



ISMMM

INSTITUTO SUPERIOR MINERO
METALURGICO DE MOA
DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ

**Ingeniería Eléctrica
Facultad: Metalúrgica
Electromecánica**

Trabajo de Diploma

**En opción al Título de
Ingeniero Eléctrico**

*Puestos de laboratorio para la medición de variables
eléctricas utilizando instrumentos de medición directa,
integradores y registradores*

Autor: Manuel Luis Granda Santos

Tutor: Ms C. Reineris Montero Laurencio.

Ing. Geolvis Galano Urtate.

**Moa, Holguín
Junio del 2014
“Año 55 de la Revolución”**



DECLARACION DE AUTOR

Yo ***Manuel Luis Granda Santos*** autor de este trabajo de Diploma y el tutor ***Ms.C. Reineris Montero Laurencio*** declaramos la propiedad intelectual de esta investigación a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM) para que disponga de su uso con fines docentes.

Manuel Luis Granda Santos

Ms.C. Reineris Montero Laurencio



PENSAMIENTO

“Mientras no seamos un pueblo realmente ahorrativo, que sepamos emplear con sabiduría y con responsabilidad cada recurso, no nos podemos llamar un pueblo eternamente revolucionario”.

Fidel Castro Ruz



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a toda mi familia.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a la Revolución Cubana y a su máximo líder el Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz, a mis tutores M. Sc. Reineris Montero Laurencio. Ing. Geolvis Galano Urtate quienes me atendieron y ayudaron siempre que lo necesité.

A mi esposa Indira Ulloa por soportar mis largas horas de ausencia.

A mi hija Melanny por ser mi motor impulsor.

A mi madre Milagro Granda por quererme y apoyarme siempre.

A mis suegros Margarita y Wilfredo por brindarme todo su apoyo.

A mis compañeros de trabajo por el apoyo brindado.

A todos los profesores que desde 1ro a 6to dieron lo mejor de sí para contribuir a mi formación profesional.

A todas aquellas personas que de una forma u otra se interesaron por mí, llegue mi sincero agradecimiento.

A los mencionados hoy y a quienes imperdonablemente he olvidado vaya mi agradecimiento desde lo más profundo de mi corazón.

A todos “Muchas Gracias”

Manuel



RESUMEN

En el trabajo de diploma titulado “Puestos de laboratorios para la medición de variables eléctricas utilizando instrumentos de medición directa, integradores y registradores consta de 3 capítulos.

En el trabajo se estructuro cuidadosamente la arquitectura teorico-metodologica de la investigación conociendo la base del problema existente, en la cual se demuestra la inexorable necesidad de la presente investigación donde llegamos a resultados que pueden ser aplicados en el futuro.

En el mismo aparecen características de los puestos de laboratorio para mediciones eléctricas, se describen las situaciones actuales del objeto de estudio tanto en diversidad como en calidad, y se determinan las causas negativas que influyen en la mala calidad de la energía.

Por otra parte se aborda lo relacionado con las perdidas de energía por mal conexionado de los contadores de energía. Donde se realizaran experimentos exploratorios para determinar cuales son estas perdidas.

En el trabajo se realiza un profundo análisis bibliográfico de la literatura clásica de mediciones eléctricas y de la especialidad, además de algunos artículos encontrados en páginas web de energía.com, se utilizaran software como “Enervista LAUND PAD”, se realizaran mediciones a diferentes tipologías de cargas con analizadores de redes eléctricas y se utilizara un generador de señales. También se implementara un puesto de laboratorio en el ISMMM para favorecer el aprendizaje de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

Finalmente aparecen en el trabajo las conclusiones y recomendaciones, así como las variantes de medición escogidas para estas propuestas en particular, lo cual contribuye al objetivo fundamental de este trabajo.

.



SUMMARY

In the work of diploma titled "Positions of laboratories for the mensuration of electric variables using direct, integrative mensuration instruments and inspectors consists of 3 chapters.

In the work you structure the theoretical-methodological architecture of the investigation carefully knowing the base of the existent problems, in which the relentless necessity of the present investigation is demonstrated where we arrive to results that they can be applied in the future.

In the same one they appear characteristic of the laboratory positions for electric mensurations, the current situations of the study object are described as much in diversity as in quality, and the negative causes are determined that influence in the bad quality of the energy.

On the other hand it is approached the related with the lost of energy for the energy accountants' bad conexionado. Where they were carried out exploratory experiments to determine which these lost ones are.

In the work he/she is carried out a bibliographical deep analysis of the classic literature of electric mensurations and of the specialty, besides some articles found in pages energy web.com, software like "Enervista LAUND PAD" was used, they were carried out mensurations to different tipologías of loads with analyzers of electric nets and a generator of signs was used. A laboratory position was also implemented in ISMMM for to favor the learning of the career of Electrical engineering.

Finally the conclusions and recommendations appear in the work, as well as the chosen mensuration variants for these proposals in particular, that which contributes to the fundamental objective of this work.



ÍNDICE	Pág.
Declaración de Autoría.....	II
Pensamiento.....	III
Dedicatoria.....	IV
Agradecimiento.....	V
Resumen.....	VI
SUMMARY.....	VII
 Capítulo I Marco teórico de la investigación	
1.1 Introducción.....	1
1.2 Estado del arte.....	5
1.3 Medición de potencia en circuitos eléctricos.....	8
1.3.1 Principios de la medición de potencia.....	10
1.3.2 Medición de potencia activa.....	11
1.3.3 Medición de potencia reactiva.....	13
1.4 Energía activa y reactiva: Contadores de energía....	14
1.4.1 Contadores de energía.....	14
1.5 Transformadores de medición de corriente y de tensión.....	16
1.6 Clasificación y características de las cargas eléctricas	17
1.7 Calidad de la onda de corriente y tensión.....	18
 Capítulo II Materiales y Métodos	
2.1 Introducción.....	22
2.2 Característica del puesto de laboratorio en la fabrica Moa Nickel S.A.....	22
2.2.1 Generador de señales Manta System MTS-5000....	24
2.2.2 Analizador de redes eléctricas PQM-T20 CA.....	26
2.3 Practicas Implementadas en el puesto de laboratorio de Moa Nickel S.A.....	27
2.3.1 Pruebas de efectos del mal conexionado de contadores de energía.....	28
2.3.2 Prácticas para apreciar los efectos de la tipología de	

	cargas en el comportamiento de las variables en un circuito eléctrico.....	30
2.3.3	Prácticas para apreciar los efectos de la presencia de distorsión armónica de corriente y de tensión.....	35
2.4	Características del puesto de laboratorio en el ISMMM.	37
2.5	Instrumentos analógicos utilizados en el puesto de laboratorio del ISMMM.....	37
2.5.1	Prácticas de laboratorio en el ISMMM.....	42
2.5.2	Manual de mantenimiento.....	43
2.5.3	Reparación de averías.....	43
 Capítulo III. Análisis de los resultados		
3.1	Resultados del efecto del mal conexionado de contadores de energía.....	45
3.2	Resultado de los efectos de las tipologías de cargas en el comportamiento de las variables en un circuito eléctrico.....	46
3.3	Resultados del efecto de la presencia de distorsión armónica de corriente y tensión.....	50
3.4	Generalidades de las prácticas a desarrollar en el puesto de laboratorio en el ISMMM.....	52
3.5	Valoración económica para la implementación del puesto de laboratorio en el ISMMM.....	56
	Conclusiones.....	58
	Recomendaciones.....	59
	Anexos.....	60



INTRODUCCIÓN

La medición de las variables eléctricas y en especial la potencia y la energía constituyen unas de las variables más importantes para el análisis energético de un sistema de suministro eléctrico. Existen disímiles modelos de instrumentos de medición para estas variables, sin embargo, los principios y los esquemas de medición son muy similares. La clasificación general de los instrumentos de medición, referidos a los de medición directa, integradores y registradores dan una idea de la funcionalidad y la aplicabilidad de los mismos.

Por otra parte en función del tipo de cargas presentes en los circuitos eléctricos se manifiesta en diferentes cuantías las energías activa, reactiva y aparente. Sin embargo resulta necesario independientemente de la naturaleza tecnológica de los equipos de medición (analógicos o digitales) comprobar la eficiencia con que se ejecutan estas mediciones y reconocer otros parámetros tan vitales como el comportamiento de la corriente, la tensión y la calidad de la energía.

En ocasiones se realiza un deficiente conexionado de los contadores de energía independientemente si se utilizan transformadores de medición para ello. No respetar la correcta conexión implica dejar de registrar diferentes cuantías de energía que pueden llegar hasta un tercio menor de la energía real que se consume.

Con los crecientes avances de la industria electrónica, así como, las diferentes funciones que realizan los aparatos tecnológicos que consumen electricidad, pueden manifestarse anomalías en la formas de onda de la corriente y de la tensión. Estas anomalías influyen en la calidad de la energía y como consecuencia en los regímenes operacionales de los equipos y en el comportamiento de las variables eléctricas.

Situación Problemática

- ✓ No se cuenta en el ISMMM con un puesto de laboratorio en el que se integre la medición de variables eléctricas mediante instrumentos de medición directa, integradores y registradores con la posibilidad de



utilizar como fuente de energía, no solo la red eléctrica si no también generadores de señales y un adecuado enlace con una computadora.

- ✓ Se requieren mejoras en el proceso de aprendizaje de las mediciones eléctricas, con todas las gamas de posibilidades de los efectos de las cargas tanto en circuitos monofásicos y trifásicos.
- ✓ La necesidad de conocer los efectos de las diferentes cargas eléctricas en la cuantificación de la energía eléctrica, sustentando ejemplos didácticos que contribuyan a una mejor formación del ingeniero eléctrico.
- ✓ No se cuenta con prácticas de laboratorios con la posibilidad de obtener representaciones reales de las formas de onda de corriente y de tensión ante la presencia de armónicos.
- ✓ No se conoce con precisión los efectos del mal conexionado de los contadores en la cuantificación de la energía eléctrica.
- ✓ El puesto de laboratorio que más se asemeja a las prestaciones que se quieren lograr con el presente trabajo posee insuficiencias en el conexionado de las cargas por lo que no cumple con las medidas de seguridad requeridas.

Problema de la investigación

Insuficientes puestos de laboratorio en el ISMMM para crear las habilidades en la medición de variables eléctricas.

Hipótesis:

Si se implementan puestos de laboratorio que permitan la medición de variables eléctricas bajo diferentes contextos, entonces se puede contar con actividades docentes que demuestren la importancia de una correcta medición de las variables eléctricas para favorecer el proceso de aprendizaje de la ingeniería eléctrica.



Objetivo General:

Implementar puestos de laboratorios que favorezcan la creación de habilidades teórico-prácticas en la medición de variables eléctricas donde se integren los instrumentos de medición directa, integradores y registradores con la utilización de la red eléctrica o generadores de señales y la posibilidad de enlace a computadora.

Objetivos Específicos:

- ✓ Implementar un puesto de laboratorio mediante el empleo de un generador de señales, analizador de redes eléctricas y computadora que enfatice los conocimientos teóricos en relación a la incidencia en las variables eléctricas del conexionado de los instrumentos de medición, el efecto de las cargas y la calidad de la energía.
- ✓ Implementar un puesto de laboratorio mediante el empleo de la red eléctrica de baja tensión; instrumentos de medición directa, integradores y registradores que facilite la creación de habilidades prácticas en relación a la incidencia en las variables eléctricas del conexionado de los instrumentos de medición, el efecto de las cargas y la calidad de la energía.

Campo de acción:

Medición de variables eléctricas.

Objeto de estudio:

Variables eléctricas en circuitos de baja tensión.

Métodos de investigación:

- ✓ Método de investigación documental y bibliográfica para la sistematización del conjunto de conocimientos y teorías relacionadas con el objeto de estudio.



- ✓ Método de investigación empírico: para contribuir a la descripción y caracterización del objeto de estudio y las principales regularidades de su fenomenología
- ✓ Método de investigación teórico y experimental para describir, caracterizar el objeto de estudio así como sus principales variable y regularidades a escala laboratorio.
- ✓ Método de Análisis y Síntesis: se empleó para determinar los factores claves que influyen en el fenómeno de la medición de las variables eléctricas, interrelacionar los efectos presentes que constituyen explicaciones de los resultados de las mediciones, analizar los nexos y las dependencias recíprocas.

Tareas:

- ✓ Diseño de los puestos de laboratorio.
- ✓ Montaje y puesta a punto de los puestos de laboratorio en el ISMMM y Moa Nickel S.A.
- ✓ Estudio de las potencialidades del generador de señales.
- ✓ Ejecución y registro de las pruebas experimentales
- ✓ Procesamiento de las mediciones.
- ✓ Elaboración del informe.



CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO



1.1 Introducción

Este capítulo tiene como objetivo abordar un conjunto de aspectos teóricos relacionados con las mediciones eléctricas que faciliten la comprensión de las distintas prácticas de laboratorio que se pueden desarrollar en los dos puestos que se implementaron. Aparecen las conexiones básicas para tomar las informaciones de la corriente y de la tensión que permitan determinar los valores de la potencia y la energía eléctrica con ayuda de instrumentos electromecánicos y digitales. Se hace referencia a temas como el mal conexionado de contadores de energía, tipologías de cargas y efectos de los armónicos en las ondas de corriente y tensión. Estos aspectos constituyen temas de obligado tratamiento cuando se quiere hacer un reconocimiento de los circuitos eléctricos de baja tensión.

1.2 Estado del arte

Para un mejor entendimiento del objeto de estudio es preciso mencionar algunos trabajos precedentes sobre el tema en cuestión, con la finalidad de determinar mediante sus resultados las deficiencias y los aportes que brindan entorno al tema propuesto. Diferentes publicaciones se han realizado acerca del tema a investigar, demostrando la gran importancia y el impacto de este en la esfera socioeconómica. A continuación se muestran algunos de los más influyentes para realizar el trabajo.

Rivero Domínguez y Moroso Duchart en el año (2005) realizaron un manual de operaciones, mantenimiento y reparación de averías: Banco de cargas para la medición con instrumentos analógicos e instrumentación digital moderna. En este estudio se detallan algunos métodos a utilizar para adquirir habilidades por los futuros ingenieros en los sistemas de mediciones eléctricas, este estudio tiene como debilidad la reducida gama de aplicaciones del laboratorio propuesto **[A]**.



Matos Blet, en el año (2003) realizó un trabajo con el objetivo principal de recuperar cuatro puestos de trabajo del laboratorio de Mediciones Eléctricas, dos de ellos se rediseñaron y se realizó el montaje de los mismos, añadiendo una pequeña alarma que permite avisar al profesor en caso de que exista algún cortocircuito durante la práctica. El resto de los puestos se diseñaron completamente permitiendo con los mismos el aprendizaje del empleo de instrumentos de medición como los amperímetros de medición y los voltímetros **[B]**.

Gilbert Benítez, J en el año (1999) resume las tareas que presenta un diseño metodológico de las asignaturas Circuitos Lógicos I, II, III, IV pertenecientes a la disciplina de circuitos eléctricos y mediciones eléctricas, donde se define la distribución temática de los contenidos y su división para la adquisición de conocimientos y habilidades, así como perfeccionar y actualizar las guías de laboratorios existentes según el plan C perfeccionado **[C]**.

Crespo Chamba, L.A / Ríos, J.C en el año (2008) demuestra que se puede confeccionar aplicaciones con prestaciones similares y a un menor costo de los analizadores de redes; el mismo presenta una solución mediante el empleo de transformadores de medición, tarjeta de adquisición de datos de la National Instrument 6009 y software LabVIEW, lo que permite la medición de las variables presentes en un sistema eléctrico. Los fines de esta aplicación son didácticos y en particular muestran los fenómenos relacionados con la calidad de la energía eléctrica. Aunque este es un trabajo de mucha calidad no se presenta para el ISMMM **[D]**.

Ortíz Noguera, A.E./(2001) realiza una preparación de las asignaturas Eléctricas I y II con una estructuración completa de las dos asignaturas, el autor implementó las variantes más lógicas para enseñar las mediciones eléctricas. Se trabajó en la búsqueda, análisis y preparación de bibliografía de apoyo. Este trabajo forma parte de los esfuerzos que realiza el instituto para lograr la calidad de la formación de los egresados en la carrera Ingeniería Eléctrica. La preparación metodológica que se propone conforma



un arma para enfrentar las limitaciones materiales que atentan contra el proceso docente educativo [E].

Se han realizado otros laboratorios en el ISMMM que están indirectamente relacionados con las mediciones eléctricas no tienen poseen las características de los puestos de laboratorios propuesto ellos son:

Sánchez Santos en el año (2007) propone un banco de medición en el que describe un sistema de medición para obtener datos en variadores de velocidad, aunque es un trabajo de mucha calidad no se ajusta al contenido de nuestra investigación ya que solo se basa en el estudio de los variadores de velocidad [F].

Herrera Sanchez, J.Y (2001) muestra los detalles de la modelación, creación y simulación de un laboratorio virtual de Protecciones Eléctricas que permite facilitar la realización de prácticas de laboratorio tanto para la enseñanza docente como para la investigación. Se describen las ecuaciones matemáticas que modelan los tipos de relés más utilizados en la práctica en nuestro país. Se utilizó el MATLAB 5.3, software potente, con un lenguaje técnico computacional de fácil uso y de mayor aplicación en la carrera [G].

Cuenca Sánchez, E. (2005) diseña un manual de mantenimiento, reparaciones y operaciones. Banco para la calibración de relés complejos, este trabajo es una guía metodológica para la utilización del mismo [H].

Columbié Silva, A.L (2005) Manual. Diseño, instalación y puesta en marcha de un puesto de trabajo para el Laboratorio de Máquinas Eléctricas, como bien lo define su nombre este puesto de trabajo solo va referido a las maquinas eléctricas. El autor en este trabajo no tiene en cuenta la valoración económica a de la propuesta a invertir [I].

En el trabajo con el título de: “Acceso remoto aplicado en instrumentos de medición”; México D.F, Colectivo de autores (2009). Se desarrolla una comunicación remota entre una computadora y un instrumento de medición,



con la finalidad de realizar prácticas de laboratorio a nivel licenciatura enfocado a la experiencia profesional, el mismo tiene también como finalidad contar con un laboratorio más sofisticado y de mayor tecnología, mejorando los métodos de aprendizaje y elevar la calidad en la educación. Este trabajo tiene relación con la investigación ya que se utilizan pruebas experimentales con registros en computadoras [J].

Aguilar Umaña. A plantea en su trabajo de tesis (2009) Guatemala “Confirmación Metrológica de patrones de referencia del laboratorio de metrología eléctrica del centro de investigaciones de ingeniería como fase preparatoria para el proceso de acreditación.” Hace referencia a la exactitud y fiabilidad que deben tener los laboratorios de mediciones eléctricas, aun con fines docentes y aunque el autor de este trabajo se refiere que los equipos de medición existentes en el mismo están obsoletos pueden ser utilizados [K].

María Triano J presenta en su trabajo titulado “Medición digital de potencia en laboratorio de máquinas eléctricas” México 2008 plantea como finalidad mejorar la calidad en el sistema de mediciones de parámetros eléctricos que se realizan en el Laboratorio de Mediciones Eléctricas en la región de Paraná, que en la actualidad se realizan mediante el uso de instrumental analógico además se refiere a la necesidad de actualizar los instrumentos del laboratorio para mantener la calidad del servicio requerido [L].

1.3 Medición de potencia en circuitos eléctricos

Resulta importante el reconocimiento de las variables eléctricas (tensión, corriente, factor de potencia, distorsión armónica, etc.) en los circuitos eléctricos, especialmente los de baja tensión a los cuales se encuentran conectados una inmensa cantidad y tipologías de cargas. No obstante unas de las variables que reflejan el grado de eficiencia con que se está utilizando la energía es la relación entre las potencias, en este caso la activa y la reactiva.

