



Diseño e implementación de estación de medida eléctrica, para la supervisión y medición de parámetros eléctricos en circuitos trifásicos utilizando un analizador de redes PM2230 Easy Logic de Schneider Electric, en el entorno de prácticas de laboratorio de medidas eléctricas UTS 2026

Modalidad: Desarrollo Tecnológico

JHOAN SEBASTIÁN BENAVIDES ÁLVAREZ
CC1.005.334.409

JOSE DAVID VALENCIA SÁNCHEZ
CC: 1065848849

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad Ciencias Naturales e Ingenierías
Ingeniería Electromecánica
Bucaramanga, (05 DE OCTUBRE DE 2026)



Diseño e implementación de estación de medida eléctrica, para la supervisión y medición de parámetros eléctricos en circuitos trifásicos utilizando un analizador de redes PM2230 Easy Logic de Schneider Electric, en el entorno de prácticas de laboratorio de medidas eléctricas UTS 2026

Modalidad: Desarrollo Tecnológico

JHOAN SEBASTIAN BENAVIDES ÁLVAREZ
CC1.005.334.409

JOSE DAVID VALENCIA SANCHEZ
CC: 1065848849

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Electromecánico**

DIRECTOR
LIC. ESP. Milton Reyes Jiménez

Grupo de investigación en sistemas de energía, automatización y control- – GISEAC

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad Ciencias Naturales e Ingenierías
Ingeniería Electromecánica
Bucaramanga, (05 DE OCTUBRE DE 2026)**

Nota de Aceptación

Este informe final de trabajo de grado, en modalidad de Desarrollo Tecnológico, fue
APROBADO en cumplimiento de uno de los requisitos exigidos por las Unidades
Tecnológicas de Santander para optar el Título de Ingeniero Electromecánico, según
acta 29 de 05 de octubre de 2026, del Comité de Trabajo de Grado

Daniel A. Sánchez B.

Daniel Sánchez Botia
Firma del Evaluador

uf [Signature]

Milton Reyes Jiménez
Firma del Director

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a mi madre, Laury Alejandra Sanchez Cotes, por el esfuerzo monumental e incondicional con el que impulso mi carrera y cuya fe y sacrificio hicieron posible este título; a mi abuela Nurielcy Cotes Bruges, pilar de mi vida, por construir junto a mi madre los hogares firmes donde mis sueños tomaron fuerza y por su aliento constante para preservar; a las Unidades Tecnológicas de Santander (UTS) por ser un espacio de mi formación personal y profesional.

JOSE DAVID VALENCIA SANCHEZ

Este proyecto final va dedicado especialmente a DIOS, a mis padres Benigno Benavides quien desde mi infancia apporto conocimientos y ejemplo de disciplina, a mi madre Yolanda Álvarez quien siempre estuvo acompañándome durante todo el proceso, y a mi hermano y colega uteista cesar Benavides quien es mi mejor ejemplo a seguir, este logro es tan suyo como mío

JOHAN SEBASTIAN

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, Laury Alejandra Sanchez Cotes, y a mi abuela, Nurielcy Cotes Bruges, por el esfuerzo monumental e incondicional con el que impulsaron mi carrera universitaria. Este título es el fruto directo de sus sacrificios, trasnochos y fe ciega en mi futuro, un logro que lleva su nombre con el mismo orgullo con el que caminaron a mi lado.

A las unidades tecnológicas de Santander por abrirme las puertas. Es un orgullo graduarme de esta maravillosa institución y agradezco sinceramente a sus docentes y personal por su aporte a mi crecimiento profesional.

JOSE DAVID

Gracias a Dios primero que todo por darme sabiduría y vida para disfrutar y vivir este lindo proceso de aprendizaje, a mis padres y familiares por cada granito de arena aportado durante todos estos años, a la institución por abrirme las puertas y darme una oportunidad de prepararme de una manera mejor para mi vida profesional, a profesores, estudiantes y directivos, a todos ustedes mi reconocimiento y gratitud

JOHAN SEBASTIAN

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	12
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	13
1.3. OBJETIVOS.....	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	16
2. MARCO REFERENCIAL	19
2.1. GENERALIDADES DE LOS CIRCUITOS TRIFÁSICOS EQUILIBRADOS Y DESEQUILIBRADOS. 19	
2.1.1. CIRCUITOS TRIFÁSICOS EQUILIBRADOS	19
2.1.2. CIRCUITOS TRIFÁSICOS DESEQUILIBRADOS	20
2.1.3. COMPARACIÓN ENTRE CIRCUITOS EQUILIBRADOS Y DESEQUILIBRADOS	21
2.1.4. CONEXIÓN EN ESTRELLA (Y)	22
2.1.5. CONEXIÓN EN TRIÁNGULO (Δ)	22
2.1.6. POTENCIA APARENTE:	23
2.1.7. POTENCIA REACTIVA:	23
2.2. MEDICIÓN DE POTENCIA Y ENERGÍA.....	23
MEDICIÓN DE POTENCIA EN REDES INTELIGENTES (SMART GRIDS) Y CONTADORES AVANZADOS (AMI).....	23
2.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS MONOFÁSICAS, TRIFÁSICAS EQUILIBRADAS Y DESEQUILIBRADAS	26
2.4. CARGA MONOFÁSICA.....	26
2.5. CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....	32
2.6. TRANSFORMADOR DE MEDIDA DE CORRIENTE CON RELACIÓN 20A/5A	37
2.7. ANALIZADORES DE REDES.....	38
2.7.1. BORNERAS PRINCIPALES ANALIZADORES DE REDES.....	39
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	41
3.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
3.3. MÉTODO Y TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	42

3.4.	FASES DE LA INVESTIGACIÓN	42
<u>4.</u>	<u>DESARROLLO DEL PROYECTO</u>	<u>43</u>
4.1.	ANALIZADOR DE REDES CENTRAL DE MEDIDA PM 2230	43
4.2.	FUNCIONES DE LA CENTRAL DE MEDIDA	44
4.3.	CONEXIONADO	45
4.3.1.	ALIMENTACIÓN.....	45
4.4.	MONTAJE ANALIZADOR PM 2230	49
4.4.1.	IDENTIFICACIÓN SEÑALES DE CORRIENTE EN ANALIZADOR DE REDES	49
4.4.2.	IDENTIFICACIÓN SEÑALES DE TENSIÓN EN ANALIZADOR DE REDES	50
4.5.	RESULTADOS DE APLICACIÓN EN LABORATORIO.....	52
4.5.1.	CARGA 1 MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO JAULA DE ARDILLA 220 V. 1.1 KW	52
<u>5.</u>	<u>RESULTADOS</u>	<u>63</u>
5.1.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS APLICACIÓN 1	67
5.2.	RESULTADOS APLICACIÓN 2	68
5.2.1.	EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO APLICACIÓN 2	70
5.3.	RESULTADOS APLICACIÓN 3	71
5.3.1.	EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO APLICACIÓN 3	72
5.4.	RESULTADOS APLICACIÓN 4	74
5.4.1.	EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO APLICACIÓN 4	75
5.5.	RESULTADOS APLICACIÓN 5	76
5.5.1.	EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO APLICACIÓN 5	77
<u>6.</u>	<u>CONCLUSIONES</u>	<u>79</u>
<u>7.</u>	<u>RECOMENDACIONES.....</u>	<u>80</u>
<u>8.</u>	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>81</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Sistema básico derivaciones red de alterna trifásica	19
Figura 2 Señal Sinusoidal.	27
Figura 3 Triangulo de potencia.....	28
Figura 4 Sistema bifásico	29
Figura 5 Sistema trifásico.....	30
Figura 6 Señal de onda con amplitud continuidad y forma de onda permanente.....	32
Figura 7 Onda senoidal con ruido	34
Figura 8 Onda con transitorio.....	35
Figura 9 Onda con caída momentánea de voltaje	36
Figura 10 Transformador de medida de corriente	37
Figura 11 Arquitectura externa de analizador de redes	38
Figura 12 Borneras principales en un analizador de redes.....	39
Figura 13 Conexión básica en un analizador de redes.....	40
Figura 14 Analizador de redes PM 220 23 SHEIDER ELECTRIC	43
Figura 15 Presentación frontal y posterior Analizador de redes PM 220 23 SHEIDER ELECTRIC.....	46
Figura 16 Montaje analizador PM 2230.....	49
Figura 17 Detalle señales de corriente PM2230.....	50
Figura 18 Detalle señales de tensión PM2230	52
Figura 19 Conexión analizador	53
Figura 20 Comparativa de lecturas de corrientes	67
Figura 21 Comparativa de lectura de voltajes	67
Figura 22 % de desviación de corriente por línea.....	67
Figura 23 % de desviación de tensión por línea.....	67
Figura 24 Comparativa de lecturas de corrientes	69
Figura 25 Comparativa de lectura de voltajes	69
Figura 26 . % de desviación de corriente por línea.....	69
Figura 27 % de desviación de tensión por línea.....	69
Figura 28 Comparativa de lecturas de corrientes	71
Figura 29 Comparativa de lectura de voltajes	71
Figura 30 % de desviación de corriente por línea.....	72
Figura 31 % de desviación de tensión por línea.....	72
Figura 32 Comparativa de lecturas de corrientes	74
Figura 33 Comparativa de lectura de voltajes	74
Figura 34 . % de desviación de corriente por línea.....	75
Figura 35 % de desviación de tensión por línea.....	75
Figura 36 Comparativa de lecturas de corrientes	77
Figura 37 Comparativa de lectura de voltajes	77
Figura 38 % de desviación de corriente por línea.....	77
Figura 39 % de desviación de tensión por línea.....	77

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 <i>Fases de la investigación</i>	42
Tabla 2 Resultados aplicación 1.....	53
Tabla 3 Resultados aplicación 2.....	54
Tabla 4 Resultados aplicación 3.....	56
Tabla 5 Resultados aplicación 4.....	58
Tabla 6 Resultados aplicación 5.....	60
Tabla 7 Resultados Aplicación 1.....	66
Tabla 8 Resultados aplicación 2.....	68
Tabla 9 Resultados aplicación 3.....	71
Tabla 10 Resultados Aplicación 4.....	74
Tabla 11 Resultados aplicación 5.....	76

RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto de desarrollo tecnológico consiste en el diseño e implementación de un sistema de monitoreo energético en el laboratorio de medidas eléctricas de las Unidades Tecnológicas de Santander (UTS), utilizando un analizador de redes modelo PM2230, con varios propósitos como: Configurar e instalar el equipo en el laboratorio de medidas eléctricas, para medir y registrar parámetros de las prácticas de corriente alterna en circuitos trifásico; voltaje, corriente, potencia, frecuencia, factor de potencia y consumo; utilizando cargas trifásicas tanto equilibradas como desequilibradas. De igual manera monitorear el comportamiento eléctrico durante las actividades académicas para detectar de forma temprana anomalías como variaciones de voltaje, sobrecargas y desequilibrios en el sistema y finalmente el impacto como lo es optimizar el uso de la energía eléctrica en el laboratorio y contribuir a la reducción de los costos operativos asociados a su consumo.

Enfoque cualitativo, cuyo objetivo general será la descripción de las cualidades de la solución a la problemática que se estudia, para así mismo comprender la importancia a tener en cuenta esta información, empleando técnicas de revisión que se encuentran en los manuales y técnicas de las diferentes formas de trabajo de los analizadores de redes que se utiliza en el proyecto, bibliografía de la investigación y de artículos especializados.

PALABRAS CLAVE. Precisión, potencia, energía, factor de potencia

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de energía eléctrica, sumada a la volatilidad de sus costos y la necesidad de reducir la huella de carbono, exige a las industrias optimizar sus procesos de consumo. Una gestión energética eficiente comienza con una monitorización precisa y en tiempo real de las variables eléctricas.

Muchas instalaciones operan a ciegas respecto a la calidad de su energía y la distribución de sus cargas. La presencia de armónicos (generados por cargas no lineales), los desequilibrios de fases y los bajos factores de potencia suelen pasar desapercibidos hasta que se traducen en fallas prematuras de equipos, multas por parte del operador de red o sobrecostos en la factura eléctrica. La falta de un sistema automatizado de medición impide un diagnóstico oportuno.

El presente proyecto comprende la integración física, configuración y puesta en marcha del analizador PM 2230 en el tablero eléctrico de [mencionar el área, planta o laboratorio], abarcando la lectura de parámetros, la parametrización de sus comunicaciones y la visualización de la información eléctrica.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El constante desarrollo tecnológico en sistemas y equipos para la medición de parámetros eléctricos en sectores comerciales e industriales, exige a nivel de programas académicos de ingeniería la actualización de contenidos programáticos y adaptación de sus laboratorios a las exigencias del entorno. La situación problema de la medición de la calidad de energía eléctrica se refiere a las dificultades para evaluar correctamente si la energía suministrada cumple con los parámetros necesarios para el funcionamiento seguro y eficiente de los equipos eléctricos y electrónicos. Situaciones como: Sobretensiones, subtensiones, caídas momentáneas de voltaje, Incrementos momentáneos de voltaje, armónicos generados por cargas no lineales como variadores de velocidad, computadoras y fuentes conmutadas, desbalance de voltaje y corriente; deben ser detectadas ya analizadas de forma instantánea para evitar paradas de proceso e incrementos en facturación de la energía eléctrica.

Un aspecto importante del equipo es la capacidad de monitorización de los parámetros, aunque este aspecto es funcional, se tendría que hacer más énfasis en su desarrollo, ya que hoy en día se requiere más información y conectividad en los equipos de medida. Un punto de mejora, en este aspecto, es poder llegar a configurar alarmas de aviso de consumos (Cano 2020)

Los instrumentos utilizados para evaluar la calidad de la energía son llamados analizadores de calidad de energía, o simplemente analizadores de redes eléctricas. La complejidad de estos dispositivos puede ser entendido por la variedad de anomalías que afectan la calidad de la energía. En el mercado se puede encontrar una gran variedad de analizadores de calidad de energía eléctrica para ayudar al mantenimiento de sistemas eléctricos de alta calidad. Estas herramientas

ofrecen la capacidad necesaria para analizar todos los parámetros y eventos relacionados con la energía o anomalías eléctricas de forma rápida, segura, precisa y detallada. De manera que, se pretende realizar la caracterización de la medición, cálculo y visualización del proceso de medición de parámetros eléctricos en redes y circuitos trifásicos (Vega 2020).

En el entorno académico se requiere la implementación de laboratorios específicos que evalúen y planteen soluciones al tema de calidad de energiza.

¿Cómo a través de un proyecto de desarrollo tecnológico en el programa de ingeniería electromecánica se estructuran soluciones a aspectos derivados de la calidad de energía utilizando analizadores de redes de gran avance tecnológico?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El analizador de redes EASYLOGIC PM 2230 es un equipo electrónico medidor de energía activa de clase de precisión 0.5S que cumple con la norma IEC 62053-22 con una tasa de muestreo de 64 muestras por ciclo. Capaz de medir los tres vectores de energía y energía, tales como activo, aparente y reactivo, además de las tensiones, corriente, frecuencia y factor de potencia. Además de la distorsión armónica total y armónicos individuales hasta el orden 31 de armónicos. El medidor funcionará en frecuencias de red de 50Hz o 60Hz. Implementar este equipo en los laboratorios de la UTS constituye un insumo importante para el desarrollo de tareas investigativas en el área de la calidad de energía en beneficio de sectores industriales y comerciales, aplicando programas de gestión de calidad de energía basados en normas internacionales. este es un analizador/medidor de energía eléctrica utilizado en proyectos de desarrollo tecnológico relacionados con automatización, eficiencia energética y monitoreo industrial. Mide variables como voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, frecuencia y distorsión armónica, además de comunicarse mediante Modbus RS-485 para integrarse con sistemas de supervisión.

Respecto a la academia, se pueden desarrollar aprendizaje práctico de medición eléctrica: permite visualizar tensión, corriente, potencia activa, reactiva y aparente en tiempo real, estudio de calidad de energía: mide distorsión armónica total (THD) hasta el armónico 31, útil para cursos de electrónica de potencia y sistemas eléctricos.

Análisis de El PM2230 (METSEPM2230) es un analizador de redes eléctricas de la serie EasyLogic PM2200 de Schneider Electric.

Diseñado para supervisar parámetros eléctricos, calidad de energética: ayuda a los estudiantes a comprender el consumo energético y desarrollar proyectos de ahorro y gestión de energía, prácticas con comunicaciones industriales: incorpora comunicación RS-485 con protocolo Modbus RTU, ampliamente utilizado en automatización industrial, desarrollo de proyectos de investigación: permite registrar variables eléctricas para análisis estadístico, monitoreo de cargas y estudios de redes eléctricas. alta precisión de medición: clase 0.5S para energía activa, adecuada para laboratorios y actividades de formación técnica.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema de monitoreo utilizando un analizador de redes PM2230 para la medición de variables eléctricas y de consumo en las prácticas de laboratorio de medidas eléctricas de las UTS, identificando variaciones, sobrecargas, desequilibrios y optimizando el uso de la energía y reducir los costos operativos asociados

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Establecer las características para la configuración e instalación del analizador de redes PM2230 en el proceso de medición y registro de parámetros eléctricos como voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, frecuencia y consumo de energía, garantizando su correcto funcionamiento, utilizando cargas trifásicas equilibradas y desequilibradas en el laboratorio de medidas eléctricas de las UTS.

