

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Medición y Análisis de los Armónicos en el Sistema Eléctrico de un Centro Comercial Para Mejorar la Calidad de Energía

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista

Elaborado por:

Ronald Escajadillo Ayquipa

 [0009-0003-6561-1566](https://orcid.org/0009-0003-6561-1566)

Asesor:

Dr. Fortunado Alva Dávila

 [0009-0008-8168-661X](https://orcid.org/0009-0008-8168-661X)

LIMA - PERÚ

2025

Citar/How to cite	(Escajadillo Ayquipa, 2025)
Referencia/Reference	<i>Escajadillo, R. (2025). Medición y Análisis de los Armónicos en el Sistema Eléctrico de un Centro Comercial Para Mejorar la Calidad de Energía. [Trabajo de Suficiencia Profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.</i>
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mi madre por el esfuerzo, fe en Dios y confianza que tubo para apoyarme en la vida y lograr todo lo que he conseguido.

Agradecimiento

Primero a mi madre por el apoyo en general, a mi familia por estar ahí siempre, a los profesores de la facultad de mecánica que me brindaron conocimiento, a mi asesor por ser guía en tema de investigación.

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo general la medición y análisis de los armónicos presentes en las tiendas Retail de los centros comerciales.

Para el desarrollo de la investigación la metodología fue del tipo aplicada, el nivel descriptiva y explicativa, diseño cuantitativo y enfoque experimental, tomando como población y muestra al sistema eléctrico del local comercial Oechsle del Real Plaza Cusco.

Para la medición y análisis se utilizó un analizador de redes de marca Fluke modelo 435 II; el procesamiento de la información de los valores registrados se realizó mediante el software Power Log 5.9, los cuales deberán estar dentro de los límites permitidos que manda la norma IEEE 519-2022 y la NTCSE 020-97-EM.

Como resultado se observó que las tensiones armónicas THD estaban dentro de lo que manda la norma, es decir menos del 8%; lo que si se visualizo es que las corrientes armónicas alcanzaron un valor máximo del 42%; de igual manera se menciona que se obtuvo un valor de -32KVAR de potencia reactiva capacita, el cual estaría generando perturbaciones al sistema eléctrico.

Palabras claves: calidad de energía, armónicos, potencia reactiva, normas, luminarias led.

Abstract

The present research aimed to measure and analyze the harmonics present in retail stores within shopping centers.

For the development of the study, the methodology was applied research, with a descriptive and explanatory level, quantitative design, and experimental approach, taking as the population and sample the electrical system of the Oechsle store at Real Plaza Cusco.

For measurement and analysis, a Fluke 435 II power quality analyzer was used; the processing of the recorded data was carried out using Power Log 5.9 software, with the results required to remain within the limits established by the IEEE 519-2022 standard and the NTCSE 020-97-EM regulation.

The results showed that the total harmonic distortion (THD) of voltages was within the standard limits, that is, less than 8%. However, it was observed that harmonic currents reached a maximum value of 42%. Likewise, it was noted that a value of -32 kVAR of capacitive reactive power was obtained, which could be causing disturbances to the electrical system.

Keywords: power quality, harmonics, reactive power, standards, LED luminaires.

Introducción

En los últimos años en nuestro país la construcción de centros comerciales está en crecimiento, esto trae desarrollo, trabajo, comercio, etc., pero también trae como consecuencia un problema en el sistema eléctrico por las instalaciones de dispositivos electrónicos no lineales que inyectan al sistema cargas capacitivas principalmente de parte de las luminarias tipo led, originando perturbaciones como los armónicos y por esta razón tener una mala calidad de energía en las tiendas retail que pueden originar daños a equipos.

El objetivo de este trabajo de investigación es ver el procedimiento de la medición y análisis de los armónicos presentes en la tienda de un centro comercial para verificar como está la calidad de energía.

A continuación, se sigue la metodología del análisis del presente trabajo de acuerdo a los siguientes capítulos mencionados a continuación:

Capítulo 1, se describe los antecedentes de las investigaciones, se formula el planteamiento del problema y se establecen los objetivos e hipótesis general y específicos que se servirá para el desarrollo de la operacionalización de variables.

También menciona sobre la metodología de investigación, se describe las informaciones que se necesita para el desarrollo del trabajo de investigación como por el ejemplo, la unidad de análisis, la población y la muestra, recolección de datos y análisis y procesamiento de la información.

Capítulo 2, se menciona las principales marcos teóricos y conceptuales relacionados al tema de investigación, representado por tablas, figuras y esquemas, teniendo como fuente de información textos como libros, revistas, trabajos realizados, etc., todo esto básicamente para tener los términos usados en el trabajo.

Capítulo 3, en este capítulo se desarrolló del trabajo de investigación, se menciona el tablero que será objeto de estudio con sus características eléctricas, se describe el modelo del equipo analizador de redes, se menciona las normas con las cuales se va tener que referenciar los valores del análisis, estas normas son la IEEE 519- 2022 y la NTCSE 020-97-EM

Tabla de Contenido

Dedicatoria	iii
Agradecimiento.....	iv
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	vii
Tabla de Contenido	ix
Capítulo I	1
1.Generalidades	1
1.1.Antecedentes de la investigación.....	1
1.2.Identificación y Descripción del Problema de Estudio	4
1.3.Formulación del problema.....	5
1.3.1.Problema General.....	5
1.3.2.Problemas Específicos.....	5
1.4.Justificación e importancia de la investigación	6
1.5.Objetivos.....	6
1.5.1.Objetivo General	6
1.5.2.Objetivos Específicos.....	6
1.6.Hipótesis.....	7
1.6.1.Hipótesis General	7
1.6.2.Hipótesis Específicos.....	7
1.7.Variables e Indicadores.....	7
1.8.Metodología de la Investigación.....	8
1.8.1.Unidades de Análisis.....	8
1.8.2.Tipo y nivel de investigación	8
1.8.3.Diseño de la Investigación	9
1.8.4.Fuentes de Información	9
1.8.5.Población y muestra	9
	ix

1.8.6.Técnicas e instrumentos de recolección de datos	9
1.8.7.Análisis y Procesamiento de Datos	9
Capitulo II	11
2. Marco Teórico y Marco Conceptual	11
2.1.Marco Teórico.	11
2.1.1.Calidad de la energía eléctrica.....	11
2.1.2.Armónicos.....	11
2.1.3.Distorsión de armónicos.....	12
2.1.4.Filtros de armónicos.....	14
2.2.Marco Conceptual.....	17
Capitulo III	19
3. Desarrollo Del Trabajo de Investigación	19
3.1.Generalidades	19
3.2.Equipos de medición empleados para el análisis de la calidad de energía	19
3.3.Análisis de la calidad de energía en el tablero TG-TR1.....	21
3.4.Diagrama del sistema eléctrico del local comercial Oechsle	21
3.5.Mediciones a realizar en el Tablero Eléctrico	22
3.6.Estándares para evaluar la calidad de la energía eléctrica	23
3.6.1.Norma 519 – 2022.	23
3.6.2.Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE).	24
3.7.Resultados de las mediciones en el tablero TG-TR1	25
3.8.Procesamiento de información de las mediciones.....	26
3.8.1.Potencia Activa, Reactiva y Aparente.	26
3.8.2.Tensión.....	29
3.8.3.Corriente	32
3.8.4.Frecuencia.	33
3.8.5.Factor de Distorsión Total por Efecto de las Tensiones Armónicas.....	34
3.8.6.Factor de Distorsión Total por Efecto de las Corrientes Armónicas.....	35
3.8.7.Factor de Distorsión Total por Efecto de las Corrientes Armónicas en amperios. ..	37

3.8.8.Distorsión Total de la demanda en porcentaje (TDD).....	38
3.9.Análisis de los resultados procesados	38
3.9.1.Factor de Distorsión Armónicos Total en tensión (THDv)	39
3.9.2.Factor de Distorsión Total de Armónicos de Corriente en porcentaje (THDi)	39
3.9.3.Distorsión Total de la demanda (TDD)	41
3.9.4.Potencia Reactiva Capacitiva (Kvar)	43
3.10.Alternativas de Mejora de la Calidad de Energía.....	44
3.10.1.Banco de condensadores	44
3.10.2.Sistema de Generador Estático (SVG).....	45
3.10.3.Filtros Activos.....	45
Capitulo IV	46
4. Contrastación De Hipótesis y Discusión De Resultados	46
4.1.Contrastación de Hipótesis	46
4.2.Discusión de Resultados.....	47
Conclusiones	50
Recomendaciones	51
Referencias	52
Anexos	54

Lista de Tablas

Tabla 1 Especificaciones técnicas Analizador de redes Fluke 435 II	20
Tabla 2 Especificaciones técnicas Pinza Amperimétrica Fluke 376FC	20
Tabla 3 Límites de Distorsión de Tensión IEEE 519-2022	24
Tabla 4 Límites de corriente Armónica en el punto común de acoplamiento, para tensión entre 120 – 69kv	24
Tabla 5 Límites de tensión armónica según la NTCSE	25
Tabla 6 Valores de las mediciones voltaje y frecuencia	26
Tabla 7 Valores de las mediciones Corriente y Potencias	26
Tabla 8 Potencia (KW, KVAR, KVA, F.P)	29
Tabla 9 Tensiones de fase	30
Tabla 10 Tensiones de Línea.....	32
Tabla 11 Corrientes	33
Tabla 12 Frecuencia	34
Tabla 13 Tensiones Armónicas	35
Tabla 14 Corrientes Armónicas	36
Tabla 15 Corrientes Armónicas en amperios	37
Tabla 16 Distorsión Total de la demanda	38
Tabla 17 Niveles de Distorsión Armónica Total en tensión.....	39
Tabla 18 Niveles de Distorsión Armónica Total en Corriente	40
Tabla 19 Niveles de Distorsión Armónica Total en Corriente en amperios	40
Tabla 20 Límites de corriente Armónica en el punto común de acoplamiento, para tensión entre 120 – 69kv	42
Tabla 21 Niveles de distorsión de Demanda	43
Tabla 22 Valores de potencias y factor de potencia	44

Lista de Figuras

Figura 1 Formas de ondas de cargas lineales y distorsionada.....	4
Figura 2 Forma de Onda de Frecuencia 60Hz sin Armónicos.....	12
Figura 3 Forma de Onda reales de Voltaje y corriente.	12
Figura 4 Forma de Ondas de Frecuencia 300Hz.	13
Figura 5 Forma de Onda Resultante Distorsionada.	13
Figura 6 Filtro Sintonizado Simple.	15
Figura 7 Filtro Amortiguado.	17
Figura 8 Diagrama Unifilar	22
Figura 9 Esquema de conexión en el Analizador de redes.	23
Figura 10 Potencia Activa.	27
Figura 11 Potencia Reactiva.	27
Figura 12 Potencia Aparente.	28
Figura 13 Factor de Potencia.....	28
Figura 14 Tensión de Fase.	30
Figura 15 Tensión de Línea.	31
Figura 16 Corriente.....	32
Figura 17 Frecuencia.....	34
Figura 18 Tensión Armónica.....	35
Figura 19 Corriente Armónica.....	36
Figura 20 Corriente Armónica en amperios	37
Figura 21 Distorsión Total de la demanda	38

Lista de Anexo

Anexo 1 <i>Matriz de Consistencia de la Investigación.</i>	54
Anexo 2 <i>Plano de diagrama unifilar.</i>	55
Anexo 3 <i>Registro Fotográfico.</i>	56
Anexo 4 <i>Valores registrados en un día de tensión de Línea.</i>	57
Anexo 5 <i>Valores registrados en un día de tensión de Fase.</i>	58
Anexo 6 <i>Valores registrados en un día de Distorsión Armónica de Tensión.</i>	59
Anexo 7 <i>Valores registrados en un día de Distorsión Armónica de Corriente.</i>	60

Capítulo I

1. Generalidades

1.1. Antecedentes de la investigación

Villegas (2022)¹ planteó como objetivo realizar las mediciones y los análisis de los armónicos existentes en una estación de bombeo para verificar la calidad de energía que estaba suministrando la empresa distribuidora.

Estas mediciones se realizó por siete días, los resultado fueron contrastado con los valores regulados por las normas eléctricas de ecuador, con respecto a las mediciones de voltaje de línea y de fase, estos valores estaban dentro de lo permitido, sobre los porcentajes de armónicos el THDv se encontraban en el rango según la norma eléctrica, lo que si se observo fue la distorsiones por Flicker de electricidad, que son fluctuaciones de voltaje en la red eléctrica, causando una fluctuación perceptible o atenuación periódica en el nivel de iluminación.

Con estos resultados, se concluyó que el suministro eléctrico, en términos de calidad de energía, no incide negativamente en la operatividad de la estación de bombeo.

¹ Villegas Fuentes D. “Evaluación de la calidad del producto eléctrico en la estación de bombeo San Miguel – EPAMIL EP, del cantón Milagro Provincia del Guayas año 2020”. [Maestría, Universidad Católica de Guayaquil, Ecuador, 2022].

Ante y Ruiz (2022)² realizaron un estudio de análisis de flujo armónico en sistemas eléctricos desbalanceados mediante un algoritmo de programación para verificar la distorsión armónica de voltaje y corriente en las redes de distribución, con la finalidad de tener un voltaje adecuado.

En este análisis se empleó un equipo de alta precisión para registrar las cargas presentes entre los nodos de conexión y así se pueda obtener datos exactos, la importancia de este análisis y estudio es detectar los factores de las cargas no lineales responsables de afectar la calidad y estabilidad de la red eléctrica.

Franco y Echeverry (2018)³ desarrollaron la interpretación del estándar IEEE 519-2014, el cual hace referencia a la evaluación de armónicos existentes en los sistemas eléctricos, así como los límites recomendados de tensión y corriente necesarios para tener una óptima calidad de energía. El informe expone los impactos negativos que la presencia de armónicos puede ocasionar, tanto en las empresas distribuidoras como en las instalaciones industriales, cuando no se implementan medidas de control y supervisión adecuadas.

En la aplicación práctica de dicho estándar, se efectuó un diagnóstico en la subestación eléctrica de la Facultad de Ingeniería, utilizando un analizador de redes

² Ante Timbila, C. y Ruiz Osorio, C. “Análisis de flujo armónico en redes de distribución desbalanceados, para determinar los THDV y THDI en los nodos del sistema”. [Maestría, Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador, 2022].

³ Franco Franco, J. y Echeverry Muñetonez, J. “Presencia de armónicos en redes de baja tensión”. [informe de suficiencia, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, 2018].

y contrastando los resultados con los valores de distorsión armónica máxima definidos por la normativa, concluyeron que no se identificaron alteraciones significativas que comprometan el desempeño de la red de baja tensión en la Facultad de Ingeniería Eléctrica. El sistema presenta un diseño robusto, con una capacidad suficiente para tolerar corrientes superiores al valor nominal, ya que la demanda actual se mantiene por debajo de los niveles críticos en relación con la capacidad de los conductores instalados.

Zabaleta (2018)⁴ elaboro una investigación sobre la incidencia de los armónicos en el local comercial Ripley del mall del sur en el periodo del 2016, con la finalidad de proponer acciones que mejoren la calidad de la energía eléctrica y analizar la factibilidad económica de instalar un sistema de filtrado armónico. La investigación abarcó la explicación de los principios teóricos de los armónicos, su clasificación y las propiedades técnicas de los filtros empleados para su reducción.

Entre las conclusiones menciona que la distorsión armónica ocasiona impactos significativos en la infraestructura eléctrica. En los conductores, se observó un incremento de la temperatura debido al efecto de sobrecalentamiento, mientras que en los transformadores se detectó un aumento en las pérdidas del núcleo, en los devanados por calentamiento, así como pérdidas asociadas a la frecuencia y al recalentamiento de las partes estructurales, lo que conlleva a un aumento considerable en la temperatura de los devanados.

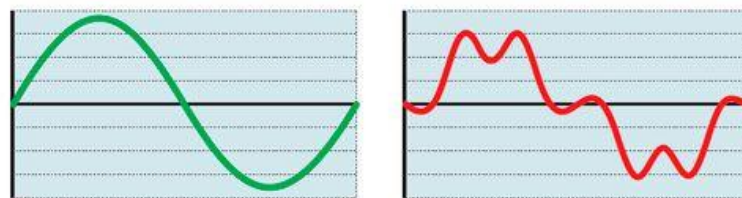
⁴ Zabaleta Robles, A. "Calidad de la energía eléctrica y análisis de los armónicos en la tienda Ripley Mall del Sur". [tesis de grado, Universidad Nacional del Santa, Perú, 2018].