Los instrumentos para medir las potencias en los circuitos eléctricos se dividen en dos grandes grupos los analógicos y los digitales, estos últimos



con una gran gama de aplicaciones y resultan de una mayor precisión.

La **Potencia Activa** es la potencia capaz de transformar la energía eléctrica en trabajo. 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 y en consecuencia, cuando se habla de demanda eléctrica, es esta potencia la que se utiliza para determinar dicha demanda. Esta variable se representa por P y la unidad de medida es el Watt o el kilowatt (W, kW).

En cuanto a la **Potencia Reactiva** no produce trabajo útil sin embargo su presencia en las instalaciones eléctricas en las que existen bobinas o condensadores es de vital importancia, pues crean los campos magnéticos y eléctricos en dichos componentes. Se representa por Q y la unidad de medida es en voltiamperios reactivos (VAr).

Por su parte la **Potencia Aparente** en un circuito de corriente alterna, es la suma de la energía que disipa dicho circuito en cierto tiempo en forma de calor o trabajo y la energía utilizada para la formación de los campos eléctricos y magnéticos de sus componentes.

Las relaciones entre las variables definidas anteriormente se establecen en la siguiente ecuación [18].

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Se considera que idealmente la energía de los componentes capacitivos e inductivos de un circuito eléctrico es devuelta al circuito mismo sin consumirse, cuando los campos correspondientes se destruyen. Es por ello que la potencia aparente no es la realmente disipada en una instalación eléctrica (salvo cuando su factor de potencia sea la unidad). La potencia aparente se representa por S y la unidad de medida es en voltiamperios (VA).



En la figura 1.1 se puede apreciar la relación entre las variables de potencia mediante el denominado triángulo de potencia [18].

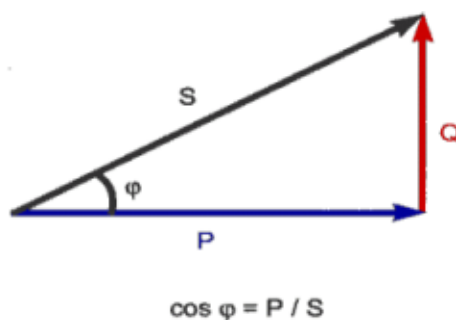


Fig.1.1 Triángulo de potencia.

1.3.1 Principios de la medición de potencia

Para facilitar el estudio de las mediciones eléctricas las mismas se clasifican de acuerdo con la forma en que se obtienen los resultados en directas e indirectas. En función de la precisión de los resultados se definen como técnicas, de control y alta precisión. Las *mediciones directas* se obtienen por la evaluación de datos experimentales, por ejemplo: medición de la corriente con amperímetro, medición de la tensión con voltímetros y de la potencia con wattmetros. Las *mediciones indirectas* se obtienen sobre la base de dependencias conocidas por ejemplo: Medición de la resistencia eléctrica sobre bases de las mediciones de corriente y tensión [18].

En nuestros días el ahorro de energía es muy necesario. Por esto el estudio de las mediciones de estas magnitudes es de vital importancia pues dicho ahorro se puede lograr a través del ajuste, del control y optimización de los aparatos que intervienen en los procesos productivos para los cuales se mide potencia o energía.

1.3.2 Medición de Potencia Activa

La medición de la potencia activa en los circuitos polifásicos se realiza al emplear uno o más wattmetros monofásicos que posea más de un



mecanismo. El número de estos a utilizar en cualquier circuito lo da el teorema de Blondel, cuyo enunciado es: la potencia de un circuito de n líneas se puede medir con n wattmetros dispuestos de modo que cada una de las n líneas contenga una bobina de corriente, estando conectadas las correspondientes bobinas de tensión entre cada línea y un punto común.

Medición de potencia en sistemas a tres hilos

En la figura 1.2 se muestra un esquema de medición de potencia activa en un circuito trifásico trifilar, donde se utilizan tres wattmetros monofásicos. El valor instantáneo de la potencia en la carga es igual a la suma de los valores instantáneos de las potencias en las fases individuales, es decir:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 \quad (1)$$

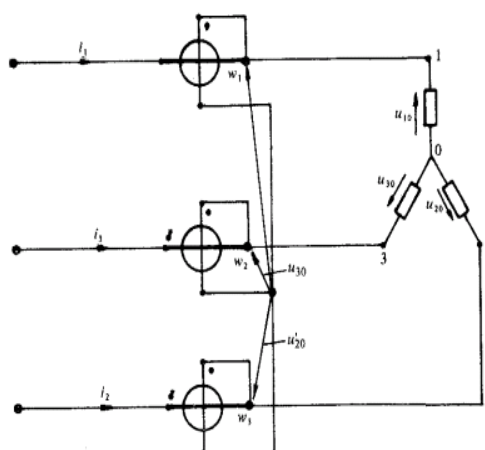


Fig.1.2 Esquema para medir potencia activa en un circuito trifásico trifilar con tres wattímetros.

Lo anterior demuestra que la potencia activa del circuito trifásico es proporcional a la suma de las indicaciones de los tres wattmetros, esto no quiere decir que la indicación de cada wattmetro sea proporcional a la potencia de cada fase. Si el neutro falso ($0'$) se hace coincidir con el de la carga (0), entonces la indicación de cada wattmetro es proporcional a la potencia de cada fase, pero si el neutro falso se conecta en una de las líneas como se muestra en la (Fig.1.3).

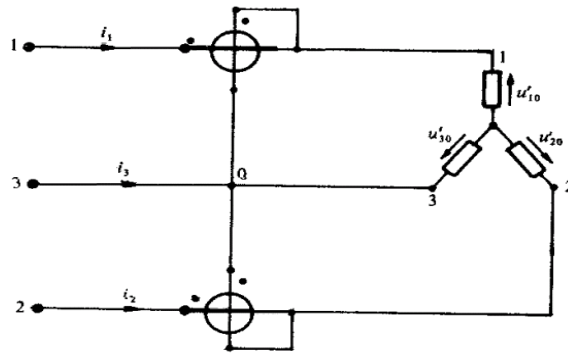


Fig. 1.3 Esquema para medir potencia en un circuito trifásico trifilar con dos wattímetros.

Esto demuestra que la suma de las indicaciones de dos wattímetros es proporcional a la potencia total de la carga independiente de sus condiciones, es decir, lo mismo para carga balanceada que desbalanceada y conectada en delta o en estrella.

Medición de potencia en sistemas a cuatro hilos

La medición de la potencia activa en circuitos trifásicos de cuatro conductores se efectúa con tres wattímetros (figura 1.4).

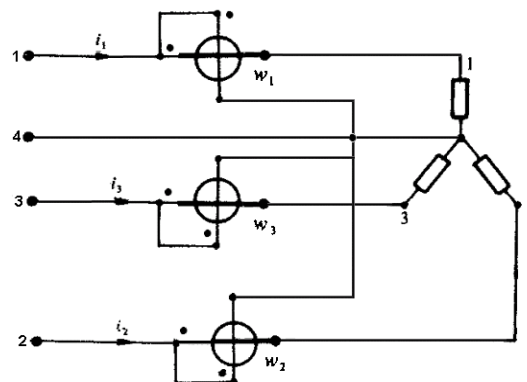


Fig.1.4 Esquema para medir potencia en circuitos trifásicos a cuatro hilos.

En este caso la carga puede ser balanceada o desbalanceada y cada uno de los wattímetros mide la potencia de una fase. La potencia total se determina por la suma de las indicaciones de los tres wattímetros, o sea: **[18]**.

$$P = P_{W1} + P_{W2} + P_{W3}. \quad (2)$$

1.3.3 Medición de potencia reactiva

La potencia reactiva no determina el trabajo realizado ni la energía entregada por una unidad de tiempo, sin embargo por analogía con el concepto de potencia activa, en la electroenergética se considera que la potencia reactiva determina la generación, la transmisión y el consumo de la magnitud convencional, llamada energía reactiva, la que oscila en el circuito de la fuente y la carga y de la carga a la fuente, este ciclo se repite 2 veces en cada periodo.

En los circuitos monofásicos la potencia reactiva se mide empleando barómetros que son wattmetros a los que se le introduce una red para desfasar la tensión aplicada a la bobina voltimétrica en 90° con respecto a la tensión aplicada a la carga [18].

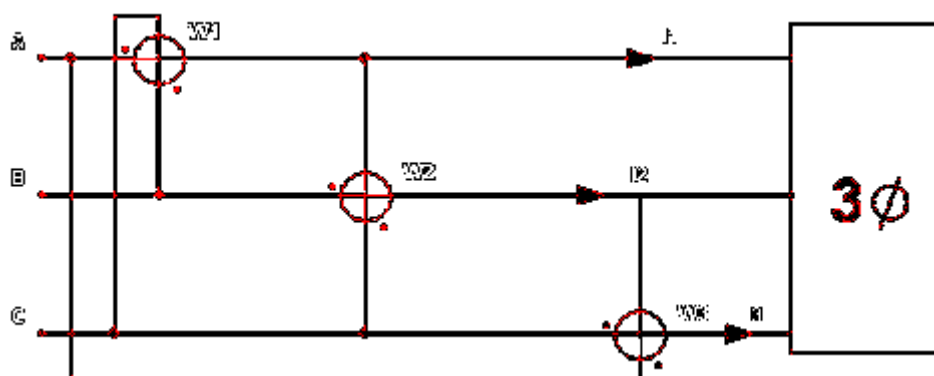


Figura 1.5 Esquema para medir potencia reactiva.

1.4 La energía activa y reactiva: contadores de energía

Todas las máquinas eléctricas alimentadas en corriente alterna convierten la energía eléctrica suministrada en trabajo mecánico y calor. Esta energía se mide en kW·h y se denomina energía activa. Los receptores que absorben únicamente este tipo de energía se denominan resistivos.

Las cargas industriales en su naturaleza eléctrica son de carácter reactivo, a



causa de la presencia principalmente de equipos de refrigeración, motores, etc. Este carácter reactivo obliga que junto a la energía activa (kWh) exista una **energía** llamada **reactiva** (kVAr), las cuales en su conjunto determinen el comportamiento operacional de dichos equipos y motores. Esta energía reactiva ha sido tradicionalmente suministrada por las empresas de electricidad, aunque puede ser suministrada por las propias industrias. Al ser suministrada por las empresas de electricidad deberá ser producida y transportada por las redes, ocasionando necesidades de inversión en capacidades mayores de los equipos y redes de transporte.

1.4.1 Contadores de energía

El contador de energía es un dispositivo que mide el consumo de energía de un circuito eléctrico o un servicio eléctrico. Existen medidores electromecánicos y electrónicos. Los medidores electromecánicos utilizan bobinas de corriente y de tensión para crear corrientes parásitas en un disco que bajo la influencia de los campos magnéticos produce un giro que a su vez mueve las agujas de la carátula [18]. Los medidores electrónicos utilizan convertidores análogos-digitales para hacer la conversión mediante circuitos electrónicos digitales. **En el anexo 1** aparece la explicación general de estos tipos de medidores y las imágenes correspondientes.

Los **contadores electrónicos** son contadores que basan el conteo de energía eléctrica en sistemas estáticos formados por circuitos electrónicos sin piezas móviles. Son aparatos de gran precisión, y fiabilidad, su insensibilidad a golpes y vibraciones además de mínimo consumo propio, de una gran previsión y capaces de detectar corrientes muy pequeñas.

Por otra parte han surgido sistemas de **telemedida** los cuales permiten medir el consumo de los usuarios y gestionar la energía por sistemas de control a distancia.

Un medidor de energía que se ha ido insertando en el sector estatal en Cuba y específicamente en las pequeñas y medianas empresas resultan los **medidores pre-pago**. Estos instrumentos están destinados a entregar una cantidad de energía eléctrica predeterminada como resultado de un proceso



de planificación y de contratación del servicio [17].

De manera general el **contador monofásico** es utilizado generalmente en el sector residencial y en ellos la bobina voltimétrica se conecta en paralelo con el circuito, produciendo un campo magnético proporcional a la tensión y la bobina amperimétrica en serie con el circuito a medir, produciéndose otro campo proporcional a la intensidad.

Los dos campos magnéticos que generan las bobinas atraviesan el disco de aluminio, creando un par de fuerzas que hace girar el disco en un sentido determinado. La cantidad de vueltas que da dicho disco es proporcional al par de fuerzas y al tiempo transcurrido. El totalizador o integrador registra las vueltas del disco y los transforma en saltos de numeración. Cuando se producen un número de vueltas determinado en el disco, salta un número en el totalizador.

Por su parte el **contador trifásico** se puede considerar compuesto por tres sistemas monofásicos, es decir, con tres bobinas voltimétrica y tres bobinas amperimétrica conectadas en estrella.

En el caso de los **contadores de energía reactiva** el principio de funcionamiento así como los elementos que lo componen son similares a los del contador de activa, si bien la bobina amperimétrica y la voltimétrica están desfasadas varios grados dependientes del esquema de conexión, para poder medir la componente vertical de la energía aparente. Hay varios sistemas para conseguirlo, pero el más usual es colocar una resistencia pura sobre las bobinas de tensión y de intensidad [18].

1.5 Transformadores de medición de corriente y de tensión

Los transformadores de medición de corriente (TC) y de tensión (TT) se emplean en circuitos de corriente alterna con el objetivo de convertir las

tensiones y corrientes grandes en pequeñas, que puedan ser medidas por los instrumentos donde el campo de medición es relativamente pequeño (100 V o 5 A).

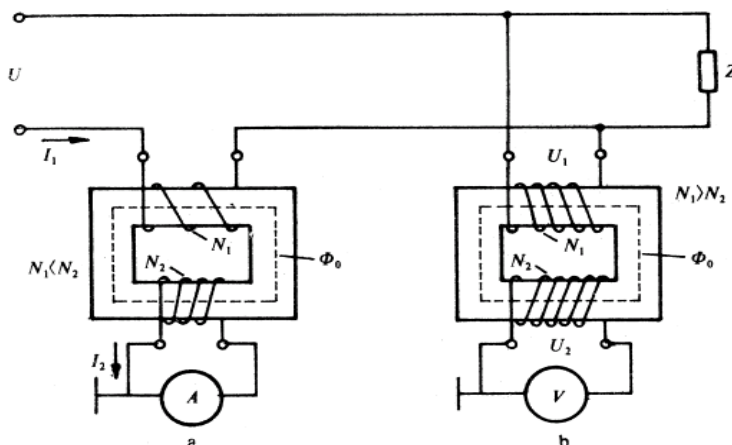


Fig.1.6 Esquema de transformadores de medición: a) de corriente; b) de tensión

Para los TC el coeficiente nominal de transformación se representa por K_{IN} y para los TT se representa por K_{UN} . Estos coeficientes permiten afectar los resultados de las mediciones por ejemplo de potencia por estos coeficientes para obtener los resultados reales. En el caso de que un contador de energía conectado mediante transformadores de corriente cuya relación nominal de transformación sea $K_{IN}=100$ debido a que el rango de corriente en el primario es de 500 A y en secundario de 5 A entonces se multiplica por 100 el consumo medio por el contador.

Los transformadores de corriente (TC) trabajan en régimen cercano a corto circuito, porque en su circuito secundario se conectan instrumentos de baja resistencia interna. La carga del secundario está constituida por las resistencias de los instrumentos conectados a él y la de los conductores en unión. Los transformadores de tensión (TT) al contrario de los TC, trabajan prácticamente en vacío porque al secundario se conectan instrumentos cuya resistencia interna es relativamente grande [18].



1.6 Clasificación y características de las cargas eléctricas

Se considera como carga todos los equipos que se encuentren conectados a un sistema eléctrico y realicen un trabajo en un tiempo determinado.

Carga resistiva: cuando en un circuito la carga instalada es resistiva pura, la intensidad de corriente esta en fase con la tensión y es una función inmediata de la tensión. Por lo tanto si la tensión y la intensidad de corriente están en fase el ángulo entre estos dos vectores es de cero grados. Son ejemplo de cargas resistivas: parrillas eléctricas, horno eléctrico, hornillas eléctricas, cafetera, sandwichera, calentadores de agua, duchas eléctricas, etc.

Carga inductiva: al igual que la resistencia el circuito más comúnmente encontrado es el circuito inductivo. Cargas inductivas son encontradas en cualquier lugar donde haya involucra dos bobinados, por ejemplo, en transformadores, motores, etc. En un circuito puramente inductivo la intensidad de corriente no está en fase con la tensión ya que va retrasada en 90° eléctricos. Un campo magnético el cual emplea energía es creado, entonces este campo es eliminado y la energía es restablecida sin pérdidas. En un circuito puramente inductivo, la potencia activa es nula. No existe un consumo de energía a pesar de que la corriente ha fluido. La inductancia consume potencia reactiva, usualmente expresada en volt-ampere reactivos ó (VAr).

Carga capacitiva: el capacitor es el tercer tipo de carga en un circuito. La capacitancia es designada por el símbolo “expresada en unidades de Faraday (F). En un circuito capacitivo la intensidad de corriente adelanta a la tensión en 90° . En un circuito puramente capacitivo, no existe consumo de energía aún si hay una corriente circulando. No obstante, el capacitor genera potencia reactiva expresada en volt-ampere reactivos. Del valor de la capacitancia podemos calcular la potencia reactiva [10]. En la figura 1.7 se puede apreciar cómo cambia el ángulo de desfase entre la corriente y la tensión ante la presencia en el circuito de las diferentes tipologías de cargas eléctricas.

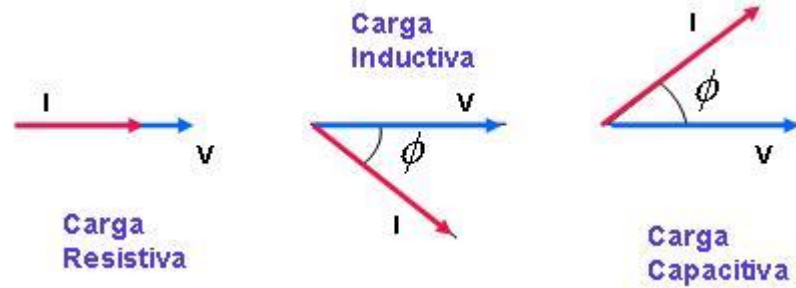


Fig. 1.7 Comportamiento del ángulo de fase entre la corriente y de tensión para diferentes cargas eléctricas.

1.7 Calidad de la onda de corriente y tensión

Cuando la onda de corriente o de tensión medida en cualquier punto de un sistema eléctrico se encuentra distorsionada, con relación a la onda sinusoidal que idealmente deberíamos encontrar, se dice que se trata de una onda contaminada con componentes armónicas.

Se dice que existe distorsión armónica cuando la onda sinusoidal, prácticamente pura, que generan las centrales eléctricas sufre deformaciones en las redes de alimentación a los usuarios [1, 2, 3]. Para cuantificar el grado de deformación de una onda de tensión o de intensidad que no es sinusoidal pura aunque sí periódica, con 60 Hz de frecuencia, se recurre a su análisis de frecuencia. Este se lleva a cabo normalmente mediante la transformada rápida de Fourier, un algoritmo de cálculo que nos proporciona los contenidos de las diferentes ondas sinusoidales puras que componen la onda deformada.