Evaluar la calidad del suministro eléctrico en las prácticas de laboratorio de medidas eléctricas, utilizando analizador de redes PM2230, registrando parámetros como distorsión armónica (hasta el armónico 31) y perfil de cargas, para proponer estrategias de mitigación y protección de equipos.

Validar la utilización de un analizador de redes Schneider Electric EasyLogic PM2230 con una correcta instalación física, configurándolo según los transformadores de corriente de sus parámetros internos para asegurar mediciones confiables; que los TCs externos estén conectados firmemente a las entradas de intensidad del equipo y que sus secundarios estén debidamente aterrados (puestas a tierra) por seguridad

1.4. ESTADO DEL ARTE

La instalación de cargas no lineales en los sistemas eléctricos trifásicos es la generación de tensiones y corrientes con frecuencias y niveles diferentes a los planteados en los diseños. Las nuevas condiciones se denominan perturbaciones y distorsiones. El PM2230 (METSEPM2230) es un analizador de redes eléctricas de la serie EasyLogic PM2200 de Schneider Electric, diseñado para supervisar parámetros eléctricos, calidad distorsiones de las ondas sinusoidales de los parámetros eléctricos. Por consiguiente, definir y establecer los límites y tiempos de medición para cada una de estas perturbaciones de larga o corta duración es primordial para establecer la instrumentación eléctrica adecuada para determinados casos, es ahí donde las normas juegan un papel importante en todo proceso de medición de calidad de energía eléctrica. Las lecturas de corriente se realizan en cada conductor del sistema de suministro, incluyendo el neutro y el conductor de puesta a tierra. El valor de la magnitud eléctrica a medir puede registrarse de forma directa de igual manera en el caso de los sistemas de baja tensión, a través de transductores de medida. El método desarrollado en el proyecto fue referenciado en las normas nacionales e internacionales actualizadas relacionadas con la medición, monitoreo y recopilación de datos de las perturbaciones de calidad de energía eléctrica. La norma internacional IEEE 1159 entrega direccionamientos y lineamientos para el planteamiento de la metodología propuesta en este proyecto, con base en las características del sistema eléctrico dependiendo el lugar, condiciones, objetivos, tiempos y límites de medición, mientras que los estándares y normativas tales como IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-15, IEC 61000-4-30, NTC 5000 (norma colombiana) y la IEEE 519 aporta los límites, métodos y tiempos de medición para cada perturbación. (Cervantes 2014)

Estudio y diagnóstico de la calidad de energía en el campus universitario en la Costa Norte De Colombia. El proyecto investigativo, realizado por se focalizó en el estudio de la calidad de energía, donde se pretendía un servicio adecuado que no altere y dañe los equipos que tienen mayor sensibilidad a la fluctuación energética. A través de un analizador de redes se pretende evitar un mayor consumo de energía y la alteración en un sistema eléctrico, se indaga en diferentes parámetros tales como la cantidad de armónicos, potencias, tensiones (Churio, Vanegas, & Valencia, 2018),

En el desarrollo del proyecto” Diseño e implementación de manuales de uso en equipos analizadores de redes, certificadores de cable estructurado y medidores de resistencia de puesta a tierra, se analizaron las normas nacionales e internacionales de equipos, definiendo en un contexto general, al momento de configurar el instrumento, Se estudiaron normatividades relacionadas y enfocadas a la parte de verificación y las otras a requisitos para realizar las pruebas. Como sucede con la norma IEC 60364.6.61, que establece un seguimiento mediante: inspección visual, comprobación de los elementos, medidas de funcionamiento del equipo y pruebas funcionales de sus partes. La problemática estableció el incremento de las redes y que requiere evaluación constante de manera que se logren altos estándares de calidad, y para ello es indispensable el uso de equipos que estén monitoreando el estado de las instalaciones. Existen muchos equipos en el mercado que ofrecen variedad de servicios e incluso algunos que son multifuncionales, recogiendo los datos necesarios en un solo equipo y procesándolos para determinar soluciones

El objetivo del proyecto: “Análisis de calidad de energía eléctrica en el nuevo campus de la universidad politécnica salesiana” se configuro como un medio para la parte técnica y abonados de suministro eléctrico obtengan información en

tiempo real, de voltajes equilibrados, sinusoidales y de amplitudes y frecuencias constantes. El incremento de consumos eléctricos en sectores productivos, por la implementación de la automatización, ha tenido un desarrollo tecnológico considerado, en referencia a la electrónica de potencia que ha generado una gran cantidad de equipos de alta capacidad, mejor rendimiento y costos menores; siendo cargas no lineales altamente sensibles a las variaciones en el suministro eléctrico, siendo perturbado el suministro eléctrico por su propia presencia; lo cual establece que la empresa Distribuidora del Servicio Eléctrico suministre una alimentación confiable, constante y libre de perturbaciones en el servicio eléctrico. De igual manera se plantearon soluciones efectivas para corregir los disturbios y variaciones de voltaje y proponer conclusiones para corregir las fallas o problemas que se presenten en el sistema eléctrico. El desarrollo del estudio se verá reflejado por la Regulación del CONELEC 004/01 vigentes desde Marzo del 2001 y varias Normas Internacionales; con referencias de las diversas mediciones tomadas en los puntos que dicha regulación lo estipula, se planteará las conclusiones necesarias para mantener un buen servicio que evite el deterioro de las señales de tensión y conlleve a interrupciones que culminan en la reducción o parada de procesos que ocasionan perjuicios. (Holguín – Gómez 2010)

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Generalidades de los circuitos trifásicos equilibrados y desequilibrados.

Los circuitos trifásicos son sistemas eléctricos formados por tres tensiones alternas sinusoidales de igual frecuencia y amplitud, desfasadas 120° eléctricos entre sí. Se utilizan ampliamente en la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica debido a su mayor eficiencia y capacidad para alimentar cargas de alta potencia.

2.1.1. Circuitos trifásicos equilibrados

Un sistema eléctrico balanceado es un sistema que su amplitud por fase es la misma en todas y entre ellas hay un desfase de 120° por fase con igual magnitud y trabajan a la misma frecuencia angular y sus impedancias son iguales por fase. (Chapman, 1975)

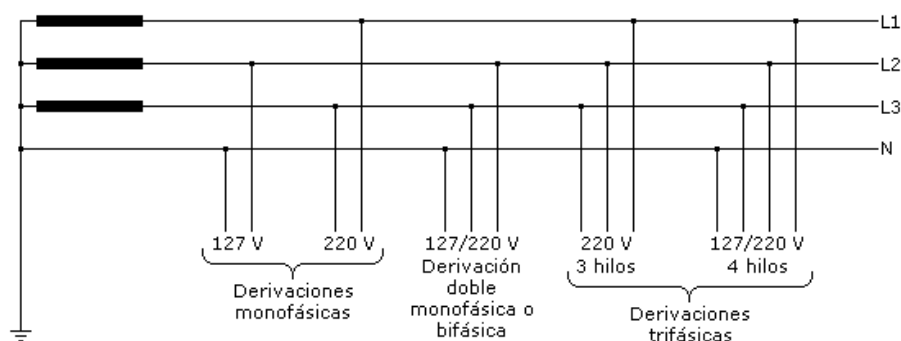


Figura 1 Sistema básico derivaciones red de alterna trifásica

Fuente: <http://www.apcotech.com/BLOG/wp-content/uploads/2018/01/Monofasico-bifasico-y-trifasico-2-300x113.gif>

Un circuito trifásico se considera equilibrado cuando:

- Las tres tensiones de fase tienen el mismo valor eficaz y están separadas 120° entre sí.
- Las impedancias de las tres fases son iguales en magnitud y ángulo.
- Las corrientes de fase tienen igual magnitud y también están desfasadas 120° .
- En una conexión en estrella (Y), la suma vectorial de las corrientes es cero, por lo que la corriente por el conductor neutro es nula.

Características principales:

- Distribución uniforme de la carga.
- Mayor eficiencia energética.
- Menores pérdidas en los conductores.
- Funcionamiento estable de motores y equipos trifásicos.
- Facilita el análisis mediante una sola fase representativa.

2.1.2. Circuitos trifásicos desequilibrados

Un circuito trifásico es desequilibrado cuando una o más de las siguientes condiciones no se cumplen:

- Las cargas conectadas a cada fase son diferentes.
- Las corrientes de fase tienen distintas magnitudes o desfases.
- Las tensiones de fase presentan diferencias debido a fallas o variaciones en la red.

En estos casos, el sistema deja de ser simétrico y cada fase debe analizarse de forma independiente.

Características principales:

- Aparición de corriente en el conductor neutro (en conexiones en estrella con neutro).
- Incremento de pérdidas de energía.
- Sobrecalentamiento de conductores y equipos.
- Disminución de la eficiencia del sistema.
- Posibles vibraciones y reducción de la vida útil de motores eléctricos.

2.1.3. Comparación entre circuitos equilibrados y desequilibrados

Aspecto	Circuito equilibrado	Circuito desequilibrado
Tensiones de fase	Iguales	Pueden ser diferentes
Impedancias	Iguales	Diferentes
Corrientes de fase	Iguales	Diferentes
Corriente en el neutro	Cero (idealmente)	Distinta de cero
Análisis	Más sencillo	Más complejo
Eficiencia	Alta	Menor

Importancia de mantener el equilibrio

Mantener un sistema trifásico equilibrado permite aprovechar mejor la capacidad de la red eléctrica, reducir pérdidas, mejorar el rendimiento de los equipos y garantizar una operación segura y confiable. En instalaciones industriales y comerciales se procura distribuir las cargas de manera uniforme entre las tres fases para minimizar los efectos del desequilibrio.

Tipos de conexión

2.1.4. Conexión en estrella (Y)

- Los tres extremos de las fases se unen en un punto común llamado **neutro**.
- Permite obtener dos niveles de tensión: fase-neutro y fase-fase.
- Relaciones:
 - $V_L = \sqrt{3} V_F$, $V_{L-L} = \sqrt{3} V_F$
 - $I_L = I_F$, $I_{L-L} = I_F$

2.1.5. Conexión en triángulo (Δ)

- Las tres fases se conectan formando un circuito cerrado.
- No existe neutro.
- Relaciones:
 - $V_L = V_F$, $V_{L-L} = V_F$
 - $I_L = \sqrt{3} I_F$, $I_{L-L} = 3 I_F$

Potencia en un circuito trifásico balanceado

La potencia activa se calcula mediante:

$$P = 3 V_L I_L \cos \varphi \quad P = \sqrt{3} V_{L-L} I_{L-L} \cos \varphi$$

Donde:

- **P**: Potencia activa (W)
- **V_L** : Voltaje de línea (V)
- **I_L** : Corriente de línea (A)
- **$\cos \varphi$** : Factor de potencia

También se utilizan:

2.1.6. Potencia aparente:

$$S = 3 V_L I_L = \sqrt{3} V_L I_L = 3 V_L I_L$$

2.1.7. Potencia reactiva:

$$Q = 3 V_L I_L \sin \varphi = \sqrt{3} V_L I_L \sin \varphi = 3 V_L I_L \sin \varphi$$

Ventajas de los circuitos trifásicos

- Transmiten más potencia con menor cantidad de conductor.
- Proporcionan un suministro de energía más uniforme.
- Permiten el funcionamiento eficiente de motores eléctricos.
- Reducen pérdidas en la transmisión de energía.

La potencia activa es:

Los circuitos trifásicos son la base de la mayoría de las instalaciones industriales debido a su eficiencia y capacidad para alimentar grandes cargas eléctricas.

Si lo deseas, puedo explicarte el tema desde un nivel básico, resolver ejercicios paso a paso o mostrar cómo analizar circuitos trifásicos con cargas en estrella (Y) y triángulo (Δ).

2.2. Medición de potencia y energía

Medición de Potencia en Redes Inteligentes (Smart Grids) y Contadores Avanzados (AMI)

- La evolución de los contadores electromecánicos tradicionales hacia la infraestructura de medición avanzada (Advanced Metering Infrastructure - AMI).

- Uso de medidores inteligentes bidireccionales capaces de registrar perfiles de carga en tiempo real, medición de potencia neta (net metering) para fuentes de energía distribuida (paneles solares residenciales) y comunicación IoT (LoRaWAN, Zigbee, Celular 4G/5G) para la telegestión.
- Ciberseguridad en la transmisión de datos de consumo, interoperabilidad entre diferentes fabricantes de medidores y el manejo de grandes volúmenes de datos (Big Data) en las compañías eléctricas.

Analizadores de Calidad de la Energía (Power Quality Analyzers) bajo Normativa Internacional

La medición y cuantificación de perturbaciones eléctricas que afectan la potencia útil y dañan los equipos industriales.

- Instrumentos de alta gama basados en digitalización síncrona por medio de DSPs (Procesadores Digitales de Señales) y FPGAs. Cumplimiento estricto de estándares internacionales como **IEC 61000-4-30** (Clase A para métodos de medida de calidad de potencia) y **IEC 62559 / IEEE 519** para el registro de armónicos, parpadeo (flicker), huecos de tensión y desequilibrios de fases.
- Precisión en la captura de transitorios ultrarrápidos y el cálculo de potencias armónicas complejas en presencia de cargas no lineales masivas (convertidores electrónicos de potencia).

Sistemas de Medición de Potencia No Intrusivos (NILM - Non-Intrusive Load Monitoring)

- Algoritmos de estimación y desglose de potencia eléctrica basados en inteligencia artificial a partir de un único punto de medida central.
- Uso de Machine Learning (máquinas de soporte vectorial, redes neuronales profundas y modelos ocultos de Markov) para analizar las firmas de potencia (transitorios de voltaje y corriente) en la acometida principal y desagregar el

consumo individual de cada electrodoméstico o maquinaria sin necesidad de sensores en cada aparato.

- Alta tasa de falsos positivos en hogares o industrias con múltiples cargas de encendido simultáneo y la necesidad de entrenar los modelos para diferentes firmas de dispositivos cambiantes en el mercado.

Medición de Potencia en Sistemas de Transmisión de Corriente Continua (HVDC) y Energías Renovables a Gran Escala

- Retos metrológicos y tecnológicos en la medición de potencia en parques eólicos marinos (offshore) y líneas de transporte de alta tensión en corriente continua (HVDC).

Desarrollo de transductores ópticos de corriente y tensión basados en el **Efecto Faraday y Pockels**, capaces de aislar altas tensiones con gran ancho de banda. Medición precisa de flujos de potencia bidireccionales en corriente continua donde no aplican los conceptos tradicionales de potencia reactiva de corriente alterna.

Falta de estandarización global para la calibración de medidores de energía en corriente continua de alta potencia y la inmunidad a campos electromagnéticos severos en subestaciones.

Sensores de Bajo Costo y Arquitecturas Abiertas para la Medición de Potencia (IoT Industrial)

- Democratización y descentralización de la monitorización energética en PyMES e industrias mediante dispositivos económicos.
- Implementación de sensores basados en microcontroladores (ESP32, Arduino industrial), transformadores de corriente de núcleo partido (clip-on) y circuitos integrados dedicados a la metrología (como los chips de la familia

Analog Devices o ADE). Integración directa con plataformas de supervisión en la nube vía MQTT o Node-RED.

- Garantizar la precisión metrológica (clases de exactitud comerciales del 1% o superiores) utilizando componentes de bajo costo y asegurar la estabilidad de la calibración frente a variaciones térmicas y ambientales.

2.3. Características de los sistemas monofásicas, trifásicas equilibradas y desequilibradas

El sistema trifásico se compone de tres sistemas de voltaje 120 grados de desfase; generalmente en baja tensión se estructura de cuatro hilos con secundario del transformador en estrella como tensiones fase- fase y fase – neutro.

La red de dos fases y neutro en la que se visualizan dos tensiones desfasadas entre ellas. Estos dos conductores y neutro establecen posteriormente una red trifásica o pueden venir de un transformador monofásico con toma media, cuya la relación de voltajes entre fase y fase y neutro equivale a 2, con voltajes normales de 110/220, 115/230, 120/240 V o 220/440 V.

Una red monofásica se compone en una única tensión alterna con dos conductores, y refleja el circuito más básico para poder conectar pequeñas cargas y alumbrado.

2.4. Carga Monofásica

Un sistema monofásico de distribución y consumo de energía está compuesto por corriente alterna, La forma de oscilación de la corriente alterna es la sinusoidal si nos basamos en una instalación monofásica de corriente alterna tiene dos componentes la línea viva también llamada fase “F” y el neutro “N” estos dos componentes forman la carga monofásica así dando como resultado un voltaje de $120\sqrt{2}$.