1.2. Identificación y Descripción del Problema de Estudio

En el establecimiento comercial Oechsle, ubicado en el Real Plaza Cusco, se ha identificado un problema de calidad de energía eléctrica asociado a la presencia de armónicos en el sistema de potencia. Esta situación se origina principalmente por el aumento en la cantidad y capacidad de equipos electrónicos que emplean componentes no lineales, entre ellos las luminarias LED. Dichos dispositivos integran en su operación elementos con comportamiento capacitivo, como fuentes de alimentación conmutadas, rectificadores y otros circuitos, los cuales generan corrientes cuya forma de onda difiere de la sinusoidal ideal, presentando distorsiones que introducen contaminación en la red eléctrica. En la Figura 1 se ilustra la diferencia en las formas de onda producidas por cargas lineales y no lineales.

Figura 1

Formas de ondas de cargas lineales y distorsionada.



Forma de onda ideal

forma de onda distorsionada

Fuente: CIRCUTOR (2011) "Eficiencia en el uso de la energía eléctrica"

La presencia de armónicos en el sistema eléctrico del local comercial Oechsle genera una serie de impactos negativos que comprometen la eficiencia y confiabilidad de la instalación. Entre los principales efectos se encuentran:

- 1) Sobrecarga térmica en transformadores, producto de pérdidas en el núcleo y en los devanados, así como por el sobrecalentamiento de componentes estructurales.

- 2) Reducción de la vida útil de los equipos, debido al estrés eléctrico y térmico generado por la circulación de corrientes armónicas.
- 3) Aumento de la temperatura en cables y conexiones, lo que acelera el envejecimiento del aislamiento y eleva el riesgo de fallas.

Por lo mencionado, es necesario realizar mediciones y analizar el comportamiento de los armónicos que estarían afectando en la calidad de la energía del local comercial Oechsle, evaluando los niveles de distorsión armónica presentes en el sistema eléctrico, contrastándolos con los límites establecidos por el estándar internacional IEEE 519-2022 y la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE), aprobada mediante el Decreto Supremo N.º 020-97-EM. Este análisis tiene como finalidad identificar el grado de cumplimiento normativo y, en función de los resultados, plantear alternativas de solución que permitan optimizar la calidad de la energía suministrada.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema General

¿En qué manera la calidad de energía eléctrica del local comercial Oechsle viene siendo afectado por armónicos generados en el sistema eléctrico?

1.3.2. Problemas Específicos

- 1) ¿De qué manera los valores de los indicadores eléctricos, como voltaje, corriente, potencias y distorsiones armónicas, afecta la calidad de energía del local comercial Oechsle?
- 2) ¿En qué manera el procesamiento adecuado de las mediciones eléctricas registradas, afecta la calidad de energía del local comercial Oechsle?
- 3) ¿De qué modo el análisis de resultados del procesamiento, afecta la calidad de energía del local comercial Oechsle?

- 4) ¿Qué alternativas se puede promover para mejorar la calidad de energía del local comercial Oechsle?

1.4. Justificación e importancia de la investigación

Desde el enfoque tecnológico, la investigación se sustenta en la utilización de equipos de medición especializados, como el analizador de redes, herramienta fundamental para evaluar y registrar el comportamiento de los armónicos presentes en el sistema eléctrico del local comercial Oechsle. En el ámbito económico, el estudio se justifica en la medida en que el diagnóstico, identificación y corrección de problemas relacionados con la calidad de la energía permiten minimizar los costos asociados al mantenimiento correctivo, sustitución de equipos averiados, facturación excesiva y posibles penalizaciones impuestas por la empresa distribuidora de energía.

Finalmente, esta investigación adquiere relevancia al examinar la problemática de la calidad de energía en el sistema eléctrico del local comercial Oechsle, con el objetivo de diseñar una propuesta técnica que se mantenga dentro de los parámetros establecidos por la norma internacional IEEE 519-2022 y la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE) vigente en el Perú. Con ello, se pretende optimizar la calidad del sistema eléctrico.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Medir y analizar los armónicos en el sistema eléctrico para mejorar la calidad de energía eléctrica en el local comercial Oechsle.

1.5.2. Objetivos Específicos

- 1) Medir los indicadores eléctricos, como tensión, corriente, potencias y los valores de distorsión armónica total tanto de voltaje como de corriente en el tablero eléctrico del local comercial Oechsle,

empleando para ello una pinza amperimétrica y un analizador de redes.

- 2) Procesar datos registrados por el equipo analizador de redes utilizando el software Power Log 5.9.
- 3) Analizar los datos obtenidos del procesamiento de las mediciones, para el diagnóstico del sistema eléctrico del local comercial Oechsle.
- 4) Proponer alternativas de mejora de la calidad de energía.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis General

La medición y análisis de los armónicos presentes en el sistema eléctrico mejorarán la calidad de la energía eléctrica en la tienda Oechsle.

1.6.2. Hipótesis Específicos

H1: La medición de los indicadores eléctricos del tablero eléctrico del local comercial Oechsle contribuye positivamente en la mejora de la calidad de energía.

H2: El proceso de datos del analizador de redes mediante el software Power Log 5.9 influye en la mejora de la calidad de energía eléctrica.

H3: El análisis de los resultados obtenidos impactan positivamente en la mejora de la calidad de energía.

H4: La propuesta de alternativas de solución contribuye en la mejora de la calidad de energía eléctrica.

1.7. Variables e Indicadores

Variable independiente (VI): Medición y Análisis de armónicos.

Indicadores:

- Tensión (V)
- Corriente (A)

- Frecuencia (Hz)
- Porcentaje de distorsión armónica total en la tensión (%THDv)
- Porcentaje de distorsión armónica total en la corriente (%THDi)
- Porcentaje de distorsión total de la demanda (%TDD)
- Intervalo de tiempo de medición.
- Analizador de redes.

Variable dependiente (VD): Mejora de la Calidad de Energía.

Indicadores:

- Nivel de distorsión armónica total en la tensión (%THDv)
- Nivel de distorsión armónica total en la corriente (%THDi)
- Nivel de distorsión total de la demanda (%TDD)
- Potencia Reactiva inductiva y Capacitiva.
- Comparación de los niveles de THD y TDD obtenidos con los valores máximos establecidos por la norma internacional IEEE 519-2022 y la norma peruana NTCSE.

1.8. Metodología de la Investigación

1.8.1. Unidades de Análisis

Este estudio tomará como unidad de análisis el sistema eléctrico correspondiente al local comercial Oechsle del centro comercial Real Plaza Cusco, ubicado en la Av. Collasuyo N°2964, en el departamento de Cusco.

1.8.2. Tipo y nivel de investigación

La investigación es del tipo aplicada, porque busca dar solución al problema de la deficiente calidad de energía del local comercial Oechsle, realizando mediciones y análisis de los armónicos del sistema eléctrico. En cuanto al nivel este es descriptiva y explicativa, porque primero describe el funcionamiento del sistema eléctrico a través de los indicadores medidos en el tablero eléctrico, y después

explica los resultados de las mediciones y los compara con los valores establecidos en las normas que corresponden.

1.8.3. Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación es cuantitativo, ya que se basa en la obtención de datos a través de mediciones con el analizador de redes y el software Power Log 5.9 del local comercial Oechsle. Así mismo tiene un enfoque experimental porque existe una relación entre las variables y se busca comprobar la validez de las hipótesis específicas.

1.8.4. Fuentes de Información

Este estudio se llevó a cabo utilizando datos obtenidos a partir de las mediciones de los indicadores eléctricos, realizadas con el uso de una pinza amperimétrica y un analizador de redes.

1.8.5. Población y muestra

En esta investigación la población y la muestra son los mismos, el cual es el sistema eléctrico del local comercial Oechsle, que está conformada por celdas eléctricas, transformadores, tableros eléctricos y equipos eléctricos como las luminarias tipo led.

1.8.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica empleada fue del tipo experimental, utilizando un analizador de redes para la recolección de datos, lo que permitió observar el comportamiento de los parámetros eléctricos relacionados con los armónicos en el sistema eléctrico del local comercial Oechsle.

1.8.7. Análisis y Procesamiento de Datos

El procesamiento de la información registrada por el analizador de redes Fluke 435 II, se desarrollará mediante los softwares: Power Log 5.9, Microsoft Excel y Microsoft Word.

Una vez registrado los resultados de toda la información del comportamiento de los parámetros de la distorsión armónica, se analizarán los valores registrados y se contrastarán con los límites permitidos que establece la norma IEEE 519-2022 y NTCSE 020-97-EM.

Capítulo II

2. Marco Teórico y Marco Conceptual

2.1. Marco Teórico.

2.1.1. Calidad de la energía eléctrica

La calidad de la energía eléctrica es un concepto definido de distintas maneras por diversas organizaciones especializadas a nivel internacional, las cuales han establecido criterios y normativas según su ámbito de aplicación como:

El estándar IEC 61000-4-30 (2015) establece que la calidad de la energía hace referencia a las condiciones eléctricas presentes en un punto específico de una red, evaluadas de acuerdo con parámetros técnicos previamente definidos como referencia.

El estándar IEEE 1159-2022 describe la calidad de la energía eléctrica como el conjunto de fenómenos electromagnéticos que definen, en un momento y ubicación específicos, las características de la tensión y la corriente en una red eléctrica.

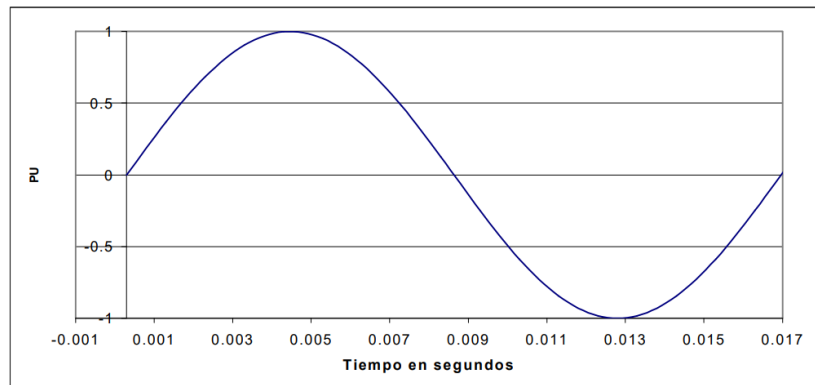
El Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI) define la calidad de la energía eléctrica como cualquier alteración en la tensión, corriente o frecuencia respecto a sus valores ideales que provoque fallos o un funcionamiento inadecuado en los equipos de los usuarios.

2.1.2. Armónicos

Ramírez Cataño y Cano Plata (2006) explican que un armónico es un componente sinusoidal de una señal periódica cuya frecuencia es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental. En términos prácticos, los armónicos corresponden a tensiones o corrientes que se presentan en un sistema eléctrico a frecuencias que son múltiplos de la fundamental (por ejemplo, 180, 300, 420, 540 o 600 Hz).

Figura 2

Forma de Onda de Frecuencia 60Hz sin Armónicos.



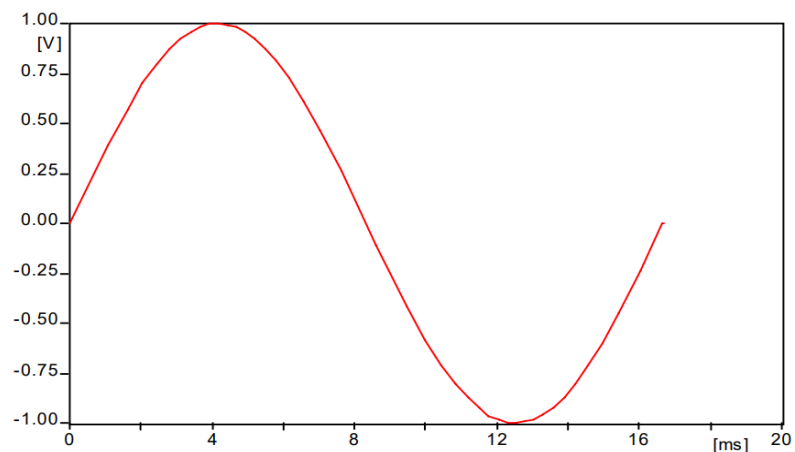
Nota. En la Figura 2 se presenta una onda libre de armónicos, con frecuencia constante de 60 Hz y amplitud de 1 pu, adaptada de Arcila (2014).

2.1.3. Distorsión de armónicos

La distorsión armónica se identifica cuando la señal de tensión o corriente de un sistema eléctrico presenta variaciones en su forma de onda que no son una señal senoidal, este fenómeno se muestra en el siguiente ejemplo:

Figura 3

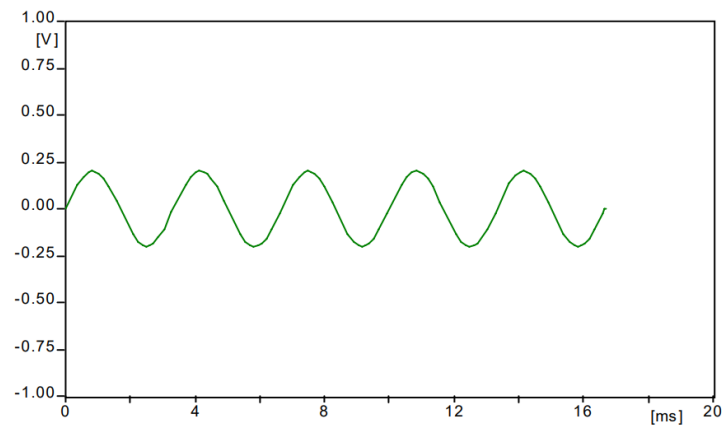
Forma de Onda reales de Voltaje y corriente.



Nota. En la Figura 3 se presenta una onda sinusoidal de 60 Hz que sirve como modelo de referencia para las formas reales de corriente y tensión registradas en los sistemas de potencia, adaptada de Ramírez Cataño y Cano Plata (2006).

Figura 4

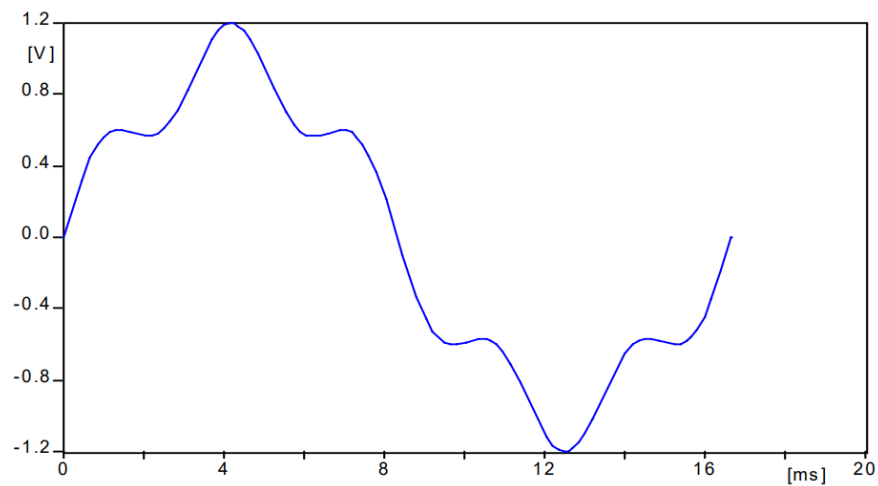
Forma de Ondas de Frecuencia 300Hz.



Nota. La Figura 4 presenta una señal sinusoidal de 300 Hz, correspondiente al quinto armónico, con una amplitud máxima de 0,2 p.u. Esta onda difiere de la fundamental tanto en frecuencia como en magnitud, adaptada de Ramírez Cataño y Cano Plata (2006).

Figura 5

Forma de Onda Resultante Distorsionada.



Nota. En la Figura 5 se observa la señal obtenida al superponer las ondas mostradas en las Figuras 3 y 4. El resultado deja de ser una senoidal pura y presenta distorsión debido a la incorporación de un componente armónico, adaptado de Ramírez Cataño y Cano Plata (2006).

Los armónicos presentes en una señal distorsionada pueden descomponerse mediante el uso de series de Fourier. Este tipo de análisis se aplica a formas de onda como la mostrada en la Figura 5, permitiendo desintegrar la señal en un conjunto de ondas sinusoidales cuyas frecuencias son múltiplos enteros de 60 Hz. En este caso, la onda de la Figura 5 resulta de la superposición de las señales representadas en las Figuras 3 y 4.