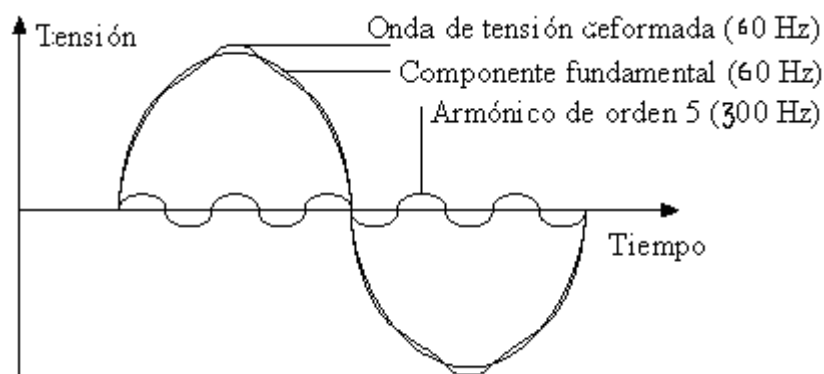


Fig.1.8 Onda de tensión deformada y sus componentes.

Actualmente, la calidad de la energía es el resultado del incremento del número de cargas sensibles en los sistemas de distribución, las cuales por sí solas, resultan ser una causa de la degradación de la calidad de la energía [10]. Existen consumidores altamente contaminantes de la red, al tener equipos, en muchos casos de envergadura, que significan cargas no lineales grandes generadoras de armónicos, tales son los casos de los hornos de fundición por arco eléctrico, los equipos de soldadura por arco, los equipos numéricos, los equipos de cómputo, laminadores, etc.

Clasificación de los armónicos

Cada armónico tiene un nombre, frecuencia y secuencia. La secuencia se refiere al giro del foso con respecto a la fundamental (f), por ejemplo, en un motor de inducción, el armónico de secuencia positiva generaría un campo magnético que gira en la misma dirección que la fundamental. Un armónico de secuencia negativa giraría en forma contraria [4, 5].

Dependiendo de su secuencia y rotación, los armónicos presentan diferentes efectos:

- ✓ Secuencia (+): rotación directa, puede producir calentamiento de conductores, rotura de circuitos, etc.
- ✓ Secuencia (-): rotación inversa, produce un freno en el motor, además



calentamiento de conductores y por ende problemas en el motor.

- ✓ Secuencia (0): no tiene sentido de rotación, pero puede causar calentamiento. La secuencia de armónicos cero (múltiplos de la 3a) son llamados "triplens". ver tabla (secuencia de armónicos). [21]

Secuencia.		
Armónico	Frecuencia (Hz)	Secuencia
0 (DC)	0	
1 (Fundamental)	60	+
2	120	-
3	180	0
4	240	+
5	300	-
6	360	0
7	420	+
8	480	-
9	540	0
10	600	+
11	660	-

Fig.1.9 Tabla Secuencia de los armónicos

Armónicos de tensión

Una red de alimentación puede ser fuente indirecta de armónicos de tensión. La relación entre la corriente de armónico absorbida por cargas no lineales y la impedancia de fuente del transformador de alimentación se rige por la ley de ohm, lo que provoca armónicos de tensión. La impedancia de fuente la constituyen el transformador de alimentación y los componentes de la línea.

Todas las cargas que compartan un transformador o una barra con fuente de carga de armónicos podrán ser afectadas por los armónicos de tensión producidas por los distintos componentes del sistema. Los armónicos de tensión pueden provocar un achatamiento de los máximos de amplitud de la onda de tensión, reduciendo de ese modo el "peak" de tensión. En el peor de los casos puede llegar a "resetearse" el computador a causa de la falla de alimentación.



Armónico de corriente

Un equipo que se alimente de la red monofásica puede alcanzar corriente hasta un mínimo regulado. Normalmente, antes que se alcance este límite el condensador se recarga hasta el valor de pico en el siguiente semiperíodo de la onda sinusoidal. Este proceso se repite una y otra vez. Básicamente, el condensador sólo absorbe un impulso de corriente durante la cresta de la onda, durante el tiempo restante de la misma; cuando la tensión es inferior al valor residual del condensador, éste no absorbe corriente [6, 7].

Normalmente las fuentes de alimentación con condensador y diodos que llevan incorporados los equipos de oficina son cargas monofásicas no lineales. En las plantas industriales, por el contrario, las causas más frecuentes de corrientes armónicas son cargas trifásicas no lineales, como motores de accionamiento controlados electrónicamente y fuentes de alimentación ininterrumpidas (UPS) [8].

En la figura 1.10 se reflejan claramente los niveles permisibles de corriente y tensión para los armónicos impares e impares.

Armónicos de orden impar no múltiplos de 3				Armónicos de orden impar múltiplos de 3				Armónicos de orden par			
Orden de los armónicos	BT	MT	AT	Orden de los armónicos	BT	MT	AT	Orden de los armónicos	BT	MT	AT
5	6	6	2	3	5	2,5	1,5	2	2	1,5	1,5
7	5	5	2	9	1,5	1,5	1	4	1	1	1
11	3,5	3,5	1,5	15	0,3	0,3	6	6	0,5	0,5	0,5
13	3	3	1,5	21	0,2	0,2	0,2	8	0,5	0,2	0,2
17	2	2	1	>21	0,2	0,2	0,2	10	0,5	0,2	0,2
19	1,5	1,5	1					12	0,2	0,2	0,2
23	1,5	1	0,7					>12	0,2	0,2	0,2
25	1,5	1	0,7								

Figura 1.10 Máximos niveles permisibles de armónicos [22]



CAPITULO II MATERIALES Y METÓDOS



2.1 Introducción

Este capítulo describe los materiales y métodos utilizados en los dos puestos de laboratorio implementados.

El primero de los puestos de laboratorio se encuentra ubicado en el Taller Eléctrico de la Empresa Comandante Pedro Soto Alba (Moa Nickel S.A) y tiene como objetivo sistematizar los aspectos teóricos relacionados con las mediciones eléctricas en referencia a la incidencia del mal conexionado de los instrumentos de medición, el efecto de las cargas y la calidad de la energía en las variables eléctricas. Este puesto utiliza tecnologías de punta y está constituido por un generador de señales, un analizador de redes eléctricas y una computadora.

El segundo puesto se implementó en el Laboratorio de Mediciones Eléctricas del ISMMM y tiene como objetivo crear habilidades prácticas en la medición de las variables eléctricas en los circuitos de baja tensión, mediante el empleo de los instrumentos de medición directa, integradores y registradores.

Los dos puestos en su conjunto tienen un carácter didáctico y facilitan la creación de habilidades prácticas para el reconocimiento de las características operacionales de los circuitos eléctricos, mediante la adecuada medición de sus parámetros y la correcta instalación de los instrumentos de medición requeridos.

2.2 Características del puesto de laboratorio en la fábrica Moa Nickel S.A.

En el puesto de laboratorio propuesto en Moa Nickel S.A los estudiantes pueden adquirir diversas habilidades relacionadas con:



- ✓ Instalación y manipulación de generadores de señales de altas prestaciones con la capacidad de generar casi todos los eventos que pueden ocurrir en los circuitos eléctricos de baja tensión.
- ✓ Instalación, programación y manipulación del analizador de redes eléctricas.
- ✓ Utilización del software ENERVISTA LAUNCH para la manipulación, registro y análisis de los resultados de las mediciones de las variables eléctricas obtenidas del analizador de redes.

La composición del equipamiento utilizado en la práctica se puede apreciar en la figura 2.1, en la cual de izquierda a derecha se presenta el generador de señales (Manta System – MTS 5000), el analizador de redes (PQM-T20 de la firma Multilin) y la computadora portátil. En este caso se generan y se fijan las diferentes magnitudes eléctricas de corriente, tensión y distorsión armónica, el circuito eléctrico se cierra a través del PQM y la computadora registra el comportamiento de las variables eléctricas.



Fig. 2.1. Imagen Instalación en el laboratorio.



Se realizaron experimentos exploratorios que constituyen una base para conformar el segundo laboratorio en el ISMMM, demostrándose las potencialidades de aprendizaje en instalaciones similares donde se conjuguen los instrumentos analógicos y digitales.

2.2.1 Generador de señales Manta Sistema MTS-5000

Un generador de señales, de funciones o de formas de onda es un dispositivo electrónico de laboratorio que genera patrones de señales periódicas o no periódicas tanto analógicas como digitales. Se emplea normalmente en el diseño, test y reparación de dispositivos electrónicos; aunque pueden tener otros usos.

La Manta posee 10 botones (F1...F10) que son usados para activar las opciones del menú que aparecen en la pantalla. Las opciones asociadas a estos botones cambian de acuerdo al submenú que se ha activado. Por ejemplo, cuando se energiza el sistema MTS-5000 aparece en la ventana inicial la opción “*Manual Test Menú*” (Menú de Pruebas Manuales) a la derecha del botón F1, lo que quiere decir que oprimiendo este botón F1 se puede acceder al Menú de Pruebas Manuales. En la figura 2.2 se pueden observar los botones para las diferentes opciones y la definición de las funciones. Una explicación de tallada se puede encontrar en manual del equipo [9]. En esta figura 2.2 se tiene que:

1. Botones de funciones.
2. Pantalla (display screen)
3. Botón de fallo (fault)
4. Botón de prefallo (prefault)
5. Botón de parada (reset)
6. Teclado (keypad)
7. Terminales de entrada (inputs)
8. Terminales de salidas digitales (outputs)
9. Salidas de tensión (voltaje)
10. Salidas de corriente (currents)
11. Interruptor principal y alimentación (power)
12. Bombillo indicador de salidas de corriente alterna
13. Bombillo indicador de la salida v4
14. Dial de modificación (knob)



- 15. Botón de ayuda (help)
- 16. Botones de movimiento (cursor control)
- 17. Botón de entrada (enter)

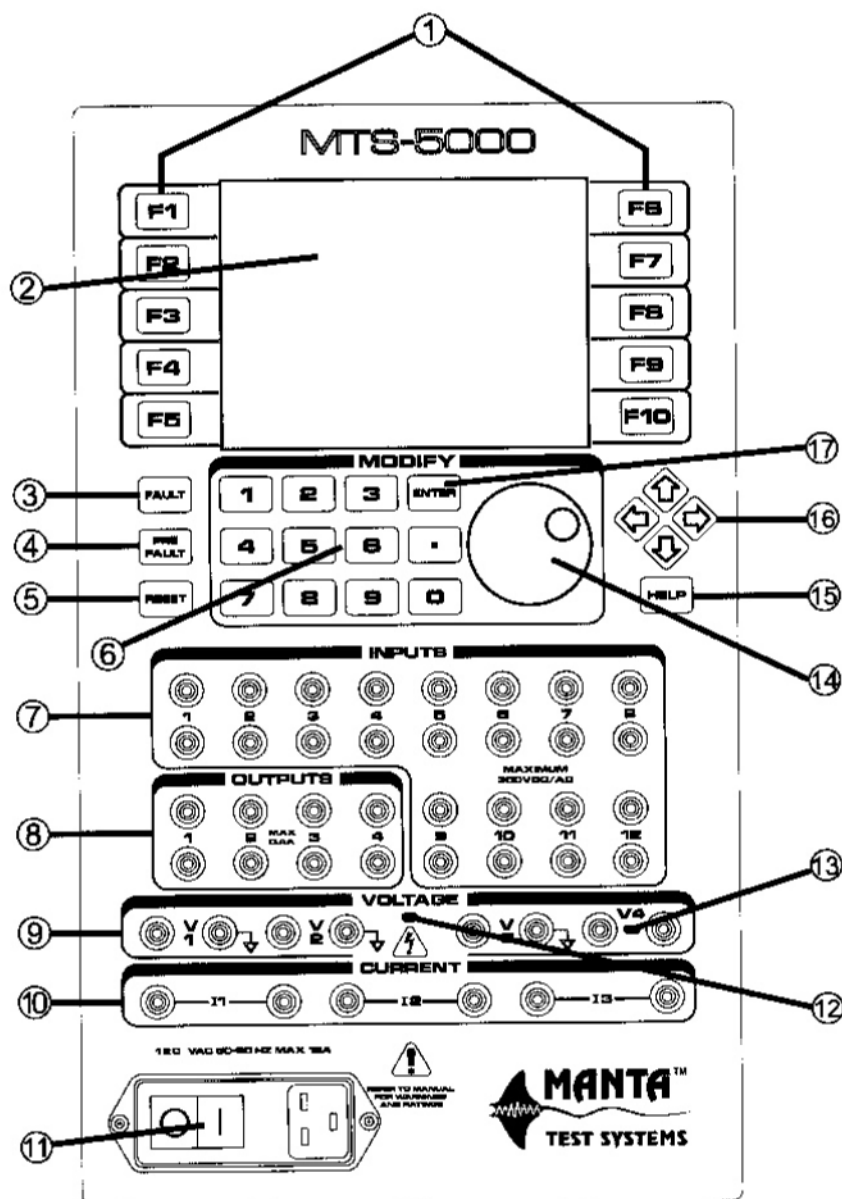


Fig. 2.2. Imagen de la Manta para definir las funciones de los botones y bornes.

En la pantalla del equipo los datos mostrados en azul pueden ser modificados directamente. El color gris oscuro significa que este dato no puede ser modificado directamente y que es un dato que se generará automáticamente por el equipo. Por ejemplo en la figura 2.3 el dato *Fault Timer* (Tiempo de Operación) no se puede modificar, está siendo calculado o contando automáticamente por el equipo.



Fig. 2.3. Display generador de la manta

Las potencialidades fundamentales de este generador de señales radican en que las magnitudes pueden ser iguales o diferentes para cada una de las fases y pueden incluir los siguientes aspectos: [9]

- ✓ Diferentes amplitudes de la corriente y de la tensión.
- ✓ Variación del ángulo entre la corriente y la tensión tanto en adelanto como en atraso.
- ✓ Cambio del orden del armónico presente en las señales tanto de corriente como de tensión.
- ✓ Cambio del porcentaje de armónico tanto de corriente como de tensión.

2.2.2 Analizador de redes eléctricas PQM-T20

El analizador PQM versión 301.000 con un voltaje de alimentación de 90/300V DC y 70/275V AC 50/60 Hz y con número de serie C6571379 Multilin, constituye una adecuada elección para monitorear un sistema



eléctrico, una imagen de este dispositivo puede apreciarse en la figura 2.1. [11].

Este equipo ofrece medida de intensidad, tensión, potencia real y reactiva, uso de energía, costo de la energía, factor de potencia y frecuencia. Tiene ajustes programables y cuatro salidas configurables que permiten añadir funciones de control para aplicaciones específicas.

El PQM puede utilizarse como dispositivo de recogida de datos para un sistema de automatización de planta que integre requisitos de proceso, instrumentación y eléctricos. Todos los valores medidos son accesibles a través de los dos puertos de comunicación RS485 en protocolo ModBus®. En caso de que se requieran valores analógicos para un interfaz directo con un PLC, cualquiera de los valores medidos puede enviarse como salida a una de las 4 salidas analógicas. El puerto frontal RS232 puede conectarse a un PC para ofrecer acceso instantáneo a la información registrada.

La calidad del sistema de energía es muy importante debido al creciente uso de cargas electrónicas, como ordenadores, lastres o drives de frecuencia variable. La opción de análisis de energía incluida en el PQM permite mostrar cualquier intensidad o tensión de fase y calcular el contenido de armónicos. Además, es posible obtener informes sobre oscilografía y registro de datos creados por el PQM, lo cual es de gran ayuda en el diagnóstico de problemas [11].

2.3 Prácticas implementadas en el puesto de laboratorio de Moa Nickel S.A.

Se pudieron haber creado varias prácticas en este puesto de laboratorio, pero se consideraron las que a continuación se exponen, por el tratamiento que se puede hacer a temas medulares de las mediciones eléctricas. Estas prácticas garantizan que el estudiante tenga que recurrir a conocimientos teóricos de otras asignaturas y de las propias mediciones eléctricas, para lograr la efectividad de las actividades. También es importante la capacidad



que se tiene con el puesto en generar registros para los análisis de las variables, algo en lo que persisten insuficiencias a la hora llegar a conclusiones sobre el comportamiento operacional de los sistemas eléctricos.

2.3.1 Práctica para determinar el efecto del mal conexionado de los contadores de energía.

Es muy importante no descuidar las pérdidas financieras que se producen anualmente debido a fallos de conexión en las instalaciones de contadores de energía. Existe una gran cantidad de circunstancias por las que se realizan fallos de conexión durante la instalación. En muchos casos dichos fallos no se detectan a tiempo antes de la facturación e incluso a veces pasan varios años, lo cual se traduce en pérdidas considerables para los suministradores de energía eléctrica.

Se han hecho estudios con el objetivo de ayudar a detectar a tiempo dichos errores durante la instalación y montaje gracias a equipos modernos como el Meter Test Equipment (MTE) pero en la mayoría de los caso y es específicamente en la Empresa Eléctrica de Cuba no se cuenta con él.

Los fallos más frecuentes en el conexionado de los contadores de energía esta relacionados con: fallos de conexión, interrupciones y cortocircuitos. Tales fallos se pueden presentar al instalar contadores nuevos, al sustituir los viejos por nuevos y a veces también en el curso de la operación.

La experiencia viene a demostrar que los fallos de conexión ocurren mayormente al instalar contadores polifásicos y muy especialmente, si estos se acoplan a transformadores de medida. Las interrupciones en el circuito de conexión del contador se pueden atribuir mayormente a fusibles deficientes en el circuito de medida y en ocasiones, a contactos flojos y conductores rotos. La presencia de cortocircuitos en el conexionado del contador rara vez se produce, pero en su caso se puede atribuir a deterioros en el aislamiento



por presión, calor o más aún por sobrecalentamiento. Las causas de éste suelen ser conexiones flojas.

Los casos de fallos de conexión más frecuentes y que se evaluarán en la práctica son:

- ✓ Corrientes o tensiones de las fases L1, L2 o L3 a circuito abierto.
- ✓ Corrientes o tensiones en las fases L1, L2 o L3 mal polarizadas o invertidas.
- ✓ Mala correspondencia de corrientes o tensiones entre las fases L1 con L2, L1 con L3 o L2 con L3.
- ✓ Corrientes o tensiones cíclicamente inter-cambiadas L2-L3-L1 o L3-L1-L2 en lugar de L1-L2-L3.

Actividad 1

Se pueden producir a la vez dos o más de los fallos citados en la instalación de un único contador, motivo por el cual resulta muy difícil visualizar el número de fallos posibles. La importancia de un conexionado correcto cobra mayor interés con el continuo incremento de los más modernos contadores multitarifa y contadores a cuatro cuadrantes [12]. Para demostrar esto se ha realizado un experimento con carga resistiva balanceada con los siguientes datos:

- ✓ Circuito trifásico de 4 hilos.
- ✓ Carga resistiva balanceada
- ✓ Corriente (10 A).
- ✓ Voltaje de fase 127V.
- ✓ Voltaje de línea 220V
- ✓ El circuito se cierra a través del analizador de redes (PQM) y las magnitudes se generan con la manta system MTS-5000.



Pruebas realizadas en el ensayo

- ✓ Circuito 1: Circuito correcto.
- ✓ Circuito 2: a circuito abierto, sin tensión en la fase A.
- ✓ Circuito 3: a circuito abierto, sin corriente en la fase A.
- ✓ Circuito 4: falsa polaridad en la fase A de corriente.
- ✓ Circuito 5: falsa polaridad en la fase A de tensión.
- ✓ Circuito 6: confundidas las tensiones entre fase B y C.
- ✓ Circuito 7: confundidas las corrientes entre las fases B y C.
- ✓ Circuito 8: sucesión ciclo de tensiones C, A y B.

2.3.2 Práctica para apreciar los efectos de la tipología de las cargas en el comportamiento de las variables en un circuito eléctrico.

