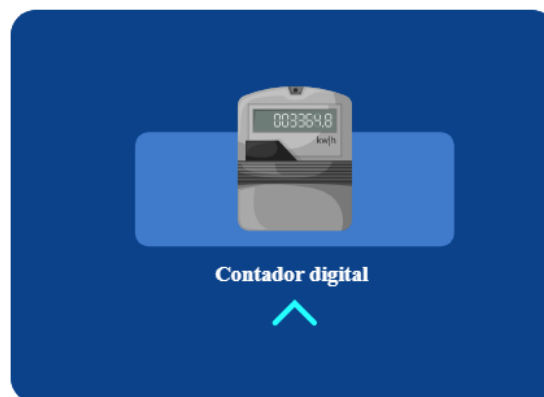
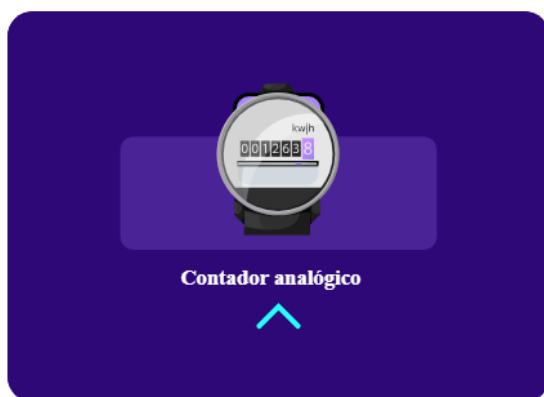
Es un instrumento usado para medir la energía eléctrica y como la energía es igual a la potencia por el tiempo, un contador de energía es esencialmente un vatímetro al que se le incluye un elemento acumulador que tiene en cuenta el tiempo.

a. Contador analógico

En el caso de los contadores análogos ese elemento es un disco giratorio cuya velocidad angular es proporcional a la potencia y el número de vueltas es proporcional a la velocidad angular (potencia) por el tiempo, es decir a la energía.

b. Contador digital

En el caso de los contadores digitales ese elemento está compuesto por el procesador matemático donde se realiza la sumatoria del producto de los datos del muestreo de las formas de onda de voltaje y corriente y la memoria donde se acumulan dichos valores.



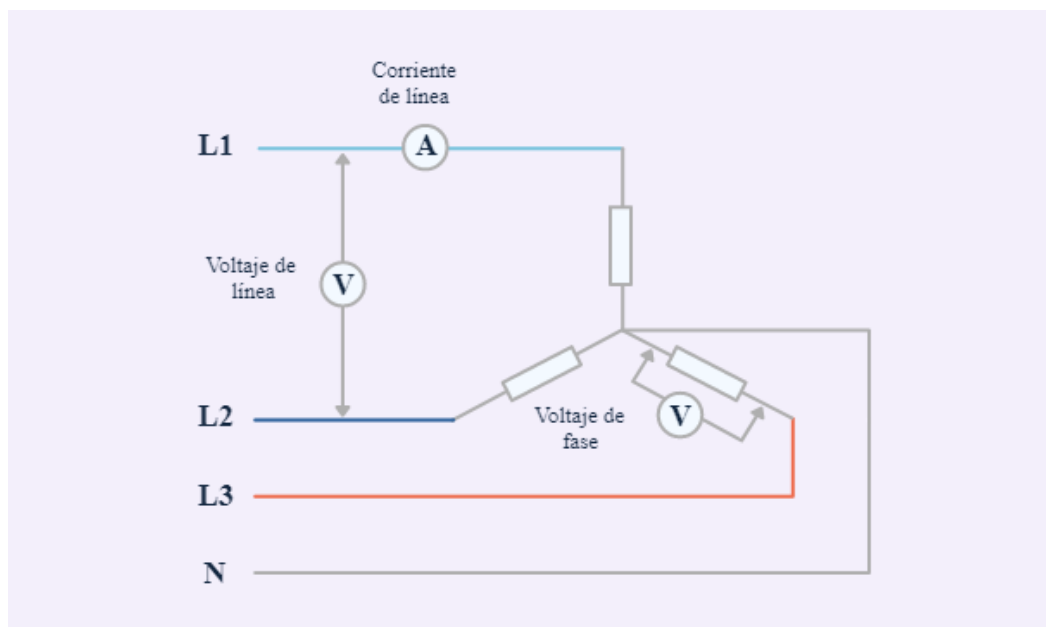
El diagrama de conexión de estos instrumentos es el mismo que el usado para los vatímetros.

