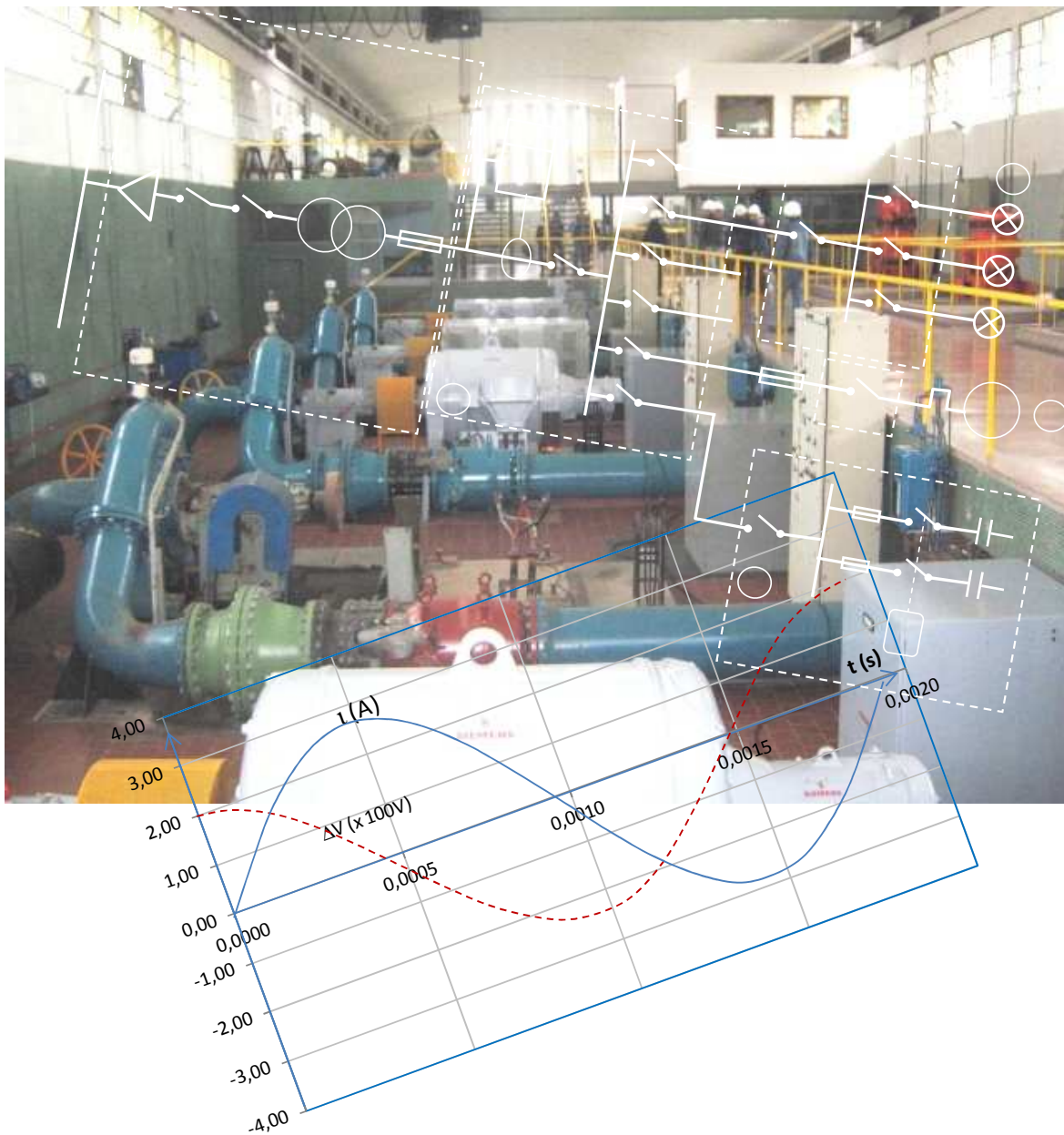




Obras Sanitarias del Estado
GESTION DE CAPITAL HUMANO
Capacitación

Conceptos de electricidad

Aguas Corrientes



Índice

El circuito eléctrico.....	3
Intensidad de corriente eléctrica (I).	3
Tensión eléctrica o diferencia de potencial (U o ΔV).	4
La potencia eléctrica (P)	5
La Energía Eléctrica (E).	5
La resistencia eléctrica (R)	6
La ley de Ohm.	6
La corriente continua.	6
Corriente alterna.....	7
El ángulo de desfase.	8
El valor eficaz.	9
La frecuencia.....	9
La potencia y la corriente alterna	10
El Factor de potencia (F.P.).....	12
Los Sistemas Trifásicos	13
Configuraciones de los circuitos trifásicos.	13
Las variables eléctricas de un sistema trifásico	15
Medición de tensión eléctrica - El voltímetro	17
Medición de intensidad de corriente - El amperímetro.....	17
Medición de potencia - El Watímetro.....	18
Medición de factor de potencia — Cosfímetro.	20
Parámetros eléctricos a medir en el sistema industrial	21
Medición de intensidad de luz - el luxómetro	22
Normas de Seguridad	23

El circuito eléctrico

Las variables eléctricas de un sistema que alimenta una lámpara, un motor o un edificio pueden ser analizadas mediante un modelo denominado "CIRCUITO ELECTRICO" el cual se puede ver en la siguiente figura.



En donde se puede identificar:

La fuente de energía eléctrica cuyo voltaje es 220 V

El consumidor de energía, en este caso un horno de 11 kW

Los conductores que forman un circuito cerrado, los cuales conducen una corriente de 50 A

Los conductores que conectan los elementos del circuito y cuando el circuito está cerrado, como en éste caso, circula corriente eléctrica, en el caso de la figura con una intensidad de 50 A.

Las variables eléctricas que se deben conocer para analizar el consumo de energía son las siguientes:

Intensidad de corriente eléctrica (I).

Tensión eléctrica o diferencia de potencial (U o ΔV).

Potencia eléctrica (P).

Energía eléctrica (E).

Resistencia eléctrica (R).

Intensidad de corriente eléctrica (I).

La corriente eléctrica es el movimiento de cargas eléctricas a través de un conductor, la medida de la corriente eléctrica es la intensidad de corriente que se define como la cantidad de cargas que circula por una sección de un conductor en una unidad de tiempo. La unidad de carga eléctrica en el sistema internacional es el Coulomb (C) y la unidad de tiempo es el segundo.

$$i = \frac{dq}{dt}$$

dq – La cantidad de carga que circula.

dt – El tiempo en que circula la carga.

La unidad de la intensidad de corriente en el sistema internacional es el Ampere (A). Esto significa que cuando a través de la sección de un conductor pasa una carga de 1 Coulomb en 1 segundo, circula una intensidad de 1,0 Amper.

$$1A = \frac{1C}{1s}$$

Se utilizan además los múltiplos o los submúltiplos.

Submúltiplos:	Múltiplos
1 microamper (μA) = 0,000 001 A (Ejemplo: corriente en las memorias de PC)	1 kiloamper (kA) = 1.000 A (Ejemplo: Maquinas de soldar, hornos de fusión, etc.)
1 miliamper (mA) = 0,001 A (Ejemplo: 250 mA muerte de una persona)	

En el circuito de la figura circula una intensidad de 50 Amper.

Tensión eléctrica o diferencia de potencial (U o ΔV).

Las portadoras de la energía eléctrica son las cargas eléctricas que se mueven por los conductores. La diferencia de potencial o diferencia de tensión entre un punto A y un punto B de un circuito es el cociente entre la energía eléctrica que se transfiere por unidad de carga:

$$\Delta V_{AB} = U_{AB} = \frac{dE_{AB}}{dq}$$

dE_{AB} - La cantidad de energía eléctrica transferida entre los bornes A y B

dq - La carga eléctrica que circula entre los bornes A y B.

