



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA DE LA EMPRESA
“BLUNODE”.**

Plan de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero eléctrico

Autores:

Lema Patiño Ayliz Lilian

Tutor académico:

Gabriel Napoleón Pesántez Palacios

LATACUNGA – ECUADOR
2024

LATACUNGA– ECUADOR

- FEBRERO-2025

1. DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Lema Patiño Ayliz Lilian, con cédula de ciudadanía No. 140076887-3, declaro ser autor del presente **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: “ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA DE LA EMPRESA BLUNODE”** siendo el Ing. Gabriel Napoleón Pesantez Palacios MSc. Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, febrero 24 de 2025

Lema Patiño Ayliz Lilian

C.C: 140076887-3

2. AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

“ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA DE LA EMPRESA BLUNODE”, de Lema Patiño Ayliz Lilian, de la carrera Electricidad, considero que dicho Informe Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 17 de febrero de 2025

Ing. Gabriel Napoleón Pesantez Palacios Msc.

C.C.: 0301893889

TUTOR

3. AVAL DE APROBACIÓN DE TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y, por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, la postulante: Lema Patiño Ayliz Lilian, con el título del Proyecto de Investigación: “**ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA DE LA EMPRESA BLUNODE**”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 24 de febrero de 2025

Para constancia firman:

Ing. Franklin Hernán Vásquez Teneda Msc.

CC: 1710434497

LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Ing. Mauricio Eduardo Mullo Pallo Msc.

CC: 0503755183

LECTOR 2 (MIEMBRO)

Ing. Wilian Patricio Guamán Cuenca Msc.

CC: 0603578956

LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Este sueño jamás se hubiera logrado sin el apoyo continuo de mi querida madre Lilian Patiño Quezada, quién nunca dudó de mi constancia y perseverancia, impulsándome a seguir adelante a pesar de los altibajos.

Así también agradezco con todo mi corazón a mi querida tía Crissi Castellano, quien desde un principio puso toda su fe en mí, y con cada granito, alimentaba mi motivación, representando un ejemplo de firmeza y superación hacia mí.

Agradezco a mi querido hermano, Alexis Lema Patiño, quien es la razón por la cual la electricidad se adhirió a mí, convirtiéndolo en destellos de logros obtenidos y por obtener.

A mi querido padre, Miguel Lema Lema, quien, con su carácter, formó una dama respetable.

Ayliz Lilian Lema Patiño

DEDICATORIA

Para la mujer que, a pesar de todo, se atreve a llevar las manos sucias, embarrándose de aprendizaje, a la mujer que cuando cree que está llegando al límite, limpia sus lágrimas, se levanta y sigue, a la mujer que si se le dices que el cielo es azul intentará convencerte que es azul clarito, a la mujer que si la música esta buena, bailará, a la mujer que espera demostrar respeto y gratitud ante sus superiores, y dejarlo como légallo a los menores.

Para la mujer que sonrío sinceramente y jamás dejo que ajenos borren su esencia, para la mujer que quiere superarse y demostrar que puede lograr lo que se propone.

Con honor hasta el final.

Ayliz Lilian Lema Patiño

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA DE LA EMPRESA ‘BLUNODE’”.

Autor:

Lema Patiño Ayliz Lilian

RESUMEN

El presente proyecto fue realizado en la empresa BLUNODE, donde se realizó un análisis de calidad de energía de la red eléctrica en baja tensión, donde a partir de la generación del diagrama unifilar de la empresa, se recopiló datos de calidad de energía, resistividad de la tierra, así como de datos de puesta a tierra de los elementos de la empresa, los cuales se verán evaluados en cuanto a normativas nacionales e internacionales vigentes en Ecuador.

A partir de los registros obtenidos con el analizador de red, se analizaron diversas variables, incluyendo armónicos como de voltajes, corrientes, factor de potencia, flicker, entre otros. Estos representados con gráficas y procesados con ecuaciones donde se podrán obtener parámetros relacionados a la calidad de energía. Así también se recopilaron datos de resistividad del terreno y sistema de puesta a tierra de la empresa, los cuales serán evaluados de la misma forma que los datos de calidad de energía respecto a valores máximos y mínimos en tanto a las normativas respectivas.

Posteriormente, los datos obtenidos fueron implementados en un software especializado en el modelado de sistemas eléctricos, lo que permitió evaluar el comportamiento del sistema eléctrico y visualizar como las perturbaciones identificadas afectan el flujo de energía.

Finalmente se diseñó y modeló un filtro pasivo con el propósito de mitigar los armónicos presentes en la red. Este componente fue integrado en el modelo del software para analizar su desempeño y verificar su eficiencia en la reducción del armónico dominante, mejorando así la eficiencia y calidad del suministro eléctrico.

Palabras clave: armónicos, voltaje, fluctuaciones, corriente, calidad.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

THEME: “POWER QUALITY ANALYSIS OF THE ‘BLUNODE’ COMPANY”.

Author:

Lema Patiño Ayliz Lilian

ABSTRACT

This project was carried out at the BLUNODE company, where a power quality analysis of the low voltage electrical network was performed, the generation of the company's single-line diagram, power quality data, earth resistivity, as well as grounding data of the company's elements were collected, which will be evaluated in terms of national and international regulations in force in Ecuador.

From the records obtained with the network analyzer, several variables were analyzed, including harmonics such as voltages, currents, power factor, flicker, among others. Represented by graphics and processed with equations where parameters related to power quality can be obtained. Likewise, ground resistivity data and the company's grounding system were collected, which will be evaluated in the same way as the power quality data regarding maximum and minimum values in accordance with the respective regulations.

The data obtained were implemented in software specialized in modeling electrical systems, which allowed the behavior evaluation of the electrical system and the visualization of how the identified disturbances affect the energy flow.

Finally, a passive and modeled filter was designed with the purpose of mitigating the harmonics in the network. This component was integrated into the software model to analyze its performance and verify its efficiency in reducing the dominant harmonic, thus improving the efficiency and the electrical supply quality.

Keywords: harmonics, voltage, fluctuations, current, quality.

ÍNDICE GENERAL

1.	DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
2.	AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
3.	AVAL DE APROBACIÓN DE TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iv
4.	INFORMACIÓN GENERAL	xv
5.	INTRODUCCIÓN.....	1
5.1.	SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	1
5.2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
5.3.	OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	2
5.4.	BENEFICIARIOS	2
5.5.	JUSTIFICACIÓN.....	2
5.6.	HIPÓTESIS	2
5.7.	OBJETIVOS.....	2
5.8.	ANTECEDENTES	3
5.9.	SISTEMAS DE TAREAS	5
6.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8
6.1.	CALIDAD DE ENERGÍA	8
6.2.	ARMÓNICOS EN EL SISTEMA	9
6.3.	INDICADORES DE CALIDAD DE ENERGÍA	10
6.4.	PROCESADORES DE DATOS.....	14
6.5.	IMPACTO DE LA CALIDAD DE ENERGIA EN EL DESEMPEÑO DE EQUIPOS ASIC	15
6.6.	MITIGACIÓN DE ARMÓNICOS.....	15
6.7.	SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA	16
6.8.	NORMATIVAS	16

7.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	18
7.1.	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	19
7.2.	ANÁLISIS DE DATOS	21
7.3.	ANÁLISIS DE DATOS EN BASE A LA NORMATIVA ARCONER 003/2023 ..	22
7.4.	MODELADO DEL SISTEMA EN UN SOFTWARE ESPECIALIZADO	25
7.5.	ARMÓNICOS	27
7.6.	PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES	28
8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	30
8.1.	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA EMPRESA BLUNODE	30
8.2.	ANÁLISIS DE DATOS DE VOLTAJES, CORRIENTES Y POTENCIAS.	31
8.3.	ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS POR EL ANALIZADOR DE RED FLUKE EN CUANTO AL NEUTRO	35
8.4.	ANÁLISIS DE DATOS DE PUESTA A TIERRA	36
8.5.	ANÁLISIS DE DATOS CALCULADOS DE LINEA.....	38
8.6.	MODELADO DEL SISTEMA EN UN SOFTWARE	40
8.7.	ARMÓNICOS DEL SISTEMA DE LA EMPRESA BLUNODE.....	42
8.1.	PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES	45
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
10.	REFERENCIAS	60
	ANEXOS.....	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 6.1. Distorsión armónica [9].	10
Figura 6.2. Descomposición de una señal distorsionada [9].	11
Figura 6.3 Límites permitidos por los clientes en cuanto las fluctuaciones de voltaje [11]....	14
Figura 7.1. Diagrama de flujo.....	19
Figura 7.2. Principios de la puesta a tierra [15].....	20
Figura 7.3. Uso de la pinza amperimétrica.	20
Figura 7.4. Mediciones RA de cuatro polos [16].....	20
Figura 7.5. Medida de resistividad de puesta a tierra del lado norte de la empresa.	20
Figura 7.6. Conexión del analizador de red al sistema trifásico de una red [17].	21
Figura 7.7 Ubicaciones sugeridas para el monitoreo de bajo voltaje.	21
Figura 7.8. FLUKE 435 instalado en la empresa BLUNODE.	22
Figura 7.9 Selección de la caja de herramientas.....	25
Figura 7.10 Selección del tipo de carga.....	26
Figura 7.11 Área habilitada para el ingreso de armónicos en la carga.	26
Figura 7.12 Selección del tipo de armónico en la carga e ingreso de datos.	26
Figura 8.1. Comportamiento de las fases de voltaje de la red en un lapso de siete días.	32
Figura 8.2. Comportamiento de las fases de corriente de la red en un lapso de siete días.	33
Figura 8.3. Comportamiento de las fases en cuanto al factor de potencia de la red en un lapso de siete días.....	34
Figura 8.4 Comportamiento de las fases de potencia activa de la red en un lapso de siete días.	35
Figura 8.5 Comportamiento del neutro del voltaje de la red en un lapso de siete días.	35
Figura 8.6 Comportamiento del neutro de la corriente de la red en un lapso de siete días.	36
Figura 8.7. Comportamiento del THD de corriente en las líneas en un lapso de siete días. ...	38
Figura 8.8. Comportamiento del THD de voltaje en las líneas en un lapso de siete días.....	39
Figura 8.9 Datos de placa de los transformadores de la empresa.	40
Figura 8.10 Porcentaje de cada armónico de corriente.....	42
Figura 8.11. porcentaje de cada armónico de voltaje.	43
Figura 8.12 Sistema sin filtro pasivo vs sistema con filtro pasivo en los transformadores de 1 [MVA].....	49

Figura 8.13 Sistema sin filtro pasivo vs sistema con filtro pasivo en los transformadores de 2.5 [MVA].....	51
Figura 8.14 Reacción de los armónicos ante una variación.	55
Figura 8.15 Gráfico de resultados en cuanto a la variación.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Empresas con casos relacionados [2], [3], [4], [5], [6].....	3
Tabla 2.2 Sistema de tareas del plan de titulación.....	5
Tabla 3.1. Tipos de armónicos [8].	9
Tabla 3.2 Características de los fenómenos SAG y SWELL [7].	13
Tabla 4.1. Límites de armónicos de voltaje [1].	23
Tabla 4.2. Niveles máximos de distorsión armónica de corriente.	24
Tabla 5.1 Resistividad del terreno.	36
Tabla 5.2 Resistencia de las puestas a tierra.	37
Tabla 5.3 Cantidad de dispositivos conectados a cada transformador.....	41
Tabla 5.4 Valores del THD de corriente por tipo de armónico en el sistema.	41
Tabla 5.5 Resumen estadístico de la tensión.	43
Tabla 5.6 Fluctuaciones de tensión en la red de la empresa.	44
Tabla 5.7 Cálculo del factor de potencia de desplazamiento.....	44
Tabla 5.8 Valores calculados para obtener el factor de potencia total.	45
Tabla 5.9 Nuevos valores de armónicos.	52
Tabla 5.10 Proforma instalación de filtro pasivo [19] [20].	57

ANEXOS

- Anexo 1 Voltaje RMS del sistema por días en tanto a las líneas. **¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 2 Comportamiento del FLICKER en un lapso de 7 días. **¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 3 Diagrama Unifilar de la empresa BLUNODE **¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 4 Modelado del sistema eléctrico en Power Factory Caso Base **¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 5 Resultados del caso base en Power Factory. **¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 6 Modelado del sistema eléctrico en Power Factory Caso Base con los filtros... **¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 7 Resultados de la simulación en cuanto a la variación de armónicos **¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 8 Corriente armónica de la red eléctrica de la empresa. **¡Error! Marcador no definido.**

4. INFORMACIÓN GENERAL

Título: Análisis de calidad de energía de la empresa “BLUNODE”.

Tipo de Proyecto:

Propuesta Tecnológica

Proyecto de Investigación X

Carrera: Ingeniería en electricidad.

Proyecto de investigación vinculado: Calidad Energética

Equipo de Trabajo:

- Estudiante: Lema Patino Ayliz Lilian
- Tutor: Ing. Gabriel Napoleón Pesantez Palacios MSc.

Área de Conocimiento: 07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0713 Electricidad y Energía.

Línea de Investigación: Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sublíneas de investigación de la Carrera: Control y optimización en el uso de la energía del sector industrial, comercial y residencial.

5. INTRODUCCIÓN

5.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En una empresa de red de procesamiento de datos, las perturbaciones en el sistema eléctrico pueden tener un impacto significativo en la calidad energética. Variaciones de voltaje, cortes de energía y armónicos pueden causar interrupciones en las operaciones críticas del sistema. Estas fluctuaciones comprometen la estabilidad de la red y pueden resultar en pérdidas financieras y de datos. Es esencial implementar medidas de protección para garantizar la continuidad de las operaciones. El 6 de enero del año 2023 la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR) emitió la resolución Nro. ARCERNNR – 003 / 2023 la cual establece índices y límites de calidad del servicio eléctrico [1].

Es así como el desorden presente en el sistema eléctrico de la empresa “BLUNODE”, está causando serios inconvenientes debido al recalentamiento de los transformadores internos, exacerbado por la baja calidad energética. El sobrecalentamiento de los transformadores es especialmente preocupante, ya que compromete la estabilidad operativa de la empresa y puede resultar en daños irreparables en los equipos. El recalentamiento no solo afecta la eficiencia de la operación, sino que también aumenta el riesgo de fallos catastróficos que podrían causar interrupciones prolongadas en la producción de los receptores. Además, los costos asociados con la reparación o reemplazo de los componentes dañados pueden ser significativos, lo que afecta negativamente la rentabilidad de la empresa.

Para resolver esta situación problemática, se requiere una evaluación exhaustiva de la calidad energética y la implementación de medidas correctivas, como la instalación de dispositivos de protección contra sobretensiones y filtros de armónicos, para garantizar un suministro eléctrico confiable y estable. Esto implica examinar minuciosamente la carga eléctrica para elaborar una propuesta que incluya la adopción de técnicas y procedimientos destinados a mejorar los indicadores eléctricos y asegurar el cumplimiento de las regulaciones establecidas en la normativa ARCERNNR – 003 / 202 [1].

5.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Es crucial buscar una solución de forma urgente para garantizar que la empresa tenga acceso a un suministro eléctrico que sea tanto confiable como estable, ya que, de lo contrario, las perturbaciones continuarán afectando negativamente la operación, generando pérdidas financieras y poniendo en riesgo la integridad de los equipos.

5.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

Objetivo de investigación: Empresa “BLUNODE”.

Campo de acción: 3322.99 Otras (Calidad de Energía)

5.4. BENEFICIARIOS

5.4.1. Directos

Una vez solventados los problemas de armónicos generados por las cargas en la red, la empresa BLUNODE será el principal beneficiario ya que una reducción de pérdidas brindará menores probabilidades de que los equipos conectados pierdan su vida útil.

5.4.2. Indirectos

La corrección de los armónicos en la red de la empresa, eliminara el impacto negativo en la planta generadora Hidroabánico, protegiendo los equipos y estabilizando la operación de esta, reduciendo el riesgo de fallas a corto y largo plazo.

5.5. JUSTIFICACIÓN

Para los problemas que se encuentran en la empresa BLUNODE, es necesario realizar un análisis de calidad de energía con la finalidad de encontrar posibles inconvenientes asociados a los mismos, donde el procesamiento de los datos del analizador en cuanto a cálculo, simulaciones y evaluaciones se comprendería de soluciones eficaces al sistema mejorándolo. Este proyecto se llevará a cabo en estricto cumplimiento de la Regulación ARCERNR – 003 / 2023 y conforme a las normativas internacionales vigentes [1].

5.6. HIPÓTESIS

El análisis del sistema en cuanto a la calidad de energía de la red, permitirá identificar los problemas que esta comprende.

5.7. OBJETIVOS

5.7.1. General

- Realizar un análisis de la calidad de energía del sistema eléctrico de la empresa "BLUNODE".

5.7.2. Específicos

- Identificar bases de datos bibliográficos relevantes para una lectura científica actualizada y pertinente relacionada al proyecto, con el fin de establecer una fundamentación teórica sólida.
- Realizar un mapeo detallado de la empresa "BLUNODE", identificando su distribución eléctrica donde se llevarán a cabo mediciones precisas de parámetros relevantes como la calidad de la energía eléctrica y las puestas a tierra.
- Emplear un software especializado para el diseño del sistema eléctrico de la empresa "BLUNODE", con el fin de la emulación de diferentes escenarios operativos y abarcando la valoración en cuanto al impacto de posibles soluciones propuestas en la mejora de la calidad de la energía eléctrica.
- Analizar los problemas de calidad energética asociados a las cargas no lineales, identificando soluciones factibles.

5.8. ANTECEDENTES

Para ese apartado del proyecto se ha considerado estudios previos relacionados al análisis de cargas no lineales relacionadas a la calidad de energía eléctrica de estos, como se lo ve en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Empresas con casos relacionados [2], [3], [4], [5], [6].