La unidad de medida de la energía usada en los contadores es el kilovatio hora [kW-h].

3. Medida de potencia trifásica

En los circuitos trifásicos las magnitudes de corriente y voltaje se miden de forma monofásica, es decir, se usan los amperímetros y voltímetros monofásicos para medir las magnitudes de fase y las de línea de forma individual y acorde con la topología del circuito (Y o Δ). En las siguientes figuras se muestra un ejemplo de cada caso.

Figura 3. Ejemplo 1

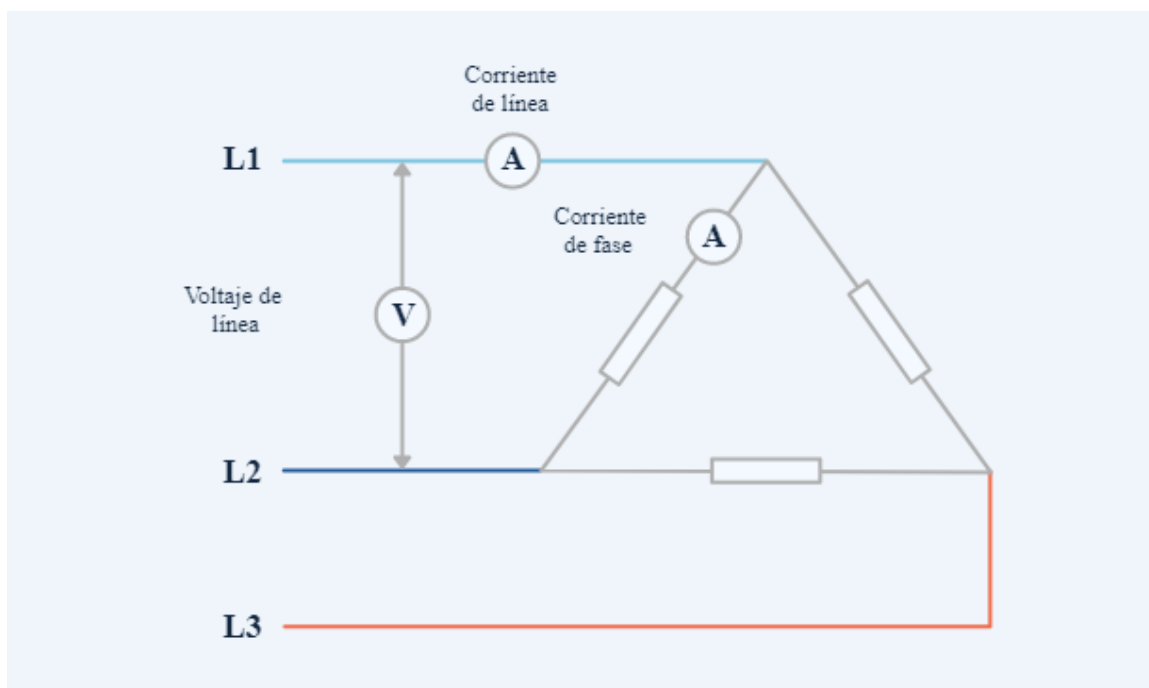


Voltaje de línea

Corriente de fase

Voltaje line

Figura 4. Ejemplo 2



Voltaje de línea

Corriente de fase

Voltaje line

3.1. Instrumentos trifásicos

El teorema de Blondel establece que la potencia o la energía de un circuito de N fases puede ser medida por N elementos de medición monofásicos y con los circuitos de tensión conectados en cada fase a cualquier punto común.