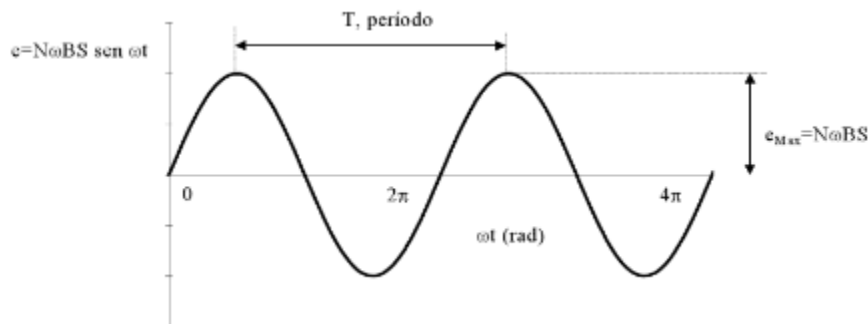


Figura 2 Señal Sinusoidal.

Fuente: (Ramon j, 2000)

Se refiere a un sistema de distribución y consumo de energía eléctrica que utiliza una sola fase o corriente alterna, esto significa que la energía es suministrada por una sola vía.

Las principales características en instalaciones monofásicas:

- Es ideal para cargas ligeramente medianas, como electrodomésticos iluminación calefacción y herramientas pequeñas es común mente utilizada en los hogares en latino américa.
- Su tensión normalizada estos 220 y 110 voltios, porque la potencia media es de 3.7 KW.

Potencia en corriente alterna monofásica:

La potencia es la carga de energía que tiene un sistema en este caso un sistema monofásico para calcula la potencia tenemos tres tipos de potencia monofásica

:

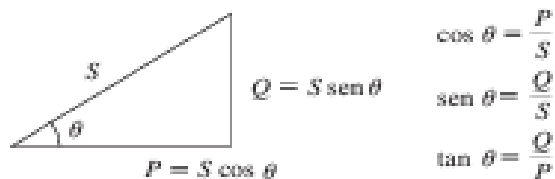


Figura 3 Triangulo de potencia

Fuente: (Chapman, 1987)

- Potencia aparente

$$S = V * I$$

- Potencia activa

$$P = V * I * \cos \phi$$

- Potencia reactiva

$$Q = V * I * \sin \phi$$

Carga Bifásica

Un sistema bifásico es un sistema de producción o distribución eléctrico conformado por dos tensiones desfasadas 90° , en un generador bifásico las dos tensiones suman un voltaje de 220 v aportando cada línea por independiente 110v. En esta carga bifásica podemos encontrar muchos motores de hasta 5 HP, calentadores y aires acondicionados. Es muy común que trabajen a 220v. (Electrical, 1917)

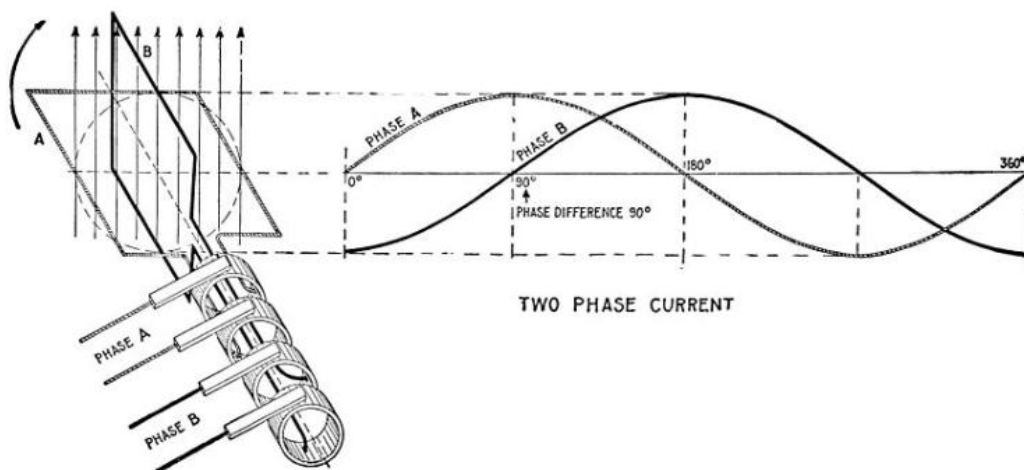


Figura 4 Sistema bifásico

Fuente: (Electrical, 1917)

- Potencia aparente

$$S = \sqrt{2} * V * I$$

- Potencia activa

$$P = \sqrt{2} * V * I * \cos\phi$$

- Potencia reactiva

$$Q = \sqrt{2} * V * I * \sin\phi$$

Carga Trifásica

Un sistema trifásico está conformado por tres corrientes alternas monofásicas con igual frecuencia y amplitud, que tiene una diferencia de fase entre ellas de 120° y están en su orden determinado, el sistema trifásico es equilibrado cuando su corriente tiene magnitudes iguales y están desfasadas simétricamente. (Chapman, 1975)

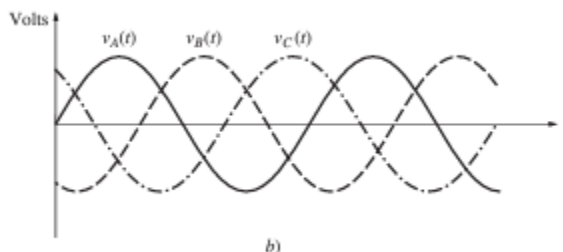


Figura 5 Sistema trifásico

Fuente: (Chapman, 1975)

- Potencia aparente

$$S = \sqrt{3} * V * I$$

- Potencia activa

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos\phi$$

- Potencia reactiva

$$Q = \sqrt{3} * V * I * \sin\phi$$

Formulario de sistemas eléctricos.

Circuito equilibrado: relación de tensiones.

$$\bar{V}_{RS} = \bar{V}_{RN} - \bar{V}_{SN} \rightarrow V_L = 2 V_{FN} \cos 30^\circ = \sqrt{3} V_{FN}$$

$$V_L = \sqrt{3} V_{FN}$$

Cálculo de la tensión para sistema trifásico.

$$V_F = Z \cdot I_F$$

Magnitudes de fase en estrella equilibrada.

$$\text{Conexión estrella} \begin{cases} V_F = V_{FN} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \\ I_F = I_L \end{cases}$$

Ley de Ohm para estrella equilibrada.

$$\text{Conexión estrella} \rightarrow I_F = \frac{V_F}{Z} = \frac{V_{FN}}{Z} = \frac{V_L / \sqrt{3}}{Z}$$

Conexión estrellas equilibrada: corrientes de fase = corrientes de línea.

$$\begin{aligned} \bar{I}_R &= \frac{\bar{V}_{RN}}{Z} \rightarrow \bar{I}_R = I_L \angle 90^\circ - \phi \\ \bar{I}_S &= \frac{\bar{V}_{SN}}{Z} \rightarrow \bar{I}_S = I_L \angle -30^\circ - \phi \\ \bar{I}_T &= \frac{\bar{V}_{TN}}{Z} \rightarrow \bar{I}_T = I_L \angle -150^\circ - \phi \end{aligned} \quad (I_L = I_F)$$

Valores eficaces V_F e I_F de las tensiones y de las corrientes de fase de un triángulo equilibrado.

Ley de Ohm a las magnitudes de fase.

$$V_F = V_L$$

$$I_F \neq I_L$$

$$I_F = \frac{V_F}{Z} = \frac{V_L}{Z}$$

$$\begin{aligned} \bar{I}_{RS} &= \frac{\bar{V}_{RS}}{Z} \rightarrow \bar{I}_{RS} = I_F \angle 120^\circ - \varphi \\ \text{Conexión triángulo: } \bar{I}_{ST} &= \frac{\bar{V}_{ST}}{Z} \rightarrow \bar{I}_{ST} = I_F \angle -\varphi \\ \bar{I}_{TR} &= \frac{\bar{V}_{TR}}{Z} \rightarrow \bar{I}_{TR} = I_F \angle -120^\circ - \varphi \end{aligned}$$

$$\bar{I}_{RS} + \bar{I}_{ST} + \bar{I}_{TR} = 0$$

Corriente de línea para triángulo equilibrado.

$$\bar{I}_R = \bar{I}_{RS} - \bar{I}_{TR} \rightarrow I_L = 2 I_F \cos 30^\circ = \sqrt{3} I_F$$

$$I_L = \sqrt{3} I_F$$

Valores de fase para triángulo equilibrado.

$$\text{Conexión triángulo} \begin{cases} V_F = V_L \\ I_F = \frac{I_L}{\sqrt{3}} \end{cases}$$

Potencia activa P de un sistema trifásico equilibrado.

$$P = 3 I_F V_F \cos \varphi$$

Fases en estrella.

$$P = 3 \cdot V_F \cdot I_F \cdot \cos \varphi = 3 \cdot (V_L / \sqrt{3}) \cdot I_L \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi$$

Fases están conectadas en triángulo.

$$P = 3 \cdot V_F \cdot I_F \cdot \cos \varphi = 3 \cdot V_L \cdot (I_L / \sqrt{3}) \cdot \cos \varphi :$$

$$= \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi$$

Potencia activa de un sistema trifásico en función de sus tensiones y corrientes de línea.

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi$$

Potencia reactiva Q de un sistema trifásico equilibrado.

$$Q = 3 I_F V_F \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi$$

Potencia aparente S de un sistema trifásico equilibrado.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3 \cdot V_F \cdot I_F = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L$$

Factor de potencia en circuitos equilibrados.

$$\text{fdp} = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \cos \varphi$$

Potencia compleja S de un sistema trifásico equilibrado.

$$\bar{S} = P + jQ = 3 \cdot \bar{V}_F \cdot \bar{I}_F^*$$

Potencia activa P de sistema trifásico. Sistemas equilibrados y desequilibrados.

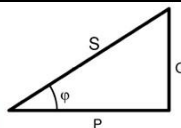
$$P = P_1 + P_2$$

Potencia reactiva Q para circuito en medición.

$$Q = \sqrt{3} (P_1 - P_2)$$

Potencia activa para línea monofásica
con un factor de potencia $\cos \Phi$.

$$P = V \cdot I \cdot \cos \Phi$$



Potencia activa para línea trifásica.

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \Phi$$

Tabla 1 Formulas aplicadas a los circuitos eléctricos

Fuente: Autore

2.5. Calidad de la energía eléctrica.

Calidad de energía en general representa los fenómenos que afectan un sistema eléctrico o un equipo del usuario cuando energía de la corriente alterna excede un límite muestra una onda como indicador de la calidad del suministro de energía tiene que ser permanente en términos de amplitud continuidad y forma de onda.

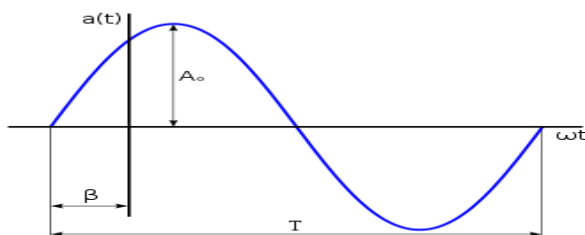


Figura 6 Señal de onda con amplitud continuidad y forma de onda permanente

Fuente: (Francisco, 2018)

Descripción Grafica de la calidad de la energía eléctrica:

Señal Senoidal con ruido:

Una señal senoidal con ruido es una onda periódica fundamental (la representación matemática de una función seno o coseno pura) que ha sido alterada o contaminada

por fluctuaciones aleatorias e imprevistas provenientes del entorno, de los circuitos electrónicos o de los sistemas de medición.

- **Componente senoidal:** Corresponde a una oscilación suave, repetitiva y de una sola frecuencia pura (sin armónicos adicionales), caracterizada matemáticamente por su amplitud, frecuencia y fase.
- **Componente de ruido:** Representa variaciones estocásticas (por lo general modeladas como ruido blanco gaussiano) que se suman de forma directa a la onda original, alterando su forma limpia y dificultando la lectura exacta de sus parámetros.

Efectos y características principales

- **Deformación visual:** Al graficar la señal en un osciloscopio, la traza limpia de la onda sinusoidal se ve "rizada", gruesa o con pequeñas crestas y valles aleatorios superpuestos.
- **Relación Señal-Ruido (SNR):** Es el indicador clave para medir la calidad de la señal; cuantifica la potencia de la onda senoidal útil frente a la potencia del ruido indeseado.
- **Tratamiento en ingeniería:** En sistemas de telecomunicaciones, audio y control, este tipo de señal requiere el uso de filtros electrónicos (paso-bajo, paso-banda) o algoritmos de procesamiento digital de señales (como transformadas de Fourier o filtros de Kalman) para limpiar la onda original y extraer la información útil.

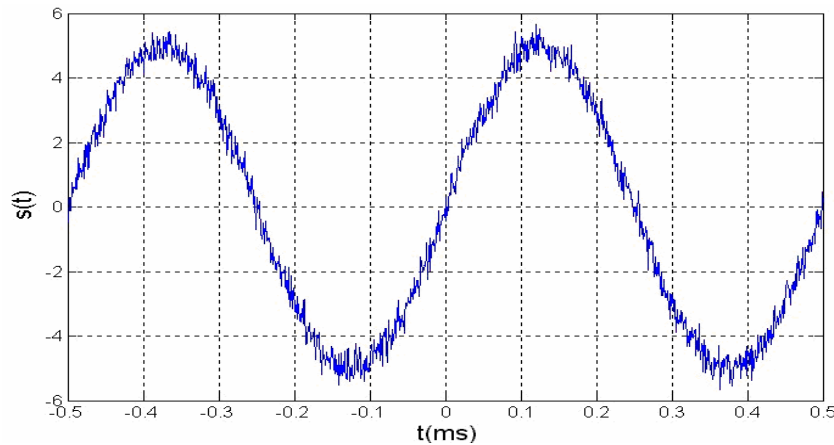


Figura 7 Onda senoidal con ruido
Fuente: (Cleber A., 2008)

- **Señal senoidal con Transitorio:**

Una señal sinusoidal con transitorio es una onda periódica que experimenta una alteración temporal, repentina y de corta duración en su amplitud, frecuencia o fase, antes de estabilizarse o extinguirse por completo.

- **Componente sinusoidal:** Corresponde a la onda base y continua del sistema, la cual mantiene una frecuencia y amplitud estables bajo condiciones normales de funcionamiento.
- **Componente transitorio:** Representa una perturbación abrupta (como un pico de voltaje, una oscilación amortiguada o una caída momentánea) que irrumpe en la señal debido a un evento externo o un cambio drástico en el circuito.

Características principales

- **Naturaleza delimitada:** A diferencia del ruido (que es continuo y aleatorio), el transitorio es un evento aislado o de duración finita que ocurre en un instante específico del tiempo.

- Comportamiento amortiguado: La perturbación suele decaer exponencialmente hasta que la onda sinusoidal recupera su forma pura original o se adapta a un nuevo estado estable.
- Causas comunes: Se originan frecuentemente en sistemas eléctricos por la conexión o desconexión de cargas inductivas y capacitivas, encendido de motores, rayos, maniobras de conmutación en redes de potencia o fallas repentinas en circuitos.
- Impacto y análisis: En ingeniería eléctrica y electrónica, estas señales son críticas porque los transitorios de gran magnitud (sobretensiones) pueden destruir componentes sensibles. Su estudio requiere herramientas avanzadas de análisis matemático y de señales, como la transformada de Laplace.

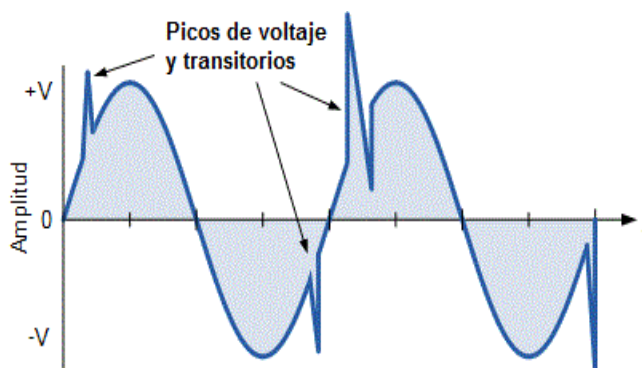


Figura 8 Onda con transitorio

Fuente:(Joan, 2019)

Señal senoidal con caída momentánea:

Una señal senoidal con caída instantánea (frecuentemente asociada a un *dropout* o corte momentáneo) es una onda periódica cuya amplitud experimenta una

reducción vertical y abrupta hacia cero o un nivel muy cercano a él, interrumpiendo su continuidad de forma repentina antes de retomar su curso o restablecerse.