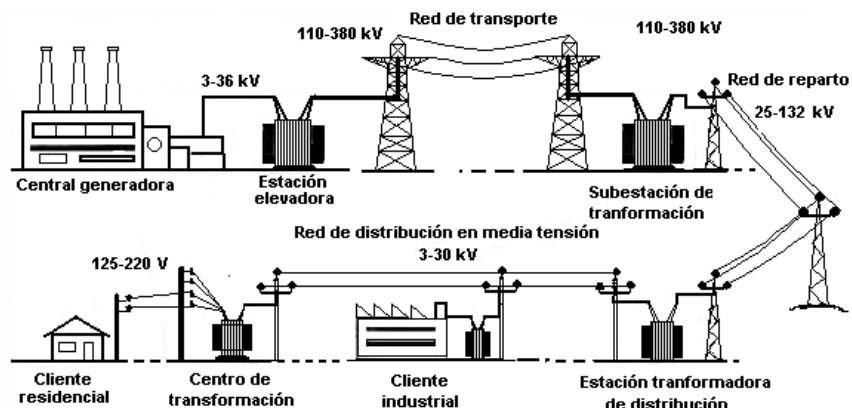
La unidad del sistema internacional es el Voltio (V), Cuando entre dos puntos se transfiere 1,0 Joule (J) de Energía Eléctrica por cada carga de 1 Coulomb (C) que pasa entre ellos, tenemos una diferencia de tensión o potencial de 1 Voltio (V).

$$1V = \frac{1J}{1C}$$

Como en el caso anterior se puede trabajar con múltiplos o submúltiplos.

Submúltiplos:	Múltiplos
1 microvoltio (μV) = 0,000 001 V (Ejemplo: voltajes inducidos).	1 kilovoltio (kV) = 1.000 V (Ejemplo: voltajes de transmisión y distribución).
1 milivoltio (mV) = 0,001 V (Ejemplo: voltajes en circuitos electrónicos)	1 Megavoltio (MV) = 1:000.000 V

Los voltajes industriales más usados en nuestro país son 220 V, 380 V, 440 V y 660 V. En la transmisión y distribución 15 kV, 30 kV, 60 Kv, 150KV y 500 kV. En el caso del ejemplo, tenemos una fuente de 220 V.



La potencia eléctrica (P)

La potencia eléctrica es la capacidad que tiene la electricidad de producir un trabajo o de transformar la energía en un tiempo dado. Se define por la siguiente expresión:

$$P = \frac{dE}{dt}$$

La unidad en el sistema internacional es el Watt (W). Cuando una máquina consume o entrega una energía de 1 joule (J) en un segundo (s), consume o produce una potencia de 1 Watt.

$$1W = \frac{1J}{1s}$$

Submúltiplos:	Múltiplos
1 microwatt (μW) = 0,000 001 W	1 kilowatt (kW) = 1.000 W (Ejemplo: potencia en general, planchas, etc)
1 miliwatt (mW) = 0,001 W	1 Megawatt (MW) = 1:000.000 W (Ejemplo: Plantas industriales, ciudades)

La potencia eléctrica la calculamos multiplicando la tensión por la intensidad de corriente.

$$P = U \times I$$

$$\frac{J}{C} \times \frac{C}{s} = \frac{J}{s} = W$$

En el caso del ejemplo, se tiene una potencia que se transforma en un flujo de calor de 11 kW o sea 11000 Joules en cada segundo.

Si observamos el horno del ejemplo, que transforma una 11 kW en calor estaba conectado a una fuente de 220 V y circulaba en el circuito una intensidad de corriente de 50 A.

$$220V \times 50A = 11000W = 11KW$$

Los niveles de potencia con los cuales se trabaja normalmente son del orden de 150 kW para pequeñas plantas industriales y por encima de 1 MW las grandes instalaciones. En el acaso del ejemplo, se tiene una potencia que se transforma en un flujo de calor de 11 kW.

La Energía Eléctrica (E).

La energía eléctrica (E) es la forma más versátil de las energías manejadas por el hombre. Se define como el trabajo que puede realizar una potencia eléctrica dada en un tiempo dado.

La energía eléctrica se mide en Joules (J), sin embargo en el campo de la electricidad se suele utilizar el kW-h (kilowatt hora). Y esta unidad es la que aparece en las facturas de UTE.

$$1 \text{ kW-h} = 3,6 \text{ Megajoule}$$

En el ejemplo, si el horno estuviera funcionando 10 horas, la energía consumida sería:

$$\text{Energía} = P.t = 11 \text{ kW} \times 10 \text{ horas} = 110 \text{ kW-h.}$$

La resistencia eléctrica (R)

Es la oposición que ofrece todo cuerpo al paso de la corriente, depende en mayor o menor grado de su constitución atómica y/o molecular de cada material. La resistencia eléctrica se mide en Ohms (W) y los multiplicadores usados son.

1 microohm ($\mu\Omega$) = 0,000 001 Ohm

1 miliohm ($m\Omega$) = 0,001 Ohm

1 kiloohm ($k\Omega$) = 1.000 Ohm

1 megaohm ($M\Omega$) = 1.000.000 Ohm

La manifestación de la presencia de una resistencia en el circuito, es la generación de calor, la que ocurre al pasar la corriente a través de ella, de allí su importancia para un auditor energético.

La ley de Ohm.

La resistencia eléctrica se representa por la letra R y la unidad es el ohmio que se representa por la letra Ω .

La relación más importante en un circuito eléctrico es la ley de Ohm, la cual relaciona la tensión, la corriente y la resistencia, la cual se expresa así:

$$\Delta V = U = I \times R$$

Lo que implica que 1 Voltio = 1 Ampere x 1 Ω y que debe entenderse como que al circular una corriente de 1 amper por un cuerpo cuya resistencia es 1 Ω , se produce una caída de tensión en los terminales de 1 voltio.

En el ejemplo, el horno consume 50 Amperes y en sus terminales existe una tensión eléctrica de 220 V, por lo tanto la resistencia del horno se puede calcular usando la expresión de Ohm.

$$R_{Horno} = \frac{220V}{50A} = 4,4 \Omega$$

Usando la relación de Ohm, se puede determinar la potencia eléctrica en función de la resistencia y cualquiera de las variables eléctricas.

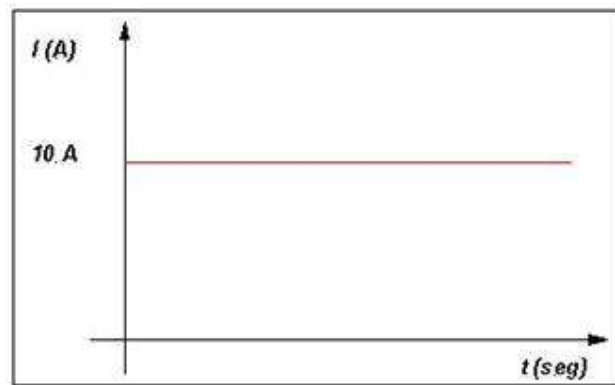
$$P = U \times I \qquad P = I^2 \times R \qquad P = \frac{U^2}{R}$$

Es decir conociendo el valor de la resistencia y la corriente, podemos determinar la energía calorífica que se disipa en un conductor eléctrico.

La corriente continua.

La corriente continua o continua es aquella cuyo valor y sentido son constantes (no cambian en el tiempo). Las fuentes de corriente continua tienen dos bornes, un borne positivo y otro borne negativo. De acuerdo al sentido teórico de la corriente eléctrica, circula del borne positivo de la fuente al polo negativo. Convencionalmente el borne positivo se indica con el color rojo y el negativo con negro.

En el siguiente gráfico, se puede ver la representación gráfica de la corriente directa, por ejemplo es una corriente de 10 A.



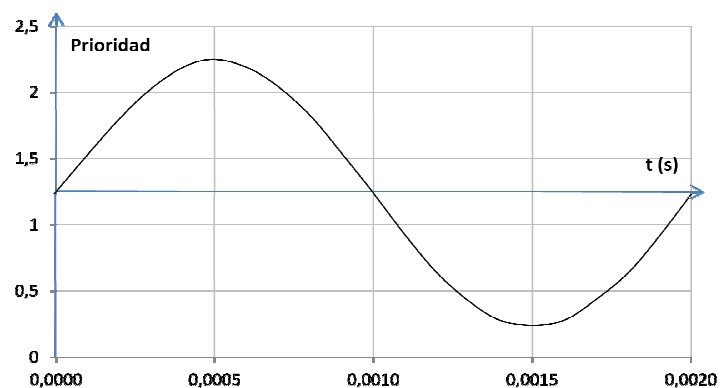
Por lo tanto, una corriente continua se produce en un circuito cuando se aplica una fuente de tensión continua a este circuito, por ejemplo una batería de auto o un panel fotovoltaico que alimenta unas lámparas incandescentes.

Por ejemplo, la batería de un automóvil cuyo voltaje es 12 V DC, alimenta a una lámpara cuya resistencia es 3Ω , entonces la corriente producida será 4A DC y la potencia disipada será 48 Watts.

Corriente alterna.