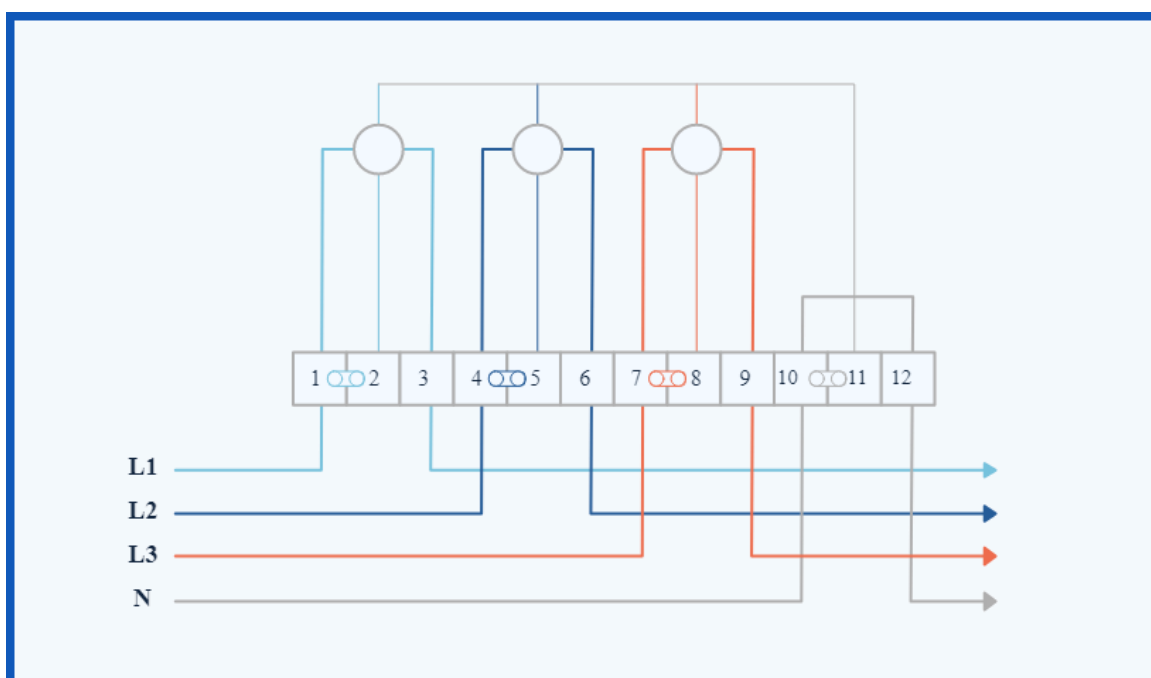
En el caso trifásico, entonces, estas medidas se pueden realizar de dos formas: usando instrumentos monofásicos y sumando las tres magnitudes de fase obtenidas o usando instrumentos trifásicos directamente. En el primer caso se procede en cada fase como se explicó en los apartados 2.3 y 2.6, respectivamente. En el segundo caso se usa un medidor de potencia o energía trifásico, el cual, internamente, equivale a tres dispositivos monofásicos (conocidos como elementos) y su lectura corresponde a la suma de las

magnitudes de cada fase. Ahora se verá cómo se conectan estos dispositivos de tres elementos.

3.2. Diagramas de conexión

La forma de conexión de los vatímetros y contadores es la misma en cada caso, lo único que cambia es el instrumento. Cuando las magnitudes de los voltajes y corrientes están dentro del rango de las magnitudes nominales del instrumento, las conexiones de las bobinas de tensión y de corriente se pueden realizar de forma directa y en este caso la lectura del instrumento es igual a la cantidad medida. A este método de conexión se le conoce como medida directa, como se muestra en la siguiente figura.

