



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

**EVALUACIÓN DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA EMPRESA**  
**TANILACT**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico

**Autores:**

Henry Sebastian Caiza Quinatoa

Juan Steve Guaman Gualoto

**Tutor Académico:**

Ing. Gabriel Napoleón Pesántez Palacios M.Sc.

**LATACUNGA – ECUADOR**

**2025**



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

## DECLARACIÓN DE AUDITORÍA

Nosotros **CAIZA QUINATO A HENRY SEBASTIAN** con cédula de ciudadanía N° **0504367129** y **GUAMAN GUALOTO JUAN STEVE** con cédula de ciudadanía N° **1805036157** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“EVALUACIÓN DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA EMPRESA TANILACT”**, siendo el Ing. Gabriel Pesántez M.Sc. el 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 nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, Febrero del 2025

.....  
Henry Sebastian Caiza Quinatoa

C.C. 0504367129

.....  
Juan Steve Guaman Gualoto

C.C. 1805036157

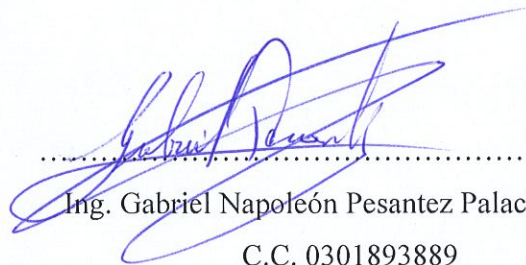
## **AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

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

**“EVALUACIÓN DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA EMPRESA TANILACT”, de HENRY SEBASTIAN CAIZA QUINATOA y JUAN STEVE GUAMAN GUALOTO.** De la carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aporte científico-técnico suficiente para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyectos que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Febrero del 2025

El Tutor



.....  
Ing. Gabriel Napoleón Pesantez Palacios MSc.  
C.C. 0301893889

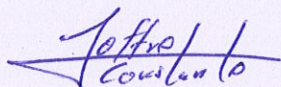
## AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

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, los postulantes Caiza Quinatoa Henry Sebastian; Guamán Gualoto Juan Steve, con el título de Proyecto de titulación: **“EVALUACIÓN DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA EMPRESA TANILACT”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

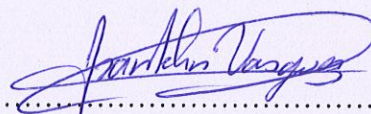
Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Febrero 2025

Para constancia firman:



.....  
Ing. Constante Joffre M.Sc.  
C.C. 1721862579



.....  
Ing. Vásquez Franklin M.Sc.  
C.C. 1710434497



.....  
Ing. Proaño Xavier M.Sc.  
C.C. 0502656424

## ***AGRADECIMIENTO***

Con profundo agradecimiento, queremos iniciar reconociendo a Dios y a la Virgen del Rosario de Agua Santa por su protección y guía a lo largo de nuestra trayectoria universitaria, permitiéndonos avanzar por el camino correcto y alcanzar nuestro sueño de ser profesionales en lo que nos apasiona. A nuestros padres y hermanos por el apoyo incondicional, su esfuerzo y sacrificio, que hicieron posible la culminación de nuestros estudios.

Extendemos nuestro reconocimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi por brindarnos la oportunidad de formarnos en sus instalaciones, y a la Carrera de Ingeniería en Electricidad, que no solo nos ha proporcionado conocimientos técnicos, sino que también ha sido clave en la construcción de nuestro carácter y forma de pensar. Así mismo, expresamos nuestra gratitud a todos los docentes que, con su dedicación y entrega, nos han guiado en este proceso, compartiendo su conocimiento y preparándonos para los retos de nuestra vida profesional. De igual manera, agradecemos a la Empresa Tanilact por permitirnos realizar nuestra tesis en sus instalaciones, brindándonos la oportunidad de aplicar y fortalecer nuestros conocimientos en un entorno real.

Finalmente, agradecemos al Ing. Gabriel Pesantez, tutor de esta investigación, cuyo apoyo, experiencia y valiosos consejos fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

***Henry Caiza, Juan Guaman***

***DEDICATORIA***

*“Haz lo que puedas, donde estés, con lo que tienes y no te preocupes por el resto”*  
*Theodore Roosevelt.*

**A nuestros padres y hermanos.**

***Henry Caiza, Juan Guaman***

## ÍNDICE GENERAL

<b>1.</b>	<b>INFORMACIÓN GENERAL.....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
2.1	Situación problemática .....	3
2.2	Formulación del problema.....	4
2.3	OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	4
2.3.1	Objeto de Investigación .....	4
2.3.2	Campo de Acción .....	4
2.4	BENEFICIARIOS .....	4
2.5	JUSTIFICACIÓN .....	5
2.6	Hipótesis .....	5
2.7	OBJETIVOS .....	6
2.7.1	General.....	6
2.7.2	Específicos.....	6
2.8	SISTEMA DE TAREAS .....	6
<b>3.</b>	<b>FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICO.....</b>	<b>8</b>
3.1	Calidad de energía eléctrica.....	8
3.2	Tipos de carga.....	8
3.2.1	Cargas Lineales.....	8
3.2.2	Cargas No Lineales.....	10
3.3	Perturbaciones eléctricas .....	11
3.3.1	Identificación de Perturbaciones.....	13
3.4	Armónicos.....	13
3.4.1	Origen de los armónicos .....	14
3.5	Métodos para Mejorar la Calidad de la Energía Eléctrica.....	14
3.5.1	Sobrevoltaje .....	14
3.5.2	Desequilibrio de corriente y potencia .....	14
3.5.3	Bajo factor de potencia .....	15
3.5.4	Sags y Swell.....	15
3.5.5	Flicker .....	15
3.5.6	Armónicos.....	16
3.6	Normativas aplicadas.....	18
3.6.1	Normativas Internacionales .....	18

3.6.2	Normativas Nacionales .....	19
3.7	Empresas Casos Específicos .....	19
<b>4.</b>	<b>METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS</b>	<b>20</b>
4.1	Especificaciones del Área de Estudio .....	21
4.1.1	Antecedentes .....	21
4.1.2	Localización Geográfica .....	22
4.1.3	Caracterización del Sistema Eléctrico .....	22
4.2	Recopilación de Información .....	22
4.2.1	Fase A: Recolección de Datos de Cargas .....	22
4.2.2	Fase B: Elaboración del Diagrama Unifilar .....	23
4.2.3	Fase C: Evaluación del consumo de energía eléctrica .....	23
4.2.4	Fase D: Obtención de parámetros eléctricos mediante el analizador de redes .....	24
4.3	Evaluación de Datos .....	28
4.4	Modelado y Simulación en Etap .....	29
4.4.1	Ingreso de Armónicos en el software .....	29
4.5	Análisis de Resultados .....	31
4.6	Propuesta de Solución para el Incumplimiento de Límites Normativos. ....	32
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
5.1	Análisis de Planillas Eléctricas .....	34
5.2	Presentación del Diagrama Unifilar y Metodología de Elaboración .....	35
5.3	Análisis de Parámetros Generales del Sistema .....	36
5.3.1	Niveles de Voltaje.....	36
5.3.2	Análisis de Corriente .....	38
5.3.3	Análisis de Potencia activa (P) .....	39
5.3.4	Factor de potencia FP .....	41
5.4	Identificación y Análisis de Perturbaciones Eléctricas.....	42
5.4.1	Sag en la red.....	42
5.4.2	Swell en la red .....	43
5.4.3	Flicker .....	44
5.4.4	Armónicos de Voltaje .....	45
5.4.5	Armónicos de Corriente.....	47
5.5	Resultados de la Simulación del Sistema en ETAP.....	48
5.5.1	Análisis de Caída de Tensión .....	49

<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>51</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>53</b>
<b>8.</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>54</b>
	<b>Anexo A .....</b>	<b>59</b>
	<b>Anexo B.....</b>	<b>75</b>
	Propuesta de Solución para Futuros Problemas Armónicos.....	75
	Impacto del Filtro en el Sistema Eléctrico.....	79
	<b>Anexo C: Diagrama Unifilar de la Empresa Tanilact.....</b>	<b>80</b>
	<b>Anexo D: Simulación en el software especializado ETAP del sistema eléctrico de la empresa tanilact.....</b>	<b>82</b>

### ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 3.1.</b>	Comportamiento eléctrico V y A lineal [13]. .....	10
<b>Figura 3.2.</b>	Comportamiento V y I no lineal [13].....	10
<b>Figura 3.3.</b>	Identificación de perturbaciones por etapas [18]. .....	13
<b>Figura 3.4.</b>	Filtro Activo – Funcionamiento [27]. .....	17
<b>Figura 4.1.</b>	Metodología implementada en el estudio .....	21
<b>Figura 4.2.</b>	Proceso de levantamiento de planos eléctricos .....	23
<b>Figura 4.3.</b>	Proceso de obtención de datos mediante el analizador de redes.....	24
<b>Figura 4.4.</b>	Ubicaciones de monitoreo sugeridas en un sistema típico de bajo voltaje (las flechas apuntan a la ubicación sugerida de las sondas) [16].....	25
<b>Figura 4.5.</b>	Fluke 435-II [33].....	26
<b>Figura 4.6.</b>	Conexión del analizador de redes [3].....	27
<b>Figura 4.7.</b>	Periodo de Tiempo de medición del Fluke 435-II .....	27
<b>Figura 4.8.</b>	Instalación del analizador de red en la Empresa .....	28
<b>Figura 4.9.</b>	Librería de armónicos .....	30
<b>Figura 4.10.</b>	Ingreso de la librería de armónico.....	30
<b>Figura 4.11.</b>	Orden de armónicos ingresados .....	31
<b>Figura 4.12.</b>	Modelo del filtro activo.....	33
<b>Figura 5.1.</b>	Curva de energía de la empresa .....	34
<b>Figura 5.2.</b>	Curva de energía reactiva de la empresa.....	35
<b>Figura 5.3.</b>	Voltajes fase-fase .....	37
<b>Figura 5.4.</b>	Voltajes fase – fase medios por día.....	37
<b>Figura 5.5.</b>	Curvas p.u de los voltajes de línea AB y BC .....	43

<b>Figura 5.6.</b> Armónicos de voltaje .....	46
<b>Figura 5.7.</b> Armónicos de Corriente .....	48
<b>Figura 5.8.</b> Sistema eléctrico a plena carga .....	49
<b>Figura 0.1.</b> Filtro Activo Shunt.....	75
<b>Figura 0.2.</b> Configuración cargas no lineales .....	76
<b>Figura 0.3.</b> Modelo del filtro activo shunt.....	76
<b>Figura 0.4.</b> Señal inversa del filtro .....	77
<b>Figura 0.5.</b> Graficas de voltaje y corriente .....	78
<b>Figura 0.6.</b> Respuesta atenuada del filtro .....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b> Sistema de tareas. ....	6
<b>Tabla 3.1.</b> Clasificación IEC [17].....	11
<b>Tabla 3.2.</b> Descripción de perturbaciones [18].....	12
<b>Tabla 3.3.</b> Límites de distorsión de voltaje [28].....	18
<b>Tabla 3.4.</b> Límites de distorsión de corriente para sistemas clasificados de 120 V – 69 kV[28]. .....	18
<b>Tabla 3.5.</b> Resumen de Parámetros de Calidad del Servicio Eléctrico [7].....	19
<b>Tabla 4.1.</b> Clasificación de Parámetros Eléctricos .....	32
<b>Tabla 5.1.</b> Comparativa del nivel de voltaje fase-fase.....	38
<b>Tabla 5.2.</b> Desequilibrio de corriente .....	39
<b>Tabla 5.3.</b> Porcentaje de desbalance de potencia activa en cada fase.....	39
<b>Tabla 5.4.</b> Resultados del desbalance de potencia (Cu= cumple; Nc= no cumple).....	40
<b>Tabla 5.5.</b> Desbalance de Potencia de los Valores Promedio.....	41
<b>Tabla 5.6.</b> Comparativa del factor de potencia .....	41
<b>Tabla 5.7.</b> Eventos Sags en la Red Eléctrica, Línea-Línea.....	42
<b>Tabla 5.8.</b> Eventos SWELLS.....	44
<b>Tabla 5.9.</b> Perturbación Rápida de Voltaje (Flicker).....	44
<b>Tabla 5.10.</b> Valores de voltaje en Etap .....	50
<b>Tabla 0.1.</b> Clasificación de perturbaciones según la IEEE Std 1159 [16].....	59
<b>Tabla 0.2.</b> Fuentes armónicas con cargas no lineales [27]. ....	60
<b>Tabla 0.3.</b> Tipos de filtros pasivos [27]. ....	60
<b>Tabla 0.4.</b> Análisis de Calidad de Energía en Empresas Industriales.....	60

<b>Tabla 0.5.</b> Parámetros eléctricos necesarios para realizar el análisis de calidad de energía [7], [11], [14], [38].	61
<b>Tabla 0.6.</b> Cargas Generales del Sistema.	63
<b>Tabla 0.7.</b> Resumen de cargas	64
<b>Tabla 0.8.</b> Conductores de la Empresa	65
<b>Tabla 0.9.</b> Armónicos Individuales de Corriente (%)	70
<b>Tabla 0.10.</b> Distorsión armónica Total de Voltaje.	71
<b>Tabla 0.11.</b> Armónicos Individuales de Corriente.	72
<b>Tabla 0.12.</b> Distorsión Armónica Total de Corriente	72
<b>Tabla 0.13.</b> Potencia de pérdidas por cada línea.	73
<b>Tabla 0.1.</b> Armónicos de corriente	75

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

**TÍTULO:** “EVALUACIÓN DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA EMPRESA TANILACT”.

**Autores:**

Caiza Quinatoa Henry Sebastian

Guaman Gualoto Juan Steve

**RESUMEN**

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la calidad de la energía eléctrica en la empresa Tanilact, mediante mediciones y simulaciones del estado actual del sistema, con la finalidad de identificar posibles problemas en la red eléctrica. La calidad de la energía es fundamental en el rendimiento de los equipos industriales, debido a que, problemas como la distorsión armónica, fluctuaciones de voltaje y un bajo factor de potencia pueden afectar la eficiencia y continuidad de la producción.

Para ello, se realizó un estudio exhaustivo en la empresa Tanilact, siguiendo las recomendaciones de la normativa ecuatoriana ARCERNR 003/23. Se llevó a cabo la recolección de información sobre la infraestructura eléctrica, el estado de las cargas y la distribución del sistema, lo que permitió actualizar los diagramas unifilares de la empresa en AutoCAD. Posteriormente, se realizaron mediciones en campo utilizando el analizador de redes Fluke 435-II, registrando todos los parámetros eléctricos importantes. Con estos datos, se realizó la simulación del sistema eléctrico en el software especializado ETAP para su análisis.

Después, se analizaron los datos obtenidos por el analizador de redes, lo que permitió realizar los cálculos necesarios para evaluar la distorsión armónica de voltaje y corriente. Además, se incluyeron otros análisis eléctricos, como el nivel de voltaje, desequilibrio de voltaje y corriente, el desequilibrio de potencia, el factor de potencia, las variaciones transitorias de tensión (sags y swells) y el flicker, con el fin de evaluar la calidad de la energía en el sistema.

Los resultados obtenidos evidencian que no existen problemas significativos en la red eléctrica que requieran la implementación de medidas correctivas, lo que indica que el sistema eléctrico actual garantiza un suministro estable y eficiente.

**Palabras Clave:** Calidad de energía, Analizador de Redes, Armónicos, Perturbaciones Eléctricas.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**  
**ENGINEERING SCIENCES AND APPLIED FACULTY**

**TITLE:** “EVALUACIÓN DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA EMPRESA TANILACT”.

**Authors:**

Caiza Quinatoa Henry Sebastian

Guaman Gualoto Juan Steve

**ABSTRACT**

The main objective of this research is to analyze the power quality in Tanilact company, through measurements and simulations of the current state of the system, in order to identify possible problems in the electrical network. Power quality is fundamental in the performance of industrial equipment, because problems such as harmonic distortion, voltage fluctuations and low power factor can affect the efficiency and continuity of production.

That is why, an exhaustive study was carried out at Tanilact, following the recommendations of the Ecuadorian regulation ARCERNR 003/23. The collection of information on the electrical infrastructure, the state of the loads and the distribution of the system was carried out, which allowed updating the single-line diagrams of the company in AutoCAD. After that, field measurements were performed using the Fluke 435-II network analyzer, recording all the important electrical parameters. These data were used to simulate the electrical system in the specialized ETAP software for analysis.

Afterwards, the data obtained by the network analyzer were analyzed, which allowed the necessary calculations to evaluate the harmonic distortion of voltage and current. In addition, other electrical analyses were included, such as voltage level, voltage and current unbalance, power unbalance, power factor, transient voltage variations (sags and swells) and flicker, in order to evaluate the power quality of the system.

The results obtained show that there are no significant problems in the electrical network that require the implementation of corrective measures, which indicates that the current electrical system guarantees a stable and efficient supply.

**Keywords:** Power quality, Network Analyzer, Harmonics, Electrical Disturbances.

# 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Tema del Proyecto:** Evaluación de la Calidad de Energía Eléctrica en la empresa Tanilact.

**Modalidad de Titulación:**

Propuestas Tecnológicas

Proyectos de Investigación

**Carrera:** Ingeniería en Electricidad

**Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto** Desarrolló de sistemas eficientes para el abastecimiento y uso de energía eléctrica a nivel local, regional o nacional.

**Equipo de Trabajo:**

**Estudiante:** Caiza Quinatoa Henry Sebastian

Guaman Gualoto Juan Steve

**Tutor:** Ing. Gabriel Pesántez M.Sc.

**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.

**Sub líneas de investigación de la Carrera:**

Diseño, construcción y explotación eficiente de sistemas eléctricos con energía convencional y alternativa

## 2. INTRODUCCIÓN

El consumo de energía eléctrica continúa creciendo con el desarrollo de nuevas tecnologías, lo que inevitablemente genera perturbaciones en el sistema eléctrico. Aunque estas no se pueden evitar por completo, si es posible minimizarlas. Las instituciones dedicadas a la generación conjuntamente con la distribución del suministro eléctrico enfrentan retos para incrementar sus funciones y de esta manera cumplir con la potencia demanda logrando mantener fiabilidad del suministro eléctrico [1].

Los requisitos para definir la fiabilidad del suministro eléctrico son el generador involucrado, la red de distribución y el usuario. Para mantener la fiabilidad del servicio eléctrico deben relacionarse los 3 aspectos. El no cumplimiento de la fiabilidad del suministro eléctrico causa daños a los equipos que mantenían conexión con la red de distribución dañando a los involucrados en el entorno de los cuales se menciona el sector residencial, comercial y el sector industrial. En este último caso, los efectos económicos pueden ser significativos, ya que incluyen la interrupción de procesos y daños en los equipos [1].

Reconocidas normativas fueron desarrolladas por el Instituto de Ingenieros y Electrónicos (o sus siglas en inglés, IEEE), la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA) y por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), todas se destinaron a mantener un seguimiento a la fiabilidad del servicio eléctrico [2].

En un estudio realizado en una institución dedicada a alimentos como los embutidos, se identificaron anomalías relacionadas con los componentes armónicos, fluctuaciones de tensión y déficit en el factor de potencia. Las anomalías presentes causan la reducción del rendimiento de las máquinas y de forma par la reducción económica de la empresa. Se plantea como solución la elaboración de simulaciones en software especializados como Etap, filtros pasivos y el mejoramiento del sistema de puesta a tierra [3].

M. Leonardo. [4], explica que la empresa Agualima SAC presenta problemas de baja calidad de energía, los cuales impactan la continuidad del servicio eléctrico y causan fallos en equipos electromecánicos y electrónicos, aumentando los costos operativos y reduciendo la eficiencia del sistema. Se han registrado fluctuaciones de tensión de hasta  $\pm 10\%$ , por encima del límite de

$\pm 5\%$  establecido por la norma IEC 61000. Los armónicos de corriente alcanzan valores de 8%, superando el límite permitido del 5% según IEEE 519. Para disminuir los problemas generados, se implementa la instalación de filtros activos para mitigar los armónicos y el reajuste del factor de potencia con el uso de sistemas automáticos de corrección del factor de potencia, lo que permitiría aumentar el factor de potencia actual de 0.86 a un valor cercano a 0.95, reduciendo así los costos de electricidad y mejorando la continuidad del servicio.

Los equipos de consumo no lineal generan voltajes y corrientes no lineales que pueden causar fallos en equipos computarizados, sobrecalentamiento de equipos y conductores, así como el disparo de interruptores; para mitigar estos problemas se deben cumplir tres objetivos principales: mantener baja la impedancia eléctrica, anticipar el circuito para comprender la interacción entre perturbaciones de corriente generadas por los equipos, considera los conductores del neutro carecen de protección contra sobrecarga, y balancear adecuadamente las cargas en los conductores o fases del suministro. Por otro lado, se consideran formas para reducir las perturbaciones, aplicando como primer método el uso de filtros mitigador de armónicos en conexión activos/pasivos, multiplicación del sistema fases y centros de transformadores con un determinado factor “K” [5].

La fiabilidad del suministro eléctrico ha llegado a representar un alto impacto en la industria moderna para garantizar operaciones confiables y eficientes. Este concepto se basa en tres aspectos fundamentales: la continuidad del suministro, que mide la duración y el número de interrupciones del servicio en un periodo determinado; la fiabilidad del servicio eléctrico, que evalúa rangos de amplitud, tasa de la frecuencia y forma de onda; y la calidad de la atención comercial, que abarca la atención al cliente y la provisión de información a los usuarios del servicio [6].

## **2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

La empresa Tanilact, actualmente se dedicada al envasado de lácteos y producción de sus derivados, por lo tanto, utiliza una gran variedad de máquinas y equipos que consumen bastante electricidad. El crecimiento que ha experimentado la empresa en los últimos años, ha despertado interés por sus dueños por conocer el estado de la red eléctrica debido a que no tiene registros previos sobre estudios de calidad de energía.

El aumento del uso de energía en la empresa, junto con la adopción de dispositivos eléctricos y electrónicos frescos, podría afectar negativamente a la estabilidad del sistema, lo que conduce a problemas como sags, swells, flicker, entre otros. Por el contrario, la falta de conciencia de la empresa, sobre los estándares energéticos obstaculiza la comprensión de los efectos reales de estas cuestiones relativas a la subministración de energía y la adhesión a la legislación nacional ARCERNNR 003/23.

Por lo tanto, es crucial llevar a cabo un examen en profundidad acerca de la calidad de energía, utilizando mediciones y modelos en ETAP, con el objetivo de puntuar y cuantificar la eficiencia.