- Comportamiento de la caída: A diferencia de un transitorio amortiguado que decae de forma gradual, el descenso de la amplitud ocurre de manera casi instantánea, creando una discontinuidad vertical evidente en la forma de onda.
- Duración y recuperación: El evento puede durar una fracción de ciclo o extenderse por varios milisegundos, tras los cuales la señal suele recuperarse a su amplitud original o continuar alterada.
- Causas principales: Falsos contactos en conexiones físicas, microcortes en fuentes de alimentación, rebotes o fallas en interruptores mecánicos, y problemas intermitentes en componentes semiconductores.
- Impacto técnico: En electrónica y telecomunicaciones, este fenómeno provoca pérdida de sincronización, chasquidos audibles en sistemas de audio o corrupción de datos. En sistemas eléctricos, genera huecos de tensión que pueden apagar o desestabilizar equipos sensibles.

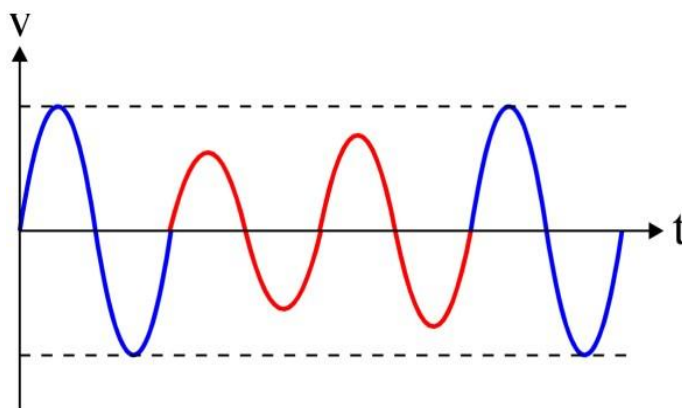


Figura 9 Onda con caída momentánea de voltaje
Fuente: (QUALITY, 2023)

2.6. Transformador de medida de corriente con relación 20A/5A



Figura 10 Transformador de medida de corriente
Fuente: (Galf.com, 2024)

Un transformador de corriente es un transformador de medida que reduce las altas corrientes alternas en el devanado primario a un valor bajo en el devanado secundario. Se utiliza principalmente cuando una corriente es demasiado alta para medirla directamente. (Joy, 2022).

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron transformadores de medida de corriente (TC) de 100/5 A el objeto del transformador de medida es reducir una corriente primaria de hasta 100 A a una corriente secundaria proporcional de 5 A, para alimentar las señales de corriente en el analizador

- Relación de transformación: $100/5 = 20:1$
- Si circulan 100 A por el primario $\rightarrow$ 5 A en el secundario.
- 50 A primarios $\rightarrow$ 2,5 A secundarios.
- 20 A primarios $\rightarrow$ 1 A secundarios.
- No se debe dejar abierto el secundario de un TC mientras circula corriente por el primario, porque puede generarse una tensión peligrosa.

2.7. Analizadores de redes

Tarjeta electrónica utilizada para la toma de mediciones de diversos parámetros eléctricos de una red o carga eléctrica; Igualmente el analizador de redes es una herramienta básica para un auditor o técnico eléctrico que desee ejecutar un plan de medidas para un estudio energético completo de una instalación o proceos.

Estos equipos pueden ser fijos o portátiles, y permiten tomar medidas de energía, potencia y calidad de señal en máquinas eléctricas, subsistemas aislados, o bien, de la red completa. (Reyes 2022)

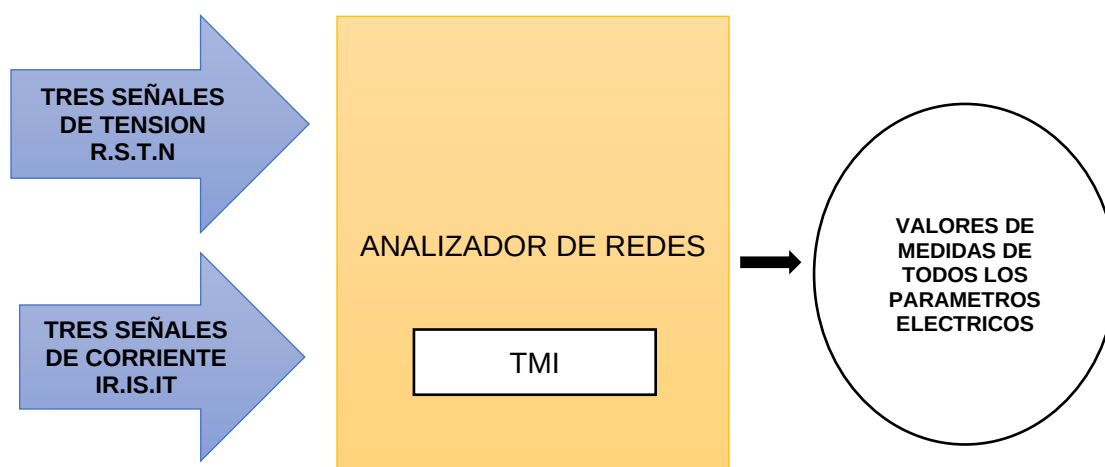


Figura 11 Arquitectura externa de analizador de redes
Fuente: M Reyes 2022

El analizador de redes, es un dispositivo electrónico que permite la medición de múltiples parámetros eléctricos de una red o carga eléctrica; de igual manera puede calcular, visualizar los valores eléctricos en sistemas monofásicos a tensión de fase, monofásicos a tensión de línea y trifásicos, independiente que se tenga carga equilibrada o desequilibrada

Utilidades de los analizadores de redes: Visualizar los excesos de consumos energéticos, analizar las curvas de carga para determinar donde se presenta la máxima demanda de energía, mostrar la necesidad de instalar bancos de condensadores para mejorar el factor de potencia, prevenir fallas por mal estado de la red eléctrica en media.

Para entrega de resultados, el analizador requiere la conexión de las tres entradas de corriente a través de transformadores de medida de corriente cuya relación de relación debe ser a $xx / 5$ amperios en el devanado secundario, y las tres entradas de tensión hasta 550 voltios a.c. además necesita su propia alimentación con un sistema de dos hilos con un voltaje de 95 a 240 voltios a.c.

2.7.1. Borneras principales analizadores de redes

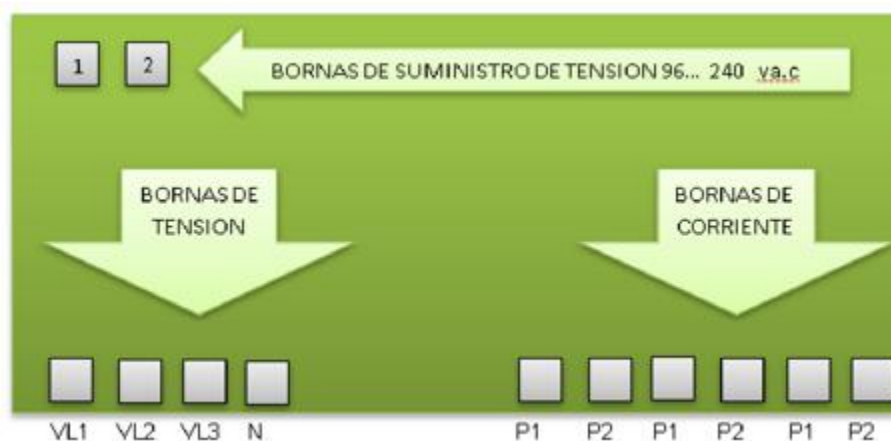


Figura 12 Borneras principales en un analizador de redes

Fuente: M Reyes 2022

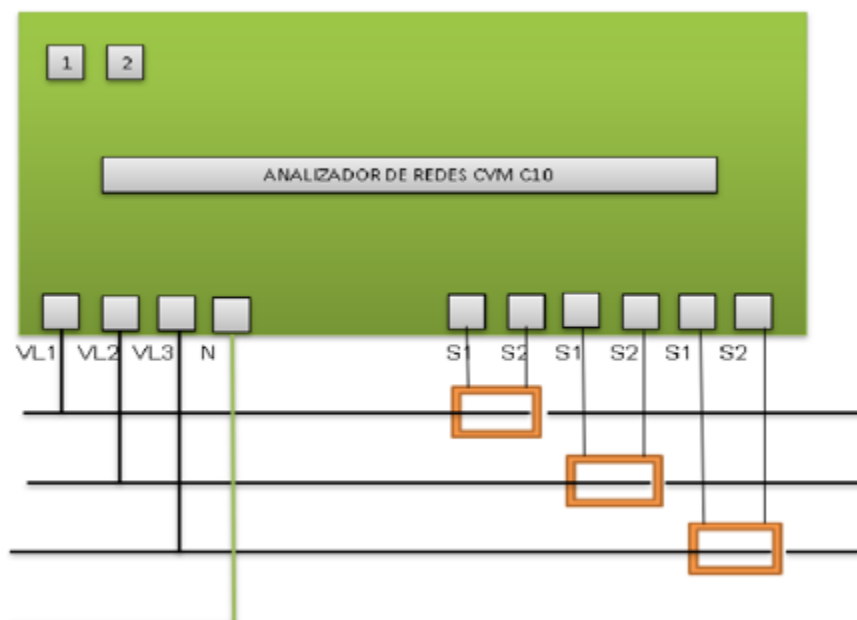


Figura 13 Conexión básica en un analizador de redes
Fuente: M Reyes 2022

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

La investigación desarrollada en el presente proyecto es de tipo exploratoria informal, la cual es apoyada en fuente de datos secundarios que se encuentran revisando la literatura y la recopilación de documentación para comprender y dar solución a la problemática de la investigación, la exploración mantiene un enfoque cuantitativo que define la descripción de las cualidades de la problemática como lo es “la probabilidad de actualizar y mejorar prácticas de automatización industrial del programa de Ingeniería Electromecánica; Como el diseño e implementación de Diseño e implementación de estación de medida eléctrica, para la supervisión y medición de parámetros eléctricos en circuitos trifásicos utilizando un analizador de redes PM2230 Easy Logic de Schneider Electric. Para el programa de ingeniería electromecánica U.T.S. a través del recurso para que de este modo se pueda comprender la esencia a través del análisis de esta información empleando la documentación necesaria.

3.2. Enfoque de la Investigación

Enfoque cualitativo, cuyo objetivo general será la descripción de las cualidades de la solución a la problemática que se estudia, para así mismo comprender la importancia a tener en cuenta esta información, empleando técnicas de revisión que se encuentran en los manuales y técnicas de las diferentes formas de trabajo de los analizadores de redes que se utiliza en el proyecto, bibliografía de la investigación y de artículos especializados.

3.3. Método y Técnicas de la Investigación

El método (observación, inductivo, deductivo o análisis), las técnicas (Experimentos medidas programación prueba y error)

3.4. Fases de la Investigación

Tabla 1 *Fases de la investigación*

FASE	ACTIVIDADES
Fase 1.	Se encuentra la documentación de variables a analizar, e implementación de estación de medida eléctrica, para la supervisión y medición de parámetros eléctricos en circuitos trifásicos utilizando un analizador de redes PM2230 Easy Logic de Schneider componentes necesarios para la realización del proyecto, en esta misma fase tendremos la adecuación del punto de trabajo para la investigación
Fase 2.	Implementación de estación de medida eléctrica, para la supervisión y medición de parámetros eléctricos en circuitos trifásicos utilizando un analizador de redes PM2230 Easy Logic de Schneider
Fase 3.	Desarrollar y validar los ejercicios prácticos, utilizando sistema de medida eléctrica, para la supervisión y medición de parámetros eléctricos en circuitos trifásicos utilizando un analizador de redes PM2230 Easy Logic de Schneider Electric
Fase 4.	Se realiza presentación y muestra de los resultados obtenidos

4. DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1. Analizador de redes central de medida PM 2230

Las centrales de medida de la serie PM2200 son dispositivos medidores digitales que ofrecen prestaciones exhaustivas de instrumentación eléctrica trifásica y gestión de carga en una presentación compacta y resistente. Las centrales de medida aportan valor a las exigentes necesidades de sus aplicaciones de supervisión de energía y gestión de costes. Todas las centrales de medida de la gama PM2200 satisfacen las normas de precisión de Clase 1 o de Clase 0.5S y aportan la máxima calidad, fiabilidad y asequibilidad en un formato compacto y de fácil instalación. Manual usuario serie PM 2200 (2026)



Figura 14 Analizador de redes PM 220 23 SHEIDER ELECTRIC
Fuente: Manual (2025)

4.2. Funciones de la central de medida

La central de medida de la serie PM2200 incorpora múltiples funciones, algunas de las cuales se enumeran a continuación: Pantalla LCD y navegación autoguiada, recuento y equilibrado de energía, medición tanto del FP real como del FP de desplazamiento, lecturas de energía activa, reactiva y aparente, valores mín./máx. de parámetros instantáneos con sello de fecha y hora, ciberseguridad: La central de medida permite deshabilitar el puerto RS-485 desde las teclas del panel frontal para evitar accesos no autorizados, conmute entre los dispositivos RTU en caso de que la disponibilidad de nodos del sistema de software sea limitada

El analizador de redes PM 2230 incluye una instantánea que capta valores de tensión media, intensidad media, potencia activa total y energía suministrada a partir de la hora configurada en el formato HH.MM. La Intensidad de supresión: Esta es la intensidad mínima con la cual comienza a funcionar la central de medida. La central de medida puede configurarse de forma que ignore la medición de intensidad de la carga inducida/auxiliar del circuito. La selección de intensidad de supresión puede realizarse mediante la pantalla frontal y el enlace de comunicaciones. El intervalo de la intensidad de supresión va de 5 mA a 99 mA. La central de medida muestra la medición si el valor aplicado supera el valor de supresión. La intensidad de supresión predeterminada es 5 mA.

La central de medida puede utilizarse como dispositivo independiente, aunque sus amplias funciones se optimizan cuando se utiliza dentro de un sistema de gestión de energía. (Manual PM 2230 2025)

4.3. Conexionado

Solo topología en línea recta. Las topologías en bucle o anillo no son compatibles. Nota: El resistor es un accesorio opcional que puede pedir de forma separada. Para terminar una serie, se recomienda utilizar un resistor de 120 Ω /0,5 W.

- A Interruptor automático / Fusibles de 250mA
- B Bloque de cortocircuito
- C Interruptor de desconexión y fusibles del primario
del TT # No suministrado
- * indica el cableado de un sistema equilibrado

Etiquete con claridad el mecanismo del circuito de desconexión del dispositivo e instálelo al alcance del operador.

Los fusibles/interruptores automáticos deben estar dimensionados para la tensión de la instalación y la intensidad de fallo disponible.

Es necesario contar con un fusible en el terminal del neutro si la conexión de neutro de la fuente no está conectada a tierra.

4.3.1. Alimentación

Los terminales L+ y L- no están polarizados. Si va a utilizar una fuente de alimentación de CA con neutro, conecte el neutro al terminal L- de la central de medida. Utilice siempre un fusible en el terminal L+. Instale un fusible en el terminal L- al conectar un neutro sin conexión a tierra a la alimentación. Si se va a utilizar un transformador de alimentación, instale fusibles en los lados del primario y

secundario del transformador. Los fusibles/interruptores automáticos deben estar dimensionados para la tensión de la instalación y la intensidad de fallo disponible.