La corriente alterna es aquella cuyo valor y sentido cambian en el tiempo de forma periódica. En el caso de la corriente suministrada por UTE, tiene una frecuencia de 50 Hz o 50 ciclos por segundo, eso quiere decir que la corriente cambia en valor y sentido 50 veces por segundo, si graficamos la intensidad de corriente que circula por un conductor en un intervalo de tiempo de 0,02 segundos que corresponde a un período, ($1:50 = 0.02$), obtenemos el siguiente gráfico:

En el ejemplo gráfico la intensidad de corriente en el instante 0 segundo es de 0,0 A, al transcurrir 0,0005 segundos la intensidad es de 4,0 A, en el instante 0,0010 segundos nuevamente la intensidad es de 0,0 A, en el instante 0,0015 segundos la intensidad vale 4,0 A pero en sentido contrario, en el instante 0,0020 segundos la intensidad es nuevamente 0,0 A.



Podemos decir que la intensidad de corriente en corriente alterna al cabo de un ciclo pasa por distintas **fases**, oscila entre 4,0 A y -4,0 A. La gráfica representa el modelo matemático de lo que ocurre con la intensidad de corriente y corresponde a la siguiente ecuación:

$$i = 4,0 \text{ A} \times \text{sen}(2\pi \times 50 \times t)$$

Para cualquier corriente podemos escribir:

$$i = i_{Max} \text{sen}(2\pi f t + \theta)$$

i - corresponde a la intensidad de corriente en el instante t .

i_{Max} - corresponde a la intensidad máxima.

f - la frecuencia de la corriente eléctrica.

t - el instante de tiempo.

θ - es el valor del ángulo de la fase inicial, para el caso representado en la gráfica corresponde a 0.

Si hubiéramos graficado la tensión, hubiéramos obtenido una gráfica similar.

La corriente alterna presenta características únicas, las cuales deben ser evaluadas por el auditor energético para determinar la eficiencia de un sistema eléctrico alimentado por ella. Estas magnitudes son:

El ángulo de desfase

El valor eficaz

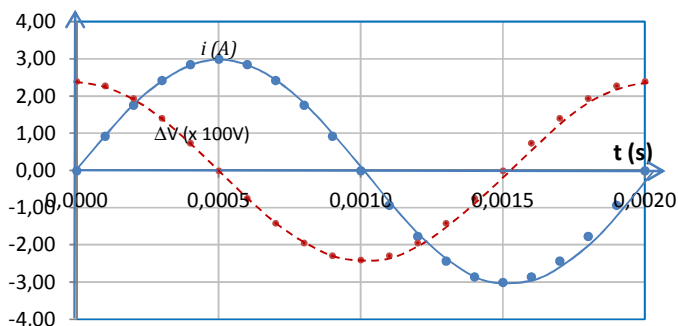
La frecuencia.

La potencia eléctrica y la corriente alterna.

El ángulo de desfase.

Es la diferencia del ángulo de la fase inicial existente entre la intensidad de corriente y la tensión.

La gráfica representada muestra un ejemplo de tensión (ΔV) y la intensidad (i) que en este caso, presentan un desfase de 90° .



Cuando la tensión tiene su valor máximo en $t = 0$, la intensidad de corriente está en cero, en el instante $t = 0,0005$ seg. la tensión vale cero y la intensidad toma su máximo valor.

$$i = i_{Max} \text{sen}(2\pi f t + \theta_i) \quad \text{tensión } U = \Delta V = \Delta V_{Max} \text{sen}(2\pi f t + \theta_{\Delta V})$$

Si utilizamos la letra griega ϕ (phi) para designar el ángulo de desfase este se determinaría de la siguiente forma.

$$\phi = \theta_i - \theta_{\Delta V}$$

Este ángulo es una característica del tipo de componente conectado a un circuito eléctrico alimentado con corriente alterna.

$\phi > -90^\circ$ componentes inductivos — resistivos, $\phi = -90^\circ$ inductancia (bobina)

$\phi = 0^\circ$ Componentes resistivos puros.

$\varphi = 90^\circ$ Componente capacitivo — resistivo, $f = +90^\circ$ capacitancia (condensador)

Nos interesan los componentes más comunes, en este caso resistencias puras, como es el caso de un horno o una calefactor, donde el ángulo $\varphi = 0$. El caso de los motores, que son una combinación de resistencia e inductancia (bobina), el ángulo $\varphi > -90^\circ$, como -65° Y finalmente, los condensadores usados en los sistemas de compensación de energía reactiva cuyo $\varphi = 90^\circ$.

¿Qué efecto tiene este comportamiento de la corriente y el voltaje en un sistema industrial? La consecuencia del desfase será estudiada en el inciso (d) La corriente alterna y la potencia eléctrica.

El valor eficaz.

Si analizamos la onda de corriente, el valor de la corriente cambia constantemente siguiendo el comportamiento sinusoidal. Por lo tanto, ¿cómo podemos comparar una corriente continua de 5 A DC, con una corriente alterna que cambia constantemente de valor? La respuesta es por sus efectos caloríficos y por ello se creó el concepto de valor eficaz, el cual se define de la siguiente forma:

Se dice que 1 Ampere eficaz de corriente alterna produce los mismos efectos caloríficos que un 1 Ampere de corriente continua al circular por el mismo componente resistivo.

En el caso de la onda sinusoidal, el valor eficaz se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$i_{ef} = \frac{i_{Max}}{\sqrt{2}}$$

La cual puede ser aplicada a la tensión eléctrica. En el caso del voltaje doméstico, el valor 220 VCA es el valor eficaz de la tensión recibida de UTU y corresponde a una onda de corriente alterna cuyo valor máximo es

$$\Delta V_{ef} = \frac{\Delta V_{Max}}{\sqrt{2}} \Rightarrow 220V = \frac{\Delta V_{Max}}{\sqrt{2}}$$

$$(U_{Max}) \Delta V_{Max} = 220V \times \sqrt{2} = 311V$$

Los valores eficaces se identifican mediante letras mayúsculas, I para la corriente o ΔV para el voltaje. Y en general se utilizan indistintamente para el caso de corriente alterna o directa.

El valor eficaz de una corriente cambia si la onda se distorsiona y pierde la forma sinusoidal pura, de allí que la elección de instrumentos de medición debe tomar en cuenta esta situación. Los instrumentos más baratos realizan la operación matemática directa de la expresión mostrada en la página anterior, en cambio los más modernos y precisos, mediante el uso de microprocesadores realizan operaciones instantáneas y calculan el verdadero valor eficaz (denominados instrumentos de medición TRUE RMS).

La frecuencia.

Es el número de ciclos por unidad de tiempo, se identifica con la letra "f" y la unidad usada en el sistema internacional es el ciclo por segundo, bautizado como Hertz. Las frecuencias industriales más usadas son:

60 Hz Brasil, Perú, EEUU, México
50 Hz Uruguay, Argentina, Europa, Ecuador, Paraguay.

Se trabaja con valores más altos en la transmisión de datos o en telecomunicaciones, pero no serán mencionadas aquí.

La potencia y la corriente alterna

La corriente alterna lleva energía hacia los componentes del circuito y de acuerdo a la naturaleza del circuito esta será utilizada de diferente forma:

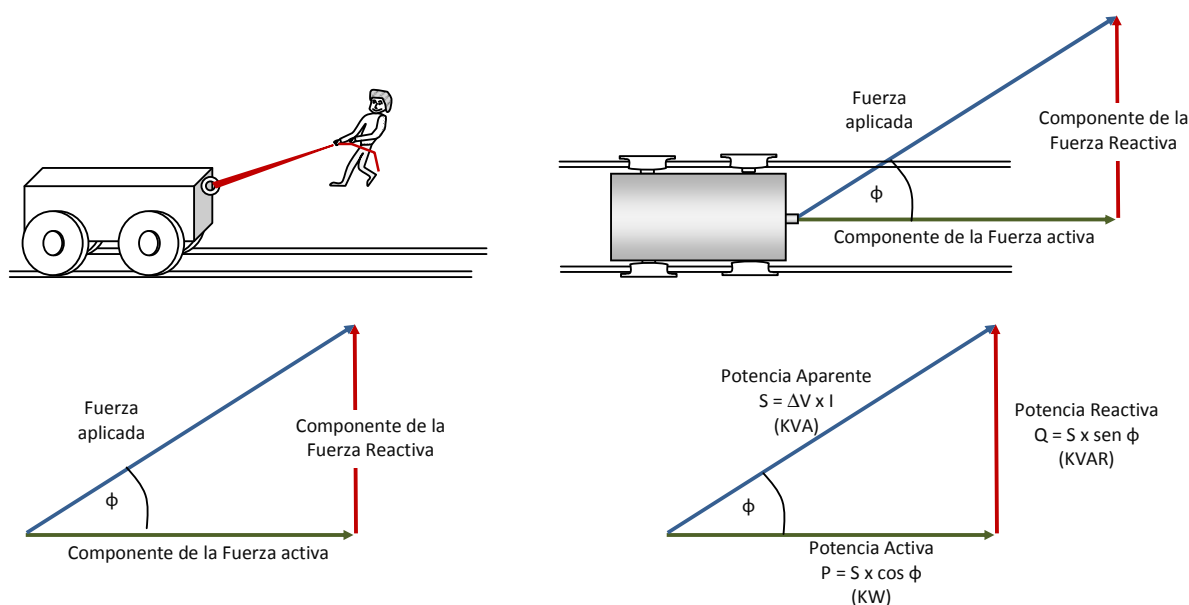
Los componentes resistivos traducirán esta energía en calor que se irradia hacia el exterior del circuito, para ser usado en el calentamiento de un proceso por ejemplo. Estos componentes usan la energía de la fuente en forma activa, como un consumo, y por ello la potencia consumida por ellos se denomina Potencia Activa ó Potencia útil.