## **2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El problema dentro de las líneas de producción de la empresa Tanilact radica en el notable crecimiento de la red eléctrica en los últimos años, lo que se espera que haya generado problemas de calidad de energía. Esto puede derivar en fallas e interrupciones que afecten la producción y generen pérdidas económicas.

## **2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN**

### **2.3.1 Objeto de Investigación**

Calidad y Eficiencia Energética en la Empresa Tanilact.

### **2.3.2 Campo de Acción**

330000 Ciencias Tecnológicas /3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas / 3306.05 Aplicaciones Eléctricas.

## **2.4 BENEFICIARIOS**

**Beneficiarios directos:** Empresa Tanilact.

**Beneficiarios indirectos:** Usuarios del sistema eléctrico cercanos a Tanilact.

## **2.5 JUSTIFICACIÓN**

La empresa Tanilact hace un gran uso de un diverso conjunto de maquinaria y elementos eléctricos y electrónicos que son muy susceptibles a la calidad de la energía. Problemas relacionados con el sobrecalentamiento, el mal funcionamiento, el factor de potencia, y las diversas perturbaciones en la calidad de la energía, pueden afectar negativamente el desarrollo de su actividad incluso llegar a provocar muy serios daños, hace necesaria la realización de un análisis de la calidad de la energía para poder conocer cuáles son los problemas eléctricos más destacados.

Con el fin de obtener índices de calidad y reducir las interrupciones ocasionadas por los problemas de la red, resulta oportuno llevar a cabo la implementación de normas como la ARCERNNR 003/23 [7], norma que presenta ciertos parámetros orientados a la evaluación y a la mejora continua del sistema. La regulación de la calidad de energía establece límites que permiten determinar la calidad en muchos aspectos de la misma, como por ejemplo la distorsión armónica en tensión y corriente. Mejorar la calidad de energía permite, además de reducir pérdidas y mal funcionamiento de los equipos, obtener también tanto patrones de comportamiento del sistema eléctrico, así como garantizar el cumplimiento de los estándares internacionales como IEEE 519-2014 [8].

El objetivo de este trabajo es el de poner de manifiesto los problemas que se relacionan con la calidad de la energía eléctrica, con el objetivo de conocer el funcionamiento del estado actual del sistema y evitar fallas e ineficiencias en el mismo. De la misma forma, los resultados obtenidos en la investigación, además de proporcionar un beneficio directo a Tanilact, sirven como referencia y como ayuda a los problemas relacionados con la calidad de la energía cuando lo intenten llevar a cabo alguna otra empresa, aunque no se trate de la misma empresa en la que se realizó esta investigación.

## **2.6 HIPÓTESIS**

El crecimiento significativo de la empresa Tanilact en los últimos años ha generado problemas de calidad de energía.

## 2.7 OBJETIVOS

### 2.7.1 General

Analizar la calidad de energía eléctrica en la empresa Tanilact con la finalidad de identificar posibles problemas en la red eléctrica, mediante mediciones y simulaciones del estado actual del sistema.

### 2.7.2 Específicos

- Investigar la literatura sobre calidad de energía eléctrica, incluyendo los principales conceptos, normativas nacionales e internacionales, y factores que influyen en la presencia de perturbaciones eléctricas.
- Realizar un levantamiento de información y mediciones con un analizador de redes eléctricas para obtener los principales parámetros del sistema.
- Analizar los parámetros eléctricos obtenidos y evaluar el comportamiento del sistema mediante simulaciones en ETAP, con la finalidad de identificar problemas de calidad de energía eléctrica y verificar su cumplimiento con las normativas vigentes.

## 2.8 SISTEMA DE TAREAS

Las tareas a llevar a cabo incluyen el estudio de la calidad de la energía, el análisis del diagrama unifilar de la empresa, centrándose en las cargas más relevantes, y la simulación del sistema eléctrico para observar su funcionamiento. Para ello, se utilizarán herramientas especializadas, como software de simulación y analizadores de red. Las actividades a realizar para alcanzar el objetivo del proyecto se presentan en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1.** Sistema de tareas.

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Actividades (tareas)</b>	<b>Resultados esperados</b>	<b>Técnicas, Medios e Instrumentos</b>
Llevar a cabo un levantamiento de información sobre la red eléctrica de la empresa de lácteos Tanilact, teniendo en cuenta las cargas más relevantes en el área de producción.	Inspección en la planta del sistema eléctrico.	Diagrama Unifilar.	Inspección en campo. Uso de software para dibujo técnico.

Realizar una actualización del diagrama unifilar de la empresa, en la cual, se observe todos los datos obtenidos por medio del levantamiento de información.	Actualizar el diagrama unifilar en el software especializado AutoCAD.	Modelo Actualizado en Software especializado.	Uso de software especializado.
Identificar el lugar adecuado para ubicar el analizador de redes, con la finalidad de obtener todos los parámetros eléctricos importantes para posteriormente realizar su análisis.	Ubicar el analizador de redes de acuerdo a estándares internacionales IEEE 519.	Base de Datos.	Analizador especializado en registros de calidad de energía
Simular las cargas eléctricas en base al levantamiento de información de la empresa para observar el estado del sistema eléctrico actual.	Realizar una simulación del sistema eléctrico utilizando software especializado.	Modelo Simulado en Software especializado.	Uso de software especializado.
Comparar los resultados obtenidos con las normativas nacionales e internacionales vigente para identificar si existen problemas de calidad de energía	Comprobar si los parámetros eléctricos cumplen con las normativas vigentes.	Base de datos en Excel.	Conocimiento actualizado de las normativas.

### **3. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICO**

En el presente capítulo se presentan los principios necesarios para analizar la fiabilidad del suministro eléctrico con la verificación de fuentes bibliográfica, artículos y revistas técnicas que aporten al desarrollo del estudio. Donde se abordarán conceptos de calidad de energía, factores que influyen y soluciones para mejora de la red.

#### **3.1 CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

La calidad de energía eléctrica es la capacidad de un sistema para suministrar energía dentro de los límites correspondientes de tensión, frecuencia, función y también para proporcionar la energía necesaria para las cargas todos los días. Del mismo modo, tiene la función de atenuar también la señal distorsionada y la interrupción; esta consideración se debe tener en cuenta, debido a que, si no, la continuidad del sistema eléctrico puede fallar y los equipos no funcionan como se espera [9].

En su caso para que se obtenga una buena eficiencia en el suministro eléctrico será necesario que se cumplan 4 condiciones. La primera condición consiste en que debe haber un suministro de electricidad sin interrupción, es decir, que el voltaje y también la corriente se tengan que poner a disposición del usuario en forma persistente. La segunda condición se relaciona con que los valores anteriormente descritos se van a mantener en los valores apropiados y, por lo tanto, la amplitud de la señal eléctrica será la correcta. La tercera condición hace referencia a que la energía conserve una frecuencia estable, evitando así las variaciones. Por último, la electricidad tiene que conservar una forma de onda sinusoidal para que los equipos que están participando en la red eléctrica conectados estén funcionando de la forma esperada [10].

#### **3.2 TIPOS DE CARGA**

Las cargas eléctricas se categorizan en lineales y no lineales, según su comportamiento frente a la tensión y la corriente, tal como se explica a continuación.

##### **3.2.1 Cargas Lineales**

Dentro de un sistema eléctrico, una carga lineal realiza la proporcionalidad entre la corriente y el voltaje, evitando así la alteración de la forma sinusoidal de la señal. Los resistores,

inductores y condensadores son considerados elementos lineales debido a que, sus ecuaciones de comportamiento son lineales; preservan la forma sinusoidal de las ondas y no introducen distorsiones en el sistema [11].

Las ecuaciones (1), (2) y (3) se muestra el comportamiento de los elementos pasivos de un circuito eléctrico, un resistor, se observa la relación entre la resistencia, la corriente y la diferencia de potencial, la corriente en un inductor varía con respecto de la diferencia de potencial, y en el condensador es el voltaje que varía con el tiempo.

$$V = I * R \quad (1)$$

$$V = L * \frac{dI}{dt} \quad (2)$$

$$I = C * \frac{dV}{dt} \quad (3)$$

Las variables de las ecuaciones (1), (2) y (3) son las que se describen a continuación:

**V:** voltaje.

**I:** corriente.

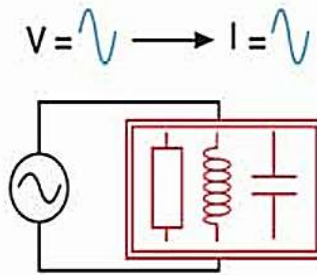
**R:** resistencia.

**L:** inductancia.

**C:** capacitancia.

En un resistor, la corriente y el voltaje varían en una relación proporcional, conservando la forma de la onda original. En los inductores la corriente está relacionada con la derivada del voltaje generando un desfase de 90°; aun así, la relación mantenida entre voltaje y corriente es lineal, y las ondas son de forma sinusoidal [12].

En sistemas con cargas inductivas, como motores y transformadores, las interacciones de la corriente con los campos magnéticos provocan que la corriente fuerza un retraso temporal respecto al voltaje; esto es que su respuesta no va seguido del propio voltaje [13]. En una onda la corriente y voltaje coinciden cuando alcanzan sus valores máximos, y a su vez, sus valores más bajos. Esto significa que entre los voltajes y las corrientes no existe un desfase, lo cual es representable por la Figura 3.1.

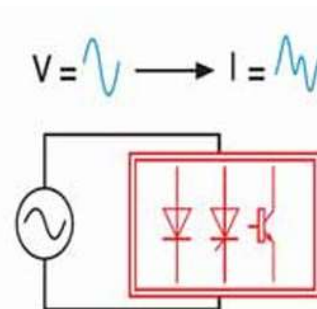


**Figura 3.1.** Comportamiento eléctrico V y A lineal [13].

### 3.2.2 Cargas No Lineales

Una carga se clasifica como no lineal cuando la corriente que se consume no tiene la misma forma de onda del voltaje de alimentación y la impedancia cambia con la aplicación de esta tensión. Frente a los sistemas de carga que sí son lineales, la carga no lineal se caracteriza porque la relación entre voltaje y corriente es pérdida, con lo cual puede darse lugar a una forma de señal no sinusoidal con armónicos. Los armónicos que se producen tienen acceso a la impedancia del sistema y generan una distorsión de la forma de onda del voltaje, pudiendo perjudicar tanto a los equipos situados en la red de distribución como también a las cargas que al sistema están conectadas. La forma de espectro de esta distorsión variará dependiendo de las características que tiene la carga alimentada [10].

La activación de dispositivos semiconductores como diodos rectificadores, transistores, triacs o tiristores es la causa principal de perturbaciones o impulsos en el sistema eléctrico. Cuando estos componentes interactúan con elementos resistivos, inductivos o capacitivos durante cortos intervalos de tiempo, alteran el flujo de energía y generan variaciones en la corriente que circula por el sistema. Como resultado, se produce una distorsión en la señal de corriente y voltaje, lo cual se ilustra en la Figura 3.2 se observa cómo se distorsiona la señal de corriente y voltaje [14].



**Figura 3.2.** Comportamiento V y I no lineal [13].

### 3.3 PERTURBACIONES ELÉCTRICAS

En la industria moderna, la eficiencia de los procesos de producción depende en gran medida de la estabilidad del suministro eléctrico, ya que muchos equipos electrónicos y sistemas de automatización son extremadamente sensibles a variaciones en la calidad de la energía. Estas alteraciones pueden deberse a múltiples factores, como el funcionamiento de dispositivos electrónicos, deficiencias en la infraestructura eléctrica, condiciones atmosféricas adversas y, en especial, la presencia de cargas no lineales, entre las que destacan los hornos de arco y los convertidores de frecuencia [15].

Una perturbación eléctrica ocurre cuando la forma de onda, que generalmente es fluida y continua, experimenta variaciones inesperadas o anómalas en alguno de sus parámetros fundamentales. Esto puede manifestarse como cambios en su tamaño, forma, simetría o frecuencia, todos los cuales alteran el comportamiento esperado del flujo eléctrico.

De acuerdo con la norma IEEE las perturbaciones eléctricas son fenómenos electromagnéticos que comprometen la calidad de la energía suministrada. Estas alteraciones se caracterizan por el cambio en la onda representativa de voltaje y corriente, se clasifican respecto a diversas categorías según su naturaleza, duración y efectos [16].

Dado el estándar por la Comisión Electrotécnica Internacional IEC, en la Tabla 3.1 se muestra clasificaciones según la frecuencia

**Tabla 3.1.** Clasificación IEC [17].

<b>Clasificación</b>	<b>Ejemplo</b>
Fenómenos de baja frecuencia conducida	Armónicos, Interarmónicos
	Sistemas de señal (portador de línea de alimentación)
	Fluctuaciones de Voltaje
	Caídas de Voltaje e interrupciones
	Desbalance de Voltaje
	Variaciones de frecuencia- potencia
	Voltaje inducido de baja frecuencia
	DC en redes AC
Fenómenos de baja frecuencia radiada	Campos magnéticos
	Campos eléctricos
Fenómenos de alta frecuencia conducida	Ondas de voltaje o corriente continua inducida
	Transientes unidireccionales
	Transientes oscilatorios

Fenómenos de alta frecuencia radiada	Campos magnéticos
	Campos eléctricos
	Campos electromagnéticos
	Ondas continuas
	Transientes
Fenómenos de descarga electrostática (ESD)	
Pulsos electromagnéticos nuclear (NEMP)	

Las perturbaciones eléctricas también pueden clasificarse según su origen. Pueden ser externas al sistema eléctrico, causadas por fenómenos naturales como rayos, tormentas o terremotos, o por interferencias electromagnéticas derivadas de actividades humanas. En contraste, las perturbaciones internas se generan dentro del propio sistema eléctrico [18].

También se puede clasificar las perturbaciones según rango de duración y valor de magnitud típica de voltaje, en la Tabla 0.1 del Anexo A se describen los parámetros.

La norma internacional IEEE Std 1159 [16] proporciona una descripción detallada de los diversos tipos de perturbaciones eléctricas que pueden impactar los sistemas de energía. Estas perturbaciones se clasifican según la forma de la onda de la siguiente manera:

- Transitorios.
- Interrupciones.
- Bajada de tensión / subtensión.
- Aumento de tensión / sobretensión.
- Distorsión de la forma de onda.
- Fluctuaciones de tensión.
- Variaciones de frecuencia.

El significado de las distintas perturbaciones eléctricas y las causas más comunes, se muestra en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2.** Descripción de perturbaciones [18].

<b>Categoría</b>	<b>Subcategoría</b>	<b>Descripción</b>	<b>Causas comunes</b>
Transitorios	Impulsivos	Picos de tensión o corriente de corta duración	Rayos, conmutación de cargas inductivas, fallas en la red
	Oscilatorios	Oscilaciones de alta frecuencia	Conmutación de cargas reactivas, fallas en equipos
Interrupciones	Instantánea	Interrupción breve	Fallas momentáneas en la red
	Momentánea	Interrupción de corta duración	Fallas transitorias, sobrecargas

	Temporal	Interrupción de duración intermedia	Mantenimiento programado, fallas extendidas
Bajada de tensión/Subtensión	Bajada de tensión	Reducción temporal de la tensión	Fallas en el sistema, arranque de motores
	Subtensión	Reducción prolongada de la tensión	Problemas en la red, sobrecarga

### 3.3.1 Identificación de Perturbaciones

Las distorsiones dentro de los sistemas de potencia afectan a la continuidad del suministro, lo que puede tener efectos económicos y técnicos, en los cuales se presenta la interrupción del suministro y la disminución de la calidad de la onda [18]. Además, es relevante identificarlas correctamente para la fiabilidad del sistema. El proceso se realiza en tres etapas donde la primera (mediciones y monitoreos de los parámetros eléctricos); la segunda (extraer los resultados y observar los resultados) y la tercera (identificar el tipo de perturbación). Observe la Figura 3.3.

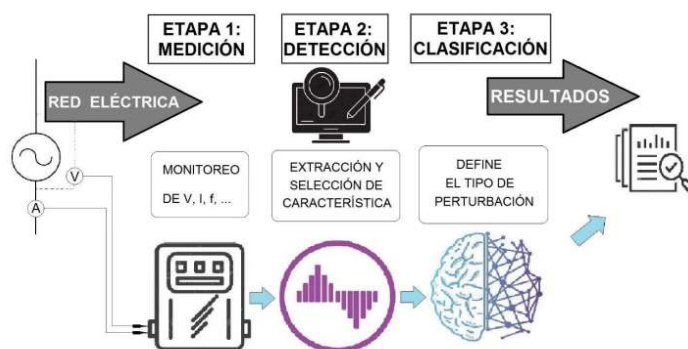


Figura 3.3. Identificación de perturbaciones por etapas [18].

### 3.4 ARMÓNICOS

Principalmente, los armónicos son perturbaciones que provocan distorsiones a la red eléctrica por cargas no lineales; no son más que múltiplos enteros de la frecuencia fundamental y una vez sumados originan distorsiones en las ondas de corriente y voltaje. Dicha frecuencia obedece la operación de aquellas cargas con componentes no lineales que escapan a la proporcionalidad del voltaje y la corriente [19].

Uno de los aspectos más críticos de los armónicos es su efecto en el cruce por cero del voltaje y la corriente, y esta misma interacción afecta el tiempo de operación de aquellos equipos

eléctricos más sensibles como relés y equipos de protección. Las distorsiones por armónicos no impactan sólo la calidad del suministro eléctrico sino también generan sobrecalentamientos en transformadores, pérdidas en motores eléctricos, además de ruido en equipos de comunicación, además de que provocan disminuciones en el ciclo útil de los equipos conectados al sistema.

### **3.4.1 Origen de los armónicos**

J. Kim et al. [20] clasifican las cargas no lineales, causantes del origen de los armónicos en tres clases: La primera corresponde a las fuentes de perturbaciones eléctricas pueden ser diversas, como las generadas por arcos o descargas eléctricas, que incluyen lámparas fluorescentes, focos ahorradores de energía, luminarias de neón, vapores de sodio, hornos de arco eléctrico y soldadura de arco. Por otro lado, en el segundo, los transformadores y motores generan perturbaciones debido a su inductancia, mientras que en el tercero los aparatos electrónicos, tanto domésticos como de oficina, así como los reguladores y reguladores de luz, también son fuentes significativas de interferencias en los sistemas eléctricos.

En la Tabla 0.2 del Anexo A, se describe el comportamiento de algunas fuentes generadoras de armónicos.

## **3.5 MÉTODOS PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA**

### **3.5.1 Sobrevoltaje**

Para reducir y prevenir los sobrevoltajes es necesario usar dispositivos especializados en sobretensiones (DPS) de los cuales se conocen: el corta pico, descargador de rayos, descargador de sobretensiones, supresor de sobrevoltajes, entre otros. Es importante que la instalación de puesta a tierra tenga valores resistivos menores a 10 ohmios para una mejor disipación de sobrevoltajes hacia la tierra [21].

### **3.5.2 Desequilibrio de corriente y potencia**

Los desequilibrios en la corriente hacen relación a sus magnitudes, cuando estas no son iguales entre sí se produce un desequilibrio de corriente y por tanto también afecta a la potencia del sistema. Se presentan por causa de falla en la conexión de neutro y puesta a tierra, por una mala

distribución de cargas monofásicas, equipos trifásicos con consumo desigual, etc. De los métodos para mitigar este problema se considera el balance de cargas para un consumo equitativo, transformadores Zig-Zag, bancos de condensadores por fase, sistemas automáticos de compensación (SVCs y filtros activos) y el mantenimiento periódico a las conexiones del sistema de puesta a tierra [22].

### **3.5.3 Bajo factor de potencia**

Cuando se presenta un bajo factor de potencia se relaciona directamente con el alto consumo de potencia reactiva, por lo que los métodos se enfocan en compensación de reactivos de los cuales se mencionan: inversores con capacidad de inyectar reactivos, banco de capacitores, condensador asíncrono, banco de condensadores estáticos, compensadores de variedad estática (SVC) y condensadores automáticos con filtro desintonizado [23].

### **3.5.4 Sags y Swell**

Los sags o caídas de tensión y swell conocidos como sobretensiones son variaciones momentáneas del voltaje que pueden ser corregidas por restauradores dinámicos de voltajes (DVR), otros dispositivos que cumplen este objetivo son los compensadores estáticos VARs o también conocidos como DSTATCOM, transformadores reguladores de tensión OLTC, etc. Generalmente los que actúan en tiempo real con ajuste de susceptancia como el SVC son los más utilizados [24]

### **3.5.5 Flicker**

Los flicker se adaptan distintas a distintas soluciones dependiendo del tipo de instalación. Las estrategias de mitigación es el cambio de luminarias a unas más específicas para la instalación eléctrica donde se requieren, el uso de dispositivos de compensación como reguladores de voltaje o los compensadores estáticos de potencia reactiva (CEV) y cambios en la configuración de la red como la reducción de la impedancia de los conductores de la red, el uso de capacitores en serie a la red de alimentación [25].

### **3.5.6 Armónicos**

Para mitigar los armónicos en un sistema eléctrico se puede realizar una Atenuación mediante reactancias de línea, la cual es efectiva para armónicos impares que afectan el rendimiento de motores eléctricos; también se puede aplicar el uso de Antimónicas en bancos de condensadores, las cuales están diseñadas para contrarrestar los armónicos no deseados en sistemas que utilizan bancos de condensadores y los filtros pasivos/activos.

De manera general, la solución más común es aplicar un filtro de potencia, cada tipo presenta ciertas características, sin embargo, esta solución resulta más económica y viable en comparación con otros métodos. A continuación, se describe los tipos de filtros existentes:

#### **Filtro Pasivo**

El filtro pasivo es un dispositivo diseñado para eliminar armónicos en sistemas eléctricos mediante el uso de elementos pasivos como capacitancias e inductancias. Estos componentes se configuran en circuitos resonantes ajustados a las frecuencias específicas de los armónicos que se desean eliminar. Al resonar en la frecuencia del armónico objetivo, el filtro pasivo actúa como un absorbente eficaz de estas señales no deseadas [13].

Los filtros pasivos pueden conectarse en paralelo o en serie con el generador armónico, dependiendo de la aplicación. En una configuración en paralelo, el filtro proporciona un camino de baja impedancia para los armónicos, permitiendo que estos sean absorbidos directamente, evitando así que circulen por el sistema eléctrico principal. En cambio, cuando se conecta en serie, el filtro actúa bloqueando el paso de los armónicos hacia la red, limitando su propagación en el sistema. Para una explicación más detallada sobre el funcionamiento de los filtros pasivos en serie y paralelo, consulte la Tabla 0.3 del Anexo A.

