

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y FORMALES

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRONICA



“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO ANALIZADOR DE REDES PARA LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS Y DE CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA”

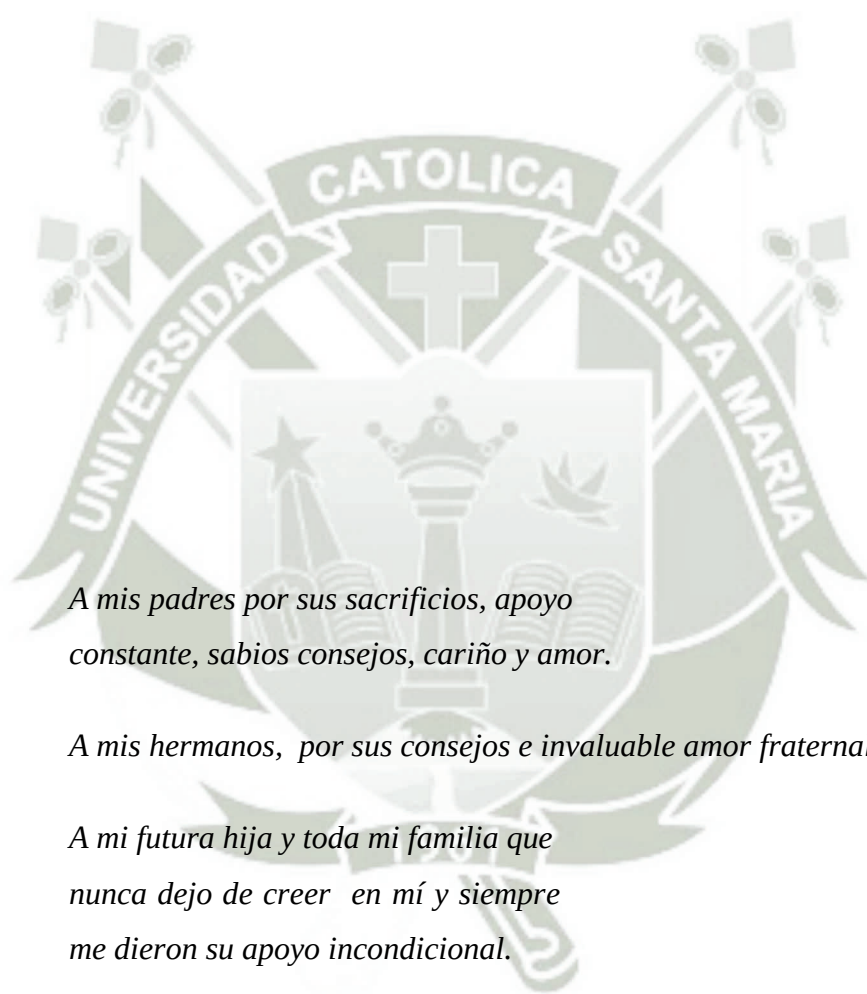
Tesis presentada por el Bachiller:

TOROCAHUA TAPIA, Felipe Eder

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**AREQUIPA – PERÚ
2014**



*A mis padres por sus sacrificios, apoyo
constante, sabios consejos, cariño y amor.*

A mis hermanos, por sus consejos e invaluable amor fraternal

*A mi futura hija y toda mi familia que
nunca dejo de creer en mí y siempre
me dieron su apoyo incondicional.*

A Dios por darme sabiduría y perseverancia.

Felipe Eder Torocahua Tapia.

ÍNDICE

RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
INTRODUCCIÓN	IX
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Título de la tesis.....	1
1.2 Descripción.....	1
1.3. Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Alcances y Limitaciones.....	3
1.4.1 Alcances	3
1.4.2 Limitaciones	3
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO.....	6
2.1. Potencial eléctrico.....	4
2.2. Corriente eléctrica.....	11
2.3. Potencia eléctrica.....	13
2.4. Energía eléctrica	18
2.5. Calidad de la energía eléctrica.....	27
2.6. Armónicos	39
2.7. Analizadores de redes.....	49

CAPÍTULO III: DESCRIPCION Y ELABORACION DE LAS GUIAS DE PRÁCTICA PARA EL MÓDULO TABLERO ANALIZADOR DE REDES PARA LA MEDICION DE PARAMETROS ELECTRICOS Y DE CALIDAD DE LA ENERGIA ELECTRICA	60
3.1. Datos técnicos del módulo tablero analizador de redes.....	60
3.2. Descripción del módulo tablero analizador de redes para la medición de parámetros eléctricos y de calidad de la energía eléctrica.....	62
3.3. Objetivos de las prácticas de laboratorio.....	63
3.4. Tipo de prácticas recomendables.....	63
3.5. Aparatos adicionales que debe poseer el laboratorio de mediciones eléctricas.....	63
3.6. Precisión de los aparatos a utilizar	63
3.7. Precauciones en las prácticas.....	64
3.8. Conocimiento previo de la práctica a realizar.	64
3.9. Alimentación del circuito, manipulación y lectura de los valores.....	64
3.10. Guías de prácticas de laboratorio.....	67
Práctica de laboratorio 1	66
Práctica de laboratorio 2	75
Práctica de laboratorio 3	86
CONCLUSIONES	91
RECOMENDACIONES	92
BIBLIOGRAFÍA	93
ANEXOS	94

PRESENTACIÓN

El presente trabajo de investigación consta del diseño e implementación de un tablero analizador de redes para la medición de parámetros eléctricos y de calidad de la energía eléctrica, el mismo que será instalado en el Programa Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica de la Universidad Católica de Santa María (U.C.S.M.), específicamente en el Laboratorio de Electricidad y Maquinas Eléctricas, el mismo que tiene como objetivo principal servir como Módulo de medición para la enseñanza impartida a los alumnos de pregrado, utilizando las guías de prácticas preparadas para las asignaturas que tienen prácticas de laboratorio y como ejemplo forman parte del presente trabajo.

Además la implementación de este módulo fue concebido con la idea de comprobar y reforzar los conocimientos adquiridos en los cursos teóricos en el área de las Medidas Eléctricas y familiarizar al alumno en la comprensión y conceptualización de los conceptos básicos referente a la medición de parámetros eléctricos y de calidad de la energía eléctrica.

RESUMEN

En el capítulo primero se hace referencia a las generalidades del trabajo de investigación donde principalmente se hace hincapié a los objetivos y limitaciones que tiene el trabajo de investigación.

En el capítulo segundo se desarrolla el fundamento teórico de las magnitudes eléctricas como son el potencial eléctrico, la corriente eléctrica, la potencia eléctrica, el factor de potencia, la aplicación de los transformadores a las mediciones eléctricas y la teoría básica de los analizadores de redes eléctricas.

En el capítulo tercero se muestran las principales características del módulo seguido de las recomendaciones para llevar a cabo unas buenas prácticas de laboratorio, de tal forma que los errores que se cometan en su desarrollo sean los mínimos.

Luego como ejemplos de aplicación se presentan las guías de prácticas de laboratorio, en una primera parte para el ensayo de las mediciones eléctricas en circuitos eléctricos monofásicos, específicamente en un motor de inducción monofásico, seguido de prácticas concernientes a los circuitos eléctricos trifásicos balanceados y desbalanceados.

Finalmente, se enuncian las conclusiones, recomendaciones y bibliografía utilizada para la elaboración del presente trabajo de investigación.

ABSTRACT

In the first chapter refers to the generalities of the research which mainly emphasizes the objectives and limitations of the research work is done.

In the second chapter the theoretical basis of electrical parameters is developed as are the electric potential , electric current , electric power , power factor , application of transformers to electrical measurements and basic theory of network analyzers electric .

In the third chapter, the main characteristics of the module followed the recommendations is to perform good laboratory practice , so that the errors committed in its development is minimized .

Guides labs are then introduced into a first portion for testing electric motors, followed by practices concerning three-phase balanced and unbalanced circuits .

Finally, conclusions , recommendations and references used to prepare this research are stated .

INTRODUCCIÓN

El perfil profesional de la formación del Ingeniero Mecánico, Mecánico Electricista e Ingeniero Mecatrónico, está en continuo cambio debido al desarrollo tecnológico, el mismo que evoluciona muy rápidamente, nuevas máquinas, nuevas tecnologías y nuevas aplicaciones exigen que la formación profesional de las carreras profesionales antes mencionadas sean las más adecuadas.

Por esta razón, es necesario incorporar en la formación de los futuros ingenieros, conceptos adecuados que flexibilicen el conocimiento de estas tecnologías en continuo desarrollo. Para cumplir con este cometido es indispensable romper con aquellos esquemas conceptuales que eran válidos cuando las mediciones eléctricas se hacían de manera analógica, y generalmente empleando métodos directos.

Conociendo la permanente necesidad de actualizar conocimientos, y la revisión periódica de las nuevas tecnologías y aplicaciones en la metrología eléctrica, es mi deseo que el material contenido en este trabajo de investigación ayude a simplificar la difícil labor del docente en el área de las medidas eléctricas, y el aún más complejo proceso de aprendizaje a los estudiantes de ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica, para esto he incluido en las guías de prácticas un número importante de ilustraciones, gráficos, diagramas y tablas para facilitar la elaboración de los informes finales de laboratorio y la comprensión de los conceptos teóricos que se imparten en los textos.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1. Título de la tesis

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO ANALIZADOR DE REDES PARA LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS Y DE CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

1.2. Descripción

a) Área de conocimiento

La aplicación del presente trabajo de investigación se encuentra en el área general de la Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatronica, específicamente en el área de la Metrología Eléctrica, y específicamente en el área de las Medidas Eléctricas.

b) Identificación del Problema y Alternativas de Solución

En la Universidad Católica de Santa María de Arequipa, y específicamente en el Programa Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica eléctrica y Mecatronica, en las diversas asignaturas se desarrollan prácticas de laboratorio en las cuales se hace necesario conocer sus parámetros de operación en los cuales se encuentran la tensión, corriente, frecuencia, factor de potencia , potencias eléctricas, energía eléctrica, además de considerar de vital importancia la realización de un análisis de los parámetros de la calidad de los servicios eléctricos (tensión, corriente, frecuencia y armónicos) en el sistema eléctrico, y así poder evaluar en qué

condiciones se encuentran actualmente y poder plantear las alternativas, con el propósito de minimizar los efectos adversos que pudieran ocasionar estos.

Para un efectivo control de todos los parámetros eléctricos, se emplean equipos de monitorización que comunican instantáneamente todos los parámetros medidos (tensión, corriente, potencias activas, reactivas y armónicas) en instalaciones de media y baja tensión generalmente con fines industriales, también existe esta posibilidad de monitorización de parámetros por medio de equipos similares denominados analizadores de redes eléctricas.

Como parte de mi trabajo, propongo guías de prácticas de laboratorio que servirán para que los alumnos puedan relacionar la teoría impartida en clases, con el comportamiento real de los parámetros eléctricos. Además queda abierta la posibilidad de desarrollar futuras aplicaciones en el área de la automatización y las máquinas eléctricas, ya que en el referido modulo se pueden realizar ensayos en forma independiente y en forma conjunta, esto debido a la versatilidad del mismo.

c) Tipo de Investigación

El tipo de investigación es experimental, puesto que lo que se pretende es llevar a la práctica, los diferentes conocimientos teóricos adquiridos en las asignaturas del área de electricidad, específicamente en el área de la metrología eléctrica y específicamente en el área de las medidas eléctricas.

1.3. Objetivos

Los objetivos que se pretenden alcanzar son los siguientes:

1.3.1. Objetivo general

- Cuantificar y analizar los parámetros de operación y de calidad de un determinado equipo, circuito o instalación eléctrica.

1.3.2. Objetivos específicos

Empleando el analizador de redes

- Determinar y analizar el parámetro de voltaje
- Determinar y analizar el parámetro de corriente.
- Determinar y analizar el parámetro de factor de potencia
- Determinar y analizar los parámetros de potencia
- Determinar y analizar los parámetros de energía
- Determinar y analizar los parámetros de calidad de la energía eléctrica (Frecuencia y armónicos) del sistema de utilización.

1.4. Alcances y limitaciones

El alcance del presente estudio es determinar mediante mediciones los parámetros eléctricos de un equipo, circuito o instalación eléctrica, además de obtener las variables básicas eléctricas del sistema de utilización de la U.C.S.M., analizarlas y determinar los criterios que nos permitan evaluar la calidad de la energía eléctrica en nuestra universidad, utilizando como parámetro comparativo la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos, dejándose el registro, almacenamiento de datos y su respectiva interpretación para futuros trabajos de investigación.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. VOLTAJE O POTENCIAL ELÉCTRICO

El potencial eléctrico o potencial electrostático en un punto, es el trabajo que debe realizar un campo electrostático para mover una carga positiva (q) desde dicho punto hasta el punto de referencia, dividido por unidad de carga de prueba. Dicho de otra forma, es el trabajo que debe realizar una fuerza externa para traer una carga positiva unitaria (q) desde el punto de referencia hasta el punto considerado en contra de la fuerza eléctrica a velocidad constante. Matemáticamente se expresa por:

$$V = \frac{W}{q}$$

El potencial eléctrico sólo se puede definir para un campo estático producido por cargas que ocupan una región finita del espacio. Para cargas en movimiento debe recurrirse a los potenciales de Liénard-Wiechert para representar un campo electromagnético que además incorpore el efecto de retardo, ya que las perturbaciones del campo eléctrico no se pueden propagar más rápido que la velocidad de la luz. Si se considera que las cargas están fuera de dicho campo, la carga no cuenta con energía y el potencial eléctrico equivale al trabajo necesario para llevar la carga desde el exterior del campo hasta el punto considerado. La unidad del Sistema Internacional es el voltio (V). Todos los puntos de un campo eléctrico que tienen el mismo potencial forman una superficie equipotencial. Una forma alternativa de ver al potencial eléctrico es que a diferencia de la

energía potencial eléctrica o electrostática, él caracteriza sólo una región del espacio sin tomar en cuenta la carga que se coloca allí.

a. Trabajo eléctrico y energía potencial eléctrica

Una carga eléctrica puntual (q) en presencia de un campo eléctrico $\vec{E}$. La carga experimentará una fuerza eléctrica:

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

Esta fuerza realizará un trabajo para trasladar la carga de un punto **A** a otro **B**, de tal forma que para producir un pequeño desplazamiento $d\vec{l}$ la fuerza eléctrica hará un trabajo diferencial dW expresado como:

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{l} = q\vec{E} \cdot d\vec{l}$$

Por lo tanto, integrando la expresión se obtiene el trabajo total realizado por el campo eléctrico:

$$W = \int_A^B q\vec{E} \cdot d\vec{l}$$

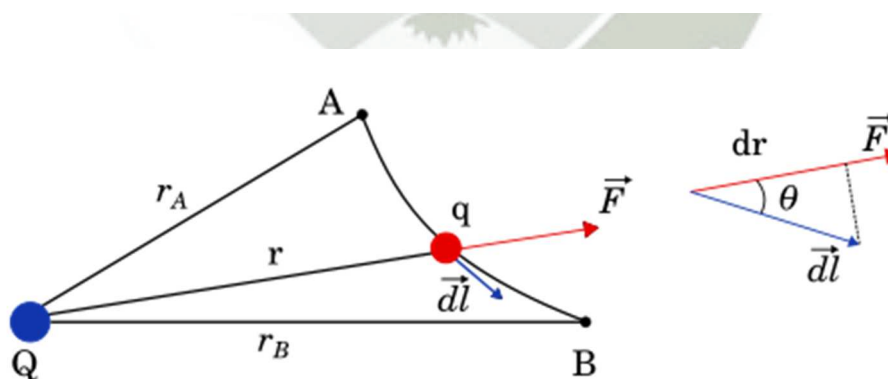


Fig. N° 1: Superficie equipotencial

Un caso particular de la fórmula anterior, es el de un campo eléctrico definido creado por una carga puntual estática Q . Sea una carga puntual q que recorre una determinada trayectoria **A - B** en las inmediaciones de una carga Q tal y como muestra la figura 1. Siendo dr el desplazamiento infinitesimal de la carga en la dirección radial, el trabajo diferencial dW se puede expresar así:

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{l} = \int F dl \cos(\theta) = \int F dr$$

Para calcular el trabajo total, se integra entre la posición inicial A, distante r_A de la carga Q y la posición final B, distante r_B de la carga Q :

$$W = \int_{r_A}^{r_B} F dr = \int_{r_A}^{r_B} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r^2} dr = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right)$$

De la expresión se concluye que el trabajo W no depende de la trayectoria seguida por la partícula, sólo depende de la posición inicial y final, lo cual implica que la fuerza eléctrica $\vec{F}$ es una fuerza conservativa. Por lo tanto se puede definir una energía potencial que permite calcular el trabajo más fácilmente:

$$E_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r}$$

El trabajo realizado por la fuerza eléctrica para desplazar una partícula entre **A** y **B** será:

$$W = -\Delta E_p = E_{pA} - E_{pB}$$

Usualmente, el nivel cero de energía potencial se suele establecer en el infinito,

es decir, si y sólo si $r = \infty \rightarrow E_p = 0$ (esto tiene que ver con la elección de la constante de integración en la fórmula del potencial).

Considérese una carga de prueba positiva q_0 en presencia de un campo eléctrico y que se traslada desde el punto **A** al punto **B** conservándose siempre en equilibrio. Si se mide el trabajo que debe hacer el agente que mueve la carga, la *diferencia de potencial eléctrico* se define como:

$$V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0}$$

El trabajo W_{AB} puede ser positivo, negativo o nulo. En estos casos el potencial eléctrico en **B** será respectivamente mayor, menor o igual que el potencial eléctrico en **A**. La unidad en el SI para la diferencia de potencial que se deduce de la ecuación anterior es **Joule/Coulomb** y se representa mediante una nueva

Aplicando esta definición a la teoría de circuitos y desde un punto de vista más intuitivo, se puede decir que el potencial eléctrico en un punto de un circuito representa la energía que posee cada unidad de carga al paso por dicho punto. Así, si dicha unidad de carga recorre un circuito constituyéndose en corriente eléctrica, ésta irá perdiendo su energía (potencial o voltaje) a medida que atraviesa los diferentes componentes del mismo. Obviamente, la energía perdida por cada unidad de carga se manifestará como trabajo realizado en dicho circuito (calentamiento en una resistencia, luz en una lámpara, movimiento en un motor, etc.). Por el contrario, esta energía perdida se recupera al paso por fuentes generadoras de tensión. Es conveniente distinguir entre potencial eléctrico en un punto (energía por unidad de carga situada en ese punto) y corriente eléctrica (número de cargas que atraviesan dicho punto por segundo).