La unidad de la **potencia activa** es el watt (W). Y se le representa mediante la letra **P**

Los componentes inductivos usan la energía en crear campos magnéticos que reciben la misma y la devuelven al circuito, de manera no se toma energía efectiva de la fuente. Este consumo se denomina Potencia reactiva. (Ver ley de Faraday-Lenz)

La unidad de la **potencia reactiva** es el Voltio Ampere Reactivo (VAR). Y se le representa mediante la letra **Q**.

Este consumo de potencia se puede visualizar mediante una analogía mecánica en la siguiente figura, imaginemos un carrito de tren que es tirado por una cuerda que no está alineada con la dirección del tren, sino que forma un ángulo ϕ con ella, debido a esto ocurre lo siguiente:



La componente de la fuerza activa contribuye efectivamente al movimiento del carro, la podemos asociar a la Potencia Activa que la representamos con la letra P.

La componente de la fuerza reactiva solamente tiende a pegarlo contra el riel y utiliza parte de la capacidad del que esta jalando la cuerda, en forma inútil, la podemos asociar a la Potencia Reactiva que la representamos con la letra Q.

La fuerza aplicada representa la Potencia Aparente que la representamos .

El ángulo ϕ es el ángulo de desfase que existe entre la tensión que se aplica a un consumidor y la corriente que este consume. Observe que cuanto mayor es el ángulo ϕ menos eficientemente se utiliza la capacidad de la fuente

Las potencias se calculan mediante las siguientes expresiones:

Potencia Aparente	$S = \Delta V \times I$	Unidad VA (VoltioAmpere)
Potencia Activa	$P = S \times \cos \phi$	Unidad W (Watts)
Potencia Reactiva	$Q = S \times \sin \phi$	Unidad VAR (VoltioAmper Reactivo)

ΔV = Tensión o voltaje aplicado a la carga, en Voltios (V)

I = Corriente consumida por la carga, en Amperes (A)

ϕ = Angulo de desfase entre la tensión y la corriente con signo cambiado.

En estas expresiones se puede observar, que la tensión o voltaje es una constante, por ejemplo 220 V o 440 V , en cambio la magnitud de la corriente representa la energía que se transporta de la fuente al consumidor y que de acuerdo a la magnitud del ángulo ϕ se reparte en forma de potencia activa y potencia reactiva.

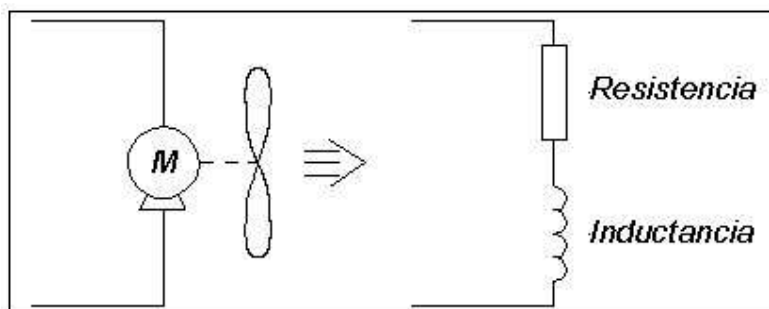
Por ejemplo: el voltaje en las plantas industriales "A" y "B" es 380 V y en ambas la corriente es 200 A. El ángulo de desfase entre la corriente y la tensión en la planta "A" es 53° y en la planta "B" el ángulo de desfase es 30°.

Planta A	Planta B
$S = 380V \times 200 A / 1000 = 83,6 \text{ kVA}$	$S = 380 \times 200 / 1000 = 83,6 \text{ kVA}$
$P = 380 \times 200 \times \cos 53^\circ / 1000 = 50,3 \text{ kW}$	$P = 380 \times 200 \times \cos 30^\circ / 1000 = 65,8 \text{ kW}$
$Q = 380 \times 200 \times \sin 53^\circ / 1000 = 60,7 \text{ kVAR}$	$Q = 380 \times 200 \times \sin 30^\circ / 1000 = 38,0 \text{ kVAR}$

La planta "A" consume 50.3 kW, en cambio la planta "B" consume 65,8 kW. La segunda utiliza mejor la capacidad de su fuente de energía (suministro, subestación eléctrica o grupo electrógeno), para una misma corriente consume 15,3 kW más. El análisis que se realice debe considerar la capacidad instalada de la fuente.

Analice la siguiente situación, la planta "C" y la planta "D" utilizan 65 kW cada una, sin embargo tienen ángulos de desfase diferentes, ángulos $\phi_C = 53^\circ$ y $\phi_D = 30^\circ$ respectivamente. ¿Cuál usa mejor la capacidad de su fuente de energía? La respuesta es la planta "D"

Observe que un motor eléctrico se puede representar como una combinación de una resistencia y una inductancia (bobina), tal como se puede ver en la siguiente figura.



La resistencia representa con su consumo la potencia activa que se obtiene del motor y la inductancia (bobina), los campos magnéticos que se establecen en el motor para producir el movimiento y con ello la potencia reactiva que consumen. El ángulo de desfase tiene signo negativo y al ser introducido en la expresión de potencia se vuelve positivo.

Los condensadores tienen un ángulo de desfase de $+90^\circ$ y por lo tanto al calcular las potencias se usa un ángulo de -90° , con lo que se obtiene una potencia reactiva con signo negativo, opuesta a la que consume un motor.

El Factor de potencia (F.P.)

El factor de potencia se define como la razón de la potencia activa a la potencia aparente, tal como se expresa a continuación:

$$F.P. = \frac{\text{Potencia Activa}}{\text{Potencia Aparente}}$$

Para el caso de corriente alterna pura (sinusoidal sin distorsión) se cumple:

$$F.P. = \frac{P}{S} = \frac{\Delta V \times I \times \cos\phi}{\Delta V \times I} = \cos\phi$$

Por lo tanto, cuanto menor sea el ángulo de desfase, mayor será la potencia activa obtenida a partir de una potencia aparente dada.

El factor de potencia de un motor eléctrico está entre 0,86 y 0,94 para su carga nominal. En el caso de las lámparas fluorescentes, el factor de potencia está entre 0,55 y 0,65.

Para corregir el factor de potencia se utiliza generalmente un Banco de Condensadores. Los condensadores también llamados capacitores están construido por dos placas aisladas entre sí que al conectarlo a los bornes de un generador de corriente continua, las placas adquieren cargas, generándose entre las placas un campo de fuerza eléctrico que mantienen las placas cargadas. Para descargar las placas o sea el condensador es necesario conectar a los bornes un conductor y así de esa forma las cargas circulan de un borne al otro hasta descargarse. Si los alimentados con corriente alterna, se encuentran en un proceso cíclico de carga y descarga dentro de ellos, es decir toman energía para cargar un campo eléctrico y la devuelven a la fuente al descargarse, el potencial en los capacitores conectados a alterna están desfasados 90° con respecto a la intensidad de corriente y de esa manera corrige el factor de potencia. Se detallará más adelante.