2.1.4. Filtros de armónicos

La función principal de un filtro de armónicos es ofrecer un camino de baja impedancia hacia tierra para los componentes armónicos de tensión o corriente, permitiendo su derivación y evitando que se propaguen por el resto del sistema eléctrico. Por este motivo, se recomienda instalar los filtros lo más próximo posible al punto donde se originan las distorsiones. La selección del tipo de filtro dependerá de la cantidad y orden de armónicos que se desee eliminar. De acuerdo con Gers (2008), estos dispositivos se clasifican, de manera general, en dos tipos principales.

2.1.4.1. Filtro Sintonizado

Un filtro sintonizado es un circuito compuesto por una resistencia (R), una inductancia (L) y una capacitancia (C) conectadas en serie, cuyo diseño busca ofrecer la menor impedancia posible a una frecuencia de armónico específica. Este comportamiento se logra porque, al estar sintonizado, la reactancia inductiva y la reactancia capacitiva se anulan mutuamente en la frecuencia objetivo, quedando únicamente el efecto resistivo del circuito. La expresión que define la impedancia Z de este filtro combina la resistencia y las reactancias en serie, y se representa como.

$$Z = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)$$

La cual se reduce a R a la frecuencia de resonancia (f_n), entonces:

$$\omega_n = 2\pi f n$$

Donde, la variable n representa el orden del armónico que se desea filtrar, ω corresponde a la frecuencia angular y f indica la frecuencia fundamental del sistema.

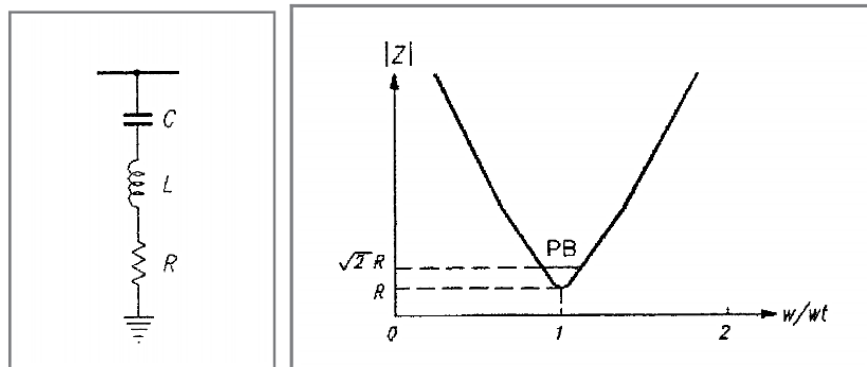
Los valores de resistencia R , inductancia L y capacitancia C que conforman el filtro pueden calcularse a partir de expresiones específicas que relacionan estos parámetros con la potencia reactiva deseada, la tensión nominal y la frecuencia de operación.

$$\omega_n L = \frac{1}{\omega_n C}$$

$$X_o = \omega_n L = \frac{1}{\omega_n C} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Figura 6

Filtro Sintonizado Simple.



Nota. En la Figura correspondiente se presenta la representación esquemática de un filtro sintonizado simple y su comportamiento en función de la frecuencia, basada en Gers, J. (2008), *Teoría y diseño de filtros de armónicos en sistemas eléctricos*.

Por otro lado, el parámetro Q , denominado *factor de calidad* del filtro, describe el ancho de la banda de sintonía y, por lo tanto, su selectividad frente a la frecuencia objetivo. En el caso de los filtros sintonizados, es posible demostrar matemáticamente que dicho factor se relaciona con las características del circuito de la siguiente manera:

$$Q = \frac{X_o}{R}$$

2.1.4.2. Filtro Amortiguado

Un filtro amortiguado es un circuito RLC en serie y paralelo, el cual presenta una característica de frecuencia. Se observa que la impedancia es mínima a frecuencias mayores a la de sintonía (filtro paso-alto). Los parámetros R , L y C para el filtro amortiguado están dados por las siguientes relaciones:

Un filtro amortiguado está conformado por una combinación de elementos RLC dispuestos en serie y paralelo, cuyo comportamiento frente a la frecuencia presenta una respuesta característica. En este tipo de filtro, la impedancia alcanza valores mínimos para frecuencias superiores a la frecuencia de sintonía, funcionando de manera similar a un filtro paso alto. Los valores de resistencia R , inductancia L y capacitancia C se determinan a partir de relaciones específicas que permiten dimensionar cada componente en función de los requerimientos de filtrado.

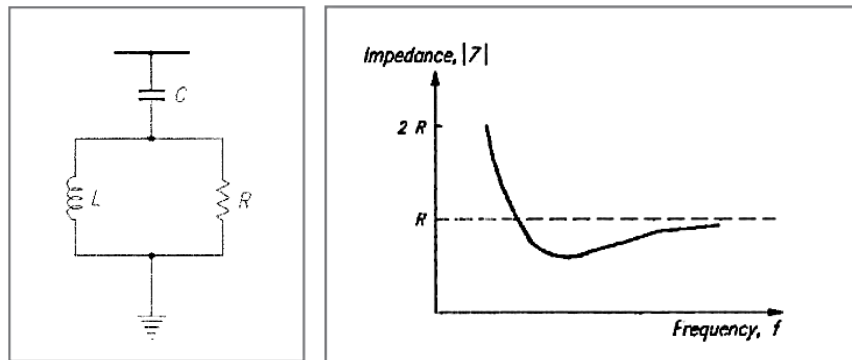
$$f_o = \frac{1}{2\pi CR}$$

$$m = \frac{L}{R^2 C}$$

Donde m presenta valores entre 0.5 y 2

Figura 7

Filtro Amortiguado.



Nota. En la figura se presentan los diagramas eléctricos que ilustran la configuración de un filtro amortiguado y su respuesta en función de la frecuencia, adaptado de Gers, J. (2008), *Teoría y diseño de filtros de armónicos en sistemas eléctricos*.

2.2. Marco Conceptual

- a) **Barras:** Elemento conductor que sirve como punto de una conexión compartido para los conductores a dos o más circuitos.
- b) **Calidad:** Es el estado que presentan la tensión, la frecuencia y la forma de onda del suministro eléctrico entregado a los usuarios, conforme a los estándares y disposiciones normativas vigentes.
- c) **Conductor:** Conductor metálico, en forma de cable, alambre u otro material, instalado para permitir el flujo de corriente eléctrica entre dispositivos o hacia el sistema de tierra.
- d) **Corriente:** El desplazamiento de electricidad a lo largo de un conductor, que corresponde al flujo de electrones a través de este, se cuantifica en Amperios (A)
- e) **Tensión:** Se refiere a la diferencia de potencial efectiva existente entre dos conductores o entre un conductor y el sistema de tierra.

- f) Potencia Activa:** Los diversos equipos eléctricos transforman la energía eléctrica en distintas formas, tales como energía mecánica, lumínica, térmica o química, entre otras. Esta energía se denomina energía útil, potencia activa o simplemente potencia, equivalente a la consumida por una resistencia y medida en watts.
- g) Potencia Reactiva:** Los motores, transformadores y en general todos los equipos eléctricos que operan mediante el efecto de un campo electromagnético necesitan potencia activa para realizar un trabajo efectivo. Por otro lado, la potencia reactiva se emplea en la creación del campo magnético y en el almacenamiento del campo eléctrico, sin que esta última genere trabajo útil. La potencia reactiva se encuentra desfasada 90° respecto a la potencia activa y se mide en volt-amperios reactivos (VAR).
- h) Potencia Aparente:** Se define como la potencia derivada de la tensión aplicada y la corriente demandada por el consumo. Además, corresponde a la suma vectorial de la potencia activa y la potencia reactiva. Esta potencia se expresa en volt-amperios (VA).
- i) Factor de Potencia:** El factor de potencia es una medida cualitativa y cuantitativa que indica la eficiencia en el uso de la energía eléctrica. Se puede definir como la proporción de energía eléctrica que se convierte efectivamente en trabajo. Este factor (fp) se calcula como la relación entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S) cuando las corrientes y tensiones son señales sinusoidales. En caso de señales perfectamente sinusoidales, el factor de potencia equivale al coseno del ángulo φ , que es el ángulo formado entre los fasores de corriente y tensión, y se representa como $\cos \varphi$.

Capítulo III

3. Desarrollo Del Trabajo de Investigación

3.1. Generalidades

La tienda Oechsle ubicado en el centro comercial Real Plaza Cusco, implemento una remodelación en el año 2022, en la cual incluía el cambio de luminarias halógenos a los del tipo led en toda la tienda, las luminarias como sabemos incorporan al sistema eléctrico cargas capacitivas que generan perturbaciones armónicas que pueden traer como consecuencias paradas repentinas por daños en los equipos, disminución en la duración operativa del equipo, por sobrecarga, aumento en la facturación eléctrica y altos costos por reparaciones.

Con este propósito, se llevó a cabo un diagnóstico mediante el registro de parámetros eléctricos en las instalaciones de la tienda Oechsle, situada en el centro comercial Real Plaza Cusco, ubicado en la Av. Collasuyo 2964, Cusco.

3.2. Equipos de medición empleados para el análisis de la calidad de energía

- a) Analizador de redes: Para el desarrollo de la investigación se empleó un analizador de redes modelo Fluke 435 II, junto con el software Power Log 5.9, utilizado para procesar la información registrada sobre perturbaciones, armónicos, potencias y otros parámetros eléctricos. Este equipo cumple con las normativas IEEE 519-2022, IEC 6100-40-30 y NTCSE 020-97-EM. En la Tabla 1 se detallan sus especificaciones técnicas más relevantes

Tabla 1*Especificaciones técnicas Analizador de redes Fluke 435 II.***Características de entrada**

Entradas de voltaje	
Número de entradas	4 (3 fases + neutro) acopladas a CC
Máximo voltaje de entrada	1.000 Vrms
Rango de voltaje nominal	1 V a 1000 V seleccionable
Máximo voltaje de medición pico	6 kV (modo de transitorios sólo)
Impedancia de entrada	4 MΩ//5 pF
Ancho de banda	> 10 kHz, hasta 100 kHz para modo de transitorios
Escala	1:1, 10:1, 100:1, 1.000:1, 10.000:1 y variable
Entradas de corriente	
Número de entradas	4 (3 fases + neutro) acopladas a CC o CA
Tipo	Pinza o transformador de corriente con salida mV o punta de prueba, modelo i430flex-TF
Rango	0,5 Arms a 600 Arms con punta de prueba, modelo i430flex-TF incluida (con sensibilidad 10x) 5 Arms a 6000 Arms con punta de prueba, modelo i430flex-TF incluida (con sensibilidad 1x) 0,1 mV/A a 1 V/A y personalizado para utilizar con pinzas CA o CC opcionales
Impedancia de entrada	1 MΩ
Ancho de banda	> 10 kHz
Escala	1:1, 10:1, 100:1, 1.000:1, 10.000:1 y variable

Nota. Tomado de la ficha técnica de Fluke Corporation (2011), “*especificaciones técnicas*”.

- b) Pinza Amperimétrica: para el registro de mediciones internas en el tablero eléctrico del local comercial Oechsle, se empleó una pinza amperimétrica modelo Fluke 376FC. En la Tabla 2 se presentan las especificaciones técnicas más relevantes.

Tabla 2*Especificaciones técnicas Pinza Amperimétrica Fluke 376FC.*

Especificaciones generales	
Corriente CA por medio de mordaza	
Rango	999,9 A
Resolución	0,1 A
Exactitud	2 % ±5 dígitos (10 Hz a 100 Hz)
	2,5 % ± 5 dígitos (100 a 500 Hz)
Factor de cresta (50/60 Hz)	3 a 500 A
	2,5 a 600 A
	Agregar un 2 % para C.F. >2
	1 A (≤ 2500 A)

Nota. tomado de la ficha técnica de Fluke Corporation (2011), “*especificaciones técnicas*”.

3.3. Análisis de la calidad de energía en el tablero TG-TR1

El estudio del análisis de la calidad de energía se efectuó en el tablero TG-TR1, perteneciente a la subestación eléctrica del local comercial. Este tablero distribuye energía a los subtableros a través de barras, y las mediciones fueron registradas durante un período de siete días

Se detallan a continuación los datos técnicos registrados durante la medición del tablero eléctrico TG-TR1:

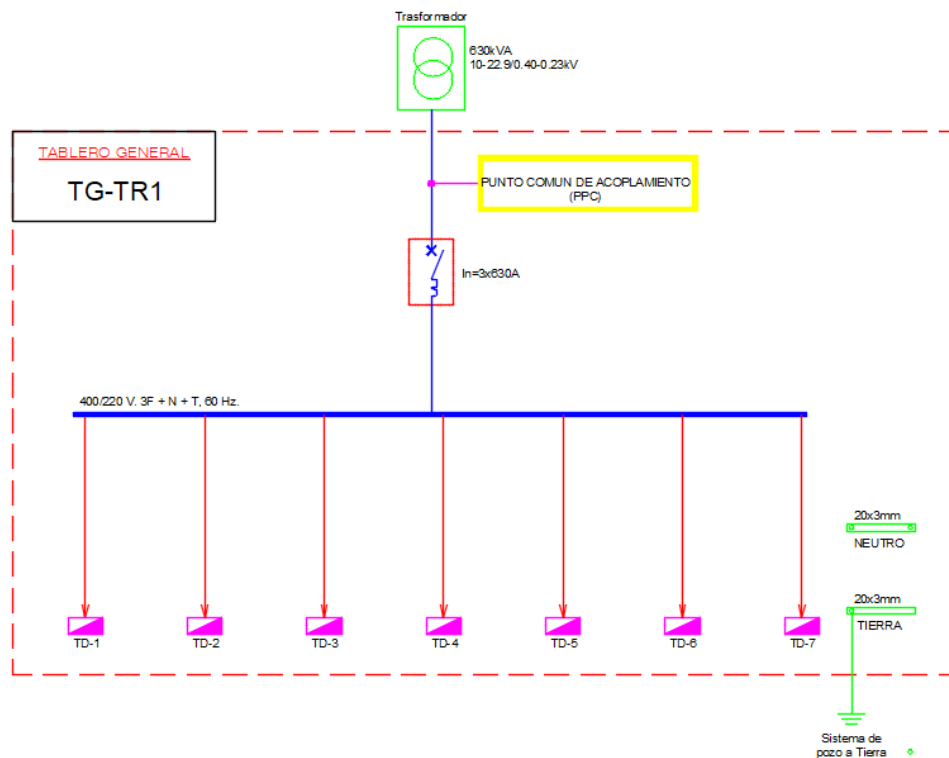
- Ubicación: Cuarto de tableros
- Alimentación eléctrica: Celda N°1, 10-22.9/0.40-0.23Kv.
- Tensión TG-TR1: 400/230 V.
- Potencia: 511.55 Kw.
- Frecuencia: 60Hz.
- Intensidad de corriente general: 1250 A.
- Fecha de inicio: 12/04/2025 – 09:02 p.m.
- Fecha de termino: 19/04/2025 – 06:22 a.m.
- Intervalo de toma de medidas: 5 min.

3.4. Diagrama del sistema eléctrico del local comercial Oechsle

En la figura 8 se presenta el diagrama unifilar del sistema eléctrico del local comercial Oechsle, identificándose el tablero TG-TR1 como el punto de medición. En analizador de redes se instalará en el Punto Común de Acoplamiento (PPC), siguiendo las recomendaciones de la norma IEEE 519-2022, que establece este punto como el lugar apropiado para la evaluación de las distorsiones armónicas en el sistema eléctrico.

Figura 8

Diagrama Unifilar.



3.5. Mediciones a realizar en el Tablero Eléctrico

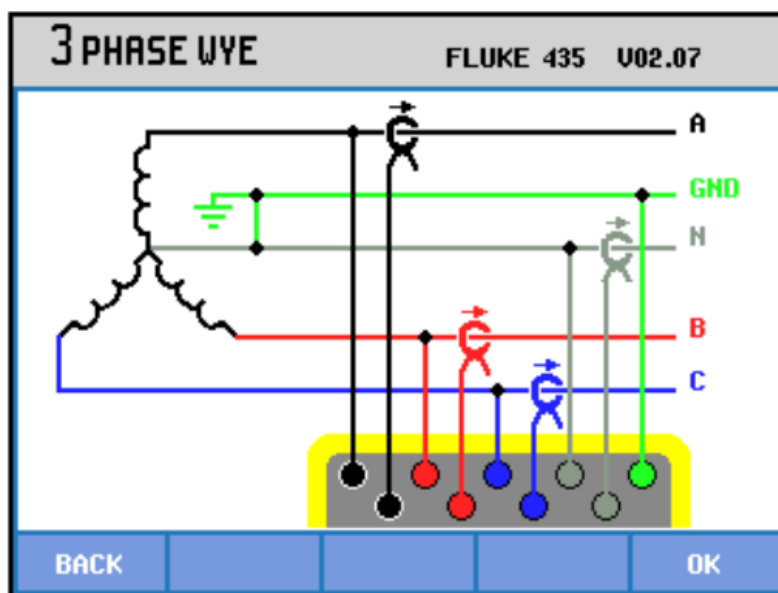
Para determinar las condiciones de carga y evaluar cómo la calidad de energía afecta en la operación de los equipos instalados, se procedió a los registrar las siguientes variables:

- Registros de tensiones trifásicas por fase (V).
- Registros de corrientes trifásicas por fase (I).
- Potencia aparente (kVA).
- Potencia activa (kW).
- Potencia reactiva (kVAR).
- Factor de potencia (fp).
- Porcentaje de distorsión armónica total de tensión (%THDv).
- Frecuencia (Hz).
- Porcentaje de distorsión armónica total de corriente (%THDi).
- Porcentaje de distorsión total de la demanda (%TDD).