En un circuito eléctrico pueden existir tres tipos de cargas en correspondencia con su carácter resistivo, inductivo y capacitivo. Las cargas que prevalecen en la mayoría de los casos son las resistivas y las inductivas en correspondencia con el uso final de la energía eléctrica en los diferentes equipos instalados.

Otro elemento importante tanto en los circuitos monofásicos como trifásicos resulta la magnitud de la corriente (dependiente de la carga) y de la tensión. Por otra parte en el caso particular de los circuitos trifásicos tanto de 3 o 4 hilos las cargas se pueden manifestar de forma balanceada o desbalanceada. También es posible que los circuitos trifásicos sean **simétricos** (si entre cada fase existen 120°) o **asimétricos** (si las fases son diferentes de 120°).

Actividad 2

Para representar de manera adecuada los efectos de las tipologías de las cargas en las diferentes variables eléctricas se realiza una práctica consistente en:



- ✓ Circuito trifásico de 4 hilos
- ✓ Carga resistiva pura balanceada.
- ✓ Tres niveles de corriente máximo (10 A), medio (5 A), mínimo (1 A)
- ✓ Disminución progresiva de la tensión de fase desde 150 V hasta 101 V en intervalos de 5 V.
- ✓ Forma de onda sinusoidal pura
- ✓ Secuencia de fases correcta ABC.
- ✓ Frecuencia constante del sistema 60 Hz.

Para esta prueba los vectores de la corriente y la tensión se encuentran en fase durante toda la prueba reproduciendo las características de las cargas resistivas, lo cual se puede verificar en la figura 2.4.

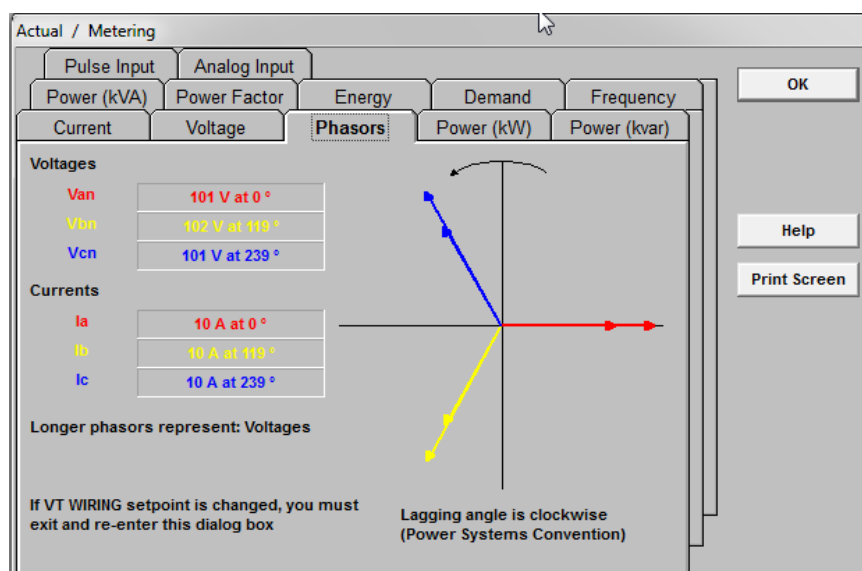


Fig. 2.4. Comportamiento de los vectores de I y V para cargas resistivas puras.

En la figura 2.5 a pesar de seleccionarse los datos de las corrientes y de las tensiones de las tres fases se aprecian solo tres gráficas debido a que estas magnitudes se encuentran en solapadas entre ellas.

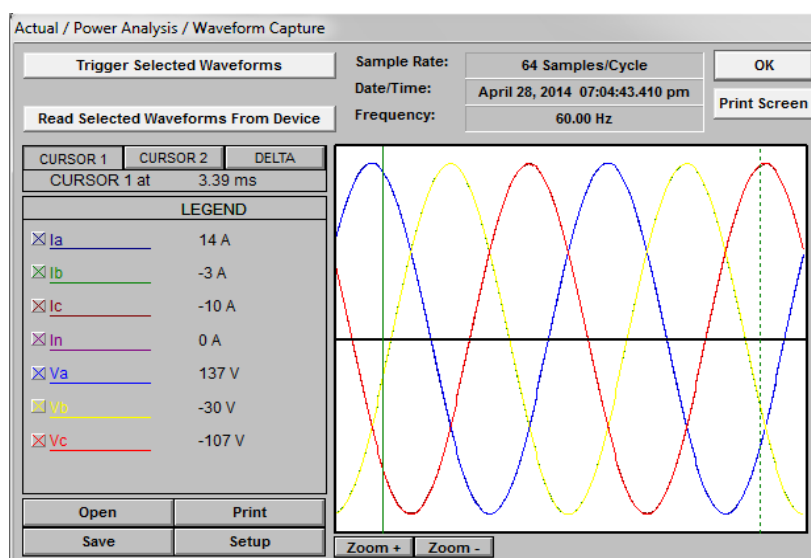


Fig. 2.5 Comportamiento de las ondas de I y V para cargas resistivas puras.

Actividad 3

En esta actividad se mantienen todas las características o parámetros de la actividad anterior solo cambiará fijaran las tensiones en los siguientes tres niveles, máximo (150 V), medio (127 V) y mínimo (101 V) y se cambiara la corriente de forma progresivamente en intervalos de 1 A.

Actividad 4

En esta actividad se parte de las siguientes características del circuito:

- ✓ Circuito trifásico de 4 hilos
- ✓ Carga capacitiva balanceada
- ✓ Tres niveles de corriente máximo (10 A), medio (5 A), mínimo (1 A) y de tensión máximo (150 V), medio (127 V) y mínimo (101 V).
- ✓ Disminución progresiva del ángulo dentro del cuadrante para una carga capacitiva con intervalos de 5 grados.
- ✓ Forma de onda sinusoidal
- ✓ Secuencia de fases correcta ABC.
- ✓ Frecuencia constante del sistema 60 Hz.

Para esta actividad los vectores se encuentran inicialmente desfasados -30° como se puede apreciar en la figura 2.6

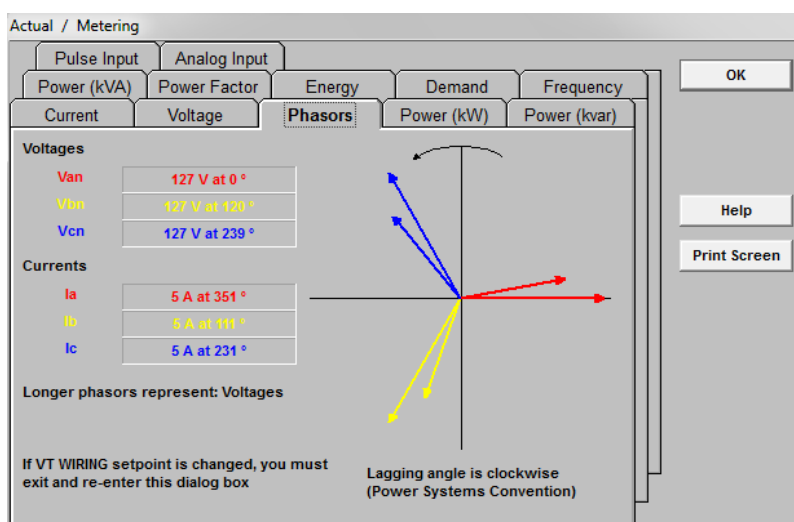


Fig. 2.6. Representación de los vectores de I y V para una carga capacitiva.

En la figura 2.7 se puede observar que como la onda de I y de V no está en fase se representan las seis curvas correspondientes a todas las fases.

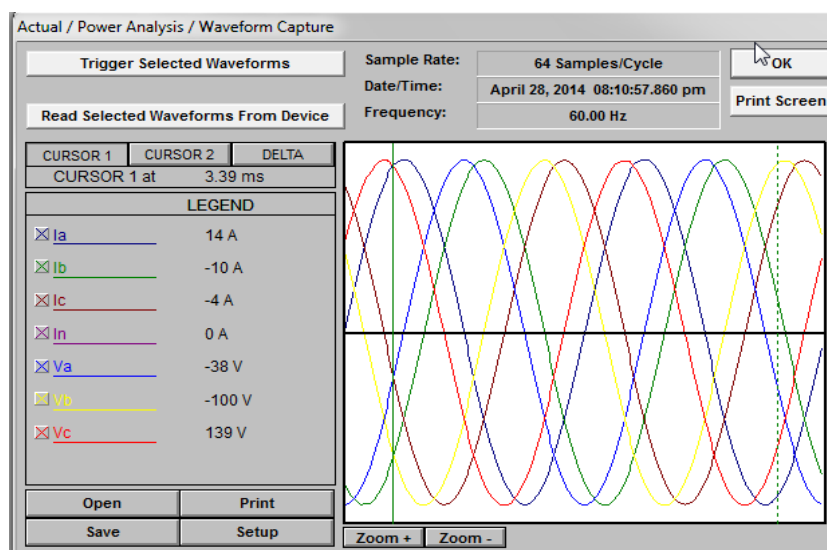


Fig.2.7. Forma de onda para Ia y la V para las cargas capacitivas.

Actividad 5

En esta actividad se parte de las siguientes características del circuito:

- ✓ Circuito trifásico de 4 hilos
- ✓ Carga inductiva



- ✓ Tres niveles de corriente máximo (10 A), medio (5 A), mínimo (1 A) y de tensión máximo (150V), medio (127V) y mínimo (101V).
- ✓ Disminución progresiva del ángulo dentro del cuadrante para una carga inductiva en intervalos de 5 grados.
- ✓ Forma de onda sinusoidal.
- ✓ Secuencia de fases correcta ABC.
- ✓ Frecuencia constante del sistema 60 Hz.

Para esta prueba los vectores se encuentran en fase durante toda la prueba reproduciendo las características de las cargas inductivas. Se parte de un ángulo inicial entre la I y la V de 30° . En la figura 2.8 se aprecia el estado inicial de los vectores.

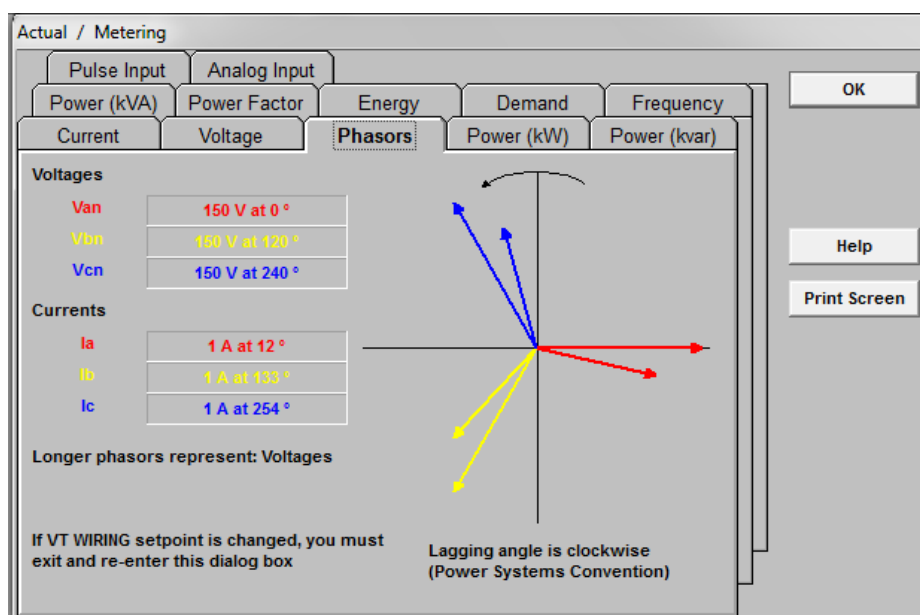


Fig. 2.8. Representación de los vectores de I y V para una carga inductiva.

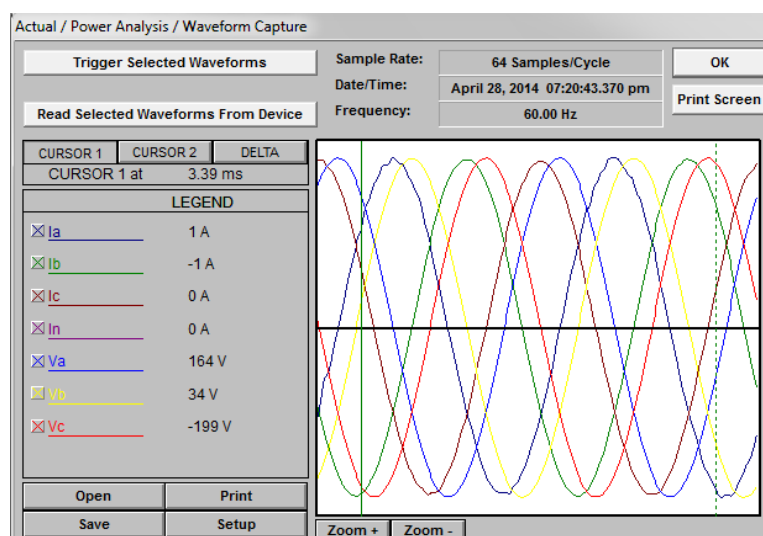


Fig. 2.9 Forma de onda para la I y la V para las cargas inductivas.

2.3.3 Práctica para apreciar los efectos de la presencia de distorsión armónica de corriente y de tensión

Para comprobar los efectos de la presencia de distorsión armónica tanto de corriente como de tensión en la forma de ondas de las mismas así como el efecto en las variables de potencia del circuito eléctrico se plantea la actividad 6.

Actividad 6

En esta prueba se realizará un barrido del orden de los armónicos desde el 2 hasta 13, se tomarán las formas de onda de corriente y tensión para tener una data de los efectos de ellos en la medición de la potencia y la energía eléctrica.

Parámetros prefijados en el circuito para realizar la actividad:

- ✓ Voltaje de fase, 127 V.
- ✓ Voltaje de línea, 220 V.
- ✓ Corriente de línea, 5 A.
- ✓ Carga inductiva, ángulo 15 grados.
- ✓ Distorsión de corriente de 10%.



- ✓ Distorsión de tensión 5%.

Actividad 7

La siguiente prueba se tomara como base el armónico de orden 3 por ser uno de los más predominantes en las cargas. Se mantendrán los parámetros de corriente y tensión se introducirá una distorsión de tensión desde 1 hasta 10% con un escalón de 1 % y una distorsión armónica de corriente en 0 %.

Parámetros prefijados en el circuito para realizar la actividad:

- ✓ Voltaje de fase 127V.
- ✓ Voltaje de línea 220V.
- ✓ Corriente de línea 5 A.
- ✓ Carga inductiva, ángulo 15°.

Actividad 8

La siguiente prueba se tomara como base el armónico de orden 3 por ser uno de los mas predominantes en las cargas de hoy en día se mantendrán los parámetros de corriente y tensión se introducirá una distorsión de corriente desde 5 hasta 50% con un escalón de 5 % y una distorsión armónica de tensión de 0 %.

Parámetros prefijados en el circuito para realizar la actividad:

- ✓ Voltaje de fase 127V.
- ✓ Voltaje de línea 220V.
- ✓ Corriente de línea 5 A.
- ✓ Carga inductiva, ángulo 15°.

2.4 Características del puesto de laboratorio en el ISMMM

En la figura 2.10 se representa la imagen del laboratorio implementado. Se puede apreciar la presencia de instrumentos integradores (contadores de energía), instrumentos registradores (analizador de redes eléctricas) y la posibilidad del uso de instrumentos de medición directa en las diferentes borneras con que cuenta el puesto. También se destaca el uso de los transformadores de corriente y la posibilidad de incorporación de disímiles cargas.

Para lograr una integración entre los componentes del Laboratorio de Mediciones y que los mismos tengan una determinada funcionalidad en aras de lograr la mayor cantidad de pruebas se presenta en la figura 2.9 el diagrama en bloque.

La entrada de energía puede realizarse por dos vías fundamentales directamente desde la red eléctrica o desde un generador de señales a través del conector (C1). También se pueden incorporar diferentes instrumentos de medición directa básicamente amperímetros (A) y voltímetros (V) u otros que requieran de estas magnitudes para conformar el resultado de una medición.



Fig.2.10 Imagen del puesto de Laboratorio propuesto

En ocasiones las magnitudes de corriente y tensión fundamentalmente la de corriente requieren transformadores de medición para adaptar los rangos de estas magnitud a las escalas predeterminas en diferentes instrumentos. El valor estándar de esta corriente por lo general es de 5 A.

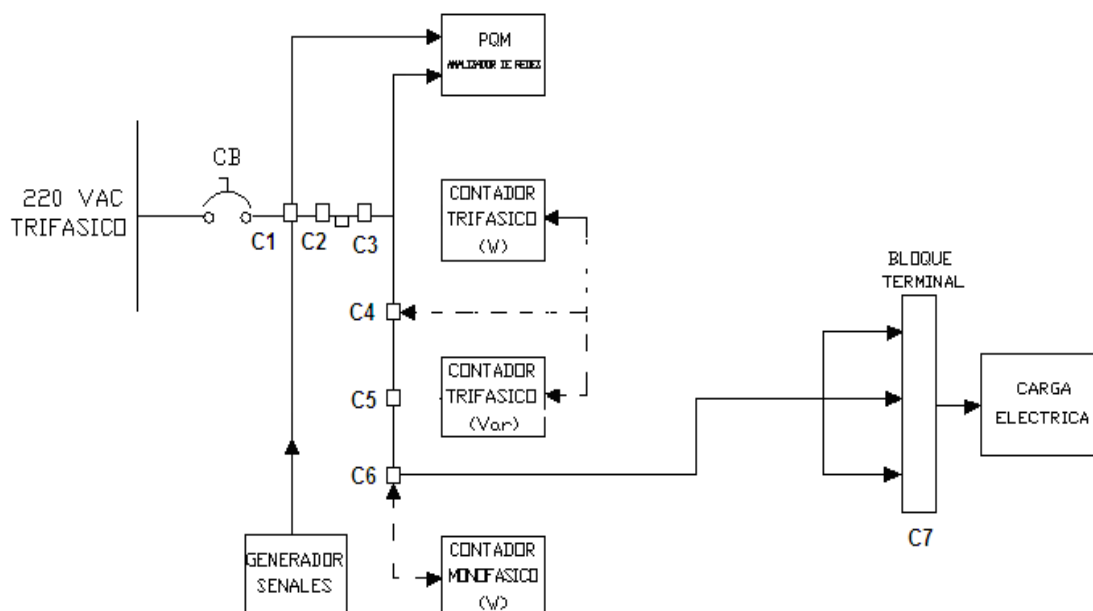


Fig.2.11 Diagrama en bloque del Laboratorio.

Leyenda del diagrama

- ✓ Líneas discontinuas (Conexiones opcionales).
- ✓ Líneas continuas (línea principal)
- ✓ Cuadrados (Conectores).
- ✓ C.B Interruptor principal.

Es conocido que los instrumentos de medición y los demás dispositivos para adaptar las señales al proceso de medición constituyen cargas en los circuitos eléctricos. A pesar de que estas cargas son pequeñas tienen alguna incidencia en los resultados.

En el puesto de laboratorio propuesto para el ISMMM el estudiante de la carrera de Ingeniería Eléctrica puede adquirir las siguientes habilidades prácticas:

1. Mediciones directas de diferentes variables eléctricas en función de la instrumentación disponible (amperímetros, voltímetros, cofímetros, frecuencímetro, etc.), básicamente electromecánicos.
2. Medición de variables eléctricas mediante el uso de transformadores de corriente (potencia activa trifásica, potencia reactiva trifásica, potencia activa monofásica, corriente y tensión).
3. Medición de potencia activa trifásica para fallos del conexionado en contadores de energía electromecánicos.
4. Medición de potencia reactiva en un circuito trifásico.
5. Medición de potencia activa.
6. Medición con analizador de redes eléctricas con enlace a computadora.
7. Habilidades de montaje y conexión de instrumentos en paneles.