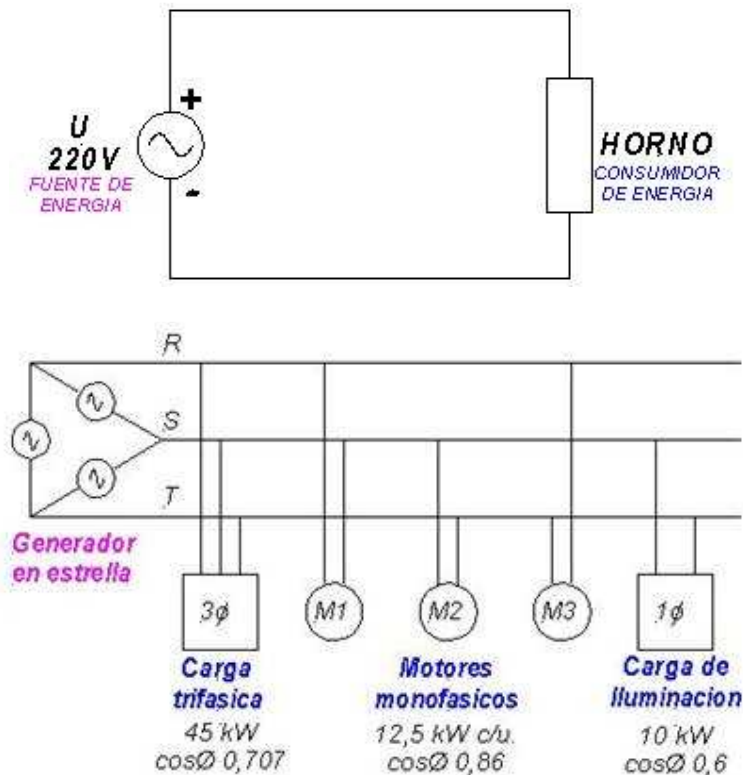
Los Sistemas Trifásicos

Los sistemas de transmisión y distribución de mayor utilización son los sistemas trifásicos, los cuales están constituidos por tres tensiones de igual magnitud, desfasadas 120° entre sí. Las ventajas de usar este tipo de distribución son las siguientes:

Para alimentar una carga de igual potencia eléctrica, las corrientes en los conductores son menores que las que se presentan en un sistema monofásico.

Para una misma potencia, las maquinas eléctricas son de menor tamaño que las maquinas eléctricas monofásicas.

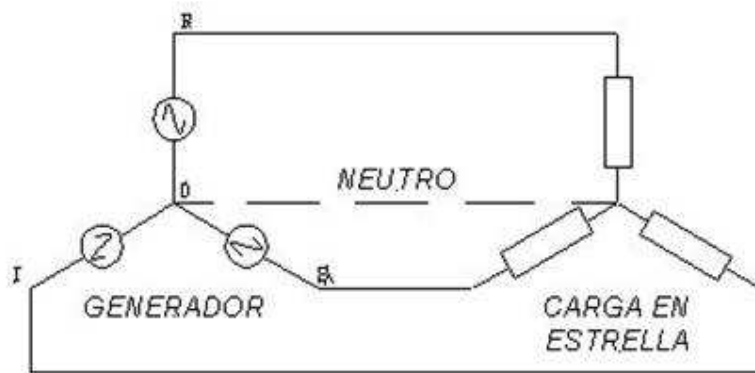
La diferencia entre un sistema monofásico y uno trifásico se presenta en las siguientes figuras.



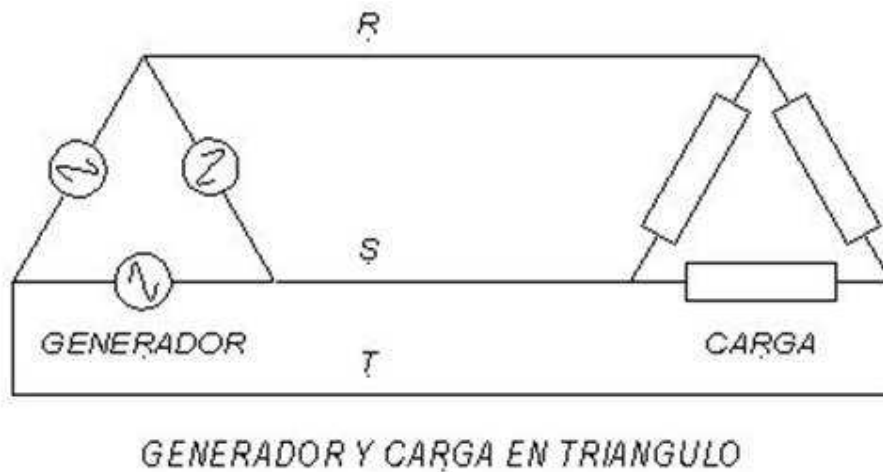
Se puede ver que en un sistema trifásico es posible conectar cargas monofásicas y trifásicas simultáneamente. Por ejemplo, en la figura anterior el esquema muestra un generador trifásico que alimenta a través de tres conductores alimentadores una única carga trifásica de 45 kW y las demás son cargas monofásicas.

Configuraciones de los circuitos trifásicos.

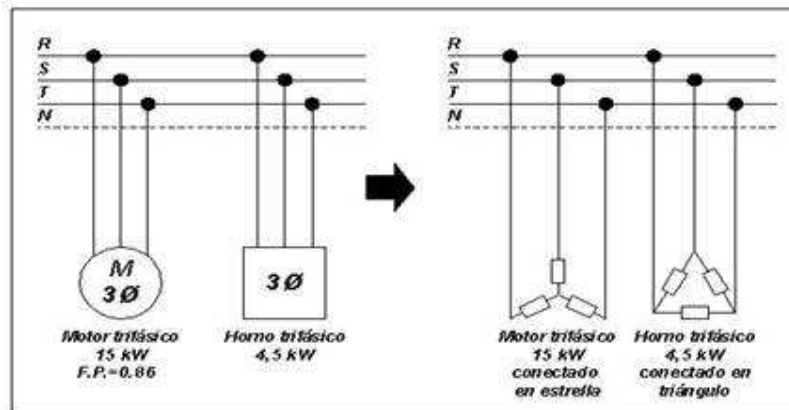
Los circuitos trifásicos presentan dos configuraciones básicas en función de la conexión del generador, las que se pueden ver en la siguiente figura.



En ambos sistemas se requiere de las 3 líneas activas, denominadas R,S y T, para la alimentación de las cargas trifásicas, la conexión interna de las cargas puede ser en estrella o triángulo indistintamente, tal como se muestra en la siguiente figura.



En la siguiente figura (Carga trifásica alimentada por un sistema trifásico), la línea neutra N nos indica que la fuente trifásica del sistema de distribución es un generador conectado en estrella, sin embargo no se requiere para alimentar las cargas trifásicas. Si la línea neutra "N", no existiera como es el caso de un sistema de distribución alimentado por un generador conectado en triángulo, las cargas trifásicas seguirían funcionando.



Las variables eléctricas de un sistema trifásico.

El estudio del consumo de energía eléctrica en un sistema trifásico requiere estudiar las variables eléctricas que se presentan en este tipo de circuito, las variables trifásicas más importantes son:

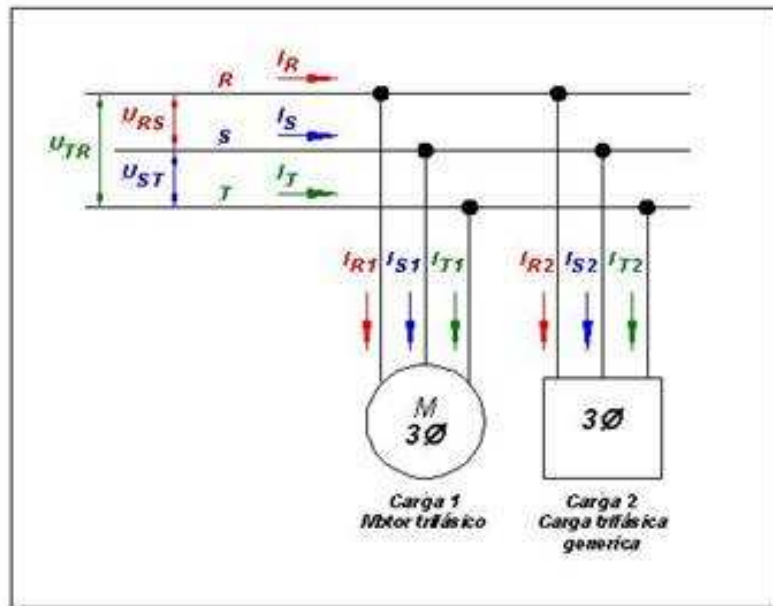
La corriente en las líneas. Si las tres corrientes de línea son iguales, se dice que el sistema esta balanceado, como ocurre con un motor eléctrico, en caso contrario se dice que esta desbalanceado.