Ítem	Nombre	Observaciones	Problemática	Soluciones
1	Investigating the Cryptocurrency Mining Loads' High Penetration Impact on Electric Power Grid	Sugiere que la eficiencia en cuanto a la implementación de CML's (Cargas de Criptominería) en este país son inferiores pero rentables debido a los bajos costos de energía. A pesar de esto la penetración de estos afecta la planificación y operación de la red de distribución aumentando la demanda máxima, lo que provoca el envejecimiento pronto de los transformadores y cables del sistema.	La penetración de cargas no lineales en el SEP, generan un aumento significativo en la demanda de energía, provocando tráfico en las líneas de transmisión elevando los precios de la electricidad donde más afecta es la equidad y competitividad la cual se encuentra afectada a los principios de equidad y competitividad.	La implementación de tarifas dinámicas que reflejen la demanda real de la energía, incentivando a que la empresa de CML operen en horas diarias de menor carga, sugiriendo un desarrollo de infraestructura de transmisión

2	Effects of cryptocurrency mining rig operation on power quality in LV distribution network.	La demanda de procesadores de datos comprende de una demanda de energía constante y alta, donde se observa que la demanda de las plataformas de criptomonedas puede comprender de menor distorsión de corriente siempre y cuando utilicen suministros de energía de la mejor calidad.	Debido a la categoría de carga que se considera a los dispositivos, se comprende de un bajo nivel de calidad de energía debido a la distorsión que estos implementan a la red, observando pérdidas en la red, aumentado la cantidad de energía consumida.	Dentro de las soluciones analizadas en el paper se encontró el mejoramiento de la eficiencia operativa reduciendo así el impacto negativo, también se habla de la implementación de convertidores AC/DC, corrigiendo el factor de potencia reduciendo así significativamente los armónicos de la red.
3	A Power Quality and Load Analysis of a Cryptocurrency Mine	Este artículo comprende del estudio de distribución de tres alimentadores conectados a una mina de criptomonedas donde se encontraron armónicos de tipo tres y cinco, por lo cual se sugiere la instalación de filtros para estos tomando como preocupación mayor el filtro de nivel cinco ya que excede el nivel permitido, cumpliendo así la norma IEEE Std 519.	La mina de cripto minería presenta una distorsión armónica muy significativa con un factor de potencia variable, donde al tener el arranque de las unidades estos se elevan afectando la calidad de la energía.	Las soluciones abordadas para la mejora de calidad de energía abordan el uso de transformadores en conexión delta para así poder filtrar la distorsión armónica sugiriendo que la implementación de compensadores eléctricos debido a alto factor de potencia que obtuvieron.
4	ESTUDIO DEL CONTENIDO DE ARMÓNICOS EN LA FÁBRICA CHAIDE Y CHAIDE S.A. PLANTA GUAYAQUIL PARA	La tesis presenta la identificación del problema relacionado con armónicos, sobretensiones y desequilibrios de tensión los cuales se encuentran afectando la calidad de energía de la empresa, fenómenos como el Flicker se observó como principal autor de las molestias	La problemática principal en la planta Chaide y Chaide S.A. fue la presencia de armónicos en la red, los cuales están afectando la calidad de la energía dando como resultado el daño en equipos y pérdidas de producción, donde los armónicos tienen valores	Para poder realizar una correcta corrección se incluye la monitorización y el análisis de la calidad de energía por medio de dispositivos de medición, permitiendo así la medición e implementación de filtros armónicos tanto

	PROPONER SOLUCIONES DE MEJORA DE LA CALIDAD DE ENERGÍA	operativas requiriendo la implementación de acciones para mejorar los estándares de calidad de energía.	elevados en cuanto a las normativas establecidas, sobretensiones, desequilibrios de tensión, parámetros que se tradujeron en un aumento en la carga de trabajo dando dificultades operativas para la planta.	pasivos como activos, mitigando la generación de armónicos mejorando la eficiencia del sistema eléctrico de la empresa.
5	ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE - SENA CEET.	El estudio a la empresa SENA CEET, contempló la evaluación del estado físico de las instalaciones eléctricas en cuanto al cumplimiento de las normas, donde la necesidad de realizar adaptaciones y mantenimiento en la red eléctrica puede garantizar un suministro adecuado.	Los desbalances de carga en conjunto con altos niveles de armónicos en cuanto a la ineficiencia por parte de las instalaciones eléctricas donde el mantenimiento es casi nulo podrían ser causante de la ineficiencia en la red.	La aplicación de filtros tanto activos como pasivos en conjunto con la redistribución de cargas y mantenimiento correctivo de las instalaciones eléctricas, se propone mejorar las condiciones de eficiencia de aparatos conectados a la red.

5.9. SISTEMAS DE TAREAS

En cuanto compete al control de tiempo del proyecto, se comprende de un sistema de tareas las cuales brindarán una visión más amplia ante el desarrollo del proyecto, detallando sus actividades con respecto a los resultados y técnica como se observa en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Sistema de tareas del plan de titulación.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Identificar bases de datos bibliográficos relevantes para una lectura científica	Investigación concisa en cuanto a proyectos ya realizados referentes a la calidad	Fundamentación teórica.	Indagación por medios verificados y confiables tales como IEEE, entre otros.

<p>actualizada y pertinente relacionada al proyecto, con el fin de establecer una fundamentación teórica sólida.</p>	<p>de energía en industrias de procesadores de datos.</p>		
<p>Realizar un levantamiento de carga de la empresa "BLUNODE", identificando su distribución eléctrica donde se llevará a cabo mediciones precisas de parámetros relevantes como la calidad de la energía eléctrica y las puestas a tierra.</p>	<p>Levantamiento de cargas. Medición de calidad de energía. Medición de puestas a tierra. Medición de resistividad del terreno.</p>	<p>Diagrama unifilar. Base de datos de calidad de energía. Datos de resistencia de puesta a tierra.</p>	<p>Software especializado en dibujo técnico. Uso del equipo medidor de calidad de energía, así como equipos para las puestas a tierra.</p>
<p>Emplear un software especializado para el modelado del sistema eléctrico de la empresa "BLUNODE", con el fin de la emulación de diferentes escenarios operativos y abarcando la valoración en cuanto al impacto de</p>	<p>Modelado del sistema eléctrico de la empresa por medio de un software especializado. Análisis de la base de datos de la calidad de energía</p>	<p>Tabular las perturbaciones eléctricas presentes en el sistema. Modelo del sistema eléctrico. Tabular los armónicos representativos de la red.</p>	<p>Análisis de datos simulación.</p>

<p>posibles soluciones propuestas en la mejora de la calidad de la energía eléctrica.</p>			
<p>Analizar los problemas de calidad energética asociados a las cargas no lineales, identificando soluciones factibles.</p>	<p>Identificar los problemas de calidad de energía y encontrar soluciones para mitigar los problemas asociados a este.</p>	<p>Dimensionamiento de filtros para la reducción asociado a los problemas de armónicos.</p>	<p>Diseño de un plan de acción para la reducción de armónicos del sistema. Tomando en cuenta las normativas ARCERNNR – 003 / 2023. En base a la normativa plantear mejoras</p>

6. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Para poder obtener un entendimiento general de la calidad de energía, se deberá tener en claro definiciones y aspectos generales de datos y normativas, por lo tanto, el capítulo 3 del proyecto dispone abarcar aspectos relevantes para la comprensión al tema del que se va a tratar.

6.1. CALIDAD DE ENERGÍA

La calidad de energía eléctrica se refiere a la capacidad de un sistema eléctrico para suministrar una corriente y un voltaje constantes y sin perturbaciones, que permitan el funcionamiento óptimo de los equipos conectados; una energía de calidad implica que las variaciones en el suministro eléctrico se mantienen dentro de límites aceptables, evitando interrupciones o daños en los dispositivos [7].

6.1.1. Voltaje

Este debe mantenerse dentro de un rango específico alrededor del valor nominal (por ejemplo, $\pm 5\%$ de 230 V en sistemas residenciales), desviaciones significativas pueden causar fallos en los equipos o reducir su vida útil [7].

6.1.2. Frecuencia

En la mayoría de los sistemas eléctricos, la frecuencia estándar es de 50 o 60 Hz. Las variaciones en la frecuencia pueden afectar el rendimiento de motores y otros dispositivos sensibles [7].

6.1.3. Factor de potencia

Es la relación entre la potencia activa (utilizada para realizar trabajo útil) y la potencia aparente (total suministrada); un factor de potencia bajo implica una utilización ineficiente de la energía, resultando en mayores pérdidas y posibles penalizaciones económicas [7].

Este se calcula dividiendo la potencia activa por la potencia aparente de un circuito eléctrico, expresado como se ve en la ecuación (1);

$$fp = \frac{P [w]}{S [VA]} \quad (1)$$

El resultado de esta operación debe pertenecer a un valor entre 0 y 1, mientras más cercano al valor 1 se encuentre, más eficiente es el uso de la energía suministrada [7].

6.2. ARMÓNICOS EN EL SISTEMA

Las variaciones de voltaje, presencia de armónicos y otras perturbaciones pueden dañar equipos sensibles, como sistemas de control, motores y dispositivos electrónicos, teniendo elevados costos de reemplazo o reparación [8].

Para que un armónico se presente en el sistema, existen variaciones de la calidad de la energía las cuales son en disturbios y en variaciones de estado estacionario, características que se verán en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Tipos de armónicos [8].

Tipo	Nombre	Fuente	Caracterización	Efecto
Disturbio Transitorio	Transitorios impulsivos	Descargas atmosféricas y electrostáticas, entrada / salida de cargas, conexión desconexión de capacitores.	Magnitud pico, tiempo de elevación, duración,	Destruyen los chips de computadoras y reguladores de televisores.
	Transitorios oscilatorios.	Switcheo de líneas o cables de capacitores y de cargas, fallas remotas en el sistema.	Formas de onda, magnitud pico, componentes de la frecuencia.	Destruyen los chips de computadoras y reguladores de televisores.
	Sags y Swells	Fallas remotas en el sistema, sistemas de protección, mantenimiento	Valor eficaz contra el tiempo, magnitud, duración.	Sobrecalentamiento de motores, fallos en computadoras.
	Interrupciones	Protecciones del sistema, mantenimiento.	Duración.	Pérdida de producción, salida de operación del equipo.
Variación de estado estacionario.	Sobre voltajes y bajos voltajes	Arranque de motores, variaciones de la carga, tiro de carga.	Valor eficaz contra tiempo, estadísticas.	Se acorta la vida de los motores y de los filamentos de las lámparas.
	Distorsión armónica.	Cargas no lineales, resonancia del sistema.	Espectro armónico, distorsión armónica total, estadísticas.	Sobrecalentamiento de transformadores y motores, operación de

				fusibles y disparo de relevadores de protección, mala operación de medidores.
	Fluctuaciones del voltaje	Cargas intermitentes, arranque de motores, hornos de arco.	Magnitud de la variación, frecuencia de ocurrencia, frecuencia de la modulación.	Parpadeo en lámparas, irritación.

6.3. INDICADORES DE CALIDAD DE ENERGÍA

6.3.1. THD (Total Harmonic Distortion)

El THD mide la distorsión armónica total presente en la señal de voltaje o corriente, un alto THD indica una significativa presencia de armónicos, lo que puede afectar negativamente a los equipos eléctricos, si el voltaje sinusoidal es aplicado a cargas lineales, la corriente de las cargas variaran de acuerdo al voltaje sinusoidal, pero debido a que la cargas son lineales no introducen armónicos a la red de suministro, por otro lado si el voltaje sinusoidal es aplicado a dispositivos de cargas no lineales la corriente a través de estos se distorsiona, introduciendo armónicos sistema, como se ve en la Figura 6.1.

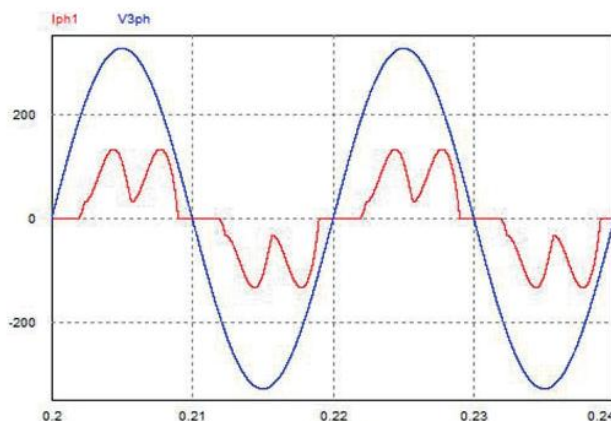


Figura 6.1. Distorsión armónica [9].

De acuerdo a la serie de Fourier la forma de onda no sinusoidal distorsionada se puede resolver con la ecuación (2).

$$y(t) = Y_o + \sum_{h=1}^{\infty} Y_h \sqrt{2} \sin(h\omega t - \varphi_n) \quad (2)$$

Donde,

Y_o es el Valor del componente DC

Y_h es el valor RMS del armónico en orden h

ω es la frecuencia fundamental angular

φ_n es el componente de armónico desplazado en $t = 0$

Cuando la frecuencia fundamental se encuentra afectada se tienen múltiplos pares o impares presentando niveles de armónicos en el sistema como se ve en la Figura 6.2.

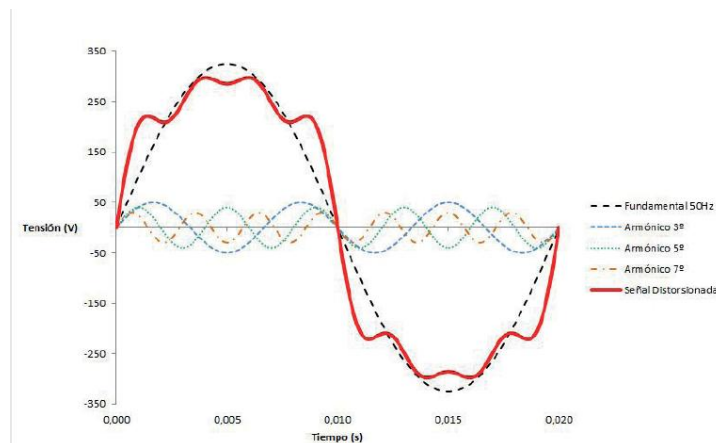


Figura 6.2. Descomposición de una señal distorsionada [9].

Cuando hablamos de una distorsión armónica total se define mediante la ecuación (3).

$$THD = \frac{1}{m} \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} m_h^2} \quad (3)$$

Pero si se pretende tomar los valores de armónicos totales de voltaje se expresa con la ecuación (4).

$$THD_v(\%) = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + V_5^2 + V_6^2 + V_7^2}}{V_1} * 100 \quad (4)$$

Donde V_2, V_3, V_4 son armónicos de voltaje y V_1 es la fundamental de voltaje, por tanto, la ecuación (5) es la generalizada de la distorsión armónica de voltaje total,

$$THD_v(\%) = \frac{1}{V_1} \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2} * 100 \quad (5)$$

Así mismo se tiene por el lado de la corriente en la carga donde se encuentra como la ecuación (6),

$$THD_i(\%) = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + I_6^2 + I_7^2}}{I_1} * 100 \quad (6)$$

Teniendo la generalizada como como la ecuación (7).

$$THD_i(\%) = \frac{1}{I_1} \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2} * 100 \quad (7)$$

6.3.1. SAG y SWELLS

El termino SAG es usado dentro de la comunidad de calidad de energía como un sinónimo del término en inglés dip de la IEC, por otro lado, el término SWELL es lo inverso al SAG (dip), estos términos son usados dentro de las variaciones rms (Root Medium Square) del voltaje o corriente en tanto a la medición del nominal [7].

Los SAG son caídas de tensión que ocurren cuando el voltaje de la red desciende por un corto periodo de tiempo el cual puede durar de milisegundos hasta unos cuantos segundos y por lo general es debido a la introducción de altas cargas a la red o también puede darse debido a cortocircuitos que pudiesen suceder. Si los SAG presentes en la red son frecuentes pueden ocasionar daños significativos en los dispositivos conectados [10].

Por otro lado, el SWELL como se mencionó anteriormente, es lo contrario del SAG, es decir que al referirse al término SWELL se habla de un aumento del voltaje en la red donde al existir

una desconexión de energía grande, el sistema termina con un exceso de voltaje perjudicando a la vida útil de los equipos que se encuentren conectados al sistema, donde por su puesto en situaciones desfavorables estos colapsarán quemándose por dentro [10].

Estos eventos se pueden registrar con la ayuda de un medidor de calidad de energía, del cual tomando el valor por unidad del parámetro que se desee analizar, se podrá ubicar dentro o fuera de los límites de calidad de energía, límites los cuales se definen en cuanto a la duración por ciclo representado en segundos ante un límite de valor por unidad, esto representado en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2 Características de los fenómenos SAG y SWELL [7].

Variaciones de raíz cuadrada media (rms) de corta duración			
		Duración Típica	Magnitud de voltaje típico.
Instantáneas	SAG	0.5 - 30 ciclos	0.1 - 0.9 pu
	SWELL	0.5 - 30 ciclos	1.1 - 1.8 pu
Momentánea	Interrupción	0.1 ciclos – 3s	< 0.1 pu
	SAG	30 ciclos – 3s	0.1 - 0.9 pu
	SWELL	30 ciclos – 3s	1.1 - 1.4 pu
Temporal	Interrupción	>3 - 1 min	< 0.1 pu
	SAG	>3 - 1 min	0.1 – 0.9 pu
	SWELL	>3 - 1 min	1.1 – 1.2 pu

6.3.2. FLICKER

El término flicker, se deriva de cómo la fluctuación del voltaje impacta en la proporción de la iluminación, este fenómeno electromagnético en conjunto con un parpadeo lumínico, es un resultado negativo no deseado para el ojo humano [7]. Los flicker dependen del porcentaje de fluctuación con respecto al tiempo de duración, tal como se observa en la Figura 6.3.

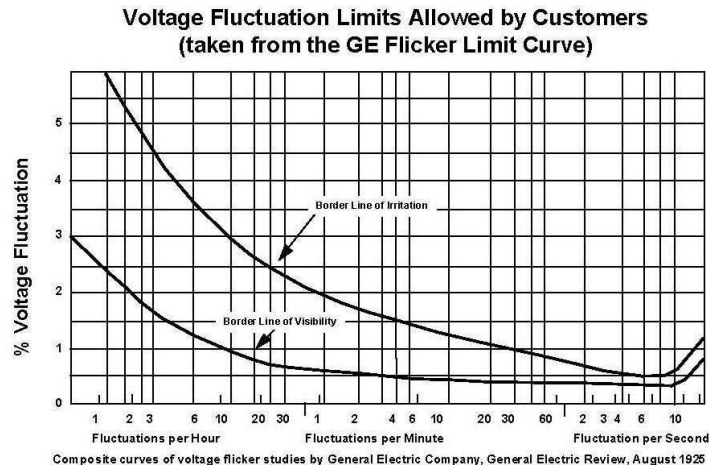


Figura 6.3 Límites permitidos por los clientes en cuanto las fluctuaciones de voltaje [11].

6.4. PROCESADORES DE DATOS

6.4.1. Equipos ASIC (Circuito Integrado para Aplicaciones Específicas)

La criptominería ha evolucionado hasta convertirse en una actividad altamente especializada, donde los equipos ASIC han demostrado esencialidad a la hora de implementar equipos de procesamiento de datos. Estos equipos están diseñados exclusivamente para procesar cálculos en bitcoins, estos equipos son muy característicos debido a su velocidad y eficiencia la cual actualmente se considera difícil de igualar [12].