Para una idea más acertada de las conexiones más importantes que se pueden realizar en el puesto de laboratorio se presenta la figura 2.12. Esta imagen es el resultado de utilizar el AutoCAD para su representación.

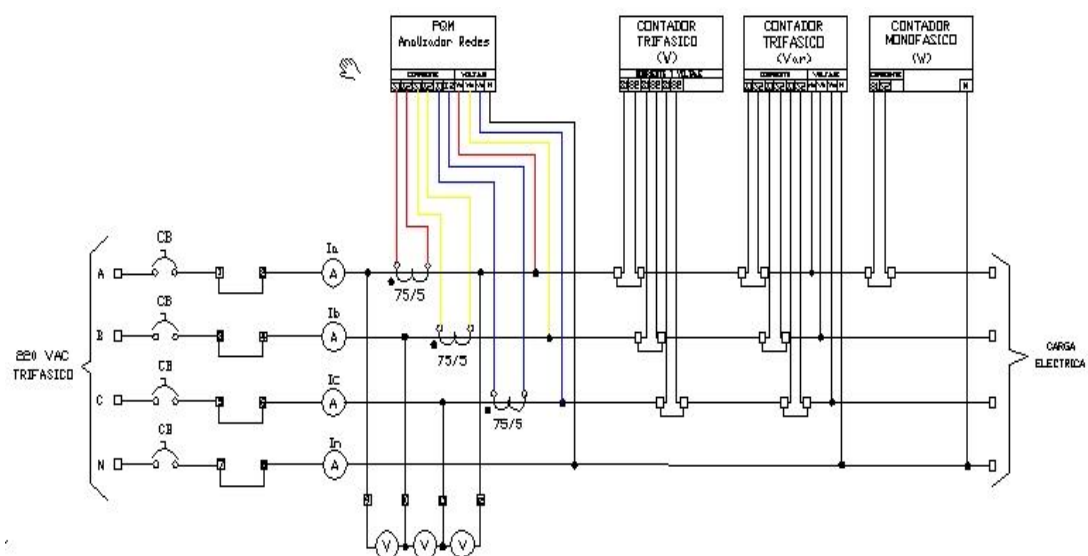


Fig 2.12. Esquema de conexión eléctrico del laboratorio en el ISMMM.

2.5 Instrumentos utilizados en el puesto de laboratorio en el ISMMM

En el montaje del puesto de laboratorio será utilizado los siguientes instrumentos que serán fijados al panel:

- ✓ El contador de energía activa monofásico modelo chino DD 862-4 con norma IEC60521 de 127 V, 40 A, 600 r/kW·h a 60 Hz (ver figura 2.13a)
- ✓ Un contador trifásico de potencia activa de fabricación italiana modelo D 39.4C, con norma CSI564, 115/230 V, 40 A, 1150 r/kW·h (ver figura 2.13 b).
- ✓ Tres transformadores de corriente modelo 5SFT-301, RF1 a.C. Class +/- 1 % 12-5 VA, 50-400 Hz, 600V, Ins. Class 10 kV. Bil (ver figura 2.13 c). La relación de transformación es de 300/5 por diseño aunque para la aplicación del puesto de laboratorio se baja la relación de transformación de 75/5
- ✓ Un contador de energía reactiva modelo ruso CP 4y- N673 AT de 3 X 220V, 3x5 A, 60hz, 800 r/ kVAr·h, 10 imp./kVAr·h, año 1987, (ver figura 2.14)



Fig. 2.13. Instrumentos fijos en el puesto del ISMMM a) Contador de energía activa monofásico. b) Contador de energía activa trifásico. c) Transformador de corriente



Fig.2.14. Contador de energía reactiva trifásico.

Otros instrumentos con los cuales se pueden realizar mediciones directas en el laboratorio se encuentran los de la figura 2.15:

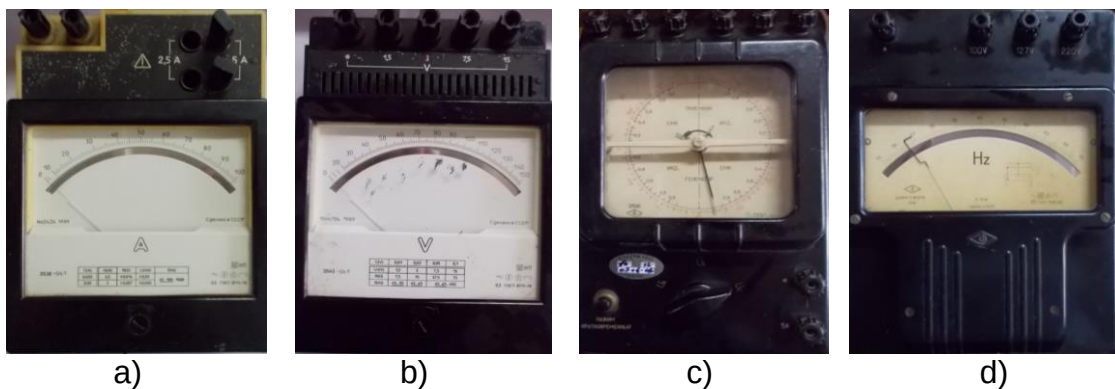


Fig. 2.15 Instrumentos para realizar mediciones directas a) Amperímetro, b) Voltímetro, c) Cofímetro, d) Frecuencímetro



Fig. 2.16 Transformadores de medición.

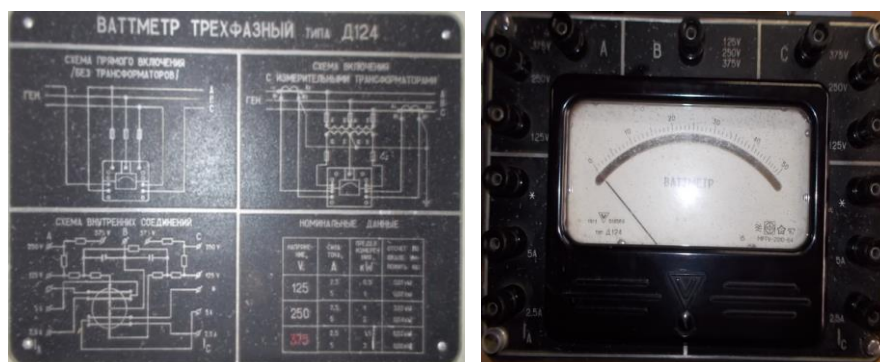


Fig. 2.17 Barómetro



Fig. 2.18 Amperímetro de gancho UT-232 y b) Multímetro digital de mesa UT-804

2.5.1 Prácticas del laboratorio en el ISMMM

En el puesto de laboratorio en el ISMMM brindara la posibilidad de realizar aproximadamente 5 actividades que se resumen en las siguientes:

1. Medición de energía activa trifásica, con instrumentos de medición analógicos integradores, registradores y transformadores de corriente.
2. Medición de energía reactiva trifásica con instrumentos de medición analógicos integradores y registradores.
3. Medición de energía activa monofásica con instrumentos de medición



analógicos integradores, registradores y transformadores de corriente.

4. Medición de diferentes variables eléctricas de forma directa con instrumentos analógicos (watímetro, frecuencímetro, Cofímetro, voltímetro y amperímetro) y digitales (amperímetro de gancho y voltímetro)
5. Medición de variables eléctricas con instrumentos registradores (analizador de redes eléctricas) y enlace a computadora.

Se tomara como referencia que las prácticas de laboratorio serán utilizadas para baja tensión en un circuito trifásico de 4 hilos, de 220V en tensión de línea, suficiente para experimentar en las diferentes situaciones reales que pueden producirse. También se tiene en cuenta que el analizador de redes eléctricas se encuentra conectado a la entrada del puesto de laboratorio comprobando la medición de los instrumentos analógicos integradores y registradores.

2.5.2 Manual de mantenimiento

1. Limpieza del puesto de laboratorio cada 6 meses para eliminar el polvo.
2. Cada 6 meses sustituir los boques terminales y rectificar las conexiones.
3. Verificar y reparar los instrumentos de medición que se utilizan en práctica de laboratorio según el plan de verificación existente del ISMMM.
4. Reapretar cada 6 meses las conexiones del analizador de redes.



2.5.4 Reparación de averías

1. En caso de que no exista la señalización de entrada de energía al puesto de trabajo verificar los fusibles en la pizarra de distribución principal del laboratorio. En caso de que esté dañado sustituirlo.
2. En caso de no existir alimentación en el puesto verificar la alimentación del interruptor principal de 220 V. AC. De continuar con el problema cambiar el interruptor.
3. En caso de no encender el analizador de redes, revisar la alimentación de corriente y voltaje a través del bloque de conexión 1 y los transformadores de medición de corriente. Si el problema persiste cambiar la PQM.
4. En caso de no quedar alimentada la carga en el momento de la práctica revisar la secuencia de conexión.



CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS



Introducción

En este capítulo se presentan resultados de las 8 actividades que se realizaron en el puesto de laboratorio ubicado en Moa Nickel S.A y la secuencia operatoria del montaje de las actividades del puesto de laboratorio del ISMMM así como las generalidades de cada una de ellas.

3.1 Resultado del efecto del mal conexionado de los contadores de energía

Para las características de esta prueba se registraron diferentes variables que se manifiestan en un circuito eléctrico tales como corriente en la fase a (I_a), corriente en la fase b (I_b), corriente en la fase c (I_c), tensión en la fase a (V_a), tensión en la fase b (V_b), tensión en la fase c (V_c), tensión de fase (V_{fase}), tensión de línea ($V_{línea}$), potencia en la fase a (P_a), factor de potencia en a (PF_a), potencia en la fase b (P_b), factor de potencia en b (PF_b), potencia en fase c (P_c), factor de potencia en la fase c (PF_c), potencia trifásica (P_3), factor de potencia trifásico (PF_3) y energía activa. (Ver *tabla 1 anexo 2*).

Actividad 1

Como se observa en la grafica el mal conexionado de los contadores de energía influyen en las perdidas en la potencia activa, en el circuito 1 se aprecia que el error de la medición no supera el limite tolerado ya que el circuito fue conectado correctamente, en el circuito 2 al desconectar la fase a de tensión se detecta que el error de medición es de un 30 % y la potencia disminuye en 1.51(kW), en el circuito 3 sin corriente en la fase a se mantiene con el mismo error que en el circuito 2 entonces la potencia no se ve afectada con respecto al circuito 2, en el circuito 4 se define que para una falsa polaridad de la fase a de corriente existe un error en la medición de un 30% aproximadamente y una perdida de potencia de un 1.27 (kW), en el



circuito 5 para una falsa polaridad de tensión en la fase a el valor de la potencia en la fase a se hace negativo entonces podemos ver que la conexión es incorrecta y la potencia aumenta en un 25%, en los circuitos 6,7 y 8 el disco no se mueve.

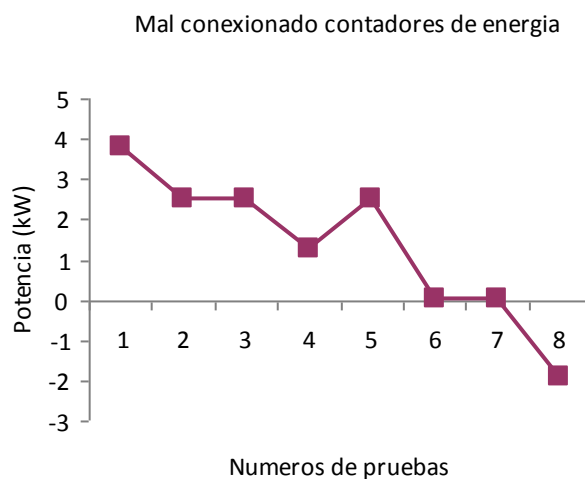


Fig. 3.1 Tendencia de potencias activas en el mal conexionado de los contadores de energía.

3.2 Resultados de los efectos de la tipología de las cargas en el comportamiento de las variables en un circuito eléctrico.

Para las características de esta prueba se registraron diferentes variables que se manifiestan en un circuito eléctrico tales como I_a , I_b , I_c , V_a , V_b , V_c , V_{fase} , V_{linea} , P_a , P_b , P_c , P_3 y frecuencia (Ver tablas 2,3 Y 4 anexo 2).

Actividad 2. Carga resistiva

En este experimento se puede apreciar que la potencia disminuye a medida que se realiza el barrido de tensión en orden decreciente y se demuestra una vez más las relaciones existentes entre las variables eléctricas corriente tensión y potencia.

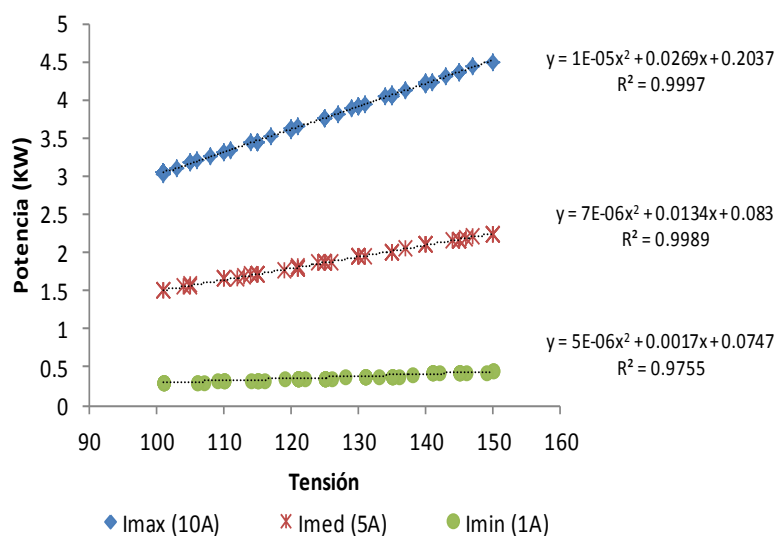


Fig.3.2 Tendencia de la potencia con los tres niveles de corriente, máxima (10 A), media (5 A), mínima (1 A) con barrida de tensión.

Actividad 3

En este experimento exploratorio se determina que a medida que se realiza el barrido de corriente en orden creciente aumenta la potencia, una vez mas queda demostrado la relación existente entre las variables eléctricas corriente tensión y potencia.

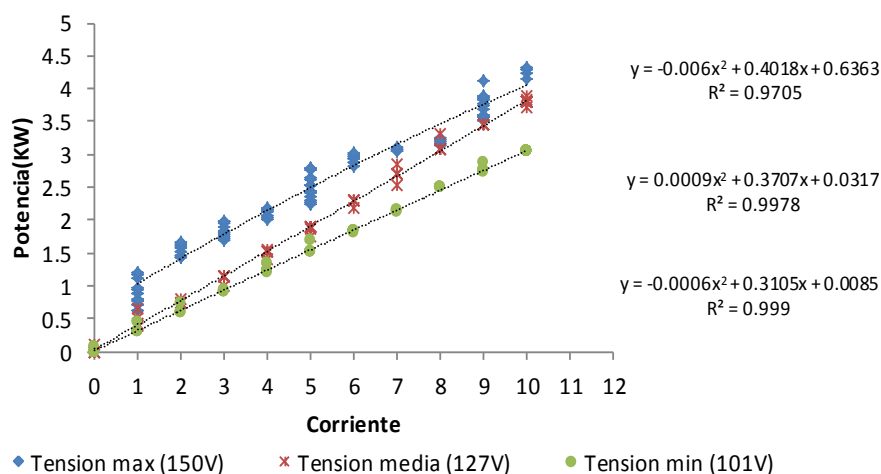


Fig.3.3 Tendencia de la potencia con los tres niveles de tensión, máxima (150 V), media (127V), mínima (101V) con barrida de corriente.



Actividad 4. Carga Capacitiva

En este experimento exploratorio se determina que la potencia activa se ve afectada a medida que se realiza un barrido en el cuadrante de la carga capacitiva, disminuyendo progresivamente aun con todos los niveles de tensión y corriente especificados. (Ver tablas 8,9 y 10 anexo 2).

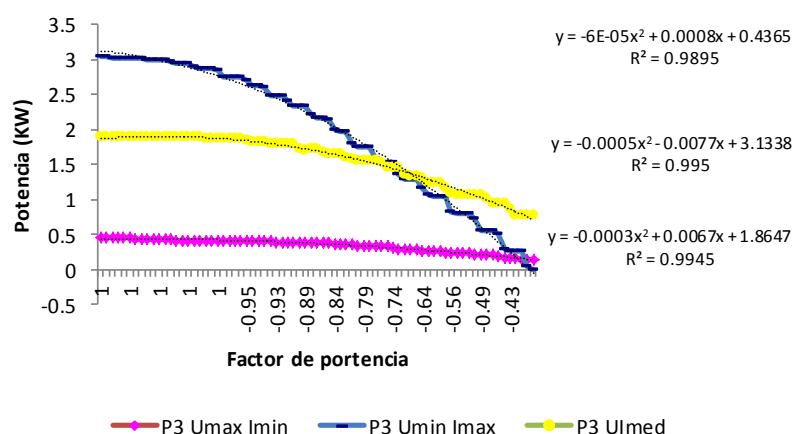


Fig.3.4 Tendencia de la potencia activa con barrido del ángulo capacitivo

En este experimento exploratorio se verifica que la potencia reactiva aumenta progresivamente a medida que se hace la carga más capacitiva, sin tener incidencia la corriente y la tensión especificada. fig. 3.5

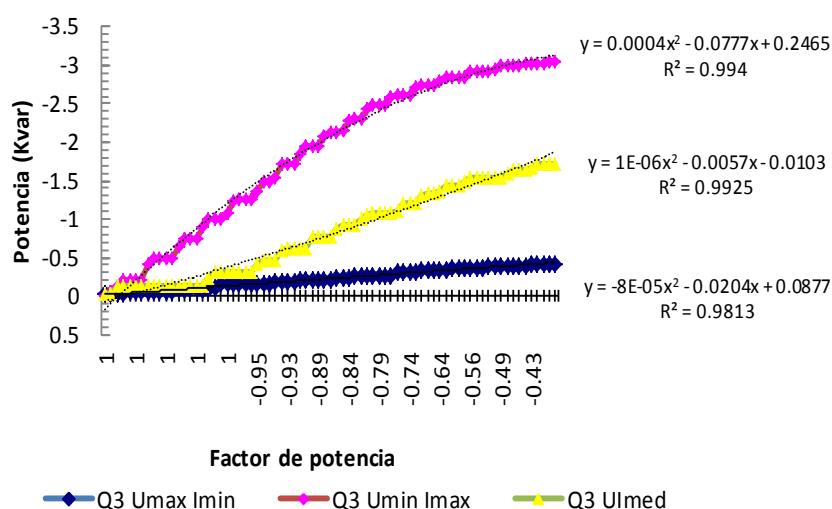


Fig.3.5 Tendencia de la potencia reactiva con barrido del ángulo capacitivo.



Actividad 5. Carga Inductiva

En este experimento exploratorio se determina que al potencia activa se ve afectada al realizar un barrido del ángulo inductivo y se ve afectado el factor de potencia.

Para las características de esta prueba se registraron diferentes variables que se manifiestan en un circuito eléctrico tales como I_{prom} , V_{fase} , V_{linea} , P_a , Q_a , P_b , P_c , P_3 , Q_3 , frecuencia y THD In, THD Vn.