I_R, I_S, I_T (denominadas actualmente I_{L1}, I_{L2}, I_{L3} según la IEC)

Las tensiones entre las líneas.

U_{RS}, U_{ST}, U_{TR} (denominadas actualmente U_{12}, U_{23}, U_{31} según IEC)

Las corrientes de línea y tensiones entre líneas son mostradas en la siguiente figura.



Observe que las corrientes de línea pueden ser medidas para cada carga; así como para todo el sistema.

En el análisis del consumo de energía eléctrica de una carga balanceada, se requiere conocer el voltaje entre líneas, las corrientes de línea y el factor de potencia de la carga trifásica.

Las potencias eléctricas trifásicas que para una carga balanceada se puede calcular mediante las expresiones siguientes:

$$P_{3\phi} = 3 \times \Delta V_{\text{línea}} \times I_{\text{línea}} \times \cos\phi$$

$$Q_{3\phi} = 3 \times \Delta V_{\text{línea}} \times I_{\text{línea}} \times \sin\phi$$

$$S_{3\phi} = 3 \times \Delta V_{\text{línea}} \times I_{\text{línea}}$$

Donde:

P_{3f} = Potencia trifásica, en kW

Q_{3f} = Potencia reactiva trifásica, en kVAR

S_{3f} = Potencia aparente trifásica, en kVA

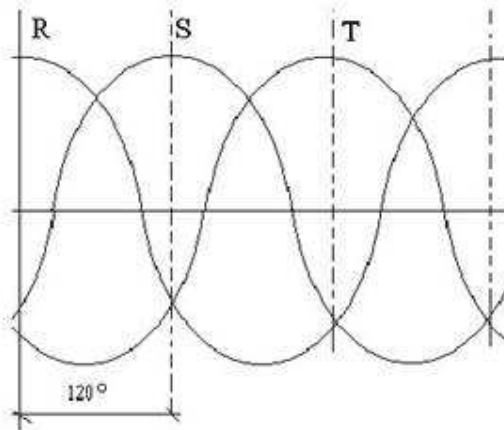
$(U_{\text{línea}}) \Delta V_{\text{línea}}$ = Tensión entre líneas, en Voltios (V)

$I_{\text{línea}}$ = Corriente de línea, en Amperes (A)

$\cos \phi$ = Coseno del ángulo de desfase o factor de potencia de la carga trifásica.

Si la carga es desbalanceada, se requiere el factor de potencia por fase. Aunque en estos casos, se trata de manejar un factor de potencia promedio, especialmente cuando se diseña sistemas de compensación de energía reactiva.

Las tensiones y corrientes presentan una distribución en el tiempo como la mostrada en la siguiente figura.

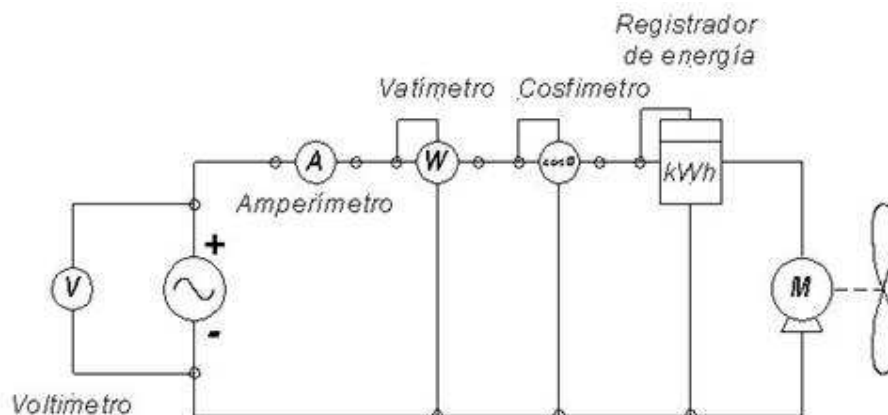


Si las plantas A y B del ejemplo anterior hubieran tenido una alimentación trifásica, suponiendo que las corrientes de línea eran iguales (carga balanceada) y manteniendo los mismos datos, las potencias serían:

Planta A	Planta B
$S = \sqrt{3} \times 380V \times 200 A / 1000 = 131,6 \text{ kVA}$	$S = \sqrt{3} \times 380 \times 200 / 1000 = 131,6 \text{ kVA}$
$P = \sqrt{3} \times 380 \times 200 \times \cos 53^\circ / 1000 = 78,9 \text{ kW}$	$P = \sqrt{3} \times 380 \times 200 \times \cos 30^\circ / 1000 = 113,9 \text{ kW}$
$Q = \sqrt{3} \times 380 \times 200 \times \sin 53^\circ / 1000 = 105,3 \text{ kVAR}$	$Q = \sqrt{3} \times 380 \times 200 \times \sin 30^\circ / 1000 = 65,8 \text{ kVAR}$

Los Instrumentos de medición necesarios para evaluar la eficiencia energética eléctrica

La siguiente figura muestra un circuito monofásico con los instrumentos de medición necesarios para determinar todos sus parámetros eléctricos, como son:



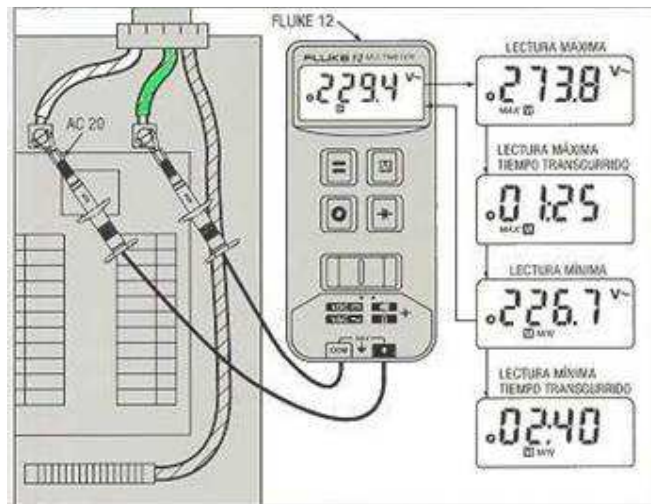
La intensidad de corriente (I), Amperes
La tensión o voltaje (U), Voltios
La potencia activa (P), kW
El Factor de potencia del sistema ($\cos \phi$ ó F.P)
La energía eléctrica consumida (E), kW-h

En donde se debe destacar la forma como deben ser conectados los instrumentos para conseguir una medida correcta y precisa.

Medición de parámetros

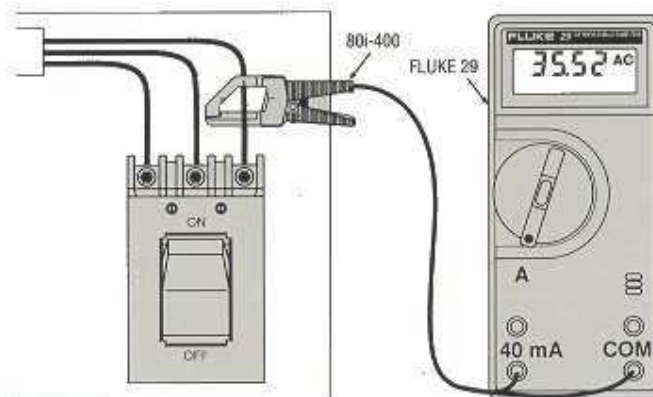
Medición de tensión eléctrica - El voltímetro

Este instrumento permite medir tensiones eléctricas y caídas de tensión, se conecta en paralelo a los puntos en donde se desea conocer la diferencia de potencial. Tal como se muestra en la siguiente figura.



Medición de intensidad de corriente - El amperímetro

El amperímetro mide las intensidades de corriente en una rama del circuito, se conecta seriado en dicha rama. En nuestro caso debemos realizar medidas rápidas sin efectuar desconexiones, por lo que se utilizan pinzas amperimétricas. La siguiente figura muestra un amperímetro de pinzas midiendo la corriente en una de las líneas de un interruptor trifásico.



Las pinzas amperimétricas aprovechan la presencia del campo magnético que se establece

alrededor del conductor donde circula la corriente y la relación directamente proporcional que existe entre la intensidad del campo magnético y la intensidad de la corriente.

Son de dos tipos:

Pinzas amperimétricas de tipo inductivo o tipo transformador, que aprovechan la tensión inducida por el campo magnético en un núcleo de hierro, las cuales miden solamente corriente alterna.