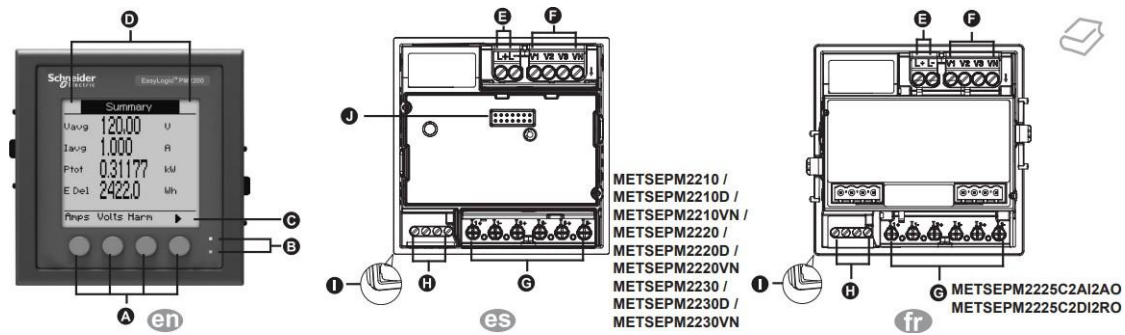


Figura 15 Presentación frontal y posterior Analizador de redes PM 220 23 Sneider Electric
Fuente: Manual (2025)

A	Botones de selección de menú
B	Indicadores LED
C	Navegación o selección de menús:
▲	Sale de la pantalla y sube un nivel
▲	Desplaza el cursor hacia arriba por la lista de opciones.
▼	Desplaza el cursor hacia abajo y muestra más opciones.
◀	Desplaza el cursor un carácter hacia la izquierda.
▶	Desplaza la pantalla hacia la derecha y muestra más elementos de menú.
+	Muestra el siguiente elemento de la lista o aumenta el valor resaltado.
-	Muestra el elemento anterior de la lista.
D	Zona de notificación de alarmas y mantenimiento
E	Alimentación
F	Entradas de tensión
G	Entradas de intensidad
H	RS-485/POP
I	Junta
J	Ranura de E/S (solo para el modelo PM2230)

Tabla: 1 Iconos de operación
Fuente: Autores

Alimentación

PM2210/PM2220

- CA: 44-277 V L-N ± 10 %
- Carga de CA: <6 VA a 277 VCA L-N
- Frecuencia: 45-65 Hz ± 5 %
- CC: 48-277 V ± 10 %
- Carga de CC: ≤ 2 W a 277 VCC
- Categoría de instalación III

PM2230

- CA: 80-277 V L-N ± 10 %
- Carga de CA: <8 VA a 277 VCA L-N
- Frecuencia: 45-65 Hz ± 5 %
- CC: 100-277 V ± 10 %
- Carga de CC: $\leq 3,3$ W a 277 VCC
- Categoría de instalación III

Entradas de tensión de CA

- Tensión media: 277 V L-N), cat III 35-600 V L-L (347 V L-N), cat II
- Frecuencia nominal: 50/60 Hz
- Sobrecarga permanente: 750 VCA L-L
- Impedancia: 5 M Ω
- Categoría de medición III

Entradas de intensidad de CA

- 1 A o 5 A nominales
- Intensidad medida: 5 mA a 6 A
- Frecuencia nominal: 50/60 Hz
- Rigidez: 12 A continuo
- Impedancia: $<0,3 \text{ m}\Omega$
- Carga: $<0,024 \text{ VA}$ a 6 A
- Intensidad de supresión: 5 mA a 99 mA

Entorno

- Temperatura:
 - De funcionamiento: De -10°C a 60°C
 - De almacenamiento: De -25°C a 70°C
- Valor nominal de la humedad: Del 5% al 95% de HR sin condensación
- Nivel de contaminación: 2
- Altitud: $\leq 2000\text{m}$ sobre el nivel del mar
- Pantalla delantera IP54 (IEC 60529), cuerpo de la central de medida IP30 con pinza de fijación, numero de referencia: C10003577, cuerpo de la central de medida IP20 con pinza de fijación, numero de referencia: C10003279
- Para uso exclusivo de interiores.
- No apta para ubicaciones húmedas.

4.4. Montaje analizador PM 2230

El montaje se realizó en base acrílico de 5 milímetros de espesor para que funcionara como base tipo chasis donde para poder trasladada de los diferentes módulos de laboratorio de medidas y maquinas eléctricas.

Para alcanzar los objetivos propuestos en este proyecto se realizó el debido ensamble del prototipo, reuniendo los materiales anteriormente seleccionados, y para esto se tuvo que llevar un orden de principio a fin el cual describiremos a continuación.

Siguiendo los parámetros establecidos por la distribución seleccionada para los elementos que conforman el modulo



Figura 16 Montaje analizador PM 2230
Fuente: Autores

4.4.1. Identificación señales de corriente en analizador de redes

- **I1 / IA:** corriente de la fase A.

- **I₂ / I_B**: corriente de la fase B.
- **I₃ / I_C**: corriente de la fase C.
- **I_N**: corriente del neutro, si el equipo dispone de esta medición.
- La unidad habitual es **A (amperios)**.
- En una red trifásica, las corrientes deberían corresponder aproximadamente con las fases **L1, L2 y L3**:
- **Valor RMS**: magnitud efectiva de la corriente.
- **Ángulo de fase**: diferencia angular respecto a la tensión.
- **Forma de onda**: permite identificar distorsiones, armónicos o picos.
- **Fasores**: representación de magnitud y ángulo de cada corriente.
- **Armónicos**: I₁, I₂, I₃ pueden descomponerse en fundamental, 3.^o, 5.^o, 7.^o armónico, etc.

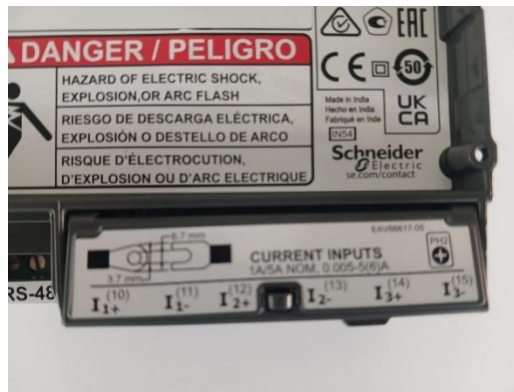


Figura 17 Detalle señales de corriente PM2230
Fuente: Autores

4.4.2. Identificación señales de tensión en analizador de redes

V₁ / V_A / L1: tensión de la fase 1 o fase A.

V2 / VB / L2: tensión de la fase 2 o fase B.

V3 / VC / L3: tensión de la fase 3 o fase C.

VN: tensión del neutro, dependiendo del equipo.

V12, V23, V31: tensiones entre fases (línea-línea). **V1N, V2N, V3N:** tensiones entre cada fase y neutro (línea-neutro).

Tensión fase A **V1 / VA / L1**

Tensión fase B **V2 / VB / L2**

Tensión fase C **V3 / VC / L3**

Neutro **N / VN**

Entre L1-L2 **V12**

Entre L2-L3 **V23**

Entre L3-L1 **V31**

El analizador normalmente muestra la tensión en V RMS, además del ángulo de fase, frecuencia y, en equipos más completos, forma de onda y armónicos.

Importante: la nomenclatura puede cambiar según el fabricante. Por ejemplo, un equipo puede usar U1, U2, U3 en lugar de V1, V2, V3.



Figura 18 Detalle señales de tensión PM2230
Fuente: Autores

4.5. Resultados de aplicación en laboratorio

4.5.1. Carga 1 Motor de inducción trifásico jaula de ardilla 220 v. 1.1 kw

Para el desarrollo de las pruebas se seleccionaron cinco practicas donde el objetivo principal s es monitorear los valores de cada uno de los parámetros con diferentes tipos de carga; se busca analizar cada uno de los parámetros tomados del analizador de redes y graficados como se muestra en los siguientes diagramas con sus respectivos resultados y también se mostrarán las conexiones para cada uno de los motores.

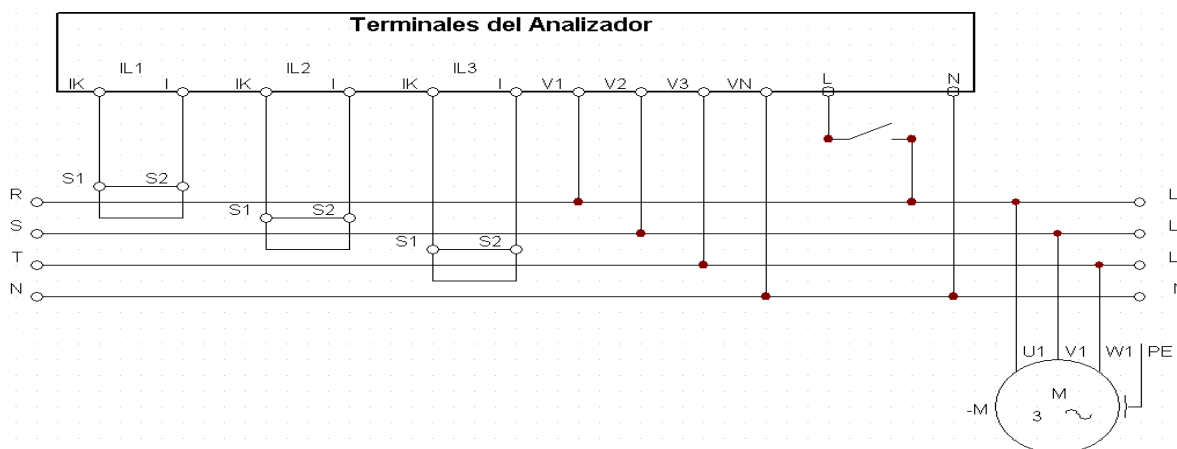
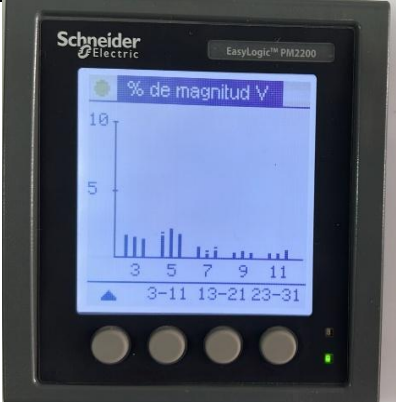
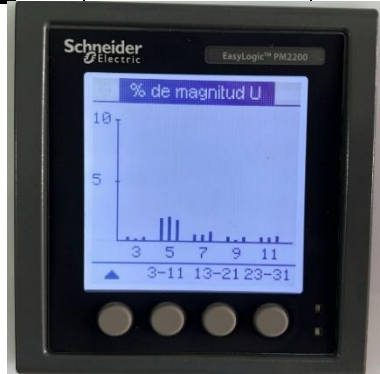
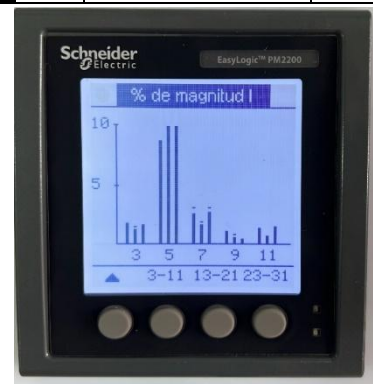


Figura 19 Conexión analizador
Fuente: Turmeque (2017)

Tabla 2 Resultados aplicación 1

Ítems de Medición	Motor		
	L1	L2	L3
EQUIPOS DIGITALES			
Medida de corriente pinza voltiamperimetrica	1.8	1.8	1.8
Medida de tensión de línea multímetro digital	227.5	227.8	228.4
ANALIZADOR DE REDES PM 2230			
Tensión fase-neutro Voltaje de fase	132.17	131.40	131.55
Tensión entre fases (VL-L) Voltaje de línea	227.65	227.92	228.56
Corriente línea	1.865	1.783	1.786
Potencia aparente de cada fase (s) KVA	0.24373	0.23393	0.23373
Potencia activa de cada fase (P) KW	-0.0490	-0.0404	-0.0421
Potencia reactiva de cada fase (Q) KVar	-0.2388	-0.2308	-0.2285
Potencia aparente total KVA	0.71139		
potencia activa total KW	-0.1315		
potencia reactiva total Kvar	-0.6981		
Factor de potencia	-0.1939	-0.1690	-0.1873
factor de potencia total	-0.18387		
Frecuencia de red Hz	60.02		

Distorsión armónica total en V % (línea)	
Distorsión armónica total en V % (fase)	
Distorsión armónica total en I %	

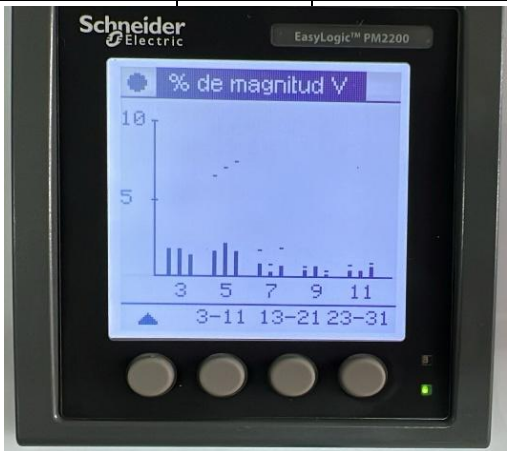
Fuente: Autores

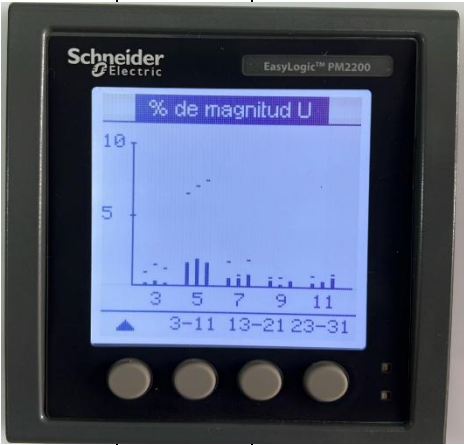
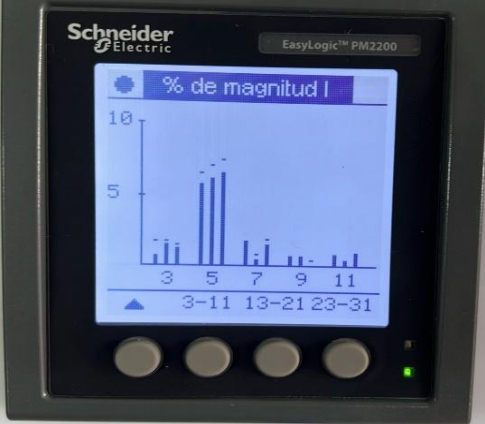
Tabla 3 Resultados aplicación 2

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

Ítems de Medición	Motor		
	L1	L2	L3
EQUIPOS DIGITALES			
Medida de corriente pinza voltiamperimetrica	3.6	3.5	3.6
Medida de tensión de línea multímetro digital	226.9	227.3	227.9
ANALIZADOR DE REDES PM 2230			
Tensión fase-neutro Voltaje de fase	131.84	131.11	131.42
Tensión entre fases (VL-L) Voltaje de línea	227.32	227.41	228.35
Corriente línea	3.645	3.543	3.553
Potencia aparente de cada fase (s) KVA	0.48228	0.46848	0.46977
Potencia activa de cada fase (P) KW	-0.0961	-0.0820	-0.0808
Potencia reactiva de cada fase (Q) KVar	-0.4627	-0.4684	-0.4602
Potencia aparente total KVA	142.053		
potencia activa total KW	-0.2589		
potencia reactiva total Kvar	-13.913		
Factor de potencia	-0.1863	-0.1703	-0.1923
factor de potencia total	-0.1835		
Frecuencia de red Hz	59.97		
Distorsión armónica total en V % (linea)			

Distorsión armónica total en V % (fase)	
Distorsión armónica total en I %	

Fuente: Autores

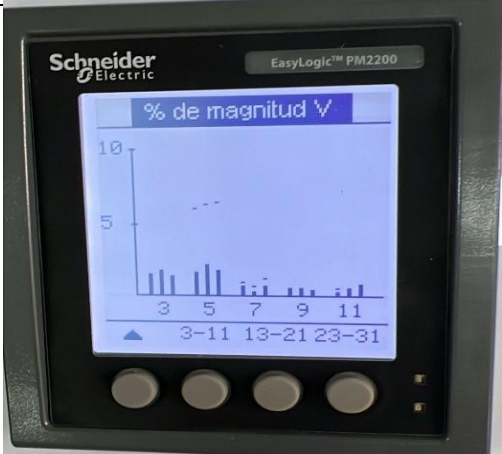
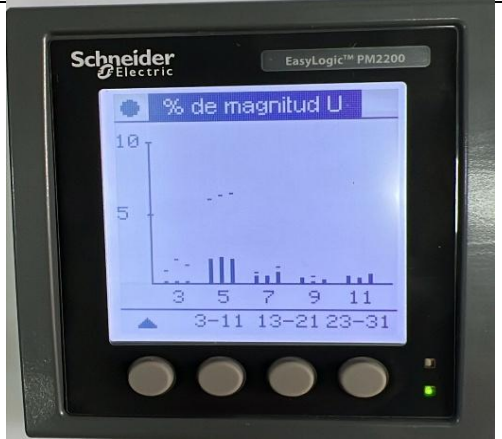
Tabla 4 Resultados aplicación 3