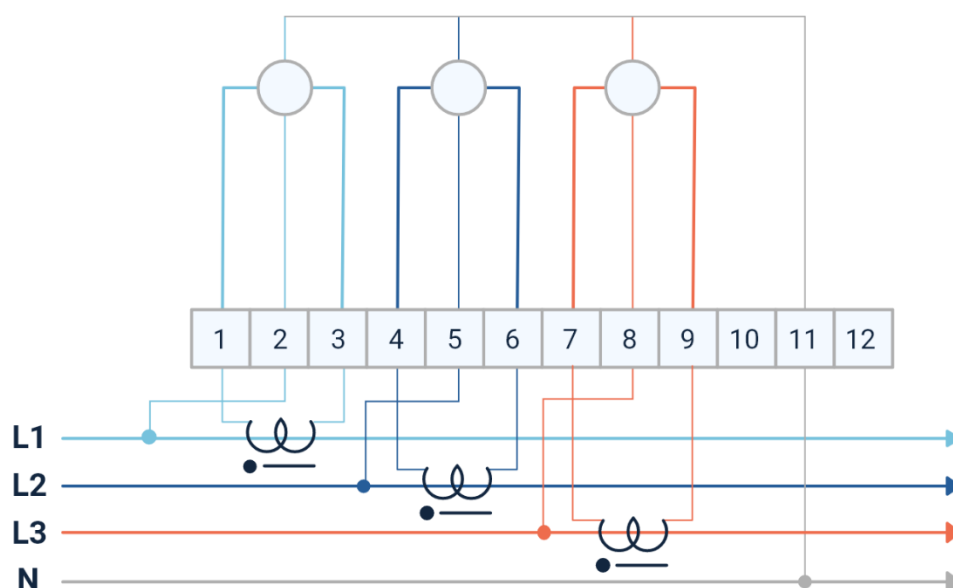
Figura 5. Medida directa



Cuando la magnitud de la corriente a medir es alta, típicamente mayor de 100 [A], aunque la resistencia de la bobina de corriente es baja, su caída de tensión $I \cdot R$ afecta significativamente la precisión de la medida. Por esta razón, en estos casos se usan instrumentos de conexión directa para las bobinas de voltaje y de conexión indirecta para las bobinas de corriente, es decir, a través de transformadores de corriente con razón de

transformación tal que la magnitud de la corriente a medir esté dentro del rango de la corriente nominal del primario y la corriente nominal del secundario corresponda con el valor nominal del instrumento (comercialmente normalizada a 1 [A] o 5 [A]). Por ejemplo, si se requiere medir el consumo de energía de una carga cuya corriente nominal es de 250 [A] con un medidor de corriente nominal 5 [A] deben usarse transformadores de corriente de 300/5. A este método de conexión se le conoce como medida semidirecta.