El sistema de conexión eléctrica corresponde a un esquema en estrella, compuesto por tres fases y neutro, y su representación es la siguiente:

Figura 9

Esquema de conexión en el Analizador de redes.



Nota. Diagrama de conexión correspondiente al analizador de redes Fluke 435 II, tomado de la ficha técnica de Fluke Corporation (2011), “*especificaciones técnicas*”.

3.6. Estándares para evaluar la calidad de la energía eléctrica

3.6.1. Norma 519 – 2022.

Esta norma define los límites aceptables de distorsión armónica en tensión y corriente, estableciendo la medición del THD en el Punto Común de Acoplamiento (PCC). Incluye dos tablas que presentan los valores recomendados.

Tabla 3*Límites de Distorsión de Tensión IEEE 519-2022.*

Tensión de barra en punto común de acoplamiento	Distorsión individual de tensión (%)	Distorsión total de tensión THD(%)
$V \leq 1.0 \text{ kV}$	5	8
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3	5
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1	1.5 ^a

Nota: Los sistemas de a pueden llegar hasta un 2,0% del THD cuando lo que causa en una alta tensión terminal DC, el cual podría ser atenuado.

Nota. Norma (IEEE, 2022).

Tabla 4

Límites de corriente Armónica en el punto común de acoplamiento, para tensión entre 120 – 69kv.

Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en porcentaje de IL						
Orden armónico individual						
I_{sc}/I_L	$2 \leq h < 11^a$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^c$	4	2	1.5	0.6	0.3	5
$20 < 50$	7	3.5	2.5	1	0.5	8
$50 < 100$	10	4.5	4	1.5	0.7	12
$100 < 1000$	12	5.5	5	2	1	15
> 1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Donde ISC = corriente Máxima de cortocircuito en el punto de acoplamiento común.

IL = Máxima demanda de la corriente de carga (a frecuencia fundamental) en el punto de acoplamiento común.

TDD = Distorsión total de la demanda (RSS) en % de la demanda máxima.

Nota. Norma (IEEE, 2022).

3.6.2. Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE).

Esta norma, aprobada mediante el Decreto Supremo N° 020-97-EM, regula los parámetros de calidad que deben cumplir las empresas proveedoras del servicio eléctrico, estableciendo niveles mínimos aceptables. Para la normativa peruana, se proponen los siguientes valores de referencia relacionados con la calidad de la energía eléctrica.

Tabla 5

Límites de tensión armónica según la NTCSE.

	TOLERANCIA ESTABLECIDA PARA EL THDv	
	Para tensiones mayores a 60Kv.	Para tensiones menores o iguales a 60Kv.
Distorsión Total		
THD	3%	8%

Nota. Norma (NTCSE, 1997).

Como información complementaria, se describe algunas consideraciones sobre la energía reactiva sistemas eléctricos comerciales:

- El consumo de energía reactiva inductiva para que no sea facturado debe ser como máximo el 30% de la energía activa total registrada en mes. Si este valor es superado, la empresa distribuidora procederá a facturar dicho consumo.
- No se permite la inyección de energía reactiva capacitiva a la red. En caso de que ocurra, deberá corregirse en los plazos establecidos junto con la empresa distribuidora para evitar su facturación.

3.7. Resultados de las mediciones en el tablero TG-TR1

Los resultados obtenidos establecen indicadores del estado operativo actual de los principales componentes del sistema eléctrico en las instalaciones del local comercial Oechsle.

El nivel de calidad con el que operan los equipos internos de la instalación se ve reflejado en los valores obtenidos. Así, el análisis de estos datos permitirá evidenciar el estado operativo de las instalaciones durante el periodo de medición.

A partir de los registros obtenidos con el analizador de redes eléctricas Fluke 435 II, durante el periodo comprendido entre el 12 y el 19 de abril de 2025, se presenta a continuación la tabla con los valores generales de los parámetros medidos.

Tabla 6*Valores de las mediciones voltaje y frecuencia.*

VALORES	V FASE L1-L2	V FASE L1-L3	V FASE L2-L3	V FASE L1-N	V FASE L2-N	V FASE L3-N	FRECUENCIA (Hz)
Promedio	410.73	412.20	412.24	237.39	237.41	238.33	60.08
máximo							
Promedio	389.90	389.84	389.91	224.91	225.42	225.04	59.91
mínimo							

Tabla 7*Valores de las mediciones Corriente y Potencias.*

valores	FASE I1	FASE I2	FASE I3	P(KW)	P(KVAR)	S(KVA)	F.P
Promedio	323.70	412.20	268.30	197.70	5.25	202.65	0.98
máximo							
Promedio	10.80	18.90	12.80	10.05	-32.70	12.00	0.82
mínimo							

3.8. Procesamiento de información de las mediciones

3.8.1. Potencia Activa, Reactiva y Aparente.

A partir de los registros obtenidos en la medición de parámetros eléctricos con el analizador de redes, realizada desde el sábado 12 de abril de 2025 a las 09:02 p. m. hasta el sábado 19 de abril de 2025 a las 06:22 p. m., se presentan los resultados obtenidos.

Figura 10

Potencia Activa.

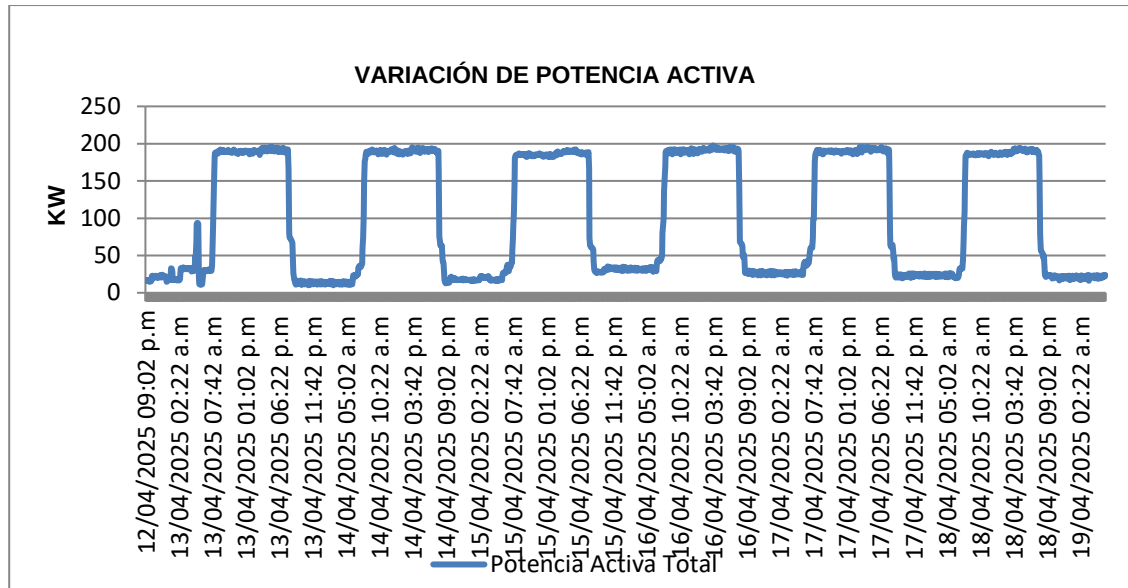


Figura 11

Potencia Reactiva.

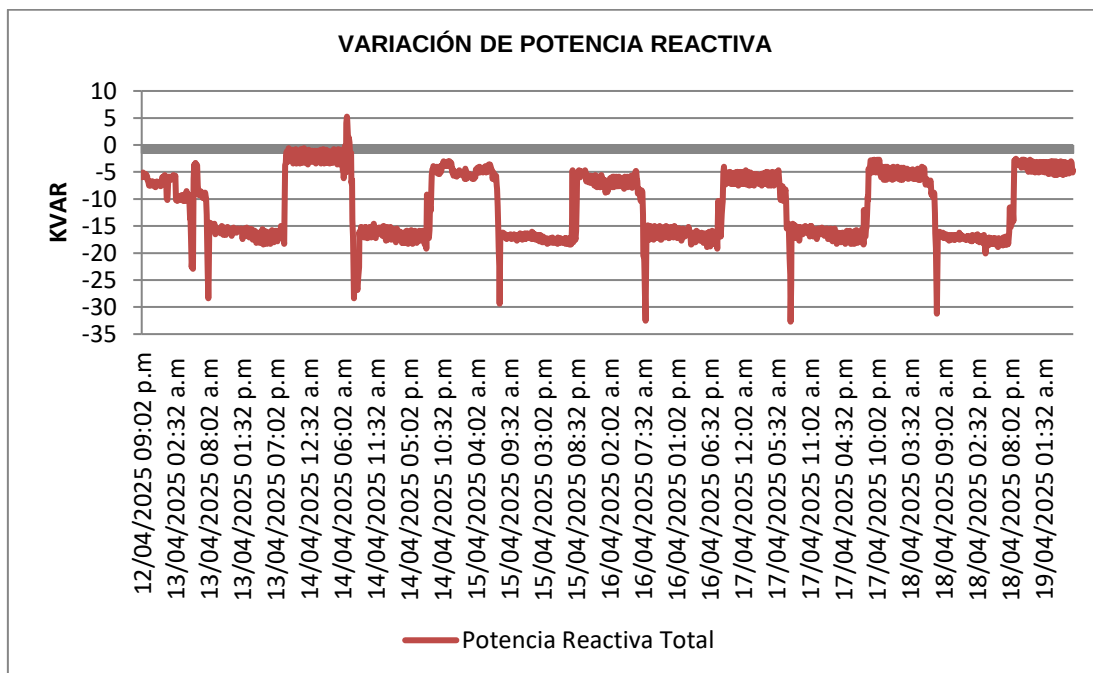


Figura 12

Potencia Aparente.

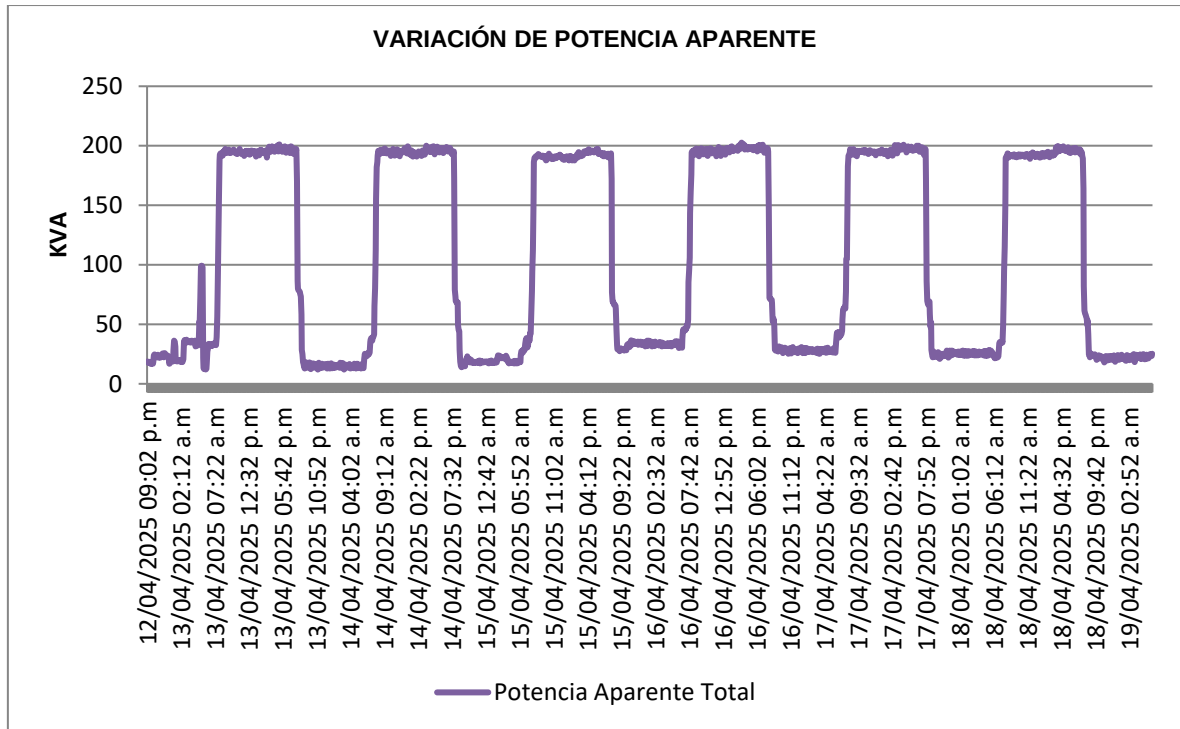
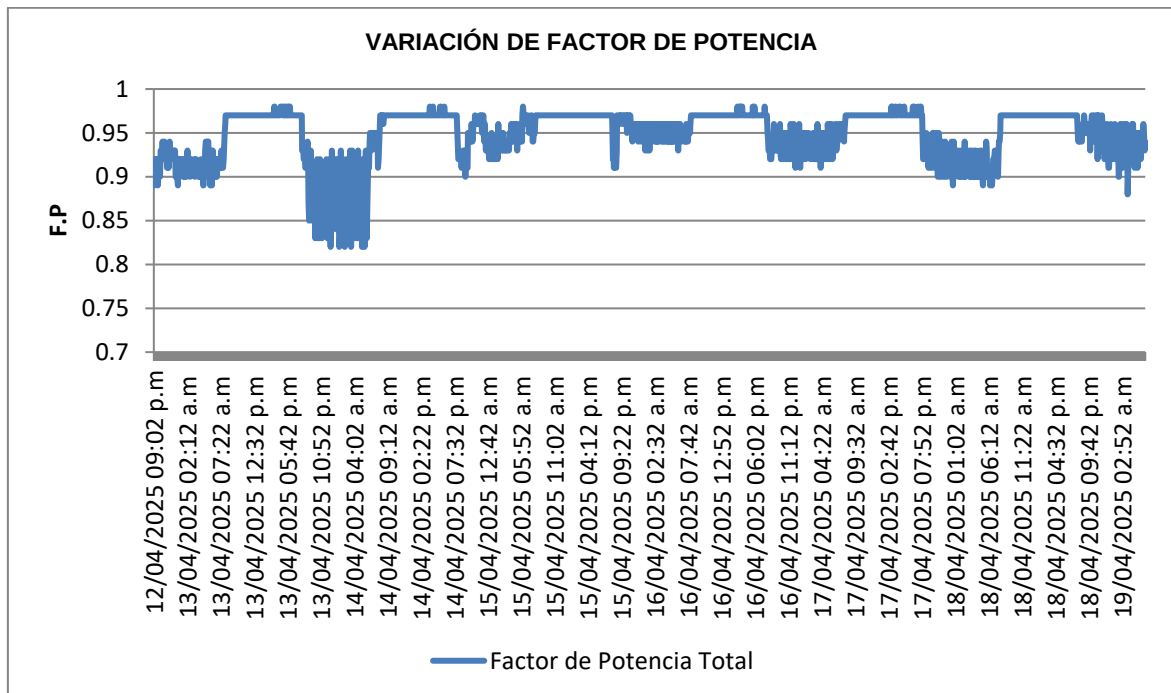


Figura 13

Factor de Potencia.



De acuerdo con lo observado en las figuras anteriores, las potencias activa y aparente presentan fluctuaciones bajo condiciones normales de operación. El mayor valor de consumo energético se registró el 16/04/2025 a las 15:50 h, alcanzando una potencia máxima de 197.70 kW.

A partir de los registros obtenidos en las mediciones, se presenta el siguiente cuadro resumen, en el cual se incluyen los valores registrados durante el funcionamiento normal de la instalación.

Tabla 8

Potencia (KW, KVAR, KVA, F.P).