#### **Filtro Activo**

Los filtros activos son elementos sofisticados que ayudan a mejorar la calidad de la energía eléctrica mediante la eliminación de los armónicos. Se comportan como correctores activos del sistema, produciendo corrientes que van en sentido opuesto a los componentes armónicos de la corriente de carga. Para garantizarlo, la información de los armónicos tiene que estar correctamente medida [13].

Los filtros activos en configuración en serie poseen problemas técnicos que han limitado su aceptación. Estos filtros hacen uso de la conexión en serie para intentar corregir los armónicos de tensión, pero su capacidad de lidiar con los armónicos de corriente que son igual de importantes, es muy reducida, lo que limita su rango de aplicación [26]. El modelo del funcionamiento de un filtro activo se encuentra representado en la Figura 3.4.

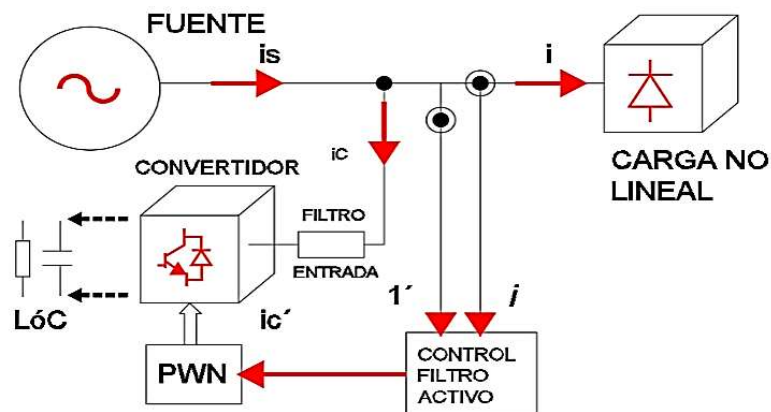


Figura 3.4. Filtro Activo – Funcionamiento [27].

El filtro activo de la Figura 3.4 realiza la medición de una magnitud como corriente ( $i_s'$ ) para posteriormente analizarla y determinar los componentes armónicos que están presentes en la corriente distorsionada por las cargas no lineales. Esta información es utilizada por el controlador del filtro activo para calcular la corriente de compensación ( $i_c'$ ) necesaria para neutralizar todos los armónicos. Esta corriente de compensación tiene la misma frecuencia y amplitud que los armónicos que se detectan, pero en sentido contrario, para hacer una cancelación efectiva.

La creación de ( $i_c'$ ) se lleva a cabo mediante un convertidor de energía regulado por modulación por ancho de pulso (PWM). Al ser inyectada ( $i_c'$ ) en la red, interactúa con la corriente distorsionada, anulando los armónicos y obteniendo como resultado una corriente fundamental de forma sinusoidal. La generación de ( $i_c'$ ) se realiza mediante un convertidor de potencia controlado mediante el Modulador de Ancho de Pulsos (PWM). Una vez inyectada ( $i_c'$ ) en la red, esta interactúa con la corriente distorsionada, cancelando los armónicos y dejando como resultado una corriente fundamental sinusoidal.

### 3.6 NORMATIVAS APLICADAS

La calidad de energía eléctrica está regulada por normativas nacionales e internacionales que establecen criterios técnicos para garantizar un suministro seguro y dentro de parámetros aceptables.

#### 3.6.1 Normativas Internacionales

##### Normativa IEEE 519

Esta normativa se centra principalmente en los armónicos generados por cargas no lineales para anticipar problemas de calidad de energía. Esta regulación toma en cuenta tanto la distorsión armónica total, como la distorsión armónica individual, como lo hace la normativa ARCERNNR 003/2023 [28]. Los límites de voltaje armónico se pueden observar en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3.** Límites de distorsión de voltaje [28].

Voltaje de bus en PCC	Armónico Individual (%)	Distorsión Armónica Total THD (%)
$V \leq 1.0 \text{ kV}$	5,0	8,0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3,0	5,0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1,5	2,5
$161 \text{ kV} < V$	1,0	1,5

Los límites de distorsión de corriente recomendados para sistemas con clasificación nominal de 120 V a 69 Kv se pueden observar en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4.** Límites de distorsión de corriente para sistemas clasificados de 120 V – 69 kV[28].

Distorsión máxima de la corriente armónica en porcentaje de $I_L$ .						
Orden armónico individual (armónicos impares) <sup>a,b</sup>						
$I_{sc}/I_L$	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	TDD
$< 20^c$	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

##### Normativa IEEE 1159

Esta normativa internacional clasifica los fenómenos electromagnéticos que afectan a las redes eléctricas en siete categorías distintas: transitorios, variaciones de corta y larga duración,

desequilibrio de tensión, distorsión de forma de onda, fluctuaciones de tensión y variaciones de frecuencia. Las variaciones de corta duración, como caídas de tensión (sags), sobrevoltajes (swells) e interrupciones, se agrupan según su duración como instantáneas, momentáneas o temporales y son causadas principalmente por fallas en el sistema o por la conexión de cargas de alta corriente. Además, se establecen los límites para estas variaciones, que dependen de su magnitud y duración, y pueden oscilar desde un par de ciclos hasta más de un minuto [16].

### 3.6.2 Normativas Nacionales

#### Normativa ARCERNNR 003/2023

En esta normativa se evalúa cuatro parámetros importantes, como el nivel de voltaje, Flicker, Distorsión Armónica de Voltaje y Desequilibrio de Voltaje, los cuales que se detallan en la Tabla 3.5.

**Tabla 3.5.** Resumen de Parámetros de Calidad del Servicio Eléctrico [7].

Parámetro	Descripción	Valores Admisibles
Nivel de voltaje	Se refiere a la amplitud del voltaje suministrado por el sistema eléctrico.	Alto Voltaje (Grupo 1 y 2): $\pm 5\%$ Medio Voltaje: $\pm 6\%$ Bajo Voltaje: $\pm 8\%$
Perturbaciones rápidas de voltaje (Flicker)	Cambios rápidos en el nivel de voltaje que puede causar parpadeos en las luces.	Índice de severidad $\leq 1$ (95% de los valores deben cumplir durante 7 días).
Distorsión Armónica de Voltaje	Distorsión en la forma de onda de voltaje debido a armónicos generados por cargas no lineales.	Bajo Voltaje: THD $\leq 8\%$ Medio Voltaje: THD $\leq 5\%$ Alto Voltaje (grupo 1): THD $\leq 2.5\%$ Alto Voltaje (grupo 2): THD $\leq 1.5\%$ .
Desequilibrio de Voltaje	Desviación entre las amplitudes de las fases del sistema trifásico.	Desequilibrio $\leq 2\%$ (95% de los valores deben cumplir durante 7 días)

### 3.7 EMPRESAS CASOS ESPECÍFICOS

En la Tabla 0.4 del Anexo A, se presenta trabajos similares, en los que se encuentran problemas de calidad de energía, como son los armónicos altos, las fluctuaciones de tensión y el bajo factor de potencia. Para contrarrestar estos efectos, se han propuesto filtros de armónicos, bancos de condensadores y mejoras en la puesta a tierra, con la idea de mejorar la eficiencia del sistema eléctrico.

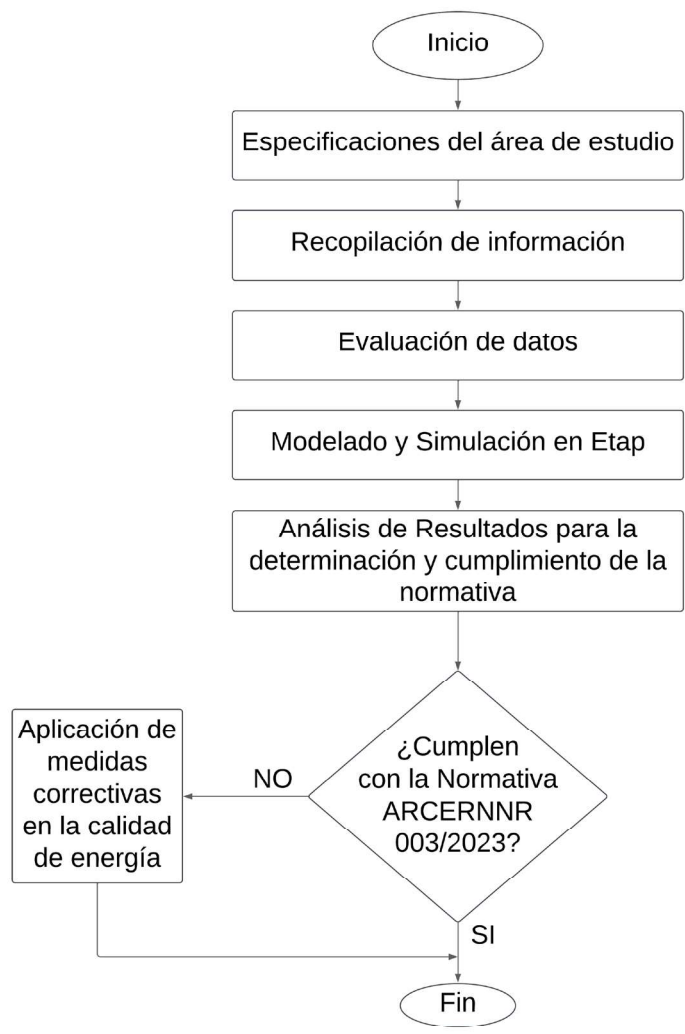
## **4. METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS**

El presente trabajo pretende tener como objetivo evaluar la calidad de energía eléctrica de la empresa Tanilact. En la Figura 4.1, se observa la metodología a seguir a lo largo de diferentes etapas.

Dicho proceso se inició tras la determinación de la zona donde se llevará a cabo el estudio, en donde se identificó las principales particularidades de la empresa, como qué si se trataba de un sistema de 13.8 kV, el alimentador que abastece a la empresa, aforo, etc. Luego, se realizó una recolección exhaustiva de información, comenzando por la infraestructura eléctrica, especificaciones técnicas de los equipos y el reparto de la demanda eléctrica. Gracias a este arduo trabajo se logró actualizar los diagramas unifilares al identificar las cargas más relevantes y representativas de la instalación.

Una vez recopilada toda la información y siguiendo las disposiciones recomendadas en la IEEE-1159 [16] y ARCERNNR 003/23 [7], se determinó el lugar adecuado para la instalación del equipo. Para ello, se utilizó el analizador de redes “Fluke 435-II”, el cual fue ubicado en el tablero principal de distribución. Durante este proceso, se registraron valores de tensión y flujo de corriente, índice de factor de potencia, porcentaje de distorsión armónica total y fluctuaciones en el voltaje (sags y swells).

Por último, se simuló la red eléctrica a partir de un diagrama de unifilar en un programa especializado, lo que permitió ver el comportamiento de la red. Después, se observó en detalle los parámetros eléctricos que se había obtenido del analizador de redes para ver si la red eléctrica tenía problemas de calidad y el alcance de estos problemas. Posteriormente, se comprobó si los parámetros eléctricos cumplen con la normativa ARCERNNR 003/23 [6] y, en caso de no cumplir, debe tomarse una medida para mejorar la calidad de la energía y red eléctrica.



**Figura 4.1.** Metodología implementada en el estudio

**4.1 ESPECIFICACIONES DEL ÁREA DE ESTUDIO**

**4.1.1 Antecedentes**

Tanilact, es una empresa que tuvo sus inicios el primero de julio de 1990. El señor Ricardo y la señora Martha, fundaron la empresa bajo la designación “Rico Queso”, comenzando con dos empleados que preparaban quesos para exhibirlo al público. Posteriormente, esta empresa comenzó a trabajar con leche y optaron por cambiar el nombre de su emprendimiento a “Productos Lácteos Tanicuchi”, en honor al sector en el que se encuentra la empresa [29].

Después de eso, la clientela aumentó notablemente, lo que obligo a la empresa a generar nuevos productos derivados de la leche, con la mejor calidad posible en ese tiempo. En el año 2017,

específicamente el 29 de junio, la institución de Rentas Internas cambió el nombre comercial a "PASTEURIZADORA TANILACT", y este nombre sigue siendo utilizado en la condición de persona natural [30].

#### **4.1.2 Localización Geográfica**

La empresa Tanilact se encuentra ubicado en la parroquia de Tanicuchi, sobre la vía pública Juan Manuel Lasso, su principal actividad es el envasado de leche y producción de sus derivados. El lugar en el cual está ubicado es estratégico para los diversos productos de leche de la región, lo que permite a la pasteurizadora producir sus productos lácteos [31].

#### **4.1.3 Caracterización del Sistema Eléctrico**

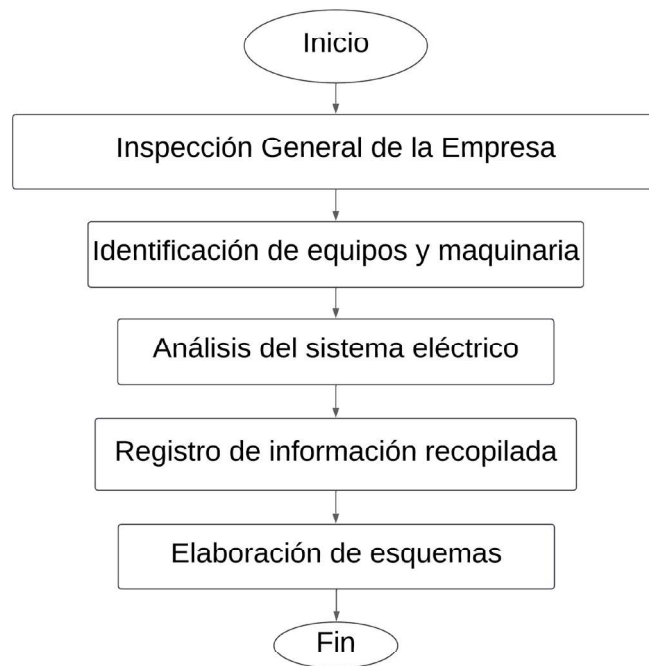
Esta empresa cuenta con un sistema eléctrico trifásico que se alimenta desde la subestación Mulaló, la cual dispone de una capacidad de 10MVA a 12 MVA, junto con un alimentador de 13,8 kV, el alimentador que abastece a la Empresa se denomina como “Alimentador #0402 Tanicuchi”, supervisada y operada por ELEPCO S.A. [32]. El transformador que utiliza la industria es un tipo PadMounted Trifásico en cabina de 600 kVA, mismo que tiene una relación de transformación de 13,8 kV/220 V, con una conexión delta-estrella.

### **4.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN**

Se estructuró en cuatro fases para obtener la información de la industria Tanilact, las cuales se exponen a continuación:

#### **4.2.1 Fase A: Recolección de Datos de Cargas**

En la primera fase, se llevó a cabo una inspección detallada de todas las áreas de la planta con el apoyo del personal de mantenimiento. Durante este proceso, se observó los distintos equipos y maquinaria que ocupan en la industria, así como los distintos procesos que mantienen funcionando a la empresa. Se prestó una atención especial a parámetros clave como las potencias de las cargas, calibre de conductores y las protecciones eléctricas de cada equipo y circuito. Después de recopilar la información, se registró la información con ayuda del software Excel. En la Figura 4.2 se describe lo mencionado anteriormente.



**Figura 4.2.** Proceso de levantamiento de planos eléctricos

#### **4.2.2 Fase B: Elaboración del Diagrama Unifilar**

Después de finalizar la Fase A: Recolección de Datos de Cargas, se procede a realizar el diagrama unifilar del sistema eléctrico utilizando AutoCAD. Para lograr este objetivo, se inicia con la elaboración gráfica de los diferentes componentes eléctricos, como tableros, transformadores, protecciones y cargas. Se utiliza simbología normalizada para facilitar la interpretación del esquema y se organizan los elementos de manera que reflejen la distribución real del sistema. Además, se incluyeron etiquetas con varios parámetros como la corriente de operación, factor de potencia, la potencia demandada, calibre de conductores y las distancias de distribución.

#### **4.2.3 Fase C: Evaluación del consumo de energía eléctrica**

En esta fase se realizó una evaluación del consumo de energía eléctrica utilizando las planillas emitidas por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A) desde el mes de abril del año 2023 hasta el mes de febrero del año 2024. Con ayuda del software computacional “Excel” se calcula la energía y potencia promedio consumida en el periodo mencionado y se

organizó todos los datos en tablas. El principal objetivo fue analizar el uso y gestión del suministro eléctrico por parte de la empresa Tanilact.

#### 4.2.4 Fase D: Obtención de parámetros eléctricos mediante el analizador de redes

En la Figura 4.3 se muestra el procedimiento para obtener las magnitudes eléctricas para realizar un correcto análisis de calidad de energía.

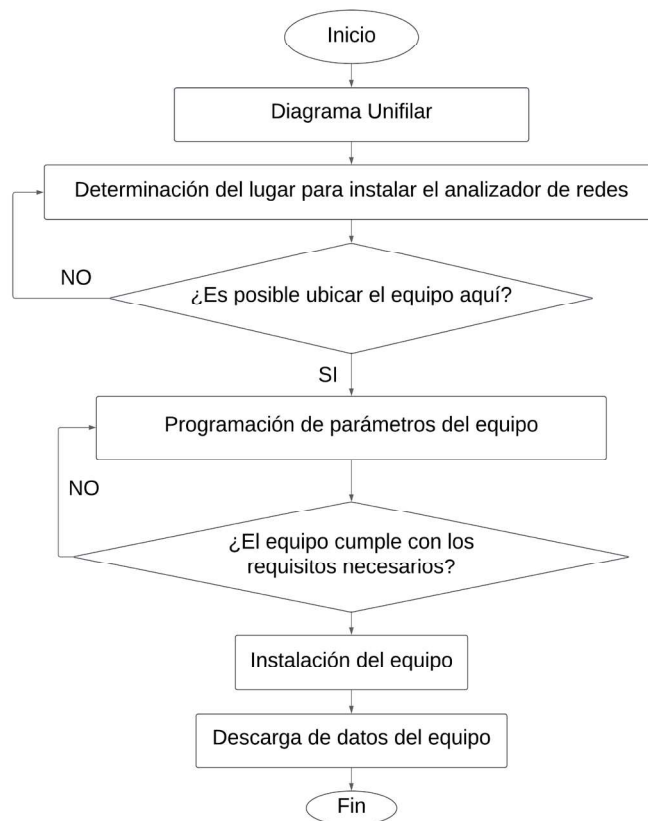


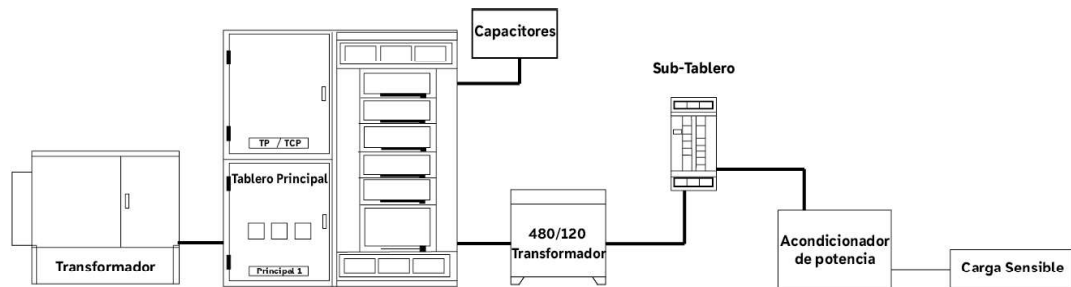
Figura 4.3. Proceso de obtención de datos mediante el analizador de redes

##### a) Determinación del lugar para la instalar el analizador de redes

Con los datos recopilados en la primera fase y siguiente los lineamientos establecidos en la normativa IEEE-1159-2019, se procedió a identificar un lugar óptimo para la instalación del analizador de redes. Esta normativa establece lo siguiente:

Si el propósito del monitoreo es investigar la calidad general de la energía de la instalación, el monitor debe colocarse en el secundario del transformador de entrada del servicio principal, que generalmente es un equipo de servicio de clase de 600 V. El

monitor registra el efecto de la calidad de la energía suministrada en la instalación, así como el efecto de las principales cargas dentro de la instalación. Los monitores deben moverse aguas abajo en el sistema de distribución para registrar la calidad de la energía de los alimentadores individuales si este fuera el caso [16]. Lo expuesto en esta normativa se muestra en la Figura 4.4.



**Figura 4.4.** Ubicaciones de monitoreo sugeridas en un sistema típico de bajo voltaje (las flechas apuntan a la ubicación sugerida de las sondas) [16].

Considerando los aspectos mencionados y las características del sistema, se decidió instalar el analizador de redes en el tablero principal de distribución. Este lugar resulta fundamental para revisar cómo funciona el sistema, detectar posibles fallas y comparar los datos con las normativas nacionales e internacionales.

### **b) Programación de parámetros del equipo**

En este apartado se realizó la programación del equipo, en dónde se configuró distintos parámetros como los voltajes, corrientes, potencias, armónicos, tipo de conexión del transformador, entre otros.

El tiempo mínimo que debe medir el analizador de redes, se puede encontrar en la norma ARCERNR 003/23. Misma normativa que especifica, que, el periodo de evaluación no debe ser inferior a siete días continuos, con intervalos de medida máximos de 10 minutos [3]. Este parámetro aseguraría que las mediciones permitan realizar una evaluación adecuada de la calidad de energía en la empresa.

En la Figura 4.5 se observa la forma física del analizador de redes Fluke 435-II, este equipo está diseñado para reducir tiempos de inactividad y solucionar problemas de

calidad de energía, debido a que, mide varios parámetros a la vez y permite observar los resultados como valores simples, valores digitales, gráficos de tendencias (para visualizar rápidamente los cambios a lo largo del tiempo), formas de onda o diagramas fasoriales. Además, también permite registrar eventos detallados para identificar y corregir problemas en el sistema. [33].

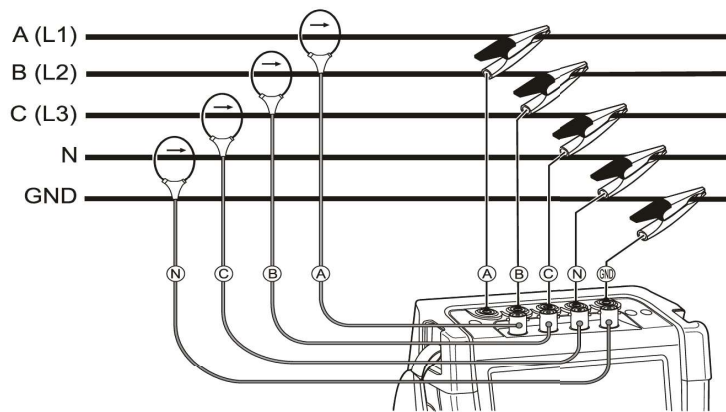


**Figura 4.5.** Fluke 435-II [33].

Entre las características principales del modelo del analizador de redes, Fluke 435 II, se encuentra la captura de datos, de una manera super rápida de hasta intervalos de 3 segundos; mediciones de potencias, desequilibrios y perturbaciones eléctricas y todos estos valores se guardan automáticamente, además, se puede visualizar los datos por medio de la pantalla instalada [34].