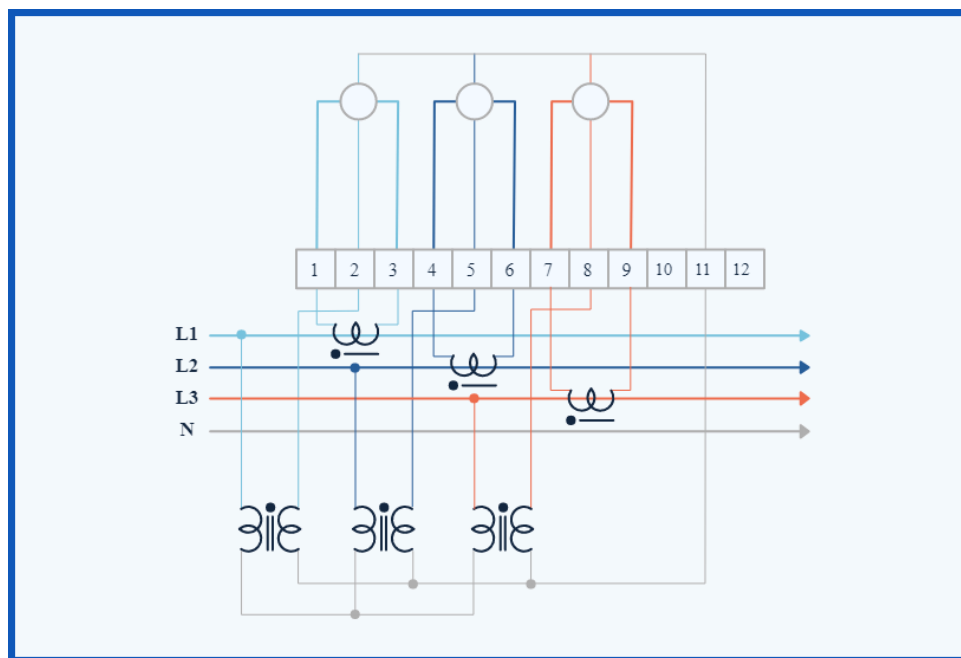
Figura 6. Medida semidirecta



Cuando además de la corriente, también la magnitud del voltaje a medir es alta, típicamente mayor de 600 [V], debido a consideraciones de aislamiento, se usan instrumentos de conexión indirecta para las bobinas de voltaje, es decir, a través de transformadores de tensión con razón de transformación tal que la magnitud del voltaje a medir esté dentro del rango de voltaje nominal del primario y el voltaje nominal del secundario corresponda con el valor nominal del instrumento (comercialmente normalizado a 110 [V] o 230 [V]). Por ejemplo, si se requiere medir el consumo de energía de una carga cuyo voltaje nominal es de 13,2 [kV] con un medidor de voltaje nominal 110 [V] deben usarse

transformadores de voltaje de 13.200/110. A este método de conexión se le conoce como Medida indirecta.