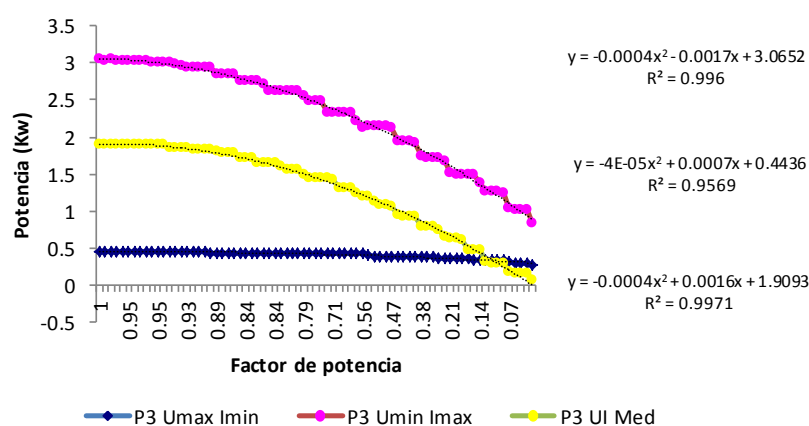


Fig.3.6 Tendencia de la potencia activa con barrido del ángulo inductivo.

En la figura 3.7 de la actividad 5 se verifica que aumenta la potencia reactiva a medida que disminuye el factor de potencia, influyendo así en las pérdidas de energía eléctrica, ya que se penaliza un bajo factor de potencia en las redes de suministro eléctrico.

Nota: Se puede decir que a medida que se barre con el ángulo inductivo en descenso la potencia activa se ve afectada disminuyendo progresivamente mientras que la potencia reactiva aumenta quedando así reflejada una mala calidad de la energía eléctrica en los circuitos eléctricos, en estos momentos que generalmente son transitorios. (Ver tablas 11,12 y 13 anexo 2)

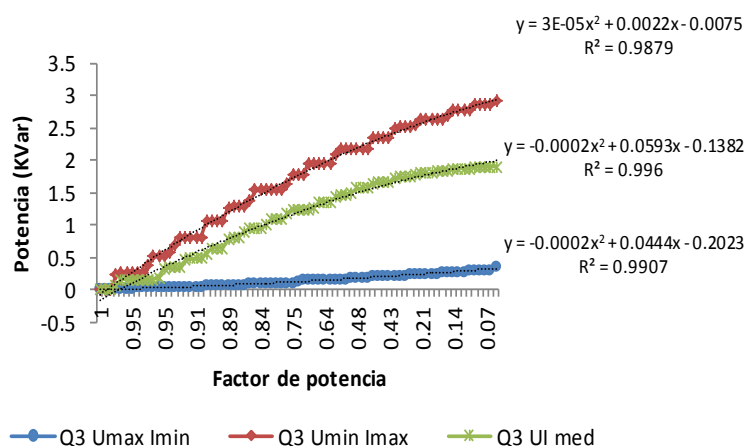


Fig.3.7 Tendencia de la potencia reactiva con barrido del ángulo inductivo.

3.3 Resultados de los efectos de la presencia de distorsión armónica de corriente y de tensión

Actividad.6

Se toma como referencia la graficas de corriente y tensión en el armónico 3, ya que en el mismo se ve reflejada la distorsión de la forma de onda de corriente y tensión en una carga resistiva. (Ver Tabla 14 Anexo 2)

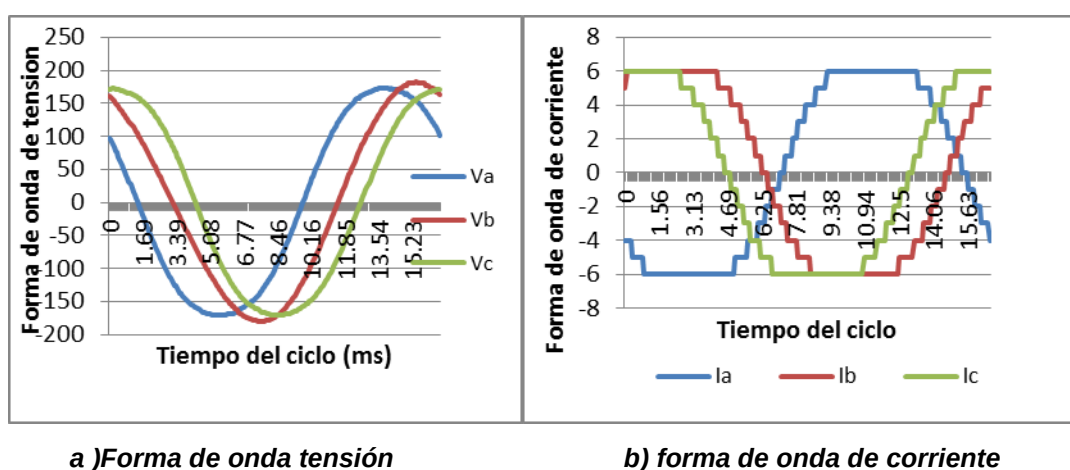


Fig.3 8 a) Formas de onda de tensión b) forma de onda corriente



Actividad. 7 Variación de tensión en un 10 %.

En el experimento descrito anteriormente se determina que con un 10% de distorsión de la tensión en un circuito con carga balanceada y resistiva no se ve afectada en un gran porcentaje las potencias. (Ver tablas 15 anexo 2).

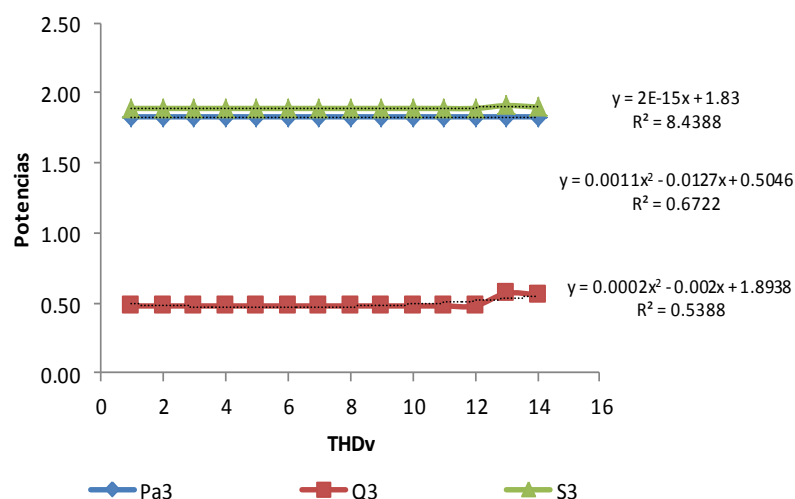


Fig.3 9 Tendencia de las potencias con un THD de tensión hasta un 10%.

Actividad.8 Variación de corriente de un 50%

Estos experimentos se realizaron sobre la base de los armónicos de orden impar, ya que la presencia de los mismos en los circuitos eléctricos son los que más distorsionan las formas de ondas de corriente, tensión y afectan la calidad de la energía, además presentan pérdida de potencia. A pesar del desbalance de corriente en las pruebas con variación de tensión no se detectaron diferencias sustanciales en las pérdidas de potencia. (Ver tabla 16 anexo 2).

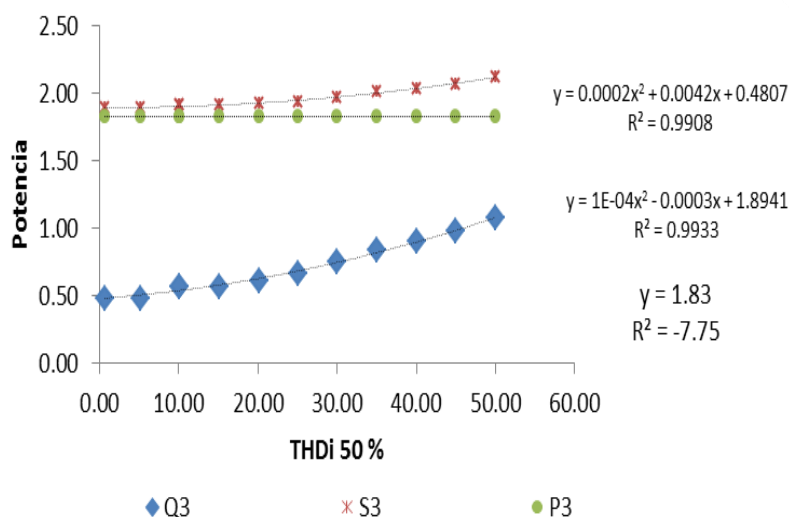


Fig. 3.10 Tendencia de las potencias con un THD de corriente de 50%.

3.4 Generalidades de las Prácticas a desarrollar en el puesto de laboratorio en el ISMMM.

Actividad 1

La medición con transformadores de corriente es indispensable en aquellos circuitos de corriente alterna en los que el rango de la corriente supere el de los diferentes instrumentos de medición como por ejemplo los contadores de energía, los cuales están estandarizados a entradas de 5 A. El uso de estos transformadores de corriente es muy variado y se pueden encontrar formando parte de las pizarras generales de distribución, así como conectados a equipamiento registradores de alta importancia como los analizadores de redes (PQM) de paneles.

Objetivo

El objetivo de esta práctica es el de crear habilidades para la medición de energía activa mediante la adecuada conexión del contador de energía y los transformadores de medición de corriente.



Secuencia del conexionado para garantizar la actividad

Para la medición de variables eléctricas empleando transformadores de corriente y para el uso de los instrumentos del laboratorio, en todos los casos se debe poner una carga preferentemente balanceada:

Del interruptor principal de alimentación (220V) al analizador de redes (PQM), del la PQM al conector 2 (C2), desde el conector 2 pasando por los puentes de ganchos desde ahí se conecta al conector 3 (C3), del conector 3 (3) se puentean los transformadores de corriente (TC) para que no trabajen en vacío, conectándose al conector 4 (C4), que pasara a conectarse con el contador trifásico de potencia activa, desde instrumento de medición pasara al conector 5 (C5), la corriente continua hasta el conector 6 (C6), conectándose al conector 7 (C7) y luego a la carga.

Actividad. 2

La presencia de las cargas inductivas en los circuitos de eléctricos demanda una determinada cantidad de energía reactiva, la cual es necesaria para poder hacer un balance de potencia eficiente. Independientemente de que la potencia reactiva se consuma de las redes del sistema eléctrico o desde los condensadores de compensación siempre se requiere realizar esta medición eléctrica. El servicio eléctrico que se le garantiza a los clientes, principalmente los estatales requieren de esta para la facturación, saber que cantidad de reactivo se ha consumido para así poder realizar los cálculos adecuados.

Objetivo

El objetivo de esta práctica es el de crear habilidades para la medición de energía reactiva la adecuada conexión del contador de energía.



Secuencia del conexionado para garantizar la actividad

Para la medición de potencia reactiva con transformadores de corriente se alimenta desde el interruptor principal hasta la PQM y de la PQM al conector 2, de ahí pasa por el puente de gancho, pasando al conector 3, del conector 3 se va a los transformadores de corriente y saliendo al conector 4, el mismo a la salida va conectada al contador de energía reactiva, retornando al conector 5, pasando por los conectores 6 y 7 hasta la carga.

Actividad. 3

El balance de consumo de la energía eléctrica en Cuba indica que aproximadamente el 52 % de la energía eléctrica es consumida por el sector residencial. Las cargas residenciales forman parte de los circuitos monofásicos para los cuales se requiere la medición de la energía activa de forma adecuada pues de ella depende una correcta facturación eléctrica.

Objetivo

El objetivo de esta práctica es el de crear habilidades para la medición de energía activa monofásica con instrumentos integradores.

Secuencia del conexionado para garantizar la actividad

Para la medición de energía activa monofásica con transformadores de corriente se alimenta desde el interruptor principal a la PQM y desde ahí al conector 2, pasando por el puente de gancho llegando al conector 3 conectándose los transformadores de corriente y desde la salida de ellos a los conectores 4 y 5, bajando al contador de energía monofásico que en su retorno se conecta a los conectores 6 y 7 desde este punto hacia la carga.

Actividad.4

Existe una gran gama de instrumentos de medición directa de varias



tecnologías pero de forma general se busca obtener los valores de las diferentes magnitudes eléctricas para tomar decisiones en la operación de los circuitos eléctricos. Para realizar estas mediciones se debe respetar el principio de funcionamiento de cada uno de ellos lo cual garantiza en determinada medida obtener mediciones más precisas, se pueden encontrar instrumentos de medición directa tanto analógicos como digitales, los cuales para su uso se requiere de un reconocimiento de los rangos de medición que poseen y los rangos de comportamiento de las variables en los circuitos eléctricos. Las mediciones con estos instrumentos en el puesto se realizarán a través de los conectores 3 y 4.

Objetivo

Crear habilidades en la medición directa de frecuencia, factor de potencia, tensión, corriente y potencia con instrumentos analógicos y digitales.

Secuencia del conexionado para garantizar la actividad

Para realizar el conexionado de los instrumentos de medición directa la energía se alimentará al puesto desde el interruptor principal hasta la PQM desde este punto al conector 2 pasando por el puente de ganchos, en la salida del puente se enlazará al conector 3, desde este conector se pueden medir la corriente, voltaje, factor de potencia, frecuencia con los instrumentos de medición ya que este conector (3) fue preparado con este objetivo, cerrándose el circuito con los conectores 4, 5, 6 y 7, desde este último se conectará la carga.

Actividad. 5

Con el desarrollo de los instrumentos de medición las redes eléctricas se encaminan al uso progresivo de los analizadores de redes, estos registradores realizan un conjunto de cálculos indirectos tomando como referencia el valor de las magnitudes directas de corriente y tensión. Se hace necesario para esta instrumentación respetar la secuencia de conexión de



cada una de las fases y la adecuada programación del dispositivo antes de realizar las mediciones de campo. Como una de las bondades fundamentales de los analizadores de redes eléctricas se encuentra la posibilidad de realizar enlaces mediante un protocolo (RS-232) de comunicación con las computadoras. Una vez que se cuente con los registros de las variables eléctricas se pueden realizar los análisis correspondientes para tomar las decisiones adecuadas

Objetivo

Crear habilidades en la instalación, programación y explotación de los analizadores de redes eléctricas y el uso adecuado del software.

Secuencia del conexionado para garantizar la actividad

Para la medición con el analizador de redes la alimentación será tomada desde el interruptor principal y desde ahí a la PQM, luego pasaría por el conector 2, desde ese punto al puente de ganchos, luego al conector 3, 4, 5, 6, 7 y finalmente la carga.

3.5 Valoración económica para la implementación del puesto de laboratorio en el ISMMM

Es de conocimiento que para realizar todo proyecto es necesario realizar una valoración económica para saber si es rentable su aplicación, para esto se tiene como visión principal la regla de costo- beneficio. En este trabajo se tuvo en cuenta esa condición. Para la implementación del puesto de trabajo se recuperaron una serie de instrumentos y materiales existentes en la empresa Moa Nickel S.A, que se estaban en desuso o averiados y no tenían utilidad para la empresa los mismos son:

- 1 Analizador de redes eléctricas (PQM T-20), (estaba averiado), fue reparado.



- 2 Cables recuperados de un panel que quedo inutilizado por las mejoras del proyecto expansión.
- 3 Canaletas para montaje de pizarras.
- 4 Bloques de conexión recuperados del panel que quedo obsoleto al implementarse las mejoras del proyecto expansión.
- 5 Tres contadores de energía electromecánicos inutilizables para la empresa al quedar relegados por medidores de energía electrónicos.
- 6 Tornillos tirafondo.
- 7 Puntas de conector.
- 8 Transformadores de corriente.

Material	Unidades	Precios/ unidad	Costo
Analizador de redes eléctricas (PQM T-20)	1	3108.48	3108.48
Cables	30 metros	0.87	26.1
Canaletas	2 metros	27	54
Contadores de energía electromecánicos	3	23	69
Tornillos tirafondo	40	0.17	6.8
Puntas de conector	100	0.10	10
Bloques de conexión	50	0.10	5
Transformadores de corriente	3	85.9	257.7
Total		3245.62	3537.08

Fig. 3.11 Listado de materiales y precios del puesto en USD.

Con la implementación de este puesto de laboratorio se puede decir que el; ISMMM tiene un ahorro de **3537.08 USD** por concepto de compra de materiales.



CONCLUSIONES

Se implemento un puesto de laboratorio en el taller eléctrico de la empresa Moa Nickel S.A que mediante tecnología de punta como generadores de señales, y analizadores de redes eléctricas permiten la realización de ocho actividades que refuerzan los conocimientos teóricos en los estudiantes del tercer año de la carrera de Ingeniería Eléctrica en el ISMMM. Las actividades que se realizan abordan temas medulares referidos al conexionado de los instrumentos de medición, el efecto de las cargas y la calidad de la energía en los circuitos eléctricos adquiriéndose habilidades en la instalación configuración y explotación de generadores de señales, analizadores de redes eléctricas y software para el registro de variables eléctricas.

El puesto implementado en el Laboratorio de Mediciones eléctricas del ISMMM favorece el aprendizaje de la medición de las variables eléctricas mediante el empleo de instrumentos de medición directa integradores y registradores. Además del uso de transformadores de medición y registros en computadora. Este puesto integra un conjunto de actividades que debido al deterioro que había alcanzado el laboratorio de mediciones no se podían realizar adecuadamente por medidas de seguridad.



RECOMENDACIONES

Coordinar adecuadamente con la empresa Moa Nickel S.A la realización de las prácticas en el laboratorio implementado en el taller eléctrico de forma que los estudiantes cuenten en su currículum con habilidades referidas al uso de instrumentos de medición de avanzada

Seguir perfeccionando los laboratorios de la disciplina de circuitos eléctricos y específicamente de las mediciones eléctricas existentes en el ISMM.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. Lemieux, "Power System Harmonic Resonance - A Documented Case," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 26, NO. 3, pp. 483-488, May. /June, 1990.
- [2] E. J. Currence, J. E. Plizga and H. N. Nelson, "Harmonic Resonance at a Medium-Sized Industrial Plant," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 31, NO. 4, pp. 682-690, July/Aug., 1995.
- [3] G. T. Heydt, Electric Power Quality. West Lafayette: Stars in Circle Publications, 1991.
- [4] J. K. Phipps, J. P. Nelson and P. K. Sen, "Power Quality and Harmonic Distortion on Distribution Systems," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 30, NO. 2, pp. 476-484, Mar. /Apr. 1994.
- [5] J. R. Linders, "Electric Wave Distortions: Their Hidden Costs and Containment," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. IA-15, NO. 5, pp. 458-471, Sept. /Oct., 1979.
- [6] J. Arrillaga, D. A. Bradley and P. S. Bodger, Power System Harmonics. Chichester UK: John Wiley & Sons, 1985.
- [7] J. Arrillaga, D. A. Bradley and P. S. Bodger, Power System Harmonics. Chichester UK: John Wiley & Sons, 1985.
- [8] IEEE Industry Applications Society/Power Engineering Society, IEEE Std. 519-1992: IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Systems. New York: IEEE Press, 1993.
- [9] Dr. Orlys Ernesto Torres Breff. Instituto Superior Minero Metalúrgico (Dr. Antonio Núñez Jiménez). Manual de usuario sistema manta MTS – 5000 Traducción al español para la Empresa Comandante Pedro Soto Alba MOA NICKEL S.A. pág. 23 /(2006).
- [10] Grupo de investigación en energías, Gien: Ms.C. Quispe Oqueña Enrique Ciro, Coinvestigador, Ms.C. Vidal Medina Juan Ricardo, Coinvestigador, Ms.C. López Castrillon Yuri, Coinvestigador. Esp. Castrillon Mendoza Rosaura, "Calidad de la energía eléctrica" (2006). Pág. 14 y 15
- [11] Manual del analizador de redes PQMII Power Quality Meter INSTRUCTION MANUAL Software Revisión: 2.2x Manual P/N (2007). GE Power Management. Pág. 1 y 2.
- [12] F. BAUMELER, D. EBEL (WWW.Energia.com). Artículo técnico "Localización de fallos de conexión en instalaciones de contadores eléctricos". 2001. pág. 22 y 23.
- [13] Cobas Pereira Manuel F. Prof. Dr. Ing. INEL/UNE Fac. Ing. Elect. ISPJAE. "La calidad del suministro de la energía eléctrica" pág.32

(2004).