Usualmente se escoge el punto **A** a una gran distancia (en rigor el infinito) de toda carga y el potencial eléctrico V_A a esta distancia infinita recibe arbitrariamente el valor cero. Esto permite definir *el potencial eléctrico en un punto* poniendo $V_A = 0$ y eliminando los índices:

$$V = \frac{W}{q_0}$$

siendo W el trabajo que debe hacer un agente exterior para mover la carga de prueba q_0 desde el infinito al punto en cuestión.

Obsérvese que la igualdad planteada depende de que se dé **arbitrariamente** el valor cero al potencial V_A en la posición de referencia (el infinito) el cual hubiera podido escogerse de cualquier otro valor así como también se hubiera podido seleccionar cualquier otro punto de referencia.

También es de hacer notar que según la expresión que define el potencial eléctrico en un punto, el potencial en un punto cercano a una carga positiva aislada es positivo porque debe hacerse trabajo positivo mediante un agente exterior para llevar al punto una carga de prueba (positiva) desde el infinito. Similarmente, el potencial cerca de una carga negativa aislada es negativo porque un agente exterior debe ejercer una fuerza (trabajo negativo en este caso) para sostener a la carga de prueba (positiva) cuando esta (la carga positiva) viene desde el infinito.

Tanto W_{AB} como $V_B - V_A$ son independientes de la trayectoria que se siga al mover la carga de prueba desde el punto **A** hasta el punto **B**. Si no fuera así, el punto **B** no tendría un potencial eléctrico único con respecto al punto **A** y el concepto de potencial sería de utilidad restringida.

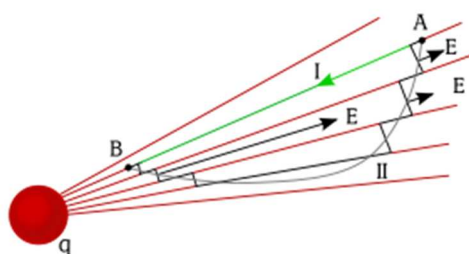


Fig. N° 2: Una carga de prueba se mueve desde A hasta B en el campo de carga q siguiendo una de dos trayectorias. Las flechas muestran a E en tres puntos de la trayectoria II

Es posible demostrar que las diferencias de potencial son independientes de la trayectoria para el caso especial representado en la figura. Para mayor simplicidad se han escogido los puntos **A** y **B** en una recta radial.

Una carga de prueba puede trasladarse desde **A** hacia **B** siguiendo la trayectoria I sobre una recta radial o la trayectoria II completamente arbitraria.

La trayectoria II puede considerarse equivalente a una trayectoria quebrada formada por secciones de arco y secciones radiales alternadas. Puesto que estas secciones se pueden hacer tan pequeñas como se desee, la trayectoria quebrada puede aproximarse a la trayectoria II tanto como se quiera. En la trayectoria II el agente externo hace trabajo solamente *a lo largo de las secciones radiales*, porque a lo largo de los arcos, la fuerza $\vec{F}$ y el corrimiento $d\vec{l}$ son perpendiculares y en tales casos $\vec{F} \cdot d\vec{l}$ es nulo. La suma del trabajo hecho en los segmentos radiales que constituyen la trayectoria II es el mismo que el trabajo efectuado en la trayectoria I, porque cada trayectoria está compuesta del mismo conjunto de segmentos radiales. Como la trayectoria II es arbitraria, se ha demostrado que el trabajo realizado es el mismo para todas las trayectorias que unen **A** con **B**.

Aun cuando esta prueba sólo es válida para el caso especial ilustrado en la figura, la diferencia de potencial es independiente de la trayectoria para dos puntos cualesquiera en cualquier campo eléctrico. Se desprende de ello el carácter conservativo de la interacción electrostática el cual está asociado a la naturaleza central de las fuerzas electrostáticas.

Para un par de placas paralelas en las cuales se cumple que $V = Ed$, donde d es la distancia entre las placas paralelas y E es el campo eléctrico constante en la región entre las placas.

LA CORRIENTE ELÉCTRICA O INTENSIDAD ELÉCTRICA

Viene a ser el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo que recorre un material. Se debe al movimiento de las cargas (normalmente electrones) en el

interior del material. En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en C/s (culombios sobre segundo), unidad que se denomina amperio. Una corriente eléctrica, puesto que se trata de un movimiento de cargas, produce un campo magnético, un fenómeno que puede aprovecharse en el electroimán.

El instrumento usado para medir la intensidad de la corriente eléctrica es el galvanómetro que, calibrado en amperios, se llama amperímetro, colocado en serie con el conductor cuya intensidad se desea medir.

Históricamente, la corriente eléctrica se definió como un flujo de cargas positivas y se fijó el sentido convencional de circulación de la corriente, como un flujo de cargas desde el polo positivo al negativo. Sin embargo posteriormente se observó, gracias al efecto Hall, que en los metales los portadores de carga son negativos, electrones, los cuales fluyen en sentido contrario al convencional. En conclusión, el sentido convencional y el real son ciertos en tanto que los electrones como protones fluyen desde el polo negativo hasta llegar al positivo (sentido real), cosa que no contradice que dicho movimiento se inicia al lado del polo positivo donde el primer electrón se ve atraído por dicho polo creando un hueco para ser cubierto por otro electrón del siguiente átomo y así sucesivamente hasta llegar al polo negativo (sentido convencional) es decir la corriente eléctrica es el paso de electrones desde el polo negativo al positivo comenzando dicha progresión en el polo positivo.

En el siglo XVIII cuando se hicieron los primeros experimentos con electricidad, sólo se disponía de carga eléctrica generada por frotamiento (Electricidad Estática) o por inducción. Se logró (por primera vez, en 1800) tener un movimiento constante de carga cuando el físico italiano Alessandro Volta inventó la primera pila eléctrica.

2.2. CONDUCCIÓN ELÉCTRICA

Un material conductor posee gran cantidad de electrones libres, por lo que es posible el paso de la electricidad a través del mismo. Los electrones libres,

aunque existen en el material, no se puede decir que pertenezcan a algún átomo determinado.

Una corriente de electricidad existe en un lugar cuando una carga neta se transporta desde ese lugar a otro en dicha región. Supongamos que la carga se mueve a través de un alambre. Si la carga q se transporta a través de una sección transversal dada del alambre, en un tiempo t , entonces la intensidad de corriente I , a través del alambre es:

$$I = \frac{q}{t}$$

Aquí q está dada en culombios, t en segundos, e I en amperios.

Por lo cual, la equivalencia es:

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

Una característica de los electrones libres es que, incluso sin aplicarles un campo eléctrico desde afuera, se mueven a través del objeto de forma aleatoria debido a la energía calórica. En el caso de que no hayan aplicado ningún campo eléctrico, cumplen con la regla de que la media de estos movimientos aleatorios dentro del objeto es igual a cero. Esto es: dado un plano irreal trazado a través del objeto, si sumamos las cargas (electrones) que atraviesan dicho plano en un sentido, y sustraemos las cargas que lo recorren en sentido inverso, estas cantidades se anulan.

Cuando se aplica una fuente de tensión externa (como, por ejemplo, una batería) a los extremos de un material conductor, se está aplicando un campo eléctrico sobre los electrones libres. Este campo provoca el movimiento de los mismos en dirección al terminal positivo del material (los electrones son atraídos [tomados] por el terminal positivo y rechazados [inyectados] por el negativo). Es decir, los electrones libres son los portadores de la corriente eléctrica en los materiales conductores.

Si la intensidad es constante en el tiempo, se dice que la corriente es continua; en caso contrario, se llama variable. Si no se produce almacenamiento ni disminución de carga en ningún punto del conductor, la corriente es estacionaria.

Para obtener una corriente de 1 amperio, es necesario que 1 culombio de carga eléctrica por segundo esté atravesando un plano imaginario trazado en el material conductor.

El valor I de la intensidad instantánea será:

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

Si la intensidad permanece constante, en cuyo caso se denota I_m , utilizando incrementos finitos de tiempo se puede definir como:

$$I_m = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

Si la intensidad es variable la fórmula anterior da el valor medio de la intensidad en el intervalo de tiempo considerado.

Según la ley de Ohm, la intensidad de la corriente es igual a la tensión (o voltaje) dividido por la resistencia que oponen los cuerpos:

$$I = \frac{V}{R}$$

Haciendo referencia a la potencia, la intensidad equivale a la raíz cuadrada de la potencia dividida por la resistencia. En un circuito que contenga varios generadores y receptores, la intensidad es igual a:

$$I = \frac{\sum \mathcal{E} - \sum \mathcal{E}'}{\sum R + \sum r + \sum r'}$$

donde $\sum \mathcal{E}$ es el sumatorio de las fuerzas electromotrices del circuito, $\sum \mathcal{E}'$ es la suma de todas la fuerzas contra electromotrices, $\sum R$ es la resistencia equivalente del circuito, $\sum r$ es la suma de las resistencias internas de los generadores y $\sum r'$ es el sumatorio de las resistencias internas de los receptores.

Intensidad de corriente en un elemento de volumen

$$dI = n \cdot q \cdot dS \cdot v,$$

Donde encontramos n como el número de cargas portadoras por unidad de volumen dV ; q refiriéndose a la carga del portador; v la velocidad del portador y finalmente dS como el área de la sección del elemento de volumen de conductor.

2.3. POTENCIA ELÉCTRICA EN CORRIENTE ALTERNA

a. Potencia activa (P)

Es la potencia que representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo, la origina la componente de la corriente que está en fase con la tensión. Los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etc. Esta potencia es, por lo tanto, la realmente consumida por los circuitos. Cuando se habla de demanda eléctrica, es esta potencia la que se utiliza para determinar dicha demanda.

Se designa con la letra P . De acuerdo con su expresión, la ley de Ohm y el triángulo de impedancias:

Donde:

$$P = I \cdot V \cdot \cos \varphi = I \cdot Z \cdot I \cos \varphi = I^2 \cdot Z \cdot \cos \varphi = I^2 \cdot R$$

Z = Impedancia (Ω).

Sus unidades son kW ó MW. Resultado que indica que la potencia activa es debido a los elementos resistivos.

La potencia activa P , por originarse por la componente resistiva, es un vector a cero grados, como se puede apreciar en la figura 4.



Fig. N° 3. Representa la potencia activa (P) en fase con la tensión (V).

b. Potencia reactiva (Q)

Esta potencia no tiene tampoco el carácter realmente de ser consumida y sólo aparecerá cuando existan bobinas o condensadores en los circuitos que generan campos magnéticos y campos eléctricos. La origina la componente de la corriente que está a 90° con respecto a la tensión, en adelante o en atraso. La potencia reactiva tiene un valor medio nulo, por lo que no produce trabajo útil y se designa con la letra Q.

A partir de su expresión,

$$Q = I \cdot V \cdot \sin \varphi = I \cdot Z \cdot I \sin \varphi = I^2 \cdot Z \cdot \sin \varphi = S \cdot \sin \varphi$$

Donde:

S = Potencia aparente o total (kVA o MVA).

Sus unidades son kVAr o MVar. Lo que reafirma en que esta potencia es debida únicamente a los elementos reactivos, los cuales pueden ser del tipo inductivo QL o capacitivo QC, como se observa en la fig. N° 4.

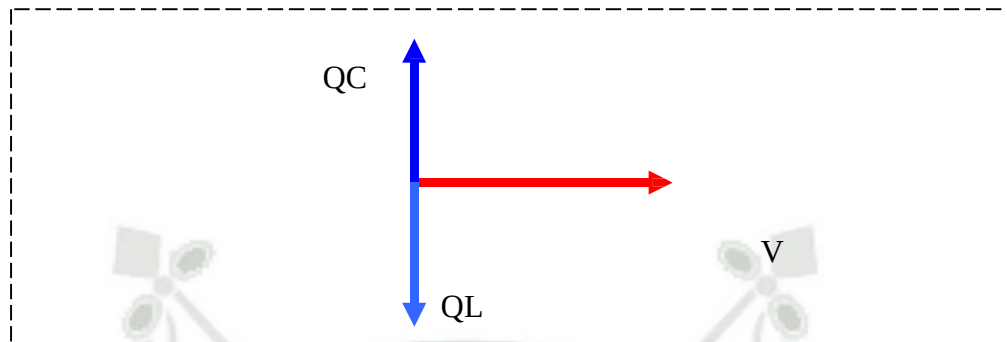


Fig. N° 4. Potencia reactiva en adelanto (QC) o atraso (QL) con respecto a la tensión.

c. Potencia aparente (S)

La potencia aparente (también llamada compleja) de un circuito eléctrico de corriente alterna es la suma, por ser la potencia total es el vector resultante de sumar la potencia activa y la potencia reactiva, dicho diagrama fasorial se muestra en la fig. N° 5.

Esta potencia no es la realmente consumida o útil, salvo cuando el factor de potencia es la unidad ($\cos \varphi = 1$) ya que entonces la potencia activa es igual a

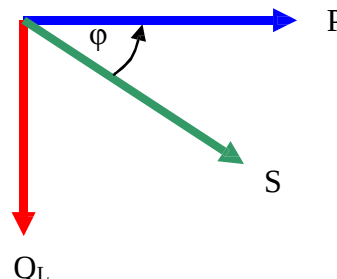


Fig. N° 5. Vector resultante (S) de sumar la potencia activa y la potencia reactiva.

la potencia aparente, esta potencia también es indicativa de que en la red de alimentación de un circuito no sólo ha de satisfacer la energía consumida por los elementos resistivos, sino que también ha de contarse con la que van a "almacenar" bobinas y condensadores. Se la designa con la letra S.

La ecuación para calcular la potencia aparente es:

$$S = I \cdot V$$

Sus unidades son kVA o MVA.

b. El triángulo de potencia

El llamado triángulo de potencias es la mejor forma de observar y comprender de forma gráfica qué es el factor de potencia ó $\cos \phi$ y su estrecha relación con los restantes tipos de potencia presentes en un circuito eléctrico de corriente alterna, además de observar la interacción de una potencia con respecto a las otras dos ya que al modificar una potencia repercutiría en la modificación de las otras dos potencias.

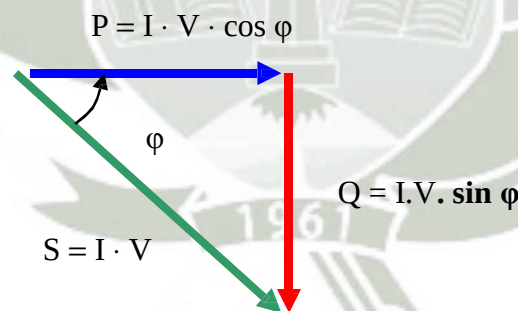


Fig. N° 6. Triángulo de potencia

Como se puede observar en el triángulo de la fig. N° 6, el factor de potencia ó $\cos \phi$ representa el valor del ángulo que se forma al representar gráficamente la potencia activa

(P) y la potencia aparente (S), es decir, la relación existente entre la potencia real de trabajo y la potencia total consumida por la carga o el consumidor conectado a un circuito eléctrico de corriente alterna. Esta relación se puede representar también, de forma matemática, por medio de la siguiente ecuación:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

De aquí se define también que:

Dónde:

$$S = P + jQ$$

jQ = Potencia reactiva inductiva (VAr).

El resultado de esta operación será 1 o un número fraccionario menor que 1 en dependencia del factor de potencia que le corresponde a cada equipo o dispositivo en específico. Ese número responde al valor de la función trigonométrica “coseno”, equivalente a los grados del ángulo que se forma entre las potencias (P) y (S).

Si el número que se obtiene como resultado de la operación matemática es un decimal menor que 1 (como por ejemplo 0,95), dicho número representará el factor de potencia correspondiente al desfase en grados existente entre la intensidad de la corriente eléctrica y la tensión en el circuito de corriente alterna.

Lo ideal sería que el resultado fuera siempre igual a 1, pues así habría una mejor optimización y aprovechamiento del consumo de energía eléctrica, o sea, habría menos pérdida de energía no aprovechada y una mayor eficiencia de trabajo en los generadores que producen esa energía.

En los circuitos de resistencia activa, el factor de potencia siempre es 1, porque como ya vimos anteriormente en ese caso no existe desfase entre la intensidad de la corriente y la tensión.

Pero en los circuitos inductivos, como ocurre con los motores, transformadores de tensión y la mayoría de los dispositivos o aparatos que trabajan con algún tipo de enrollado o bobina, el valor del factor de potencia se muestra con una fracción decimal menor que 1 (como por ejemplo 0,8), lo que indica el retraso o desfase que produce la carga inductiva en la senoide correspondiente a la intensidad de la corriente con respecto a la senoide de la tensión.

2.4. ENERGÍA ELÉCTRICA

a. Energía eléctrica activa

Es por toda conocida la definición de potencia como la energía consumida o producida por unidad de tiempo.

$$Potencia = \frac{Energia}{tiempo} = \frac{W}{t}$$

Para el caso que nos ocupa, nos interesa medir el consumo de energía, por lo que la expresión anterior quedará:

$$W = P \cdot t$$

Es decir, nos bastará con conocer la potencia que una instalación consume en cada instante y durante cuánto tiempo la consume. Puesto que la potencia activa la medimos en vatios y el tiempo en horas, tendremos $W \cdot h$ como unidad de consumo de energía eléctrica o en su defecto, si las cantidades son elevadas utilizaremos los múltiplos ($1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ Wh}$).

b. Energía eléctrica reactiva

Todas las máquinas eléctricas (motores, transformadores...) se alimentan, en corriente alterna, para dos formas de consumo: el que transforman en potencia activa, con las correspondientes pérdidas por efecto Joule (calentamiento), y el correspondiente a la creación de los campos magnéticos, que denominamos reactiva.

La energía activa corresponde a la potencia activa dimensionada en W, y se transforma íntegramente en energía mecánica (trabajo) y en calor (pérdidas térmicas). Los receptores que absorben únicamente este tipo de energía se denominan resistivos.

La energía reactiva corresponde a la energía necesaria para crear los campos magnéticos que necesitan ciertos receptores para su funcionamiento (motores, transformadores). Esta energía es suministrada por la red de alimentación o por los condensadores instalados para dicha función.

En la práctica, los elementos reactivos de las corrientes de carga son inductivos, mientras que las impedancias de las líneas de transporte y distribución son capacitivos.