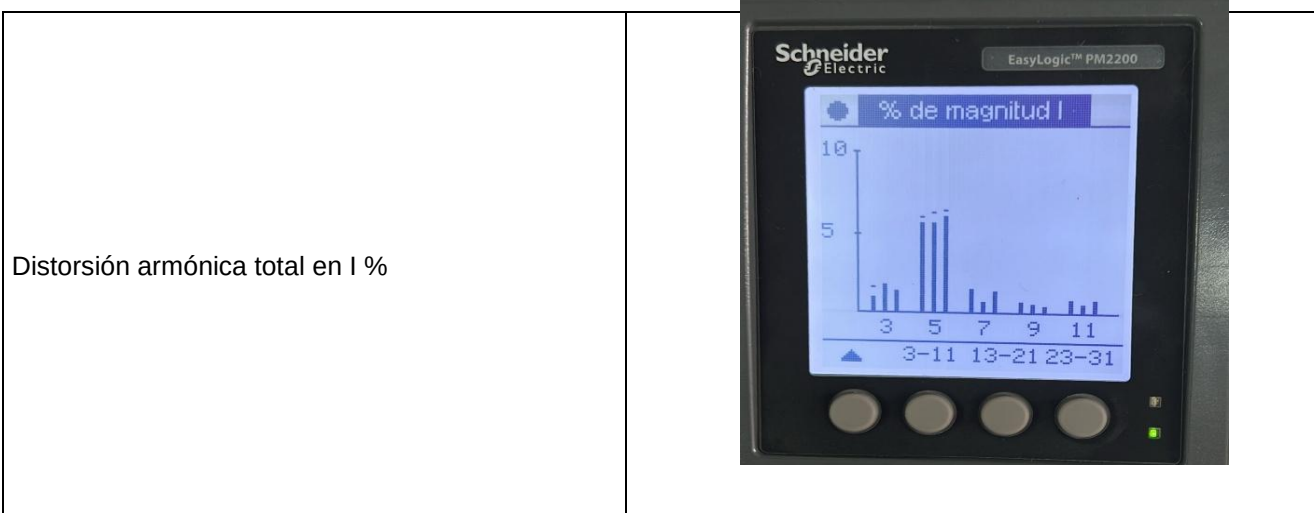
Ítems de Medición	Motor		
	L1	L2	L3
EQUIPOS DIGITALES			
Medida de corriente pinza voltiamperimetrica	5.8	5.7	5.9
Medida de tensión de línea multímetro digital	228.2	228.6	229.3
ANALIZADOR DE REDES PM 2230			
Tensión fase-neutro Voltaje de fase	132.61	131.75	131.90
Tensión entre fases (VL-L) Voltaje de línea	227.97	228.88	229.30
Corriente línea	5.710	5.825	5.607
Potencia aparente de cada fase (s) KVA	0.75165	0.76082	0.74525

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

Potencia activa de cada fase (P) KW	-0.1393	-0.1228	-0.1514
Potencia reactiva de cada fase (Q) KVar	-0.7420	-0.7589	-0.7293
Potencia aparente total KVA	225.718		
potencia activa total KW	-0.4135		
potencia reactiva total Kvar	-0.2302		
Factor de potencia	-0.1887	-0.1598	-0.2013
factor de potencia total	-0.1830		
Frecuencia de red Hz	60.02		
Distorsión armónica total en V % (linea)			
Distorsión armónica total en V % (fase)			



Fuente: Autores

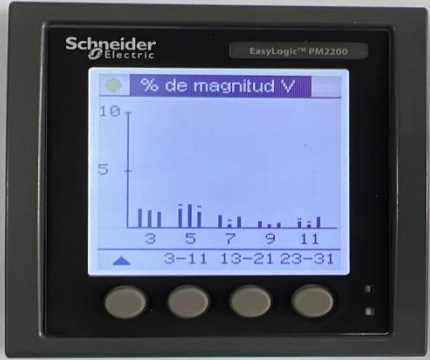
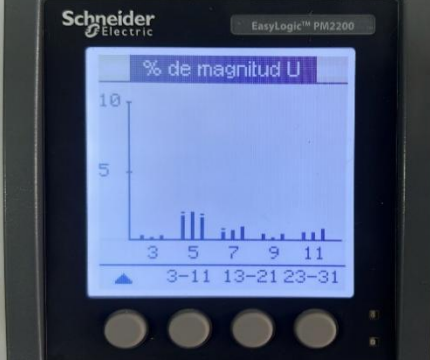
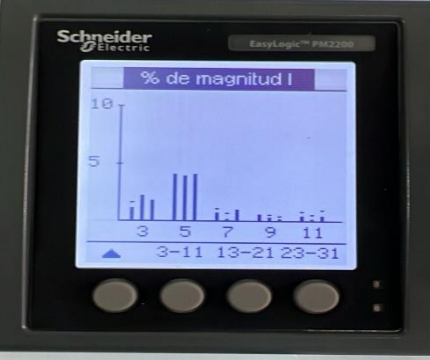
Tabla 5 Resultados aplicación 4

Ítems de Medición	Motor		
	L1	L2	L3
EQUIPOS DIGITALES			
Medida de corriente pinza voltiamperimetrica	10.11	9.94	10.10
Medida de tensión de línea multímetro digital	229.4	229.9	230
ANALIZADOR DE REDES PM 2230			
Tensión fase-neutro Voltaje de fase	132.80	132.43	132.48
Tensión entre fases (VL-L) Voltaje de línea	229.50	230.08	230.37
Corriente línea	10.13	10.28	9.70
Potencia aparente de cada fase (s) KVA	1.34106	1.35362	1.28564
Potencia activa de cada fase (P) KW	-0.2070	-0.2197	-0.2084
Potencia reactiva de cada fase (Q) KVar	-1.3394	-1.3344	-1.2704
Potencia aparente total KVA	3.98032		
potencia activa total KW	-0.6351		
potencia reactiva total Kvar	-3.9442		
Factor de potencia	-0.1489	-0.1617	-0.1663
factor de potencia total	-0.1592		
Frecuencia de red Hz	59.98		

ELABORADO POR:
Docencia

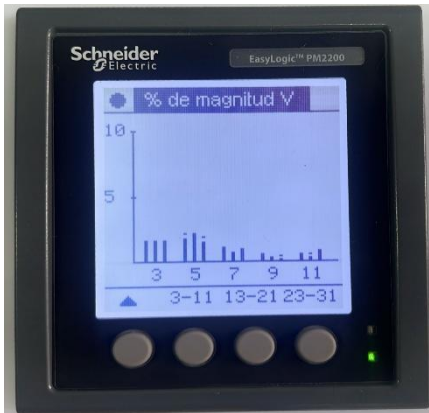
REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

Distorsión armónica total en V % (línea)	
Distorsión armónica total en V % (fase)	
Distorsión armónica total en I %	

Fuente: Autores

Tabla 6 Resultados aplicación 5

Ítems de Medición	Resistencia		
	L1	L2	L3
EQUIPOS DIGITALES			
Medida de corriente pinza voltiamperimetrica	2.08	1.97	2.01
Medida de tensión de línea multímetro digital	228.2	228.6	228.1
ANALIZADOR DE REDES PM 2230			
Tensión fase-neutro Voltaje de fase	132.10	131.7	131.54
Tensión entre fases (VL-L) Voltaje de línea	227.98	228.24	228.04
Corriente línea	1.934	1.964	1.853
Potencia aparente de cada fase (s) KVA	0.253435	0.25652	0.24122
Potencia activa de cada fase (P) KW	-0,263	-0,2638	-0,246
Potencia reactiva de cada fase (Q) KVar	0,0227	0,02144	0,0358
Potencia aparente total KVA	5,751		
potencia activa total KW	0,751175		
potencia reactiva total Kvar	0,0796		
Factor de potencia	-0,9964	-0,9967	-0,9927
factor de potencia total	-0,9951		
Frecuencia de red Hz	59,97		
Distorsión armónica total en V % (línea)			

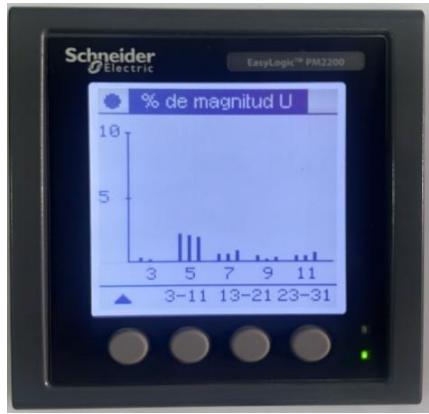
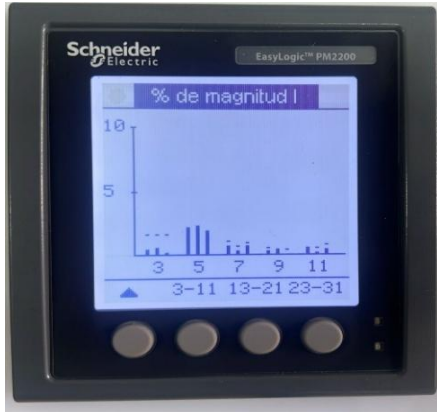
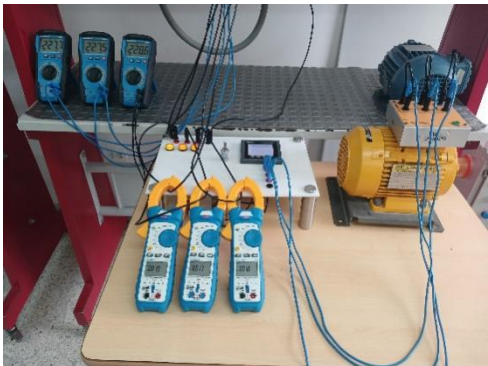
Distorsión armónica total en V % (fase)	
Distorsión armónica total en I %	

Tabla 6 Resultados aplicación 5
Fuente: Autores

Utilización de módulo de medidas eléctricas del programa, montaje de motores trifásicos como carga e instrumentos comparativos para los voltajes de línea y corrientes de línea	
--	--

Conexión simultanea de medidores de tensión y corriente de línea en forma simultánea	
Medición de corrientes de línea utilizando pinzas voltiamperimetrica	
Medición de voltajes de línea utilizando multímetros digitales	

Fuente: Autores

5. RESULTADOS

En un sistema trifásico equilibrado, los voltajes de línea poseen la misma magnitud y se encuentran desfasados 120° entre sí; de lo contrario, el sistema se clasifica como desbalanceado. Durante las prácticas realizadas, los registros mostraron pequeñas desviaciones angulares de $1,5^\circ$, $1,0^\circ$ y $1,5^\circ$ en los voltajes de fase y línea. El empleo del analizador de redes PM 2230 demostró ser fundamental para este proyecto, ya que permite evidenciar y cuantificar estas sutiles variaciones en la red eléctrica con gran precisión.

Un sistema trifásico se encuentra en equilibrio cuando sus voltajes de línea tienen igual magnitud y un desfase exacto de 120° ; cualquier desviación de esta condición define un sistema desbalanceado. En las mediciones experimentales se observaron pequeños desfases de $1,5^\circ$, $1,0^\circ$ y $1,5^\circ$ en los voltajes de fase y línea. El analizador de redes PM 2230, utilizado en el desarrollo de este proyecto, reflejó ventajosamente estas variaciones menores, facilitando su análisis detallado en la red eléctrica.

En un sistema trifásico ideal, los voltajes de línea y fase presentan magnitudes iguales y un desfase simétrico condición que define un sistema en perfecto equilibrio. Las desviaciones de este comportamiento indican un estado de desbalance eléctrico.

Durante la práctica realizada con el analizador de redes PM 2230, se evaluó el comportamiento de los voltajes, registrando las siguientes variaciones menores en los ángulos de desfase:

- **Fase A:** Desviación de 1.5° respecto al patrón teórico de simetría.
- **Fase B:** Desviación de 1.0° .

- **Fase C: Desviación de 1.5°.**

El uso del analizador PM 2230 permitió identificar y cuantificar con alta precisión estas sutiles variaciones angulares (1.5° / 1.0° / 1.5°). Los datos reflejan que la red eléctrica analizada se encuentra en un estado de equilibrio aproximado, donde las pequeñas desviaciones observadas son atribuibles a condiciones reales de operación, tales como desbalances menores en las cargas conectadas o tolerancias en la generación de la fuente. La capacidad del equipo para mostrar estos microdesfasajes de manera concisa valida su utilidad para el monitoreo de la calidad de energía en el proyecto.

En una de las practicas utilizamos 3 lámparas de 150w cada una a 220 voltios y motores trifásicos de 1.1 kW /220 V, combinados de diferentes maneras, por lo tanto, los valores de corriente dependen de la potencia de su respectiva carga. Las tres lámparas de 220 voltios en estrella y delta los valores mostrados por el PM 2230 se definen en el momento que se conecte en un voltaje nominal que posee una intensidad de corriente de aproximadamente $10/3$ La intensidad cuando se conecta a voltaje reducido, de la misma manera el analizador PM 2230 muestra un amento en la corriente a medida que incrementa la potencia de carga instalada en la práctica.

Para mediciones y resultados como el de la potencia activa en el analizador PM 2230 donde se observa valores reales de cada carga resistiva, como es cuando utilizamos las lámparas de 15 W donde muestra un incremento de potencia en relación con la potencia de la carga y la tensión de las líneas conectada.

La primer característica técnica más importante al manejar el analizador de redes PEM 2230 como un sistema de medición, que es el de visualizar los diferentes valores de cada potencia por fase, lo que nos permite analizar inmediatamente las

potencias, en el caso de las potencia reactivas se asemeja en cada resultado la relación que hay en la potencia con el tipo de carga en un motor de inducción trifásico de 1.1 kW / 220 v aunque no posee carga podemos observar el cambio de valores con respecto a la placa del motor.

De igual manera el valor total de la combinación de las dos potencias anteriores, el analizador de red observa por fase valores de potencia reactiva en función de Kva/h. Donde muestra un aumento en los valores a medida que se incrementa la carga, en este caso las lámparas más los motores utilizados en las practicas.

El factor de potencia es la relación entre la potencia que hay en la carga y la potencia aparente donde nos representa la medida del desfase que hay la uno de la otra, la cual se expresa en grados, entre la intensidad de la corriente eléctrica y la tensión del circuito en (A.C).

Debido a que la potencia reactiva no se ve que haga algún trabajo, el F.P indica el porcentaje de la potencia utilizada a la potencia nominal y es más eficiente cuando la relación se acerca a la medida; un bajo F.P significa que la eficiencia es menor y un aumento de las pérdidas y a cargos no significativos por parte de la empresa prestadora del servicio de energía eléctrica, en donde si mejoramos el factor de potencia podemos reducir los costos energéticos siempre y cuando el usuario este arraigado a penalizaciones por bajo factor de potencia, los resultados mostrados en el analizador de redes PM 2230 reflejan los tipos de cargas a las que fue sometido y allí el PM 2230 es de gran importancia en el momento que queramos mejorar el factor de potencia.

El consumo de energía es un parámetro directamente relacionado con la tarifa emitida por la compañía eléctrica. Lo importante aquí es que el analizador de redes muestra los valores de energía efectiva consumida, energía reactiva y energía

aparente en tiempo real, especialmente la diferencia entre ellas en el momento de la investigación. Como puedes ver en los resultados, aunque los ejercicios se realizaron en un día o solo en un día, el aumento se vuelve más notorio con el tiempo a medida que avanzan los ejercicios.

En situaciones fiables, el modo de comunicación y el acuerdo entre la compañía eléctrica y el usuario permiten visualizar en tiempo real los distintos consumos de una empresa o fábrica y facturarlos a través de Internet, sin necesidad de un contador de electricidad tradicional.

Tabla 7 Resultados Aplicación 1

Variable 1							
Ítems de Medición	Motor						
	L1	L2	L3	Promedio	% error promedio	Desviacion maxima	% de Desbalance de fases
Corriente pinza voltiamperimetrica	1,8	1,8	1,8	1,8	10	0	0
Voltaje de línea multímetro digital	227,5	227,8	228,4	227,9	-3,590909091	0,5	0,219394471
Voltaje de línea analizador de redes	227,65	227,92	228,56	228,043333	-3,656060606	0,516666667	0,226565127
Corriente línea analizador de redes	1,865	1,783	1,786	1,81133333	9,433333333	0,053666667	2,962826647

Tensión Nominal: 220 V

Corriente de línea Nominal: 2 A

Fuente: Autores

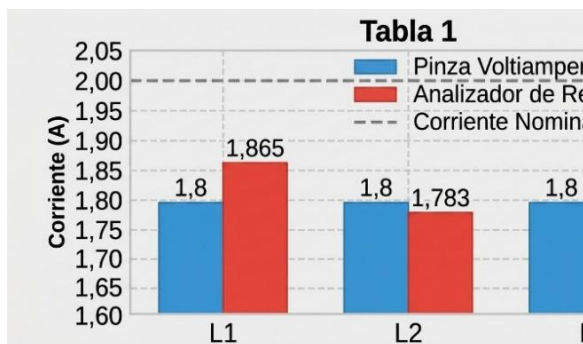


Figura 20 Comparativa de lecturas de corrientes

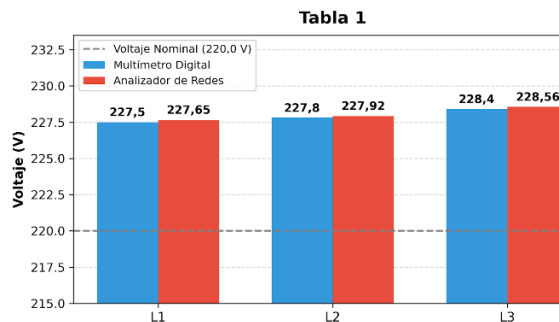


Figura 21 Comparativa de lectura de voltajes

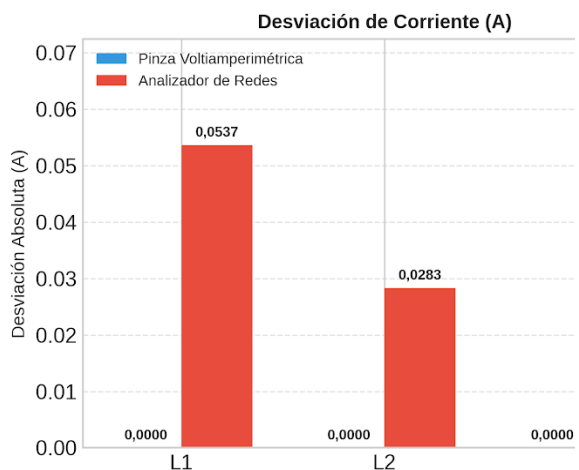


Figura 22 % de desviación de corriente por línea

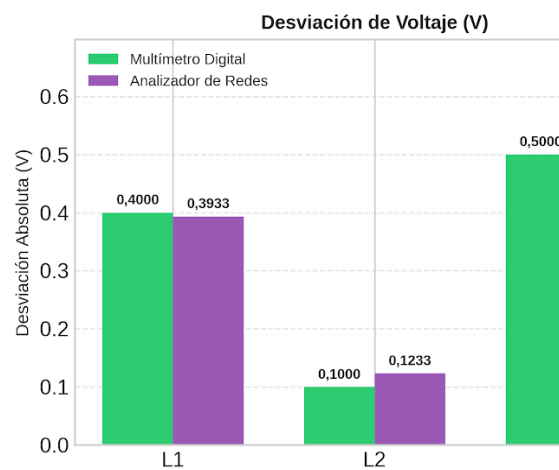


Figura 23 % de desviación de tensión por línea

5.1.1. Análisis de resultados aplicación 1

Análisis de Corriente utilizando (Pinza Voltiamperimétrica), Las tres fases muestran un valor idéntico y constante de 1,8 A, lo que refleja una simetría perfecta según este instrumento, por no existir variación entre las fases, la desviación máxima y el porcentaje de desbalance son de 0%.