- B**
[14] Ponente Ing. Téllez Ramírez Eugenio “Distorsión armónica”
AUTOMATIZACION, PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD S.A. de C.V.
B
(2004).Pág. 3 y 15
- I**
[15] Artículo técnico de “medidores de energía eléctrica” condesa
departamento de normas pág. 1/3 2009.
- G**
[16] Suarez J.A, G .F.Di Mauro, D. Anaut y C. Agüero. Análisis de la
distorsión armónica y los efectos de atenuación y diversidad en áreas
residenciales. (2005). Pág. 429.
- R**
[17] Hugo Argañaraz José. Ing.,- Prof. Adjunto. “Medidas Eléctricas –
A
Contraste de Medidores de Energía”. 2003. Pagina 3/3
- I**
[18] Salazar Arquímedes / Fong Julio “Libro de mediciones eléctricas” año
1992 (pág. 1, 250, 270 y 474).
- A**
[19] (“Contadores de energía eléctrica capítulo III”) y reglamento
metodológico de los medidores de energía. Pág. 3,4 y 6.
- [20] Donoso Acevedo Francisco” Componentes armonicas en redes de
distribucion electrica. Pág. 25 1998.
- [21] Álvarez Gutiérrez Alexander y Camacho Torres Lina María “Análisis de
métodos de compensación de armónicos con filtros activos y pasivo”.
Pág. 9 y 10 (2007).
- [22] Unesa “Guía sobre calidad de la onda en los en las redes eléctricas”
Pág. 21-24 (1995).

BIBLIOGRAFÍA

- [A] Morozo Duchart, Y.; Rivero Domínguez, J.A “Manual de operaciones,
mantenimiento y reparación de averías: Banco de cargas para la
medición con Instrumentos analógicos e instrumentación digital
moderna” 2005 pág. 52.
- [B] Matos Blet .Y “Recuperación e implementación del laboratorio de
Mediciones Eléctricas 2003 pág. 107.
- [C] Gilbert Benítez, J “Actualización y perfeccionamiento de las prácticas de
laboratorio de la disciplina circuitos eléctricos” 1999 pag.265.
- [D] Crespo Chamba, L.A./ Ríos, J.C “Diseño de un sistema de análisis de
calidad de energía didáctico utilizando LABVIEW” 2008 pág.116
- [E] Ortiz Noguera, A.E./ “Preparación metodológica de las asignaturas
Eléctricas I y II” 2001 pág. 53.

- [F]** Sanchez Santos .B. “Banco de medición para sistema de medición de variadores de velocidad 2007. Pag.64
- [G]** Herrera Sanchez J .Y “Modelación, creación y simulación de un laboratorio virtual para protecciones eléctricas 2001pag.54.
- [H]** Cuenca Sánchez, E” Manual de mantenimiento, reparaciones y operaciones. Banco para la calibración de relés complejos”2005 pag.21
- [I]** Columbié Silva, A.L” Manual. Diseño, instalación y puesta en marcha de un puesto de trabajo para el Laboratorio de Máquinas Eléctricas”2005 pág. 34
- [J]** Colectivo de autores “Acceso remoto aplicado a instrumentos de medición” México 2009 pág. 64.
- [K]** Aguilar Umaña. A “Confirmación Metrológica de patrones de referencia del laboratorio de metrología eléctrica del centro de investigaciones de ingeniería como fase preparatoria para el proceso de acreditación.” Guatemala 2009 pág.45.
- [L]** María Triano J “medición digital de potencia en laboratorios de maquinas eléctricas “ México 2008 pág. 55

ANEXO 1.

Los medidores de energía eléctrica, o contadores, utilizados para realizar el control del consumo, pueden clasificarse en tres grupos:

- ✓ *Medidores electromecánicos:* o medidores de inducción, compuesto por un conversor electromecánico (básicamente un vatímetro con su sistema móvil de giro libre) que actúa sobre un disco, cuya velocidad de giro es proporcional a la potencia demandada, provisto de un dispositivo integrador.
- ✓ *Medidores electromecánicos con registrador electrónico:* el disco giratorio del medidor de inducción se configura para generar un tren de pulsos (un valor determinado por cada rotación del disco, p.e. 5 pulsos) mediante un captador óptico que censa marcas grabadas en su cara superior. Estos pulsos son procesados por un sistema digital el cual calcula y registra valores de energía y de demanda.
- ✓ *Medidores totalmente electrónicos:* la medición de energía y el registro se realizan por medio de un proceso análogo-digital (sistema totalmente electrónico) utilizando un microprocesador y memorias. Los contadores de energía eléctrica y los medidores de potencia deben verificarse de forma periódica, para lo cual se realizan ensayos con equipos de inyección de corriente y tensión con medidores de energía patrones existentes en laboratorios especializados. [17]

También se puede clasificar los medidores de energía de acuerdo con la exactitud. Los medidores se dividen en tres clases 0.5, 1 y 2.

✓ *Medidores de clase 0.5*

✓ *Medidores de clase 1*

✓ *Medidores de clase 2*

El índice de clase 0.5, 1 y 2 significa los límites de error porcentual admisible para todos los valores de corriente entre el 10 % nominal y la I máxima con un factor de potencia igual a uno.

[15]

Los medidores electrónicos de energía activa deben cumplir con la norma NTC 2147 Medidores estáticos de energía activa. Especificaciones metrológicas para clase 0.2S y 0.5S y NTC 4052 medidores estáticos de energía activa para corriente alterna clase 1 y 2 **[19]**.

Además se pueden clasificar de acuerdo con la conexión de red:

✓ *Medidor monofásico bifilar:*

✓ *Medidor monofásico trifilar:*

✓ *Medidor bifásico trifilar:*

✓ *Medidor trifásico trefilar:*

✓ *Medidor trifásico trifilar:*

IMÁGENES

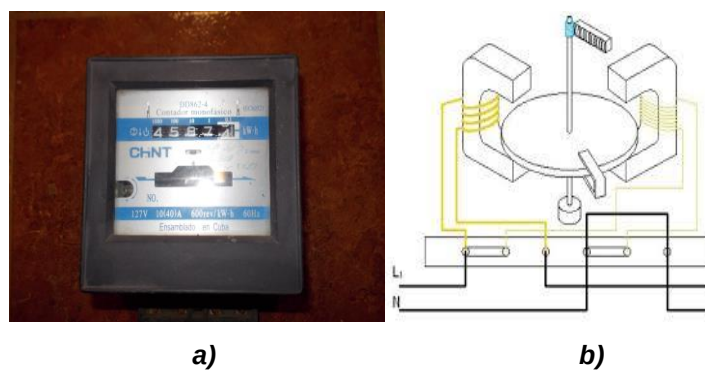


Fig. 1.5 a) Medidor electromecánico, b) Esquema de conexiones del medidor.



Fig. 1.6 Medidores Digitales

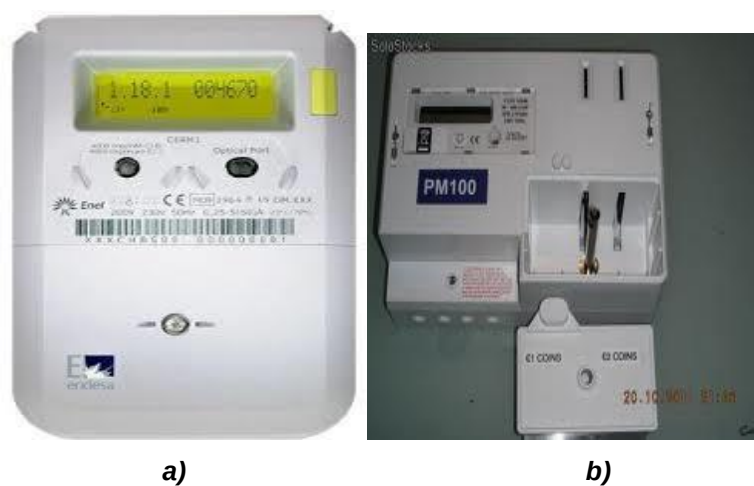


Fig. 1.7 a) Vía radio frecuencia, b) Contador prepago.

ANEXO 2

Prueba 1 tabla 1: Mala conexión circuito resistivo balanceado.

Cto	Ia	Ib	Ic	Va	Vb	Vc	Vab	Vbc	Vca	Pa	PFa	Pb	PFb	Pc	PFc	P3	PF3	Ene
	A	A	A	V	V	V	V	V	V	kW		kW		kW		kW		kWh
1	10	10	10	127	127	127	220	220	221	1.27	0.99	1.27	0.99	1.27	1.00	3.81	1.00	0.38
2	10	10	10	0	127	127	127	220	127	0.00	1.00	1.27	0.99	1.27	1.00	2.54	1.00	0.25
3	0	10	10	127	127	127	220	220	221	0.00	1.00	1.27	0.99	1.27	1.00	2.54	1.00	0.25
4	10	10	10	127	127	127	220	220	221	-1.27	-0.99	1.27	0.99	1.27	1.00	1.27	1.00	0.12
5	10	10	10	128	221	221	236	220	235	-1.28	1.00	1.91	-0.86	1.91	0.86	2.54	1.00	0.25
6	10	10	10	127	127	127	221	220	220	1.27	0.99	-0.63	0.49	-0.63	-0.50	0.01	1.00	0.01
7	10	10	10	127	127	127	220	220	221	1.27	0.99	-0.60	-0.47	-0.66	0.52	0.00	0.00	0
8	10	10	10	127	127	54	220	163	164	-0.63	0.49	-0.65	0.51	-0.23	0.43	-1.52	0.52	-0.15

Tabla 2 Datos de corriente máxima (10 A) barrida de tensión con FP=1.

Rec	Time	Ia	Ib	Ic	Iavg	Van	Vbn	Vcn	Phase	Vab	Vbc	Vca	Line	Pa	Pb	Pc	P3
Num	S	A	A	A	A	V	V	V	V	V	V	V	V	kW	kW	kW	kW
1	0	10	10	10	10	150	150	150	150	259	259	260	259	1.5	1.5	1.5	4.5
2	2	10	10	10	10	145	145	145	145	252	252	252	252	1.46	1.46	1.45	4.37
3	9	10	10	10	10	140	140	140	140	243	243	243	243	1.4	1.41	1.4	4.21
4	13	10	10	10	10	135	135	135	135	234	234	234	234	1.35	1.35	1.35	4.05
5	18	10	10	10	10	130	130	130	130	226	226	226	226	1.31	1.31	1.3	3.92
6	23	10	10	10	10	125	125	125	125	217	216	217	217	1.25	1.25	1.25	3.75
7	29	10	10	10	10	120	120	120	120	209	209	209	209	1.21	1.21	1.2	3.62
8	32	10	10	10	10	115	115	115	115	199	199	200	199	1.15	1.15	1.15	3.45
9	37	10	10	10	10	110	110	110	110	191	191	192	191	1.11	1.11	1.1	3.32
10	43	10	10	10	10	105	105	105	105	183	183	183	183	1.06	1.06	1.05	3.17
11	48	10	10	10	10	101	101	101	101	176	176	176	176	1.02	1.02	1.01	3.05

Tabla 3 Datos de la corriente media (5 A) barrida de tensión con FP=1

Rec	Ti	Ia	Ib	Ic	Iavg	In	Van	Vbn	Vcn	Phase	Vab	Vbc	Vca	Line	Pa	Pb	Pc	P3
Num	S	A	A	A	A	A	V	V	V	V	V	V	V	V	kW	kW	kW	kW
1	0	5	5	5	5	0	150	150	150	150	260	259	260	260	0.75	0.75	0.75	2.25
2	7	5	5	5	5	0	145	145	145	145	252	251	252	252	0.72	0.73	0.72	2.17
3	13	5	5	5	5	0	140	140	140	140	243	242	243	243	0.7	0.7	0.7	2.1
4	19	5	5	5	5	0	135	135	135	135	234	234	234	234	0.67	0.67	0.67	2.01
5	25	5	5	5	5	0	130	130	130	130	226	225	226	226	0.65	0.65	0.65	1.95
6	32	5	5	5	5	0	125	125	125	125	216	216	217	216	0.62	0.62	0.62	1.86
7	47	5	5	5	5	0	121	121	121	121	209	209	209	209	0.6	0.6	0.6	1.8
8	51	5	5	5	5	0	115	115	115	115	199	199	199	199	0.57	0.57	0.57	1.71
9	58	5	5	5	5	0	110	110	110	110	191	191	191	191	0.55	0.55	0.55	1.65
10	62	5	5	5	5	0	105	105	105	105	183	183	183	183	0.52	0.53	0.52	1.58

Tabla 4 Datos de la corriente mínima (1 A) barrida de tensión FP=1.

Rec	Time	Ia	Ib	Ic	Iavg	Van	Vbn	Vcn	Phase	Vab	Vbc	Vca	Line	Pa	Pb	Pc	P3	Fre
N	s	A	A	A	A	V	V	V	V	V	V	V	V	kW	kW	kW	kW	Hz
1	0	1	1	1	1	150	150	150	150	260	260	260	260	0.15	0.15	0.15	0.45	60
2	4	1	1	1	1	145	145	145	145	251	251	251	251	0.14	0.14	0.14	0.42	60
3	11	1	1	1	1	141	141	140	141	244	243	244	244	0.14	0.14	0.14	0.42	60
4	17	1	1	1	1	135	135	135	135	234	234	234	234	0.13	0.13	0.13	0.39	60
5	30	1	1	1	1	131	131	131	131	226	226	227	226	0.13	0.13	0.13	0.39	60
6	32	1	1	1	1	126	126	125	126	218	217	218	218	0.12	0.12	0.12	0.36	60
7	46	1	1	1	1	121	121	121	121	209	209	209	209	0.12	0.12	0.12	0.36	60
8	50	1	1	1	1	115	115	115	115	199	199	199	199	0.11	0.11	0.11	0.33	60
9	58	1	1	1	1	110	110	110	110	190	190	191	190	0.11	0.11	0.11	0.33	60
10	69	1	1	1	1	106	106	106	106	183	183	183	183	0.1	0.1	0.1	0.3	60
11	72	1	1	1	1	101	101	101	101	174	174	175	174	0.1	0.1	0.1	0.3	60

Tabla 5: Datos para la tension maxima (150V) con barrida de corriente.

Rec	Time	Ia	Ib	Ic	Iavg	In	Van	Vbn	Vcn	Vab	Vbc	Vca	Line	Pa	Pb	Pc	P3
Num	s	A	A	A	A	A	V	V	V	V	V	V	V	kW	kW	kW	kW
1	0	1	1	1	1	0	150	150	150	260	259	260	260	0.15	0.15	0.15	0.45
2	21	2	1	2	2	0	150	150	150	260	259	260	260	0.26	0.27	0.27	0.8
3	38	3	3	3	3	0	150	150	150	260	260	260	260	0.37	0.37	0.37	1.11
4	57	4	4	4	4	0	150	150	150	260	260	260	260	0.52	0.53	0.52	1.57
5	77	5	5	5	5	0	150	150	150	260	260	260	260	0.67	0.68	0.67	2.03
6	100	6	6	6	6	0	150	150	150	260	260	260	260	0.83	0.83	0.83	2.49
7	124	7	7	7	7	0	150	150	150	260	260	260	260	0.97	0.98	0.97	2.92
8	145	8	8	8	8	0	150	150	150	260	259	260	260	1.12	1.13	1.12	3.37
9	171	9	9	9	9	0	150	150	150	260	260	260	260	1.28	1.28	1.27	3.83
10	196	10	10	10	10	0	150	150	150	260	259	260	260	1.43	1.43	1.42	4.29

Tabla 6: Datos para la tension media (127V) con barrida de corriente y un FP ideal.

R	Tim	Ia	Ib	Ic	Iavg	In	Van	Vbn	Vcn	Phase	Vab	Vbc	Vca	Line	Pa	Pb	Pc	P3
N	s	A	A	A	A	A	V	V	V	V	V	V	V	V	kW	kW	kW	kW
1	0	0	0	0	0	0	127	127	127	127	220	220	221	220	0	0	0	0
6	5	1	1	1	1	0	127	127	127	127	220	220	220	220	0.13	0.13	0.13	0.4
12	11	2	2	2	2	0	127	127	127	127	220	220	220	220	0.25	0.25	0.25	0.75
17	16	3	3	3	3	0	127	127	127	127	220	220	221	220	0.33	0.33	0.33	1
25	24	4	4	4	4	0	127	127	127	127	220	220	221	220	0.46	0.46	0.46	1.39
30	29	5	5	5	5	0	127	127	127	127	220	220	221	220	0.58	0.59	0.58	1.76
38	37	6	6	6	6	0	127	127	127	127	220	220	221	220	0.72	0.72	0.72	2.18
44	43	7	7	7	7	0	127	127	127	127	220	220	220	220	0.84	0.84	0.84	2.53
55	54	8	8	8	8	0	127	127	127	127	220	220	221	220	1.1	1.1	1.09	3.3
56	55	9	9	9	9	0	127	127	127	127	220	220	221	220	1.15	1.15	1.15	3.45
61	60	10	10	10	10	0	127	127	127	127	220	220	221	220	1.23	1.24	1.23	3.71

Tabla 7: Datos para la tensión mínima (101V) con barrida de corriente y FP ideal.