La combinación de una corriente inductiva que pasa a través de una reactancia inductiva produce las peores condiciones posibles de caídas de tensión (es decir, en oposición de fase directa con la tensión del sistema).

Debido a:

- Pérdidas eléctricas en los cables.
- Caídas de tensión.

Las compañías eléctricas intentan reducir, en sus redes de transporte, en la medida de lo posible, la corriente reactiva. Las corrientes capacitivas

tienen el efecto inverso en los niveles de tensión y producen aumentos de tensión. La potencia (kVAr) asociada con la energía activa se representa normalmente mediante la letra P .

La potencia reactiva (kvar) se representa mediante Q .

La potencia inductivamente reactiva suele ser positiva de manera convencional (+ Q) mientras que la potencia capacitivamente reactiva aparece como una cantidad negativa (– Q).

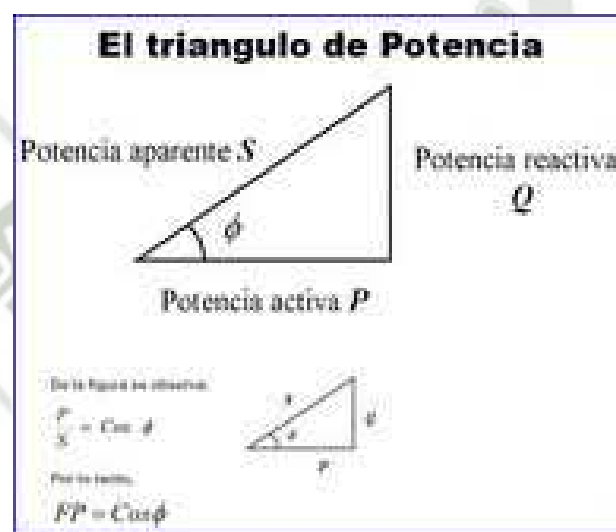


Fig. N° 8: Triangulo de potencias

S representa los kVAr de potencia aparente. La energía aparente es la resultante de dos energías vectoriales, la activa y la reactiva.

Equipos que requieren energía reactiva

Todas las instalaciones y equipos de corriente alterna que tengan dispositivos electromagnéticos, o devanados acoplados magnéticamente, necesitan corriente reactiva para crear flujos magnéticos.

Los elementos más comunes de esta clase son los transformadores inductancias, motores y lámparas de descarga (sus balastos).

La proporción de potencia reactiva (kVAr) con respecto a la potencia activa (kW), variará en función del tipo de receptor; a modo de aproximación se puede decir que:

- Un 65-75% para motores asíncronos.
- Un 5-10% para transformadores.

FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia de una carga, que puede ser un elemento único que consume energía o varios elementos (por ejemplo, toda una instalación), lo da la relación de P/S, es decir, kW divididos por kVA en un momento determinado.

El valor de un factor de potencia está comprendido entre 0 y 1.

Si las corrientes y tensiones son señales perfectamente sinusoidales, el factor de potencia es igual a $\cos \varphi$.

Un factor de potencia cercano a la unidad significa que la energía reactiva es pequeña comparada con la energía activa, mientras que un valor de factor de potencia bajo indica la condición opuesta.

Tabla N° 1: Valores del factor de potencia medios para las cargas más comunes

Tipo de carga		$\cos \varphi$	$\tan \varphi$
■ Motor de inducción común cargado al	0%	0,17	5,80
	25%	0,55	1,52
	50%	0,73	0,94
	75%	0,80	0,75

	100%	0,85	0,62
■ Lámparas incandescentes	1,0	0	
■ Lámparas fluorescentes (no compensadas)	0,5	1,73	
■ Lámparas fluorescentes (compensadas)	0,93	0,39	
■ Lámparas de descarga	de 0,4 a 0,6	de 2,29 a 1,33	
■ Hornos que utilizan elementos de resistencia	1,0	0	
■ Hornos de calentamiento por inducción (compensados)	0,85	0,62	
■ Hornos de calentamiento de tipo dieléctrico	0,85	0,62	
■ Máquinas de soldar de tipo resistencia	de 0,8 a 0,9	de 0,75 a 0,48	
■ Conjunto monofásico fijo de soldadura por arco	0,5	1,73	
■ Conjunto generado por motor de soldadura por arco	de 0,7 a 0,9	de 1,02 a 0,48	
■ Conjunto rectificador transformador de soldadura por arco	de 0,7 a 0,8	de 1,02 a 0,75	
■ Horno de arco	0,8	0,75	

Valores de $\cos \phi$ y $\tan \phi$ para las cargas más comunes.

c. Mejoramiento o compensación del factor de potencia

La instalación de condensadores de potencia permite al consumidor reducir la factura eléctrica al mantener el nivel de consumo de potencia reactiva por debajo del valor penalizable, según el sistema tarifario contratado.

Generalmente, la energía reactiva se factura en función del criterio $\tan \varphi$ o $\cos \varphi$, tal como se ha observado con anterioridad.

Para el mercado regulado (a tarifa), la penalización, por consumo de energía reactiva, es a través de un coeficiente de recargo que se aplica sobre el importe en nuevos soles del término de potencia (potencia contratada) y sobre el término de energía (energía consumida).

Frente a las ventajas económicas de una facturación reducida, el consumidor debe tener en cuenta el costo de la compra, la instalación y el mantenimiento del equipo de compensación.

Un factor de potencia alto permite la optimización de los diferentes componentes de una instalación. Se evita el sobredimensionamiento de algunos equipos; pero sin embargo para lograr los mejores resultados, a nivel técnico, la corrección debe llevarse a cabo lo más cerca posible de los receptores demandantes de reactiva.

Reducción de la sección de los cables

Las pérdidas en los cables son proporcionales a la corriente al cuadrado y se cuantifican en kWh. La reducción de la corriente total en un conductor en un 10%, por ejemplo, reducirá las pérdidas en casi un 20%.

Reducción de las caídas de tensión

Los condensadores de potencia reducen o incluso eliminan por completo la corriente reactiva en los conductores aguas arriba del equipo de compensación, por lo que se reducen o eliminan las caídas de tensión.

Aumento de la potencia disponible

Al mejorar el factor de potencia de la instalación, se reduce la corriente que pasa a través del transformador, lo que permite optimizar el transformador y añadir más receptores.

En la práctica, puede resultar menos costoso mejorar el factor de potencia, instalando equipos de compensación, que sustituir el transformador.

Equipos que se utilizan para la compensación

a) Compensación en baja tensión

En baja tensión, la compensación de la energía reactiva se puede realizar con:

- Condensadores fijos.
- Baterías automáticas de condensadores.

En esta configuración se utilizan uno o varios condensadores para obtener la potencia reactiva necesaria.

La conexión se puede realizar:

- Por interruptor de corte en carga o interruptor automático.
- Por contactor.
- Directamente a bornes del receptor a compensar y maniobrado conjuntamente.

La utilización de esta configuración se suele aplicar en:

- En bornes de los dispositivos inductivos (motores y transformadores).

- En los casos en los que el nivel de carga es razonablemente constante, y no hay riesgo de sobrecompensación.
- Se podrá realizar la compensación de la energía reactiva pero en ningún momento la energía absorbida por la red podrá ser capacitiva.
- Se podrá realizar la compensación fija para uno o varios receptores siempre que funcionen por medio de un único interruptor, es decir simultáneamente.
- Para compensar la totalidad de la instalación se deberá instalar un equipo automático.

En la práctica se realiza la compensación fija de algunos motores y de transformadores y una compensación automática para la compensación global en el ingreso de la instalación.

b) Baterías de condensadores automáticos

Este tipo de equipos proporciona a la instalación la reactiva necesaria dentro de unos límites cercanos a un nivel seleccionado del factor de potencia. Generalmente se instalan en los puntos de una instalación en los que las variaciones de potencia activa o reactiva son importantes, por ejemplo:

- En el ingreso de la instalación
- En la salida de un cuadro secundario muy cargado.

c) Principios y motivos del uso de la compensación automática

Un equipo de compensación automática debe ser capaz de adecuarse a las variaciones de potencia reactiva de la instalación para conseguir mantener el $\cos \varphi$ objetivo de la instalación.

Un equipo de compensación automática está constituido por 3 elementos principales:

El regulador: cuya función es medir el $\cos \phi$ de la instalación y dar las órdenes a los contactores para intentar aproximarse lo más posible al $\cos \phi$ objetivo, conectando los distintos escalones de potencia reactiva.

Los contactores: son los elementos encargados de conectar los distintos condensadores que configuran la batería. El número de escalones que es posible disponer en un equipo de compensación automática depende de las salidas que tenga el regulador.

Los condensadores: son los elementos que aportan la energía reactiva a la instalación.

Además para el correcto funcionamiento de un equipo de compensación automática es necesaria la toma de datos de la instalación; son los elementos externos que le permiten actuar correctamente al equipo:

- La lectura de intensidad: se debe conectar un transformador de intensidad que lea el consumo de la totalidad de la instalación
- La lectura de tensión: normalmente se incorpora en la propia batería de manera que al efectuar la conexión de potencia de la misma ya se obtiene este valor.

Esta información de la instalación (tensión e intensidad) le permite al regulador efectuar el cálculo del $\cos \phi$ existente en la instalación en todo momento y le capacita para tomar la decisión de introducir o sacar escalones de potencia reactiva.

La corrección estática es particularmente adecuada para algunas instalaciones que utilizan equipos con ciclos rápidos o sensibles a las sobretensiones de transitorios.

Las ventajas de los contactores estáticos son:

- Respuesta inmediata a todas las fluctuaciones del factor de potencia (tiempo de respuesta de 2 s o 40 ms según la opción del regulador).
- Número ilimitado de maniobras.
- Eliminación del fenómeno de transitorios en la red durante la conexión del condensador.
- Funcionamiento totalmente silencioso

2.5. CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

a. Aspectos generales:

La calidad de los servicios eléctricos, toman en cuenta el rango de variación sobre el voltaje nominal a nivel individual, de acuerdo con el nivel de tensión de la línea respectiva; normas de continuidad de servicio en términos de duración y frecuencia de las interrupciones, también a nivel individual, y de acuerdo con el nivel de tensión de la línea respectiva.

Dichas Normas básicamente tienen por finalidad establecer los niveles mínimos de calidad de los servicios eléctricos, incluido el alumbrado público, y las obligaciones de las empresas de electricidad y los clientes, aunque dichos intervalos de tolerancia o valores mínimos permitidos varían de país en país, pero en todos se evalúan dichos parámetros de calidad que aseguren una energía eléctrica de calidad en todos los niveles de tensión y energía.

b. Normativa nacional

La presente norma es de aplicación imperativa para el suministro de servicios relacionados con la generación, transmisión y distribución de la electricidad sujetos a regulación de precios y de aplicación supletoria de la voluntad de las partes para aquel suministro que, conforme a Ley, pertenece al régimen de libertad de precios. En este último caso, las partes relevantes de la Norma que no estén contempladas expresamente en contratos de suministro de servicios serán aplicadas supletoriamente.

c. Objetivo

- El objetivo de la norma es establecer los niveles mínimos de calidad de los servicios eléctricos, incluido el alumbrado público, y las obligaciones de las empresas de electricidad y los clientes que operan bajo el régimen de la Ley de Concesiones Eléctricas, Decreto Ley N° 25844.
- Norma el desarrollo de las actividades de generación, transmisión, distribución y Comercialización de la energía eléctrica.
- Establece los niveles mínimos de calidad de los servicios eléctricos incluidos el alumbrado público y las obligaciones de las empresas de electricidad y los clientes.

Esta norma contempla especialmente los ámbitos de:

a) Calidad de Producto:**Tensión**

Indicador de Calidad.- El indicador de calidad para evaluar la tensión de entrega, en un intervalo de medición (k), de quince minutos de duración, es la diferencia (ΔV_k) entre la media de los valores eficaces (RMS) instantáneos medidos en el punto de entrega (V_k) y el valor de la tensión Nominal (V_N) del

mismo punto. Este indicador está expresado como un porcentaje de la tensión nominal del punto:

TOLERANCIAS: $\pm 5.0\%$ de tensión Nominal.

$\pm 7.5\%$ en servicios de BT Urbano - Rural y/o Rurales

Se compensa si excede 5% del periodo de medición.

Frecuencia:

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, en cada caso:

- si las variaciones Sostenidas de Frecuencia se encuentran fuera del rango de tolerancias por un tiempo acumulado superior al cinco por ciento (5%) del Período de Medición;
- si en un Período de Medición se produce más de una Variación Súbita excediendo las tolerancias;
- si en un Período de Medición se producen violaciones a los límites establecidos para la Integral de Variaciones diarias de Frecuencia.

Perturbaciones

La Autoridad propicia el control de todo tipo de perturbaciones. Inicialmente, sin embargo, sólo se controla el Flícker y las Tensiones Armónicas.

El Flícker y las Armónicas se miden en el voltaje de Puntos de Acoplamiento Común (PAC) del sistema, de puntos indicados explícitamente en la Norma o de otros que especifique la Autoridad en su oportunidad.

Indicadores De Calidad.- Se consideran los siguientes indicadores de calidad:

- a) Para FLÍCKER: El Índice de Severidad por Flícker de corta duración (Pst) definido de acuerdo a las Normas IEC.
- b) Para ARMÓNICAS: Las Tensiones Armónicas Individuales (V_i) y el Factor de Distorsión Total por Armónicas (THD).

Estos indicadores (Pst, Vi, THD) se evalúan separadamente para cada Intervalo de Medición de diez (10) minutos durante el Período de Medición de perturbaciones, que como mínimo será de siete (7) días calendario continuos.

Tolerancias:

Flícker.- El Índice de Severidad por Flícker (Pst) no debe superar la unidad ($Pst \leq 1$) en Muy Alta, Alta, Media ni Baja Tensión. Se considera el límite: $Pst' = 1$ como el umbral de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de población.

Tensiones Armónicas.- Los valores eficaces (RMS) de las Tensiones Armónicas Individuales (Vi) y los THD, expresado como porcentaje de la tensión nominal del punto de medición respectivo, no deben superar los valores límite (Vi' y THD') indicados en la siguiente tabla. Para efectos de esta Norma, se consideran las armónicas comprendidas entre la dos (2º) y la cuarenta (40º), ambas inclusive.

Tabla N° 02: Valores límite establecidos para Vi y THD

ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA ó THD	TOLERANCIA Vi' ó THD' (% con respecto a la Tensión Nominal del punto de medición)	
	Para tensiones mayores a: 60 kV	Para tensiones menores o iguales a: 60kV
(Armónicas Impares no múltiplos de 3) 5	2.0	6.0
7	2.0	5.0

11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
mayores de 25	$0.1 + 2.5/n$	$0.2 + 2.5/n$
(Armónicas impares múltiplos de 3)		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
mayores de 21	0.2	0.2
(Pares)		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
mayores de 12	0.2	0.5
THD	3	5

Fuente: Norma Técnica de Calidad de los Servicios de Electricidad NTCSE

El Factor de Distorsión Total por Armónicas (THD) está definido como:

$$\text{THD} = (\sqrt{\sum_{i=2...40} (V_i^2 / V_N^2)}) \bullet 100\%$$

Donde:

V_i .- Es el Valor eficaz (RMS) de la tensión armónica “i” (para $i=2 \dots 40$) expresada en Voltios.

V_N .- Es la tensión nominal del punto de medición expresada en Voltios.

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si los indicadores de las perturbaciones medidas se encuentran fuera del rango de tolerancias establecidas en este numeral, por un tiempo superior al 5% del Período de Medición. Cada tipo de perturbación se considera por separado.

b) Calidad de Suministro:

La Calidad de Suministro se expresa en función de la continuidad del servicio eléctrico a los Clientes, es decir, de acuerdo a las interrupciones del servicio.

Para evaluar la Calidad de Suministro, se toman en cuenta indicadores que miden el número de interrupciones del servicio eléctrico, la duración de las mismas y la energía no suministrada a consecuencia de ellas. El Período de Control de interrupciones es de seis (6) meses calendario de duración.

Se considera como interrupción a toda falta de suministro eléctrico en un punto de entrega. Las interrupciones pueden ser causadas, entre otras razones, por salidas de equipos de las instalaciones del Suministrador u otras instalaciones que lo alimentan, y que se producen por mantenimiento, por maniobras, por ampliaciones, etc., o aleatoriamente por mal funcionamiento o fallas; lo que incluye, consecuentemente,

aquellas que hayan sido programadas oportunamente. Para efectos de la Norma, no se consideran las interrupciones totales de suministro cuya duración es menor de tres (3) minutos ni las relacionadas con casos de fuerza mayor debidamente comprobados y calificados como tales por la Autoridad.

c) Calidad de Servicio Comercial:

La Calidad del Servicio Comercial se evalúa sobre tres (3) sub-aspectos, los mismos que sólo son de aplicación en las actividades de distribución de la energía eléctrica:

Trato al Cliente

- Solicitudes de Nuevos Suministros o Ampliación de Potencia Contratada;
- Reconexiones
- Opciones Tarifarias
- Reclamos por errores de medición/facturación

Medios a disposición del Cliente:

- Facturas
- Registro de reclamos
- Centros de atención telefónica/fax

Precisión de medida de la energía facturada.

La energía facturada para un suministro, no debe incluir errores de medida que excedan los límites de precisión establecidos por norma para los instrumentos de medida de tales suministros

d) Calidad de Alumbrado Público:

- Deficiencias del Alumbrado.

Se evalúa la Calidad del Alumbrado Público en la longitud de aquellos tramos de las vías públicas que no cumplen con los niveles de luminancia, iluminancia o deslumbramiento especificados en la Norma Técnica DGE-016-T-2/1996, para la calzada o acera, de acuerdo al tipo de alumbrado especificado para cada vía en esa misma norma.

d. Normativa internacional

Llama la atención la definición de estándares de calidad en el servicio eléctrico que en la presente década los organismos reguladores de diferentes países han incorporado en los reglamentos respectivos. Los protagonistas principales dentro de esta historia son las empresas concesionarias y los consumidores quienes deben buscar normas que sean satisfactorias para ambas partes. Primero, las empresas se ven forzadas a invertir en tecnología para cumplir con los estándares exigidos por la autoridad, donde la presión por cumplir: con las mayores exigencias de calidad que impone la autoridad se ve reflejada, en parte, en las sanciones que consideran los distintos reglamentos. Cuando una empresa no cumple con las exigencias de calidad impuestas por la autoridad existen sanciones que van desde multas en dinero hasta la caducidad de la concesión. Segundo, una deficiente calidad de servicio podría requerir de los consumidores cuantiosas inversiones en equipos para obtener aquella calidad que es considerada satisfactoria para sus propias necesidades.