Pinzas de efecto Hall, que utilizan un semiconductor y un circuito de amplificación independiente que pueden medir corriente alterna o continua. En la actualidad, la tendencia es utilizar este principio de medición en los instrumentos portátiles.

Las pinzas amperimétricas pueden trabajar asociadas a un multímetro o incorporadas a uno tal como se muestra en la siguiente figura.



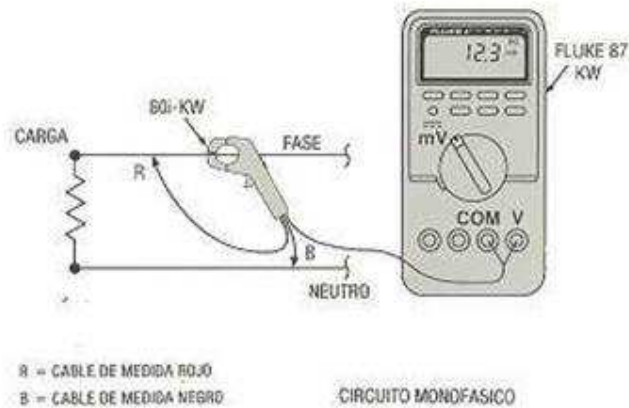
En general se debe buscar que tengan las siguientes características:

- Retención de lectura.
- Medición de lecturas de verdadero valor eficaz (true R.M.S.)
- Registro de Max, Min y promedios en diferentes periodos de tiempo.
- Velocidad de registro que permita sensor corrientes de arranque en motores.

Medición de potencia - El Vatímetro.

La medición de potencia eléctrica activa se realiza con el vatímetro. Este instrumento de medición tiene una parte amperimétrica, la cual se conecta como los amperímetros comunes (intercalado en la línea) y una parte voltimétrica que se conecta como los voltímetros, en paralelo a las líneas que conducen la corriente eléctrica, de manera que se obtenga la potencia por efecto de ambas medidas.

El vatímetro de pinzas, es un dispositivo similar a una pinza amperimétrica que censa la corriente y la tensión en la carga, realizando el cálculo de la potencia por medio de un dispositivo electrónico. La medida de potencia puede ser mostrada directamente por el equipo o indirectamente a través de un multímetro, tal como se muestra en la siguiente figura.



Podemos observar la conexión voltimétrica en los puntos "R" y "B"; así como el sensado de la corriente mediante una pinza de efecto Hall. Este tipo de instrumento es muy sencillo de utilizar, pero requiere de cuidado con la polaridad al efectuar las conexiones.

Medición de potencia trifásica.

La medición de potencia trifásica depende del sistema trifásico que se este evaluado, es decir si tenemos 3 hilos (triángulo o estrella sin neutro) o 4 hilos (estrella con neutro) tal como se muestra a continuación.

Medición de potencia en sistemas trifásicos de tres hilos (Método de Aron)

En este caso se realizan dos mediciones con la pinza vatímetrica y la potencia se obtiene mediante la siguiente expresión:

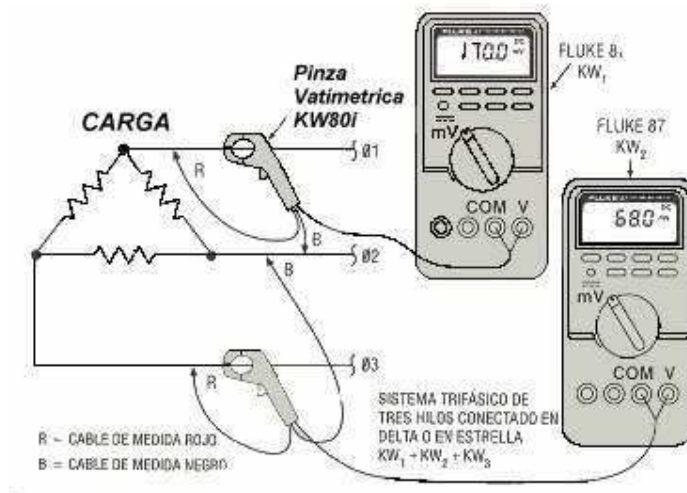
$$P_{3\phi} = P_1 + P_2$$

Donde :

$P_{3\phi}$ = Potencia trifásica, en kW

P_1 = Potencia de medida en la posición 1 (kW1 en la figura siguiente)

P_2 = Potencia de medida en la posición 2, (kW2 en la figura siguiente)



Medición de potencia en sistemas trifásicos de cuatro hilos (estrella con neutro)

En este caso se realizan tres mediciones con la pinza vatimétrica y la potencia se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$P_{3\phi} = P_1 + P_2 + P_3$$

Donde :

$P_{3\phi}$ = Potencia trifásica, en kW

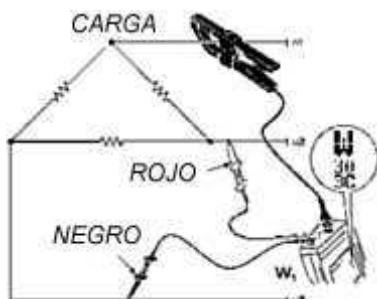
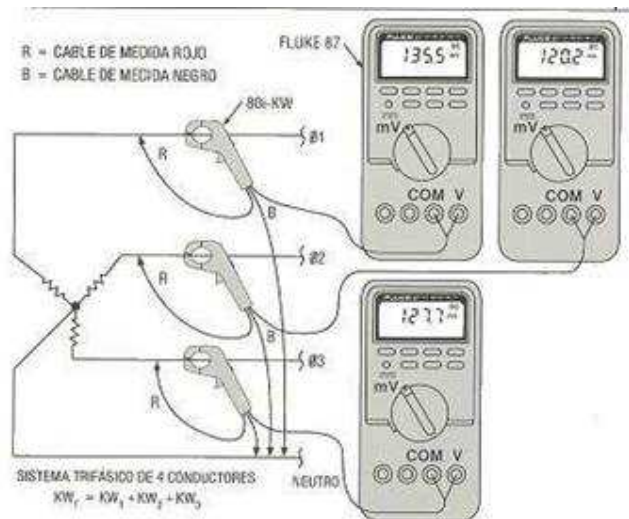
P_1 = Potencia de medida en la posición 1 (kW1 en la figura siguiente)

P_2 = Potencia de medida en la posición 2, (kW2 en la figura siguiente)

P_3 = Potencia de medida en la posición 3, (kW3 en la figura siguiente)

Este sistema permite medir potencia en cargas trifásicas desbalanceadas, tal como se muestra en la siguiente figura siguiente.

En algunos casos se puede obtener directamente la potencia trifásica para cargas balanceadas, debido a que el aparato crea un neutro artificial y calcula la potencia con las medidas de tensión y corriente. En la siguiente figura se puede ver la conexión que se debe realizar.



Medición de factor de potencia — Cosfímetro.

El factor de potencia se medía tradicionalmente con un instrumento cuyo principio de funcionamiento es el mismo que el de un vatímetro, sin embargo los modernos vatímetros digitales han desplazado estos instrumentos, de tal manera que en la actualidad muchos fabricantes de instrumentación electrónica

han dejado de fabricarlos.

La forma de conexión es similar a la descrita en el inciso anterior y puede hacerse referencia a estas figuras en donde se cambiaría el valor leído.

Los analizadores de red.