### **c) Instalación del equipo FLUKE 435-II**

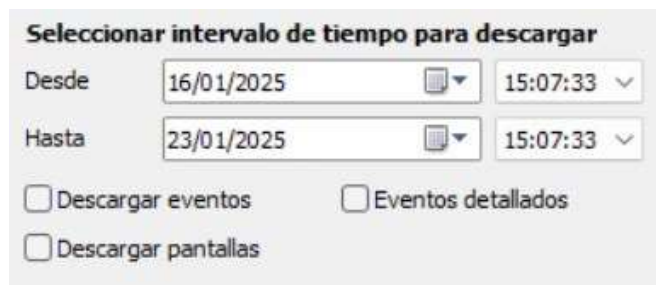
Se realizó la conexión en el lado secundario del transformador, mismo que tiene una conexión delta-estrella, exactamente en el tablero principal de distribución. Antes de que el equipo empiece a medir, se revisó algunos parámetros importantes como: diagrama fasorial en la pantalla, voltaje, corriente, potencia de las tres líneas, además, se observó los cables de voltaje y las sondas amperimétricas estén correctamente conectadas. La configuración de la conexión se muestra en la Figura 4.6.



**Figura 4.6.** Conexión del analizador de redes [3].

Se configuró que el periodo de registro de datos sea de 7 días, por lo tanto, el analizador de redes empezó a medir desde el día Jueves 16 de enero de 2025 a las 15:07:33 y finalizó el jueves 23 de enero de 2025 a la misma hora. El registro de datos se realizó cada 3 segundos con la finalidad de obtener información más precisos.

Esta información se puede verificar con los datos obtenidos del analizador de redes y con ayuda del software “PowerLog”, observe la Figura 4.7.



**Figura 4.7.** Periodo de Tiempo de medición del Fluke 435-II

En la Figura 4.8, se puede observar la manera, en la cual, quedo instalado el analizador de redes en el tablero de distribución principal, ubicado exactamente en el lado secundario del transformador para determinar los parámetros de estudios propuestos.



**Figura 4.8.** Instalación del analizador de red en la Empresa

#### **d) Descarga de datos del equipo**

Para observar, descargar y analizar la información registrada por el analizador de redes, los datos almacenados en su tarjeta SD de 8GB fueron transferidos a una computadora mediante un lector de tarjetas micro SD.

Una vez que se obtuvo los datos en la computadora, la información fue procesada en el software PowerLog, el cual facilita la visualización y descarga de los resultados obtenidos. Además, se exportaron los valores de tensión, corriente, armónicos, potencia, factor de potencia y las distintas perturbaciones eléctricas a Excel para su posterior análisis detallado [3].

### **4.3 EVALUACIÓN DE DATOS**

Tras la recolección de datos mencionados en la fase 4 de la sección 4.3, se procede a tabular la información obtenida durante el periodo de medición. Por lo tanto, se tomaron registros de lecturas de los parámetros eléctricos clave durante un periodo continuo de 7 días, cada 3 segundos. Posteriormente, los datos recopilados fueron organizados mediante el cálculo de un promedio diario y utilizados según el parámetro específico que se requería analizar [7]. Esta

información organizada, permite analizar la evolución de los parámetros eléctricos a lo largo del tiempo, lo que facilita la identificación de las distintas tendencias y la toma de decisiones con el objetivo de optimizar la calidad de la energía.

En la Tabla 0.5 del Anexo A se detallan los diferentes aspectos, como el voltaje, la corriente, el factor de potencia y los límites de distorsión armónica, los cuales son fundamentales para realizar un correcto análisis de calidad de energía.

#### **4.4 MODELADO Y SIMULACIÓN EN ETAP**

Una vez que se cuenta con el diagrama unifilar de la empresa y una base de datos que especifica las características de los conductores, cargas y demás elementos expuestos en la sección 4.2, se procede a simular el sistema eléctrico mediante el software ETAP, misma que permite observar la estructura y distribución de las cargas más representativas, así como analizar diversos fenómenos eléctricos como caídas de tensión e introducción de armónicos. De esta forma, se facilitó la optimización del rendimiento del sistema y se asegura que se cumplan los estándares normativos.

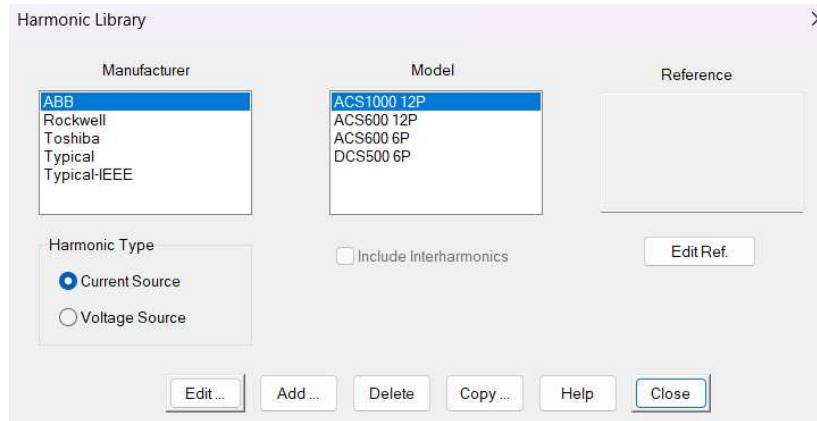
Para elaborar el diagrama unifilar en ETAP, se siguió un procedimiento estructurado y conformado por varias etapas. En primer lugar, se agregó todos los elementos necesarios del sistema eléctrico, como la fuente de alimentación, transformador, cargas, motores, conductores, protecciones y más. Posteriormente, cada uno de estos elementos fue configurado con sus parámetros específicos como tensión, capacidad nominal y características propias de cada elemento.

Después de configurar correctamente cada elemento, se procede a poner en marcha la simulación, en la misma que, fue posible analizar diferentes parámetros a detalle, como la distribución de cargas, la caída de tensión, y especialmente, identificar la presencia y magnitud de los armónicos.

##### **4.4.1 Ingreso de Armónicos en el software**

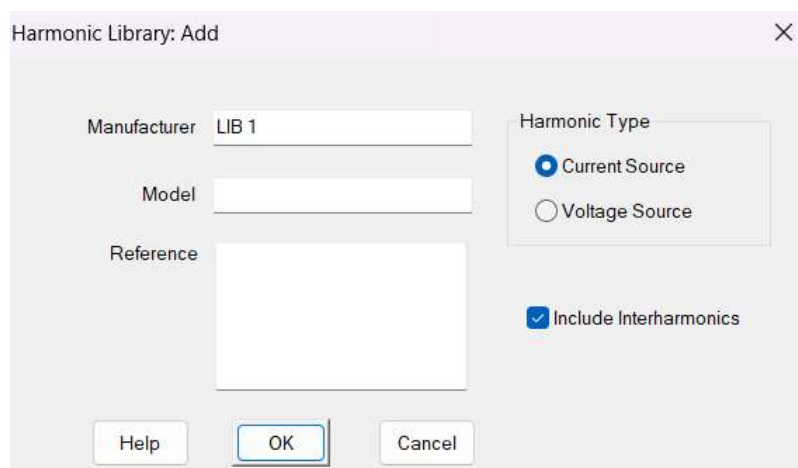
El software ETAP es un programa especializado en la simulación y análisis de sistemas eléctricos, el programa permite analizar el flujo de carga, análisis de cortocircuitos, coordinación de protecciones, análisis transitorios y dinámicos, entre otros. Para un estudio de

armónicos el software permite seleccionar perturbación en productos eléctricos por fabricantes reconocidos como se indica en la Figura 4.9.



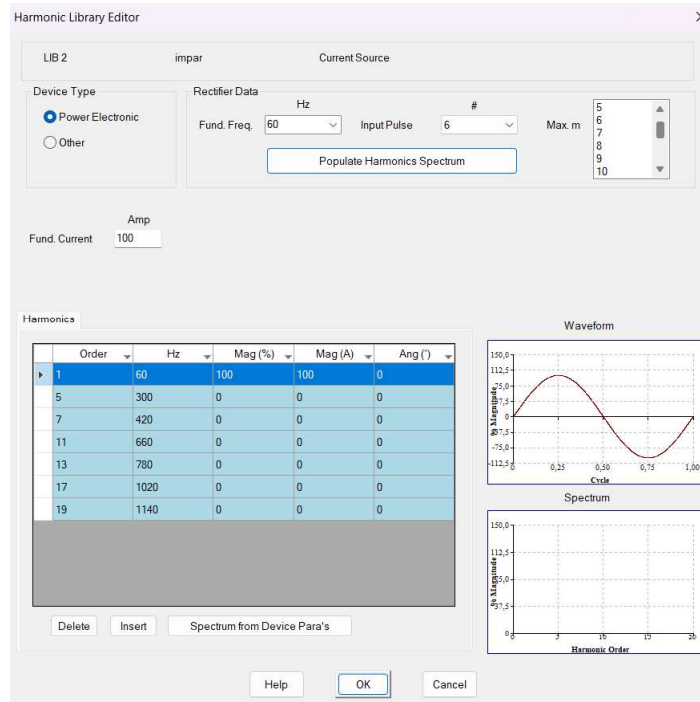
**Figura 4.9.** Librería de armónicos

Existen diversos tipos de armónicos para seleccionar, pero para aplicaciones específicas, el software permite cargar una librería personalizada de armónicos de corriente o voltaje, según sea el caso, como indica la Figura 4.10. En situaciones donde los armónicos son generados por electrónica de potencia, como en el caso de inversores fotovoltaicos, soldaduras de arco, iluminación con balastos electrónicos, entre otros, el software también permite ingresar Inter armónicos. Estos Inter armónicos corresponden a frecuencias no enteras, tales como 85 Hz, 147 Hz, 223 Hz, etc.



**Figura 4.10.** Ingreso de la librería de armónico

Al definir el tipo armónico se configura la frecuencia, el número de impulsos y el orden de los armónicos que se van a presentar, generalmente los armónicos que se ingresan son impares para una frecuencia de 60 Hz, como indica la Figura 4.11.



**Figura 4.11.** Orden de armónicos ingresados

Las librerías de armónicos creadas pueden ajustarse a las cargas no lineales del flujo de ETAP, permitiendo realizar diversas pruebas de comportamiento del sistema con los armónicos. Esto facilita el análisis del THD (Distorsión Armónica Total) presente y su impacto en la calidad de energía del sistema.

#### 4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con los datos obtenidos por medio del analizador de calidad de energía Fluke 435-II, se procede a aplicar la normativa ARCERNR 003/23 [7]. La misma que está enfocada en entornos industriales y establece parámetros para garantizar la calidad del suministro eléctrico. Dicha normativa define los valores máximos permitidos de distorsión armónica, los límites de fluctuaciones de voltaje (Flickers) y otros factores esenciales que deben ser analizados y observados constantemente para mantener un sistema eléctrico estable. En tal caso, que los

valores obtenidos de los distintos parámetros eléctricos, no cumplan con la normativa, se procede a aplicar métodos de corrección para mejorar la calidad de la energía eléctrica.

En la Tabla 4.1 se presentan los principales parámetros fundamentales, clasificados en tres categorías: parámetros de voltaje, parámetros de corriente y límites de distorsión.

**Tabla 4.1.** Clasificación de Parámetros Eléctricos

<b>Parámetros de Voltaje</b>	Variaciones en el nivel de voltaje
	Flickers
	Desbalance en los niveles de voltaje
	Contenido armónico en la tensión
	Valor eficaz de la tensión (RMS)
	Evaluación del factor de potencia
<b>Parámetros de Corriente</b>	Desbalance de Corriente
<b>Límites de Distorsión</b>	Distorsión armónica de voltaje
	Distorsión armónica de corriente

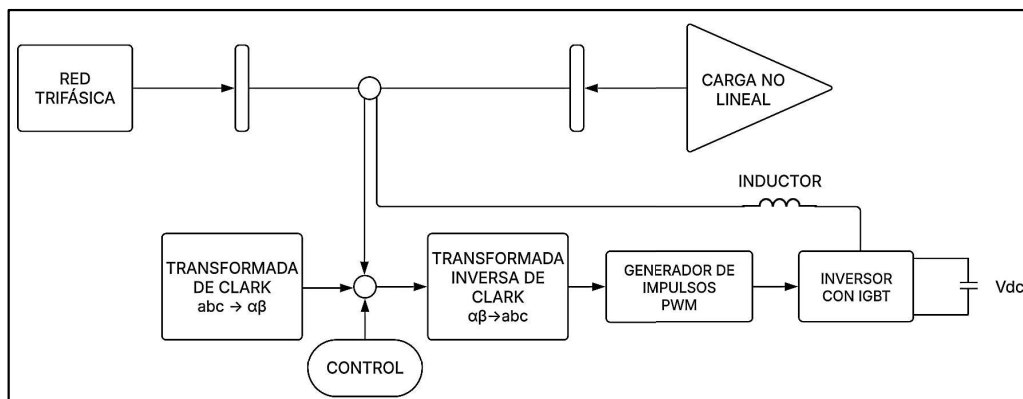
#### **4.6 PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA EL INCUMPLIMIENTO DE LÍMITES NORMATIVOS.**

Como propuesta para mitigar la presencia de armónicos de corriente en la red eléctrica de la empresa, en caso de que existan y superen el límite establecido por la normativa, se plantea el diseño de un filtro activo en Simulink, este filtro activo es de tipo “shunt” o también conocido como “conexión en paralelo”, se conforma por una red trifásica con inyección de armónicos de corriente por medio de las cargas no lineales.

Para la detección y corrección de los armónicos se implementa la transformada de Clark para transformar las señales trifásicas de la red a ejes más manejables para la detección de armónicos,

esta señal es controlada y se aplica la transformada inversa de Clark para volver a un sistema trifásico, además de proporcionar una señal de referencia inyectada para cancelar los armónicos.

La señal se compara con el generador de impulsos PWM para crear una señal de salida con una frecuencia efectiva se controla con los transistores IGBTs del inversor para reducir los armónicos en el sistema, el inversor tiene un voltaje dc que evita la inestabilidad en la conmutación del inversor. Finalmente, la corriente de salida es inyectada en el sistema eléctrico a través de inductores de acoplamiento que se configuran para definir el orden de armónico a controlar. En la Figura 4.12 se describe el modelo del filtro activo.



**Figura 4.12.** Modelo del filtro activo

## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 ANÁLISIS DE PLANILLAS ELÉCTRICAS

La empresa de lácteos Tanilact recibe mensualmente un registro detallado de su consumo energético por parte de la empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. (ELEPCO S.A). Estos registros, se tomaron a partir de abril de 2023 hasta febrero de 2025, sumando un total de 23 meses, la información incluye el consumo de energía en kilovatios hora (kWh), y la potencia activa en kilovatios (kW). La Figura 5.1 presenta una visualización gráfica de la evolución del consumo energético mensual.

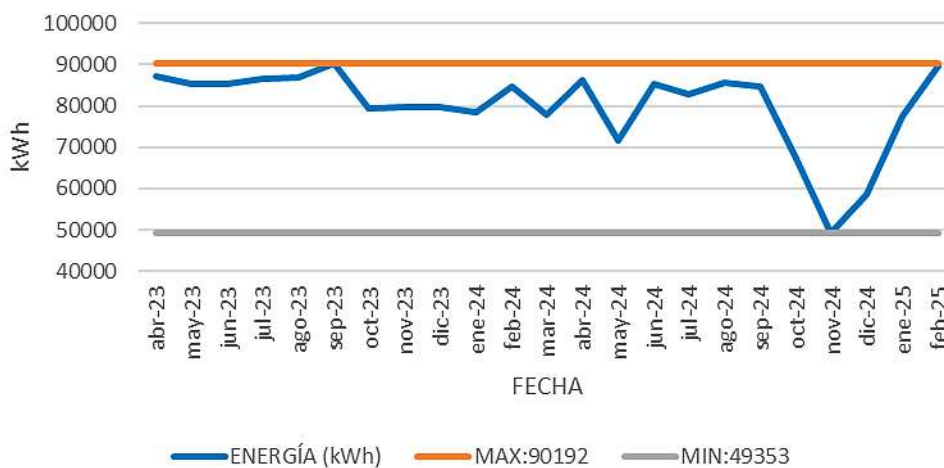
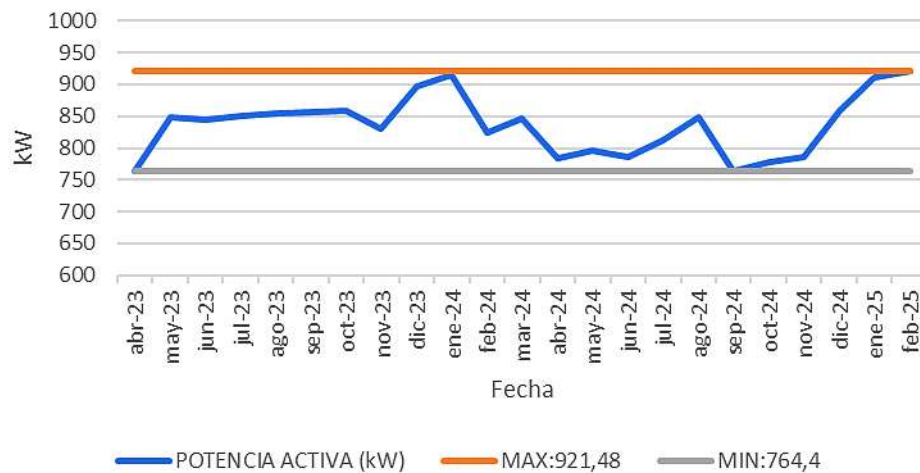


Figura 5.1. Curva de energía de la empresa

El consumo energético durante octubre-2024 y diciembre-2024 indica una disminución significativa del consumo siendo el mes de noviembre-2024 el mínimo con un valor de 49 353 kWh, esto refleja una disminución de producción en los últimos meses del año 2024, por otro lado, el mes con mayor consumo es septiembre-2023 con un valor de 90 192 kWh. En cuanto al consumo de potencia activa se tiene el comportamiento mensual descrito en la Figura 5.2.



**Figura 5.2.** Curva de energía reactiva de la empresa

La potencia activa de la empresa es un valor importante para obtener una referencia de la demanda de consumo de todas las cargas de la industria distribuida en el área de oficinas, taller, almacenes, área de producción, etc. El máximo consumo se realizó en el mes de febrero-2025 con un valor de 921.48 kW, mientras que el mínimo se realizó en abril-2023 con un valor de 764.4 kW. La curva de potencia es creciente, indicando una tasa de crecimiento del 20.54 % a partir del 2023 al 2025.

## 5.2 PRESENTACIÓN DEL DIAGRAMA UNIFILAR Y METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN

La información recopilada en la empresa Tanilact, permite representar de forma adecuada la ubicación de los elementos del sistema como lo son el alimentador, el transformador principal, la red de emergencia, el banco de capacitores y los sub tableros.

En la Tabla 0.6 del Anexo A, se encuentra representando las distintas áreas de la empresa, con sus respectivas cargas, marcas, potencias y voltajes al que trabajan. Mientras que, en la Tabla 0.7 del Anexo A, se encuentra la información de forma más simplificada y para mejorar el entendimiento, es decir, es el resumen de todas las cargas, en las cuales se encuentra sumada la potencia de las máquinas que son del mismo tipo. Además, en la Tabla 0.8 del Anexo A, se muestra los conductores de cada línea que conectan los distintos tableros y equipos.

Todos estos elementos fueron graficados en el software AutoCAD conjuntamente con las cargas que conforman los sub tableros, para lo cual se realizó una inspección de campo para registrar las corrientes y potencias de cada carga, para ver el esquema completo, observe la Figura 1 del Anexo C.

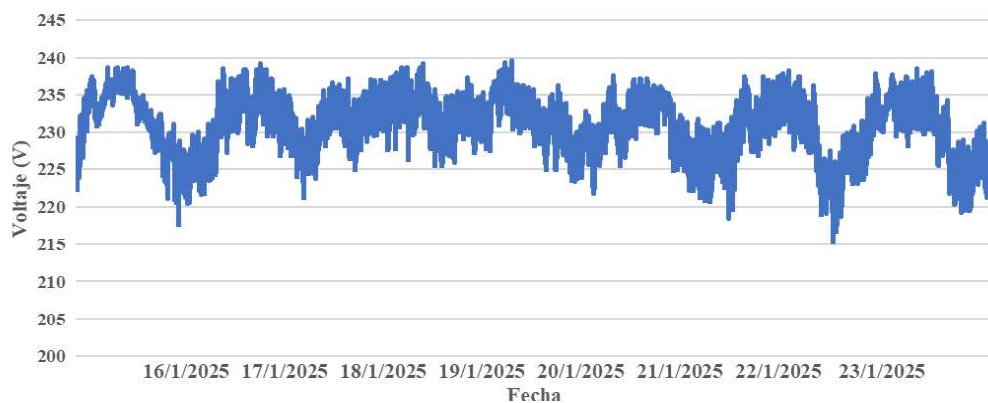
### 5.3 ANÁLISIS DE PARÁMETROS GENERALES DEL SISTEMA

En el presente apartado se realiza un análisis comparativo de las mediciones de calidad de energía eléctrica con respecto a la resolución Nro. ARCERNNR-003/2023 y normativa IEEE 519-2014 con respecto a niveles de voltaje, corriente, potencias y el factor de potencia.