En esta sección se analizarán los estándares de calidad que imponen los reglamentos que regulan la operación del sector eléctrico de distintos países. Sólo se analizarán las principales componentes de estándares de calidad relativas a las normas de operación en términos del voltaje y continuidad del

servicio, en frecuencia y duración de las interrupciones. La discusión se acompaña con tablas.



Tabla N° 03 : Frecuencia y duración de las interrupciones

Voltage	Total Duration	Frequency
LV	20 hours year round	22 outages year round
MV	10 hours year round	14 outages year round
HV at a supply point for distribution utilities	Outage acceptable in transmission and generation	
IJV	Defined by the CNE with the calculation of the correction factors for power and energy node prices	
Genera t i. on	Defined by the CNE generation expansion plan revised each six months, April and October, of each year	
For outages with a length greater or equal to three minutes. Source: Raineri (1996).		

Fuente: Normas Internacionales IEC

Para alta tensión se fija una norma de continuidad de servicio la cual es establecida por la Comisión para efectos del cálculo de factores de penalización. Para generación, la indisponibilidad aceptable está dada por el plan de obras determinado por la CNE al efectuar cada seis meses.

Tabla N° 04: Fluctuación de la tensión en porcentaje al voltaje nominal

Voltage Fluctuations (as % of nominal voltage)						
	LV		MV		HV	
Country	% above	% below	% above	% below	% above	% below
Argentina (Aereal)	8	-8	8	-8	5	-5
Argentina (Underground)	5	-5	5	-5		
Argentina (Rural)	10	-10				
Bolivia (Normal)	4	-7.5	5	-7.5	5	-7.5
Bolivia (Emergency)	7	-10	5	-10	5	-10
Chile (New Norms, Urban)	7.5	-7 . 5	6	-6	5*	-5*
Chile (New Norms, Rural)	15	-15	12	-12	6**	-6**
Spain	7	-7				
U.S. (120V and 240V)	6	-13				
France	5	-5			9 ^r	-11 ^r
France					8 ^r	-8 ^r
Perú (Urban)	5	-5	3 . 5	-3.5		
Perú (Rural)	8	-a	5	-5		
EEC	10	-10	10	-10		
*Chile, New Law, Voltage >= 154kV **Chile, New Law, Voltage >154kV Vrance, year 1996, 225kV France, year 1996, 63kV to 90kV Source: Raineri (1996).						

Fuente: Normas Internacionales IEC

En países de América Latina como Argentina, Bolivia, Chile y Perú, se valora distintamente la estabilidad del voltaje, no existe una uniformidad de criterios para definir los rangos máximos de variación permitidos sobre la tensión nominal. No obstante, se observa que existen estándares diferenciados en términos del nivel de tensión de que se trate. Por ejemplo, Argentina, Bolivia y Chile, explicitan estándares de variación en la tensión nominal, para alta, media y baja tensión. Por su lado, Perú distingue entre red primaria (media tensión) y red secundaria [baja tensión].

Argentina impone niveles de exigencia diferentes para los mismos niveles de tensión (Media y Baja Tensión) pero distinguiendo entre redes aéreas o redes subterráneas. Además, distingue 2 etapas de aplicación de las normas. La primera de ellas que es transitoria, sólo impone exigencias de medición a nivel global, donde después de 3 6 meses de operación de la red, se pasa a una segunda etapa de régimen donde existen estándares más estrictos, que además deben ser cumplidos a nivel individual. Finalmente, Argentina, define estándares menos estrictos para sectores rurales.

Finalmente, los estándares de variación sobre la tensión nominal de Argentina, Bolivia, Chile y Perú, se deben cumplir para determinados intervalos de tiempo.

En el caso de Chile, se incorpora una etapa de transición, que dura cinco años, antes; del estado de régimen. El reglamento propuesto establece que en ambas etapas las exigencias de medición deben ser satisfechas a nivel individual tanto para la baja, media y alta tensión.

CONTINUIDAD DEL SERVICIO

Las normas internacionales de continuidad de servicio eléctrico reconocen dos componentes en las interrupciones del servicio: duración y frecuencia. La reglamentación en Argentina, Bolivia, Chile, Francia y Perú, impone exigencias de continuidad de servicio en términos de duración y frecuencia, y España sólo considera estándares de duración. Todos ellos, consideran estándares diferenciados para los diferentes niveles de tensión, estándares que son distintos entre los distintos países. Podemos sí decir que, algunos de estos países, y de diferente forma, incorporan cierta diferenciación en las exigencias sobre frecuencia y duración en términos de las etapas

de aplicación, transición o régimen, y densidad de la población o energía demandada. Por ejemplo, Argentina, Bolivia y Perú tienen etapas de transición o régimen. En donde Argentina establece en la etapa de transición índices de interrupción que dependen del origen de la falla, si esta es externa o interna a la red; y en la etapa de régimen se realiza una medición a nivel individual. Argentina, además, tiene distintas exigencias dependiendo de la energía demandada en la zona de concesión. Bolivia tiene exigencias que varían en términos del número de usuarios existentes en la zona de concesión, siendo las exigencias de frecuencia y duración mayores durante el estado de régimen y en zonas con una mayor población. Perú tiene un esquema similar al que se aplica en Argentina.

España y Francia, definen estándares diferenciados en términos del nivel de tensión, y también con respecto al número de clientes existentes en la zona de concesión.

En general, todos los países consideran sanciones sobre las empresas concesionarias por el no cumplimiento de los estándares de calidad exigidos. Sanciones que van desde multas en dinero hasta la caducidad de la concesión. Incluso, en países como Argentina, Bolivia, España e Inglaterra, las multas que cancelen las empresas concesionarias pueden ser en beneficio de los clientes afectados.

Control de la Calidad de Servicio

La constatación de la calidad del suministro eléctrico en distribución está contemplada en la ley Chilena. Al respecto, la ley de servicio eléctrico define como estándares normales de calidad del suministro eléctrico de las empresas distribuidoras a aquellos límites máximos de variación sobre los valores definidos para tensión, frecuencia, disponibilidad y otros.” Con el objetivo de verificar que sean cumplidos aquellos estándares de calidad del servicio de distribución eléctrico, la ley define programas de control que deben ser conducidos por la SEC. El programa de control de calidad de servicio tiene como finalidad determinar deficiencias en la calidad del servicio y establecer un ranking de las empresas concesionarias de distribución.

- Reclamos de clientes recogidos por la SEC.
- Encuesta anual dirigida a clientes.

Tabla N° 05: Normatividad Peruana y sus aplicaciones

NORMATIVA	APLICACIÓN
2001-08-21.- R. N° 1535-2001-OS/CD.- Aprueba la Base Metodológica para la aplicación de la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos. Versión adecuada al D.S. N° 040-2001-EM (2001-09-05)	El presente documento tiene como objetivo adecuar la Base Metodológica de la NTCSE, publicada el 9 de setiembre de 2000 en el diario El Peruano, al Decreto Supremo N° 040-2001-EM. Con tal propósito, esta Base Metodológica describe los principios conceptuales y procedimientos para: • La estructuración de la Base de Datos que permita una efectiva aplicación y control de la NTCSE. • La transferencia de información a la autoridad. • La ejecución de las campañas de medición y registro • La aprobación de especificaciones técnicas del equipamiento a utilizarse para el control de calidad.
1997-10-09.- D. S. N° 020-97-EM.- Aprueban la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (1997-10-11). Incluye modificaciones según Decreto Supremo N° 009-99-EM (1999-04-11), Decreto Supremo N° 013-2000-EM (2000-07-27), Decreto Supremo N° 040-2001-EM (2001-07-17), Decreto Supremo 004-2006-EM (2006-01-06) y Decreto Supremo 026-2006-EM (2006-04-21) .	El objetivo de la presente Norma es establecer los niveles mínimos de calidad de los servicios eléctricos, incluido el alumbrado público, y las obligaciones de las empresas de electricidad y los Clientes que operan bajo el régimen de la Ley de Concesiones Eléctricas, Decreto Ley N° 25844.
1999-04-10.-D. S. N° 009-99-EM.-Disponen suspender aplicación de la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos en diversos sistemas y modifican el D.S. N° 020-97-EM (1999-04-11). Incluye modificaciones según Decreto Supremo N° 040-2001-EM (2001-07-17).	Actualización a la normativa pre existente y corrección de su aplicación en algunos sectores
1999-11-06.- D.S. N° 056-99-EM.- Precisan que artículo 10° del D.S. N° 009-99-EM incluye mediciones de calidad de producto, de suministro, de servicio comercial y de alumbrado público. (1999-11-08)	Actualización de normas pre existentes
2000-07-26.- D.S. N° 013-2000-EM.- Modifican diversas disposiciones referidas a la aplicación de la Norma Técnica de calidad de los Servicios Eléctricos-NTCSE. (2000-07-27) Incluye modificación según D.S. N° 040-2001-EM (2001-07-17)	Ampliación de rango temporal de una norma
2001-07-16.- D.S. N° 040-2001-EM.- Modifican la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (2001-07-17). Incluye Fe de Erratas (2001-07-26)	Corrección, se añaden fe de erratas

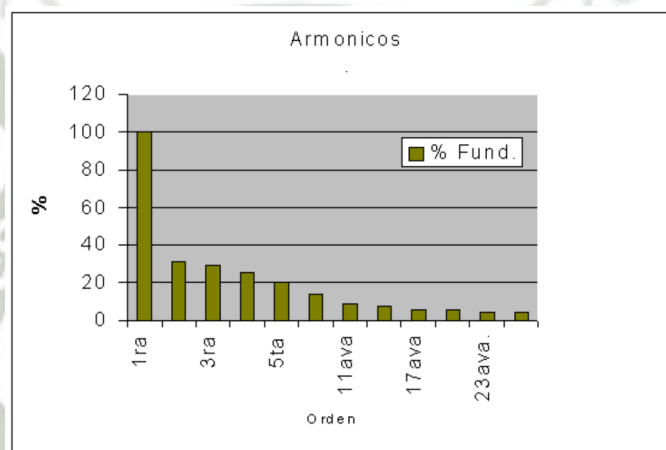
Fuente: Elaboración propia

2.6. ARMÓNICOS

La distorsión armónica se debe a la presencia de cargas no lineales, las que generan componentes de frecuencias múltiplos de la fundamental.

- Las armónicas son simplemente múltiplos de la frecuencia fundamental (60 Hz)(50 Hz en otros países). Valores típicos para las armónicas en un sistema eléctrico real corresponden a la: 5ª (300 Hz), 7ª (420 Hz) y 11ª (660 Hz) armónicas, etc.

Tabla N° 06: Variación de las armónicas de acuerdo al orden



- Sus magnitudes se expresan como porcentaje de la magnitud fundamental.
- Los armónicos se calculan según el estándar internacional IEC1000-4-7.

En un sistema de potencia eléctrica, los aparatos y equipos que se conectan a él, tanto por la propia empresa como por los clientes, están diseñados para operar a 50 ó 60 ciclos, con una tensión y corriente sinusoidal. Por diferentes razones, se puede presentar un flujo eléctrico a otras frecuencias de 50 ó 60 ciclos sobre algunas partes del sistema de potencia o dentro de la instalación de un usuario. La forma de onda existente está compuesta por un número de ondas sinusoidales de diferentes frecuencias, incluyendo una referida a la frecuencia fundamental.

En la fig. N° 7, se observa la descomposición de una onda distorsionada en una onda sinusoidal a la frecuencia fundamental (60 Hz) más una onda de frecuencia distinta. El término componente armónico o simplemente armónico, se refiere a cualquiera de las componentes sinusoidales mencionadas previamente, la cual es múltiplo de la fundamental. La amplitud de los armónicos es generalmente expresada en porciento de la fundamental.

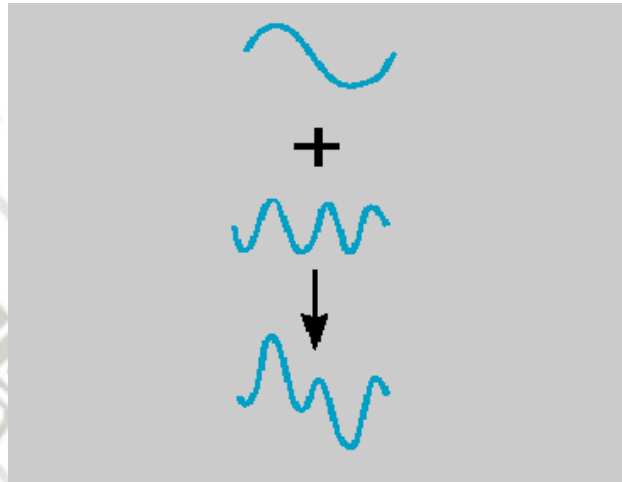


Fig. N° 07: Descomposición de una onda distorsionada

Los armónicos se definen habitualmente con los dos datos más importantes que les caracterizan, que son:

- Su amplitud: hace referencia al valor de la tensión o intensidad del armónico,
- Su orden: hace referencia al valor de su frecuencia referido a la fundamental (60 Hz). Así, un armónico de orden 3 tiene una frecuencia 3 veces superior a la fundamental, es decir $3 * 60 \text{ Hz} = 180 \text{ Hz}$.

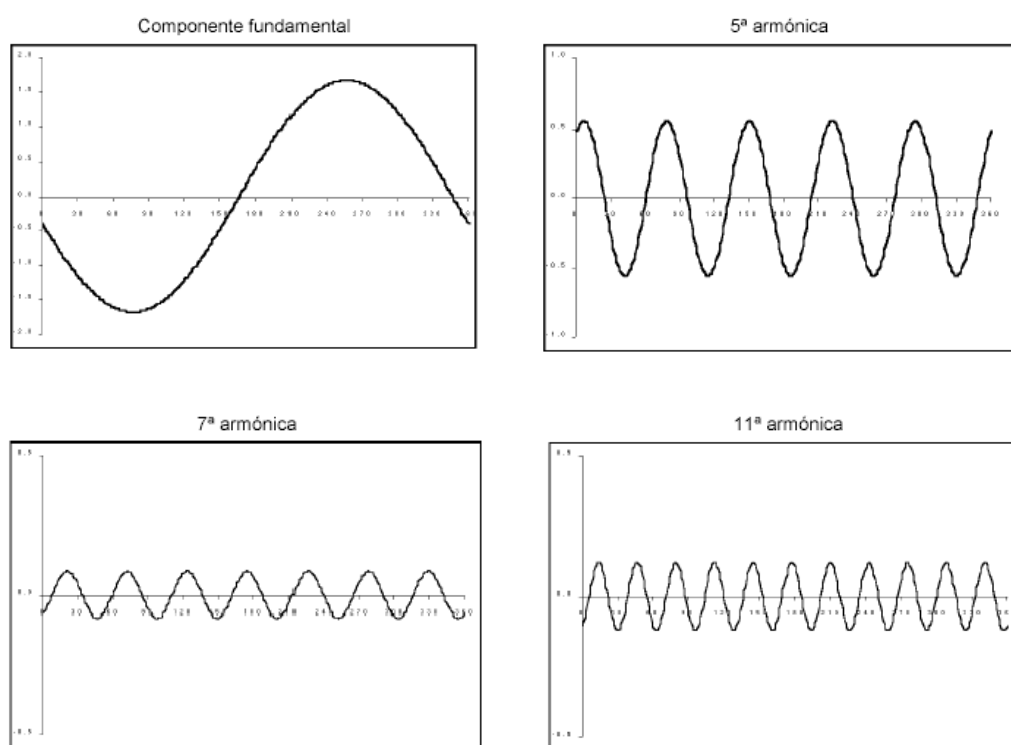


Fig. N° 8. Forma de onda original y sus componentes armónicos: 1ª ,5ª ,7ª ,11ª

El orden el armónico, también referido como el rango del armónico, es la razón entre la frecuencia de un armónico (f_n) y la frecuencia del fundamental (60 Hz).

Las ondas simétricas contienen únicamente armónicas impares, mientras que para ondas asimétricas existirán tanto armónicas pares como impares.

Cuando se hacen mediciones de las ondas de corriente o voltaje utilizando analizadores de armónicas, el equipo efectúa integraciones mediante la técnica de la transformada rápida de Fourier, dando como resultado la serie de coeficientes A_h que expresadas con relación a la amplitud A_1 de la fundamental, constituye el espectro de corrientes armónicas relativo a la onda medida.

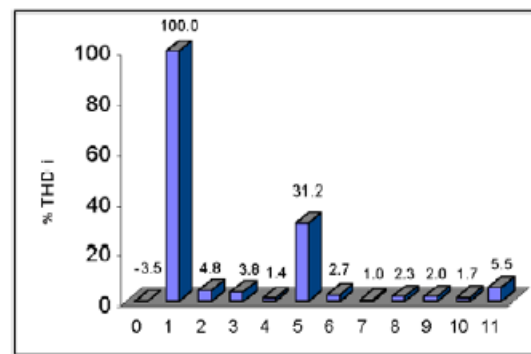


Fig. N° 9. Componentes armónicas relativas a la fundamental de la señal de la corriente

Estas señales pueden visualizarse en un sistema tridimensional en el que se representan su magnitud, ubicación en frecuencia y a lo largo del tiempo.

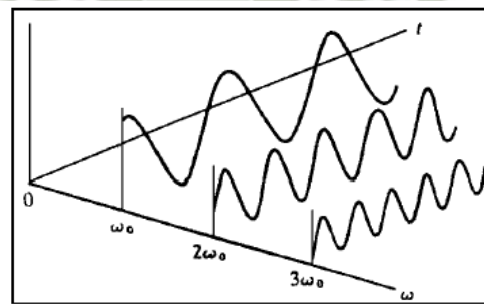


Fig. N° 10. Componentes en el dominio del tiempo y de la frecuencia

$$n = \frac{f_n}{f_1} \text{ (Por principio, la fundamental } f_1 \text{ tiene rango 1).}$$

Cualquier fenómeno periódico puede ser representado por una serie de Fourier:

$$y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{\infty} Y_n \sqrt{2} \sin(n\omega t - \delta_n)$$

Donde:

Y_0 = Es la componente de corriente directa, la cual es generalmente cero en sistemas eléctricos de distribución.

Y_n = Valor (rms) de la componente (n^{th}) armónica.

φ_n = Angulo de fase de la componente (n^{th}) armónica cuando $t=0$.

Los armónicos por encima del orden 23 son despreciables.