Estos instrumentos de medición permiten el análisis de sistemas de distribución industrial trifásica, son similares a los vatímetros, con la diferencia que registran las tres corrientes de línea y las tensiones entre líneas simultáneamente, efectuando las operaciones matemáticas necesarias para el cálculo de:

- Voltajes entre líneas promedio, máximos y mínimos.
- Corrientes de línea promedio, máximas y mínimas.
- Potencia activa, por fase y total.
- Potencia reactiva, por fase y total.
- Factor de potencia, por fase y promedio.
- Registro de Energía activa, reactiva inductiva y reactiva capacitiva
- Frecuencia

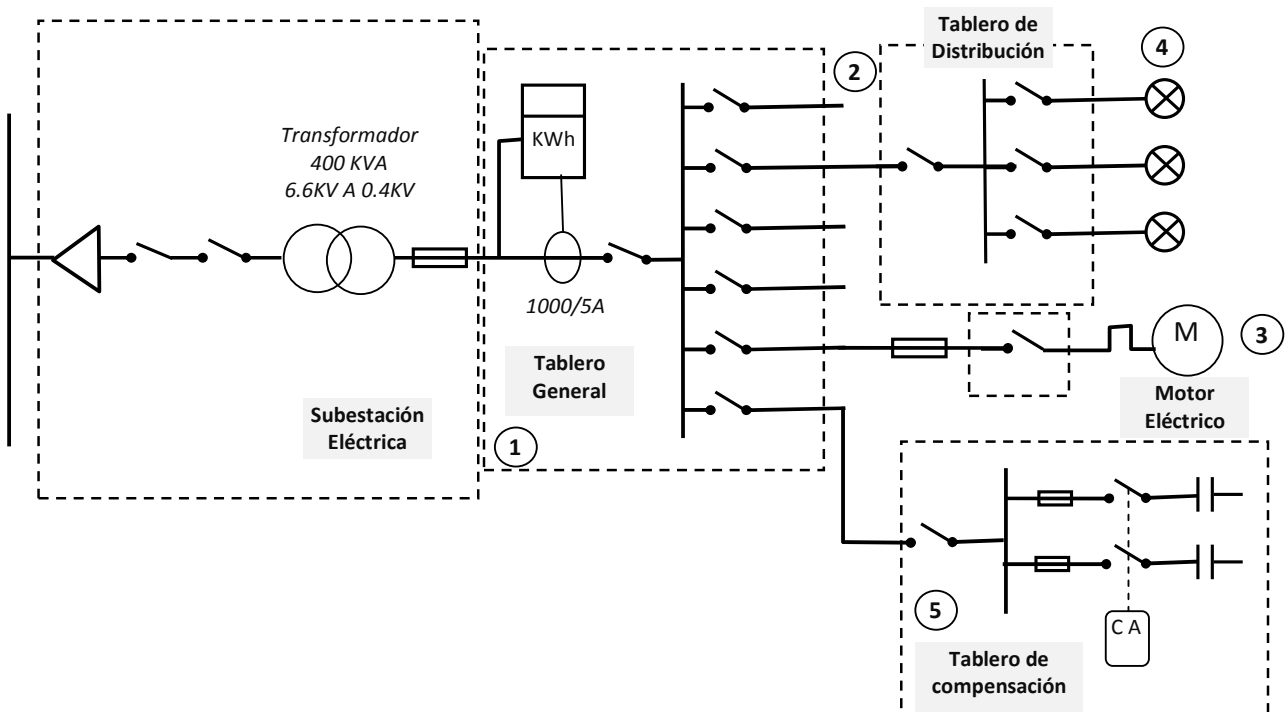
La siguiente figura muestra un analizador de red típico, se debe observar la presencia de las tres pinzas amperimétricas que permiten el registro simultaneo de las tres corrientes de línea en el sistema trifásico.



En general, los analizadores de red tienen capacidades de registro que permiten llegar al análisis del consumo de energía de una planta industrial o edificio comercial ocurrido en largos períodos de tiempo. Y en la actualidad, sus funciones se han extendido al campo de la calidad de la energía pudiendo evaluar corrientes armónicas, transitorios y flicker, las cuales incrementan sus costos.

Parámetros eléctricos a medir en el sistema industrial

Finalmente, los instrumentos de medición permitirán al auditor energético la determinación de las variables eléctricas de un sistema eléctrico industrial y con ello definir su eficiencia en el uso de la energía.



A continuación como una forma de repaso, se presenta un diagrama unifilar de una planta industrial en la siguiente figura, en el se han numerado puntos para su evaluación, que instrumentos se utilizarán y para qué finalidad.

- Punto 1 Voltaje, corriente y potencia de todo el sistema.
- Punto 2 Corriente y potencia
- Punto 3 Voltaje, corriente y potencia
- Punto 4 Voltaje, corriente, potencia y nivel de iluminación.
- Punto 5 Voltaje, corriente y potencia del banco de condensadores.

Medición de intensidad de luz - el luxómetro

El luxómetro nos permite la medición de los niveles de iluminación que proporcionan los sistemas de iluminación en las estaciones de trabajo o ambientes en donde se encuentran instalados. Las normas internacionales nos dan una referencia de los niveles recomendados para diferentes tipos de ambientes y actividades, de manera que podamos comparar los valores medidos de iluminación en un ambiente y determinar si el sistema de iluminación instalado está sobredimensionado o subdimensionado.

El luxómetro digital moderno consta de una celda de fotosensible que capta la luz y presenta la lectura en un dispositivo similar a un multímetro, tal como lo muestra la siguiente.



Niveles de Iluminación recomendados en Función de la Tarea y la Actividad desarrollada.

Tipo de tarea visual	Ambiente o actividad	Nivel de iluminación recomendado (lux)
Orientación solamente	Zonas de tráfico	20
Tarea visual fácil	Plantas de producción con actividades ocasionales	100
	Trabajos bastos de montaje y supervisión.	200
Tarea visual normal	Tareas medias, torneado, fresado o calderería, aulas	300
	Tareas finas, maquinas con utillajes u oficinas	500
Tarea visual difícil con pequeños detalles y poco contrastes	Oficinas de supervisión, dibujo, oficinas de gran área.	1000
	Ensayo de colores, montaje mecánico fino, oficinas abiertas con reflectancias medias.	1000
Tarea visual muy difícil	Aseguramiento de la calidad con requerimientos muy altos, reparación de artefactos ópticos o relojería de precisión, procesamiento de textiles.	1500
Detalles muy finos con muy poco contraste.	Grabado de metales y joyería	2000

Esta tabla puede ser tomada como referencia para el diagnóstico del sistema de iluminación, sin embargo es preferible utilizar las normas nacionales vigentes.

Normas de Seguridad

Las siguientes normas deben ser observadas con cuidado durante la realización de trabajos en el sistema de distribución eléctrica con el fin de reducir el peligro de accidentes personales y daños en los equipos o instrumentos de medición.

En general, se debe recordar que la electricidad es una forma de transporte de energía muy fácil de emplear y controlar, pero también muy peligrosa, por lo que cualquier precaución no está demás.

Antes de iniciar cualquier medición en una subestación eléctrica, tablero distribución o una parte cualquiera del sistema eléctrico, se debe realizar una inspección cuidadosa de la misma, reconociendo todas sus partes, en especial las partes activas es decir aquellas con tensión eléctrica. Si se dispone de diagramas eléctricos úselos como base para el reconocimiento inicial.

Identifique los interruptores que permitan la maniobra de los circuitos en donde se realizarán los trabajos. Y de ser posible, todo trabajo debe ser realizado desconectando el circuito a reparar o examinar, dando aviso al personal de la planta antes de efectuar la maniobra de desconexión o conexión, para evitar accidentes.

Los instrumentos de medición y herramientas que se utilicen deben ser homologados para el nivel de tensión del sistema eléctrico en donde se realizarán los trabajos, siempre use herramientas con mangos aislados. El trabajo en un sistema de media tensión como son las

barras de 10 kV o 13,2 kV requiere de herramientas cuyo aislamiento soporte esos niveles de tensión.

Toda experiencia o trabajo con electricidad, de ser realizada en compañía de otras personas, por si es necesario recibir auxilio.

Al efectuar una conexión provisional, no use cables o alambres sin aislamiento o con aislamiento deteriorado. En caso de encontrar cables defectuosos, comuníquelo al personal de mantenimiento.

Evitar el contacto con las partes metálicas de tableros, equipos o instrumentos que no estén conectados a tierra. Cuídese del contacto accidental de anillos o relojes con los conductores o barras con tensión.

En caso de trabajo con equipo eléctrico energizado, utilice guantes y anteojos de protección, una chispa eléctrica no tiene mucha energía, sin embargo, puede dañar irreparablemente el ojo humano.

Si en el circuito, se observa una marcha anormal, ruidos extraños, calentamiento excesivo o chispas, abra el interruptor principal de inmediato.

Al maniobrar de interruptores, la operación debe ser realizada de manera rápida para evitar la formación de arcos eléctricos, chispas y consecuentes quemaduras. En especial si el circuito alimenta elementos inductivos o capacitivos

No toque los bornes de los condensadores de potencia, ya que pueden estar cargados.

Todos los circuitos de potencia son peligrosos. Al trabajar con tensiones mayores de 400 V, se debe usar guantes y/o alfombras o taburetes aislantes siempre.



Obras Sanitarias del Estado
GESTION DE CAPITAL HUMANO
Capacitación

Manual elaborado por
Sup. Pedro Barbano.
Con Aportes de
Prof. Daniel Pereira.
Versión 1
Octubre 2014