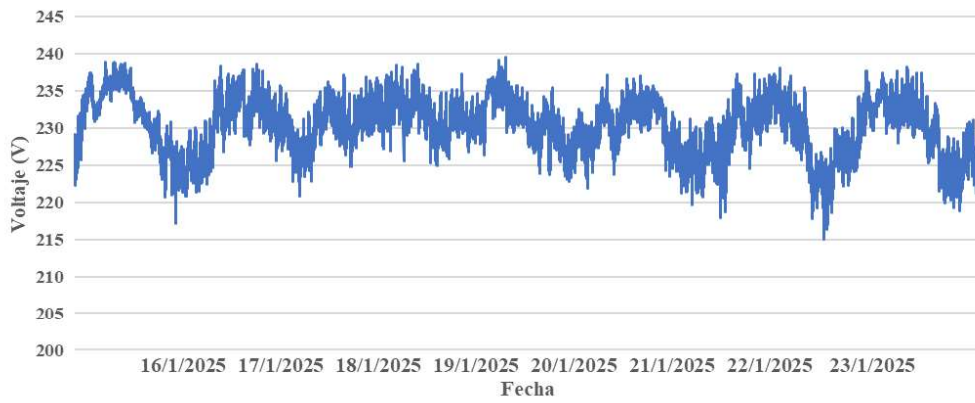
#### 5.3.1 Niveles de Voltaje

##### Voltajes de fase - fase

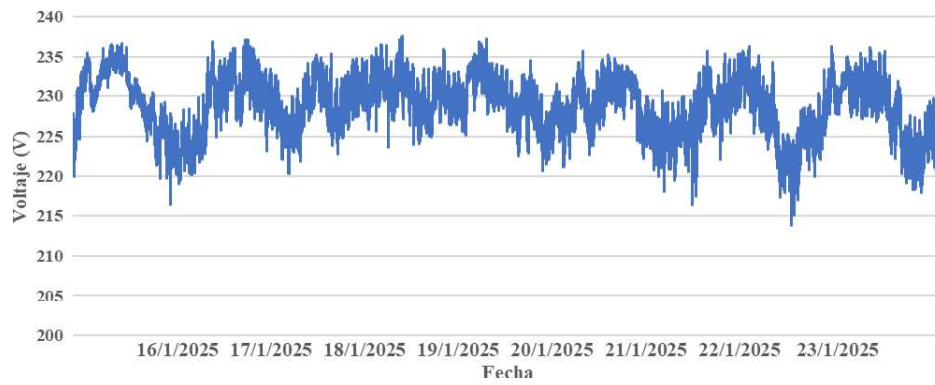
A través de la Figura 5.3, a), b) y c) se observan los perfiles de voltaje fase-fase ( $L_{12}$ ,  $L_{23}$  y  $L_{31}$ ) promedios en un periodo de 7 días, es decir, inicia a las 15:07:37 del 16 en enero y termina el 23/01/2025 a las 15:07:34. Gracias al analizador de red Fluke se realizan mediciones cada 3 segundos, obteniendo un total de 201600 datos de voltaje. El voltaje promedio de la línea 1-2 es de 230,78 V, el promedio de la línea 2-3 es de 230,42 V y finalmente, el promedio de la línea 3-1 es de 228,85 V



a)  $L_{12}$



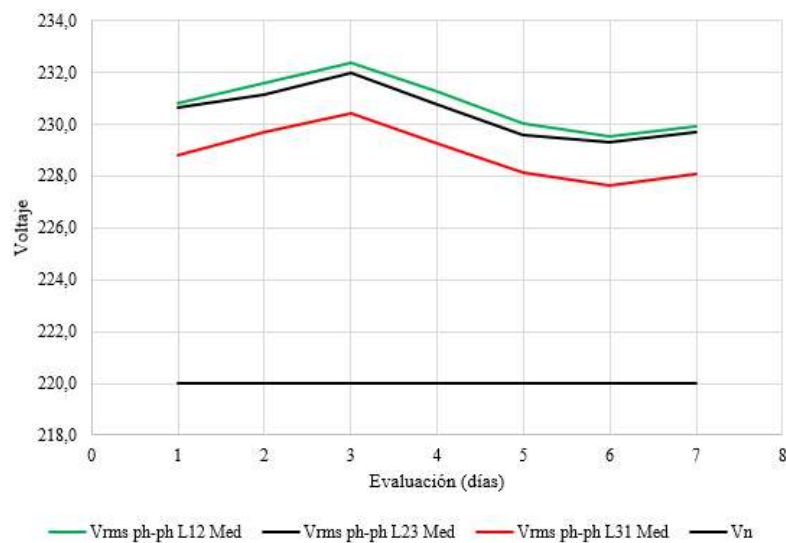
b) L<sub>23</sub>



c) L<sub>31</sub>

**Figura 5.3.** Voltajes fase-fase

Acogiendo los valores promedios por día, se tiene que el nivel de voltaje es superior a los 226 V, tal como se muestra en la Figura 5.4, por ende, es superior al voltaje nominal  $V_n$  de 220 V.



**Figura 5.4.** Voltajes fase – fase medios por día

Al evaluar el nivel de voltaje ( $\pm 8\%$ ) de la ARCERNNR 003/2023, se tiene que cumple con los parámetros establecidos, tal como se indica en la Tabla 5.1; donde  $\Delta V$  significa el intervalo de voltaje promedio de mediciones en un periodo de 10 minutos.

**Tabla 5.1.** Comparativa del nivel de voltaje fase-fase

DÍA DE MEDICIÓN	L1-L2	VARIACIÓN (%)	L2-L3	VARIACIÓN (%)	L3-L1	VARIACIÓN (%)	ARCERNNR 003/23 ( $\pm 8\%$ )
1	227,80	3,55%	227,81	3,55%	226,35	2,89%	CUMPLE
2	226,35	2,88%	226,25	2,84%	224,92	2,24%	CUMPLE
3	232,64	5,75%	231,92	5,42%	231,17	5,08%	CUMPLE
4	231,04	5,02%	230,57	4,81%	229,37	4,26%	CUMPLE
5	227,66	3,48%	227,13	3,24%	225,94	2,70%	CUMPLE
6	228,48	3,85%	228,21	3,73%	227,14	3,24%	CUMPLE
7	227,34	3,34%	227,29	3,31%	225,97	2,71%	CUMPLE
<b>PROMEDIO GENERAL</b>	228,76	3,98%	228,45	3,84%	227,27	3,30%	CUMPLE

### 5.3.2 Análisis de Corriente

En este apartado se analiza el desequilibrio de corriente, para ello, se obtuvo los datos de corriente del analizador de redes, obteniendo así, un total de 201600 datos por cada fase. Posteriormente, se organizó esta información en un promedio diario para agilizar el análisis y un aspecto fundamental que se debe tener en cuenta, son los límites permitidos. Según la normativa ARCERNNR 003/23, el desequilibrio de corriente se considera aceptable si se mantiene dentro del rango  $\pm 3\%$ , lo cual es importante para asegurar la eficiencia operativa del sistema eléctrico, prevenir sobrecalentamiento, y desgaste anticipado de los equipos.

Este análisis se basa en el cálculo de un promedio de los valores de corriente por cada fase, a partir de los cuales se obtiene el valor máximo de las tres fases y el promedio general de las mismas. Con estos valores, se procede a calcular el desequilibrio de corriente y los resultados se pueden observar en la Tabla 5.2, esta tabla muestra los resultados de mediciones diarias, evidencian que todos los días cumplen con la normativa de desequilibrio de corriente, debido a que, los valores obtenidos se mantienen por debajo del 3%. El valor más alto registrado fue del 2,60%, en el tercer día de medición, el 18 de enero de 2025, lo cual sigue estando dentro del rango aceptable.

**Tabla 5.2.** Desequilibrio de corriente

Fecha	Corriente [A]					Desequilibrio (%)	Observación ±3%
	Fase A	Fase B	Fase C	Max	Promedio		
16/01/2025	373,22	378,20	389,02	389,02	380,15	2,33%	CUMPLE
17/01/2025	304,04	306,08	308,71	308,71	306,28	0,79%	CUMPLE
18/01/2025	339,31	343,93	355,11	355,11	346,12	2,60%	CUMPLE
19/01/2025	417,06	411,05	414,84	417,06	414,31	0,66%	CUMPLE
20/01/2025	322,66	320,76	319,07	322,66	320,83	0,57%	CUMPLE
21/01/2025	389,36	392,29	399,16	399,16	393,60	1,41%	CUMPLE
22/01/2025	343,68	347,83	350,55	350,55	347,35	0,92%	CUMPLE

### 5.3.3 Análisis de Potencia activa (P)

En la Tabla 5.3 se puede observar el porcentaje de desbalance de potencia activa en cada fase, durante los 7 días de medición. Este análisis se realizó con los datos obtenidos del analizador de redes, considerando los tres tipos de datos proporcionados por dicho equipo (mínimo, medio y máximo). Para calcular los valores en porcentaje, se determinó el cociente entre el valor de la potencia y el promedio total, multiplicado por 100%.

**Tabla 5.3.** Porcentaje de desbalance de potencia activa en cada fase

DÍA	Promedio Potencia Activa [%]			Máximo Potencia Activa [%]			Mínimo Potencia Activa [%]		
	Fase A	Fase B	Fase C	Fase A	Fase B	Fase C	Fase A	Fase B	Fase C
1	0,34	0,34	0,33	0,33	0,34	0,33	0,35	0,34	0,33
2	0,34	0,34	0,32	0,34	0,33	0,32	0,34	0,34	0,33
3	0,35	0,33	0,32	0,34	0,33	0,32	0,35	0,34	0,32
4	0,34	0,33	0,32	0,34	0,33	0,32	0,35	0,33	0,32
5	0,34	0,34	0,32	0,34	0,34	0,32	0,34	0,34	0,32
6	0,34	0,34	0,32	0,34	0,34	0,32	0,34	0,34	0,32
7	0,34	0,34	0,32	0,34	0,34	0,32	0,34	0,34	0,33

Según la normativa ARCERNR 003/23 [7], el porcentaje de aceptación del desbalance de potencia es del 5% para bajo voltaje, y para medio voltaje, el límite permitido es de hasta el 3% y para obtener este valor se aplicó la fórmula (4) especificada en la normativa:

$$Desbalance\ de\ Potencia = \frac{P_{max} - P_{min}}{P_{prom}} \times 100\% \quad (4)$$

En la Tabla 5.4 se observa los resultados obtenidos en porcentaje del desbalance de potencia entre las fases A-C, A-B y B-C, con datos correspondientes a tres diferentes niveles: promedio, máxima y mínima.

El desbalance en la fase A-C, supera el límite del (5%) en tres días de medición (día 3, 4 y 5.) con valores del 7.16%, 5.93% y 5.36%, lo que indica que estos valores no cumplen con los estándares establecidos. En los demás casos, el desbalance A-C se encuentra por debajo del 5%, lo que significa que cumple con la normativa.

Por otro lado, el desbalance A-B presenta una variabilidad notable, debido a que, en algunos casos los valores se encuentran por muy debajo del límite permitido (1.48%-día 1; 0.96%-día2), mientras que en otros casos se acerca más al límite (3.93%-día 3; 2,54%-día 4), sin embargo, todos los valores de estas fases cumplen con la normativa.

Finalmente, en el desbalance B-C, se puede observar que, en dos días de medición, existe un desbalance de potencia, debido a que los valores de los días 2 y 5, presentan un porcentaje de 5.14% y 6.87% respectivamente. Los otros valores restantes se encuentran dentro del límite permitido por la normativa.

**Tabla 5.4.** Resultados del desbalance de potencia (Cu= cumple; Nc= no cumple)

DÍA DE MEDICIÓN	Promedio	Límite 5%	Máxima	Límite 5%	Mínima	Límite 5%
	Desbalance A-C		Desbalance A-B		Desbalance B-C	
1	2,99%	Cumple	1,48%	Cumple	3,82%	Cumple
2	3,84%	Cumple	0,96%	Cumple	5,14%	No cumple
3	7,16%	No cumple	3,93%	Cumple	4,52%	Cumple
4	5,93%	No cumple	2,54%	Cumple	3,86%	Cumple
5	5,36%	No cumple	1,18%	Cumple	6,87%	No cumple
6	5,33%	No cumple	0,31%	Cumple	4,46%	Cumple
7	4,42%	Cumple	0,34%	Cumple	3,91%	Cumple
<b>Promedio</b>	<b>5,00%</b>	<b>Cumple</b>	<b>1,53%</b>	<b>Cumple</b>	<b>4,65%</b>	<b>Cumple</b>

Con este análisis, se determinó que en varios puntos se cumple con el límite establecido en la normativa ARCERNR 003/23 [7], el mismo que es de 5% para bajo voltaje, sin embargo, existen otras situaciones en las que se excede este límite.

Algo importante que se debe mencionar de la **Tabla 5.4**, es que, el valor promedio de los valores registrados durante las mediciones es el que se encuentra en el límite normativo (5%), sin embargo, es necesario analizar todos los valores de cada fase para conocer a profundidad la situación, mismo que se encuentra detallado en la **Tabla 5.5**.

**Tabla 5.5.** Desbalance de Potencia de los Valores Promedio

Promedio Potencia Activa [%]			Desbalance A-B (%)	ARCENNR 003/23 (5%)	Desbalance B-C (%)	ARCENNR 003/23 (5%)	Desbalance C-A (%)	ARCENNR 003/23 (5%)
Fase A	Fase B	Fase C						
0,335	0,340	0,325	1,31%	CUMPLE	4,31%	CUMPLE	2,99%	CUMPLE
0,338	0,337	0,325	0,07%	CUMPLE	3,78%	CUMPLE	3,84%	CUMPLE
0,345	0,334	0,321	3,46%	CUMPLE	3,69%	CUMPLE	7,16%	NO CUMPLE
0,343	0,334	0,323	2,68%	CUMPLE	3,25%	CUMPLE	5,93%	NO CUMPLE
0,339	0,341	0,321	0,70%	CUMPLE	6,06%	NO CUMPLE	5,36%	NO CUMPLE
0,340	0,338	0,322	0,67%	CUMPLE	4,65%	CUMPLE	5,33%	NO CUMPLE
0,339	0,338	0,324	0,26%	CUMPLE	4,16%	CUMPLE	4,42%	CUMPLE
<b>Promedio General</b>			<b>1,31%</b>	CUMPLE	<b>4,27%</b>	CUMPLE	<b>5,00%</b>	CUMPLE

Con este análisis más profundo, se determina que el mayor problema está en las fases C-A, mismo que se encuentra en el límite normativo, lo que significa que existe un problema en la distribución de carga o variaciones en el consumo de equipos específicos. Por lo tanto, si este valor se mantiene o aumenta, puede generar problemas, como el sobrecalentamiento en motores o mayor consumo innecesario de energía.

### 5.3.4 Factor de potencia FP

Al evaluar el FP mínimo requerido de 0,92 de la resolución ARCONEL 004/18, se observa que este parámetro cumple con los parámetros establecidos, tal como se indica en la **Tabla 5.6** lo que significa que la energía que fluye a través del sistema eléctrico se está utilizando de manera adecuada y eficiente.

**Tabla 5.6.** Comparativa del factor de potencia

DÍA DE MEDICIÓN	L1-N	L2-N	L3-N	FP-total	Cumple con la normativa
1	0,93	0,93	0,95	0,92	Si
2	0,92	0,92	0,94	0,92	Si
3	0,95	0,95	0,94	0,92	Si
4	0,93	0,93	0,94	0,93	Si

5	0,94	0,94	0,95	0,92	Si
6	0,93	0,93	0,94	0,94	Si
7	0,93	0,93	0,93	0,93	Si
<b>PROMEDIO GENERAL</b>				0,93	Si

## 5.4 IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE PERTURBACIONES ELÉCTRICAS

### 5.4.1 Sag en la red

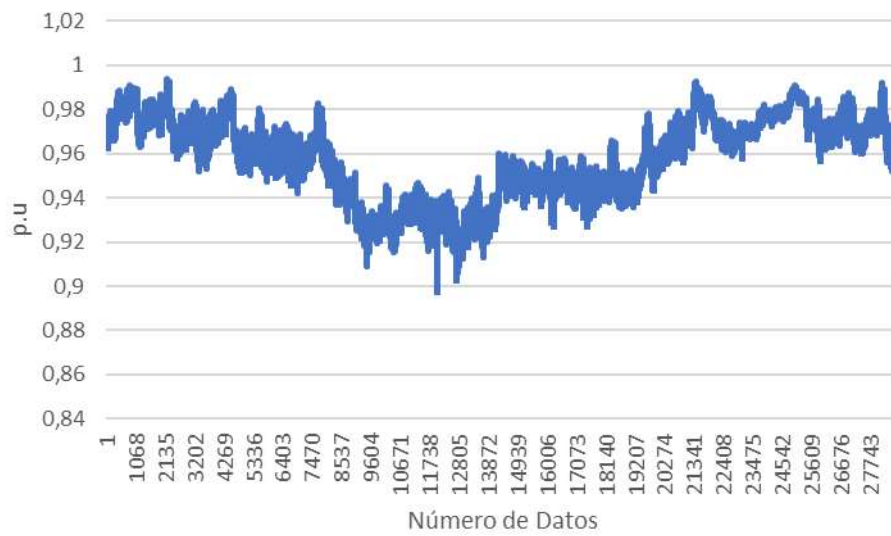
Los SAGS según la normativa IEEE Std 1159 [16], indica que la reducción del voltaje RMS se permite hasta un valor no menor del 10 % con una duración temporal de 3 segundos a 1 minuto [16]. Una de las principales razones por las que se presentan caídas de voltaje es el arranque de motores de gran potencia como compresores (para refrigeración y enfriamiento) o bombas que consumen que consumen grandes cantidades de corriente.

En la Tabla 5.7 se registra el comportamiento de los SAGS en la empresa de lácteos “Tanilact” durante los 7 días de medición, para lo cual se evalúa el criterio de la normativa para valores inferiores a 0.9 p.u.

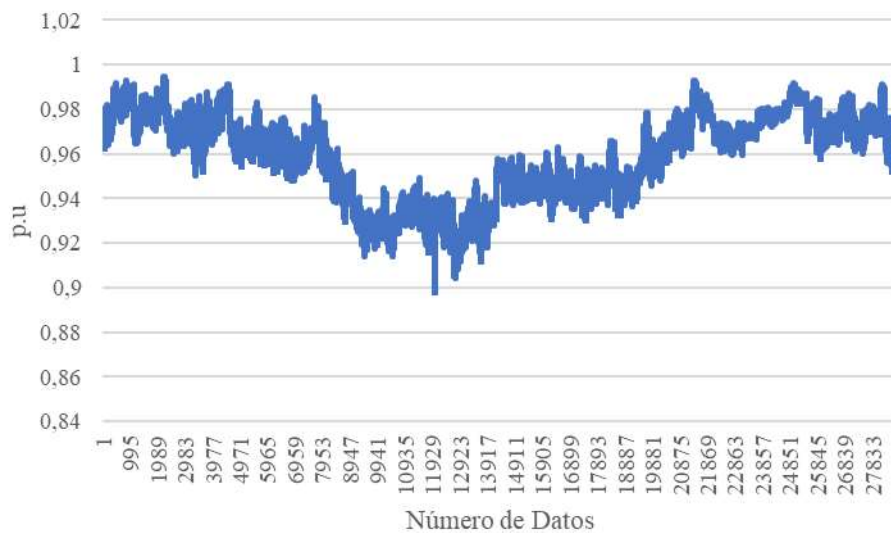
**Tabla 5.7.** Eventos Sags en la Red Eléctrica, Línea-Línea

Fecha	IEEE 1159		0,1-0,9 pu			
	Línea AB	Criterio	Línea BC	Criterio	Línea CA	Criterio
16/1/2025	0,9281	CUMPLE	0,9280	CUMPLE	0,9263	CUMPLE
17/1/2025	0,9084	CUMPLE	0,9068	CUMPLE	0,9114	CUMPLE
18/1/2025	0,9233	CUMPLE	0,9219	CUMPLE	0,9277	CUMPLE
19/1/2025	0,9408	CUMPLE	0,9391	CUMPLE	0,9415	CUMPLE
20/1/2025	0,9252	CUMPLE	0,9263	CUMPLE	0,9291	CUMPLE
21/1/2025	0,9111	CUMPLE	0,9094	CUMPLE	0,9109	CUMPLE
22/1/2025	0,8985	NO CUMPLE	0,8977	NO CUMPLE	0,9002	CUMPLE
23/1/2025	0,9144	CUMPLE	0,9136	CUMPLE	0,9174	CUMPLE

En el día 22 de enero del 2025 durante la hora 10:01:22 se registró un evento de Sag entre las Líneas L A-B y L B-C donde los valores de voltaje se redujeron a inferiores a 0.9 p.u. Las curvas del comportamiento en cada fase, como se muestra en la Figura 5.5.



a) L-AB



b) L-BC

**Figura 5.5.** Curvas p.u de los voltajes de línea AB y BC

### 5.4.2 Swell en la red

Los SWELLS según la normativa IEEE Std 1159 [16], indica un aumento transitorio del voltaje RMS por encima del voltaje nominal se permite un valor mayor o igual al 10 % con una duración temporal de 3 segundos a 1 minuto. Una de las principales razones por las que se presentan aumento temporal de la tensión es la desconexión súbita de grandes cargas.

En la Tabla 5.8 se registra el comportamiento de los SWELLS en la empresa Tanilact durante los 7 días de medición, para lo cual se evalúa el criterio de la normativa para valores que superan el 1,2 p.u.

**Tabla 5.8.** Eventos SWELLS

Nivel de Swells Voltajes de Línea-Línea						
Fecha	Std IEEE 1159		1,1-1,2 pu			
	Fase AB	Criterio	Fase BC	Criterio	Fase CA	Criterio
16/1/2025	1,0111	CUMPLE	1,0105	CUMPLE	1,0002	CUMPLE
17/1/2025	0,9897	CUMPLE	0,9875	CUMPLE	0,9842	CUMPLE
18/1/2025	1,0060	CUMPLE	1,0039	CUMPLE	1,0018	CUMPLE
19/1/2025	1,0250	CUMPLE	1,0226	CUMPLE	1,0167	CUMPLE
20/1/2025	1,0080	CUMPLE	1,0087	CUMPLE	1,0033	CUMPLE
21/1/2025	0,9926	CUMPLE	0,9903	CUMPLE	0,9836	CUMPLE
22/1/2025	0,9789	CUMPLE	0,9776	CUMPLE	0,9720	CUMPLE
23/1/2025	0,9963	CUMPLE	0,9949	CUMPLE	0,9906	CUMPLE

No se observan valores de SWELLS, en los datos de medición, dado que ningún valor es mayor igual 1.2 como indica la normativa.

### 5.4.3 Flicker

Según la norma IEEE 1159 [16], el flicker se define como una variación rápida de voltaje que resulta en variaciones en la luminancia de las fuentes de luz, lo que puede ser perceptible por el ojo humano y causar molestias o fatiga visual.