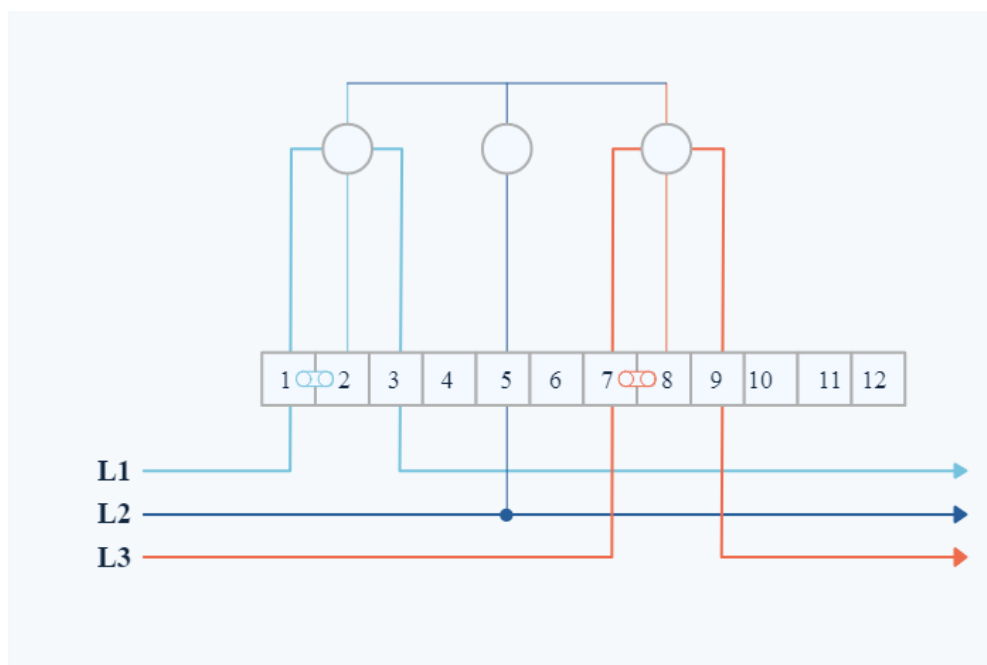
Figura 7. Medida indirecta



En circuitos sin neutro existe un caso especial en la aplicación del teorema de Blondel y es cuando se escoge como punto común de referencia una de las fases. En ese caso, el voltaje de dos elementos del instrumento corresponde al voltaje de línea y el voltaje del elemento restante sería 0, luego su lectura de potencia sería también 0 y podría, entonces, ser eliminado. Este esquema es conocido como conexión ARON y puede ser aplicado usando instrumentos trifásicos de dos elementos o usando dos instrumentos monofásicos sumando las lecturas individuales, las cuales pueden ser negativas si el factor de potencia es inferior a 0,5.

Una de las ventajas de la conexión Aron sobre la conexión con instrumentos de tres elementos es que resulta más económica y las desventajas son que requieren inversión de conexión para lecturas negativas y que en circuitos con neutro solo funciona para cargas equilibradas.

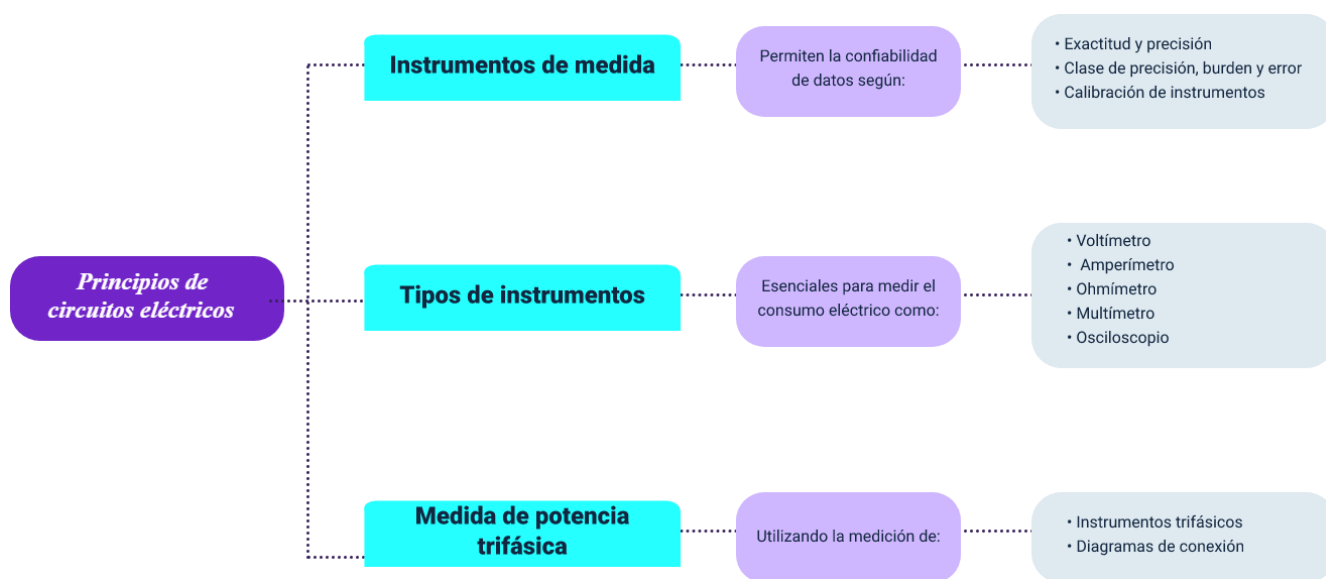
Figura 8. Conexión Aron



Síntesis

La mayoría de los equipos, herramientas y accesorios que se usan son electrónicos o requieren de alguna variable eléctrica, por esta razón es necesario tener claridad frente a las magnitudes eléctricas más comunes que se emplean a diario en la industria, como son la tensión, la corriente, la resistencia, la capacitancia y la frecuencia, además de requerir la representación de diagramas eléctricos, y Analizar datos de mediciones de variables eléctricas. El siguiente mapa conceptual, orienta sobre el tema visto:

A continuación, se muestra un mapa conceptual con los elementos más importantes desarrollados en este componente.