Además, su eficiencia energética es un factor clave ya que logran una mayor producción de criptomonedas con un consumo eléctrico relativamente bajo en comparación con generaciones anteriores [12].

6.4.2. Consumo Energético y Requerimientos de Infraestructura

El uso de equipos ASIC en criptominería demanda una infraestructura eléctrica grande debido a su alto consumo energético. Por ejemplo, un solo Antminer S19 puede consumir hasta 3,500 W en operación continua, lo que implica la necesidad de contar con sistemas de distribución eléctrica capaces de soportar estas demandas sin comprometer la estabilidad del suministro. Así también, el diseño de los espacios de los procesadores de datos debe considerar sistemas de ventilación y refrigeración eficientes, ya que estos equipos generan cantidades significativas de calor durante su funcionamiento [12].

6.5. IMPACTO DE LA CALIDAD DE ENERGIA EN EL DESEMPEÑO DE EQUIPOS ASIC

En el contexto de los equipos ASIC, son dispositivos los cuales están diseñados específicamente para el análisis y calculo intensivo con alta eficiencia y rendimiento, a diferencia de los procesadores normales como los CPU o GPU, los ASIC ejecutan muchas operaciones concretas de forma rápida [12].

La calidad de energía suministrada para estos equipos es fundamental debido a las siguientes razones.

6.5.1. Sensibilidad a las fluctuaciones.

Los equipos ASIC requieren de un suministro continuo y estable, las fluctuaciones de voltaje o frecuencia pueden reducir la eficiencia operativa de esto, aumentado la tasa de errores en los cálculos y en los peores casos las pérdidas de estos equipos debido a daños permanentes en el hardware del mismo [12].

6.5.2. Necesidad de sistemas de protección.

Para poder garantizar un funcionamiento ideal por parte de los equipos, brindando una vida útil considerable de los equipos ASIC, es esencial implementar medidas que comprometan la seguridad del suministro y la calidad de la energía, tales como filtros de armónicos, estabilizadores de voltaje y/o sistemas de alimentación ininterrumpida [12].

6.6. MITIGACIÓN DE ARMÓNICOS

Para que la calidad de energía, en especial en áreas industriales donde su principal carga son las no lineales e introducen armónicos a la red, se comprende de la implementación de filtros de armónicos los cuales pueden ser pasivos o activos, en donde los filtros pasivos usan componentes pasivos sintonizados a la frecuencia y los activos usan electrónica de potencias para cancelar los componentes armónicos [13].

En diferentes casos de reducción de distorsión armónica se pueden implementar bobinas de corriente alterna para filtrar la corriente de línea. Los rectificadores son también efectivos debido a que actúan en los pulsos y cancelan ciertos tipos de armónicos. La medición y monitoreo es también fundamental para un análisis inicial del sistema eléctrico el cual se puede valorar por medio de aparatos medidores de calidad de energía [9].

A pesar de todas estas medidas de precaución se debe tomar en cuenta también la correcta distribución de las cargas y el uso apropiado de conductores que se comprendan de una baja impedancia y pueden ayudar a minimizar la generación de los armónicos desde el principio, ya que la fuerte presencia de armónicos puede dañar los equipos, así como disparos erróneos de protecciones, reducción de vida útil y aumento de costos operativos [13].

6.7. SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

El sistema de puesta a tierra puede disminuir la distorsión armónica al ofrecer un camino de baja impedancia para las corrientes armónicas, lo que reduce su circulación en el sistema eléctrico, la puesta a tierra no solo mejora la calidad, sino que también protege los equipos conectados, extendiendo su vida útil y asegurando un funcionamiento más eficiente [13].

Una mala puesta a tierra puede causar serios problemas en cuanto a la seguridad de las personas como para los equipos eléctricos, aumentando el riesgo de electrocutar a las personas que operen el sistema en caso de fallas la corriente, podría tomar caminos peligrosos provocando descargas a quienes toquen superficies metálicas. También puede causar daños a la infraestructura provocando incendios no deseados, además de interferencias que afecten el funcionamiento de ciertos dispositivos, provocando pérdidas de datos o fallos. Donde al final se puede decir que una mal puesta a tierra puede comprometer la seguridad y el correcto funcionamiento de una instalación.

6.8. NORMATIVAS

6.8.1. ARCENNER 003/2023

Esta normativa ecuatoriana, establece los límites y regulaciones para poder garantizar una buena calidad energética en la red eléctrica definiendo valores máximos permitidos para la distorsión armónica, especificando pruebas para monitorear la red minimizando el impacto de las cargas no lineales en el sistema eléctrico, en Ecuador su cumplimiento es muy importante para poder evitar multas manteniendo una estabilidad en cuanto a distribuidoras consumidores [1].

6.8.2. IEEE 519 - 2014

Esta norma define los límites armónicos permitidos para evitar casos de sobrecalentamiento y mal funcionamiento de equipos, estableciendo valores máximos de distorsión tanto como en voltaje como en corriente y recomienda en cuanto a cómo medirlos y controlarlos, en el país

muchas industrias y operadoras la usan mucho como referencia para evaluar y corregir problemas de armónicos en instalaciones. [14].

6.8.3. IEEE 1159

Esta normativa se enfoca en la medición y monitoreo de la calidad de la energía eléctrica, clasificando eventos como las caídas de voltaje, sobrevoltajes y/o distorsiones armónicas proporcionando guías sobre como evaluar estos problemas y cuáles serían las herramientas para analizarlos. [7].

7. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

Para iniciar el análisis del sistema es necesario tener la información actualizada del sistema eléctrico, lo cual se refleja en un Diagrama Unifilar, en caso de no disponer del mismo, el primer paso a desarrollar será elaborar dicho diagrama.

A partir de la información recopilada, se procede a instalar equipos de medición de calidad de energía en puntos clave, seleccionados para garantizar la obtención de datos precisos y representativos, todo esto apoyado en la normativa IEEE std 1159.

Una vez ubicado el analizador de calidad de energía se configura el mismo para cumplir con los datos mínimos solicitados por la normativa nacional ARCENNER 003-2023, la cual brinda los lineamientos básicos en esta temática.

Posterior al desarrollo de las etapas preliminares, se procedió a realizar un análisis integral de las configuraciones de fuga de corriente. El estudio comprendió un levantamiento detallado de la resistividad del terreno en el área de trabajo, ejecutando mediciones que contemplaron la determinación de parámetros primordiales como resistencia a tierra y resistividad del terreno.

Conforme a la información levantada y analizada se modeló el sistema en un software especializado. Esta herramienta permite visualizar la respuesta del sistema eléctrico, facilitando así la organización de soluciones efectivas para la red de la empresa.

Finalmente, con base a la simulación se procede al dimensionamiento y modelado del filtro para poder así garantizar una mitigación efectiva en cuanto a la distorsión armónica de la red, se seleccionará el tipo de filtro más adecuado en cuanto a las dimensiones de armónicos.

Tomando en cuenta lo previamente redactado se procede a generar un diagrama de flujo el cual se muestra en la Figura 7.1.

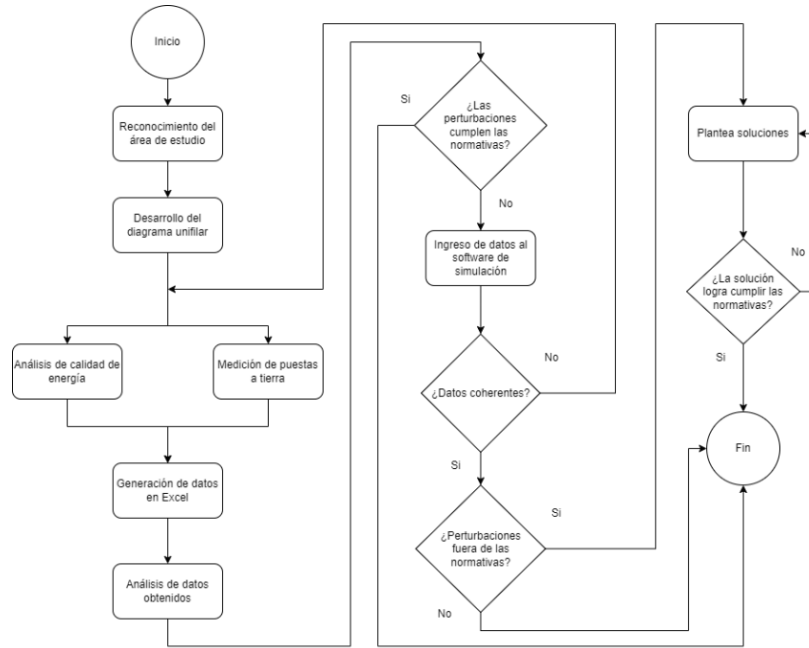


Figura 7.1. Diagrama de flujo.

7.1.LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

7.1.1. Sistema eléctrico

Dentro del proceso de inspección del terreno para identificar los componentes de la instalación eléctrica de la empresa, se toma en cuenta desde el punto de conexión a la red hasta los dispositivos conectados. Por tanto, se añade información primordial como caja de revisión y distribución, transformadores, tableros, cargas distribuidas y características de cableado. Siendo estos expresados por medio de simbología adecuada a cada uno, para poder así representarse adecuadamente y comprender el flujo del sistema con la ayuda de un software especializado.

7.1.2. Puesta a tierra

Para poder apreciar la estabilidad del sistema de puesta a tierra, se utilizó la pinza Fluke 1630, la cual se encarga de la medición de la resistencia de puesta a tierra, este se comprende por una mordaza la cual rodea el cable de puesta a tierra cumpliendo el manual de usuario Earth Ground Clamp 1630 [15], como se puede observar en la Figura 7.2 y Figura 7.3.

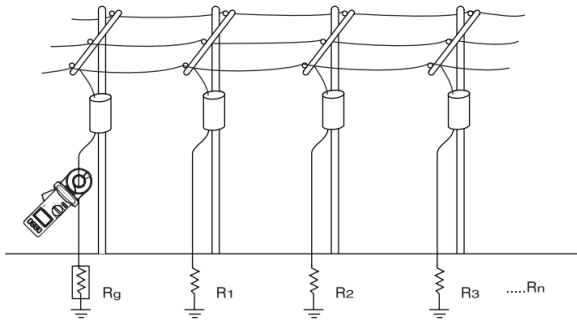


Figura 7.2. Principios de la puesta a tierra [15].



Figura 7.3. Uso de la pinza amperimétrica.

Por otro lado, se realizó la medición de la resistividad del terreno mediante el Fluke 1625-2 GEO, utilizando la configuración de cuatro polos, la cual se puede observar en la Figura 7.4 y Figura 7.5 [16].

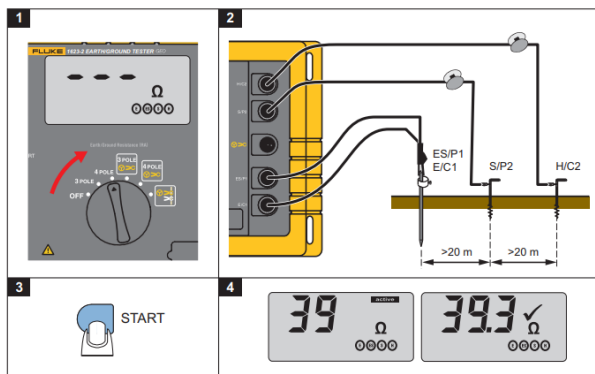


Figura 7.4. Mediciones RA de cuatro polos [16].

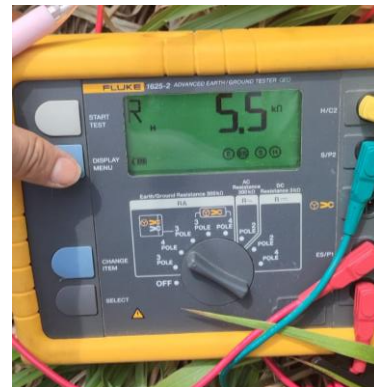


Figura 7.5. Medida de resistividad de puesta a tierra del lado norte de la empresa.

7.2. ANÁLISIS DE DATOS

7.2.1. Ubicación de los equipos

En situación del analizador de red FLUKE 435 Series II, el cual ofrece un registro de señales de entrada conforme a la norma IEC61000-4-30 2003 clase A, el cual comprende de una memoria adicional para poder obtener los datos registrados. Su instalación en el sistema procede al de un sistema trifásico donde la conexión es tal se muestra en la Figura 7.6 [17].

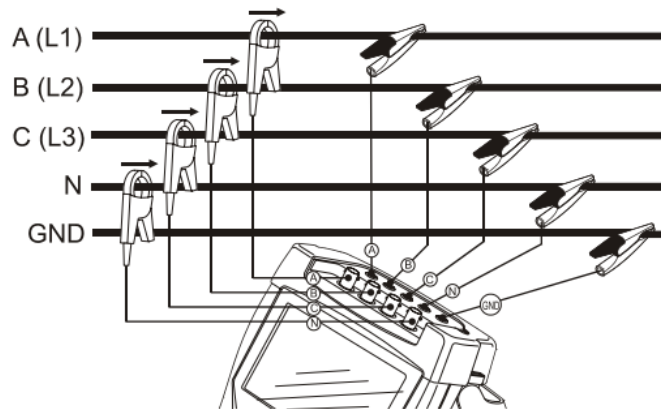


Figura 7.6. Conexión del analizador de red al sistema trifásico de una red [17].

Una vez determinado el tipo de conexión se procede a definir el lugar donde se deberá ubicar el analizador de red, área la cual dependerá del objetivo del monitoreo, entonces si el caso de análisis se debe a la investigación de la calidad general de una instalación, el equipo deberá de colocarse en el secundario del transformador, ya que el monitor registrara así la calidad de energía suministrada a la instalación así como de la reacción de las cargas dentro del sistema, en la Figura 7.7, se puede observar los sectores donde se sugiere ubicar el medidor de calidad de energía.

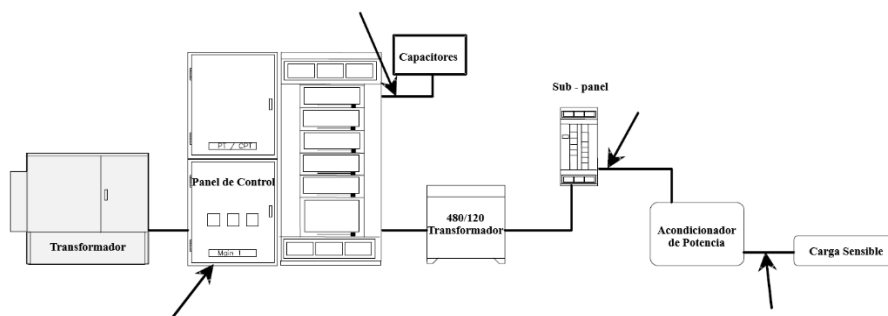


Figura 7.7 Ubicaciones sugeridas para el monitoreo de bajo voltaje.

Es así como se accedió al sistema eléctrico de la empresa para poder realizar la respectiva instalación de este y tomar las medidas necesarias como se observa en la Figura 7.8.

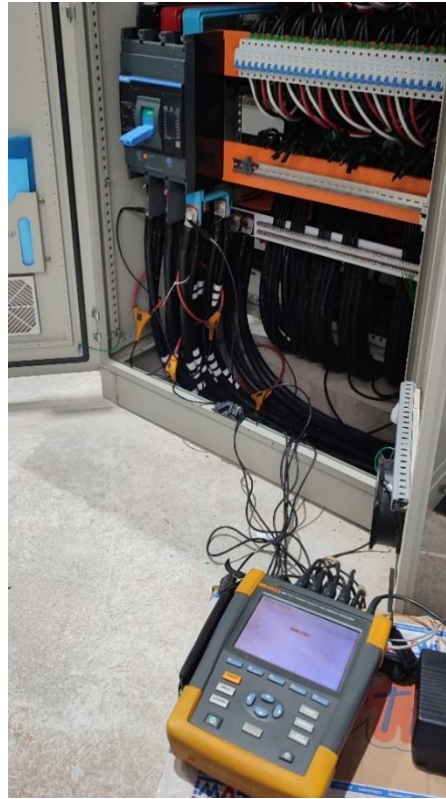


Figura 7.8. FLUKE 435 instalado en la empresa BLUNODE.

7.3.ANALISIS DE DATOS EN BASE A LA NORMATIVA ARCENNER 003/2023

La normativa ARCENNER 003/2023 al establecer indicadores y límites de calidad, presenta la regulación para el cumplimiento de estos.

7.3.1. Nivel de voltaje

Este se determina con la ecuación (8).

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} \times 100 [\%] \quad (8)$$

Donde

ΔV_k = Es la variación de suministro en cuanto al voltaje nominal k

V_k = Es el voltaje de suministro en el punto k

V_N = Es el voltaje nominal en el punto k

Donde si hablamos de alto voltaje el rango admisible de nivel de voltaje es de $\pm 5.0 \%$, para medio voltaje es de $\pm 6.0 \%$ y para bajo voltaje es de $\pm 8.0 \%$.

7.3.2. Armónicos de voltaje

Para su evaluación se toma la distorsión armónica individual de voltaje y la distorsión armónica total de voltaje en cuanto a las siguientes ecuaciones (9)(10)(11).

$$V_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (V_{h,i})^2} \quad (9)$$

$$DV_{h,k} = \frac{V_{h,k}}{V_{h,1}} \times 100 [\%] \quad (10)$$

$$THD_k = \left[\frac{1}{V_{h,1}} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (V_{h,k})^2} \right] \times 100 \quad (11)$$

Donde

$V_{h,k}$ = Es la armónica de voltaje en el intervalo k

$V_{h,i}$ = Es el valor eficaz de la armónica de voltaje h medido cada 3 s

$DV_{h,k}$ = Es el factor de distorsión individual de voltaje de la armónica h

$V_{h,1}$ = Es el valor eficaz de la componente fundamental de voltaje

THD_k = Es el factor de distracción armónica del voltaje

Los límites máximos de armónicos de voltaje son los que se presentan en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1. Límites de armónicos de voltaje [1].