La cantidad de armónicos es generalmente expresada en términos de su valor (rms) dado que el efecto calorífico depende de este valor de la onda distorsionada.

Para una onda sinusoidal el valor eficaz es el máximo valor dividido por raíz de 2. Para una onda distorsionada, bajo condiciones de estado estable, la energía disipada por el efecto Joule es la suma de las energías disipadas por cada una de las componentes armónicas:

$$RI^2t = RI_1^2t + RI_2^2t + \dots + RI_n^2t$$

Donde $I^2 = I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2$

$$I = \sqrt{\sum_{n=1}^{n=\infty} I_n^2}$$

o también: (suponiendo que la resistencia se tome como una constante)

Este cálculo permite intuir uno de los principales efectos de los armónicos que es el aumento de la intensidad eficaz que atraviesa una instalación debido a las componentes armónicas que lleva asociada una onda distorsionada.

a) Origen de los armónicos

En general, los armónicos son producidos por cargas no lineales, lo cual significa que su impedancia no es constante (está en función de la tensión). Estas cargas no lineales a pesar de ser alimentadas con una tensión sinusoidal adsorben una intensidad no sinusoidal, pudiendo estar la corriente desfasada un ángulo ϕ respecto a la tensión. Para simplificar se considera que las cargas no lineales se comportan como fuentes de intensidad que inyectan armónicos en la red.

Las cargas armónicas no lineales más comunes son las que se encuentran en los receptores alimentados por electrónica de potencia tales como: variadores de velocidad, rectificadores, convertidores, etc. Otro tipo de cargas tales como: reactancias saturables, equipos de soldadura, hornos de arco, etc., también inyectan armónicos. El resto de las cargas tienen un comportamiento lineal y no generan armónicos tales como las inductancias, resistencias y condensadores. Existen dos categorías generadoras de armónicos.

La primera es simplemente las cargas no lineales en las que la corriente que fluye por ellas no es proporcional a la tensión. Como resultado de esto, cuando se aplica una onda sinusoidal de una sola frecuencia, la corriente resultante no es de una sola frecuencia. Transformadores, reguladores y otros equipos conectados al sistema pueden presentar un comportamiento de carga no lineal y ciertos tipos de bancos de transformadores multifase conectados en *estrella-estrella* con cargas desbalanceadas o con problemas en su puesta a tierra. Diodos, elementos semiconductores y transformadores que se saturan son ejemplos de equipos generadores de armónicos, estos elementos se encuentran en muchos aparatos eléctricos modernos. Invariablemente esta categoría de elementos generadores de armónicos, lo harán siempre que estén energizados con una tensión alterna. Estas son las fuentes originales de armónicos que se generan sobre el sistema de potencia.

El segundo tipo de elementos que pueden generar armónicos son aquellos que tienen una impedancia dependiente de la frecuencia. Para entender esto más fácilmente mencionaremos algunos conceptos previos. En la fig. N° 6(a) se ha representado la variación de la impedancia de una inductancia respecto a la frecuencia. La fórmula que determina dicha función es la siguiente:

$$X_L = L \times \omega = 2 \times \pi \times f \times L$$

Análogamente, en la fig. N° 6(b) se ha representado la misma curva para una impedancia capacitiva.

La fórmula que determina dicha función es:

$$X_c = \frac{-1}{(2 \times \pi \times f) \times C}$$

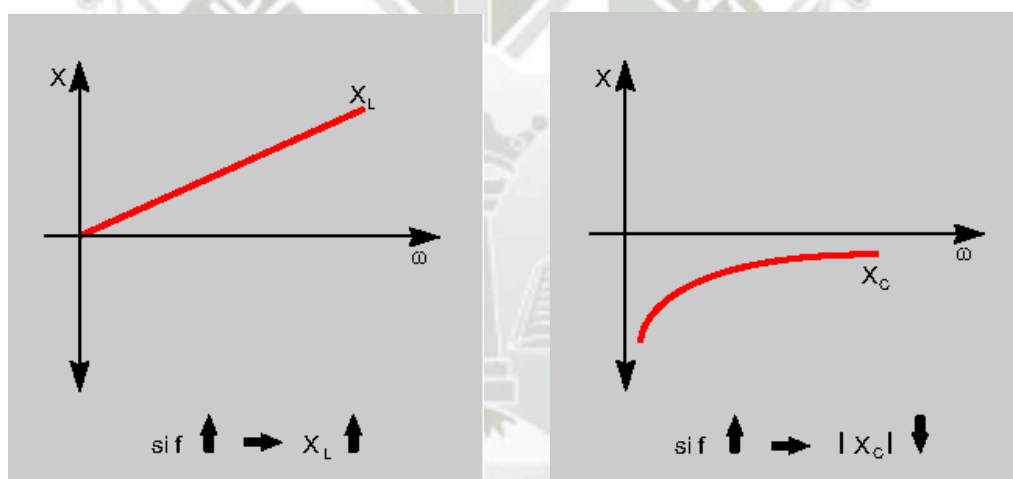


Fig. N° 11. Variación de la impedancia inductiva y capacitiva en función de la frecuencia.

O sea, a una determinada frecuencia pueden tener una impedancia constante pero su impedancia varía en función de la frecuencia, ejemplo 3 Ω a 60 ciclos, 5 Ω a 120 ciclos, etc., Filtros eléctricos y electrónicos, servomecanismos de motores, variadores de velocidad de motores tienen estas características. Estos tipos de elementos no generan armónicos si son energizados con una tensión de una sola frecuencia, sin embargo, si distorsionan la entrada, si existe más de una frecuencia y pueden alterar el contenido de armónicos. Estos elementos pueden

mitigar o incrementar el problema del contenido de armónicos. Las dos categorías de equipos generadores de armónicos, pueden originar una interacción compleja en la cual la energía de los armónicos es transformada o multiplicada de una frecuencia a otra.

En la tabla N° 6, se indican los elementos generadores de armónicos más comunes. En determinadas circunstancias la sobrecarga o daño de equipos pueden ser la causa de generación de armónicos. La gran cantidad de los armónicos en la mayoría de los sistemas de potencia son generados por los equipos de los usuarios.

Los usuarios residenciales, comerciales e industriales, tienen una gran cantidad de equipos como hornos de microondas, computadoras, sistemas con control robótico, televisión, VCR, estéreos y otros equipos. Todos estos equipos contribuyen con la generación de cantidades variables de armónicos. Aún ventiladores eléctricos y simples motores de inducción trabajando sobrecargados pueden contribuir a la creación de armónicos. Las salidas de armónicos de estos múltiples aparatos pueden sumarse y originar problemas en el sistema de potencia.

Los sistemas de iluminación del tipo lámparas de descarga o lámparas fluorescentes son generadores de armónicos de corriente. Una tasa del 25 % del tercer armónico es observada en ciertos casos. La tasa individual del armónico 3^{ro} puede incluso sobrepasar el 100 % para ciertas lámparas fluocompactadas modernas, y por tanto hay que prestar una atención especial en el cálculo de la sección y la protección del neutro, ya que este conduce la suma de las corrientes de tercera armónica de las tres fases, por lo que puede ser sometido a peligrosos sobrecalentamientos si no es seleccionado adecuadamente.

La impedancia de un reactor saturado está variando con la circulación de corriente a través de ella, resultando en una considerable distorsión de corriente. Este es el caso por ejemplo de transformadores sin carga sometidos a un sobrevoltaje continuo.

Las máquinas rotativas producen armónicos de ranura de rango elevado y de amplitud normalmente despreciable. Las pequeñas máquinas sincrónicas son sin embargo, generadoras de tensiones armónicas de 3^{er} orden que pueden tener una incidencia sobre:

- El calentamiento permanente (aun sin defecto) de las resistencias de puesta a tierra del neutro de los alternadores.
- El funcionamiento de los relés amperimétricos de protección contra los defectos de aislamiento.

Los armónicos son atenuados de una manera normal a medida que la potencia eléctrica es adsorbida. En raros casos pueden contribuir a la potencia real que toma un motor pero es muy raro y no presentan ningún efecto positivo, en general los armónicos producen calor a medida que circulan por los conductores y aparatos eléctricos. Por otro lado cuando los armónicos se combinan con armónicos generados por diferentes fuentes, pueden propagarse a diferentes distancias.

Tabla N° 06: Fuentes de frecuencia armónicas

CONVERTIDORES DE AC-DC	ELEMENTOS MAGNÉTICOS SATURABLES
Hornos de arco AC-DC	Capacitores en paralelo
Balastos de lámparas fluorescentes	Variadores de velocidad de motores
Motores de inducción sobrecargados	Oscilaciones de baja frecuencia
Convertidores multifase	Problemas de neutro
	Capacitores serie
	Corriente de Inrush
	Transformadores estrella-estrella

Tabla N° 07: Fuentes de frecuencia no armónicas

CONTROLADORES DE VELOCIDAD	CONVERTIDORES DE FRECUENCIA
Motores de inducción de doble alimentación.	Motor generador mal puesto a tierra.

La Tabla N° 8, muestra algunos elementos eléctricos generadores de armónicos y el espectro de corriente inyectado por los mismos.

Tabla N° 8: Receptores y espectros de corriente armónicas inyectadas por diferentes tipos de cargas eléctricas y electrónicas

tipo de carga	armónicos generados	comentarios
transformador	orden par e impar	componente en CC
motor asíncrono	orden impar	inter y subarmónicos
lámpara descarga	3° + impares	puede llegar al 30 % de I1
soldadura arco	3°	
hornos arco CA	espectro variable inestable	no lineal-asimétrico
rectificadores con filtro inductivo	$h = K \times P \pm 1$ $I_h = I1/h$	SAI-variadores V
rectificadores con filtro capacitivo	$h = K \times P \pm 1$ $I_h = I1/h$	alimentación equipos electrónicos
cicloconvertidores	variables	variadores V
reguladores PWM	variables	SAI-conversor CC-CA

.THDv - THDi

- **THDV : Factor de distorsión armónica total de voltaje**

El Factor de Distorsión Total por Armónicas (THD) de voltaje está definido como:

$$THD_v = (\sqrt{\sum_{i=2...40} (V_i^2 / V_N^2)}) \bullet 100\%$$

Donde:

V_i .- Es el Valor eficaz (RMS) de la tensión armónica “i” (para $i=2 \dots 40$) expresada en Voltios.

V_N .- Es la tensión nominal del punto de medición expresada en Voltios.

- **THDi: Factor de distorsión armónica total de corriente**

El Factor de Distorsión Total por Armónicas (THD) de corriente está definido como:

$$THD_i = (\sqrt{\sum_{i=2...40} (I_i^2 / I_N^2)}) \bullet 100\%$$

Donde:

I_i .- Es el Valor eficaz (RMS) de la corriente armónica “i” (para $i=2 \dots 40$) expresada en amperios.

I_N .- Es la corriente nominal del punto de medición expresada en amperios.

d. Interrupciones de suministro

Las interrupciones de servicio Eléctrico constituyen las alteraciones más obvias, o de mayor facilidad de percepción por el consumidor.

En los últimos años se han desarrollado numerosas investigaciones tendientes a determinar el costo asociado a estas interrupciones, usualmente llamado costo de falla.

Estas interrupciones son sumamente perjudiciales para los usuarios, es por esto que la norma NTCSE prevé compensaciones para los usuarios que se vean afectados por este problema, esta compensación debe ser pagada por la suministradora y/o generadora involucrada.

La Calidad de Suministro se expresa en función de la continuidad del servicio eléctrico a los Clientes, es decir, de acuerdo a las interrupciones del servicio.

Para evaluar la Calidad de Suministro, se toman en cuenta indicadores que miden el número de interrupciones del servicio eléctrico, la duración de las mismas y la energía no suministrada a consecuencia de ellas. El Período de Control de interrupciones es de seis (6) meses calendario de duración.

Se considera como interrupción a toda falta de suministro eléctrico en un punto de entrega. Las interrupciones pueden ser causadas, entre otras razones, por salidas de equipos de las instalaciones del Suministrador u otras instalaciones que lo alimentan, y que se producen por mantenimiento, por maniobras, por ampliaciones, etc., o aleatoriamente por mal funcionamiento o fallas; lo que incluye, consecuentemente, aquellas que hayan sido programadas oportunamente. Para efectos de la Norma, no se consideran las interrupciones totales de suministro cuya duración es menor de tres (3) minutos ni las relacionadas con casos de fuerza mayor debidamente comprobados y calificados como tales por la Autoridad.

Indicadores de la calidad de suministro.- La Calidad de Suministro se evalúa utilizando los siguientes dos (2) indicadores que se calculan para Períodos de Control de un semestre.

a) Número Total de Interrupciones por Cliente por Semestre (N)

Es el número total de interrupciones en el suministro de cada cliente durante un período de control de un semestre:

N = Número de Interrupciones;
(expresada en: interrupciones/semestre).

El número de interrupciones programadas* por expansión o reforzamiento de redes que deben incluirse en el cálculo de este indicador, se ponderan por un

factor de cincuenta por ciento (50%). El Número Total de Interrupciones por Cliente por Semestre se redondea al entero inmediato superior.

b) Duración Total Ponderada de Interrupciones por Cliente (D)

Es la sumatoria de las duraciones individuales ponderadas de todas las interrupciones en el suministro eléctrico al Cliente durante un Período de Control de un semestre:

$$D = \sum(K_i * d_i); \text{ (expresada en: horas)...}$$

Donde:

d_i .- Es la duración individual de la interrupción i .

K_i .- Son factores de ponderación de la duración de las interrupciones por tipo:

Interrupciones programadas* por expansión o reforzamiento:

$$K_i = 0.25$$

Interrupciones programadas* por mantenimiento:

$$K_i = 0.50$$

Otras: $K_i = 1.00$

El término “Interrupciones programadas” se refiere exclusivamente a actividades de i) expansión o reforzamiento de redes o ii) mantenimiento de redes, ambas programadas oportunamente, sustentadas ante la Autoridad, y notificadas a los Clientes con una anticipación mínima de cuarenta y ocho (48) horas, señalando horas exactas de inicio y culminación de trabajos.

Cargas no lineales

Equipos basados en dispositivos de la electrónica de potencia, como diodos, transistores, tiristores, generan armónicos en la red eléctrica, tales como:

- Computadoras
- Sistemas de control
- Artefactos electrodomésticos
- Sistemas de regulación electrónica.
- Variadores electrónicos de velocidad de motores eléctricos
- Rectificadores y en general los equipos de electrónica de Potencia

2.7. EL ANALIZADOR DE REDES

es un instrumento capaz de analizar las propiedades de las redes eléctricas, especialmente aquellas propiedades asociadas con la reflexión y la transmisión de señales eléctricas, conocidas como parámetros de dispersión.

Existen también algunos tipos de analizadores de redes especiales que cubren rangos más bajos de frecuencias de hasta 1 Hz. Estos pueden ser usados por ejemplo en el análisis de estabilidad de lazos abiertos o para la medición de audio y componentes ultrasónicos.

Hay dos tipos principales de analizadores de redes:

- **SNA (Scalar Network Analyzer)** – Analizador de redes escalar, mide propiedades de amplitud solamente
- **VNA (Vector Network Analyzer)** – Analizador de redes vectoriales, mide propiedades de amplitud y fase

Un analizador del tipo VNA también puede ser llamado Medidor de Ganancia y Fase o Analizador de Redes Automático. Un analizador del tipo SNA es funcionalmente idéntico a un analizador de espectro combinado con un generador de barrido. Hasta el año 2007, los analizadores VNA son los más comunes y frecuentemente calificados como los de menor calidad. Los tres más grandes fabricantes de analizadores de redes son Agilent, Anritsu, y Rhode & Schwarz.

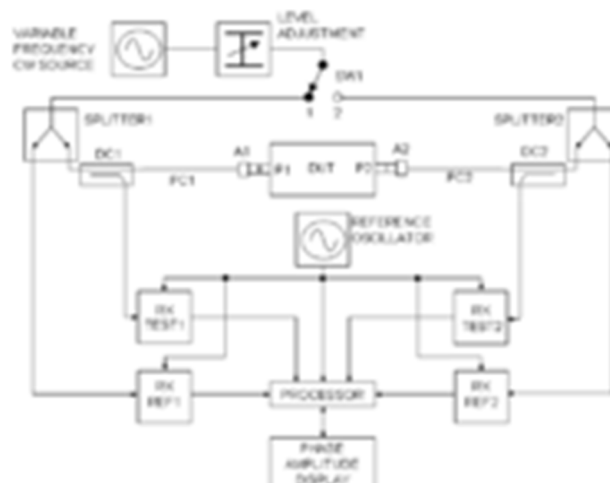


Fig. N° 12: Arquitectura básica de un analizador de redes

Los modelos que se pueden encontrar más frecuentemente son los de dos puertos, pero también existen modelos de cuatro puertos en el mercado, y algunos cuentan con algunas mejoras para su fácil operación, como pantalla sensible al tacto y la posibilidad de conectarle un ratón o teclado por medio de puertos PS/2 o USB, inclusive los modelos más modernos cuentan con una plataforma en base Windows por lo que su operación se simplifica considerablemente.

Una nueva categoría de analizadores de redes es la MTA (Microwave Transition Analyzer), que significa analizador de transición de microondas, o LSNA (LargeSignal Network Analyzer), que significa analizador de redes de señales grandes, los cuales miden amplitud y fase de las armónicas fundamentales. El MTA fue comercializado primero que el LSNA, pero en el primero estaban faltando algunas opciones para una fácil calibración que si están disponibles en la versión LSNA.

a. Calibración

La calibración de un analizador de redes es un proceso de alta precisión en el cual, se deben tener en cuenta tanto la impedancia en la que se está operando (50

Ohms, en la telefonía celular o 75 Ohms para otras aplicaciones) como las condiciones en las que está operando el equipo. Por este motivo, y dependiendo de la cantidad de Parámetros-S que se requiera medir el proceso puede resultar largo y tedioso por la cantidad de veces que se tuviera que repetir.

El estándar de calibración usa tres dispositivos de prueba llamados **OPEN** (red abierta), **SHORT** (red en corto circuito), y **THRU** (red conectada), los cuales deben ser conectados a los puertos del analizador para que este pueda comparar y establecer la diferencia entre estos tres modos, estos datos son guardados en un registro y cada registro debe ser calibrado independientemente y en el momento en que se le haga una modificación a la red en estudio.