El índice de severidad de flicker a corto plazo (Pst) evalúa la intensidad del flicker en un período breve, generalmente en intervalos de 10 minutos, conforme a la norma ARCENNR 003/23 [7]. Al evaluar los flicker durante los 7 días de medición en la empresa Tanilact se registró los valores descritos en la Tabla 5.9.

**Tabla 5.9.** Perturbación Rápida de Voltaje (Flicker)

Día	Pst-L1 (%)	Pst-L12 (%)	Pst-L13 (%)	PROMEDIO	IEEE 519 (Límite 1%)
16/01/2025	0,12	0,10	0,10	0,11	CUMPLE
17/01/2025	0,08	0,08	0,08	0,08	CUMPLE
18/01/2025	0,28	0,29	0,31	0,29	CUMPLE
19/01/2025	0,30	0,23	0,24	0,26	CUMPLE

20/01/2025	0,26	0,29	0,30	0,28	CUMPLE
21/01/2025	0,53	0,60	0,49	0,54	CUMPLE
22/01/2025	0,38	0,35	0,36	0,36	CUMPLE
23/01/2025	0,61	0,58	0,58	0,59	CUMPLE
<b>Total</b>	<b>0,32</b>	<b>0,31</b>	<b>0,31</b>	<b>0,31</b>	<b>CUMPLE</b>

El límite para considerar la presencia de flicker de corta duración (Pst) en las mediciones no debe superar la unidad. El valor más representativo registrado es un promedio de 0.5911 en el día 7. Sin embargo, si una de las líneas presenta una perturbación alta mientras las otras dos no, el promedio podría subestimar la magnitud del problema. En este caso, el valor máximo registrado fue de 0.6124 en la Línea 1 durante el día 7.

#### 5.4.4 Armónicos de Voltaje

##### Distorsión Armónica de Voltaje Individual

En la Tabla 0.9 del Anexo A, se presentan los valores promedios obtenidos a partir de los resultados del analizador de redes, considerando los 30 armónicos configurados en el equipo. Para una evaluación adecuada, se calculó el promedio de cada fase por cada armónico y, luego, un promedio general de las tres líneas para cada armónico de corriente. En la Figura 5.6 se presenta los primeros ocho armónicos, los cuales tienen un valor más alto que los demás.

Según la normativa IEEE 519-2014 [28], el límite de distorsión armónica de voltaje individual, para voltajes menores a 1kV es del 5%. Los resultados obtenidos en la Tabla 0.9 del Anexo A, indican que no existen armónicos significativos en el sistema eléctrico, debido a que ningún valor supera el valor establecido por la normativa.

Es importante mencionar, que, el orden 0 presenta un valor del 2,95%, lo cual no representa un armónico real, sino la componente de corriente continua (DC), o nivel medio de la señal. En términos simples, este valor indica la presencia de una pequeña cantidad de tensión continua superpuesta a la señal de voltaje de corriente alterna (AC).

En cuanto a los armónicos de voltaje, que generalmente son generados por los armónicos de corriente, el de mayor magnitud es el orden 5, con un valor de 3,96%, el cual se encuentra

dentro del límite permitido por la normativa y no representa un problema significativo para el sistema eléctrico. Además, en sistemas industriales, este armónico, junto con el de orden 7, suelen ser los más problemáticos.

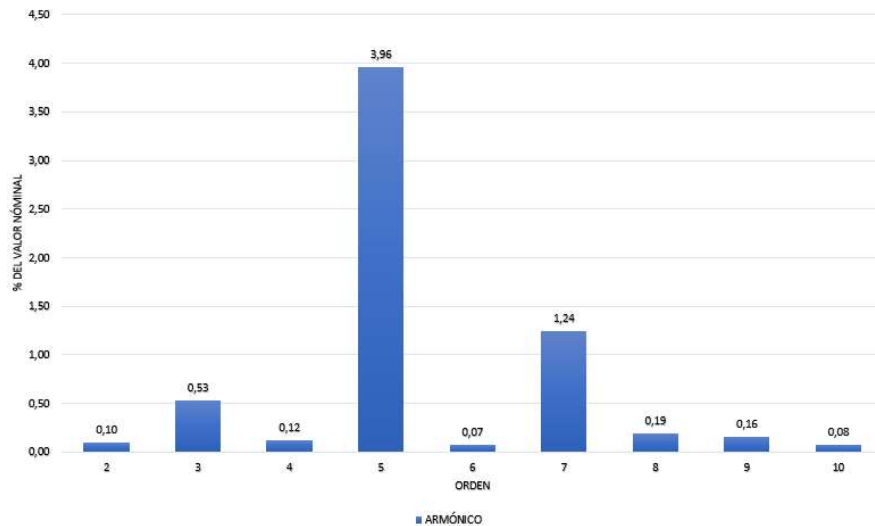


Figura 5.6. Armónicos de voltaje

### Distorsión Armónica de Voltaje Total

Una vez obtenido los valores de distorsión armónica individual en porcentaje, se procede a calcular la distorsión armónica total de voltaje. De acuerdo con la normativa IEEE 519-2014 [28], para tensiones inferiores a 1kV, el límite máximo permitido es del 8%.

En la Tabla 0.10 del Anexo A, se observa que la distorsión armónica total de voltaje es del 5,10%, un valor que no solo cumple con la normativa, sino que además se encuentra alejado del límite máximo. Esto indica que el sistema cuenta con un margen de seguridad, lo que permite que, ante variaciones en la carga o la incorporación de nuevas instalaciones, el aumento en el orden armónico no represente un riesgo para el sistema eléctrico.

### 5.4.5 Armónicos de Corriente

#### Distorsión Armónica de Corriente Individual

Para verificar el cumplimiento de los armónicos de corriente con la normativa IEEE 519-2014 [28], se calculó un promedio de las 3 líneas, en cada fase. Para determinar el rango de evaluación, fue necesario calcular la relación entre la corriente de cortocircuito y la corriente de carga en por unidad ( $I_{cc}/I_{Lpu}$ ), en donde,  $I_{cc}$  se obtuvo a partir de la simulación del estado actual del sistema eléctrico en el software ETAP.

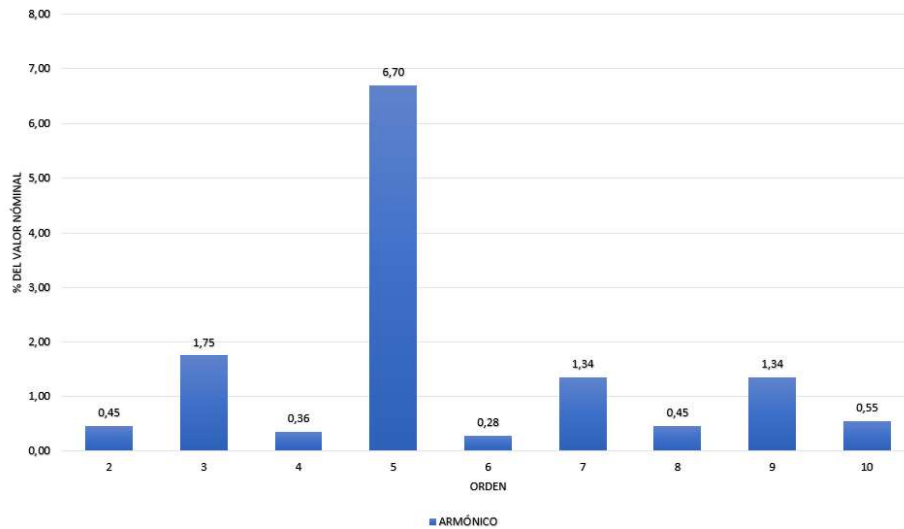
Por otro lado, el valor de  $I_{Lpu}$  se obtuvo con el cálculo de las ecuaciones (5) y (6):

$$I_L = \frac{S}{V * \sqrt{3}} \quad (5)$$

$$I_{Lpu} = \frac{I_{fase}}{I_L} \quad (6)$$

Los resultados obtenidos indican que la relación  $I_{cc}/I_{Lpu}$  se encuentra dentro del rango de  $20 < 50$ , lo que significa que se debe considerar para los armónicos de orden 3 hasta el 10, un límite del 7%. A medida que el orden armónico aumenta, dicho límite se reduce progresivamente.

En la Figura 5.7, se evidencia que los armónicos de corriente no presentan un impacto significativo en el sistema, dicha información se puede corroborar observando la Tabla 0.11 del Anexo A. El armónico de mayor magnitud corresponde al de orden 5, con un valor de 6,70%. De acuerdo con la norma IEEE 519-2014 [28], estos resultados confirman que no es necesario implementar estrategias de mitigación de armónicos, debido a que, no representan una afectación crítica para el sistema eléctrico.



**Figura 5.7.** Armónicos de Corriente

### **Distorsión Armónica de Corriente Total**

El límite de distorsión armónica, según la normativa IEEE 519-2014 [28], es del 8%. Aplicando la fórmula indicada en la Tabla 0.12 del Anexo A, se obtuvo un valor de 7,79%, por ende, cumple con el límite establecido. Si bien no es necesario aplicar correcciones, es importante monitorear el sistema ante posibles cambios en la carga o la incorporación de nuevas instalaciones que puedan afectar a los niveles de distorsión armónica.

### **5.5 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA EN ETAP**

La simulación en el software ETAP 21.0.1 permite analizar el flujo de carga en la empresa de lácteos “Tanilact”, integrando los datos recopilados en el levantamiento eléctrico, incluyendo interruptores de baja tensión, líneas, cargas y características de la red.

El sistema opera con un transformador de 600 kVA, suministrando energía a la barra principal de baja tensión "Bus 2", donde se registra una corriente de 1091 A. Para optimizar el factor de potencia y mitigar las caídas de tensión, la instalación cuenta con un banco de capacitores compuesto por 10 pasos automáticos más un paso fijo.

Las cargas más representativas de la empresa se encuentran en las áreas de compresores, unidades de enfriamiento, esterilizador y homogeneizador, con consumos de 116.2 A, 216.8 A,

110.7 A y 127.8 A, respectivamente. Estas cargas incluyen una gran proporción de equipos no lineales, lo que puede generar distorsión armónica en la red. Debido a esto, es fundamental analizar la inyección de armónicos, ya que pueden afectar la calidad del suministro eléctrico y el desempeño de otros equipos conectados al sistema.

Por ello, el análisis de calidad de energía se enfoca en identificar los armónicos más representativos en la empresa “Tanilact”, con el objetivo de integrarlos en el software ETAP. Esto permite evaluar el comportamiento de los principales parámetros eléctricos, como voltaje, potencia y factor de potencia, en relación con los THD de corriente, proporcionando una visión más precisa del impacto de la distorsión armónica en el sistema eléctrico. La simulación del sistema eléctrico de la empresa Tanilact se puede observar en el Anexo D.

### 5.5.1 Análisis de Caída de Tensión

El sistema simulado cuenta con seis áreas correspondientes a la empresa Tanilact, donde la primera es un banco de condensadores donde se regula los niveles de voltaje y se minimiza en consumo de potencia reactiva, consta de 10 pasos más 1 fijo. El área dos representa el tablero de las cargas eléctricas y a partir de este punto se dividen los sub tableros de compresores, servicios varios, unidades de enfriamiento y cisternas. El voltaje nominal para las cargas en baja tensión es de 220 V y este alimenta a cada tablero mencionado según se observa en la Figura 5.8

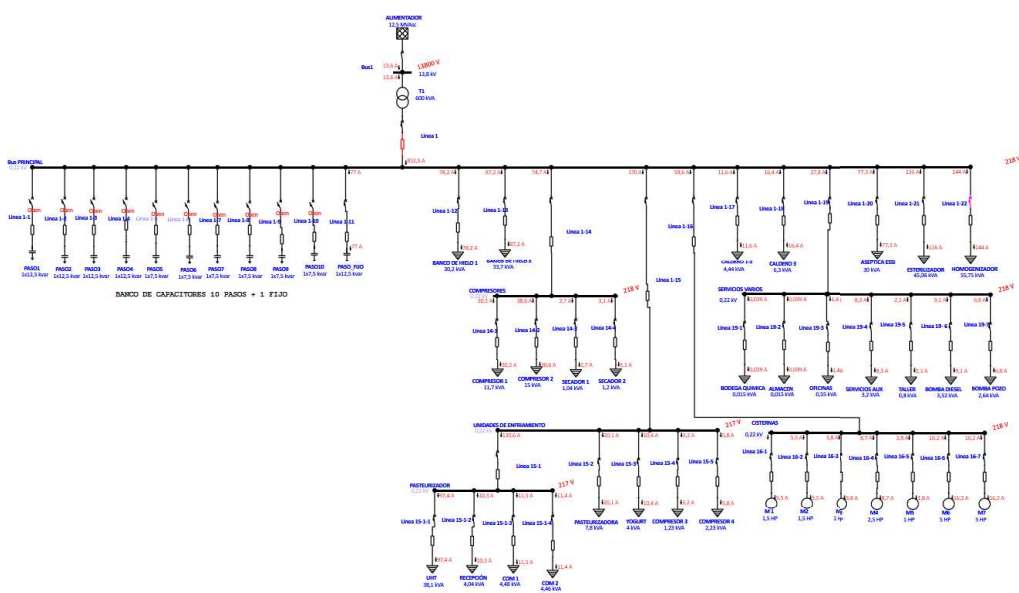


Figura 5.8. Sistema eléctrico a plena carga

Los niveles de voltaje cuando el sistema opera a plena carga, causan que los niveles de voltaje no sean iguales; por tanto, se describe los siguientes resultados en la Tabla 5.10.

**Tabla 5.10.** Valores de voltaje en Etap

<b>Voltaje V</b>	<b>Potencia (kW)</b>	<b>Corriente (A)</b>
218,2	322	855,6
217,7	18.8	59,62
217,6	28.1	74,66
217	49.1	130,6
218	10.5	27,8
217,3	64	170

Los niveles de voltaje mínimos y máximos permitidos según la ARCENNR 003/23[7], para un nivel de voltaje inferior a los 600 V tiene un valor límite de +/- 8 %, lo que significa que según las características del sistema simulado puedo tener un voltaje elevado hasta los 237.6 V y reducción hasta los 202.4 V.

En los resultados descritos en la Tabla 5.10 el valor máximo de voltaje presente es 218.2 V en la barra principal, mientras que el mínimo es de 217 V. Los rangos están dentro de la relación  $202.4 V \geq 220 V \leq 237.6 V$ , por lo que el sistema no presenta pérdidas o incrementos de voltaje significativos.

De acuerdo la configuración de los conductores y de las cargas del sistema, ver Tabla 0.13. del Anexo A. Se registran sobrecargas al operar la red a demanda máxima, estas sobrecargas generan una elevación de calor en los conductores dando como resultado pérdidas de potencia por efecto Joule, las sobrecargas más significativas se encuentran en la Línea 1 con un incremento del 13.9 % de la capacidad nominal del conductor por lo que se sugiere el aumento de un transformador para disminuir las sobrecargas y para proyección de cargas futuras.

Pese a que la empresa no cuenta con problemas de calidad de energía, incluyendo armónicos, se observa que el quinto armónico de corriente se encuentra cerca de su valor límite, con esta consideración y para futuras expansiones, se considera hacer un nuevo análisis de armónicos y en caso de que existiera problemas, se recomienda aplicar la siguiente metodología expuesta en el Anexo B.

## 6. CONCLUSIONES

- Mediante el estudio realizado en la industria Tanilact, se determinó que, entre abril de 2023 y febrero de 2025, el consumo eléctrico aumento un 3,03%, mientras que la potencia activa demanda aumentó en un 20,54% en los últimos 23 meses. A pesar de esta expansión, las mediciones y simulaciones confirmaron que los parámetros del sistema se mantienen dentro de los límites establecidos, evidenciando estabilidad y eficiencia en su operación. Así mismo, se verifico que la empresa cumple con los estándares de calidad del servicio establecido por la normativa ARCERNNR 003/23.
- Los niveles de variación de voltaje entre líneas no representan una variación importante debido a que se encuentra dentro del límite  $\pm 8\%$  dictado por la ARCERNNR 003/23. En el registro de estas variaciones el valor máximo es de 5.75% en la L12 durante la medición del día 18/01/2025 y debido que es un valor inferior al límite no se deben aplicar medidas correctivas.
- El desequilibrio de corriente mantiene un rango aceptable según la normativa ARCERNNR 003/23, la misma que especifica una variación del  $\pm 3\%$  y el valor máximo registrado es de 2.60 % durante el día 18/01/2025.
- En el desbalance de potencia se registran valores que superan el 5 % del valor límite establecido por la ARCERNNR 003/23, en la Línea B-C se presenta un evento durante el día 20/01/2025 siendo este de 6.06 % y a la vez en la Línea C-A se presentan 3 eventos durante los días 18, 19, 20 y 21 con valores de 7.16 %, 5.93 %, 5.36 % y 5.33 % respectivamente.
- En el desbalance de potencia se registran valores que superan el 5 % del valor límite establecido por la ARCERNNR 003/23, en la Línea B-C se presenta un evento que superan el límite durante el día 20/01/2025 siendo de 6.06 % y mientras en la Línea C-A se presentan 3 eventos que superan el límite registrado; durante los días 18, 19, 20 y 21 de enero del 2025, siendo el valor máximo de 7.16 %. Los resultados indican que en la Línea C-A se encuentra la mayor cantidad de equipos y maquinas generando un consumo desigual.
- En los análisis de perturbaciones eléctricas se registra 2 eventos de Sags (caídas de voltaje) durante el día 22/01/2025, la presencia del evento involucra dos fases del sistema y este origen se lo atribuye a la conexión de un transformador de una carga significativa como lo es la Envasadora Aséptica ESSI dado que al instante de su

conexión el magnetismo remanente causa perturbaciones en dos fases del sistema eléctrico, dado que su duración fue menor a los 3 segundos durante una medición de 7 días no representa un impacto negativo en la empresa.

- Las perturbaciones eléctricas de Swell (aumentos de voltaje) no tienen presencia en la empresa debido a que sus valores no superan el 1.2 p.u como dicta la normativa IEEE Std 1159. De igual forma no se registran rápidos cambios del voltaje (Flicker) en las mediciones de intervalos de 10 minutos por día, conforme a la ARCENNR 003/23. Con los parámetros medidos y comprobando su ausencia en red se minimiza la posibilidad de causar daños en equipos electrónicos sensibles por un sobrevoltaje y desgaste mecánico en motores por las vibraciones que produce el cambio de voltaje.
- En base a la normativa IEEE 519-2014 se verifica que los armónicos totales e individuales de voltaje y corriente están por debajo de los límites establecidos, lo que minimiza la posibilidad de causar disminución de rendimiento en los bancos de capacitores y la reducción de la vida útil de equipos y maquinarias. En los armónicos individuales el de quinto orden es el que mayor valor tiene mientras que en los totales de corriente a pesar que la empresa no cuenta con problemas significativos de armónicos, se observa que el TDD es de 7.79 % cuando el límite es del 8%.
- La simulación del sistema eléctrico en Etap cuando opera a demanda máxima no presenta valores significativos de caída de tensión según la variación del  $\pm 8\%$  dictada por la ARCENNR, sin embargo, se presenta una sobrecarga de potencia del 13.9 % sobre la nominal en la Línea 1 donde se conectan todas las cargas de los tableros, esto genera un sobrecalentamiento en los conductores causando perdidas por efecto Joule.

## 7. RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis de los diagramas fasoriales de la empresa para identificar el desbalance de potencia del sistema eléctrico con el objetivo disminuir el porcentaje de cargas monofásicas acumuladas en una sola línea, haciendo uso de técnicas de redistribución de cargas, monitoreo y controles periódicos.
- Analizar de forma más detallada el área en donde se encuentra ubicada la envasadora para comprender las causas del fenómeno eléctrico Sag y observar que tan recurrente es el problema.
- Implementar un sistema de medición permanente para evaluar la evolución de los armónicos y otros parámetros de calidad de la energía, haciendo mayor énfasis en el armónico de orden 5.
- Evaluar la instalación de filtros pasivos o activos, en caso de que los armónicos aumenten y superen los límites permitidos.
- Se recomienda realizar un análisis de las frecuencias críticas asociadas a la compensación reactiva, debido a que, la presencia de bancos de capacitores puede amplificar ciertos armónicos y generar resonancias en la red.
- Para extensiones de cargas futuras se recomienda realizar un rediseño eléctrico aumentando un nuevo transformador para reducir sobrecargas en la red principal.
- Implementar transformadores con conexión delta – estrella o zig – zag para reducir armónicos de orden quinto.
- Se recomienda realizar mantenimiento en el sistema de puesta a tierra o su mejora la reducir su impedancia para descargar las corrientes de secuencia cero de manera más eficiente que ayude a reducir la componente de orden 0.

## 8. REFERENCIAS

- [1] “Calidad de Energía Eléctrica”. Consultado: el 22 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://goo.su/gAyzVma>
- [2] O. Castañeda y W. Castañeda, “Análisis de Calidad de Energía acerca de la Calidad del Producto e Influencia de Armónicos de Corriente dentro del Área de Concesión de CENL-Milagro”, *Revista Técnica Energía*, 2010, doi: <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v6.n1.2010.231>.
- [3] M. Gallo y J. Roto, “ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA EMPRESA “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA””, Latacunga, mar. 2022. Consultado: el 7 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9343>
- [4] M. Leonardo, “ESTUDIO Y ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA DEL SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA EN LA EMPRESA AGUALIMA SAC PARA AUMENTAR CONTINUIDAD DE SERVICIO Y REDUCIR COSTOS DE ELECTRICIDAD”, Trujillo, 2018. Consultado: el 7 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/36807>
- [5] C. Jaigua, “CALIDAD DE LA ENERGÍA EN LA INDUSTRIA”, Quito, jul. 2003. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8957>
- [6] M. Ángel, “CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA: DISEÑO y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO COMO ALTERNATIVA PARA LA MONITORIZACIÓN DE INTERRUPCIONES y CAÍDAS DE TENSIÓN”, dic. 2005. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6299641>
- [7] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, “Resolución Nro. ARCERNR-003/2023”, 2023. [En línea]. Disponible en: [www.controlrecursosyenergia.gob.ec](http://www.controlrecursosyenergia.gob.ec)
- [8] B. Castañeda, “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMPENSACIÓN REACTIVA Y FILTRADO DE ARMÓNICOS EN LAS S.E. N°1 y2 DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ‘CLOROX’ PARA MITIGAR LOS PROBLEMAS DE CALIDAD DE ENERGÍA”, Callao, abr. 2017. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en:

[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAC\\_fe287d522abe459423f77f7691bbd33d](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAC_fe287d522abe459423f77f7691bbd33d)

- [9] V. Mercado, J. Bernardo, y L. Pacheho, “Calidad de la energía eléctrica bajo la perspectiva de los sistemas de puesta a tierra”, 2017. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5075/507555007009/>
- [10] N. Crespo, “Sistema para la mitigación de las perturbaciones que afectan la calidad de la energía.”, 2018. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://rc.upr.edu.cu/handle/DICT/3188>
- [11] M. Holguin y Gomezcoello David, “ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL ‘NUEVO CAMPUS’ DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”, Guayaquil, mar. 2010. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2110/13/UPS-GT000145.pdf>
- [12] A. Charles y S. Matthew, *Fundamentos de circuitos eléctricos*. 2006. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/1.1%20Fundamentos%20de%20circuitos%20electricos%205ta.%20Edicion%20sadiku.pdf>
- [13] O. Quispe, “INFLUENCIA DE UN FILTRO EFICIENTE PARA MITIGAR LAS CORRIENTES ARMÓNICAS EN BAJA TENSIÓN DEL SED 598 DEL CENTRO COMERCIAL ‘EL MOLINO I’ – CUSCO”, Cusco, 2020. Consultado: el 13 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12918/5337>
- [14] L. Ganilanez, “DISEÑO DE UN SISTEMA DE POTENCIA PARA LA ELIMINACIÓN DE DISTORSIONES ARMÓNICAS PROVOCADAS POR CARGAS INDUCTIVAS”, Riobamba, 2015. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4966>
- [15] JAIRO VASQUEZ CABALLERO y MARLON ANDRES SUAREZ SILVA, “REVISIÓN DEL IMPACTO DE LAS CARGAS NO LINEALES EN LOS TRANSFORMADORES DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”.