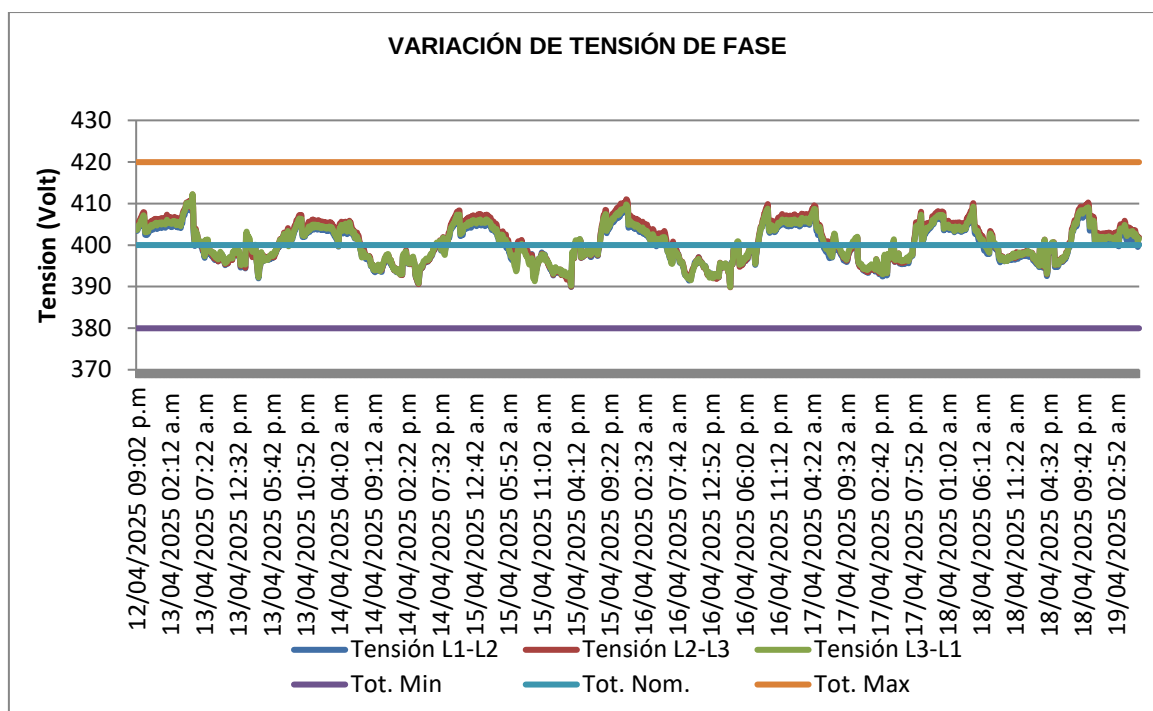
Valores	P(KW)	Q(KVAR)	S(KVA)	F.P
Promedio	197,70	5,25	202,65	0.98
Máximo				
Promedio	10.05	-32,70	12,00	0.82
Mínimo				

3.8.2. Tensión.

La figura 14 ilustra las variaciones registradas en el nivel de tensión del tablero TG-TR1 durante el tiempo de medición. considerando como referencia una tensión nominal de 400 Vca.

Figura 14

Tensión de Fase.



La figura anterior muestra que la tensión media máxima registrada en el punto de medición fue de 412.24V en la fase V31 el 13/04/2025 a las 05:37 a.m., mientras que la tensión mínima alcanzó 389.84V en la fase V23 el 16/04/2025 03:52 p.m. A partir de los registros obtenidos, se presenta a continuación un cuadro resumen con los valores del periodo de operación normal de la instalación.

Tabla 9

Tensiones de fase.

Valores	FASE V(L1 – L2)	FASE V(L2 – L3)	FASE V(L3 – L1)	TRIFÁSICA V123
Promedio	410,73	412,20	412,24	411,72
Máximo				
Promedio	389,90	389,84	389,91	389,88
Mínimo				

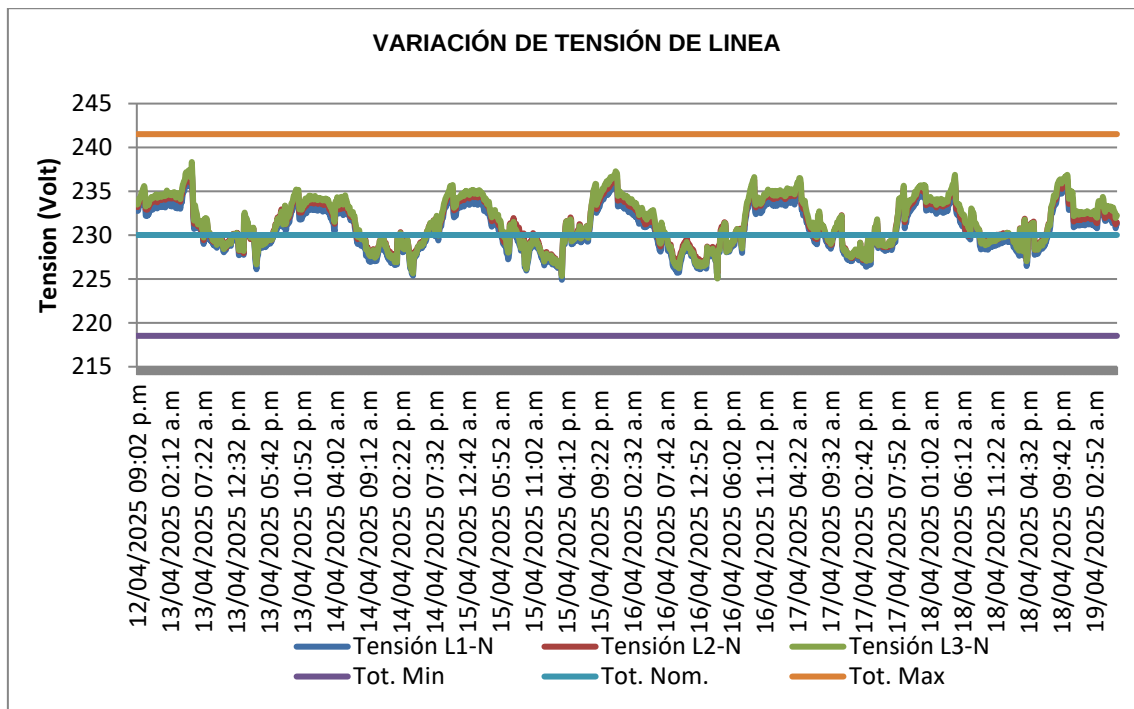
La gráfica obtenida mediante el analizador de redes muestra que la tensión más alta registrada en el sistema fue de 412,24 V, mientras que la más

baja alcanzó 389,84 V. De acuerdo con lo establecido por la norma, la tensión no debe exceder el $\pm 5\%$ del valor nominal.

La Figura 15 presenta la fluctuación de la tensión de línea del tablero TG-TR1 a lo largo del periodo de medición. En este análisis, se ha tomado como referencia una tensión nominal de 230 Vca

Figura 15

Tensión de Línea.



En la figura anterior se aprecia que la tensión media más alta registrada en el punto de medición fue de 238.33 V en V3N, el 13/04/2025 a las 05:37 a. m., mientras que la tensión más baja fue de 224.91 V en V1N, el 15/04/2025 a las 03:32 p. m.

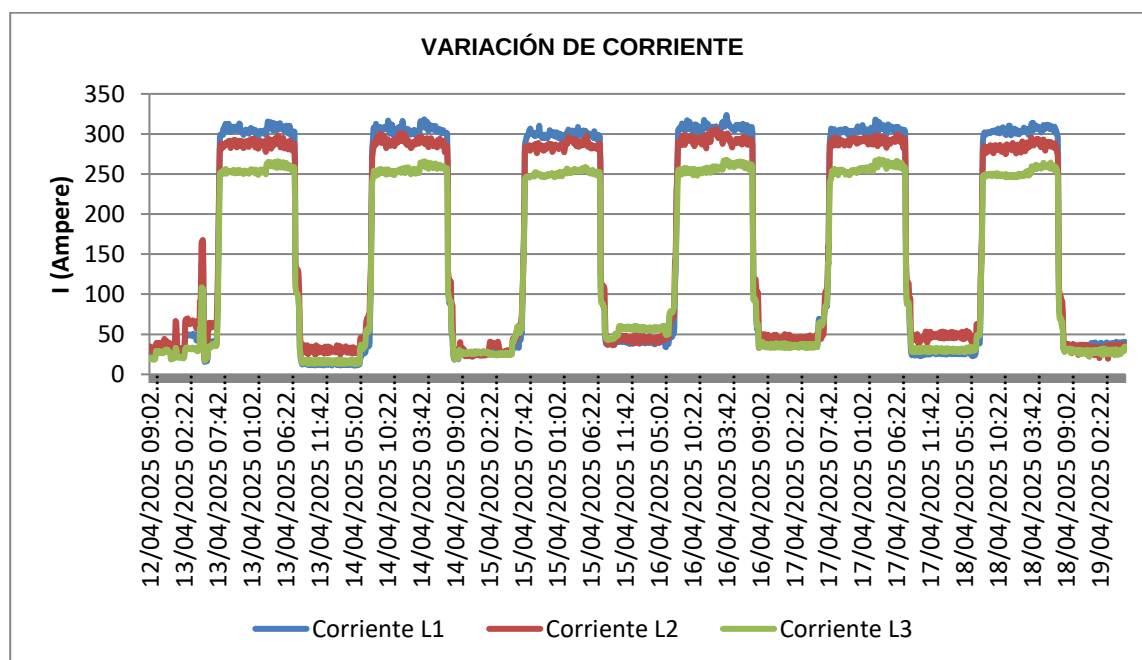
Según las gráficas del analizador de redes, el sistema presentó un valor máximo de 238.33 V y un mínimo de 224.91 V. Conforme a la normativa, la tensión no debe exceder ni ser inferior al $\pm 5\%$ respecto a la tensión nominal establecida.

Tabla 10*Tensiones de Línea.*

Valores	LINEA V(L1 – N)	LINEA V(L2 – N)	LINEA V(L3 – N)	TRIFÁSICA V123N
Promedio	237,39	237,41	238,33	237,71
Máximo				
Promedio	224,91	225,42	225,04	225,12
Mínimo				

3.8.3. Corriente

La figura presenta la fluctuación de la corriente registrada a lo largo del periodo de medición.

Figura 16*Corriente.*

En la figura se aprecia que, durante el régimen de operación normal, la corriente presenta fluctuaciones, alcanzando su valor máximo de 323,70 A en la fase R, registrado por el analizador el 16/04/2025 a las 03:42 p. m.

Los valores presentados a continuación corresponden al periodo de funcionamiento normal de la instalación.

Tabla 11

Corrientes.

Valores	FASE I1	FASE I2	FASE I3	TRIFÁSICA I123
Promedio	323,70	305,90	268,30	299,30
Máximo				
Promedio	10,80	18,90	12,80	14,17
Mínimo				

Desequilibrio = 8.15% <10%, el valor del desequilibrio de corriente **cumple** con lo que establece la norma NTCSE.

Por lo que el desequilibrio en corriente no debe sobrepasar del 10%.

INTENSIDAD MEDIA 299.30

I_{md} (máx. Promedio) = 323.70

$$\text{Desequilibrio (\%)} = \frac{(I_{md} - I_{media})}{I_{media}} * 100\%$$

3.8.4. Frecuencia.

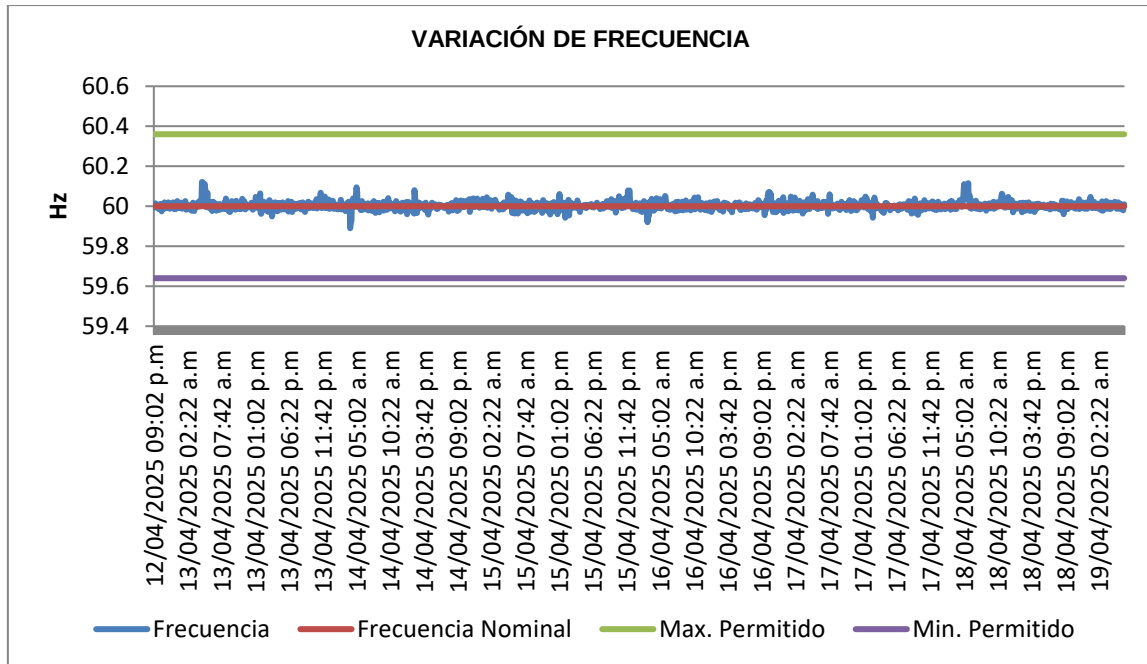
En la figura se aprecia la fluctuación de la frecuencia registrada durante el intervalo de medición. Según lo establecido en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE), Decreto Supremo N.º 020-97-EM, numeral 5.2.3, se permiten ciertos márgenes de variación respecto a la frecuencia nominal, aplicables a todos los niveles de tensión: alta, media y baja

Variaciones Súbitas (VSF): ± 1.0 Hz.

Variaciones Sostenidas (Δf k): ± 0.6 %

Figura 17

Frecuencia.



La figura 17 presenta la variación de la frecuencia del sistema, la cual se mantiene dentro de los rangos de tolerancia establecidos en Hertz (Hz) durante todo el periodo de medición registrado por el equipo analizador.

Tabla 12

Frecuencia.

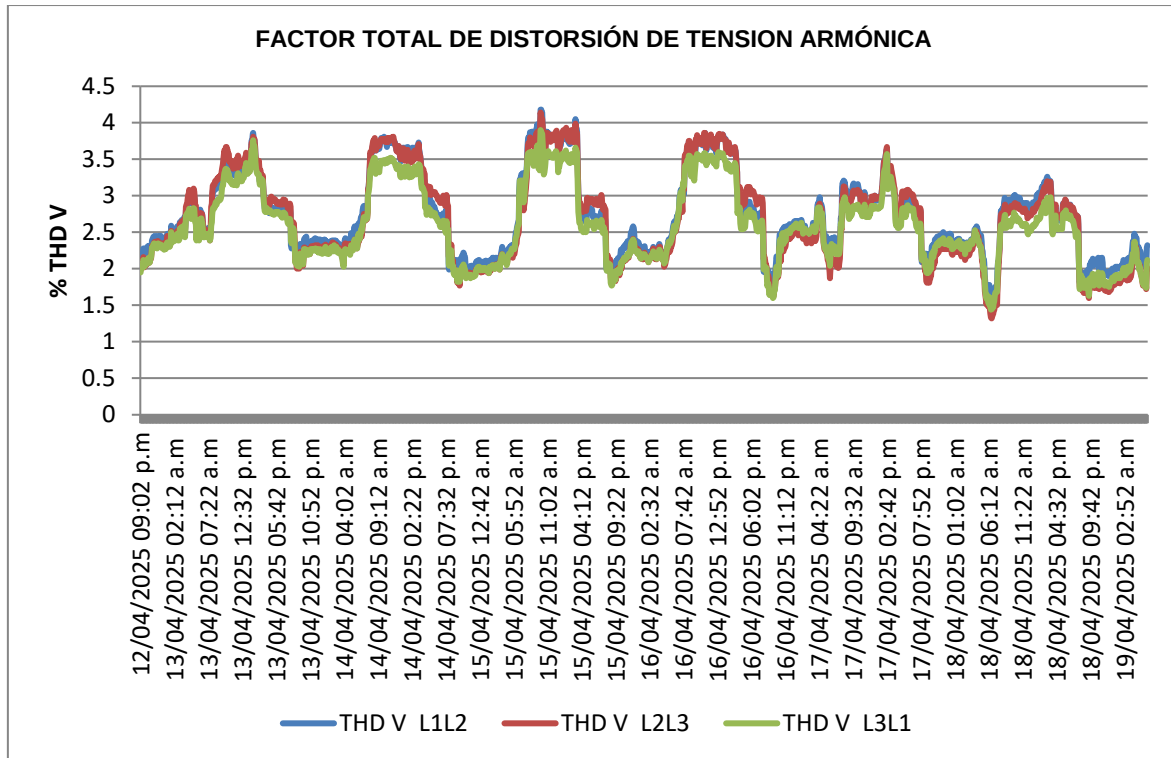
Valores	Frecuencia (Hz)
Máximo	60,08
Promedio	59,99
Mínimo	59,91

3.8.5. Factor de Distorsión Total por Efecto de las Tensiones Armónicas.

El valor máximo de porcentaje de distorsión armónica total de tensión (THDV) registrado en las condiciones más críticas del periodo de operación normal fue de 4,18 %.