Otro tipo de instrumento para la calibración de analizadores de redes es el módulo de calibración eléctrico (E-Cal), el cual se conecta a este y es automáticamente reconocido y posee una mayor precisión que el equipo de calibración manual mencionado anteriormente. La única desventaja aparente de este dispositivo es que se debe esperar a que alcance su temperatura de operación antes de usarlo.

Estructuralmente, las redes de energía eléctrica se componen de la generación (centrales), el transporte y los consumos. Por el transporte entendemos el traslado de toda la energía generada en las centrales hasta donde se encuentran los consumidores, por lo que es necesario crear redes que sean capaces de transportar grandes cantidades de energía a grandes distancias. Para ello, se emplean redes de transporte de alta tensión que conectan las centrales con las subestaciones de transformación; y mediante redes de media tensión las subestaciones se conectan con los centros de transformación. En función del nivel de tensión empleado, se pueden considerar dos tipos de redes de distribución:

- Redes de media tensión
- Redes de baja tensión.

Las redes de media tensión, se utilizan principalmente para realizar el suministro de energía a los clientes de tipo industrial y para acercar aún más la energía a los clientes de baja; a los que se distribuirá mediante las segundas, redes de baja tensión desde los centros de transformación. Es evidente que, el diseño y operación de todo el sistema de energía eléctrica requiere una adecuada planificación para garantizar su correcto funcionamiento en todo momento y en el futuro.

La planificación de redes de distribución implica la obtención del programa de actuaciones futuras a realizar en la red, de modo que permitan alcanzar unos determinados objetivos, para tener un funcionamiento adecuado de la red. El objetivo principal consiste en dar un suministro de calidad optimizando costes.

En general, los modelos de planificación se basan en modelos de optimización de una función de coste que refleja los costes de la red (inversión, pérdidas,...) y unos costes asociados a la calidad del suministro, de forma que se puedan evaluar ambos términos conjuntamente. Básicamente, los costes considerados pueden clasificarse en:

- Costes de inversión: correspondientes al material, la mano de obra, la realización del proyecto, etc. Se puede considerar que dicha inversión se realiza en el momento de la puesta en servicio o que se amortiza a lo largo de toda la vida de la instalación.
- Costes de pérdidas de energía: son costes que se producen a lo largo de todo el período en estudio y su valor es proporcional al cuadrado de la carga, la cual puede permanecer constante o variar durante el período del plan, pero que es preciso estimar, puesto que no se puede conocer a priori.
- Costes de mantenimiento: son costes que se producen durante todo el período en estudio y, en el caso de las líneas y cables se pueden considerar proporcionales a la dimensión de la red y función de los tipos de conductor empleados, el tipo de tendido.

Para determinar la calidad, cantidad, el flujo y optimización de estas redes, se utilizan los llamados **Analizadores de Redes** que son instrumentos capaces de analizar las propiedades anteriormente mencionadas de las redes eléctricas, y especialmente aquellas propiedades asociadas con la reflexión y la transmisión de señales eléctricas, conocidas como parámetros de dispersión (Parámetros-S). Los analizadores de redes son más frecuentemente usados en altas frecuencias, que operan entre los rangos de 9 kHz hasta 110 GHz.

Este tipo de dispositivo es muy utilizado en la fabricación de amplificadores de alta potencia y en filtros para señales de radiofrecuencia. Existen también algunos tipos de analizadores de redes especiales que cubren rangos más bajos de frecuencias de hasta 1 Hz. Estos pueden ser usados por ejemplo, en el análisis de estabilidad de lazos abiertos o para la medición de audio y componentes ultrasónicos.

Actualmente existen Analizadores de redes multifuncionales de nueva generación que mejoran sustancialmente las prestaciones:

- **Precisión:** Algunos equipos tienen una clase de precisión de 0,06%.
- **Robustez:** Avalada por **4 años de garantía**.

Conectividad: Se trata de los medidores con mayores opciones de conectividad del mercado, incluso plasma todos los parámetros leídos en una página web parametrizable.

Los analizador de redes eléctricas y armónicos sirven para la medición de una a tres fases de magnitudes eléctricas en la red de corriente alterna. El analizador de redes eléctricas, además de detectar las magnitudes de medición "normales" como tensión, corriente, frecuencia, potencia y energía, también indica, según la normativa EN50160, los valores armónicos, interarmónicos y asimétricos. Interferencias en la red como interrupciones, robos, sobretensiones temporales o transitorios (a partir de 16 μ s) son detectadas con sus valores correspondientes. La pantalla LCD, que cuenta con un buen contraste y una matriz de puntos con

iluminación de fondo, le muestra hasta 35 parámetros simultáneamente. Se pueden adaptar hasta 3 pinzas de corriente simultáneamente. En el modo de registro de datos puede memorizar hasta 17.470 valores de medición (3 fases / 4 conductores), en el caso más sencillo hasta 52.400 valores de medición (1 fase / 2 conductores), repartido entre 85 registros. Todo esto hace que el analizador de redes eléctricas y armónicos pueda usarse de forma óptima para el análisis de larga duración. Los valores de medición obtenidos pueden ser enviados a voluntad al ordenador y ser procesados con el software de análisis correspondiente. El contenido del envío contiene todo lo que necesita para efectuar las mediciones y el análisis (incluido el software y el cable de datos). Aunque el analizador de red se envía calibrado de fábrica, puede ser calibrado opcionalmente en el laboratorio y certificado según la normativa.



Fig. N° 13. Analizador de redes típico y sus principales accesorios

b. Analizadores de redes eléctricas y sus principales características

Estos equipos son analizadores de elevadas prestaciones. Diseñados para ser instalados de forma muy sencilla en cualquier instalación y para que su uso sea totalmente adaptable a cualquier tipo de medida requerida. Disponen de una memoria interna donde se guardan todos los parámetros deseados, totalmente programables.

Además, un mismo analizador puede contener varios softwares, cuyas aplicaciones vayan destinadas a distintos tipos de análisis.

Existe una gran variedad de analizadores los cuales exportan o muestran los parámetros eléctricos directa o indirectamente a través de display y transmiten por comunicaciones todas las magnitudes eléctricas medidas y/o calculadas.

Algunos analizadores son expandibles o modulares, pudiendo dotarlos de funciones adicionales asociables a cualquier parámetro eléctrico medido o calculado.

Qué ventajas obtenemos con los analizadores de redes

- Ahorrar
- Detectar y prevenir el exceso de consumo (kW·h)
- Analizar curvas de carga para ver dónde se produce la máxima demanda de energía.
- Detectar la necesidad de instalación de una batería de condensadores, así como su potencia.
- Detectar fraude en los contadores de energía.
- Prevenir

Son ideales para realizar mantenimientos periódicos del estado de la red eléctrica, tanto en baja como en media tensión, ver curvas de arranque de motores, detectar posibles saturaciones del transformador de potencia, cortes de alimentación, deficiente calidad de suministro eléctrico, etc.

Poder analizar dónde tenemos un problema en la red eléctrica, para poder solucionar problemas de disparos intempestivos, fugas diferenciales, calentamiento de cables, resonancias, armónicos, perturbaciones, flicker, desequilibrios de fases, etc. Al mismo tiempo, nos permite diseñar los tamaños adecuados para los filtros activos o pasivos de armónicos y filtros para variadores de velocidad, etc.

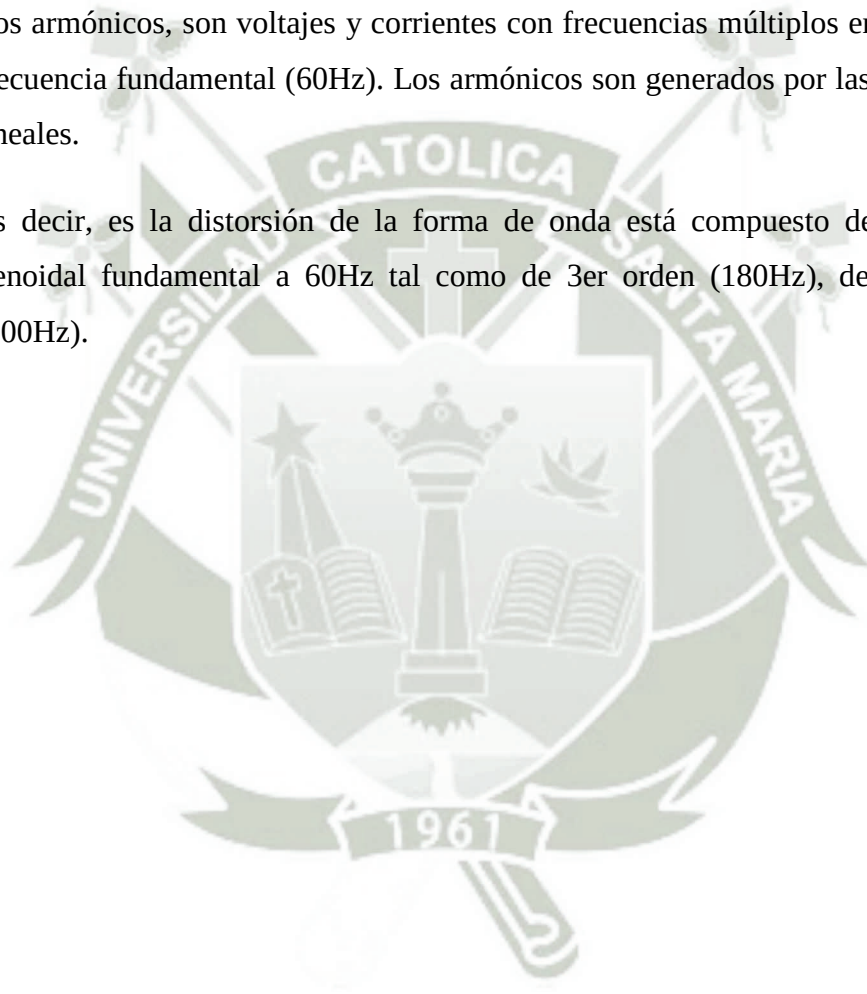
Parámetros medidos por los analizadores de redes Flickers

El Flicker es una impresión subjetiva de la fluctuación de iluminación o variación notoria instantánea de los niveles de iluminación, ocasionada por fluctuaciones de tensión en la red de alimentación eléctrica. Origina en quien la percibe una sensación desagradable El Flicker depende fundamentalmente de la frecuencia, amplitud y duración de las fluctuaciones de tensión que lo causan. Estas oscilan entre los 0,5Hz y los 30Hz de frecuencia.

La tolerancia del Flicker es de 1Pst (nivel de severidad de corta duración).

Los armónicos, son voltajes y corrientes con frecuencias múltiplos enteros de la frecuencia fundamental (60Hz). Los armónicos son generados por las cargas no-lineales.

Es decir, es la distorsión de la forma de onda está compuesto de una onda Senoidal fundamental a 60Hz tal como de 3er orden (180Hz), de 5to orden (300Hz).



CAPÍTULO III

DESCRIPCION Y ELABORACION DE LAS GUIAS DE PRÁCTICA PARA EL MÓDULO TABLERO ANALIZADOR DE REDES PARA LA MEDICION DE PARAMETROS ELECTRICOS Y DE CALIDAD DE LA ENERGIA ELECTRICA

3.1. DATOS TÉCNICOS DEL MÓDULO TABLERO ANALIZADOR DE REDES.

Dimensiones	: 40 x 30 x 20 cm.
Protección	: IP 202 (norma IEC)
Voltaje Y / Δ	: 380 / 220 V.
Modos	: Trifásico / monofásico
Corriente Nominal	: 40 A. / 23.12 A.
Frecuencia	: 60 Hz.
Potencia	: 20 Kw.
Protección/Aislamiento	: IP21 clase B.

3.1.1. Características técnicas de los principales componentes

Analizador	: SENTRON PAC 4200 SIEMENS
Conectividad	: Ethernet para protocolos de Comunicación industrial
Transformadores de corriente	: 40 / 5 Amp.
Corriente máxima de salida	: 40 A.
Conexión exterior	: RJ 235
Capacidad de almacenamiento	: 200 parámetros



Fig. 3.1: Modulo tablero analizador de redes



Fig. 3.2 : Unidad principal SENTRON PAC 4200



Fig.3.3 : Datos mostrados en unidad principal

3.2. DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO TABLERO ANALIZADOR DE REDES PARA LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS Y DE CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

Con el objeto de que el alumno establezca o entre en contacto con el modulo analizador de redes, a continuación se van a describir los elementos más importantes de este:

- a) Tablero analizador de redes con unidad SENTRON PAC 4200
- b) Unidad de medición remota mediante protocolo de red industrial

El modulo está diseñado para soportar una potencia nominal de 20 KW, en modo trifásico o monofásico.

Las tensiones de trabajo 380/220 V. están clasificadas en el Reglamento de Instalaciones Eléctricas como baja tensión.

Teniendo en cuenta que el mismo Reglamento considera como tensión peligrosa a partir de los 24 V. el tablero analizador deberá de conectarse a tierra, pues una eventual descarga a 380 V. podría dar lugar a un serio accidente: esto obliga al alumno a tomar atención y asumir la responsabilidad en el desarrollo de las prácticas de laboratorio.

3.3. OBJETIVOS DEL MODULO EN LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO.

Con la utilización práctica del presente módulo analizador de redes para la medición de parámetros se logra alcanzar los siguientes objetivos:

- a) Afianzar los conocimientos adquiridos en las clases teóricas
- b) Familiarizarse con el manejo de analizadores de redes industriales, como en este caso el módulo de medición SENTRON PAC 4200.

3.4. TIPO DE PRÁCTICAS RECOMENDABLES A EFECTUAR CON EL MODULO ANALIZADOR DE REDES.

Todas las prácticas de las asignaturas que impliquen la medición de parámetros eléctricos como son tensiones, corrientes, potencias, energías, frecuencia y parámetros de calidad.

3.5. APARATOS ADICIONALES QUE DEBE POSEER EL LABORATORIO DE MEDICIONES ELÉCTRICAS

Adicionalmente al tablero analizador de redes, serán necesarios instrumentos de medición versátiles y de fácil utilización como son los multímetros, pinzas amperimétricas, tacómetros etc., los cuales permitirán que las prácticas de laboratorio sean más fáciles de comprender.

3.6. PRECISIÓN DE LOS APARATOS A UTILIZAR

Cuánto más precisos sean los elementos que se manejen tanto mejor será realizada la práctica.

Creemos que lo importante en los aparatos a manejar por alumnos es su robustez y su fácil y claro manejo, quedando en segundo lugar la calidad. Es preferible disponer de muchos aparatos de calidad media que de unos pocos de gran precisión.

3.7. PRECAUCIONES EN LAS PRÁCTICAS

Es conveniente que las prácticas que se propongan sean realizadas con anterioridad por el personal del laboratorio y con los mismos aparatos que han de utilizarse posteriormente por los alumnos. De esta forma, se evitara la oportunidad de conocer las dificultades que han de encontrar los alumnos en el desarrollo de la práctica.

3.8. CONOCIMIENTO PREVIO DE LA PRÁCTICA A REALIZAR.

Este conocimiento no deberá limitarse al enunciado de las prácticas sino que, mediante apuntes, guiones, explicaciones orales u otros métodos se pongan en conocimiento del alumnado la finalidad de la práctica.

La utilidad de la medida, en qué casos se suele emplear dicho método, circuito eléctrico a establecer las precauciones que deberán tomarse en el montaje y duración la ejecución, forma de recopilar datos, presentación de resultados, consecuencias que cabe sacar de éstos, errores máximos cometidos, etc. No obstante debe poseer el alumno un texto de prácticas que le oriente en la realización de la práctica, antes de comenzar ésta, es conveniente que el profesor, maestro, etc. del laboratorio indique a los alumnos sobre que particularidades más sobresalientes tendrán que prestar la máxima atención, dándose instrucciones complementarias sobre aspectos de la cuestión que no estén consignados en el texto. De todas formas, estas explicaciones no deben durar, salvo casos excepcionales, más allá de diez o quince minutos, con objeto de no restar excesivo tiempo a la ejecución de la práctica propiamente dicha.

3.9. ALIMENTACIÓN DEL CIRCUITO, MANIPULACIÓN Y LECTURA DE LOS VALORES.

Si existe posibilidad, es conveniente que al aplicar tensión al montaje realizado ésta sea, en principio, de valores bajos. Una vez comprobado que no existe anomalía alguna deberá irse incrementando el valor de la tensión hasta el valor deseado.

Tanto durante este primer período de alimentación como durante la manipulación de los distintos aparatos deberán observarse atentamente los instrumentos de medida, por si sus indicaciones señalan alguna anomalía.

Las maniobras deberán ser realizadas con mesura, evitando cambiar bruscamente las características eléctricas del circuito.

3.10. GUÍAS DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

A continuación, y a manera de modelo se realizaron dos prácticas de laboratorio, el primero para circuitos eléctricos monofásicos y el segundo para circuitos eléctricos trifásicos balanceados y desbalanceados.

Sin embargo las prácticas de laboratorio que se pueden realizar con el tablero analizador de redes para la medición de parámetros eléctricos y de calidad de la energía eléctrica, corresponde a casi la totalidad de cursos del área de electricidad que tienen prácticas de laboratorio y entre los cuales se pueden mencionar las practicas referidas a los circuitos eléctricos, medidas eléctricas, maquinas eléctricas, sistemas de potencia eléctrica, instalaciones eléctricas...etc.

PRACTICA N° 01

INTRODUCCION A LOS MOTORES ELECTRICOS MONOFASICOS

1. **OBJETIVO:** Reconocer los datos de placa de los motores eléctricos monofasicos así como también sus partes principales y parámetros eléctricos característicos, como son la tensión de alimentación, corriente, factor de potencia, frecuencia, y armonicos.
2. **ELEMENTOS A UTILIZAR:** Para los fines del ensayo se utilizará.
 - 01 Motor eléctrico
 - Multímetro.
 - Puente de resistencias
 - Destornilladores planos y estrella.
 - Contactores
 - 01 pulsador NA y NC
 - Pinza amperimétrica
 - Tablero analizador de redes
3. **PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN:**
 - a. Reconocer e identificar los terminales del motor, y registrar los valores de resistencia obtenida de cada bobina del motor.
 - b. Llenar los valores de la tabla adjunta
 - c.