Nivel de voltaje	Factor de distorsión armónica individual (%)	THD (%)
Bajo voltaje	5.0	8.0
Medio voltaje	3.0	5.0
Alto voltaje (Grupo 1)	1.5	2.5
Alto voltaje (Grupo 2)	1.0	1.5

7.3.3. Armónicos de corriente

Se evalúan la distorsión armónica individual de corriente y la distorsión de demanda total, conforme las ecuaciones (12)(13)(14).

$$I_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (I_{h,i})^2} \quad (12)$$

$$DI_{h,k} = \frac{I_{h,k}}{I_{h,1}} \times 100 \text{ [%]} \quad (13)$$

$$TDD_k = \left[\frac{1}{I_{h,1}} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (I_{h,k})^2} \right] \times 100 \quad (14)$$

Donde

$I_{h,k}$ = Es la armónica de corriente en el intervalo k

$I_{h,i}$ = Es el valor eficaz de la armónica de corriente h medido cada 3 s

$DI_{h,k}$ = Es el factor de distorsión individual de corriente de la armónica h

$I_{h,1}$ = Es el valor eficaz de la componente fundamental de corriente

TDD_k = Es el factor de distracción armónica del corriente

Donde los límites de distorsión armónica se presentan en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2. Niveles máximos de distorsión armónica de corriente.

Nivel máximo de armónicos impares (% de la corriente máxima de demanda)						
I_{cc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	TDD
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0

100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

7.4. MODELADO DEL SISTEMA EN UN SOFTWARE ESPECIALIZADO

Es así como para se implementan los datos del sistema en el software Power Factory, donde después de ya tener la estructuración de la red de la empresa.

Entonces para poder entrar en contexto de armónicos en el software, es necesario cambiar la caja de herramientas para poder observar cómo las variaciones actúan en el sistema, para esto se debe realizar el procedimiento de la Figura 7.9 donde al seleccionar Power Quality and Harmonic's se mostrarán las opciones que se utilizarán.

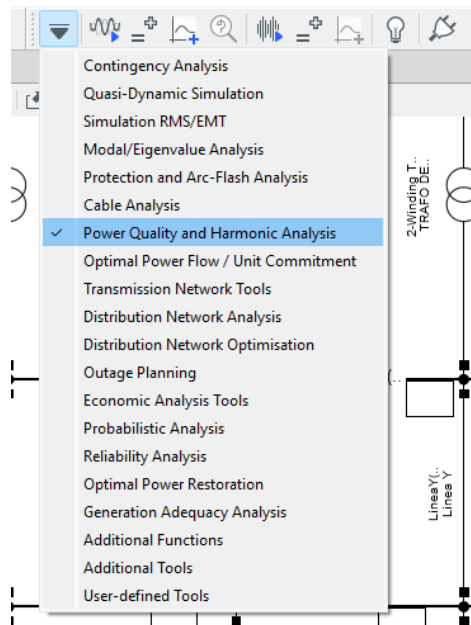


Figura 7.9 Selección de la caja de herramientas.

Para poder modelar las cargas en cuanto a los armónicos presentes en el sistema, al escoger el tipo de la carga en la sección de Power Quality / Harmonics, se debe escoger el modelo de la carga como Current Source como se ve en la Figura 7.10.

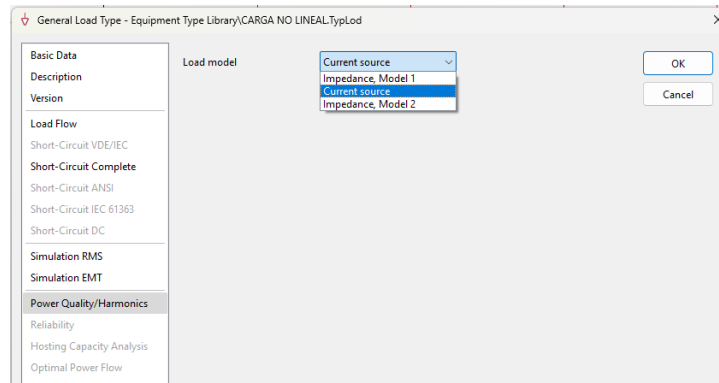


Figura 7.10 Selección del tipo de carga.

Una vez elegido el tipo de carga, en carga general en la sección Power Quality / Harmonics de esta ventana, se habilitarán el ingreso de armónicos en esta como se ve en la Figura 7.11.

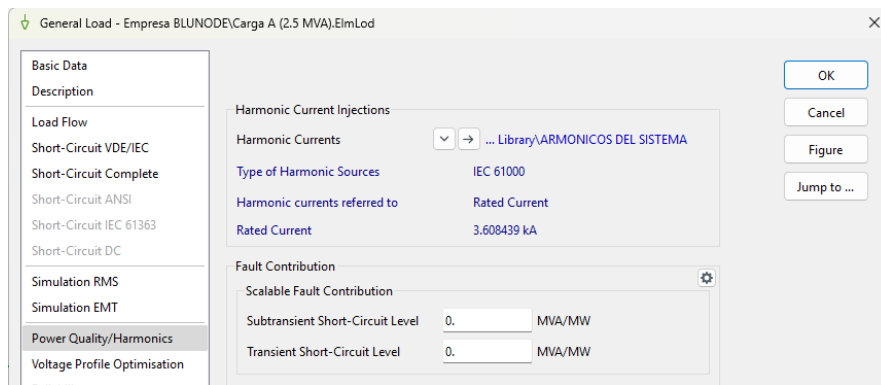


Figura 7.11 Área habilitada para el ingreso de armónicos en la carga.

Una vez en esta parte de la ventana, se procede a ingresar los armónicos en la sección Harmonic Current Injection, donde después de seleccionar tipo de fuente armónica en la sección de Type of Armonic Sources, se ingresan los armónicos por tipo en porcentajes, como se observa en la Figura 7.12.

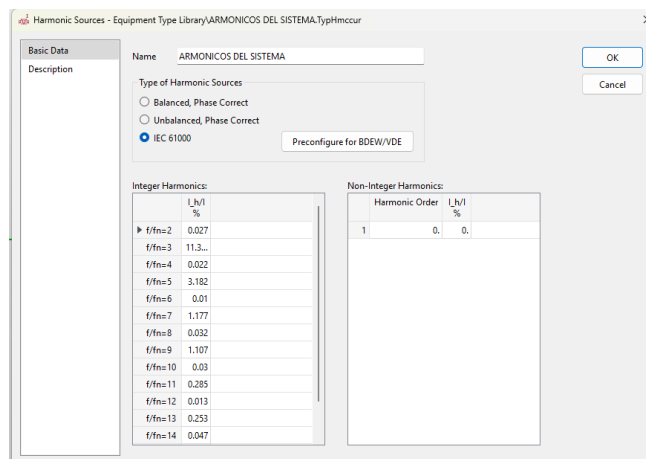


Figura 7.12 Selección del tipo de armónico en la carga e ingreso de datos.

7.5. ARMÓNICOS

Las formulas fundamentales para evaluar la distorsión armónica del sistema eléctrico de la empresa, se mostrará a continuación, donde se tomará en cuenta el impacto en el factor de potencia y la potencia consumida por los armónicos.

Para el índice de armónico en un solo valor se consideró la ecuación (15), la cual cuantifica la distorsión en la corriente debido a la presencia de los armónicos, representando la suma de las corrientes armónicas y la corriente fundamental donde si los valores de THD son altos indican una mayor contaminación armónica.

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (I^{(h)})^2}}{I^{(1)}} \times 100 \quad (15)$$

El factor de potencia total, el cual refleja la eficiencia general del sistema eléctrico con la ecuación (16).

$$fp_T = fp_{desp} * fp_{dist} \quad (16)$$

El factor de potencia de distorsión expresado en la ecuación (17) es donde se mide la reducción del factor de potencia debido a la distorsión armónica, donde, si el THD de corriente es mayor, el factor de desplazamiento será menor, lo cual indica que existe daño a la calidad de energía.

$$fp_{dist} = \frac{1}{\sqrt{(THD_i)^2 + 1}} \quad (17)$$

La ecuación (18), indica el factor de Potencia de desplazamiento, el cual es el factor de potencia, pero considerando solo los componentes base, sin incluir los armónicos.

$$fp_{desp} = \frac{P}{Q} \quad (18)$$

La potencia consumida por los armónicos expresado en la ecuación (19), determina la potencia activa consumida por cada armónico en la red, estas pérdidas pueden afectar al desempeño de los equipos que estén conectado a la red.

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} V_h * I_h \cos(\theta_h) \quad (19)$$

En este caso se ajusta la ecuación dado que $\cos(\theta_h)$ se aproxima a la capacidad de la corriente armónica para la generar la potencia activa, este termino puede reemplazarse usando el factor de potencia total, debido a que esta combina el desplazamiento y la distorsión armónica de toda la red.

7.6. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES

7.6.1. Dimensionamiento del filtro

Para dimensionar el filtro se inicia considerando la corriente que este debe soportar, por lo cual al calcularlo este depende de la corriente armónica total y de un factor de corrección basado en la altitud de la empresa expresado en pies, ajuste que es necesario debido a que la altitud también afecta la capacidad térmica incluso de la eficiencia de los elementos, dicha ecuación (20), también toma en cuenta la corriente de los bancos de condensadores, pero debido a que la empresa no comprende de estos, este valor será igual a cero.

$$I_{filtr} = I_{arm} * \left(\frac{altitud}{1000} - 0.1 \right) + I_{banco \ condensadores} \quad (20)$$

En cuanto al cálculo para obtener las corrientes armónicas se tiene la ecuación (21), donde al tener la raíz cuadrada de la suma de los armónicos y se comprende de la magnitud de la distorsión en la red.

$$I_{arm} = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2} \quad (21)$$

Así también se tomará en cuenta la potencia de pérdidas considerando la pérdida de los conductores y otros elementos del sistema, donde con la ecuación (22), se tiene la resistencia del conductor multiplicada a la corriente del armónico.

$$P_{p\acute{e}rdida} = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2} \quad (22)$$

7.6.2. Filtro Pasivo

En la red se presentan armónicos, por lo cual el uso de filtros pasivos es la solución viable ante la problemática, el diseño de estos filtros se basa en los circuitos L (Inductor) y C (Capacitor), los cuales se ajustan para coincidir con la frecuencia del armónico que se quiere eliminar.

La frecuencia de resonancia se expresa en la ecuación (23).

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (23)$$

Tomando como base la ecuación (23), y una vez despejado L, se presenta la ecuación (24).

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C} \quad (24)$$

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el capítulo 5 se presentarán los resultados en cuanto a la metodología la cual fue desarrollada en la empresa "BLUNODE", entidad que se encuentra ubicada en la provincia de Morona Santiago, cuya actividad económica principal es el procesamiento masivo de datos digitales.

La alimentación principal de la entidad proviene de una conexión a media tensión de 22 kV. La energía se distribuye, mediante una caja de derivación, a un banco de ocho transformadores: dos unidades de 2.5 [MVA] y seis de 1 [MVA].

Estos transformadores reducen la tensión a 0.4 kV para alimentar los tableros que energizan las aproximadamente 250 unidades de procesamiento de datos por tablero (230 V, 60 Hz).

Todo dato relevante fue tabulado, procesado, medido, comparado, graficado y simulado, con el fin de poder apreciar los siguientes apartados en los cuales se podrá percibir como el sistema interconectado de la empresa BLUNODE actúa las 24 horas del día.

8.1. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA EMPRESA BLUNODE

8.1.1. Diagrama Unifilar

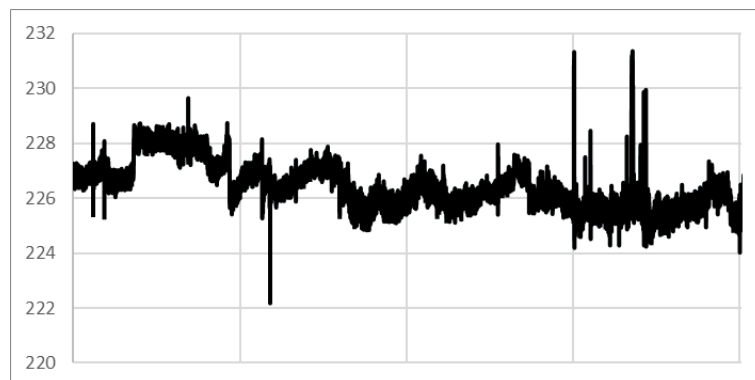
Para abordar el proyecto, se inició con la recopilación de información mediante la elaboración de un diagrama unifilar (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), que permite entender de mejor manera la distribución y diseño del sistema eléctrico de la entidad.

A continuación, se realizó la toma de datos del sistema por medio de un analizador de calidad de energía. Los valores obtenidos fueron registrados durante siete días, con una frecuencia de muestreo de 3 segundos, teniendo un total de 201,600 datos por señal. Este proceso permitirá evaluar de manera concisa tanto el comportamiento del sistema como del actuar de las cargas.

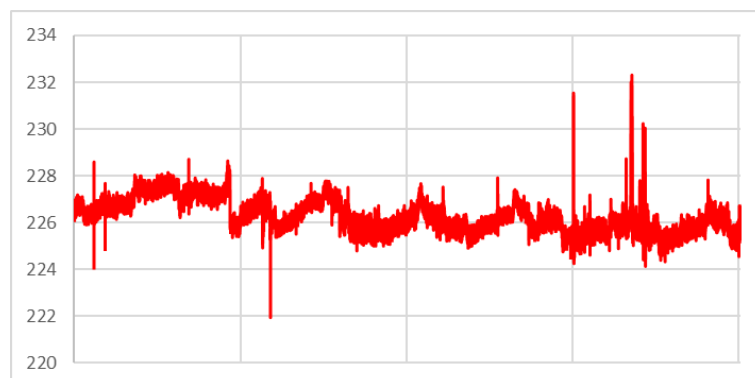
8.2. ANÁLISIS DE DATOS DE VOLTAJES, CORRIENTES Y POTENCIAS.

8.2.1. Voltaje

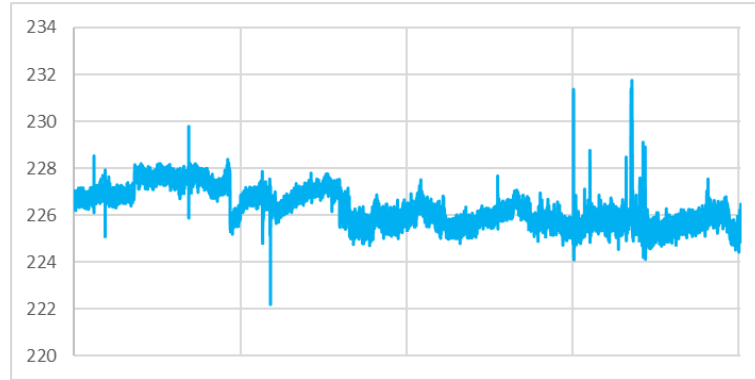
El comportamiento de las líneas de voltaje como se ve en la Figura 8.1, comprende un valor de entre 224 y 230 V de las líneas, siendo este rango un estado operativo estable. A pesar de esto se pueden observar caídas significativas las cuales deberán estar relacionados con eventos transitorios o perturbaciones de la red.



(a) L1 [v]



(b) L2 [v]

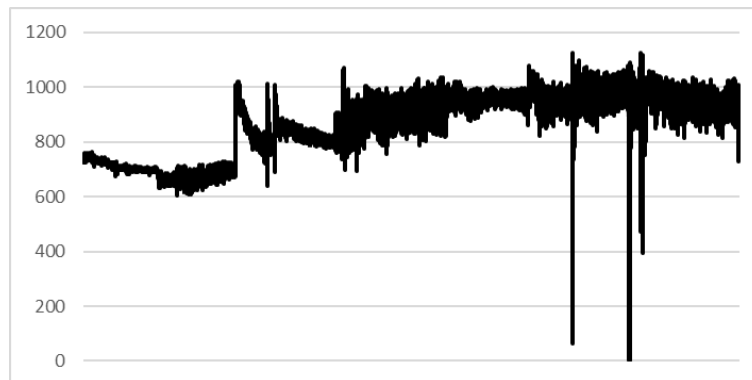


(c) L3 [v]

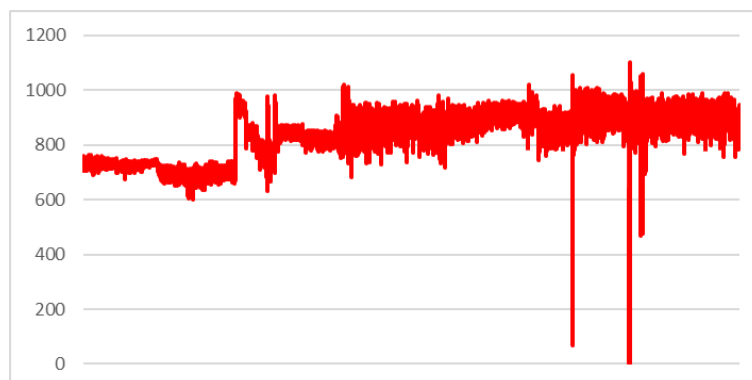
Figura 8.1. Comportamiento de las fases de voltaje de la red en un lapso de siete días.

8.2.2. Corriente

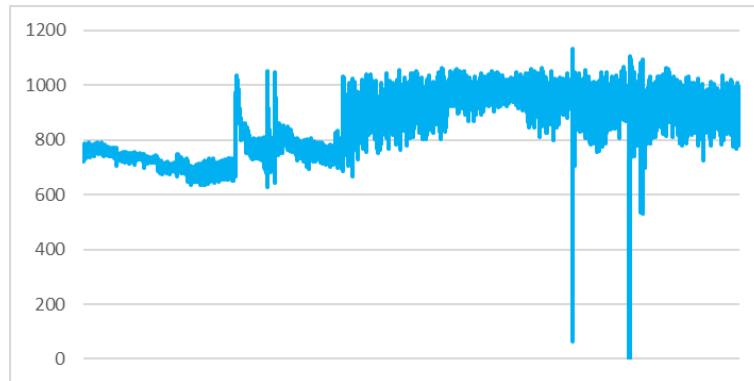
La Figura 8.2 de las líneas en cuanto a la corriente, expresan que el valor oscila alrededor de los 800 A, con ciertos picos que llegan hasta los 1100 A, presentando caídas de corriente de hasta cero, lo cual expresa interrupciones o alteraciones siendo posiblemente fluctuaciones de la red.



(a) L1 [A]



(b) L2 [A]



(c) L3 [A]

Figura 8.2. Comportamiento de las fases de corriente de la red en un lapso de siete días.