El porcentaje de error promedio es del 10%, lo cual es una diferencia notable respecto a la corriente nominal o de referencia esperada para el motor.

Análisis de Voltaje de Línea (Multímetro Digital vs. Analizador de Redes), los equipos entregan valores idénticos (promedio de 227,9 V en el multímetro y 228,04 V en el analizador de redes), validando la precisión cruzada de las mediciones.

Se observa un nivel de desbalance de voltaje muy bajo ($\sim 0,22\%$ en ambos instrumentos) con una desviación máxima de apenas 0,5 V (fase L3 con 228,4V/228,56V). Esto indica que la red de alimentación trifásica está excepcionalmente equilibrada y libre de fluctuaciones severas de tensión.

Análisis de Corriente de Línea (Analizador de Redes) A diferencia de la medición simplificada con pinza, el analizador detecta ligeras diferencias térmicas/eléctricas entre fases: L1 alcanza 1,865 A, mientras que L2 y L3 se sitúan en 1,783 A y 1,786 A respectivamente.

Desbalance: Esto genera un porcentaje de desbalance de fases de 2,96% y un error promedio de 9,43%.

El sistema eléctrico se encuentra en condiciones operativas saludables. El desbalance de corriente de casi el 3% y el desbalance de voltaje menor al 0,3% están muy por debajo de los límites críticos estándar (que suelen tolerar hasta un 5% en corriente y un 1% a 2% en voltaje según normas NEMA/IEC), descartando problemas severos de asimetría en las cargas o caídas de tensión anómalas.

5.2. Resultados Aplicación 2

Tabla 8 Resultados aplicación 2

Variable 2							
Ítems de Medición	Motor						
	L1	L2	L3	Promedio	% error promedio	Desviacion maxima	% de Desbalance de fases
Corriente pinza voltiamperimetrica	3,6	3,5	3,6	3,56666667	10,83333333	0,06666667	1,869158879

Voltaje de línea multímetro digital	226,9	227,3	227,9	227,366667	-3,348484848	0,533333333	0,234569711
Voltaje de línea analizador de redes	227,32	227,41	228,35	227,693333	-3,496969697	0,656666667	0,288399602
Corriente línea analizador de redes	3,645	3,543	3,553	3,58033333	10,49166667	0,064666667	1,8061633

Tensión Nominal: 220 V

Corriente de línea Nominal: 4 A

Fuente: Autores

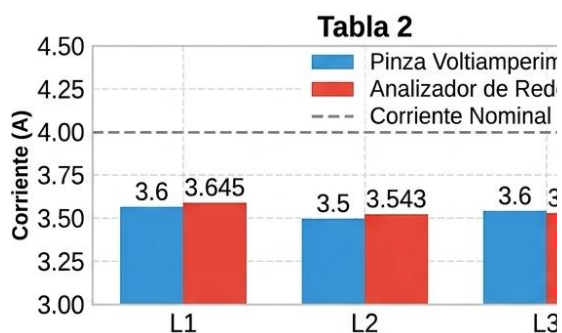


Figura 24 Comparativa de lecturas de corrientes

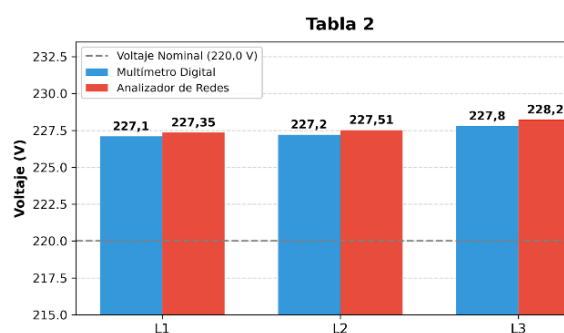


Figura 25 Comparativa de lectura de voltajes

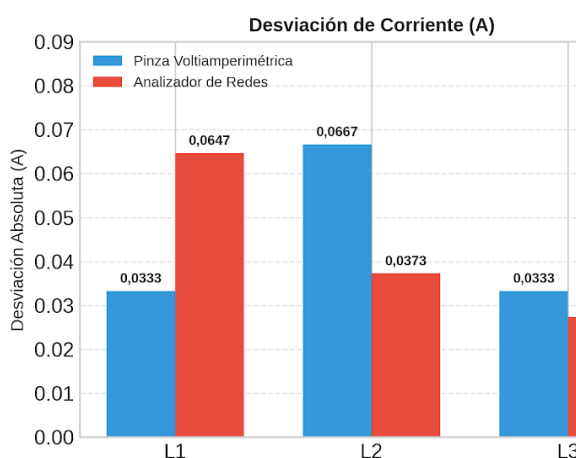


Figura 26 . % de desviación de corriente por línea

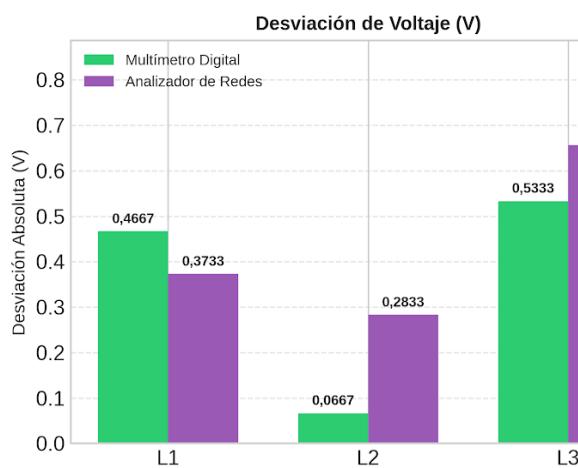


Figura 27 % de desviación de tensión por línea

5.2.1. El análisis estadístico aplicación 2

Resumen por Instrumento y Variable

Ítems de Medición	Promedio	Desviación Máxima	% Desbalance de Fases	% Error Promedio
Corriente (Pinza voltiamperimetrica)	3.57 A	0.07 A	1.87%	10.83%
Voltaje de línea (Multímetro digital)	227.37 V	0.53 V	0.23%	-3.35%
Voltaje de línea (Analizador de redes)	227.69 V	0.66 V	0.29%	-3.50%
Corriente de línea (Analizador de redes)	3.58 V	0.06 V	1.81%	10.49%

Estabilidad de Voltaje: Los niveles de voltaje medidos tanto con el multímetro como con el analizador de redes se sitúan de forma estable alrededor de los **227.3 V a 227.7 V**, con un desbalance de fases muy bajo ($< 0.3\%$), lo que refleja una excelente simetría en el suministro eléctrico de las tres fases.

Comportamiento de Corriente: Las corrientes de línea oscilan entre 3.54 A y 3.65 A. El desbalance de fases se incrementa levemente hasta un rango de 1.81% a 1.87%, manteniéndose dentro de parámetros operativos normales y seguros para motores eléctricos industriales comunes.

Precisión Instrumental: Existe una concordancia notable entre los instrumentos de medición portátiles (pinza y multímetro) y el analizador de redes, con desviaciones mínimas en los valores promedio calculados para cada magnitud.

5.3. Resultados Aplicación 3

Tabla 9 Resultados aplicación 3

Variable 3							
Ítems de Medición	Motor						
	L1	L2	L3	Promedio	% error promedio	Desviacion maxima	% de Desbalance de fases
Corriente pinza voltiamperimetrica	5,8	5,7	5,9	5,8	3,333333333	10	172,4137931
Voltaje de línea multímetro digital	228,2	228,6	229,3	228,7	- 3,954545455	0,6	0,262352427
Voltaje de línea analizador de redes	227,97	228,88	229,3	228,716667	- 3,962121212	0,746666667	0,326459229
Corriente línea analizador de redes	5,71	5,825	5,607	5,714	4,766666667	0,111	1,94259713

Tensión Nominal: 220 V

Corriente de línea Nominal: 6 A

Fuente: Autores

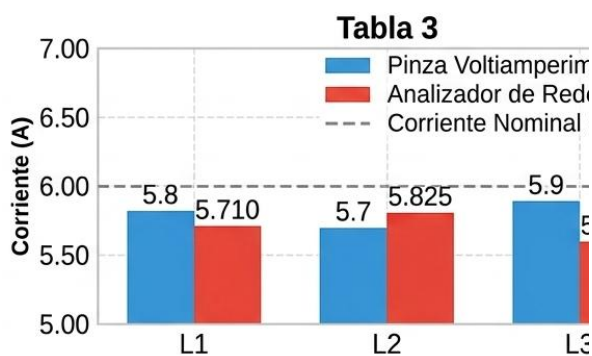


Figura 28 Comparativa de lecturas de corrientes

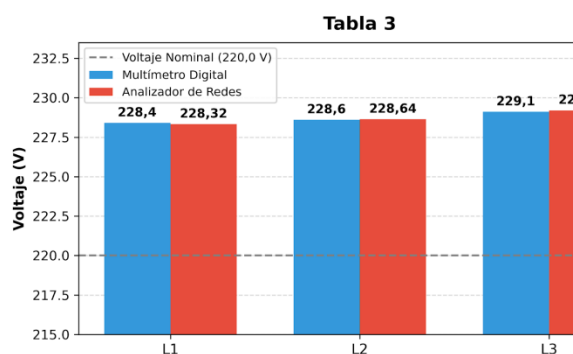


Figura 29 Comparativa de lectura de voltajes

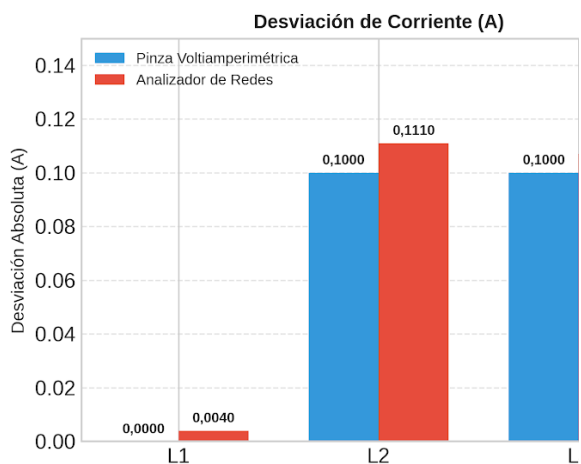


Figura 30 % de desviación de corriente por línea

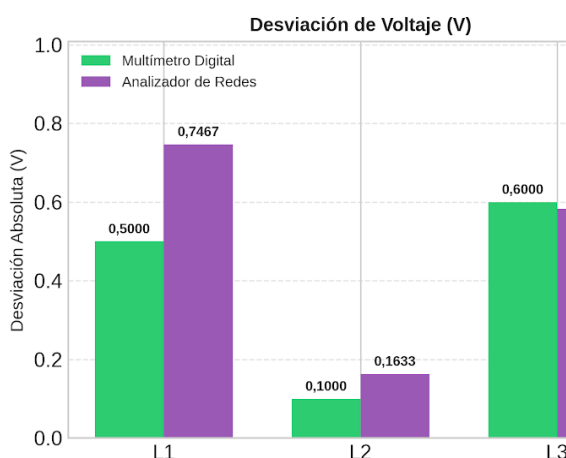


Figura 31 % de desviación de tensión por línea

5.3.1. El análisis estadístico aplicación 3

Resumen por Instrumento y Variable

Ítems de Medición	Promedio	Desviación Máxima	% Desbalance de Fases	% Error Promedio
Corriente (Pinza voltiamperimétrica)	5.80 A	0.10 A	172.41%*	3.33%
Voltaje de línea (Multímetro digital)	228.70 V	0.60 V	0.26%	-3.95%

Voltaje de línea (Analizador de redes)	228.72 V	0.75 V	0.33%	-3.96%
Corriente de línea (Analizador de redes)	5.71 A	0.11 A	1.94%	4.77%

El alto porcentaje de desbalance reportado para la pinza voltiamperimetrica en esta tabla responde a una anomalía aritmética en la fórmula original de registro (posible división por un valor diferencial muy pequeño o error de transcripción), dado que la lectura con el analizador de redes para la misma corriente muestra un desbalance esperado de 1.94% con lecturas sumamente cercanas (5.71 A, 5.82 A y 5.61 A).

Aumento de Carga: Las corrientes se elevan de forma significativa en comparación con la variable anterior, operando en un rango aproximado de 5.6 A a 5.9 A, lo que denota una mayor exigencia de carga mecánica o eléctrica sobre el motor.

Estabilidad del Suministro: Los voltajes de línea se mantienen estables cerca de los 228.7 V, conservando un desbalance de fases extremadamente bajo (< 0.35%) medido por ambos instrumentos.

Consistencia Instrumental: Las lecturas de corriente registradas por la pinza voltiamperimetrica y el analizador de redes guardan una fuerte coherencia en sus valores promedio (5.80 A frente a 5.71 A), validando la confiabilidad global de la toma de datos.