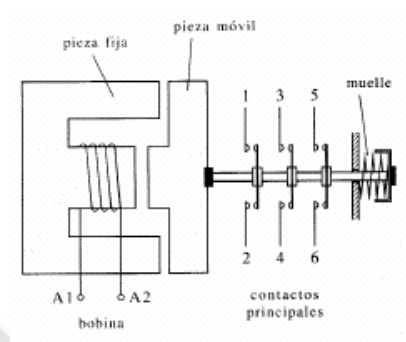
Tabla 1

<i>Bobina 1</i> <i>(u-x)</i>

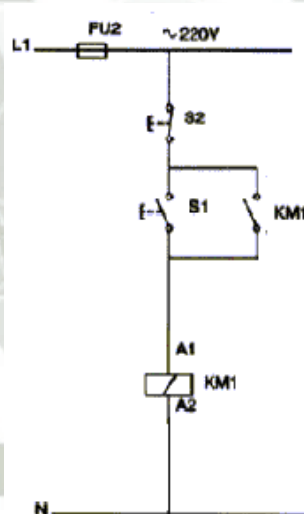
- d. Registrar los datos de placa del motor (Indicar el tipo de motor según la información obtenida).

Tabla 2

- e. Reconocer las partes principales de un contactor



- f. Elaborar el circuito de mando para el arranque directo del motor eléctrico.



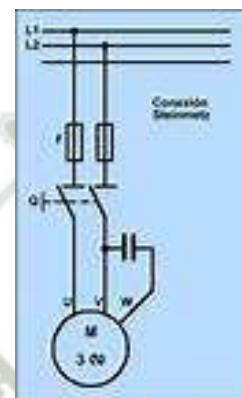
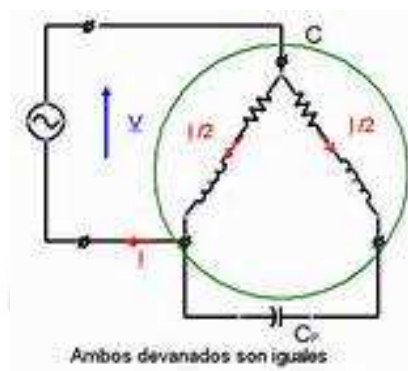
Circuito de mando

- g. Armar el circuito de fuerza para el arranque del motor eléctrico.
- h. Arrancar el motor y medir la corriente de arranque y la corriente nominal en vacío.

$I_{nominal}$	$I_{arranque}$	I_{vacio}

Tabla 3

- i. Armar el circuito de fuerza del motor monofásico



Circuito de fuerza

- j. Instale en la alimentación el analizador de redes y registre los valores

5.- CUESTIONARIO

- 5.1.- Explique el principio de funcionamiento de los motores eléctricos
- 5.2.- Realice una clasificación general de los motores eléctricos.
- 5.3.- ¿Cuáles son las partes principales de un motor eléctrico?
- 5.4.- ¿Cuáles son los datos de placa más importantes en un motor eléctrico?
- 5.5.- ¿Por qué la corriente de arranque de un motor es tan alta (mayor a la corriente nominal o de placa?
- 5.6.- ¿Qué ventaja y desventajas tiene un motor monofásico comparado con un motor trifásico?
- 5.7.- ¿Que tipos de arranque existen para el funcionamiento de los motores eléctricos?
- 5.8.- ¿Por qué las corrientes de la tabla N°3 son diferentes?. Explique cada una de ellas con detalle.

- 5.9.- ¿Qué es un contactor y que función cumple en el arranque de un motor eléctrico?
- 5.10.- ¿Qué diferencia existe entre un pulsador normalmente abierto y uno normalmente cerrado?
- 5.11 Enliste los valores de los principales parámetros obtenidos con el analizador de redes

6.- OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES:

Indicar por lo menos 5 de cada una.

7.- BIBLIOGRAFÍA: Indique la bibliografía utilizada o la dirección WWW.





Conexiones del circuito



Datos de placa del motor monofasico



Tensión de línea



Tensión de línea - neutro



Tensión eficaz instantánea



Corrientes en las líneas



Potencias instantaneas



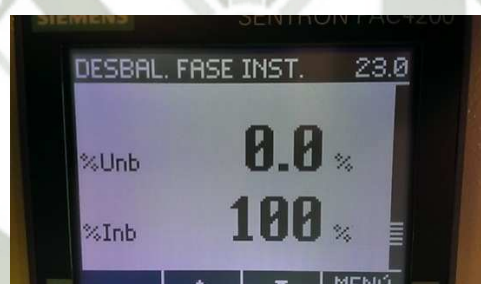
Potencia reactiva instantanea



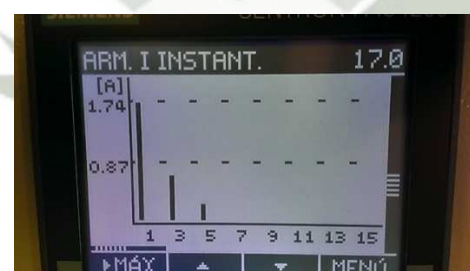
Potencia activa instantanea



Potencia aparente instantanea



Desbalance de corrientes



Distorsión armónica de corriente



Diagrama fasorial



Distorsion armonica total



Frecuencia instantánea



Factor de potencia del circuito



Factor de potencia instantáneo

PRACTICA N° 2

MEDIDA DE LA POTENCIA EN CIRCUITOS ELÉCTRICOS TRIFÁSICOS

I. OBJETIVO

Analizar y verificar en forma experimental la medida de potencia en circuitos trifásicos utilizando el método de los dos vatímetros en conexión Aron, y el método de tres vatímetros, para finalmente comprobarlo por el método del vatímetro trifásico único.

Obtener los parámetros mediante el analizador de redes

II. MARCO TEORICO

Un sistema trifásico es una combinación de tres sistemas monofásicos, cuyas ondas senoidales están desfasadas 120°. Como consecuencia la Potencia suministrada es igual a las potencias absorbidas por cada una de las fases, sin importar que conexión tengan, sea en estrella o triángulo, en todos los casos la potencia total del sistema es igual a la suma de las potencias correspondientes a cada fase del sistema trifásico considerado.

$$P_T = P_R + P_S + P_T$$

Sin embargo un sistema trifásico puede tener dos tipos de cargas: cargas equilibradas y desequilibradas, que van a variar las características del sistema trifásico y por ende el método en que se debe efectuar la medición de potencia.

Mediciones de Potencia Activa en corriente alterna trifásica. Cargas Equilibradas

En muchas ocasiones, por ejemplo, en motores eléctricos grandes, en aparatos de calefacción, etc. Las tres fases están igualmente cargadas, se dice entonces que se trata de cargas equilibradas. Es decir que por cada fase va a circular la misma corriente, y los ángulos de desfase son también iguales. En este caso entonces la potencia total va a ser:

$$P_T = 3 V_f I_f \cos \phi$$

Es decir que para la medición de la potencia trifásica es un sistema equilibrado, se puede utilizar un solo vatímetro monofásico y multiplicar los valores obtenidos por tres.

Mediciones de Potencia Activa en corriente alterna trifásica. Cargas Desequilibradas

Este es el caso más general que puede presentarse. En este caso se emplea la expresión general de la potencia:

$$P_T = V_R I_R \cos \phi_R + V_S I_S \cos \phi_S + V_T I_T \cos \phi_T$$

a) Método de tres vatímetros

En este método deben de utilizarse tres vatímetros. Cada vatímetro leerá entonces una corriente de línea y un voltaje de fase. El sistema de los tres vatímetros permite medir y observar separadamente los procesos eléctricos en cada una de las fases de un sistema trifásico desequilibrado. Resulta particularmente apropiado en el caso de pequeñas potencias y grandes desfases. Sin embargo para la medición de potencias en sistemas trifásicos desequilibrados se utiliza principalmente el *sistema de los dos vatímetros o sistema Aron*.

b) Método de dos vatímetros o Método de Aron

Permite las mediciones de potencia en circuitos de corriente alterna trifásica de tres conductores, equilibrados o desequilibrados. Respecto al método anterior presenta las siguientes ventajas:

- Resulta mucho más fácil y económico efectuar lecturas simultaneas de dos vatímetros que de tres.
- Permite el empleo de un solo aparato de medida, con dos sistemas de medida y cuya escala indica directamente la potencia a medir .

En el sistema Aron las tensiones aplicadas a las bobinas voltimétricas son las tensiones de línea, el principio de la bobina Voltimétrica (+- ó *) debe estar conectado a la misma fase en la cual esta intercalada la bobina amperimétrica, y al

final de la bobina Voltimétrica, debe conectarse a la fase que no tiene ninguna bobina amperimétrica intercalada (es decir a la fase libre). Entonces la potencia total trifásica será igual a la suma de los dos vatímetros:

$$P_T = P_1 + P_2$$

c) Método del vatímetro trifásico único

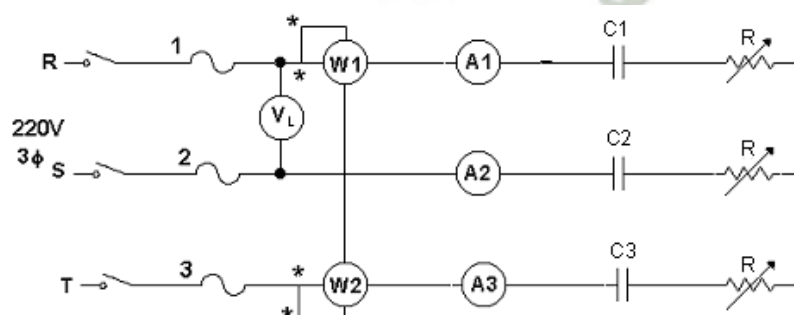
En este caso la lectura que nos proporciona el vatímetro trifásico, es la potencia consumida por el circuito trifásico

III. ELEMENTOS A UTILIZAR

- 01 Variac trifásico
- 01 vatímetro trifásico 240V. , 25A.
- 02 vatímetros monofásicos iguales con máximos nominales 220V , 25A
- 03 resistencias variables 0-44 ohmios 5A
- 03 resistencias variables 0- 230 ohmios 1.6 A
- 03 amperímetros iguales de 0-5A
- 02 voltímetro 0-250V
- 03 condensadores de 20uf – 300V,
- conductores para conexiones
-

IV. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Armar el circuito de la figura adjunta (*Método de Aron*)



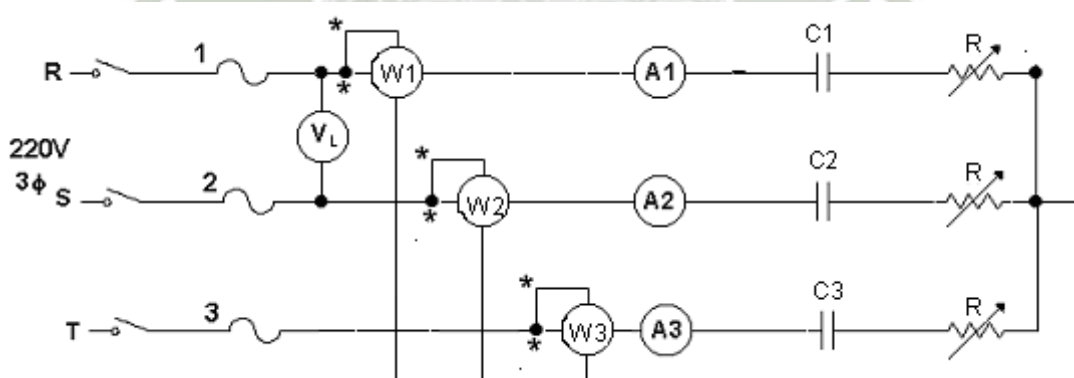
2. Colocar las escalas de los instrumentos en su máximo valor como primera precaución.
3. Verificar la secuencia de fases del sistema trifásico a analizar
4. Medir la frecuencia de la fuente de alimentación
5. Calibrar la tensión de salida a 220 V, tensión trifásica.
6. Energizar el circuito y utilizar las resistencias de 44 ohmios y después de 180 ohmios, medir los valores en los instrumentos para cada variación de las resistencias R, Medir los valores de los condensadores.

7. Registrar los siguientes valores:

VRS	VTs	W1	W2	Wtot	A1	A2	A3	R	C1	C2	C3

8. Armar el circuito de la figura adjunta.

Método de los tres vatímetros



9. Calibrar la tensión de salida a 220 V, tensión trifásica.
10. Energizar el circuito y utilizar las mismas impedancias que para el primer circuito.
11. Verificar la secuencia de fases y tomar el valor de la frecuencia

12. Registrar los siguientes valores:

VRN	VSN	VTN	W1	W2	W3	Wtot	A1	A2	A3	R	C1	C2	C3

13. Armar el circuito del paso (6).

Método del vatímetro trifásico único.

Empleando un solo vatímetro trifásico, y repetir los pasos 7, 8, 9 y 10.

14. Para una de las fases del circuito, empleando el método del equivalente monofásico, utilizando el fasímetro (cosfímetro), encontrar el valor del desfase en la impedancia de carga

15. Instalando en la fuente de alimentación el analizador de redes, obtener todos los parámetros del circuito.

V. CUESTIONARIO

1. Explicar la importancia de la determinación de la secuencia de fases
2. Explicar la importancia de los asteriscos (+) en los extremos las bobinas de los vatímetros
3. Explicar la influencia del tipo de conexión en los vatímetros
4. Explicar el Método de Medición de los dos vatímetros.
5. Explicar el Método de Medición de los Tres vatímetros.
6. Explicar el método de medición del vatímetro trifásico único
7. ¿Cuándo se utiliza el método de Un Vatímetro para la medición de potencia trifásica? Explique.
8. A partir de los datos experimentales, calcular la potencia activa total suministrada al circuito, el factor de potencia y la potencia aparente total.

9. Con los datos de los valores de las impedancias obtenidos obtener la Potencia activa teórica y compararlos con los resultados obtenidos de los vatímetros experimentalmente.
10. Con los datos obtenidos, encontrar la impedancia equivalente de cada fase de la carga
11. Dar las divergencias de los valores teóricos y experimentales de las Potencias eléctricas, dando el error absoluto y relativo porcentual referido al valor teórico en forma tabulada.
12. Enlistar las principales características de la carga trifásica obtenidas con el analizador de redes.

VI. OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

Dar sus conclusiones y observaciones en forma clara y concisa, como mínimo 5 conclusiones las más importantes del experimento realizado

VII. BIBLIOGRAFIA

Indique la bibliografía o página web que utilizo.



Carga trifásica balanceada



Circuito trifásico conectado al analizador de redes



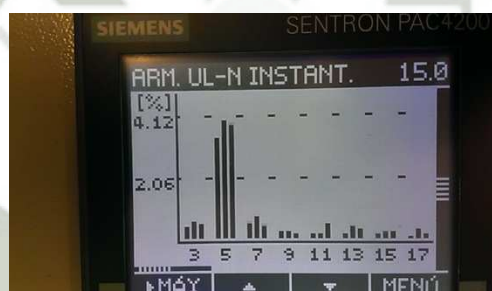
Distorsión total de armónicas de tensión en las líneas



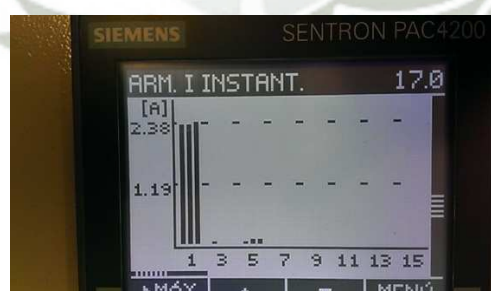
Distorsión total de armónicas de corrientes en las líneas



Diagrama fasorial del circuito



Distorsión armónica de tensión



Distorsión armónica de corrientes



Desbalance de cargas del circuito



Tension entre líneas y neutro



Tension entre líneas



Corrientes en las líneas y el neutro



Potencias reactivas en las líneas



Potencias activas en las líneas



Potencias aparentes en las líneas



Potencias totales del circuito



Factor de potencia en las líneas



Factor de potencia en las líneas

PRACTICA N° 03

INTRODUCCION A LOS MOTORES ELECTRICOS TRIFASICOS

4. **OBJETIVO:** Reconocer los datos de placa de los motores eléctricos, así como también sus partes principales y parámetros eléctricos característicos, empleando el analizador de redes.

5. **ELEMENTOS A UTILIZAR:** Para los fines del ensayo se utilizará.

- 01 Motor eléctrico
- Multímetro.
- Puente de resistencias
- Destornilladores planos y estrella.
- Contactores
- 01 pulsador NA y NC
- Pinza amperimétrica
- Modulo analizador de redes

6. **PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN:**

k. Reconocer e identificar los terminales del motor, y registrar los valores de resistencia obtenida de cada bobina del motor.

l.

Tabla 1

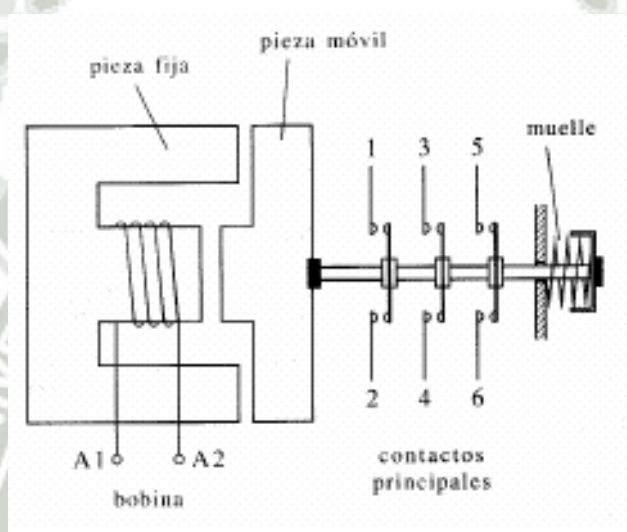
<i>Bobina 1</i> <i>(u-x)</i>	<i>Bobina 2</i> <i>(v-y)</i>	<i>Bobina 3</i> <i>(w-z)</i>

m. Registrar los datos de placa del motor (Indicar el tipo de motor según la información obtenida).

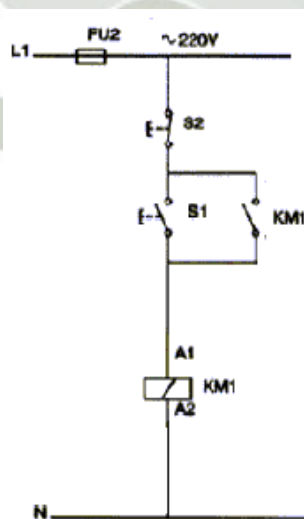
Tabla 2

n. Reconocer las partes principales de un contactor

o.