8.2.3. Factor de potencia

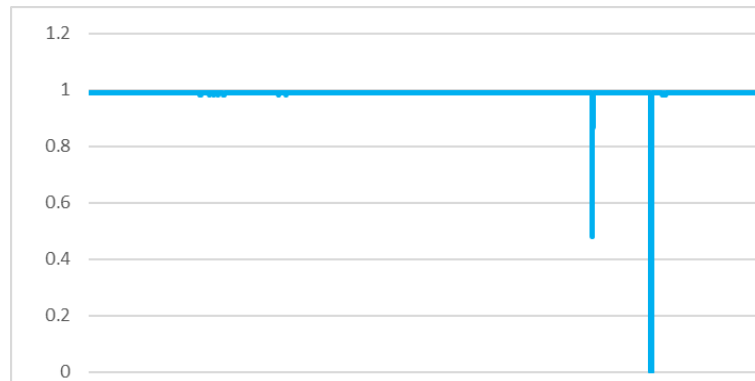
La Figura 8.3 de las líneas del factor de potencia se mantienen cerca de 1 la mayor parte del tiempo, significando un correcto comportamiento operacional del sistema eléctrico. Sin embargo, en el mismo lapso de tiempo que los voltajes y corrientes se aprecia de dos eventos donde el factor de potencia decae hasta incluso llegar a cero, indicando condiciones de posible desconexión o la pérdida total de la potencia activa.



(a) L1 del factor de potencia



(b) L2 del factor de potencia

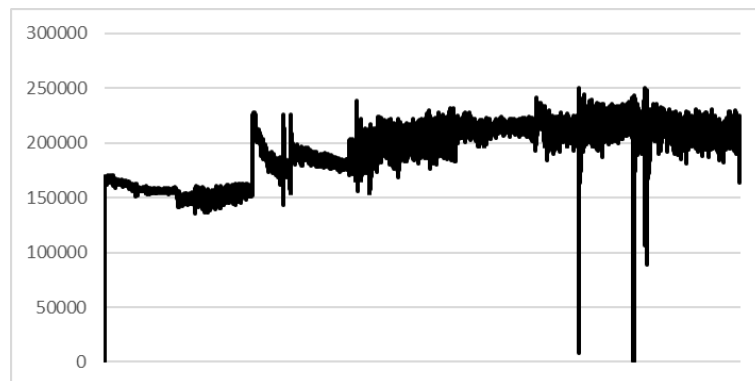


(c) L3 del factor de potencia.

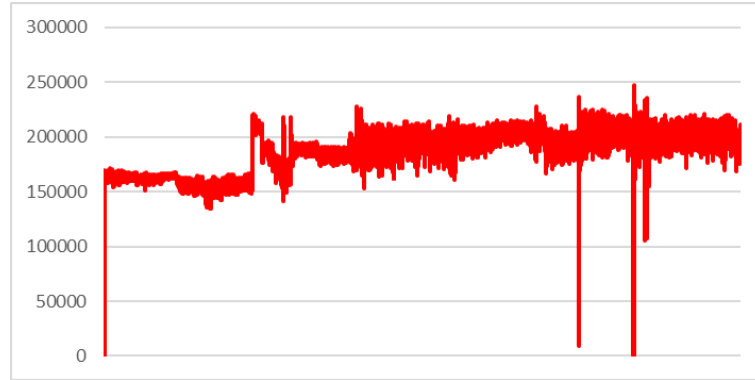
Figura 8.3. Comportamiento de las fases en cuanto al factor de potencia de la red en un lapso de siete días.

8.2.4. Potencia activa

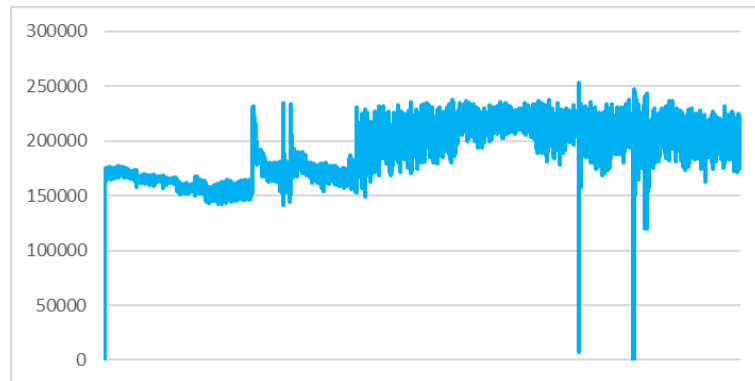
El factor de potencia activa para las tres líneas de la Figura 8.4, muestra un nivel similar estable de comportamiento, a pesar de esto, hay caídas significativas en varios eventos de las líneas, lo cual podría deberse a perturbaciones de la red, desconexiones o fallas en el sistema.



(a) L1 del factor de potencia



(b) L2 del factor de potencia



(c) L3 del factor de potencia

Figura 8.4 Comportamiento de las fases de potencia activa de la red en un lapso de siete días.

8.3. ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS POR EL ANALIZADOR DE RED FLUKE EN CUANTO AL NEUTRO

8.3.1. Voltaje

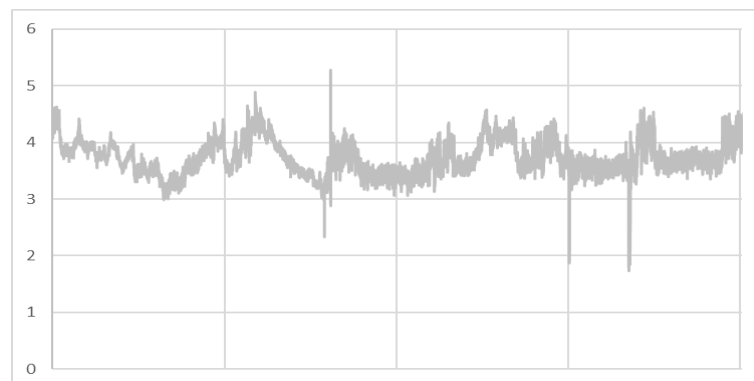


Figura 8.5 Comportamiento del neutro del voltaje de la red en un lapso de siete días.

El neutro del voltaje de la Figura 8.5, tiene un intervalo de 3 y 6 V, lo que sugiere descompensación en las fases del sistema, en valores ideales este debería de estar cerca del cero, estas podrían deberes a desbalances en las cargas o problemas de conexión.

8.3.2. Corriente



Figura 8.6 Comportamiento del neutro de la corriente de la red en un lapso de siete días.

La corriente en el neutro de la Figura 8.6, presenta datos de entre 225 y 375 A, con algunas caídas de hasta 0 A, estas caídas presentan un comportamiento que podría deberse a desbalances entre las corrientes de fases, ya que existe una circulación muy notable de corriente por el neutro, por lo cual podría afectar la estabilidad y eficiencia del sistema.

8.4. ANÁLISIS DE DATOS DE PUESTA A TIERRA

8.4.1. Resistividad del terreno

Las medidas de resistividad del terreno se pueden observar en la Tabla 8.1, la cual se realizó con la medición de cuatro polos con una distancia entre picas de 5m, a una profundidad de 30cm.

Tabla 8.1 Resistividad del terreno.

	RH (Ω)	RS (Ω)
LADO NORTE	0.0055	0.0115
LADO SUR	0.0054	0.0044
LADO ESTE	0.036	0.0137

En base a los datos recibidos por el analizador, donde mientras más baja sea la resistencia del terreno en ohmios, es más probable que el sistema tenga una buena resistividad, por lo tanto, el sistema no presente problemas relacionados al suelo [18].

8.4.2. Resistencia de puestas a tierra.

Los valores obtenidos por las puestas a tierra que se presentan en la Tabla 8.2.

Tabla 8.2 Resistencia de las puestas a tierra.

PUESTAS A TIERRA					
	MEDIDOR				
		RESISTENCIA (Ω)			
	1	0.902			
	CAJA MANIOBRAS				
		RESISTENCIA (Ω)			
	IN	0.077			
	OUT	0.101			
		0.077			
GALPON 1			GALPON 2		
		RESISTENCIA (Ω)		RESISTENCIA (Ω)	
TABLERO	1	0.921	TABLERO	1	0.246
	2	1.389		2	0.26
	3	0.556		3	0.303
	1.1	0.032		1.1	0.025
	1.2	0.036		1.2	0.059
		RESISTENCIA (Ω)		RESISTENCIA (Ω)	
ESTRUCTURA	1	0.119	ESTRUCTURA	1	0.144
		RESISTENCIA (Ω)		RESISTENCIA (Ω)	
TRAFOS	1	0.677	TRAFOS	1	0.667
	2	0.38		2	0.379
	3	0.272		3	0.273
	1.1	0.278		1.1	0.282

Estos datos representan la resistencia de la puesta a tierra de toda la empresa, donde se pudieron apreciar que tanto la estructura de los galpones, como de los transformadores, tableros, medidores y cajas de maniobras, poseen de un sistema de puesta a tierra, teniendo más oportunidades de que el sector comprenda de una fuga de corriente amplia.

Es así como al observar los datos del sistema obtenidos por el FLUKE 1630, se aprecia que los valores se encuentran por debajo del valor establecido de 5 ohmios en tanto a la normativa que lo establece, indicando que los componentes conectados a tierra cumplen con los aspectos deseados por las normativas eléctrica estandarizadas [18].

8.5. ANÁLISIS DE DATOS CALCULADOS DE LINEA

8.5.1. THD de corriente

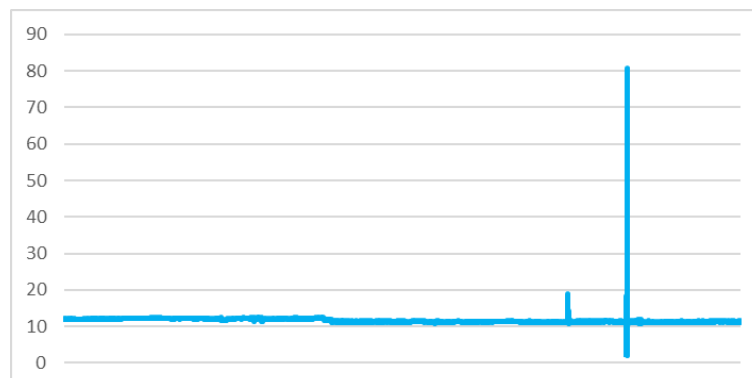
La Figura 8.7 de THD de corriente muestran picos abruptos en cada línea con porcentajes incluso más altos que el 100%, indicando la presencia de armónicos significativos, en la mayor parte del tiempo los valores de THD se mantienen bajos, a pesar de esto los picos desiguales nos dice que las cargas no lineales están afectando de forma distinta a cada fase por lo cual aumenta la circulación de corriente en el neutro.



(a) L1 THD I [%]



(b) L2 THS I [%]

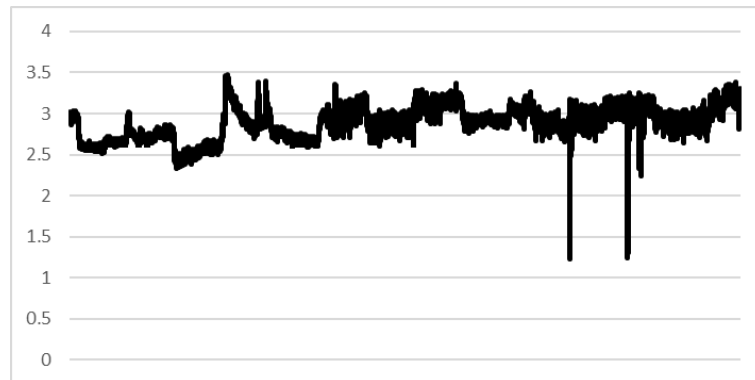


(c) L3 THD I [%]

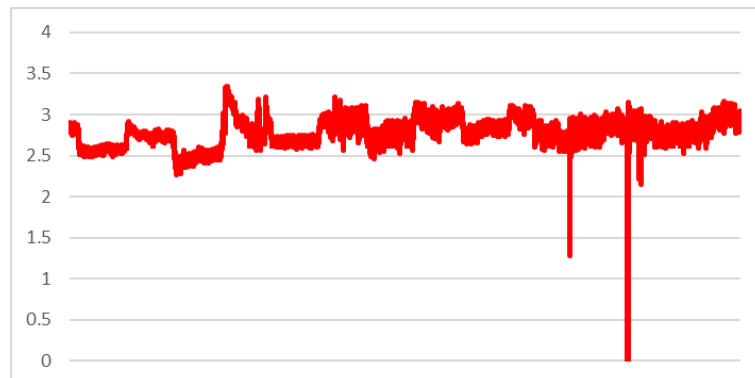
Figura 8.7. Comportamiento del THD de corriente en las líneas en un lapso de siete días.

8.5.2. THD de voltaje

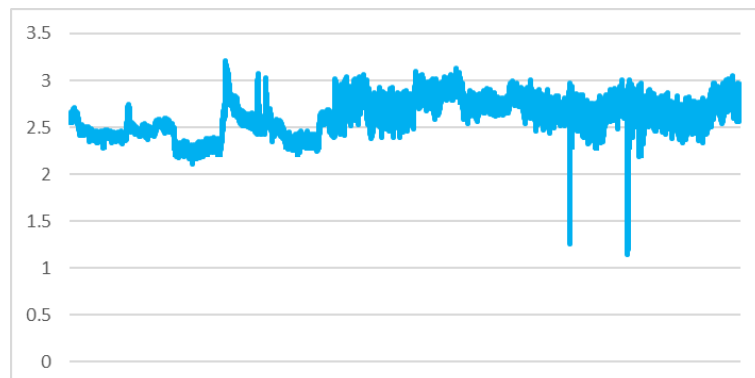
Los datos de la Figura 8.8. de THD de voltaje en las tres líneas se mantiene generalmente entre el 2% y 3.5%, lo cual es aceptable en cuanto a los limites recomendables por las normativas antes mencionadas (Véase en la Tabla 7.1), el cual sugiere que el sistema se encuentra en condiciones normales. A pesar de esto se puede observar caídas abruptas a lo largo del tiempo, por lo cual se puede creer que hay perturbaciones externas o internas afectando la estabilidad del sistema.



(a) L1 THD V [%]



(b) L2 THD V [%]

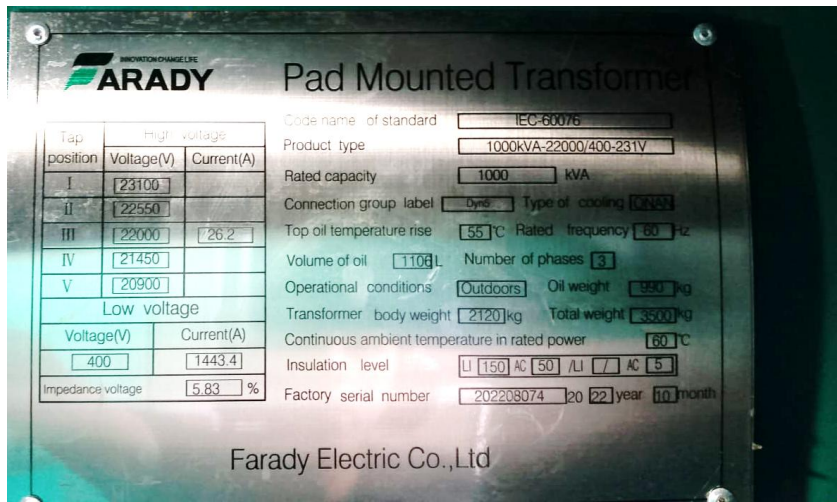


(c) L3 THD V [%]

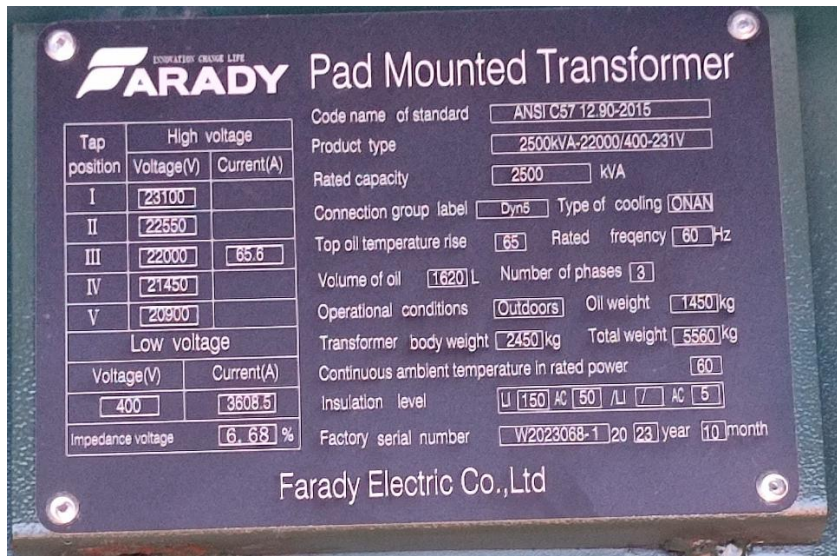
Figura 8.8. Comportamiento del THD de voltaje en las líneas en un lapso de siete días.

8.6. MODELADO DEL SISTEMA EN UN SOFTWARE

Como se explicó en los capítulos anteriores, la representación del sistema en un software es un aspecto esencial para comprender el comportamiento de este, es así como a este se introdujeron valores de placa de los dos tipos de transformadores que la empresa comprende, observados en la Figura 8.9, así como de la cantidad de dispositivos que se encuentren conectados a cada uno de los tableros observado en la Tabla 8.3, calculados en base al consumo promedio de los dispositivos.



(a) Datos de placa del transformador de 1 [MVA].



(b) Datos de placa del transformador de 2.5 [MVA]

Figura 8.9 Datos de placa de los transformadores de la empresa.

Tabla 8.3 Cantidad de dispositivos conectados a cada transformador.

Tablero	Cantidad de dispositivos Conectados	Consumo por dispositivo [W]	Subtotal [W]	Total [MW]
1	252	3450	869400	0.8694
2	243	3450	838350	0.8383
3	216	3450	745200	0.7452
4	270	3450	931500	0.9315
5	270	3450	931500	0.9315
6	306	3450	1055700	1.0557
7	198	3450	683100	0.6831
8	250	3450	862500	0.8625

Una vez comprendidos las características que van a tener cada elemento, se representó el sistema, por su puesto tomando en cuenta los valores en porcentaje de cada tipo de armónico que existe en toda la red de baja tensión, los cuales ya se expresaron gráficamente en la Figura 8.10, y ahora se observan en valores numéricos en la Tabla 8.4.

Tabla 8.4 Valores del THD de corriente por tipo de armónico en el sistema.

Orden de Armónico	Porcentaje de Armónico
2	0.027
3	11.308
4	0.022
5	3.182
6	0.01
7	1.177
8	0.032
9	1.107
10	0.03
11	0.285
12	0.013
13	0.253
14	0.047
15	0.448
16	0.07

Es así como finalmente que sistema eléctrico de la empresa BLUNODE queda representado como se observa en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, donde se han

agregado líneas entre los transformadores y las cargas en baja tensión, para una mejor observación en cuanto a los armónicos de corriente que circulan por la red de baja tensión.