- [16] D. Committee of the IEEE Power y E. Society, “IEEE Std 1159TM”, Nueva York, jun. 2009.
- [17] ICONTEC INTERNACIONAL, “NTC-IEC 61000-4-30”, *Norma Técnica Colombiana*, 2012.
- [18] Y. Arias, “IDENTIFICACION DE PERTURBACIONES DE LA CALIDAD DE SERVICIO”, Arica, 2019. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.cl/xmlui/handle/20.500.14396/740>
- [19] H. Barzola y C. Ventura, “Sistema de filtros para mejorar la calidad de la energía eléctrica en la planta de producción de la Cooperativa Agropia - 2021”, Huancayo, 2022. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/12280>
- [20] J. H. Kim y J. O. Kim, “Análisis y mitigación de transitorios de conmutación en bancos de filtros de bajos armónicos de media tensión”, *Energies (Basel)*, vol. 13, núm. 9, may 2020, doi: 10.3390/en13092187.
- [21] T. LO Que Debemos Saber Sobre Dps y I. Gregor Rojas, “Caracas-Venezuela Boletín 18 Boletín técnico N°18 PARTE 1”.
- [22] J. Autonell, “Eficiencia en el uso de la energía eléctrica”, 2016.
- [23] I. Bautista, M. Aybar, M. Blanco, y R. Vicini, “Compensación de reactivos en instalaciones de sistemas solares fotovoltaicos penalizadas por bajo factor de potencia”, *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, nov. 2020, doi: <https://doi.org/10.22206/cyap.2020.v3i2.pp39-63>.
- [24] J. Asanza y M. Quimis, “Diseño del Control y Simulación de un Restaurador Dinámico de Voltaje Trifásico”, Guayaquil, 2012. Consultado: el 22 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/45857>
- [25] H. Pila y M. Zambrano, “ESTUDIO DEL FLICKER EN UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA”, Guayaquil, 2010. Consultado: el 21 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2142>
- [26] P. Puhan, P. Ray, y S. Pottapinjara, “Análisis del rendimiento de un filtro activo en derivación para compensación armónica bajo diversas cargas no lineales”, *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, vol. 22, núm. 1, pp. 21–29, feb. 2021, doi: <https://doi.org/10.1515/ijeeps-2020-0197>.

- [27] A. Carrión y A. Jimenéz, “ANÁLISIS DE FALLAS ARMÓNICAS Y SU MEJORAMIENTO POR MEDIO DE FILTROS ACTIVOS Y PASIVOS EN UN SISTEMA DE 14 BARRAS DE LA IEEE”, Guayaquil, 2024. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27294>
- [28] IEEE Power and Energy Society, “IEEE Std 519<sup>TM</sup>”, Nueva York, 2014.
- [29] P. Caiza, “SISTEMA CONTABLE PARA LA EMPRESA PASTEURIZADORA TANILACT, DEDICADA A LA ELABORACIÓN DE BEBIDAS A BASE DE LECHE, YOGURT PASTEURIZADA, ESTERILIZADA, HOMOGENEIZADA Y/O TRATADA A ALTAS TEMPERATURAS DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI, CANTÓN TANICUCHI.”, Ambato, 2020. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uti.edu.ec//handle/123456789/1645>
- [30] M. Quinatoa y T. Quinaguano, “Diseño de un plan estratégico para la empresa de lácteos Pasteurizadora Tanilact ubicada en la parroquia Tanicuchi cantón Latacunga provincia de Cotopaxi, 2016-2021”, Quito, 2019. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19150>
- [31] E. Chilinginga, “Creación de una línea de producción a base de leche fermentada (Kumis) en la Pasteurizadora Tanilact de la Provincia de Cotopaxi”, Ambato, 2017. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/items/77703aa8-23ca-4c4e-9ad0-dae90322e7ed>
- [32] V. Quispe, “ESTUDIO Y PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DEL CANTÓN LA MANA JURISDICCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL DE COTOPAXI (ELEPCO S. A.) UTILIZANDO EL PROGRAMA NEPLAN”, Quito, jun. 2009. Consultado: el 13 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1565>
- [33] “Analizadores de calidad eléctrica y energía 434 / 435 de Fluke | Fluke”. Consultado: el 11 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.fluke.com/es-ec/producto/comprobacion-electrica/calidad-electrica/434-435>

- [34] “Fluke 435-II - Analizador de calidad de la energía eléctrica Clase A”. Consultado: el 11 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.cedesa.com.mx/fluke/analizadores/calidad-energia/435-II/?srsltid=AfmBOoqouGIajO2R1ACpwcRszsftXP4MffSBY-i1QKEQQFOqXNbtDYUJ>
- [35] D. Muñoz, “Análisis de la calidad de energía eléctrica en fábrica de lubricantes”, Guayaquil, mar. 2021. Consultado: el 7 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/16221>
- [36] E. Bustamante y C. Huingo, “Análisis de los indicadores de calidad de energía eléctrica de las instalaciones de la empresa ETRAL SAC”, Trujillo, 2022. Consultado: el 7 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/103140>{
- [37] J. Muñoz, “ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA EMPRESA AGRÍCOLA PAMPA BAJA SAC OLMOS - TIERRAS NUEVAS”, Lambayeque, oct. 2019. Consultado: el 7 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8778>
- [38] A. Gavilanez, “ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE MDF DE LA EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI S.A.”, Latacunga, 2024. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/123456789/12256>

## ANEXO A

**Tabla 0.1.** Clasificación de perturbaciones según la IEEE Std 1159 [16].

Categorías	Contenido espectral típico	Duración típica	Magnitud de voltaje típica
1.0 Transitorios			
1.1 Impulsivo			
1.1.1 Nanosegundo	5 ns de subida	< 50 ns	
1.1.2 Microsegundo	1 $\mu$ s de subida	50 ns - 1 ms	
1.1.3 Milisegundo	0.1 ms de subida	> 1 ms	
1.2 Oscilatorio			
1.2.1 Baja frecuencia	< 5 kHz	0.2 - 50 ms	0-0.4 pu
1.2.2 Media frecuencia	5 - 500 kHz	20 $\mu$ s	0-8 pu
1.2.3 Alta frecuencia	0.5 - 5 MHz	5 $\mu$ s	0-4 pu
2.0 Variaciones de valor eficaz a corto plazo (rms)			
2.1 Instantáneas			
2.1.1 Caída de tensión (Sag)		0.5 - 30 ciclos	0.1 - 0.9 pu
2.1.2 Elevación de tensión (Swell)		0.5 - 30 ciclos	1.1 - 1.8 pu
2.2 Momentáneos			
2.2.1 Interrupción		0.5 ciclos - 3 s	< 0.1 pu
2.2.2 Caída de tensión (Sag)		30 ciclos - 3 s	0.1 - 0.9 pu
2.2.3 Elevación de tensión (Swell)		30 ciclos - 3 s	1.1 - 1.4 pu
2.2.4 Desequilibrio de tensión		30 ciclos - 3 s	2% - 15%
2.3 Temporales			
2.3.1 Interrupción		> 3 s - 1 min	< 0.1 pu
2.3.2 Caída de tensión (Sag)		> 3 s - 1 min	0.1 - 0.9 pu
2.3.3 Elevación de tensión (Swell)		> 3 s - 1 min	1.1 - 1.2 pu
2.3.4 Desequilibrio de tensión		> 3 s - 1 min	
3.0 Variaciones de valor eficaz a largo plazo			
3.1 Interrupción, sostenida		> 1 min	0.0 pu
3.2 Subtensiones		> 1 min	• 0.8 - 0.9 pu
3.3 Sobretensiones		> 1 min	• 1.1 - 1.2 pu
3.4 Sobrecarga de corriente		> 1 min	
4.0 Desequilibrios			
4.1 Desequilibrio de tensión			
4.2 Desequilibrio de corriente			
5.0 Distorsión de la forma de onda			
5.1 Componente de continua (DC offset)		Estado estacionario	0-0.1%
5.2 Armónicos		Estado estacionario	0-20%
5.3 Interarmónicos	0-9 kHz	Estado estacionario	0-2%
5.4 Notching	0-9 kHz	Estado estacionario	
5.5 Ruido	Banda ancha	Estado estacionario	0-1%
6.0 Fluctuaciones de tensión	< 25 Hz	Intermitente	0.1-7% p.u. 0.2-2 $P_{st}^b$
7.0 Variaciones de frecuencia		< 10 s	$\pm$ 0.10 Hz

**Tabla 0.2.** Fuentes armónicas con cargas no lineales [27].

Elemento	Características Armónicas	Orden de los Armónicos Generados	Posibles Soluciones
Arcos o descargas eléctricas (lámparas fluorescentes, focos ahorradores, luminarias de neón, hornos de arco eléctrico, soldadura de arco)	Generan armónicos debido a su naturaleza no lineal al ionizar gases para producir luz o calor. Alteran la forma sinusoidal de la corriente.	3 <sup>a</sup> , 5 <sup>a</sup> , 7 <sup>a</sup> y otros armónicos impares predominantes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de balastos electrónicos diseñados para minimizar armónicos.</li> <li>- Implementación de filtros pasivos o activos.</li> </ul>
Por inductancia (transformadores, motores eléctricos)	Los armónicos surgen por la saturación magnética en el núcleo del transformador o por cargas no lineales que afectan la corriente.	3 <sup>a</sup> , 5 <sup>a</sup> , 7 <sup>a</sup> y 9 <sup>a</sup> armónicas comunes, dependiendo de la saturación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mantener los transformadores dentro de sus límites nominales.</li> <li>- Uso de reactores de núcleo de aire.</li> <li>- Filtros de armónicos.</li> </ul>
Fuentes de alimentación (aparatos electrónicos, domésticos y de oficina, reguladores de luz)	Generan armónicos debido a los rectificadores y convertidores internos que operan de manera pulsante para convertir energía.	Predominan armónicos impares (3 <sup>a</sup> , 5 <sup>a</sup> , 7 <sup>a</sup> , 9 <sup>a</sup> , 11 <sup>a</sup> , etc.).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de fuentes con corrección de factor de potencia (PFC).</li> <li>- Instalación de filtros de armónicos activos en sistemas industriales.</li> </ul>

**Tabla 0.3.** Tipos de filtros pasivos [27].

Tipo de Filtro Pasivo	Descripción
<b>Filtro Pasivo en Serie</b>	Se conecta en serie con la red ofreciendo una alta impedancia a los armónicos cercanos a su frecuencia de resonancia, la cual disminuye progresivamente a medida que los armónicos se alejan de esta frecuencia. Este tipo de filtro es utilizado principalmente en instalaciones monofásicas con cargas no lineales y también se aplica para bloquear el flujo de armónicos cuando se emplea en conjunto con capacitores en sistemas eléctricos.
<b>Filtro Pasivo en Paralelo</b>	Diseñado para eliminar armónicos no deseados, combina inductancia (L) y capacitancia (C) sintonizadas a una frecuencia de resonancia específica. En esta frecuencia, el filtro presenta una impedancia mínima, determinada únicamente por la resistencia inherente del inductor, lo que permite absorber eficientemente las corrientes armónicas con baja distorsión del voltaje. Este tipo de filtro se utiliza comúnmente en sistemas eléctricos donde se instalan bancos de capacitores para la corrección del factor de potencia, contribuyendo a mejorar la calidad de la energía al reducir la interferencia causada por los armónicos.

**Tabla 0.4.** Análisis de Calidad de Energía en Empresas Industriales

Item	Nombre	Referencia	Observaciones
1	Análisis de la calidad de energía	[35]	Se identificó que en la empresa se presentan disturbios eléctricos que afectan los procesos de fabricación de lubricantes, como alta distorsión armónica y un bajo factor

	eléctrica en fábrica de lubricantes		de potencia. Los niveles de distorsión armónica total (THD) alcanzan hasta el 5% en tensiones y 8% en corrientes, excediendo el límite recomendado del 5% según IEEE 519. Además, el factor de potencia promedio es de 0.85, lo que indica ineficiencia en el uso de la energía. Para corregir estos problemas, se propone la instalación de capacitores para elevar el factor de potencia a 0.95 y la implementación de filtros de armónicos para reducir los niveles de distorsión, mejorando así la calidad de la energía y reduciendo costos operativos.
2	Análisis de los indicadores de calidad de energía eléctrica de las instalaciones de la empresa ETRAL SAC	[36]	Después de realizar el análisis del sistema eléctrico de la empresa, se determinó que el sistema está contaminado por altos niveles de distorsión armónica, fluctuaciones de voltaje y la falta de sistemas de protección y puesta a tierra adecuados. Se registró una distorsión armónica total (THD) en corriente de 45.65%, lo cual supera ampliamente el límite de 15% recomendado por la normativa. Las tensiones varían entre 334.36 V y 420.75 V, fuera del rango admisible de 361 a 399 V. Además, se encontraron valores elevados de flicker, con un índice mayor a 4, cuando la norma establece un máximo de 1. Como medidas correctivas, se propone la instalación de bancos de condensadores para mejorar el factor de potencia, la corrección de las conexiones a tierra, y la instalación de reactores de línea con 3% de impedancia para reducir la distorsión armónica y mejorar la eficiencia del sistema eléctrico.
3	Análisis de calidad de energía eléctrica en el sistema eléctrico de la empresa agrícola Pampa Baja Sac Olmos - Tierras Nuevas	[37]	Gracias al estudio realizado en la empresa Agrícola Pampa Baja SAC Olmos - Tierras Nuevas se logró identificar problemas en la calidad de la energía eléctrica, afectando la estabilidad del suministro y el funcionamiento de los equipos. Se analizaron siete subestaciones eléctricas, detectando mala calidad de tensión, altos niveles de armónicos y un bajo factor de potencia. Para corregir estos inconvenientes, se propuso la implementación de filtros de armónicos y la instalación de bancos de condensadores, con el objetivo de mejorar la calidad de la energía, reducir pérdidas y optimizar el rendimiento del sistema eléctrico

**Tabla 0.5.** Parámetros eléctricos necesarios para realizar el análisis de calidad de energía [7], [11], [14], [38].

Categoría	Parámetro	Fórmula	Descripción
Parámetros de Voltaje	Nivel de voltaje	$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} \times 100[\%]$	$\Delta V_k$ : Variación del voltaje de suministro respecto al voltaje nominal en el punto k.
			$V_k$ : Voltaje de suministro en el punto k, determinado como el promedio de las medidas registradas (al menos cada 3 segundos) en un intervalo de 10 minutos.
			$V_N$ : Voltaje nominal en el punto k.

Categoría	Parámetro	Fórmula	Descripción
	<b>Flickers</b>	$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}}$	$P_{st}$ : índice del flicker  $P_{0,1}, P_1, P_3, P_{10}, P_{50}$ : Niveles de efecto flicker que se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total del intervalo de medición.
	<b>Desbalance de voltajes</b>	Desequilibrio de voltaje = $\frac{V^-}{V^+} \times 100$ [%]	$\frac{V^-}{V^+}$ $V^+$ : Componente de voltaje de secuencia positiva.
	<b>Armónicos de tensión</b>	$THD_k = \left[ \frac{1}{V_{h,1}} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (V_{h,k})^2} \right] \times 100$	$V_{h,k}$ Armónica de voltaje h en el intervalo k cada 10 minutos. $V_{h,1}$ Valor eficaz (rms) de la componente fundamental de voltaje.
		$DV_{h,k} = \frac{V_{h,k}}{V_{h,1}} \times 100\%$	$V_{h,k}$ : Armónica de voltaje h en el intervalo k cada 10 minutos. $V_{h,1}$ : Valor eficaz (rms) de la componente fundamental de voltaje.
	<b>Tensión RMS</b>	$U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_w} \sum_{n=0}^{T_w} u_n^2}$	$u_n$ : Datos obtenidos del analizador de red.
<b>Parámetros de Corriente</b>	<b>Nivel de corriente</b>	$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_w} \sum_{n=0}^{T_w} i_n^2}$	$\Delta I_k$ : Variación de la corriente respecto a la corriente nominal en el punto k.  $I_{rms}$ : Corriente en el punto k, determinada como el promedio de las medidas registradas en un intervalo de tiempo definido.  $i_n^2$ : Corriente nominal en el punto k.
<b>Factor de Potencia</b>	<b>Factor de Potencia</b>	$FP = \frac{P}{S}$	$FP$ : Factor de potencia, relación entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S).  $P$ : Potencia activa.  $Q$ : Potencia reactiva.
<b>Límites de Distorsión</b>	<b>Distorsión en Voltaje</b>	$TDD_k = \left[ \frac{1}{I_{h,1}} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (I_{h,k})^2} \right] \times 100\%$	$TDD_k$ : Distorsión de demanda total en el punto k.  $I_{h,1}$ : Componente de la corriente fundamental. $I_{h,k}$ : Corriente de la armónica h en el punto k.
	<b>Distorsión en Corriente</b>	$DI_{h,k} = \frac{I_{h,k}}{I_{h,1}} \times 100\%$	$DI_{h,k}$ : Distorsión individual de la corriente h en el punto k

Categoría	Parámetro	Fórmula	Descripción
			expresada como un porcentaje.
			$I_{h,k}$ : Corriente de la armónica h en el punto k. $I_{h,1}$ : Corriente de la componente fundamental (primera armónica).

Tabla 0.6. Cargas Generales del Sistema

AREA	CARGAS	Marca	Potencia (kw)	Velocidad (rev/min)	Voltaje
BANCO DE HIELO 1	Modulo 1	SCR Comp	30	N/A	220
BANCO DE HIELO 2	Modulo 2	RIVACOLD	33,525	N/A	220
COMPRESORES	Compresor 1	Copelametric	11,7	1630	220
	Compresor 2	Carlyle	15	1630	220
	Secador de Aire 1	ABAC	1,04	N/A	220
	Secador de Aire 2	ABAC	1,197	N/A	220
UNIDADES ENFRIAMIENTO	Compresor 3	Copelametric	2,235	1075	220
	Compresor 4	Tecumseh	2,23	1630	220
	YOGURT	N/A	4	N/A	220
	PASTEURIZADORA	REDA	7,8	N/A	220
	UHT	N/A	38,1	N/A	220
	RECEPCION	N/A	4,04	N/A	220
	COM1	N/A	4,48	N/A	220
CISTERNAS	COM2	N/A	4,46	N/A	220
	MOTOR 1	NA	1,12	1781	220
	MOTOR 2	NA	1,12	1781	220
	MOTOR 3	NA	0,746	1781	220
	MOTOR 4	NA	1,865	1781	220
	MOTOR 5	NA	0,746	1781	220
	MOTOR 6	NA	3,73	1781	220
CALDERO 1-2	MOTOR 7	NA	3,73	1781	220
	Caldero-Quemador 1	JoseePlay	2,6	N/A	220
CALDERO 3	Caldero-Quemador 2	R.B.L	1,8	N/A	220
	Caldero-Quemador 3	DISTRAL S.A	6,3	N/A	220
SERVICIOS VARIOS	BODEGA QUIMICA	N/A	0,016	N/A	127
	ALMACEN	N/A	0,016	N/A	127
	OFICINAS	N/A	0,567	N/A	127
	SERVICIOS AUX	N/A	3,27	N/A	127
	TALLER	N/A	0,826	N/A	127
	BOMBA DIESEL	N/A	3,62	N/A	220
	BOMBA POZO	N/A	2,72	N/A	220
ASSEPTICA ESSI	ENVAZADOR	ESSI	30	N/A	220
ESTERILIZADOR	GENERAL 1	N/A	45,06	N/A	220
HOMOGENIZADOR	GENERAL 2	N/A	55,75	N/A	220

**Tabla 0.7.** Resumen de cargas

AREA	CARGAS	MARCA	POTENCIA (kw)	VOLTAJE(V)
HOMOGENIZADOR	HOMOGENEIZADOR 2	ADINOX S.A	55	220
	ASCENSOR DE CARGA	N/A	0,75	220
U.H.T	HOMOGENEIZADOR 1	FBF	31	220
	ESBASADOR 1-2-3	N/A	0,5	220
	DESCREMADORA 2	ANDRITZ	6,1	220
	ESBASADOR 4-5-6	N/A	0,5	220
ESTERELIZADOR	ESTERILIZADOR	REDA	13,6	220
	CODIFICADORA	VIDEOJRT	0,12	220
	DOSIFICADORA DE VASOS	N/A	0,75	220
	TUNEL TERMOECOGIDA	THERMAL SHRINK TUNNEL	9	220
	DOSIFICACION 1-2-3	N/A	0,75	220
	DOSIFICACION 4-5-6	N/A	0,746	220
	AGITADOR RIOLAC	N/A	0,75	220
	TANQUES DE MARMITA 1-3	INDUACERO	2,2	220
	TANQUES DE MARMITA 2	INDUACERO	0,75	220
	PASTEURIZADOR	REDA	7,8	220
	DESCREMADORA 1	REDA	8,6	220
	DESGASIFICADOR	REDA	10	220