Figura 18

Tensión Armónica.



Los valores presentados a continuación corresponden al periodo de funcionamiento normal de la instalación.

Tabla 13

Tensiones Armónicas.

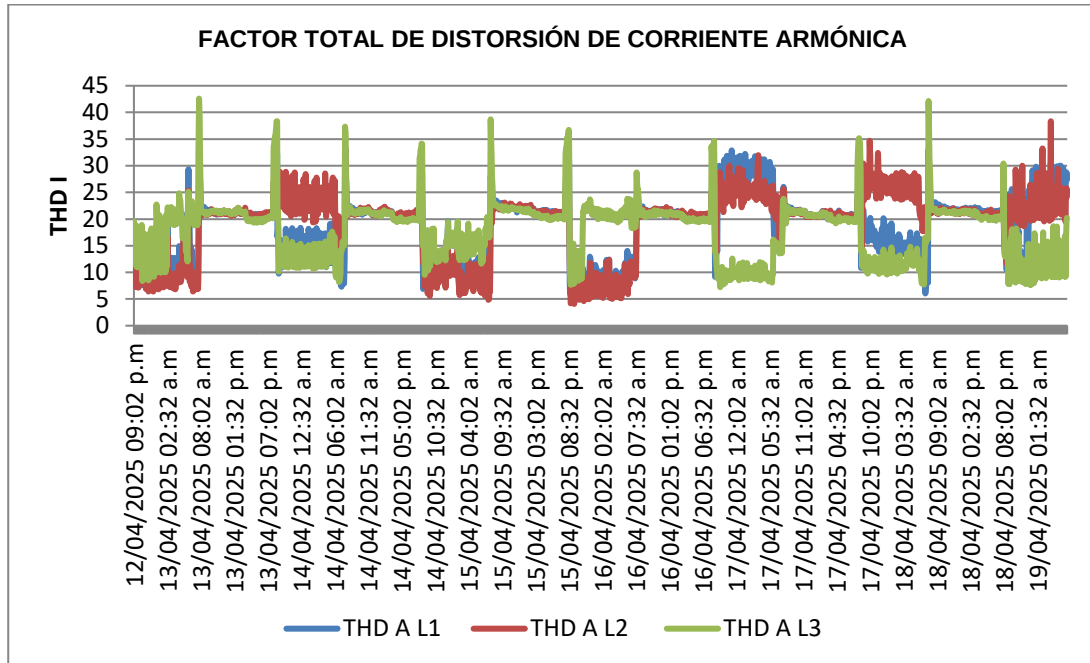
Valores	THD V1(%)	THD V2(%)	THD V3(%)
Máximo	4,18	4,14	3,90
Promedio	2,74	2,69	2,60
Mínimo	1,61	1,32	1,44

3.8.6. Factor de Distorsión Total por Efecto de las Corrientes Armónicas.

En la figura se aprecia que, en la situación más crítica, el factor de distorsión armónica total de corriente (THDI) alcanza un valor del 42,59 %.

Figura 19

Corriente Armónica.



A continuación, se presenta un cuadro resumen en porcentajes correspondiente al factor de distorsión armónica total de corriente (THDI), considerando únicamente los valores registrados durante el periodo de operación normal de la instalación.

Tabla 14

Corrientes Armónicas.

Valores	THD I 12(%)	THD I 23(%)	THD I 31(%)
Máximo	33,10	38,34	42,59
Promedio	18,85	19,51	17,80
Mínimo	5,92	4,08	7,22

3.8.7. Factor de Distorsión Total por Efecto de las Corrientes Armónicas en amperios.

En la figura 20 se aprecia que, en la situación más crítica, el factor de distorsión armónica total de corriente (THDI), expresado en amperios, alcanza un valor de 68,36 A.

Figura 20

Corriente Armónica en amperios.

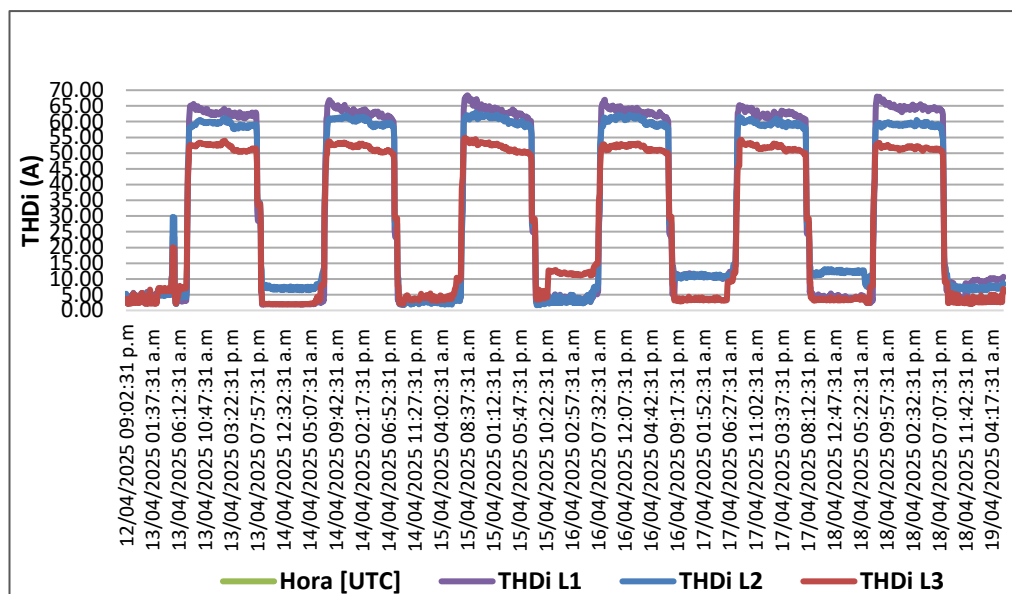


Tabla 15

Corrientes Armónicas en amperios.

Valores	THD I L1(A)	THD I L2(A)	THD I L3(A)
Máximo	68,36	62,92	54,82
Promedio	33,27	32,51	27,83
Mínimo	1,83	1,65	1,92

3.8.8. Distorsión Total de la demanda en porcentaje (TDD)

En la figura 21 se aprecia que, durante la situación más crítica, el factor de distorsión total de la demanda (TDD) alcanza un valor de 21,12 %.

Figura 21

Distorsión Total de la demanda.

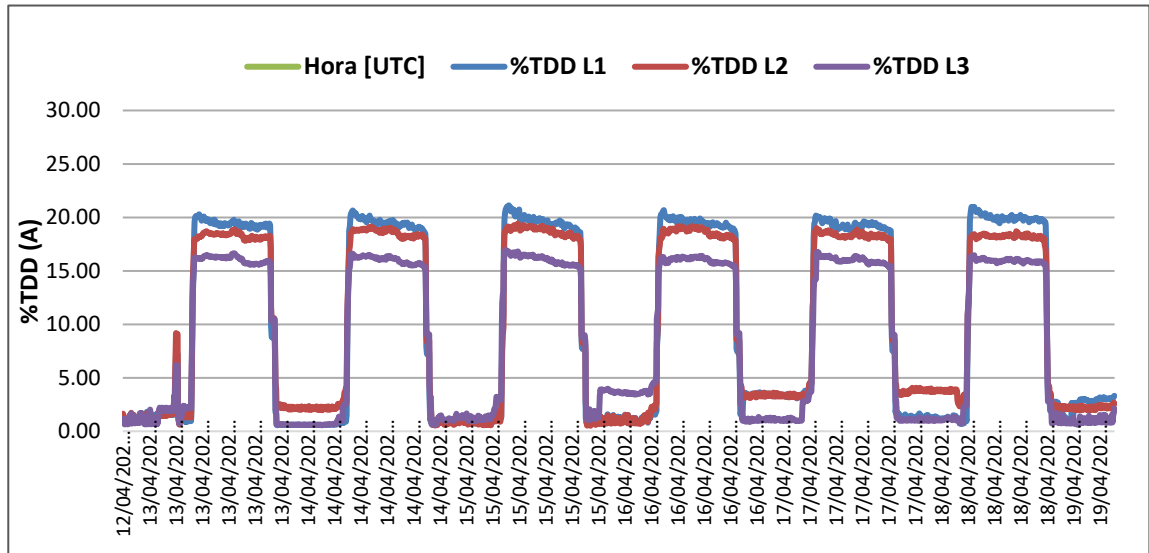


Tabla 16

Distorsión Total de la demanda.

Valores	TDD L1(%)	TDD L2(%)	TDD L3(%)
Máximo	21,12	19,43	16,93
Promedio	10,27	10,06	8,59
Mínimo	0,56	0,51	0,58

3.9. Análisis de los resultados procesados

Se realiza el análisis de los resultados del procesamiento a partir de los valores medidos de los indicadores de distorsión armónica, los cuales se muestran en tablas. Este análisis implica comparar los valores obtenidos con los límites permisibles que está regulada por la norma internacional IEEE 519-2022 y en el

caso del Perú por la norma NTCSE, a través de este análisis se podrá evaluar la situación de la calidad de energía en el sistema eléctrico del local comercial Oechsle.

A continuación, analizaremos las distorsiones registradas, que son las siguientes.

3.9.1. Factor de Distorsión Armónicos Total en tensión (THDv)

En la siguiente tabla podemos apreciar que el nivel máximo de distorsión armónica en tensión es de 4.18% en V1. Esto indica que los niveles de distorsión no sobrepasan el máximo permitido.

Como se observa en la tabla, la distorsión armónica máxima en tensión es de 4.18% en V1, sin superar el límite establecido.

Tabla 17

Niveles de Distorsión Armónica Total en tensión.

Valores	THD V1(%)	THD V2(%)	THD V3(%)	IEEE 519-2022 < 8%	NTCSE < 8%
Máximo	4,18	4,14	3,90	CUMPLE	CUMPLE

3.9.2. Factor de Distorsión Total de Armónicos de Corriente en porcentaje (THDi)

Como las normas IEEE 519-2022 y la NTCSE no fijan límites específicos para el THDi, no es posible comparar directamente los valores obtenidos con los parámetros normativos. La Tabla 16 muestra que el nivel más elevado de distorsión armónica en corriente registrado fue de 42.9 %. Aunque este porcentaje podría interpretarse como un nivel elevado de armónicos, es importante considerar que dicho valor se calcula respecto a la corriente fundamental medida en ese instante, que en este caso fue de 67.9 A. Por lo tanto, el 42.9 % indica la relación existente entre las componentes armónicas y la corriente fundamental, sin representar la magnitud exacta de la corriente armónica presente en el sistema.

Tabla 18*Niveles de Distorsión Armónica Total en Corriente.*

Valores	THD I 12(%)	THD I 23(%)	THD I 31(%)	Corriente nominal (A)
Máximo	33,10	38,34	42,59	67.9
Mínimo	5,92	4,08	7,22	40.8

Por lo expuesto anteriormente, un panorama más representativo del comportamiento de la distorsión armónica se obtiene al analizar los valores de corriente armónica expresados en amperios. De esta manera, se puede visualizar con mayor precisión cuánta corriente armónica está presente en el sistema eléctrico en comparación con la corriente de máxima demanda.

Como se observa en la Tabla 19, la corriente armónica máxima inyectada al sistema eléctrico es de 68.36 A, en comparación con la corriente de máxima demanda de 323.70 A presentada en la Tabla 9. Esta proporción indica que los armónicos representan un porcentaje significativo de la corriente total, lo que podría influir negativamente en la calidad de energía.

Tabla 19*Niveles de Distorsión Armónica Total en Corriente en amperios.*

Valores	THD I L1(A)	THD I L2(A)	THD I L3(A)	Corriente de máxima demanda (A)
Máximo	68,36	62,92	54,82	323.70

3.9.3. Distorsión Total de la demanda (TDD)

El TDD indica el porcentaje de distorsión armónica total de corriente respecto a la corriente de máxima demanda del sistema, y no con la corriente instantánea utilizada al calcular el THDi.

Para poder analizar el TDD, primero debemos de realizar algunos cálculos previos.

Del sistema se tiene los siguientes datos:

- Transformador: 630Kva, 400 V, Z% =6%
- Corriente de máxima demanda (IL) = 323.70 A (según la tabla 17)

Calculando la corriente máxima de cortocircuito PCC (Isc):

$$I_{sc} = \frac{POTENCIA\ TRANSFORMADOR}{\sqrt{3} * V * Z\%}$$

$$I_{sc} = \frac{630,000}{\sqrt{3} * 400 * 0.06}, \text{ entonces } I_{sc} = \mathbf{15.17kA}$$

Por dato la IL es 323.70 A, entonces Isc/IL es:

$$I_{sc}/I_L = \frac{15170}{323.70}$$

$$\mathbf{I_{sc}/I_L = 46.86}$$

A partir de la relación entre la corriente de cortocircuito (Isc) y la corriente de máxima demanda (IL), se consulta la tabla de la norma IEEE 519 para tensiones de 120 V a 69 kV, que establece los límites de distorsión total de la demanda (TDD) en función de Isc/IL en el Punto de Acoplamiento Común (PCC).

Tabla 20

Límites de corriente Armónica en el punto común de acoplamiento, para tensión entre 120 – 69kv.

Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en porcentaje de IL						
I_{sc}/I_L	Orden armónico individual					TDD
	$2 \leq h < 11^a$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	
$< 20^c$	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20 < 50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50 < 100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100 < 1000	12	5.5	5	2	1	15
> 1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Donde ISC = corriente Máxima de cortocircuito en el punto de acoplamiento común.

IL = Máxima demanda de la corriente de carga (a frecuencia fundamental) en el punto de acoplamiento común.

TDD = Distorsión total de la demanda (RSS) en % de la demanda máxima.

Nota. Norma (IEEE, 2022).

Conforme a la Tabla 20, la relación entre la corriente de cortocircuito (I_{sc}) y la corriente de máxima demanda (IL) se encuentra en el rango de $20 < I_{sc}/IL < 50$.

Según lo establecido por la norma IEEE 519-2022, el TDD permitido es del 8 %. Utilizando este valor como referencia, se evaluarán los resultados de las mediciones para verificar el cumplimiento del sistema eléctrico con la normativa.

Según la Tabla 21, los niveles de TDD registrados superan los límites establecidos por la norma IEEE 519-2022 para el correspondiente nivel de tensión.

Por esta razón, se concluye que la inyección de corrientes armónicas influye negativamente en el sistema eléctrico, pudiendo afectar tanto la calidad del suministro eléctrico como la operación correcta de los equipos conectados.

Tabla 21

Niveles de distorsión de Demanda.

Valores	TDD L1(%)	TDD L2(%)	TDD L3(%)	TDD (%) < 8
Máximo	21,12	19,43	16,93	NO CUMPLE

3.9.4. Potencia Reactiva Capacitiva (Kvar)

Al revisar la Tabla 22 y la Figura 11, donde se analiza el comportamiento de la potencia reactiva capacitiva, se observa que esta alcanza valores de hasta – 32.70 kVAr, lo que indica que el sistema eléctrico de la tienda Oechsle presenta un comportamiento predominantemente capacitivo.

Esta condición puede incrementar de manera significativa la aparición de distorsión armónica. Según la Resolución N° 206-2013-OS/CD de OSINERGMIN, se establece las distribuidoras pueden aplicar penalizaciones económicas a los usuarios que inyecten potencia reactiva capacitiva, con un cargo igual al doble de la tarifa correspondiente a la potencia reactiva inductiva.

Por lo tanto, se hace imprescindible implementar estrategias correctivas orientadas a la compensación de la potencia reactiva capacitiva y a la mejora del factor de potencia, con el fin de prevenir posibles sanciones económicas y optimizar la calidad de energía del sistema.