8.7.ARMÓNICOS DEL SISTEMA DE LA EMPRESA BLUNODE

8.7.1. Armónicos de corriente

El sistema considerando los datos de THD de corriente se puede apreciar un desbalance, por tanto, se ha tomado los datos de cada tipo de armónico, para así poder apreciar cual es el tipo que predomina.

Es así como al observar en la Figura 8.10 el porcentaje del tipo de armónico predominante es el armónico 3, 5 y 7, ante todo el armónico de tipo 3, sobrepasa por mucho el porcentaje de estabilidad tal como lo explica la Tabla 7.2 con un 11.308% por lo cual será el principal aspecto a considerar.

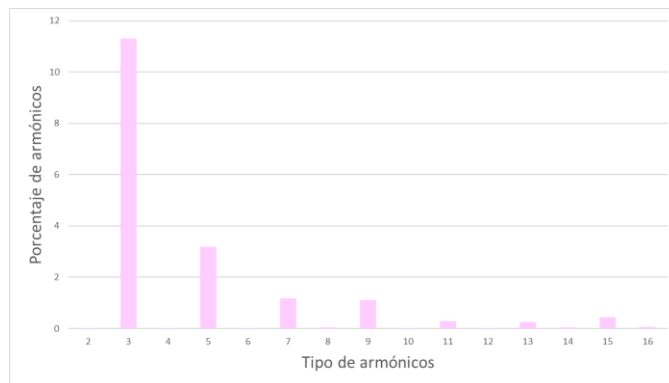


Figura 8.10 Porcentaje de cada armónico de corriente.

8.7.2. Armónicos de voltaje

Para una mejor observación en cuanto a los armónicos de potencia, en la Figura 8.11 se observa que los niveles porcentuales de perturbaciones en el voltaje son pobres, ya que no llegan al estimado para poder considerarse preocupantes, tal como lo menciona la Tabla 7.1.

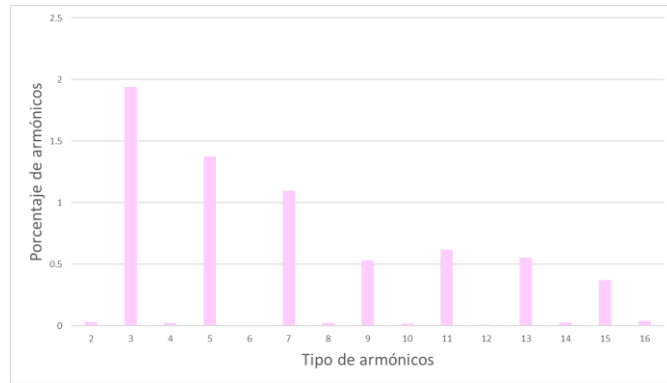


Figura 8.11. porcentaje de cada armónico de voltaje.

8.7.3. Datos de SAGS y SWELLS

En cuanto a cambios bruscos de voltaje rms del sistema, no encontraron mayores problemas, ya que estos comprenden de valores y tiempos en los cuales no existen eventos preocupantes dentro de la tensión entregada por la planta generadora, como se observa en la Tabla 8.5.

Tabla 8.5 Resumen estadístico de la tensión.

Resumen estadístico de la tensión (Vrms fase – Neutro)			
Desde	26/12/2024 3:59:04 pm		
Hasta	02/01/2025 3:59:01 pm		
Línea	L1	L2	L3
Valor Máximo	1.005 p.u	1.01 p.u	1.007 p.u
Valor Mínimo	0.966 p.u	0.965 p.u	0.966 p.u
Promedio	0.984 p.u	0.983 p.u	0.983 p.u

Los valores máximos observados en la tabla, datan de datos de día 6 de los 7 que el analizador de red tomó los datos, el tiempo de aparición de estas fueron instantáneas tal como lo menciona la Tabla 6.2, por lo cual no presenta ser ningún riesgo dentro de la empresa. Para una mejor apreciación de este, en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se puede observar el comportamiento del voltaje en las líneas por día.

8.7.4. Datos del Flicker

Así también en el comportamiento del sistema en cuanto a los flicker, no se encontró valores significativos, valores que se resumen en la Tabla 8.6.

Tabla 8.6 Fluctuaciones de tensión en la red de la empresa.

Fluctuación de tensión			
Desde	26/12/2024 3:59:04 pm		
Hasta	02/01/2025 3:59:01 pm		
Línea	L1	L2	L3
Valor Máximo	2.075	1.57	3.034
Valor Mínimo	0	0	0
Promedio	0.055	0.054	0.055

Los valores máximos de las líneas 1, 2 y 3 fueron superiores al valor especificado por la Figura 6.3, pero así mismo dentro de la gráfica se puede observar que este valor depende de un tiempo de duración, tiempo el cual estos valores no se sobrepasan, datos que suceden en el día 6 de los 7 días de medición, donde en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se pueden observar de forma más precisa como los flicker actúan en la red.

8.7.5. FACTOR DE POTENCIA

Una vez contemplado el THD total de los armónicos de corriente (véase en la Figura 8.10), se toman los totales por línea para estos ser calculados por medio de las ecuaciones (16) (17) (18), donde como primer preámbulo se llevó a cabo la toma del factor de desplazamiento en cuanto a los valores propios obtenido, reflejado en la Tabla 8.7.

Tabla 8.7 Cálculo del factor de potencia de desplazamiento.

	POTENCIA ACTIVA				POTENCIA APARENTE				Factor de Potencia de Desplazamiento
	L1N	L2N	L3N	TOTAL	L1N	L2N	L3N	TOTAL	
DIA 1	162475	160100	164125	486675	164750	162275	166325	493425	0.987843348
DIA 2	165125	157475	165675	488250	167425	159675	167950	495225	
DIA 3	187150	166750	185975	539925	189450	168975	188275	547575	
DIA 4	207725	188425	215425	611550	210025	190650	217725	619500	
DIA 5	210500	195975	222550	629025	212875	198250	224875	636900	
DIA 6	176125	171650	170950	518700	178375	173825	173150	525600	
DIA 7	201125	183525	192875	577500	203375	185750	195125	584850	
	187175	174842	188225	550232.	189467	177057	190489	557582	
	183414.2857			P	185671.4286			S	

Es así como después del cálculo del factor de distorsión para cada una de las fases, se obtuvo los siguientes resultados expresados en la Tabla 8.8.

Tabla 8.8 Valores calculados para obtener el factor de potencia total.

	L1	L2	L3
<i>THD</i> [%]	11.848	11.647	11.634
<i>f_{p_{dist}}</i>	0.993	0.993	0.993
<i>f_{p_T}</i>	0.981	0.981	0.981

8.1. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES

Una vez identificado el factor que afecta el sistema eléctrico de la empresa BLUNODE, se procede a la búsqueda de soluciones. Se ha determinado que el sistema presenta un armónico de tercer orden con un 3.3% por encima del límite establecido en la normativa, según la Tabla 7.1. Dado que no se han registrado otras perturbaciones, tal como flicker, SAGS o SWELLS, la implementación de un filtro de armónicos se considera la solución más adecuada ya que estos están diseñados especialmente para absorber o cancelar corrientes armónicas antes que afecten al sistema eléctrico de la empresa.

Los filtros sean activos o pasivos, son ubicados cerca del punto donde se generan las irregularidades, con el objetivo de disminuir las variantes de armónicos, asegurando la reducción de estos, mejorando la calidad de energía.

Ahora entonces, para poder considerar que tipo de filtro es el adecuado a implementar en la red, se ha tomado en cuenta el hecho de que el armónico 3, es el predominante en la red, por lo tanto, un filtro pasivo que se comprende de resistencias, condensadores e inductores, los cuales se enfocan en un solo tipo de armónico, van de la mano con la necesidad que esta señal notoria necesita para desaparecer.

8.1.1. Modelamiento del filtro pasivo

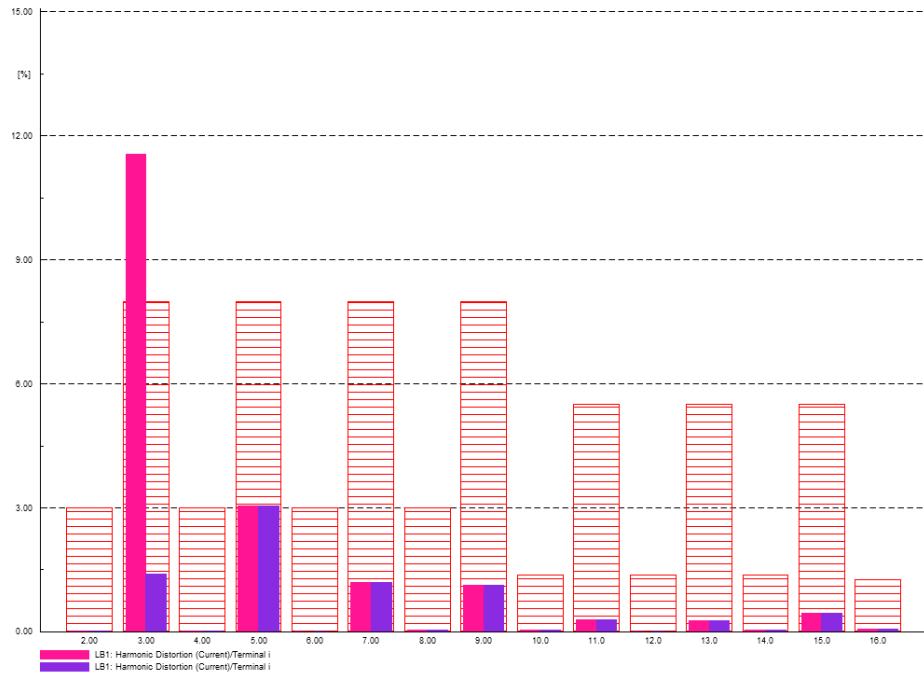
Para los cálculos del diseño del filtro, se tomaron los datos de THD total de cada fase (véase en la Tabla 8.8) donde para iniciar el cálculo de la ecuación (20), es dependía del factor de desplazamiento ya obtenido observado en la Tabla 8.7, así también depende de la altura en la que la empresa se encuentra ubicada, dicha altura expresada en pies tomaba un valor de 5184 pies, por lo cual esta se resolvería como lo expresa la ecuación (25), ya reemplazando los valores antes mencionados.

$$I_{filtr} = 0.98 * \left(\frac{5184}{1000} - 0.1 \right) = 4.9823 [A] \quad (25)$$

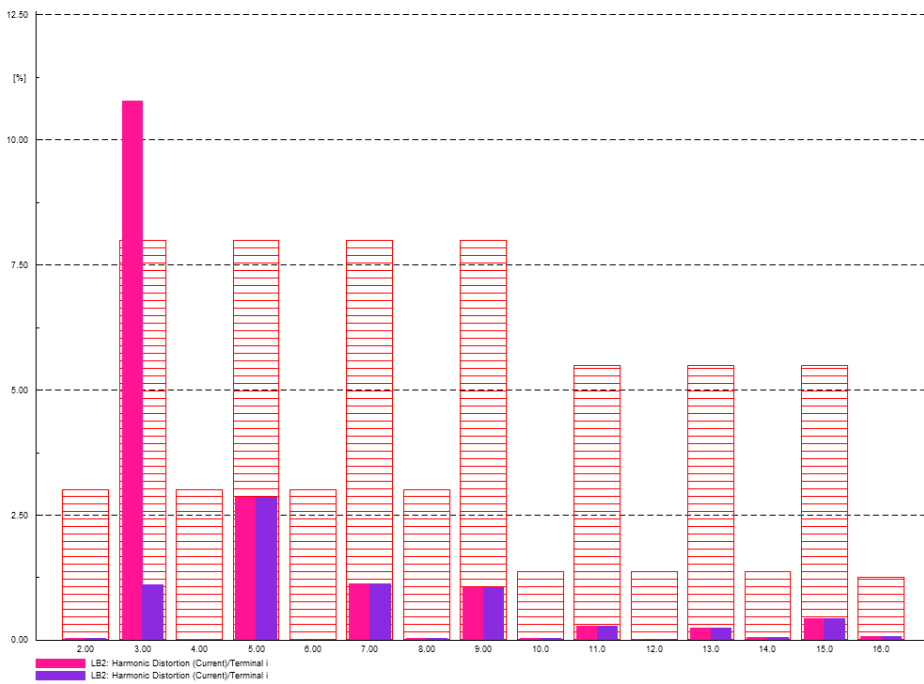
Considerando todos estos valores calculados se procede al modelamiento del filtro el cual en los valores se considera que $f = 180$, debido a que es el nivel de armónico que se desea modelar es decir el armónico de tipo 3, con una capacitancia de $0.5 \mu F$ y una reactancia de $1563.6 mH$, solo queda observar como este actúa en la simulación.

8.1.2. Implementación del filtro en el software

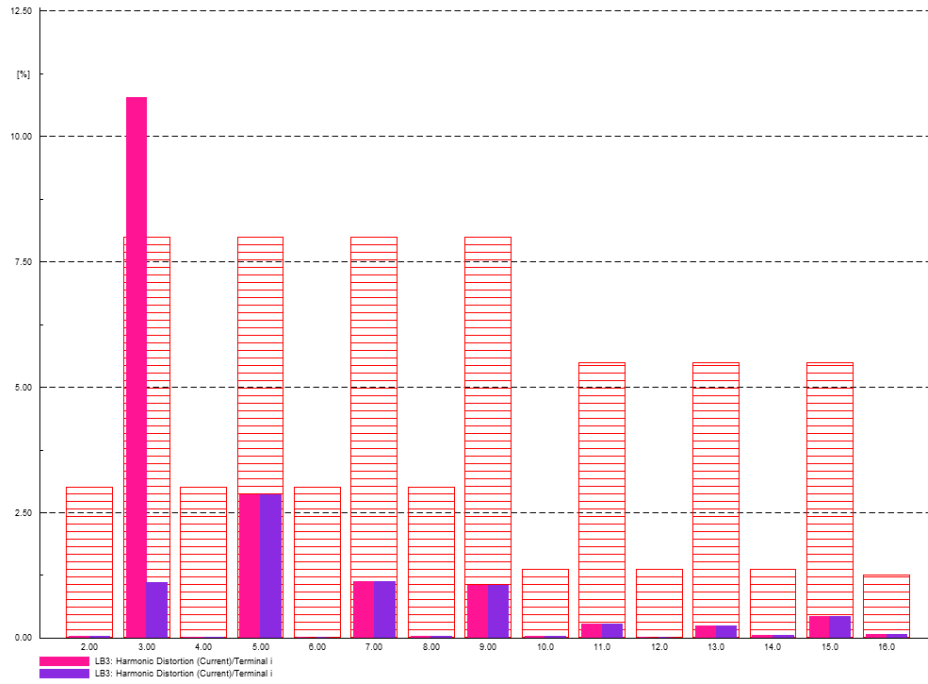
El filtro será colocado en el área de bajo voltaje del transformador, debido a que es el lado más cercano a las cargas no lineales, tal como se observa en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, dando como visualización la comparativa del actuar del filtro en el sistema donde los valores del sistema con armónicos en las cargas versus los valores del sistema después de la implementación del filtro.