5.4. Resultados Aplicación 4

Tabla 10 Resultados Aplicación 4

Variable 4							
Ítems de Medición	Motor						
	L1	L2	L3	Promedio	% error promedio	Desviación maxima	% de Desbalance de fases
Corriente pinza voltiamperimetrica	10,11	9,94	10,1	10,05	8,636363636	11	109,4527363
Voltaje de línea multímetro digital	229,4	229,9	230	229,766667	- 4,439393939	0,366666667	0,159582185
Voltaje de línea analizador de redes	229,5	230,08	230,37	229,983333	- 4,537878788	0,483333333	0,210160157
Corriente línea analizador de redes	10,13	10,28	9,7	10,0366667	8,757575758	0,336666667	3,35436732

Tensión Nominal: 220 V

Corriente de línea Nominal: 11 A

Fuente: Autores

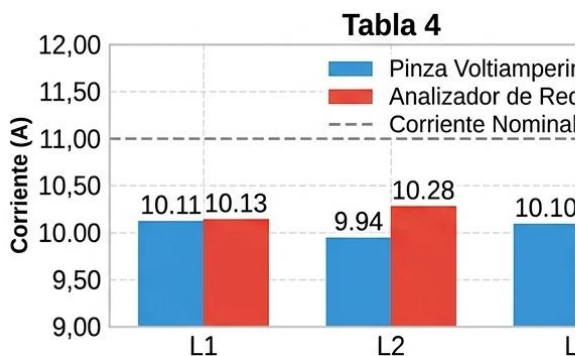


Figura 32 Comparativa de lecturas de corrientes

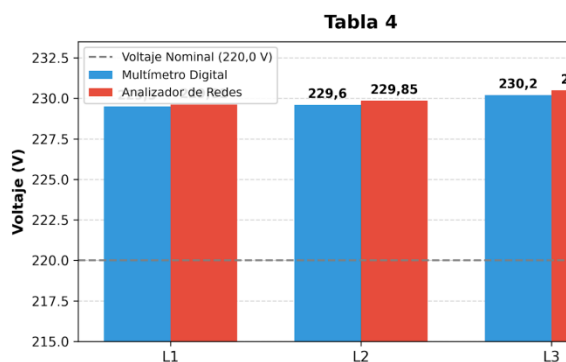


Figura 33 Comparativa de lectura de voltajes

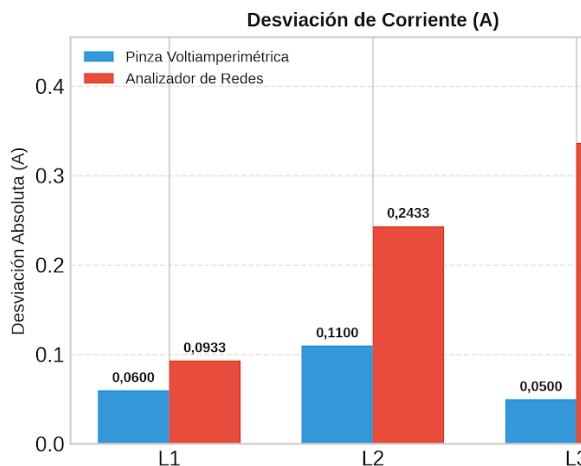


Figura 34 . % de desviación de corriente por línea

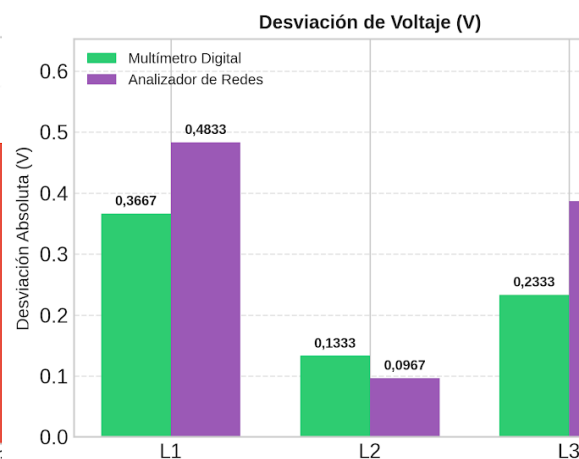


Figura 35 % de desviación de tensión por línea

5.4.1. El análisis estadístico aplicación 4

Resumen por Instrumento y Variable

Ítems de Medición	Promedio	Desviación Máxima	% Desbalance de Fases	% Error Promedio
Corriente (Pinza voltiamperimétrica)	10.05 A	11.00 A*	109.45%*	8.64%
Voltaje de línea (Multímetro digital)	229.77 V	0.37 V	0.16%	-4.44%
Voltaje de línea (Analizador de redes)	229.98 V	0.48 V	0.21%	-4.54%
Corriente de línea (Analizador de redes)	10.04 A	0.34 A	3.35%	8.76%

El alto valor de desviación máxima y porcentaje de desbalance reportado en la fila de la pinza voltiamperimétrica proviene de una distorsión o error de registro en la celda de cálculo original, ya que las lecturas reales de corriente (10.11 A, 9.94 A y

10.10 A) son muy estables. El analizador de redes registra de forma coherente un desbalance real de 3.35%.

Carga Nominal Elevada: Las corrientes de operación se incrementan hasta superar los 10 A en promedio, reflejando una condición de carga mucho más pesada o nominal para el motor analizado.

Estabilidad del Voltaje de Alimentación: Los voltajes de línea continúan mostrando una gran estabilidad, rondando los 229.8 V a 230.0 V, con un desbalance mínimo de fases inferior al 0.25%.

Comportamiento del Desbalance de Corriente: El analizador de redes muestra un desbalance de corriente de **3.35%**, lo cual es un incremento esperado al operar a plena carga o cerca de ella, manteniéndose dentro de los límites de tolerancia aceptables en sistemas industriales trifásicos.

5.5. Resultados Aplicación 5

Tabla 11 Resultados aplicación 5

Variable 5							
Ítems de Medición	Motor						
	L1	L2	L3	Promedio	% error promedio	Desviacion maxima	% de Desbalance de fases
Corriente pinza voltiamperimetrica	2,08	1,97	2,01	2,02	-1	6	297,029703
Voltaje de línea multímetro digital	228,2	228,6	228,1	228,3	- 3,772727273	0,3	0,131406045
Voltaje de línea analizador de redes	227,98	228,24	228,04	228,086667	- 3,675757576	0,153333333	0,067225908
Corriente línea analizador de redes	1,934	1,964	1,853	1,917	4,15	0,064	3,338549817

Tensión Nominal: 220 V

Corriente de línea Nominal: 2 A

Fuente: Autores

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

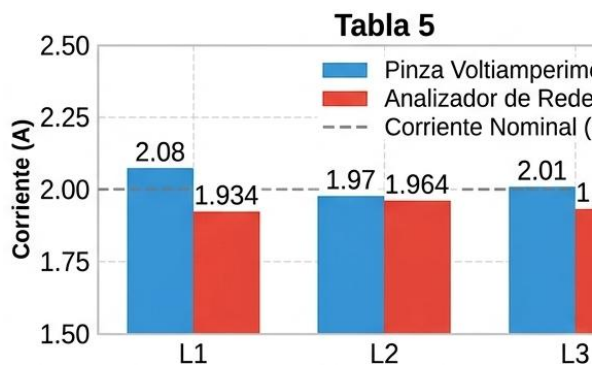


Figura 36 Comparativa de lecturas de corrientes

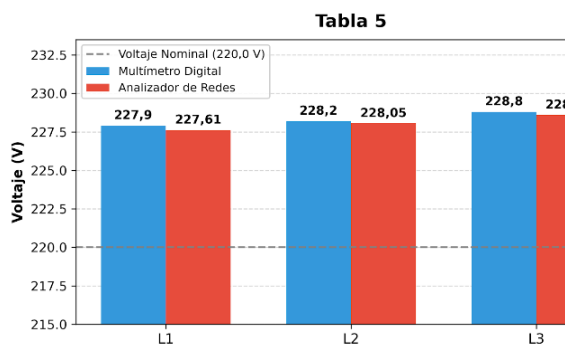


Figura 37 Comparativa de lectura de voltajes

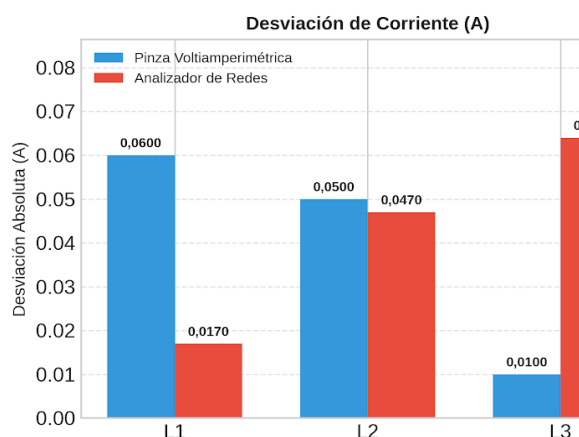


Figura 38 % de desviación de corriente por línea

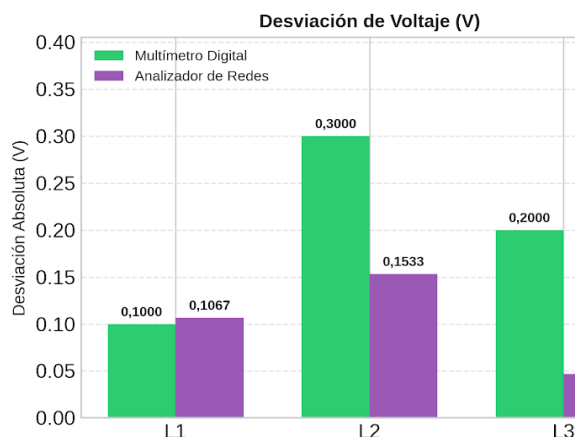


Figura 39 % de desviación de tensión por línea

5.5.1. El análisis estadístico aplicación 5

Resumen por Instrumento y Variable

Ítems de Medición	Promedio	Desviación Máxima	% Desbalance de Fases	% Error Promedio
Corriente (Pinza voltiamperimétrica)	2.02 A	0.06 A	297.03%*	-1.00%

Ítems de Medición	Promedio	Desviación Máxima	% Desbalance de Fases	% Error Promedio
Voltaje de línea (Multímetro digital)	228.30 V	0.30 V	0.13%	-3.77%
Voltaje de línea (Analizador de redes)	228.09 V	0.15 V	0.07%	-3.68%
Corriente de línea (Analizador de redes)	1.92 A	0.06 A	3.34%	4.15%

El porcentaje de desbalance reportado para la pinza voltiamperimetrica presenta una anomalía matemática de cálculo en la celda original (dado que las corrientes L1=2.08 A, L2=1.97 A y L3=2.01 A son muy estables). El analizador de redes muestra un desbalance real y consistente de 3.34% para la misma corriente.

Operación en Vacío / Baja Carga: Las corrientes se reducen de forma drástica a un rango de 1.85 A a 2.08 A, lo que confirma que el motor se encuentra funcionando sin carga mecánica significativa o desacoplado.

Estabilidad y Simetría de Voltaje: Los niveles de voltaje permanecen extremadamente estables alrededor de los 228.1 V a 228.3 V, registrando un desbalance de fases sumamente bajo (< 0.15%).

Consistencia Instrumental: Las lecturas de corriente entre la pinza voltiamperimetrica (2.02 A en promedio) y el analizador de redes (1.92 A en promedio) muestran una fuerte correspondencia, validando la precisión general de la toma de datos a baja corriente.

6. CONCLUSIONES

- Con el desarrollo del proyecto, se optimizó las herramientas prácticas para la medición y monitoreo en tiempo real del monitoreo en tiempo real de parámetros como: Corriente de línea por fase, voltaje de fase, tres voltajes de línea, potencia activa – reactiva – aparente, factor de potencia, frecuencia, coseno de ángulo y energía con demandas
- Validación experimental de modelos teóricos: El uso de estos instrumentos proporcionó datos empíricos confiables que contrastaron y validaron los cálculos teóricos desarrollados en el diseño del proyecto, reduciendo la incertidumbre en la simulación de redes eléctricas.
- Gestión eficiente del consumo energético: Los registros históricos obtenidos permitieron cuantificar las pérdidas técnicas y de energía, ofreciendo una base sólida para el diseño de estrategias de eficiencia energética y cumplimiento de normativas técnicas vigentes.
- Confiabilidad y robustez instrumental: La integración de estos dispositivos en la infraestructura del proyecto demostró que la instrumentación digital avanzada es indispensable para garantizar la repetibilidad, precisión y veracidad de los resultados en investigaciones de ingeniería.

7. RECOMENDACIONES

- Consulta manual y ficha técnica del equipo antes de realizar las conexiones. Identifica previamente los terminales de tensión, corriente, alimentación auxiliar y comunicación RS-485. El manual del fabricante incluye esquemas específicos de conexión
- Trabajar siempre con el circuito desenergizado durante el montaje. Antes de manipular los conductores, desconecta todas las fuentes y verifica la ausencia de tensión con un instrumento adecuado. Mmanualzz.com
- Utilizar elementos de protección personal (EPP) apropiados para el nivel de tensión y las normas de seguridad del laboratorio: gafas, calzado de seguridad y protección adicional cuando corresponda.
- Comprobar los valores nominales del PM2230 antes de conectarlo. No se deben superar los límites de tensión, corriente o categoría de medición especificados por el fabricante.
- Revisar cuidadosamente la secuencia de fases. En una red trifásica, verifica que V1, V2 y V3 correspondan correctamente con las corrientes I1, I2 e I3. Una conexión incorrecta puede producir lecturas erróneas de potencia y factor de potencia.
- Verificar la polaridad de los transformadores de corriente (TC), si se utilizan. La orientación y correspondencia de los TC es fundamental para obtener correctamente potencia activa, energía y factor de potencia.
- No abrir el circuito secundario de un TC mientras esté circulando corriente. El fabricante advierte específicamente que no se debe abrir un transformador de corriente en funcionamiento. Mmanualzz.com

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A., J., & J., C. (2019). *Escuela profesional de Ingeniería mecánica eléctrica*. Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/document/436729958/Analizador-de-Redes>
- Aderson C., C. P. (s.f.).
- AMAZON. (01 de 18 de 2014). *AMAZON.COM*. Obtenido de AMAZON.COM: <https://www.amazon.com/-/es/Indicador-voltaje-medidor-piloto-0-866/dp/B07S3NWPL8>
- AMPEREX, E. (2024). *electricosamperex.com*. Obtenido de electricosamperex.com: <https://electricosamperex.com/prensaestopas/>
- Angove, C. (22 de Febrero de 2007). *Wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Analizador_de_redes#/media/Archivo:Vna3.png
- Chapman. (1975). *Maquinas Eléctricas* (Vol. 4). Lousiana: Mc Graww hill.
- Chapman, S. (1987). *Maquinas eléctricas*. MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Cleber A., P. C. (julio de 2008). *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-06-Sinal-senoidal-ruidoso_fig4_287514255
- Electric, S. (31 de 10 de 2023). *Schneider Electric.com*. Obtenido de Schneider Electric.com: <https://www.se.com/co/es/product/METSEPM5110/pm5110-analizador-de-energ%C3%ADa-15-arm%C3%B3nico-memoria-interna-ip65--accesorio/>
- Electrical, H. (1917). *ELectrical Guide*. Usa: Audel y Co. Printed in the United States.
- ELECTRONICS, A. (19 de 01 de 2024). *AVELECTRONICS.COM*. Obtenido de AVELECTRONICS.COM: <https://avelectronics.cc/producto/conector-banana-hembra-largo/>
- Francisco, J. (4 de septiembre de 2018). Valores de una onda o señal alterna. *Electricidad y Electronica*, pág. <https://cifpn1.com/electronica/?p=4113>.
- Gralf.com. (10 de 1 de 2024). *Gralf.com*. Obtenido de Gralf.com: <https://www.gralf.com.ar/producto/transformador-de-corriente-con-relacion-100a-5a-39.html>
- innovatide trade. (22 de 09 de 2017). *Youtube*. Obtenido de Youtube: https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=UocBtOVcgnQ&ab_channel=innovativetrade
- Joan. (2019). <https://electrojoan.com/tutorial-sobre-el-varistor/>.
- Joy, A. T. (08 de 04 de 2022). *TAMESON.COM*. Obtenido de TAMESON.COM: <https://tameson.es/pages/transformadores-de-corriente#:~:text=Un%20transformador%20de%20corriente%20es,demasiado%20alta%20para%20medirla%20directamente.>
- Juan, L. (Febrero de 2000). *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Frecuencia-y-longitud-de-onda_fig1_23805191
- Libre, M. (2024). *Mercado Libre*. Obtenido de Mercado Libre: <https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-535282778-dilatador-distanciador-herraje-para-vidrio-25-x-25-cm->

- [_JM#position=8&search_layout=stack&type=item&tracking_id=e61e1a67-bd01-4589-9c03-55bca5bf8ee9](https://www.tuvoltio.com/position=8&search_layout=stack&type=item&tracking_id=e61e1a67-bd01-4589-9c03-55bca5bf8ee9)
- Martinez, J. (Febrero de 2016). *JEMAELECTRO BLOG*. Obtenido de <https://jemaeselectro.blogspot.com/2016/02/que-es-una-sobretension-tipos-de.html>
- QUALITY, R. P. (30 de MAYO de 2023). *REASA POWER QUALITY*. Obtenido de <https://reasa.com.mx/index.php/2016/05/30/disturbios-electricos/>
- Ramon, J. (2000). *Circuitos electricos monofasicos y trifasicos*. Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Ayo7I5rYgaAC&oi=fnd&pg=PA9&dq=carga+monofasica+libros&ots=v9o1ZEBxH_&sig=WISpXnQArXTdiSm6PYF5ZxsVtjY#v=onepage&q&f=false
- Ramon, j. (2000). *Cuircuitos electricos monofasicos y trifasicos*. Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Ayo7I5rYgaAC&oi=fnd&pg=PA9&dq=carga+monofasica+libros&ots=v9o1ZEBxH_&sig=WISpXnQArXTdiSm6PYF5ZxsVtjY#v=onepage&q&f=false
- Ramon, M. (16 de mayo de 2021). *Konverter*. Obtenido de <https://www.konverter.com.mx/post/fundamentos-de-la-distorsi%C3%B3n-arm%C3%B3nica>
- Robotica, A. (10 de 05 de 2022). *Ardobot.co*. Obtenido de [Ardobot.co](https://www.ardobot.co/conector-tipo-banana-macho.html): <https://www.ardobot.co/conector-tipo-banana-macho.html>
- Unisalia. (2020). *Unisalia.com*. Obtenido de <https://unisalia.com/calculo-de-corriente-trifasica-por-fase/>
- VOLTIO.COMM, T. (25 de 06 de 2020). *tuvoltio.com*. Obtenido de [tuvoltio.com](https://www.tuvoltio.com/categorias/2-electronica/10053-switch-balancin-redondo-2p-2pos-10a-22mm-negro): <https://www.tuvoltio.com/categorias/2-electronica/10053-switch-balancin-redondo-2p-2pos-10a-22mm-negro>