Tabla 22

Valores de potencias y factor de potencia.

Valores	P(KW)	Q(KVAR)	S(KVA)	F.P
Promedio	197,70	5,25	202,65	0.98
Máximo				
Promedio	10.05	-32,70	12,00	0.82
Mínimo				

3.10. Alternativas de Mejora de la Calidad de Energía

A partir del estudio de los datos obtenidos de las mediciones, se evidencia que el sistema muestra características capacitivas y una significativa presencia de distorsión armónica en corriente.

Ante esta situación, se proponen a continuación algunas alternativas de solución disponibles en el mercado, orientadas a optimizar la calidad de energía, disminuir la presencia de armónicas en el sistema eléctrico y corregir la sobrecarga de potencia reactiva capacitiva.

3.10.1. Banco de condensadores

Es importante señalar que los bancos de condensadores están diseñados para operar en sistemas eléctricos donde los porcentajes de distorsión, específicamente de tensión THDv sea menor al 3 % y de corriente THDi sea inferior al 10 %.

La instalación de estos equipos tiene como finalidad compensar la potencia reactiva inductiva, optimizando el factor de potencia en sistemas de comportamiento principalmente inductivo, como aquellos que incluyen motores o transformadores en operación.

En el caso particular del sistema eléctrico del local comercial Oechsle, se ha identificado un comportamiento capacitivo, lo cual implica que la conexión de un banco de condensadores no solo sería innecesaria, sino que podría agravar la sobrecompensación existente, incrementando aún más el carácter capacitivo del sistema.

Por ello, se concluye que los bancos de condensadores deben emplearse exclusivamente en sistemas con características inductivas, y no en aquellos que ya presentan un exceso de potencia reactiva capacitiva.

3.10.2. Sistema de Generador Estático (SVG)

El SVG (Generador Estático de Voltaje) se caracteriza principalmente por su capacidad para compensar tanto la potencia reactiva inductiva como la capacitiva, así como por contribuir al balanceo de cargas. Aunque puede operar en presencia de distorsiones armónicas, no está diseñado para mitigarlas. En el caso específico del sistema analizado del local comercial Oechsle, esta solución no sería completamente adecuada, ya que, además de presentar un comportamiento predominantemente capacitivo, también se registra un significativo porcentaje de distorsión armónica en corriente, situación que no puede ser corregida por este tipo de equipo.

3.10.3. Filtros Activos

Los filtros activos se caracterizan por su capacidad para compensar potencia reactiva tanto inductiva como capacitiva, corregir el desbalance de cargas y, especialmente, mitigar las distorsiones armónicas tanto en corriente como en tensión. Debido a estas funcionalidades, este tipo de equipo representa la solución más óptima para el sistema eléctrico del local comercial Oechsle, que presenta un comportamiento capacitivo y una elevada distorsión armónica que necesita ser corregida a fin de cumplir con los estándares establecidos de calidad eléctrica.

Capítulo IV

4. Contrastación De Hipótesis y Discusión De Resultados

4.1. Contrastación de Hipótesis

La Hipótesis H1: “La medición de los indicadores eléctricos del tablero eléctrico del local comercial Oechsle contribuye positivamente en la mejora de la calidad de energía”

Queda contrastado que medir los indicadores eléctricos permitió identificar los porcentajes de distorsión armónica y la potencia reactiva capacitiva, lo que fue importante para diagnosticar el estado actual de la calidad de energía del local comercial Oechsle. Esta información permitió el desarrollo de los resultados, por lo que se valida que la medición contribuye positivamente a la mejora de la calidad de energía eléctrica.

La hipótesis H2: “El proceso de información del analizador de redes mediante el software Power Log 5.9 influye en la mejora de la calidad de energía eléctrica”

Queda contrastado que la aplicación del software Power Log 5.9 permitió procesar y analizar la información eléctrica registrada por el analizador de redes. La herramienta permitió visualizar el comportamiento de los armónicos mediante graficas para la elaboración del informe técnico, lo que permitió influir directamente en la detección de problemas y en la implementación de soluciones enfocados a mejorar la calidad del suministro eléctrico. Por lo tanto, queda confirmado que el uso correcto de este software en el procesamiento influye positivamente al análisis para la mejora de la calidad de energía.

La hipótesis H3: “El análisis de los resultados obtenidos impacta positivamente en la mejora de la calidad de energía”

Queda contrastado que el análisis de los resultados procesados permitió detectar la presencia de distorsiones armónicas y el comportamiento capacitivo del sistema eléctrico del local Oechsle. Este análisis, basado en las normas como la IEEE 519 – 2022, en caso del Perú la NTCSE, organismos reguladores de la energía y la guía de las buenas prácticas, sirvió para la validación de los valores obtenidos de los indicadores eléctricos que fue representada mediante tablas de resultados. Esta información fue esencial para determinar medidas correctivas específicas, lo que demuestra que el análisis de los resultados impacta positivamente en la mejora de la calidad de energía eléctrica.

La hipótesis H4: “la propuesta de alternativas de solución contribuye en la mejora de la calidad de energía eléctrica”

Queda contrastado que la propuesta de alternativas con base en el diagnóstico y análisis realizados, se propusieron soluciones técnicas, que resulto como mejor alternativa la implementación de un filtro activo, ya que este ofrece soluciones viables y efectivas frente a los problemas detectados. Estas medidas permiten reducir la distorsión armónica como la compensación reactiva capacitiva y cumplir con los estándares normativos, contribuyendo así a la mejora de la calidad de energía eléctrica.

4.2. Discusión de Resultados

El análisis de los armónicos en el sistema eléctrico del local comercial Oechsle permitió identificar condiciones que afectan directamente la calidad de la energía eléctrica. Aunque los niveles de THDv se encuentran dentro de los límites establecidos por la NTCSE, los THDi alcanzan valores elevados en determinados

periodos del día, tanto en porcentaje como en amperios. Asimismo, los valores de TDD% no cumplen con los límites establecidos en la norma IEEE 519-2022, lo que evidencia la presencia de cargas no lineales con alta generación de armónicos.

Estos resultados se encuentran en sintonía con lo expuesto por **Franco y Echeverry (2018)**, quienes en su informe *“Presencia de armónicos en redes de baja tensión”* evidencian que los armónicos generados por la industria y las empresas suministradoras de energía. Por esta razón realizaron un análisis para verificar los armónicos en una subestación, si bien al finalizar concluyeron que no existe perturbaciones relevantes, el procedimiento de medición, procesamiento y análisis de los resultados, son similares a las detectadas en el local Oechsle, lo cual refuerza la validez de los resultados.

Por otro lado, la importancia de realizar un análisis armónico detallado, incluso cuando los parámetros normativos aparentan estar dentro de los límites, también es respaldada por **Villegas (2022)** en su tesis de maestría. El autor destaca que la calidad de energía no debe limitarse a la medición del THDv, ya que las distorsiones en corriente también generan efectos negativos en los equipos y procesos industriales, por esta razón en el trabajo de investigación del local comercial Oechsle se analizó la distorsión total de armónicos en corriente tanto expresado en porcentaje y en amperios, teniendo como resultado que al sistema eléctrico se está inyectando armónicos a gran nivel.

Finalmente, **Zabaleta (2018)** aporta un enfoque complementario al demostrar que el análisis de calidad de energía en tableros eléctricos permite no solo identificar las perturbaciones armónicas, sino también calcular la carga requerida de filtros activos para compensar las distorsiones.

En este trabajo después de evaluar el desempeño del sistema, se propone como medida correctiva la implementación de un filtro activo en el local Oechsle, orientado a reducir armónicos y compensar la potencia reactiva capacitiva, Como paso siguiente, se procederá al cálculo de la capacidad requerida para dicho filtro activo.

En síntesis, los resultados del presente trabajo confirman lo expuesto en las investigaciones revisadas, el estudio de los armónicos en sistemas eléctricos comerciales es fundamental para detectar perturbaciones no evidentes a simple vista, establecer un diagnóstico confiable y proponer soluciones que contribuyan efectivamente a la mejora de la calidad de energía.

Conclusiones

1. La medición de los indicadores eléctricos del tablero TG-TR1 del sistema eléctrico en el local comercial Oechsle, mediante el analizador de redes Fluke modelo 435 II, permitió identificar valores de parámetros eléctricos como el porcentaje de distorsión armónica en corriente (THDi), en tensión (THDv), distorsión total de demanda (TDD), potencia reactiva, etc.
2. El software Power Log 5.9 utilizado para el procesamiento de los valores registrados en las mediciones de los indicadores eléctricos, permitió obtener representaciones graficas detalladas de las formas de onda con respecto al tiempo, lo cual fue importante para la realización del análisis del comportamiento eléctrico del local comercial Oechsle.
3. El análisis del sistema eléctrico reveló que el sistema eléctrico del local comercial Oechsle, presenta niveles elevados de armónicos en corriente (THDi%) que alcanza un máximo valor de 42.59% y en corriente armónica en amperios llega a 68.36 A., así también se verificó que el porcentaje de distorsión total de la demanda (TDD%) esta fuera del rango que manda la norma IEEE 519-2022 que es un máximo del 8%. Además, se detectó un comportamiento capacitivo del sistema que llego a un valor de -32.70Kvar, estas condiciones afectan el desempeño del sistema eléctrico, disminuyen su eficiencia y pueden generar fallas prematuras en los equipos.
4. De las soluciones propuestas, la mejor alternativa eficaz es la del filtro activo, ya que tiene como características principales el de mitigar armónicos y compensar la potencia reactiva capacitiva, contribuyendo así al cumplimiento normativo y mejorar la calidad de energía del local comercial Oechsle.

Recomendaciones

1. Se recomienda monitorear los tableros principales mediante un analizador de redes, especialmente en las horas donde se alcanza la máxima demanda, para tener un registro de los niveles de los indicadores eléctricos. Esto permitiría verificar algunas fallas en el sistema eléctrico.
2. Se recomienda que el local comercial capacite al personal técnico de mantenimiento para el uso de equipos de medición y software de análisis como es el Power Log 5.9, para que puedan entender e interpretar correctamente el comportamiento real que está ocurriendo en el sistema eléctrico.
3. Se recomienda evaluar la implementación de algún equipo según la necesidad que priorice el local comercial, es decir se puede proponer un equipo que solo compense la potencia reactiva capacitiva y no mitigue los armónicos o un equipo que realice las dos funciones.
4. Se recomienda realizar el cálculo para la implementar un filtro activo y se pueda mitigar de los armónicos y compensar la potencia reactiva capacitiva.

Referencias

Ante Timbila, C. y Ruiz Osorio, C. "Análisis de flujo armónico en redes de distribución desbalanceados, para determinar los THDV y THDI en los nodos del sistema", Maestría, Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador, 2022.

Circutor, "Eficiencia en el uso de la Energía eléctrica", Barcelona (España): Marcombo S.A, 2011.

Dariel Arcila J. "Armónicos en Sistemas Eléctricos", IEB, Colombia, 2014.

Franco Franco, J. y Echeverry Muñetonez, J. "Presencia de armónicos en redes de baja tensión", informe de suficiencia, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, 2018.

Gers J. M. "Teoría y Diseño de Filtros de Armónicos en Sistemas Eléctricos", investigación innovadora, TECSUP, Lima, 2008.

IEEE-SA Standards Board, "IEEE-519-2022 Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems", May. 13, 2022.

Ministerio de Energía y Minas, "Código Nacional de Electricidad", Lima, 2011.

Morales García, E. y Rodríguez González, J. "Solución a los problemas de corrientes y voltajes armónicos en los sistemas industriales", tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, México, 2012.

Ramirez Cataño S. y Cano Plata E. A. "Calidad del Servicio de Energía Eléctrica", Manizales (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, 2006.

Simmi P. Burman y Bipin Singh "Power Quality", New Delhi (India): S.K. Kataria & Sons, 2013.

Villegas Fuentes D. "Evaluación de la calidad del producto eléctrico en la estación de bombeo San Miguel – EPAMIL EP, del cantón Milagro Provincia del Guayas año 2020", Maestría, Universidad Católica de Guayaquil, Ecuador, 2022.

Zabaleta Robles, A. "Calidad de la energía eléctrica y análisis de los armónicos en la tienda Ripley Mall del Sur", tesis de grado, Universidad Nacional del Santa, Chimbote, Perú, 2018.

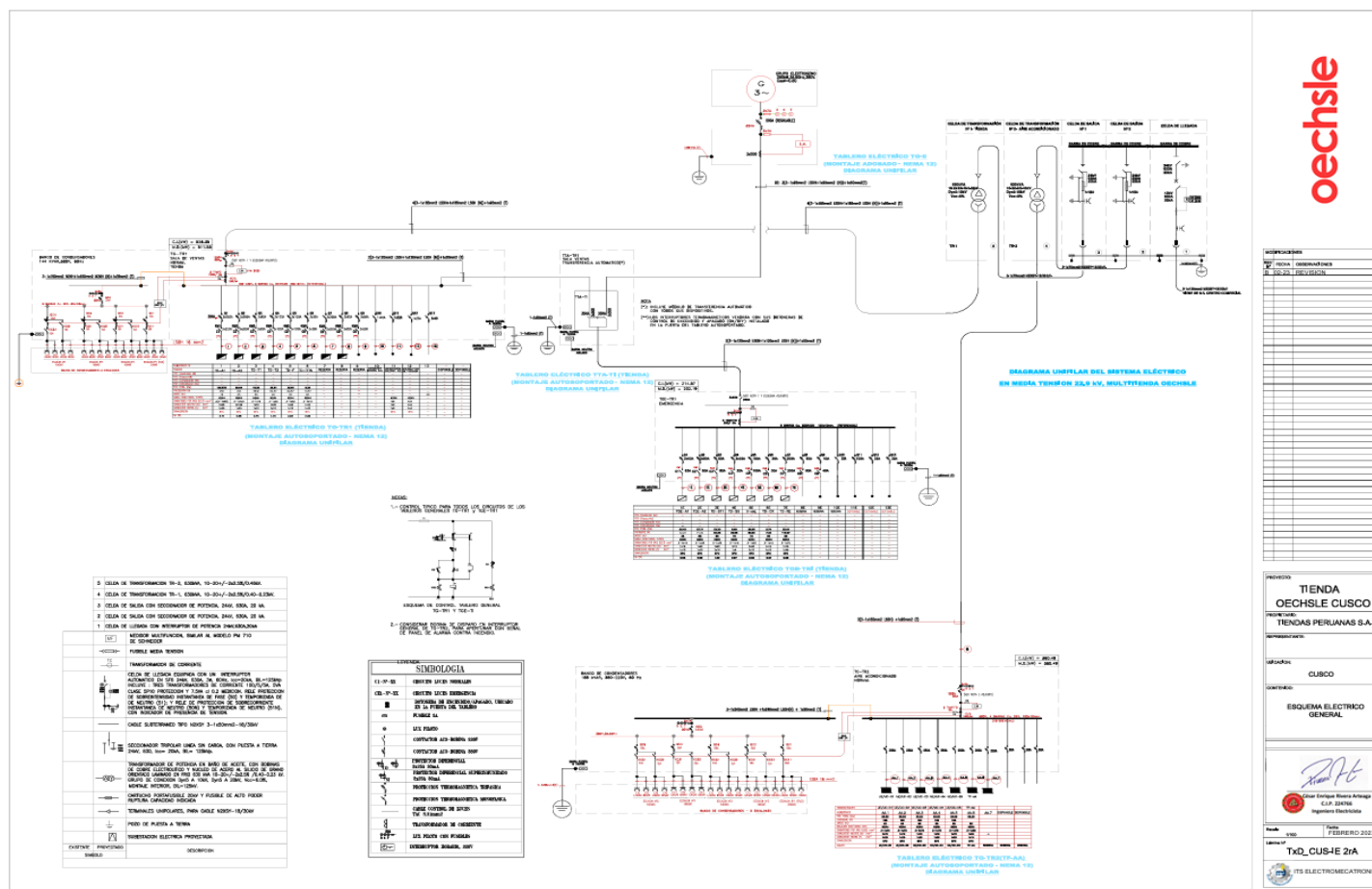
Anexos

Anexo 1

Matriz de Consistencia de la Investigación.