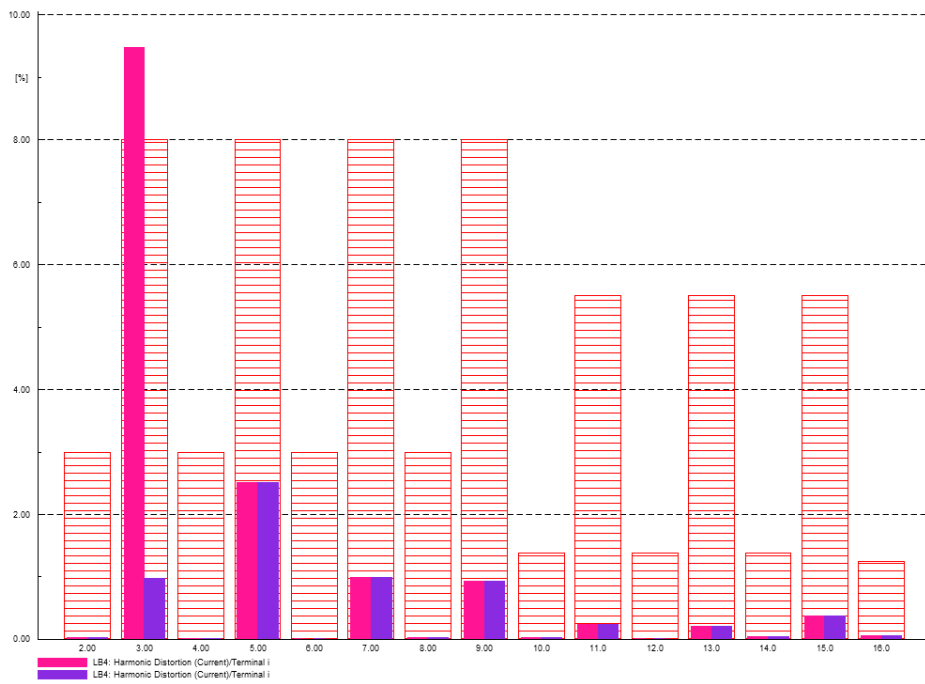
(a) Carga B1



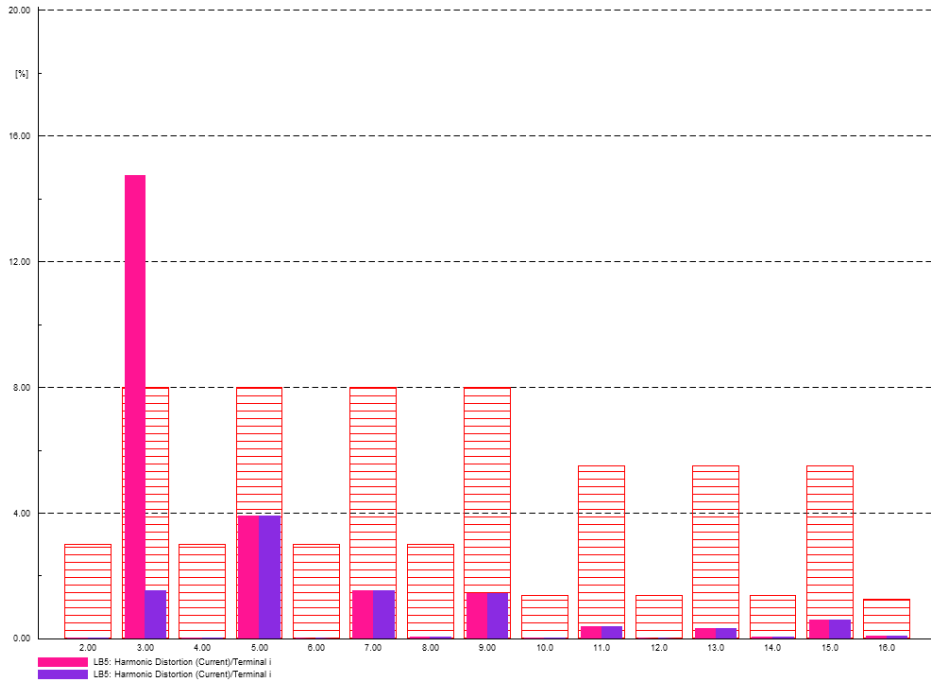
(b) Carga B2



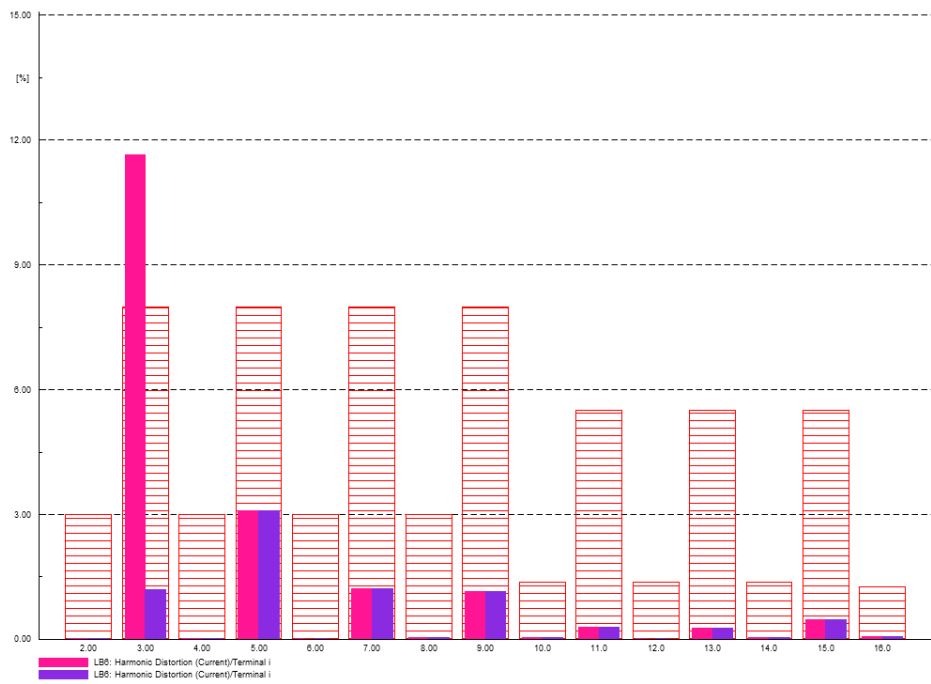
(c) Carga B3



(d) Carga B4



(e) Carga B5



(f) Carga B6

Figura 8.12 Sistema sin filtro pasivo vs sistema con filtro pasivo en los transformadores de 1 [MVA].

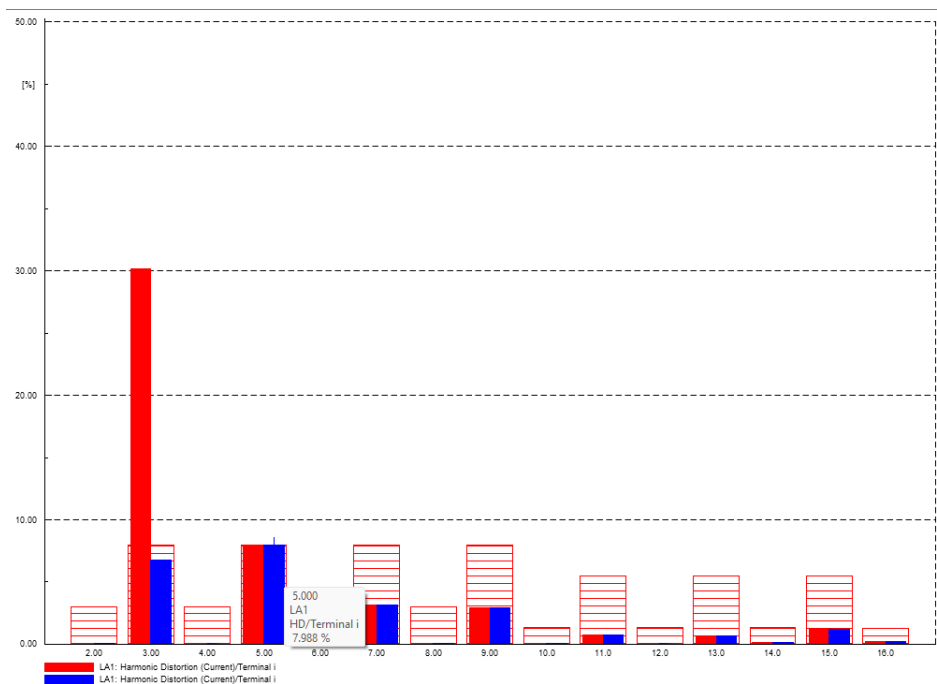
En la Figura 8.12, se aprecia el comportamiento de todas cargas en cuanto a los armónicos del sistema con y sin la implementación del filtro.

Aquí el color rosa es el comportamiento de la red sin el filtro y el color morado es el comportamiento del sistema con el filtro pasivo, así mismo las líneas de color rojo son los límites de armónicos que en cuanto a la normativa, (véase en la Tabla 7.2).

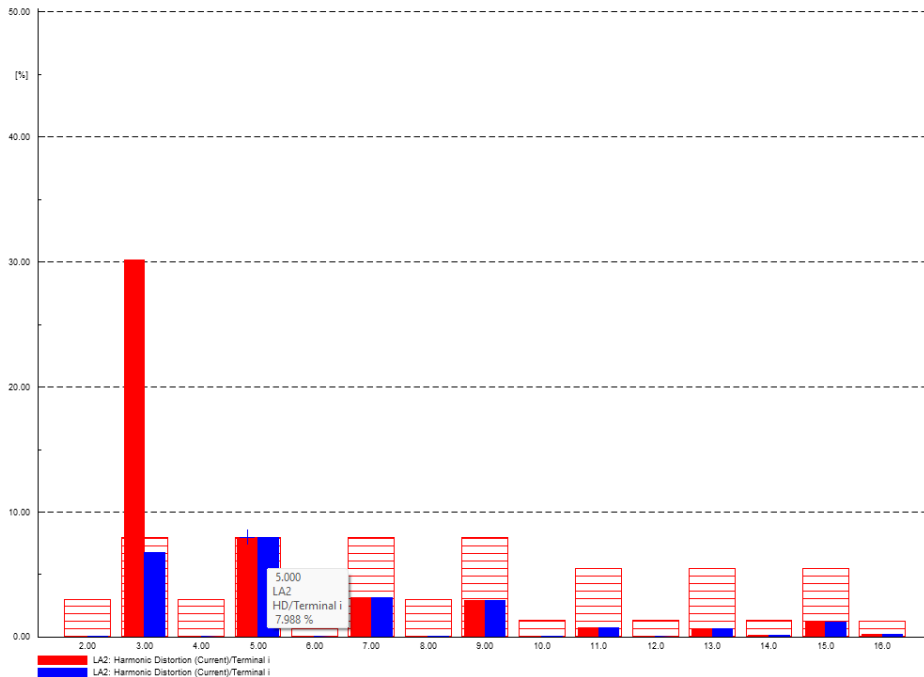
Como se observa en las gráficas desde la (a) hasta la (f), la reducción del armónico predominante es notorio, significando una mejora rotunda ante la problemática encontrada con el analizador de red. Así también demostrando que el filtro cumple con las expectativas deseadas.

La correcta instalación de estos componentes mitigadores de armónicos, brindara en el área de transformadores de 1 [MVA] una reducción del incluso 95%.

Por otra parte, el comportamiento de los transformadores de 2.5 [MVA] están representados en la Figura 8.13.



(a) Carga A1



(a) Carga A2

Figura 8.13 Sistema sin filtro pasivo vs sistema con filtro pasivo en los transformadores de 2.5 [MVA].

En cuanto a las gráficas de los transformadores de 2 [MVA], se representan con color rojo las cargas con armónicos y de color azul las cargas con armónicos y la implementación del filtro pasivo.

Debido a las características del transformador, se puede observar cómo los valores de armónicos aumentaron llegando hasta un 200% del valor de armónico que perciben los transformadores de 1 [MVA], a pesar de esto los armónicos no superan los límites de normativas, teniendo a los armónicos del tipo 5, a tope por debajo del límite de calidad de energía. Por otro lado la mitigación del armónico tipo 3 en los transformadores de 2.5 [MVA] es notorio, brindando mejoras.

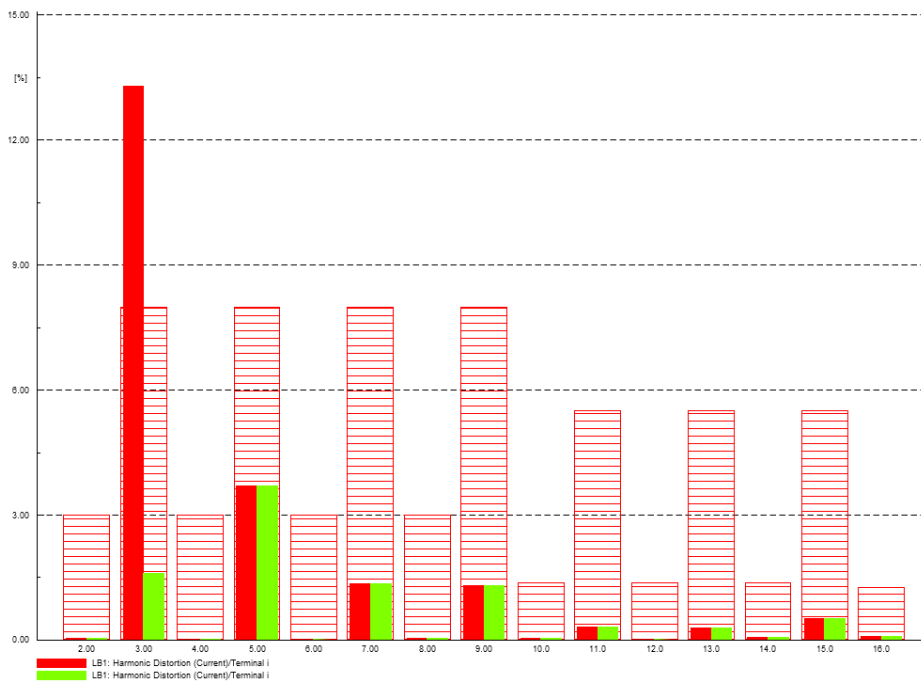
8.1.3. Reacción del sistema con una nueva variación en los armónicos

Para poder tener una observación más amplia en cuanto a la eficiencia del filtro pasivo, se propone variar los valores de los armónicos de las cargas entre un 10% al 15% cada una, y observar cómo es que el sistema reaccionaría ante tal aumento de perturbaciones las cuales se observan en la Tabla 8.9.

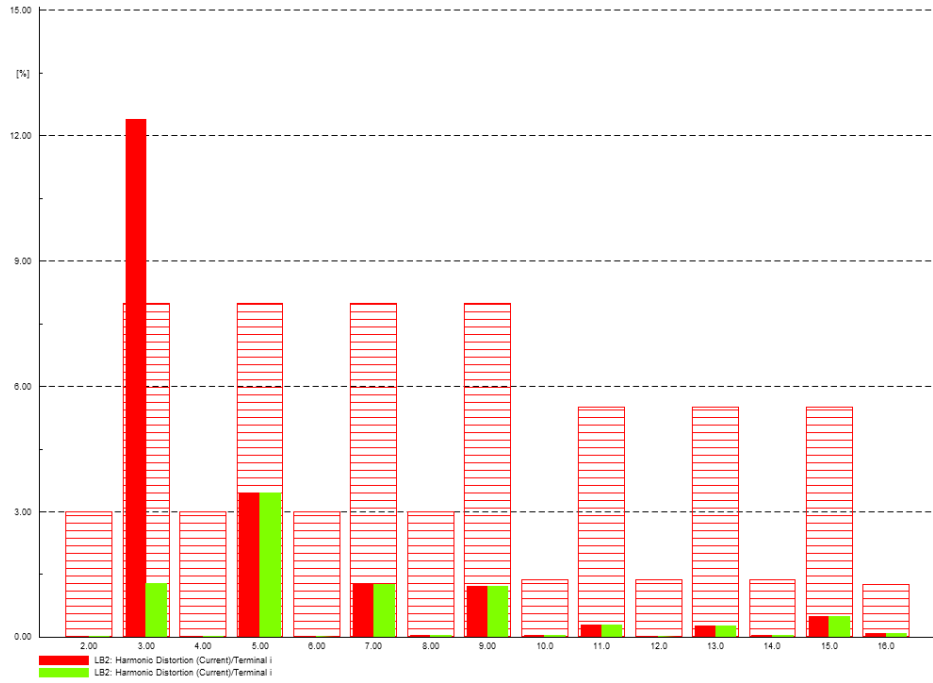
Tabla 8.9 Nuevos valores de armónicos.

N	Porcentaje de Armónico			Nuevos armónicos
2	0,027	0,12	0,00324	0,03024
3	11,308	0,15	1,6962	13,0042
4	0,022	0,11	0,00242	0,02442
5	2,992	0,14	0,41888	3,41088
6	0,01	0,1	0,001	0,011
7	1,177	0,13	0,15301	1,33001
8	0,032	0,11	0,00352	0,03552
9	1,107	0,15	0,16605	1,27305
10	0,03	0,14	0,0042	0,0342
11	0,285	0,1	0,0285	0,3135
12	0,013	0,13	0,00169	0,01469
13	0,253	0,12	0,03036	0,28336
14	0,047	0,11	0,00517	0,05217
15	0,448	0,14	0,06272	0,51072
16	0,07	0,15	0,0105	0,0805

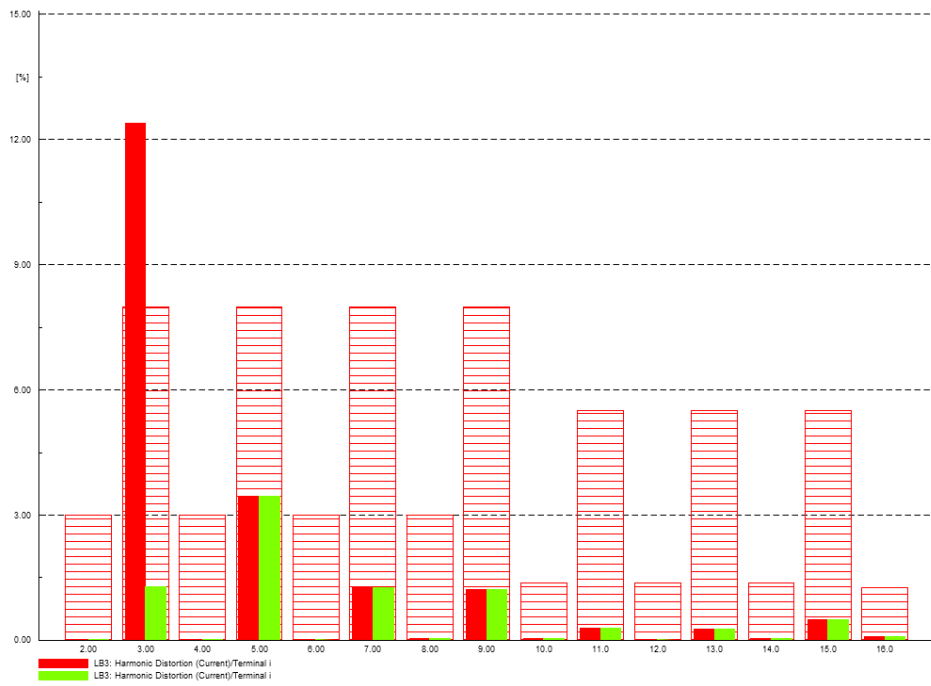
Una vez determinadas las nuevas cargas armónicas, se procede a correr el programa donde los resultados se pueden observar en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