Material complementario

Tema	Referencia APA del Material	Tipo de material	Enlace del Recurso o Archivo del documento material
. 1.3 Calibración de instrumentos.	Técnicas de control metrológico S.L. (2021). Certificado de calibración	Página web	https://www.tcmetrologia.com/blog/interpretacion-y-modelo-de-certificado-de-calibracion/
1.3 Calibración de instrumentos.	Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC. (2021). Acreditación laboratorio de calibración y mediciones industriales SENA.	Acreditación laboratorio de Calibración y Mediciones Industriales SENA	https://onac.org.co/certificados/16-LAC-016.pdf

Glosario

“Burden”: carga impuesta a un instrumento de medida eléctrico o electrónico en la entrada del circuito a medir, su unidad de medida es el voltio-amperio (VA).

CT: transformador de corriente (siglas en inglés de “Current Transformer”).

ONAC: organismo Nacional de Acreditación de Colombia.

PT: transformador de potencial (siglas en inglés de “Potential Transformer”).

“True RMS”: valor eficaz verdadero de las ondas en corriente alterna.

Referencias bibliográficas

Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC. (2021). Acreditación laboratorio de calibración y mediciones industriales SENA. <https://onac.org.co/certificados/16-LAC-016.pdf>

Purkait, P., Biswas, B., Das, S., y Koley, C. (2013). Electrical and Electronics Measurements and Instrumentation. McGraw Hill Education (India).

Técnicas de control metrológico. (2021). Certificado de calibración. <https://onac.org.co/certificados/16-LAC-016.pdf>

Villalobos, O., G. (2006). Medición y control de procesos industriales. Instituto Politécnico Nacional.

Créditos

Nombre	Cargo	Regional
Claudia Patricia Aristizabal	Responsable del Equipo	Dirección General
Norma Constanza Morales Cruz	Responsable de línea de producción	Regional Tolima - Centro de Comercio y Servicios
Carlos Javier González Cuevas	Experto Técnico	Distrito Capital - Centro Electricidad Electrónica y Telecomunicaciones
Marlon Augusto Villamizar Morales	Experto Técnico	Global Green Growth Institute (GGGI)
Cristian Metaute Medina	Diseñador Instruccional	Regional Distrito Capital - Centro para la Industria de la Comunicación Gráfica del SENA
Carolina Coca Salazar	Revisora metodológica y pedagógica	Regional Distrito Capital - Centro de Diseño y Metrología
José Gabriel Ortiz Abella	Corrector de estilo	Regional Distrito Capital - Centro para la Industria de la Comunicación Gráfica del SENA
Juan Gilberto Giraldo Cortés	Diseñador instruccional	Regional Tolima – Centro de Comercio y Servicios
María Inés Machado López	Metodóloga	Regional Tolima – Centro de Comercio y Servicios
José Yobani Penagos Mora	Diseñador Web	Regional Tolima – Centro de Comercio y Servicios
Oscar Daniel Espitia Marín	Desarrollador Fullstack	Regional Tolima – Centro de Comercio y Servicios
Gilberto Junior Rodríguez Rodríguez	Storyboard e Ilustración	Regional Tolima – Centro de Comercio y Servicios
Nelson Iván Vera Briceño	Producción audiovisual	Regional Tolima – Centro de Comercio y Servicios
Oleg Litvin	Animador	Regional Tolima – Centro de Comercio y Servicios
Francisco Javier Vásquez Suarez	Actividad Didáctica	Regional Tolima – Centro de Comercio y Servicios
Jorge Bustos Gómez	Validación y vinculación en plataforma LMS	Regional Tolima – Centro de Comercio y Servicios
Gilberto Naranjo Farfán	Validación de contenidos accesibles	Regional Tolima – Centro de Comercio y Servicios