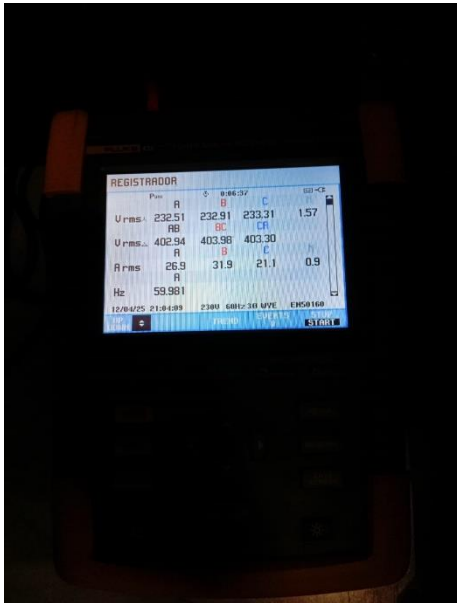
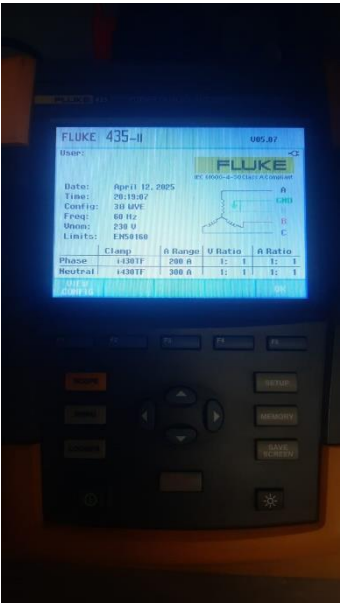
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS
¿En qué manera la calidad de energía eléctrica en el local comercial Oechsle viene siendo afectado por armónicos generados en el sistema eléctrico?	Medir y Analizar los armónicos en el sistema eléctrico para mejorar la calidad de energía eléctrica en el local comercial Oechsle.	La medición y análisis de los armónicos presentes en el sistema eléctrico mejoraran la calidad de energía eléctrica en la tienda Oechsle	V.I: Medición y Análisis de armónicos V.D: Mejora de la Calidad de la energía	Equipo Analizador de redes Fluke modelo 435 II Mediciones eléctricos-pinza amperimétrica y Formato de registro de mediciones.

Plano de diagrama unifilar.



Anexo 3

Registro Fotográfico.



Anexo 4

Valores registrados en un día de tensión de Línea.

Fecha	Hora	Vrms ph-n AN Med	Vrms ph-n BN Med	Vrms ph-n CN Med
12/04/2025	09:02:31 p.m	232.79	233.21	233.49
12/04/2025	09:07:31 p.m	232.73	233.19	233.5
12/04/2025	09:12:31 p.m	232.78	233.35	233.64
12/04/2025	09:17:31 p.m	233.11	233.53	233.87
12/04/2025	09:22:31 p.m	233.44	233.93	234.18
12/04/2025	09:27:31 p.m	233.5	233.96	234.28
12/04/2025	09:32:31 p.m	233.45	233.89	234.26
12/04/2025	09:37:31 p.m	233.43	233.98	234.31
12/04/2025	09:42:31 p.m	234.01	234.43	234.79
12/04/2025	09:47:31 p.m	233.98	234.52	234.88
12/04/2025	09:52:31 p.m	234.2	234.77	235.04
12/04/2025	09:57:31 p.m	234.3	234.89	235.21
12/04/2025	10:02:31 p.m	234.47	235.04	235.42
12/04/2025	10:07:31 p.m	234.57	235.13	235.58
12/04/2025	10:12:31 p.m	234.32	235.04	235.47
12/04/2025	10:17:31 p.m	233.51	234.24	234.68
12/04/2025	10:22:31p.m	232.21	232.94	233.26
12/04/2025	10:27:31 p.m	232.18	232.97	233.35
12/04/2025	10:32:31 p.m	232.25	232.93	233.41
12/04/2025	10:37:31 p.m	232.21	232.88	233.4
12/04/2025	10:42:31 p.m	232.57	233.27	233.73
12/04/2025	10:47:31 p.m	232.3	233.11	233.43
12/04/2025	10:52:31 p.m	232.46	233.21	233.63
12/04/2025	10:57:31 p.m	232.64	233.38	233.86
12/04/2025	11:02:31 p.m	232.8	233.49	234.02
12/04/2025	11:07:31 p.m	232.91	233.63	234.14
12/04/2025	11:12:31 p.m	232.94	233.72	234.15
12/04/2025	11:17:31 p.m	233.15	233.88	234.36
12/04/2025	11:22:31 p.m	233.11	233.88	234.29
12/04/2025	11:27:31 p.m	232.88	233.72	234.17
12/04/2025	11:32:31 p.m	232.93	233.77	234.23
12/04/2025	11:37:31 p.m	233.13	234	234.39
12/04/2025	11:42:31 p.m	233.28	234.01	234.43
12/04/2025	11:47:31 p.m	233.27	234.1	234.48
12/04/2025	11:52:31 p.m	233.3	234.15	234.53
12/04/2025	11:57:31 p.m	233.37	234.1	234.54

Anexo 5

Valores registrados en un día de tensión de Fase.

Fecha	Hora	Vrms ph-ph AB Med	Vrms ph-ph BC Med	Vrms ph-ph CA Med
12/04/2025	09:02:31 p.m	403.56	404.32	403.67
12/04/2025	09:07:31 p.m	403.41	404.4	403.63
12/04/2025	09:12:31 p.m	403.55	404.71	403.77
12/04/2025	09:17:31 p.m	404.04	404.98	404.28
12/04/2025	09:22:31 p.m	404.73	405.59	404.8
12/04/2025	09:27:31 p.m	404.73	405.76	404.98
12/04/2025	09:32:31 p.m	404.58	405.68	404.94
12/04/2025	09:37:31 p.m	404.63	405.85	404.94
12/04/2025	09:42:31 p.m	405.58	406.55	405.88
12/04/2025	09:47:31 p.m	405.57	406.8	405.92
12/04/2025	09:52:31 p.m	405.97	407.18	406.23
12/04/2025	09:57:31 p.m	406.09	407.45	406.52
12/04/2025	10:02:31 p.m	406.33	407.74	406.9
12/04/2025	10:07:31 p.m	406.47	407.94	407.18
12/04/2025	10:12:31 p.m	406.13	407.84	406.84
12/04/2025	10:17:31 p.m	404.69	406.5	405.45
12/04/2025	10:22:31p.m	402.49	404.11	403.08
12/04/2025	10:27:31 p.m	402.47	404.25	403.13
12/04/2025	10:32:31 p.m	402.5	404.2	403.28
12/04/2025	10:37:31 p.m	402.38	404.16	403.27
12/04/2025	10:42:31 p.m	403	404.81	403.85
12/04/2025	10:47:31 p.m	402.7	404.43	403.28
12/04/2025	10:52:31 p.m	402.91	404.68	403.63
12/04/2025	10:57:31 p.m	403.2	405.01	404.02
12/04/2025	11:02:31 p.m	403.41	405.25	404.31
12/04/2025	11:07:31 p.m	403.6	405.52	404.51
12/04/2025	11:12:31 p.m	403.74	405.6	404.5
12/04/2025	11:17:31 p.m	404.14	405.83	404.88
12/04/2025	11:22:31 p.m	404.16	405.77	404.71
12/04/2025	11:27:31 p.m	403.7	405.64	404.43
12/04/2025	11:32:31 p.m	403.73	405.77	404.54
12/04/2025	11:37:31 p.m	404.13	406.1	404.84
12/04/2025	11:42:31 p.m	404.33	406.02	405.04
12/04/2025	11:47:31 p.m	404.41	406.18	405.05
12/04/2025	11:52:31 p.m	404.43	406.33	405.11
12/04/2025	11:57:31 p.m	404.44	406.24	405.24

Anexo 6

Valores registrados en un día de Distorsión Armónica de Tensión.

Fecha	Hora	THD V AN Med	THD V BN Med	THD V CN Med	THD V NG Med
12/04/2025	09:02:31 p.m	2.08	1.98	1.95	14.96
12/04/2025	09:07:31 p.m	2.13	2.02	2.01	13.46
12/04/2025	09:12:31 p.m	2.14	2.03	2.01	12.73
12/04/2025	09:17:31 p.m	2.16	2.03	2.03	12.75
12/04/2025	09:22:31 p.m	2.19	2.05	2.03	13.82
12/04/2025	09:27:31 p.m	2.28	2.16	2.12	13.19
12/04/2025	09:32:31 p.m	2.28	2.13	2.1	13.12
12/04/2025	09:37:31 p.m	2.2	2.02	2.03	13.39
12/04/2025	09:42:31 p.m	2.23	2.06	2.06	13.92
12/04/2025	09:47:31 p.m	2.21	2.04	2.05	13.55
12/04/2025	09:52:31 p.m	2.24	2.08	2.06	13.68
12/04/2025	09:57:31 p.m	2.25	2.08	2.08	14.76
12/04/2025	10:02:31 p.m	2.29	2.12	2.12	14.63
12/04/2025	10:07:31 p.m	2.31	2.12	2.13	14.61
12/04/2025	10:12:31 p.m	2.29	2.07	2.11	14.75
12/04/2025	10:17:31 p.m	2.31	2.15	2.15	14.9
12/04/2025	10:22:31p.m	2.21	2.09	2.08	14.26
12/04/2025	10:27:31 p.m	2.2	2.09	2.09	14.42
12/04/2025	10:32:31 p.m	2.24	2.13	2.14	15.56
12/04/2025	10:37:31 p.m	2.26	2.14	2.15	14.68
12/04/2025	10:42:31 p.m	2.33	2.24	2.22	14.89
12/04/2025	10:47:31 p.m	2.39	2.31	2.29	15.49
12/04/2025	10:52:31 p.m	2.41	2.31	2.29	15.32
12/04/2025	10:57:31 p.m	2.43	2.32	2.32	14.89
12/04/2025	11:02:31 p.m	2.44	2.34	2.34	14.93
12/04/2025	11:07:31 p.m	2.44	2.36	2.35	15.99
12/04/2025	11:12:31 p.m	2.45	2.37	2.34	14.98
12/04/2025	11:17:31 p.m	2.43	2.35	2.32	15.1
12/04/2025	11:22:31 p.m	2.41	2.3	2.29	15.53
12/04/2025	11:27:31 p.m	2.42	2.32	2.31	15.51
12/04/2025	11:32:31 p.m	2.38	2.31	2.28	15.02
12/04/2025	11:37:31 p.m	2.44	2.38	2.34	15.28
12/04/2025	11:42:31 p.m	2.45	2.38	2.35	16.4
12/04/2025	11:47:31 p.m	2.41	2.33	2.32	15.31
12/04/2025	11:52:31 p.m	2.41	2.31	2.31	15.3
12/04/2025	11:57:31 p.m	2.41	2.31	2.33	15.7

Anexo 7

Valores registrados en un día de Distorsión Armónica de Corriente.

Fecha	Hora	THD A A Med	THD A B Med	THD A C Med	THD A N Med
12/04/2025	09:02:31 p.m	14.63	15.41	19.58	2.77
12/04/2025	09:07:31 p.m	13.62	12.55	17.55	2.68
12/04/2025	09:12:31 p.m	13.62	13.11	18.08	2.64
12/04/2025	09:17:31 p.m	8.92	7.23	11.46	2.71
12/04/2025	09:22:31 p.m	14.56	11.4	18.79	2.78
12/04/2025	09:27:31 p.m	8.68	7.85	11.01	2.89
12/04/2025	09:32:31 p.m	8.95	8.62	11.35	2.91
12/04/2025	09:37:31 p.m	9.33	8.9	11.9	2.93
12/04/2025	09:42:31 p.m	9.29	7.12	10.96	2.96
12/04/2025	09:47:31 p.m	9.28	7.25	10.9	3.04
12/04/2025	09:52:31 p.m	9.82	9.94	11.6	3.18
12/04/2025	09:57:31 p.m	9.37	10.43	10.99	3.19
12/04/2025	10:02:31 p.m	13.18	13.06	16.21	3.33
12/04/2025	10:07:31 p.m	13.47	12.4	16.49	3.41
12/04/2025	10:12:31 p.m	11.4	11.06	13.82	3.11
12/04/2025	10:17:31 p.m	15.11	15.93	18.92	3.23
12/04/2025	10:22:31p.m	7.62	7.96	8.4	3.28
12/04/2025	10:27:31 p.m	8.08	7.86	8.93	3.27
12/04/2025	10:32:31 p.m	11.75	10.87	14.37	3.33
12/04/2025	10:37:31 p.m	12.47	11.3	15.22	3.32
12/04/2025	10:42:31 p.m	13.88	14.49	17.25	3.33
12/04/2025	10:47:31 p.m	8.26	8.82	9.38	3.41
12/04/2025	10:52:31 p.m	7.93	7.97	8.79	3.42
12/04/2025	10:57:31 p.m	8.2	6.87	9.09	3.39
12/04/2025	11:02:31 p.m	8.52	7.51	9.61	3.38
12/04/2025	11:07:31 p.m	8.02	8.81	9.01	3.46
12/04/2025	11:12:31 p.m	8.07	7.97	8.93	3.42
12/04/2025	11:17:31 p.m	12.36	9.74	14.56	4.21
12/04/2025	11:22:31 p.m	8.04	6.38	8.49	3.89
12/04/2025	11:27:31 p.m	11.31	10.29	12.67	3.63
12/04/2025	11:32:31 p.m	8.43	8.13	8.98	3.45
12/04/2025	11:37:31 p.m	13.21	13.57	15.88	3.52
12/04/2025	11:42:31 p.m	14.42	13.14	17.55	3.58
12/04/2025	11:47:31 p.m	12.93	11.24	15.47	3.56
12/04/2025	11:52:31 p.m	15.08	14.74	18.21	3.52
12/04/2025	11:57:31 p.m	13.2	13.11	16.15	3.57

Anexo 8

Valores registrados en un día de las Potencias (Kw, Kvar, KvA, F.D).

Fecha	Hora	Potencia Activa Total Med	Potencia Reactiva Total Med	Potencia Aparente Total Med	Factor de Potencia Total Med
12/04/2025	09:02:31 p.m	16800	-6000	18750	0.89
12/04/2025	09:07:31 p.m	16350	-5250	17850	0.92
12/04/2025	09:12:31 p.m	16650	-5100	18000	0.92
12/04/2025	09:17:31 p.m	15750	-5850	17550	0.9
12/04/2025	09:22:31 p.m	16800	-5850	18600	0.9
12/04/2025	09:27:31 p.m	16500	-5400	17850	0.92
12/04/2025	09:32:31 p.m	15600	-5550	17100	0.91
12/04/2025	09:37:31 p.m	15000	-6000	16650	0.89
12/04/2025	09:42:31 p.m	17100	-5400	18600	0.91
12/04/2025	09:47:31 p.m	16800	-5550	18300	0.91
12/04/2025	09:52:31 p.m	15150	-5850	16800	0.9
12/04/2025	09:57:31 p.m	16650	-6450	18300	0.9
12/04/2025	10:02:31 p.m	22500	-6750	24150	0.93
12/04/2025	10:07:31 p.m	22950	-6900	24600	0.93
12/04/2025	10:12:31 p.m	21300	-7500	23100	0.92
12/04/2025	10:17:31 p.m	21600	-7050	23400	0.92
12/04/2025	10:22:31p.m	21300	-6750	22800	0.94
12/04/2025	10:27:31 p.m	20550	-7500	22350	0.92
12/04/2025	10:32:31 p.m	22350	-7050	24000	0.93
12/04/2025	10:37:31 p.m	22950	-6750	24450	0.94
12/04/2025	10:42:31 p.m	20850	-7350	22650	0.92
12/04/2025	10:47:31 p.m	20250	-7350	22050	0.92
12/04/2025	10:52:31 p.m	21450	-6750	22950	0.93
12/04/2025	10:57:31 p.m	21300	-7200	22950	0.93
12/04/2025	11:02:31 p.m	20100	-7650	22050	0.91
12/04/2025	11:07:31 p.m	20850	-6900	22500	0.93
12/04/2025	11:12:31 p.m	21150	-7050	22650	0.93
12/04/2025	11:17:31 p.m	21750	-7800	24000	0.91
12/04/2025	11:22:31 p.m	23850	-6900	25500	0.93
12/04/2025	11:27:31 p.m	22950	-6750	24450	0.94
12/04/2025	11:32:31 p.m	20550	-7500	22350	0.92
12/04/2025	11:37:31 p.m	22500	-7050	24150	0.93
12/04/2025	11:42:31 p.m	24150	-7050	25800	0.93
12/04/2025	11:47:31 p.m	23400	-7350	25050	0.93
12/04/2025	11:52:31 p.m	22650	-7350	24300	0.93
12/04/2025	11:57:31 p.m	22500	-6900	24150	0.93