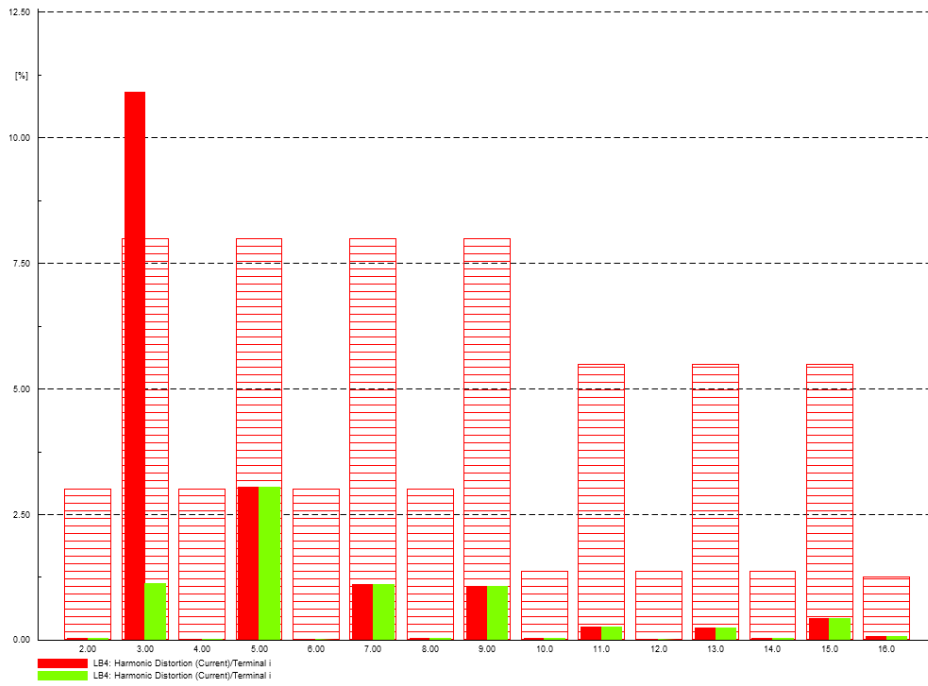
(a) Carga B1 Variación



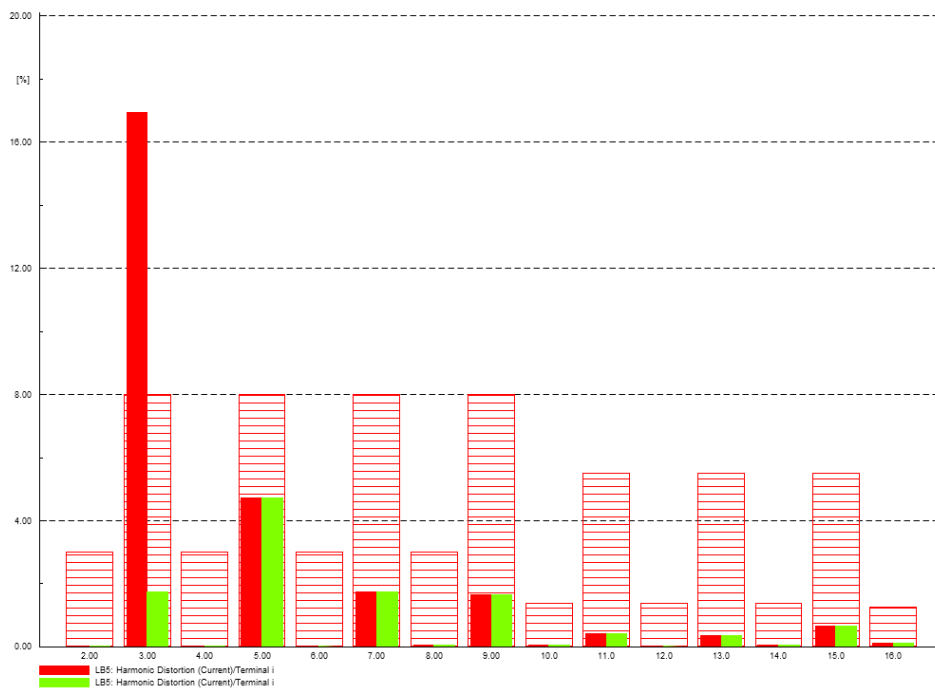
(b) Carga B2 Variación



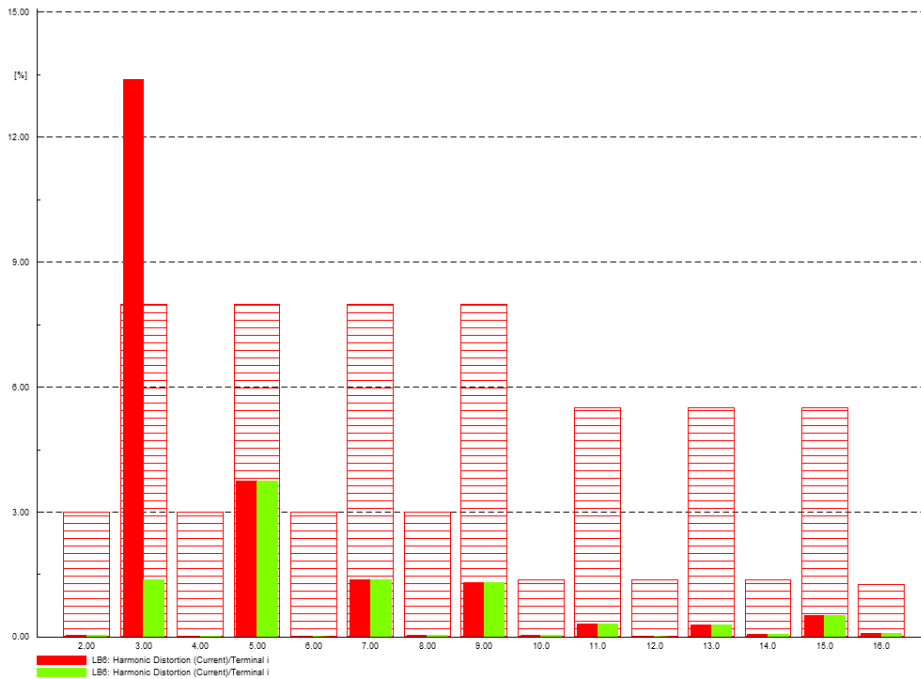
(c) Carga B3 Variación



(d) Carga B4 Variación



(e) Carga B5 Variación

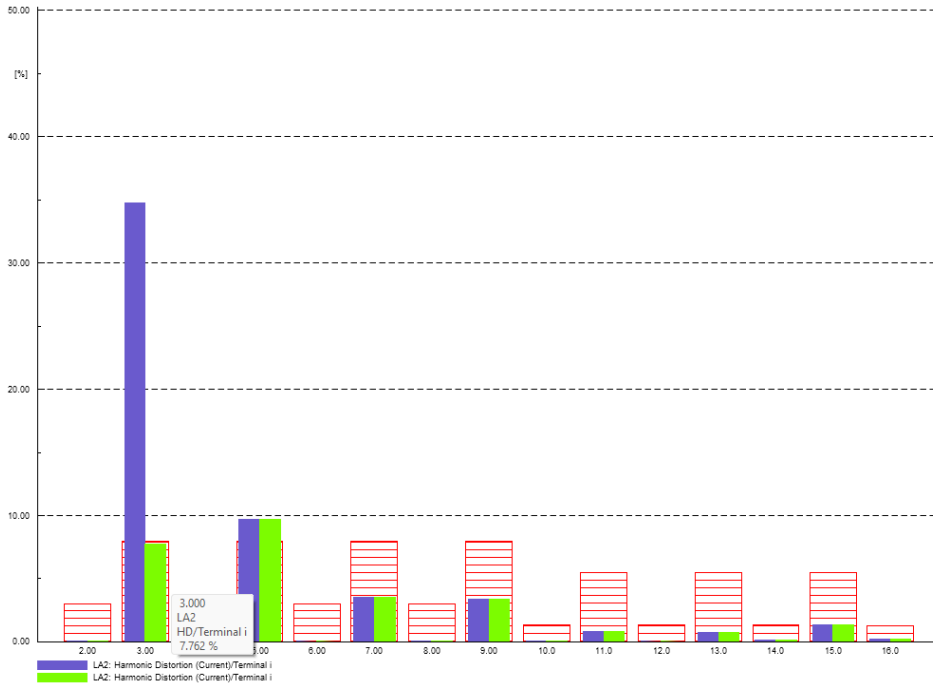


(g) Carga B6 Variación

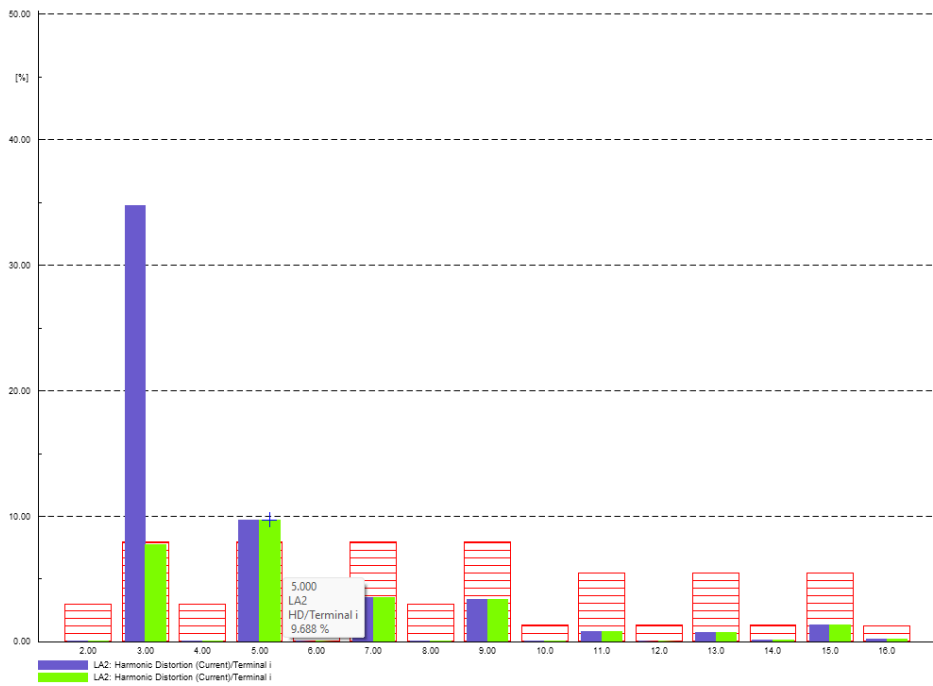
Figura 8.14 Reacción de los armónicos ante una variación.

Observando los armónicos de los transformadores de 1[MVA] de la Figura 8.14, se puede apreciar como este valor de una 10 al 15% de variación en los armónicos no refleja ninguna preocupación ya que una vez implementados los filtros los valores de armónicos no llegan a tocar los límites de normativa.

Por otro lado, la variación de armónicos en los transformadores de 2 [MVA] observados en la Figura 8.15.



(a) Carga A1 Variación



(b) Carga A2 Variación

Figura 8.15 Gráfico de resultados en cuanto a la variación.

Donde pretende demostrar que en caso de que estas variaciones se den, es necesario del uso de un filtro activo, ya que este puede mitigar varios tipos de armónicos en el momento. Armónicos como el número 5 que se compendian por dentro del porcentaje de calidad de energía ahora se mantienen con o sin el filtro, debido a este aumento de THD.

8.1.4. Costos de implementación

Para la implementación de un filtro pasivo en la red es necesario tener en cuenta valor del filtro, la mano de obra y herramientas, por lo tanto, este se presenta con valores aproximados en la Tabla 8.10.

Tabla 8.10 Proforma instalación de filtro pasivo [19] [20].

Precio Unitario					
Empresa	BLUNODE				
Detalle	Implementación de filtros pasivos en la empresa				
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo x Hora	Horas hombre	Costo
1. Equipos	<i>A</i>	<i>B</i>	$C = A * B$	<i>R</i>	$D = C * R$
Herramientas menores	3	0,025	0,075	40	3
Herramientas eléctricas	3	0,075	0,225	40	9
Equipos varios	2	0,06	0,12	40	4,8
Subtotal					16,8
2. Mano de Obra					
Ingeniero Electricista	1	4,77	4,77	40	190,8
Ayudante de electricista	3	4,23	12,69	40	507,6
Chofer de grúa	1	6,22	6,22	8	49,76
Supervisor	1	4,76	4,76	40	190,4
Subtotal					938,56
3. Material					
	Cantidad	Precio Unit.	Costo		
	<i>A</i>	<i>B</i>	$C = A * B$		
Filtro Pasivo Schneider 190A	1	2560	2560		
Elementos varios	1	150	150		
Subtotal			2710		
4. Transporte					
Camión Grúa	1	135	135		
Subtotal			135		
Total, Costo Directo					3800,36
Indirectos %					20%
Valor unitario					4560,432

8.1.5. Costos de pérdida y ganancia

Para poder comprender los costos de pérdida y ganancia, se toma los valores de corriente promedio armónica sin el filtro, y con el filtro, donde se obtiene la potencia y energía de pérdida, en un año, como se observa en la Tabla 8.11 y la Tabla 8.12.

Tabla 8.11 Pérdidas de costos sin el filtro.

Sin Filtro						
				kW	kWh/año	\$
0,430876	0,389988	0,413208	0,050581	1,284653	11253,56	1102,849
L1	L2	L3	NG	Total		
				Pérdida por hora	Pérdida por año	Pérdida monetaria

Tabla 8.12 Pérdidas de costos con el filtro.

Con filtro						
				kW	kWh/año	\$
0,044601	0,040796	0,043547	0,005443	0,134387	1177,233	115,3688
L1	L2	L3	NG	Total		
				Pérdida por hora	Pérdida por año	Pérdida monetaria

8.1.6. TIR y VAN

El TIR, demuestra el rendimiento de un proyecto donde se observa en tiempo, cuanto toma recuperar la inversión. Por otro lado, el VAN, expresa si el proyecto es viable.

Con una tasa del 0.08%, el TIR expresa en 10 años un valor de -19%, y el VAN con un total de -\$29.853,92, debido al bajo valor monetario de los armónicos.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La información encontrada en cuanto a los problemas de calidad de energía de la empresa, fueron investigados y analizados en cuanto bases bibliográficas y casos relacionados al mismo.
- Para la elaboración del diagrama unifilar en base a la infraestructura eléctrica de la empresa BLUNODE, se basó en la identificación de los componentes por la que se conforma, encontrando así los puntos para las mediciones de calidad de energía y puestas a tierra.
- Mediante el uso de un software especializado, se modeló el sistema eléctrico de la entidad, diseño que abarcaba desde el punto de conexión a media tensión, hacia los transformadores, líneas y cargas no lineales, donde la empresa presentó un 3.30% por encima del porcentaje permitido, siendo el armónico de tipo tres el predominante en el sistema.
- Una vez identificado el comportamiento de las perturbaciones eléctricas de la empresa BLUNODE, se llevó a cabo el modelamiento del filtro pasivo, para asegurar su funcionamiento se consideró una aleatoriedad del 15% en los armónicos de corriente.
- Una vez implementado el filtro pasivo en el sistema, se obtuvo una reducción del 90% en el tercer armónico de corriente, pasando de un 14.76% a un 1.52%, con lo que se obtiene una reducción en las pérdidas asociadas.
- Se recomienda el análisis para la introducción de un filtro que actúe sobre armónico 5, debido a que este es el es segundo armónico más representativo.
- Es recomendable realizar un análisis de calidad en los diferentes transformadores del sistema con el fin de evaluar su comportamiento, así como datos de las puestas a tierra de la entidad actualizados, como diagramas, así la toma de resistividad del terreno identificando su actuar, garantizando la comprensión integral de la red eléctrica de la entidad

10.REFERENCIAS

- [1] A. d. R. y. C. d. E. y. R. N. N. Renovables, «Control Recursos y Energía,» 6 enero 2023. [En línea]. Available: <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec>. [Último acceso: 2024].
- [2] M. HAJIAGHAPOUR-MOGHIMI, *Investigating the Cryptocurrency Mining Loads*, Tehran: IEEE, 2024.
- [3] V. Katic, *Effects of cryptocurrency mining rig operation on power quality in LV distribution network*, Novi Pazar: IcETAN, 2022.
- [4] K. A. Wheeler, *A Power Quality and Load Analysis of a Cryptocurrency Mine*, Saskatoon: IEEE, 2018.
- [5] C. X. Gonzalez Bone y F. B. Ambuludí Veloz, *ESTUDIO DEL CONTENIDO DE ARMÓNICOS EN LA FÁBRICA CHAIDE Y CHAIDE S.A. PLANTA GUAYAQUIL PARA PROPONER SOLUCIONES DE MEJORA DE LA CALIDAD DE ENERGÍA*, Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, 2024.
- [6] G. Torres Rodriguez y J. M. Sánchez Chaparro, *ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE - SENA CEET.*, Bogotá: UNIVERSIDAD DISTRITAL “FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS”, 2020.
- [7] I. S. 1159-1995, IEEE Recommended Practice for, IEEE Xplore., 1995.
- [8] M. A. S. Cortés, *Calidad de la Energía Eléctrica*, Puebla, 2009.
- [9] R. Pinyol, *ARMÓNICOS: CAUSAS, EFECTOS Y MINIMIZACIÓN*, R&D Product Leader, 2016.
- [10] J. J. M. Flórez, «Perturbaciones en la onda de tensión: Huecos [SAG] y Sobretensiones [SWELL],» 11 Marzo 2003. [En línea]. Available: http://eia.udg.es/~secse/curso_calidad/curso4-huecosdetension.pdf. [Último acceso: 20 febrero 2025].
- [11] E. Standard, *EN 50160:2011*, UNE-EN.

- [12] A. Narayanan, J. Bonneau, E. Felten, A. Miller y S. Goldfeder, *Bitcoin and Cryptocurrency Technologies*, 2016.
- [13] D. F. M. Céspedes, *MITIGACION DEL NIVEL DE ARMONICOS EN UN SISTEMA ELECTRICO INDUSTRIAL MEDIANTE UN FILTRO DE ARMÓNICO PASIVO*, Medellin, 2016.
- [14] IEEE, *IEEE Recommended Practice and*, New York: IEEE, 2014.
- [15] F. corporation, *1630 Earth Ground Clamp*, FLUKE corporation, 2006.
- [16] F. corporation, *1623 - 2 Earth / ground Tester*, FLUKE corporation, 2014.
- [17] F. corporation, *Fluke 434 / 435 Three Phase Power Quality Analyzer*, FLUKE corporation, 2006.
- [18] J. S. Ramírez Castaño y E. A. Cano Plata, *SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA: Diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF*, Manizales: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, 2010.
- [19] Schneider Electric, «Life is On Schneider Electric,» Schneider Electric, 01 marzo 2024. [En línea]. Available: <https://www.se.com/co/es/product/VW3A46171/filtro-pasivo-190-a-460-v-60-hz-para-variador-de-velocidad/>. [Último acceso: 21 febrero 2025].
- [20] Contraloría General del Estado, «Salarios Mano de Obra,» Contraloría General del Estado, 2025. [En línea]. Available: <https://www.contraloria.gob.ec/Informativo/SalariosManoObra>. [Último acceso: 21 02 2025].
- [21] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables., *PLIEGO TARIFARIO DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA - AÑO 2024*, Quito: AECERNNR, 2024.
- [22] Bitfarms, «Bitfarms,» 2023. [En línea]. Available: https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/_7466f700c510d1bae1ecb1be5f7016c7/bitfarms/db/862/8398/pdf/ANALYST+DAY+2023+Final.pdf. [Último acceso: 02 febrero 2025].

- [23] M. d. D. U. y. Vivienda, NEC Eficiencia Energetica en Edificaciones Residenciales (EE), Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), 2018.
- [24] M. Toledo Orozco y C. Jimenez Ochoa, *Análisis y Propuesta para la Mitigación de la Contaminación Armónica en las Subestaciones de la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR C.A.*, Cuenca, 2010.
- [25] P. L. Sandra y J. Lopez Quintero, Transformadores Eléctricos, Pereira: Editorial Universidad Tecnológica de Pereira, 2018.
- [26] S. Ramirez Castaño y E. Cano Plata, Calidad del Servicio de Energía Eléctrica, Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2006.
- [27] L. Michael, J. Holley y M. Zucker, Controlling Harmonics While Improving Power Factor, Electrical Systems Design.
- [28] S. R. Castaño, Redes de Distribución de Energía, Manizales, 2012.
- [29] L. P. Andrade, Protección de Sistemas Eléctricos contra Agentes Ambientales, 2010.
- [30] LEY ORGÁNICA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, Quito, 2019.