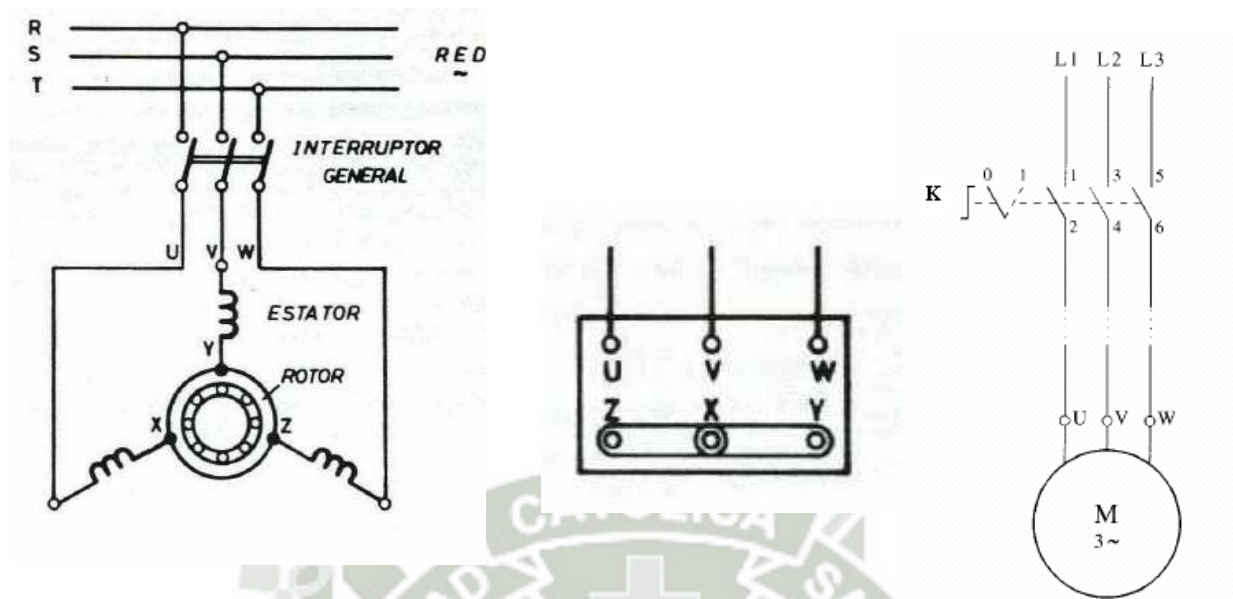


p. Elaborar el circuito de mando para el arranque directo del motor eléctrico.



Circuito de mando

q. Armar el circuito de fuerza para el arranque del motor eléctrico.



r. Arrancar el motor y medir la corriente de arranque y la corriente nominal en vacío.

$I_{nominal}$	$I_{arranque}$	$I_{vacío}$

Tabla 3

5.- CUESTIONARIO

- 5.1.- Explique el principio de funcionamiento de los motores eléctricos
- 5.2.- Realice una clasificación general de los motores eléctricos.
- 5.3.- ¿Cuáles son las partes principales de un motor eléctrico?
- 5.4.- ¿Cuáles son los datos de placa más importantes en un motor eléctrico?
- 5.5.- ¿Por qué la corriente de arranque de un motor es tan alta (mayor a la corriente nominal o de placa)?
- 5.6.- ¿Qué ventaja y desventajas tiene un motor monofásico comparado con un motor trifásico?

- 5.7.- ¿Qué tipos de arranque existen para el funcionamiento de los motores eléctricos?
- 5.8.- ¿Por qué las corrientes de la tabla N°3 son diferentes?. Explique cada una de ellas con detalle.
- 5.9.- ¿Qué es un contactor y que función cumple en el arranque de un motor eléctrico?
- 5.10.- ¿Qué diferencia existe entre un pulsador normalmente abierto y uno normalmente cerrado?
- 5.11 Enliste todos los parámetros obtenidos mediante el analizador de redes

6.- OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES:

Indicar por lo menos 5 de cada una.

7.- BIBLIOGRAFÍA: Indique la bibliografía utilizada o la dirección WWW.





Motor trifásico de inducción

SIEMENS		3~Motor 1LA7 132-4YB80 IE1			
		10 HP	132 S/M	Aisl. F	60Hz
S1	IP55	220ΔΔ/380YY/440Δ V	FP 0.83		
η	88.3	24.4 / 14.1 / 12.2 A	Ia 6.0In		
MB3	1755 rpm	Tn/To 40.5/93.2 Nm	FS1.15	51.8kg	
ROD 620B 2Z C3		1000msnm	Te -15/40°C	IEC34	

Datos de placa del motor de inducción trifásico

CONCLUSIONES

- Podemos mencionar que nuestro módulo, posee características que son de gran utilidad en el adiestramiento del alumno en el área de las mediciones eléctricas; es decir, que nuestro módulo ha sido concebido para analizar el comportamiento de los principales parámetros eléctricos como son la tensión, corriente, potencias eléctricas, energías eléctricas, factor de potencia y armónicas.
- A través de pruebas realizadas, se verifica la ventaja de visualizar simultáneamente los parámetros de funcionamiento de un circuito eléctrico, y entre los principales tenemos la tensión, corriente, potencias eléctricas, energías eléctricas, factor de potencia y armónicas tanto por fases y entre líneas.
- A través de las guías de prácticas de los diferentes laboratorios, ya sea del área de los circuitos eléctricos, como de las máquinas eléctricas, se podrá experimentar el funcionamiento y características de operación del tablero analizador de redes.
- Por último, podemos concluir que se cumple con los objetivos planteados al iniciar el desarrollo del trabajo de tesis.

RECOMENDACIONES

- Se debe de tener en conocimiento previo de las prácticas a realizar.
- El operador del módulo analizador de redes, deberá examinar detenidamente los elementos que se ponen a su disposición, con objeto de conocer las características más importantes.
- El alumno debe acostumbrarse (por muy sencillo que sea el esquema) a comprobar el correcto montaje para la realización de los ensayos, efectuando los cálculos teóricos previos, esto con la finalidad de conocer la magnitud de los parámetros eléctricos, lo cual servirá para seleccionar el rango adecuado de los instrumentos de medición.
- Referente a la distribución de los alumnos en las mesas de trabajo debe hacerse de forma que todos tomen parte activa y continua en el desarrollo de las prácticas, para lo cual se recomienda un número de alumnos que no excedan de 4 por grupo; así será también más sencillo para el profesor explicar y desarrollar el tema a tratar.

BIBLIOGRAFÍA

1. Metrología eléctrica , Andres Karc tomos I, II y III
2. Medidas eléctricas, W. Stevenson.
3. Mediciones eléctricas modernas, F. Giacosa 2002
4. Máquinas Eléctricas y Transformadores Irving L. Kosow 1996
5. Prácticas de Laboratorio de Maquinas eléctricas J. Palacios Vergel 1986.
6. Guía de Laboratorios de Maquinas Eléctricas y accionamientos eléctricos. M.M. Kastman. 2001.
7. Guía de Laboratorios de Maquinas Eléctricas. M.C. Tanca V. 2008.



ANEXOS

Power quality monitoring for electrical power systems

The SENTRON PAC4200 is a feature packed power monitoring device that is suitable for use in industrial, government and commercial applications where basic to advanced metering, logging, and I/O is required. The meter may be used as a stand alone device monitoring over 200 parameters or as part of an industrial control, building automation or global enterprise wide monitoring system.

Advanced power quality monitoring and logging applications range from single low voltage breaker / building metering to sub-station main feeder monitoring, sub-billing or cost allocation installations with multiple tariffs. The SENTRON PAC4200 can also be used to support LEED certification and provide the needed energy metering data for federal/local government EPCAT 2005 energy reduction programs.

Whether your goal is to reduce operation cost, reduce your carbon footprint or to maintain your power assets, the PAC 4200 meter should be an important part of your power monitoring system.

The SENTRON PAC4200 provides open communication using the standard built-in Ethernet Modbus TCP, Optional Modbus RTU or PROFIBUS-DP protocols for easy integration into any local or remote monitoring system. The gateway functionality of this device reduces installation cost by replacing other gateway devices and simplifying wiring. Simple configuration of the meter can be done from the front display or by using a PC with SENTRON powerconfig setup software, supplied with the meter.



SENTRON PAC4200

SENTRON PAC PROFIBUS DP and MODBUS RTU expansion modules for remote data transmission.

Two Digital Input and two Digital Outputs as standard

MODBUS TCP integrated into the meter as standard

Terminal blocks for voltage and current measuring, control power and digital input and output

Digital input and output module provides 4 additional digital inputs and 2 digital outputs



Power management and SENTRON PAC4200

The SENTRON PAC4200 can easily be integrated into a power management system using Modbus TCP (standard), Modbus RTU (option) or PROFIBUS-DP (option). With communication, the SENTRON PAC4200 transmits measured values to the supervisory systems, where the data can be further processed for display and control. As a serial to Ethernet gateway, this device can reduce cost by replacing other devices and simplifying wiring while giving visibility to downstream devices.

The PAC4200 can also serve two masters via the TCP connection, so multiple supervisory systems can access the data. This helps to reduce system cost by eliminating the need for duplicate devices.

Siemens offers the WinPM.Net power management software which can provide easy integration to the SENTRON PAC4200 meter. WinPM.Net provides standard overview displays allowing detailed analysis of the electrical power, which allows for easy allocation of power consumption and cost. Additionally, unexpected operating conditions can be detected on a timely basis.

SENTRON PAC4200 makes consumption apparent

To accomplish a sustainable reduction of power costs, you must first analyze the electrical system's current consumption and power flows. The SENTRON PAC4200 power meter precisely and reliably delivers the required information of power values to put you on the path to reduce your

power cost and provides logging for 40 days at 15 minute intervals in non-volatile RAM.

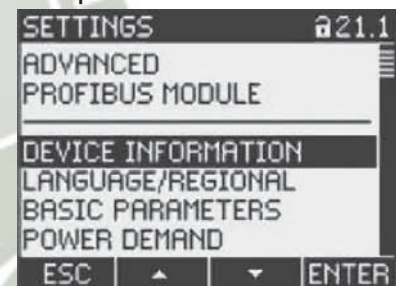
Applications Summary

- **Ideal for replacing multiple analog meters.** Use it for external (enclosure) or embedded automatic meter reading in panels, switchboards, switchgear, transformers, and more, to allocate energy costs on a building by building basis.
- **Basic Metering**
The PAC4200 offers high-accuracy power, energy and demand measurements. These revenue-accurate values can be used for bill verification, monitoring backup power on critical systems and offering cost effective energy solutions.
- **Cost Allocation / Energy Monitoring**
Perfect for monitoring right down to the tool level, the meter can help monitor cost centers, identify opportunities for demand control and check energy consumption patterns. The acquisition of power or energy can be based on a certain time frame (15 min. time interval) or controlled by a signal.
- **Automation integration monitors critical equipment processes and ties directly to the Siemens family of PLCs and automation networks.** Full integration into the Simatic system is made easy using one of several methods. One method is powerrate a premium add-on for WinCC and PCS7. It can be used for energy management and control. Another is pre-engineered faceplates integrated into the Simatic library or by simply using the GSD files available for the meter.

¹⁾ 99mm, 3.90 in., with expansion module

- **Sub-Metering**
Low cost, high accuracy and simple retrofit installation enables economical measurement of commercial and residential tenant space. Integrate the PAC4200 with existing energy management systems and RTUs. Reduce energy consumption by eliminating previously uncontrolled expenses.

Example of the PAC4200 menu



Example of operating menu: The texts can be displayed in several languages, which can be selected directly on the device.²⁾ The large graphic LCD display facilitates reading even from a distance. For optimum visibility even in poor light conditions, the SENTRON PAC4200 comes with a gradually adjustable background illumination.

Large graphic LCD display provides:

- Display title or designation of the displayed measurements
- Phase angles and measurements
- Measured real-time and min/max values
- All reading with appropriate units
- Custom labeling for function keys
- Bar charts showing up to the 31st harmonic
- Four user defined custom screens with numeric or bar chart values

²⁾ Languages included as standard in the meter are English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese, Turkish, Russian and Chinese.

Functional features

Instantaneous values		
Voltage	Phase-phase / phase-neutral	✓
Currents	Per phase and neutral (calculated)	✓
Apparent, active and reactive power (kW, kVAR, kVA)	Per phase and total	✓
(PF) and displacement power factor (cos phi)	Per phase and total	✓
Frequency	45...64 Hz	✓
THD for voltage and current	Per phase	✓
Individual harmonics	Through the 31st for volts and amps	✓
Min. / max. values	Voltage - phase-phase, phase-neutral	✓
	Current / Power / Power factor / THD/ ϕ per phase	✓
	Frequency, phase angle	✓
	Three phase average voltage and current	✓
	Odd harmonics for voltage and current per phase up the 31st	✓
	Demand values for active, apparent and reactive power	✓
Average values	Voltage - phase-phase, phase-neutral	✓
	Voltage min. / max. for phase-phase-phase-neutral	✓
	Current	✓
	Current min. / max.	✓
Energy measurement – logging		
Real (active) energy (kWh)	Import / export; high / low tariff	✓
Reactive energy (kVARh)	Positive / negative; high / low tariff	✓
Apparent energy (kWh)	High / low tariff	✓
Energy demand per measuring period	Three phase average rating for active and reactive power	1 to 60 min.
kW, kWd and Min. / max. logging	40 days Non-volatile log file @ 15 minutes	✓
Event logging	4000 events in non volatile memory	✓
Meter running counter	Uptime in hours	✓
Universal counter	Pulse counting of external devices like water, gas, etc.	✓
Measurement accuracy		
Zero blind	Measurement per IEC 61577-12	✓
Sampling rate	170 samples/cycle at 60Hz (1) ¹⁾	✓
True RMS measurement	For voltage and current harmonics up to the 31st	✓
Voltages		±0.2
Currents		±0.2
Power factor and power		±0.5%
Active energy		Class 0.2S to IEC 61577-12 (correlates to Class 0.2S of the IEC62053-22 / ANSI C12.20)
Reactive energy		Class 2 in acc. with IEC 62053-23
Monitoring functions		
Set point monitoring	V, I, power, VAR, VA, Freq. THD, PF	Up to 12 values
Simple logic functions for alarming	Alarm via digital	
Phase unbalance	Voltage and / or >< current	✓
Communication		
Ethernet	Integrated into meter as standard and supports up to 32 Modbus serial devices in gateway mode with Modbus RTU module. (can support two masters simultaneously)	10/100 Base-T (100 Mbit/ sec)
Modbus TCP	Integrated RJ45 port	10/100 Base-T (100 Mbit/ sec)
PROFIBUS DP V1 expansion module	Optional • Parameterization via device front or with SENTRON powerconfig software • Transition of data via GSD file	• Support of all baud rates from 9600 BPS to 12 MBPS (9.6 Kbit/ sec to 12 Mbit/sec)
Modbus RTU expansion module	Optional – required for gateway feature • Parameterization via device front or with SENTRON powerconfig software • Transition of data via MODBUS register based points	• Support of all baud rates of 4800, 9600, 19.2K and 38.4K BPS (4.8 / 9.6 / 19.2 and 38.4 kB/sec)

1) Per IEC61557-12, which defines the accuracy as percentage of reading.

Functional features (continued)

Digital inputs / outputs		
Integrated digital inputs	24 Vdc / 4 mA	2; dry contacts, requires external power
Integrated digital outputs	30 Vdc max. / 10-27 mA; 100 mA max.	2
Optional Digital I/O (expansion module) inputs	24 Vdc / 4 mA	4 per module; wet, no external power needed
Optional Digital I/O (expansion module) outputs	30 Vdc max. / 10-27 mA; 100 mA max.	2 per module
General		
Password protection		✓
Technical data		
Two-quadrant (import) / four-quadrant (import and export) measuring		4Q
Measurement types		1 ph, 2 ph or 3 ph
Applicable for network type		TN, TT, IT
Measured voltage without transformer	Direct connection up to max. delta/wye	690 V / 400 V (CAT III) for IEC 600/347 for UL / CSA
Current inputs	Settable on device	1A or 5A nominal
Power supply	AC/DC	95...240V AC (±10%) / 110...340V DC (±10%)
Dimensions	L x W x D in mm	96 x 96
	Installation depth without module (mm)	77 mm / 3.03in.
	Installation depth with module (mm)	99 mm / 3.90 in.
Degree of protection	Front	IP65 - NEMA 12
	Rear	IP20 - NEMA 1
Operating temperature	°C / °F	-5...+55 / +23...+131
Display	Type	Background-illuminated graphic LCD
	Resolution (pixels)	128 x 96
Text displays		Multilingual
Optional Ports	2	Two ports are available for optional modules

Certifications

UL61010-1, 2nd Ed. Safety of Electrical Equipment for Measurement, Control and Laboratory Use Part 1: General Requirements

CAN/CSA-C22.2 NO. 61010-1-04, 2nd Ed. Safety for Electrical Equipment for Measurement, Control and Laboratory Use

Order information

Product	Order number ¹⁾
SENTRON PAC4200 compression terminals not suitable for use with ring tongue terminals, AC/DC	7KM4212-0BA00-3AA0
SENTRON PAC PROFIBUS DP expansion module	7KM9300-0AB00-0AA0
SENTRON PAC MODBUS RTU expansion module	7KM9300-0AM00-0AA0
SENTRON PAC I/O module 4DI + 2DO	7KM9200-0AB00-0AA0
Connector block suitable for use with ring tongue terminals	Consult Siemens Sales
SENTRON Adapter Plate for 4700/4720 meter cutout	93-47ADAPTER
SENTRON PAC32/4200 Meter DIN Rail adapter – Meter display will not be seen	7KM9900-0YA00-0AA0
SITOP Power Supply AC 99-264VAC, 24 VDC, 0.5A	6EP1331-2BA10

1) Omit dashes from part numbers when ordering except on 93-47ADAPTER.

Siemens Industry, Inc.
Building Technologies Division
5400 Triangle Parkway
Norcross, GA 30092
1-800-964-4114

info.us@siemens.com

www.usa.siemens.com/access

Subject to change without prior notice.
Order No: PMSS-PAC42-0510
All rights reserved.
Printed in USA
©2010 Siemens Industry, Inc.

The information provided in this brochure contains merely general descriptions or characteristics of performance which in case of actual use do not always apply as described or which may change as a result of further development of the products. An obligation to provide the respective characteristics shall only exist if expressly agreed in the terms of contract.

All product designations may be trademarks or product names of Siemens AG or supplier companies whose use by third parties for their own purposes could violate the rights of the owners.