Re	Time	Ia	Ib	Ic	Iavg	In	Van	Vbn	Vcn	Phase	Vab	Vbc	Vca	Line	Pa	Pb	Pc	P3
Núm.	s	A	A	A	A	A	V	V	V	V	V	V	V	V	kW	kW	kW	kW
1	0	0	0	0	0	0	101	102	101	101	176	176	176	176	0	0	0	0
13	12	1	1	1	1	0	101	102	101	101	176	176	176	176	0.1	0.1	0.1	0.44
14	13	2	2	2	2	0	101	101	101	101	176	176	176	176	0.1	0.1	0.1	0.59
23	22	3	3	3	3	0	101	102	101	101	176	176	176	176	0.3	0.3	0.3	0.95
24	23	4	4	4	4	0	101	101	101	101	176	176	176	176	0.3	0.3	0.3	1.19
35	34	5	5	5	5	0	101	101	101	101	176	176	176	176	0.5	0.5	0.5	1.68
36	35	6	6	6	6	0	102	102	101	102	176	176	176	176	0.6	0.6	0.6	1.82
45	44	7	7	7	7	0	101	101	101	101	176	176	176	176	0.7	0.7	0.7	2.14
46	45	8	8	8	8	0	101	101	101	101	176	176	176	176	0.8	0.8	0.8	2.49
56	55	9	9	9	9	0	101	102	101	101	176	176	176	176	0.9	0.9	0.9	2.88
57	56	10	10	10	10	0	101	102	101	101	176	176	176	176	1.0	1.0	1.0	3.05

Tabla 8: Tensión máxima (150V) corriente mínima (1A) para una FP capacitivo

Time	Iavg	Fase	Línea	Pa	Qa	PFa	Pb	Qb	PFb	Pc	Qc	PFc	P3	Q3	PF3
S	A	V	V	kW	kVAr		kW	kVAr		kW	kVAr		kW	kVAr	
0	1	150	260	0.15	0	1	0.15	0	1	0.15	0	1	0.45	0	1
5	1	150	260	0.15	-0.01	1	0.15	-0.01	1	0.15	-0.01	1	0.45	-0.03	1
6	1	150	260	0.14	-0.02	-0.9	0.15	-0.02	1	0.14	-0.01	-0.93	0.43	-0.05	1
29	1	150	260	0.14	-0.05	-0.9	0.14	-0.05	-0.9	0.14	-0.05	-0.93	0.42	-0.15	-1
30	1	150	260	0.13	-0.06	-0.9	0.13	-0.06	-0.9	0.13	-0.06	-0.87	0.39	-0.18	-0.9
43	1	150	260	0.12	-0.08	-0.8	0.12	-0.08	-0.8	0.12	-0.08	-0.8	0.36	-0.25	-0.8
44	1	150	260	0.11	-0.09	-0.7	0.11	-0.09	-0.7	0.11	-0.09	-0.73	0.33	-0.27	-0.8
53	1	150	260	0.1	-0.1	-0.7	0.1	-0.1	-0.7	0.1	-0.1	-0.67	0.3	-0.3	-0.7
54	1	150	260	0.1	-0.11	-0.7	0.1	-0.11	-0.7	0.1	-0.11	-0.67	0.3	-0.33	-0.7
65	1	150	260	0.07	-0.13	-0.5	0.07	-0.13	-0.5	0.07	-0.12	-0.47	0.21	-0.38	-0.5
66	1	150	260	0.07	-0.13	-0.5	0.07	-0.13	-0.5	0.07	-0.13	-0.47	0.21	-0.39	-0.5
83	1	150	260	0.01	-0.15	-0.1	0.01	-0.15	-0.1	0.01	-0.14	-0.07	0.03	-0.44	-0.1
84	1	150	260	0.01	-0.15	-0.1	0.01	-0.15	-0.1	0.01	-0.15	-0.07	0.03	-0.45	-0.1

se reflejan en tabla los THD: In y THD: Vcn porque que no existen variaciones de distorsión armónica en las pruebas realizadas.

Tabla 9: Datos para la tensión mínima (101V) y corriente máxima (10A).

T	Iavg	Fase	Line	Pa	Qa	PFa	Pb	Qb	PFb	Pc	Qc	PFc	P3	Q3	PF3
s	A	V	V	kW	kVAr		kW	kVAr		kW	kVAr		kW	kVAr	
0	10	101	176	1.02	0	1	1.02	0	1	1.01	0	1	3.05	0	1
8	10	101	176	1.01	-0.07	-0.99	1.01	-0.07	-1	1.01	-0.07	1	3.03	-0.22	1
9	10	101	176	1	-0.14	-0.98	1	-0.14	-1	1	-0.13	-1	3.01	-0.41	-0.99
14	10	101	176	0.99	-0.21	-0.97	0.99	-0.21	-1	0.99	-0.21	-1	2.97	-0.64	-0.98
19	10	101	176	0.96	-0.33	-0.94	0.96	-0.34	-0.9	0.96	-0.33	-1	2.88	-1	-0.95
22	10	101	176	0.95	-0.36	-0.93	0.95	-0.36	-0.9	0.94	-0.35	-0.9	2.84	-1.07	-0.94
27	10	101	176	0.9	-0.45	-0.88	0.9	-0.45	-0.9	0.9	-0.45	-0.9	2.71	-1.36	-0.89
34	10	101	176	0.8	-0.61	-0.78	0.8	-0.61	-0.8	0.8	-0.61	-0.8	2.4	-1.84	-0.79
35	10	101	176	0.78	-0.65	-0.76	0.78	-0.65	-0.8	0.78	-0.64	-0.8	2.34	-1.94	-0.77
41	10	101	176	0.71	-0.72	-0.7	0.71	-0.72	-0.7	0.71	-0.71	-0.7	2.14	-2.15	-0.71
42	10	101	176	0.66	-0.76	-0.65	0.66	-0.76	-0.7	0.66	-0.76	-0.7	1.99	-2.29	-0.66
45	10	101	176	0.6	-0.81	-0.59	0.6	-0.81	-0.6	0.6	-0.81	-0.6	1.8	-2.44	-0.59
46	10	101	176	0.58	-0.83	-0.57	0.58	-0.83	-0.6	0.59	-0.82	-0.6	1.75	-2.48	-0.58
53	10	101	176	0.45	-0.9	-0.44	0.45	-0.9	-0.4	0.45	-0.9	-0.5	1.36	-2.71	-0.45
61	10	101	176	0.34	-0.95	-0.33	0.34	-0.95	-0.3	0.35	-0.95	-0.4	1.04	-2.85	-0.34
62	10	101	176	0.27	-0.97	-0.26	0.27	-0.97	-0.3	0.27	-0.97	-0.3	0.83	-2.92	-0.27
67	10	101	176	0.19	-1	-0.19	0.18	-1	-0.2	0.19	-0.99	-0.2	0.56	-2.99	-0.18
71	10	101	176	0.09	-1.01	-0.09	0.09	-1.01	-0.1	0.09	-1.01	-0.1	0.28	-3.03	-0.09
75	10	101	176	0.01	-1.01	-0.01	0.01	-1.01	-0	0.01	-1.01	-0	0.04	-3.04	-0.01
76	10	101	176	0	-1.01	0	0	-1.02	0	0.01	-1.01	-0	0.01	-3.04	0

Tabla 10: Datos para la tensión media (127V) y corriente media (5A) capacitiva

Time	Iavg	Phase	Line	Pa	Qa	Pfa	Pb	Qb	PFb	Pc	Qc	PFc	P3	Q3	PF3
s	A	V	V	kW	kVAr		kW	kVAr		kW	kVAr		kW	kVAr	
0	5	127	220	0.63	0	1	0.63	0	0.98	0.63	0	1	1.89	0	1
19	5	127	220	0.62	-0.1	-0.98	0.63	-0.1	1	0.62	-0.1	-0.98	1.87	-0.3	-0.99
25	5	127	220	0.62	-0.1	-0.98	0.63	-0.1	-0.98	0.62	-0.1	-0.98	1.87	-0.3	-0.99
26	5	127	220	0.62	-0.13	-0.98	0.62	-0.13	-0.98	0.62	-0.13	-0.98	1.86	-0.4	-0.98
29	5	127	220	0.61	-0.16	-0.97	0.61	-0.16	-0.95	0.61	-0.15	-0.97	1.83	-0.47	-0.97
30	5	127	220	0.6	-0.19	-0.95	0.6	-0.19	-0.94	0.6	-0.19	-0.95	1.8	-0.58	-0.96
34	5	127	220	0.59	-0.21	-0.94	0.59	-0.21	-0.94	0.59	-0.2	-0.94	1.79	-0.63	-0.95
35	5	127	220	0.57	-0.25	-0.9	0.58	-0.25	-0.92	0.57	-0.25	-0.9	1.73	-0.76	-0.92
38	5	127	220	0.57	-0.26	-0.9	0.57	-0.26	-0.89	0.57	-0.26	-0.9	1.72	-0.78	-0.91
39	5	127	220	0.55	-0.29	-0.87	0.56	-0.29	-0.88	0.55	-0.29	-0.87	1.67	-0.88	-0.89
49	5	127	220	0.51	-0.37	-0.81	0.51	-0.37	-0.8	0.51	-0.36	-0.81	1.53	-1.1	-0.81
50	5	127	220	0.49	-0.4	-0.78	0.49	-0.4	-0.78	0.49	-0.4	-0.78	1.47	-1.2	-0.78
56	5	127	220	0.44	-0.45	-0.7	0.44	-0.45	-0.7	0.44	-0.45	-0.7	1.32	-1.36	-0.7
57	5	127	220	0.41	-0.48	-0.65	0.41	-0.48	-0.64	0.41	-0.48	-0.65	1.23	-1.44	-0.65
60	5	127	220	0.39	-0.49	-0.62	0.39	-0.49	-0.61	0.39	-0.49	-0.62	1.17	-1.48	-0.62
61	5	127	220	0.36	-0.51	-0.57	0.37	-0.51	-0.58	0.37	-0.51	-0.59	1.1	-1.54	-0.58
82	5	127	220	0.2	-0.59	-0.32	0.2	-0.6	-0.31	0.21	-0.59	-0.33	0.62	-1.79	-0.33
83	5	127	220	0.16	-0.61	-0.25	0.16	-0.61	-0.25	0.17	-0.61	-0.27	0.49	-1.83	-0.26

Tabla 11: Tabla de datos para tensión máxima (150V) y corriente mínima (1 A) con barrida del FP inductivo.

Time	Iavg	Phase	Line	Pa	Qa	PFa	Pb	Qb	PFc	Pc	Qc	PFc	P3	Q3	PF3
s	A	V	V	kW	kVAr		kW	kVAr		kW	kVAr		kW	kVAr	
0	1	150	260	0.15	0	1	0.15	0	1	0.15	0	1	0.45	0	1
6	1	150	260	0.15	0	1	0.15	0	1	0.15	0	1	0.45	0.01	1
7	1	150	260	0.15	0.01	1	0.15	0.01	1	0.15	0.01	1	0.45	0.03	1
20	1	150	260	0.14	0.02	0.93	0.15	0.02	1	0.14	0.02	0.93	0.43	0.06	1
36	1	150	260	0.14	0.03	0.93	0.14	0.03	0.93	0.14	0.03	0.93	0.42	0.09	1
37	1	150	260	0.14	0.04	0.93	0.14	0.04	0.93	0.14	0.04	0.93	0.42	0.12	0.98
46	1	150	260	0.14	0.05	0.93	0.14	0.05	0.93	0.13	0.05	0.87	0.41	0.15	0.95
47	1	150	260	0.13	0.06	0.87	0.13	0.06	0.87	0.13	0.06	0.87	0.39	0.18	0.93
57	1	150	260	0.13	0.07	0.87	0.13	0.07	0.87	0.13	0.07	0.87	0.39	0.21	0.89
58	1	150	260	0.12	0.08	0.8	0.12	0.08	0.8	0.12	0.08	0.8	0.36	0.24	0.84
68	1	150	260	0.11	0.09	0.73	0.11	0.09	0.73	0.11	0.09	0.73	0.33	0.27	0.79
73	1	150	260	0.1	0.1	0.67	0.1	0.1	0.67	0.1	0.1	0.67	0.3	0.3	0.71
79	1	150	260	0.08	0.12	0.53	0.08	0.12	0.53	0.08	0.12	0.53	0.24	0.36	0.56
80	1	150	260	0.07	0.13	0.47	0.07	0.13	0.47	0.07	0.13	0.47	0.21	0.39	0.48
102	1	150	260	0.02	0.14	0.13	0.02	0.15	0.13	0.02	0.14	0.13	0.06	0.43	0.14
103	1	150	260	0.01	0.15	0.07	0.01	0.15	0.07	0.01	0.15	0.07	0.03	0.45	0.07

Tabla 12: Datos para tensión (101V) y corriente máxima (10 A) con barrido del ángulo inductivo

Tim	lavg	Phas	Linea	Pa	Qa	PFa	Pb	Qb	PFc	Pc	Qc	PFc	P3	Q3	PF3	THD: Vcn
s	A	V	V	kW	kVAr		kW	kVAr		kW	kVAr		kW	kVAr		%
0	10	101	176	1.02	0	1	1.02	0	1	1.01	0	1	3.05	0	1	0.6
4	10	101	176	1.01	0.09	1	1.01	0.09	1	1.01	0.09	1	3.03	0.27	1	0.6
9	10	101	176	1	0.12	1	1.01	0.12	1	1	0.12	1	3.02	0.36	1	0.6
13	10	101	176	0.99	0.18	1	0.99	0.18	1	0.99	0.19	1	2.99	0.56	1	0.6
18	10	101	176	0.98	0.27	1	0.98	0.27	1	0.98	0.27	1	2.94	0.81	1	0.6
23	10	101	176	0.95	0.35	0.9	0.95	0.35	0.9	0.95	0.35	0.9	2.85	1.06	0.9	0.6
24	10	101	176	0.92	0.42	0.9	0.92	0.42	0.9	0.91	0.42	0.9	2.76	1.26	0.9	0.6
35	10	101	176	0.85	0.54	0.8	0.85	0.54	0.8	0.85	0.54	0.8	2.56	1.63	0.8	0.6
36	10	101	176	0.83	0.59	0.8	0.83	0.59	0.8	0.82	0.59	0.8	2.48	1.77	0.8	0.6
50	10	101	176	0.71	0.72	0.7	0.7	0.72	0.7	0.7	0.72	0.7	2.12	2.17	0.7	0.6
51	10	101	176	0.65	0.77	0.6	0.65	0.77	0.6	0.64	0.77	0.6	1.95	2.33	0.6	0.6
64	10	101	176	0.5	0.88	0.5	0.5	0.88	0.5	0.5	0.88	0.5	1.5	2.64	0.5	0.6
65	10	101	176	0.46	0.9	0.5	0.46	0.9	0.5	0.45	0.9	0.5	1.38	2.7	0.5	0.6
73	10	101	176	0.34	0.95	0.3	0.34	0.95	0.3	0.34	0.95	0.3	1.02	2.86	0.3	0.6
78	10	101	176	0.24	0.98	0.2	0.24	0.98	0.2	0.23	0.98	0.2	0.72	2.95	0.2	0.6
82	10	101	176	0.13	1	0.1	0.13	1	0.1	0.13	1	0.1	0.41	3.01	0.1	0.6

Tabla 13: Datos para la tensión media (127V) y corriente media (5 A) con barrido inductivo)

Tim	lavg	Phase	Línea	Pa	Qa	PFa	Pb	Qb	PFb	Pc	Qc	PFc	P3	Q3	PF3
s	A	V	V	kW	kVAr		kW	kVAr		kW	kVAr		kW	kVAr	
0	5	127	220	0.63	0	1	0.63	0	1	0.63	0	1	1.89	0	1
3	5	127	220	0.63	0.02	1	0.63	0.02	1	0.63	0.02	1	1.89	0.07	1
4	5	127	220	0.63	0.05	1	0.63	0.05	1	0.63	0.05	1	1.89	0.15	1
11	5	127	220	0.63	0.06	1	0.63	0.06	1	0.63	0.06	1	1.89	0.18	1
12	5	127	220	0.62	0.1	1	0.62	0.1	1	0.62	0.11	1	1.86	0.32	0.99
15	5	127	220	0.62	0.11	1	0.62	0.11	1	0.62	0.11	1	1.86	0.33	0.99
16	5	127	220	0.61	0.15	1	0.61	0.15	1	0.61	0.15	1	1.84	0.45	0.97
20	5	127	220	0.6	0.18	1	0.6	0.18	0.9	0.6	0.18	1	1.81	0.55	0.96
21	5	127	220	0.59	0.21	0.9	0.6	0.21	0.9	0.59	0.22	0.9	1.78	0.64	0.94
39	5	127	220	0.48	0.41	0.8	0.48	0.41	0.8	0.48	0.41	0.8	1.44	1.23	0.76
40	5	127	220	0.47	0.42	0.8	0.47	0.42	0.7	0.47	0.42	0.8	1.42	1.26	0.75
54	5	127	220	0.31	0.55	0.5	0.31	0.55	0.5	0.31	0.55	0.5	0.93	1.65	0.49
55	5	127	220	0.26	0.57	0.4	0.27	0.57	0.4	0.26	0.57	0.4	0.8	1.71	0.42
66	5	127	220	0.11	0.62	0.2	0.11	0.62	0.2	0.1	0.62	0.2	0.32	1.86	0.17
67	5	127	220	0.1	0.62	0.2	0.1	0.62	0.2	0.1	0.62	0.2	0.3	1.87	0.16
73	5	127	220	0.05	0.63	0.1	0.05	0.63	0.1	0.05	0.63	0.1	0.15	1.89	0.08
74	5	127	220	0.02	0.63	0	0.02	0.63	0	0.02	0.63	0	0.07	1.89	0.04

Tabla 14: Datos de la formas de onda de corriente y tensión del 3er Amónico

la	lb	lc	Va	Vb	Vc	P3	Q3	S3
(A)	(A)	(A)	(V)	(V)	(V)	(kW)	(kVAr)	(KVA)
-4	6	6	83	153	172	1.83	0.57	1.91
-5	4	-1	-169	-107	-53	1.83	0.57	1.91
-3	1	-4	-169	-153	-118	1.83	0.57	1.91
-2	-1	-5	-161	-169	-143	1.83	0.57	1.91
-1	-1	-6	-160	-170	-145	1.83	0.57	1.91
1	-3	-6	-146	-179	-161	1.83	0.57	1.91
2	-4	-6	-125	-179	-167	1.83	0.57	1.91
3	-5	-6	-122	-179	-169	1.83	0.57	1.91
4	-6	-6	-82	-167	-171	1.83	0.57	1.91
5	-6	-6	-78	-165	-170	1.83	0.57	1.91
6	-4	1	170	122	49	1.83	0.57	1.91
5	-4	1	170	125	54	1.83	0.57	1.91
4	-1	4	170	165	115	1.83	0.57	1.91
3	-1	4	171	167	119	1.83	0.57	1.91

Tabla 15: Datos del experimento de variación de la tensión un 10 %.

THD: Van	THD: Vbn	THD: Vcn	THD: In	P3	Q3	S3	PF3
(%)	(%)	(%)	(%)	(kW)	(kVAr)	(KVA)	
1,0	1.00	1.00	0.6	1.83	0.48	1.89	0.97
1.20	1.00	1.00	0.6	1.83	0.48	1.89	0.97
2.00	1.90	1.90	0.6	1.83	0.48	1.89	0.97
2.90	2.90	2.90	0.6	1.83	0.48	1.89	0.97
3.00	2.90	2.90	0.6	1.83	0.48	1.89	0.97
4.00	2.90	2.90	0.6	1.83	0.48	1.89	0.97
5.00	5.00	5.00	0.6	1.83	0.48	1.89	0.97
6.00	5.90	6.00	0.6	1.83	0.48	1.89	0.97
6.90	7.00	6.90	0.6	1.83	0.48	1.89	0.97
7.00	6.90	7.00	0.6	1.83	0.48	1.89	0.97
8.00	7.90	6.90	0.6	1.83	0.48	1.89	0.97
8.90	8.90	8.90	0.6	1.83	0.48	1.89	0.97
9.90	9.90	10.10	0.6	1.83	0.57	1.91	0.96
10.10	9.90	9.90	0.6	1.83	0.56	1.90	0.96

Tabla 16: Datos del experimento variación de corriente al 50%.

THD: Ia	THD: Ib	THD: Ic	THD: Vn	P3	Q3	S3	PF3
(%)	(%)	(%)	(%)	(kW)	(kVAr)	(KVA)	()
0.70	0.60	0.60	0.6	1.83	0.48	1.89	0.97
5.10	5.10	5.10	0.6	1.83	0.48	1.89	0.97
10.10	10.10	10.10	0.6	1.83	0.57	1.91	0.96
10.10	10.10	10.20	0.6	1.83	0.57	1.91	0.96
15.20	15.10	15.10	0.6	1.83	0.57	1.91	0.96
20.20	20.10	20.10	0.6	1.83	0.61	1.92	0.95
25.00	25.00	25.00	0.6	1.83	0.66	1.94	0.94
30.00	30.00	30.00	0.6	1.83	0.75	1.97	0.93
35.00	35.00	35.10	0.6	1.83	0.84	2.01	0.91
40.00	40.00	40.10	0.6	1.83	0.90	2.03	0.90
45.10	45.00	45.00	0.6	1.83	0.98	2.07	0.88
50.10	50.00	50.00	0.6	1.83	1.08	2.12	0.86