**Tabla 0.8.** Conductores de la Empresa

<b>Elemento</b>	<b>Tipo</b>	<b># Conductor</b>	<b>Calibre</b>	<b>Ampacidad disminuida</b>	<b>T °C</b>	<b>R1</b>	<b>X0</b>	<b>X1</b>	<b>Diametro</b>	<b>Distancia (m)</b>	<b>PARTIDA</b>
Linea 1	XLPE Copper 3/C	2	4/0	462,2	75	0,2144 5	1,57438	0,08977	0,57	18	ALIMENTADOR
Linea 1-1	XLPE Copper 3/C	3	1	360,5	75	0,5376 2	1,14886	0,09686	0,393	2	Bus PRINCIPAL
Linea 1-2	XLPE Copper 3/C	3	1	360,5	75	0,5376 2	1,14886	0,09686	0,393	2	Bus PRINCIPAL
Linea 1-3	XLPE Copper 3/C	3	2	289	75	0,6781 3	1,17525	0,09265	0,363	2	Bus PRINCIPAL
Linea 1-4	XLPE Copper 3/C	3	1	360,5	75	0,5376 2	1,14886	0,09686	0,393	2	Bus PRINCIPAL
Linea 1-5	XLPE Copper 3/C	3	10	73,5	75	4,3197 4	1,2926	0,08758	0,223	2	Bus PRINCIPAL
Linea 1-6	XLPE Copper 3/C	3	10	73,5	75	4,3197 4	1,2926	0,08758	0,223	2	Bus PRINCIPAL
Linea 1-7	XLPE Copper 3/C	3	10	73,5	75	4,3197 4	1,2926	0,08758	0,223	2	Bus PRINCIPAL
Linea 1-8	XLPE Copper 3/C	3	10	73,5	75	4,3197 4	1,2926	0,08758	0,223	2	Bus PRINCIPAL
Linea 1-9	XLPE Copper 3/C	3	10	73,5	75	4,3197 4	1,2926	0,08758	0,223	2	Bus PRINCIPAL

Linea 1-10	XLPE Copper 3/C	3	6	166,6	75	1,7118 6	1,20587	0,09592	0,308	2	Bus PRINCIPAL
Linea 1-11	XLPE Copper 3/C	3	2	289	75	0,6781 3	1,17525	0,09265	0,363	2	Bus PRINCIPAL
Linea 1-12	XLPE Copper 3/C	2	2	192,7	75	0,6781 3	1,71569	0,09265	0,363	22	Bus PRINCIPAL
Linea 1-13	XLPE Copper 3/C	2	2	192,7	75	0,6781 3	1,76965	0,09265	0,363	28	Bus PRINCIPAL
Linea 1-14	XLPE Copper 3/C	2	1	240,3	75	0,5376 2	0,99217	0,09686	0,393	18	Bus PRINCIPAL
Linea 1-15	XLPE Copper 3/C	2	2/0	337,8	75	0,3385	1,11491	0,09312	0,472	15	Bus PRINCIPAL
Linea 1-16	XLPE Copper 3/C	2	1/0	211,5	90	0,1474	0,37526	0,09488	0,407	20	Bus PRINCIPAL
Linea 1-17	XLPE Copper 3/C	2	1/0	211,5	90	0,1474	0,21705	0,09488	0,407	17	Bus PRINCIPAL
Linea 1-18	XLPE Copper 3/C	2	1/0	277,5	75	0,4264 4	1,58679	0,09496	0,43	15	Bus PRINCIPAL
Linea 1-19	XLPE Copper 3/C	1	4	75,7	75	1,0741 8	1,33657	0,09312	0,354	4	Bus PRINCIPAL
Linea 1-20	XLPE Copper 3/C	1	2	96,3	75	0,6781 3	1,74431	0,09265	0,363	25	Bus PRINCIPAL
Linea 1-21	XLPE Copper 3/C	1	1/0	138,7	75	0,4264 4	1,73454	0,09496	0,43	29	Bus PRINCIPAL

Linea 1-22	XLPE Copper 3/C	2	1/0	277,5	75	0,4264 4	1,75651	0,09496	0,43	32	Bus PRINCIPAL
Linea 14-1	XLPE Copper 3/C	1	8	35,9	75	2,7264 6	1,73231	0,0936	0,259	17	COMPRESORES
Linea 14-2	XLPE Copper 3/C	1	8	35,9	75	2,7264 6	1,72561	0,0936	0,259	16,5	COMPRESORES
Linea 14-3	XLPE Copper 3/C	1	6	55,5	75	1,7118 6	1,73588	0,09592	0,308	21	COMPRESORES
Linea 14-4	XLPE Copper 3/C	1	6	55,5	75	1,7118 6	1,7463	0,09592	0,308	22	COMPRESORES
Linea 15-1	XLPE Copper 3/C	2	1	240,3	75	0,5376 2	1,35582	0,09686	0,393	5	UNIDADES DE ENFRIAMIENTO
Linea 15-1-1	XLPE Copper 3/C	1	1	120,2	75	0,5376 2	1,77306	0,09686	0,393	32	PASTEURIZADO R
Linea 15-1-2	XLPE Copper 3/C	1	12	18,5	75	6,8776 7	1,84929	0,07547	0,205	22	PASTEURIZADO R
Linea 15-1-3	XLPE Copper 3/C	1	12	18,5	75	6,8776 7	1,71316	0,07547	0,205	12	PASTEURIZADO R
Linea 15-1-4	XLPE Copper 3/C	1	12	18,5	75	6,8776 7	1,77784	0,07547	0,205	16	PASTEURIZADO R
Linea 15-2	XLPE Copper 3/C	1	6	55,5	75	1,7118 6	1,81568	0,09592	0,308	30	UNIDADES DE ENFRIAMIENTO
Linea 15-3	XLPE Copper 3/C	1	2/0	168,9	75	0,3385	1,72472	0,09312	0,472	30	UNIDADES DE ENFRIAMIENTO

Linea 15-4	XLPE Copper 3/C	1	8	35,9	75	2,7264 6	1,74263	0,0936	0,259	17,8	UNIDADES DE ENFRIAMIENTO
Linea 15-5	XLPE Copper 3/C	1	8	35,9	75	2,7264 6	1,71869	0,0936	0,259	16	UNIDADES DE ENFRIAMIENTO
Linea 16-1	XLPE Copper 3/C	1	12	18,5	75	6,8776 7	1,40047	0,07547	0,205	3	CISTERNAS
Linea 16-2	XLPE Copper 3/C	1	12	18,5	75	6,8776 7	1,46545	0,07547	0,205	4	CISTERNAS
Linea 16-3	XLPE Copper 3/C	1	12	18,5	75	6,8776 7	1,51582	0,07547	0,205	5	CISTERNAS
Linea 16-4	XLPE Copper 3/C	1	12	18,5	75	6,8776 7	1,55696	0,07547	0,205	6	CISTERNAS
Linea 16-5	XLPE Copper 3/C	1	12	18,5	75	6,8776 7	1,62184	0,07547	0,205	8	CISTERNAS
Linea 16-6	XLPE Copper 3/C	1	12	18,5	75	6,8776 7	1,67212	0,07547	0,205	10	CISTERNAS
Linea 16-7	XLPE Copper 3/C	1	12	18,5	75	6,8776 7	1,73117	0,07547	0,205	13	CISTERNAS
Linea 19-1	XLPE Copper 3/C	1	6	55,5	75	1,7118 6	1,72494	0,09592	0,308	20	SERVICIOS VARIOS
Linea 19-2	XLPE Copper 3/C	1	8	35,9	75	2,7264 6	1,68869	0,0936	0,259	14	SERVICIOS VARIOS
Linea 19-3	XLPE Copper 3/C	1	12	18,5	75	6,8776 7	1,82793	0,07547	0,205	20	SERVICIOS VARIOS

Linea 19-4	XLPE Copper 3/C	1	12	18,5	75	6,8776 7	1,74784	0,07547	0,205	14	SERVICIOS VARIOS
Linea 19-5	XLPE Copper 3/C	1	12	18,5	75	6,8776 7	1,67212	0,07547	0,205	10	SERVICIOS VARIOS
Linea 19-6	XLPE Copper 3/C	1	10	24,5	75	4,3197 4	1,74709	0,08758	0,223	15	SERVICIOS VARIOS
Linea 19-7	XLPE Copper 3/C	1	12	18,5	75	6,8776 7	1,73117	0,07547	0,205	13	SERVICIOS VARIOS

**Tabla 0.9.** Armónicos Individuales de Corriente (%)

ORDEN	L1-N	L2-N	L3-N	TOTAL	IEEE 519 (V≤1 kV)	OBSERVACIÓN
	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA		
0	3,80	3,20	1,85	2,95	LÍMITE DE 5%	CUMPLE
1	100,00	100,00	100,00	100,00		NO CUMPLE
2	0,09	0,11	0,10	0,10		CUMPLE
3	0,49	0,99	0,11	0,53		CUMPLE
4	0,14	0,11	0,10	0,12		CUMPLE
5	3,99	4,09	3,79	3,96		CUMPLE
6	0,07	0,06	0,08	0,07		CUMPLE
7	1,29	1,24	1,19	1,24		CUMPLE
8	0,19	0,17	0,21	0,19		CUMPLE
9	0,17	0,15	0,16	0,16		CUMPLE
10	0,09	0,08	0,07	0,08		CUMPLE
11	0,89	0,84	0,82	0,85		CUMPLE
12	0,59	0,54	0,52	0,55		CUMPLE
13	1,29	1,19	1,17	1,22		CUMPLE
14	0,09	0,09	0,08	0,09		CUMPLE
15	0,50	0,47	0,05	0,34		CUMPLE
16	1,10	1,05	1,00	1,05		CUMPLE
17	1,50	1,45	1,40	1,45		CUMPLE
18	1,10	1,08	1,05	1,08		CUMPLE
19	0,94	0,91	0,89	0,91		CUMPLE
20	0,40	0,38	0,35	0,38		CUMPLE
21	0,30	0,28	0,25	0,28		CUMPLE
22	0,25	0,23	0,20	0,23		CUMPLE
23	0,19	0,17	0,14	0,17		CUMPLE
24	0,34	0,29	0,27	0,30		CUMPLE
25	0,39	0,37	0,36	0,37		CUMPLE
26	0,28	0,26	0,24	0,26		CUMPLE
27	0,21	0,19	0,17	0,19		CUMPLE
28	0,14	0,13	0,12	0,13		CUMPLE
29	0,10	0,09	0,08	0,09		CUMPLE
30	0,05	0,04	0,03	0,04	CUMPLE	

**Tabla 0.10.** Distorsión armónica Total de Voltaje

ORDEN	TOTAL	Voltaje (V)	IEEE 519 (V≤1 kV)	THD (%)
	MEDIA			
0	2,95	3,92	LÍMITE DE 8%	5,10
1	100,00	132,80		
2	0,10	0,13		
3	0,53	0,70		
4	0,12	0,15		
5	3,96	5,25		
6	0,07	0,09		
7	1,24	1,65		
8	0,19	0,25		
9	0,16	0,21		
10	0,08	0,11		
11	0,85	1,13		
12	0,55	0,73		
13	1,22	1,62		
14	0,09	0,12		
15	0,34	0,45		
16	1,05	1,39		
17	1,45	1,93		
18	1,08	1,43		
19	0,91	1,21		
20	0,38	0,50		
21	0,28	0,37		
22	0,23	0,30		
23	0,17	0,22		
24	0,30	0,40		
25	0,37	0,50		
26	0,26	0,35		
27	0,19	0,25		
28	0,13	0,17		
29	0,09	0,12		
30	0,04	0,05		

**Tabla 0.11.** Armónicos Individuales de Corriente

ORDEN	L1-N	L2-N	L3-N	TOTAL	IEEE 519 (Isc/IL=20<50)	OBSERVACIÓN
	MEDIA	MEDIA	MEDIA	MEDIA		
0	4,10	3,92	3,80	3,94	LÍMITE DE 7%	CUMPLE
1	100,00	100,00	100,00	100,00		NO CUMPLE
2	0,50	0,45	0,40	0,45		CUMPLE
3	1,80	1,75	1,70	1,75		CUMPLE
4	0,40	0,35	0,32	0,36		CUMPLE
5	6,89	6,70	6,50	6,70		CUMPLE
6	0,30	0,28	0,25	0,28		CUMPLE
7	1,44	1,34	1,24	1,34		CUMPLE
8	0,50	0,45	0,40	0,45		CUMPLE
9	1,39	1,34	1,29	1,34		CUMPLE
10	0,60	0,55	0,50	0,55		CUMPLE
11	1,88	1,80	1,60	1,76	LÍMITE DE 3,5%	CUMPLE
12	0,30	0,28	0,25	0,28		CUMPLE
13	1,13	1,10	1,00	1,08		CUMPLE
14	0,40	0,38	0,35	0,38		CUMPLE
15	1,00	0,90	0,80	0,90		CUMPLE
16	0,45	0,42	0,40	0,42		CUMPLE
17	1,04	1,00	0,90	0,98	LÍMITE DE 2,5%	CUMPLE
18	0,60	0,55	0,50	0,55		CUMPLE
19	0,58	0,57	0,55	0,57		CUMPLE
20	0,70	0,65	0,60	0,65		CUMPLE
21	0,50	0,45	0,40	0,45		CUMPLE
22	0,55	0,50	0,45	0,50		CUMPLE
23	0,30	0,28	0,25	0,28	LÍMITE DE 1%	CUMPLE
24	0,25	0,22	0,20	0,22		CUMPLE
25	0,40	0,35	0,30	0,35		CUMPLE
26	0,20	0,18	0,15	0,18		CUMPLE
27	0,30	0,28	0,25	0,28		CUMPLE
28	0,15	0,12	0,10	0,12		CUMPLE
29	0,10	0,08	0,07	0,08		CUMPLE
30	0,05	0,04	0,03	0,04		CUMPLE

**Tabla 0.12.** Distorsión Armónica Total de Corriente

ORDEN	TOTAL	CORRIENTES (A)	IEEE 519 (Icc/IL=20<50)	TDD (%)
	MEDIA			
0	3,94	14,60	8%	7,79
1	100,00	370,67		
2	0,45	1,67		
3	1,75	6,49		
4	0,36	1,32		
5	6,70	24,82		
6	0,28	1,03		
7	1,34	4,97		

8	0,45	1,67
9	1,34	4,97
10	0,55	2,04
11	1,76	6,52
12	0,28	1,03
13	1,08	3,99
14	0,38	1,40
15	0,90	3,34
16	0,42	1,57
17	0,98	3,63
18	0,55	2,04
19	0,57	2,10
20	0,65	2,41
21	0,45	1,67
22	0,50	1,85
23	0,28	1,03
24	0,22	0,83
25	0,35	1,30
26	0,18	0,65
27	0,28	1,03
28	0,12	0,46
29	0,08	0,31
30	0,04	0,15

**Tabla 0.13.** Potencia de pérdidas por cada línea.

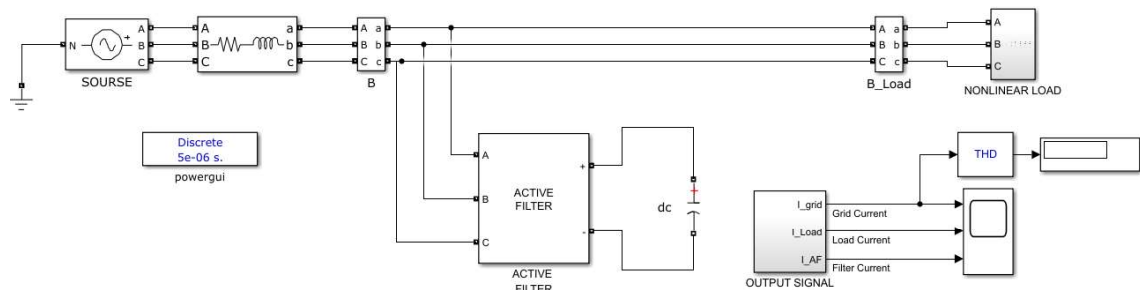
Nombre	Potencia (kW)	Corriente (A)	Sobrecarga %	Potencias de pérdida (kW)
Linea 1	323,9	852,5	113,9	1,83
Linea 1-11	0,0007	77	26,6	0,0076
Linea 1-12	29,37	78,25	40,6	0,13
Linea 1-13	32,76	87,15	45,2	0,205
Linea 1-14	28,22	74,66	31,1	0,0767
Linea 1-15	64,25	170	61,3	0,265
Linea 1-16	18,85	59,62	28,2	0,049
Linea 1-17	4,37	11,55	5,5	0,0016
Linea 1-18	6,19	16,39	5,9	0,0025
Linea 1-19	10,51	27,8	36,7	0,0094
Linea 1-20	29,21	77,31	80,3	0,288
Linea 1-21	43,83	116	83,6	0,478
Linea 1-22	54,42	144	51,9	0,406
Linea 14-1	11,4	30,24	40	0,0472
Linea 14-2	14,55	38,61	69,5	0,119
Linea 14-3	1,02	2,696	7,5	0,0012
Linea 14-4	1,17	3,11	8,7	0,0016

Linea 15-1	49,17	130,6	54,4	0,0652
Linea 15-1-1	36,59	97,37	81	0,464
Linea 15-1-2	3,88	10,33	55,7	0,0456
Linea 15-1-3	4,33	11,51	62,1	0,0308
Linea 15-1-4	4,3	11,44	61,7	0,0406
Linea 15-2	7,55	20,06	36,1	0,0583
Linea 15-3	3,9	10,36	6,1	0,0032
Linea 15-4	1,2	3,184	8,9	0,0014
Linea 15-5	2,17	5,769	16,1	0,0041
Linea 16-1	1,71	5,516	29,7	0,0018
Linea 16-2	1,71	5,517	29,8	0,0024
Linea 16-3	1,15	3,769	20,3	0,0014
Linea 16-4	2,72	8,654	46,7	0,0087
Linea 16-5	1,15	3,771	20,3	0,0022
Linea 16-6	5,2	16,19	87,3	0,0508
Linea 16-7	5,21	16,23	87,5	0,0664
Linea 19-1	0,0147	0,039	0,1	0
Linea 19-2	0,0147	0,039	0,1	0
Linea 19-3	0,539	1,428	7,7	0,0008
Linea 19-4	3,12	8,271	44,6	0,0186
Linea 19-5	0,785	2,078	11,2	0,0008
Linea 19- 6	3,44	9,112	37,2	0,0152
Linea 19-7	2,58	6,833	36,9	0,0118

## ANEXO B

### PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA FUTUROS PROBLEMAS ARMÓNICOS

El filtro activo shunt presente tiene como propósito reducir los armónicos de una red trifásica para lo cual, se implementa cargas no lineales que ingresan corrientes armónicas de orden 3, 5 y 7. El filtro usa el método de detección de armónicos mediante la transformada de Clark, inversores con PMW para obtener una señal inversa a los armónicos y un sistema de compensación para mitigar perturbaciones por parte del inversor. El modelo del filtro implementado se observa en la Tabla 0.1.



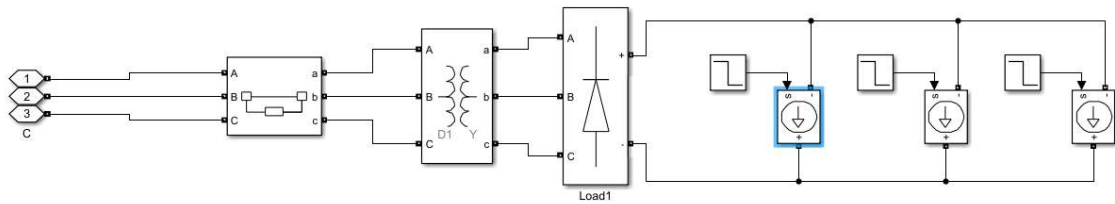
**Figura 0.1.** Filtro Activo Shunt

El sistema opera a una frecuencia de 60 Hz y un voltaje de 220 V entre líneas, con la carga no lineal conectada al final de los terminales. Esta carga presenta componentes armónicos, como se muestra en la Tabla 0.1.

**Tabla 0.1.** Armónicos de corriente

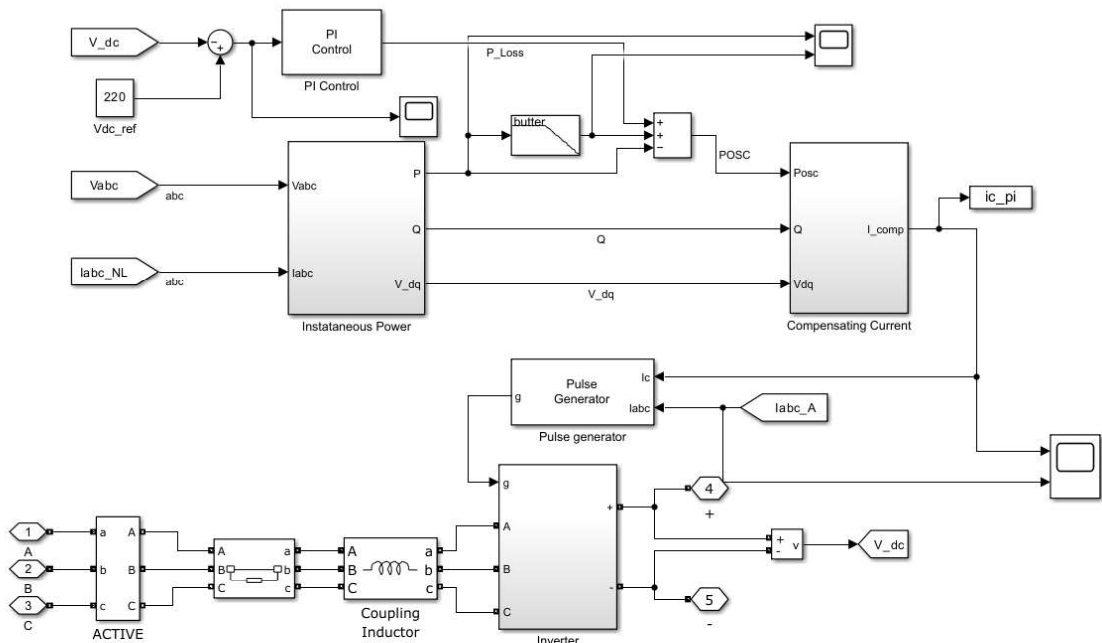
Orden del armónico (H)	Frecuencia (F*h)	Amplitud (A)
H 3	$60*3=180$ Hz	5
H 5	$60*5=300$ Hz	15
H 7	$60*7=420$ Hz	20

Los valores de amplitud y frecuencia de los armónicos se ingresan en el sub sistema creado “NONLINEAR LOAD”, donde se colocan fuentes de corrientes en paralelo para ingresar los armónicos de corriente, como se indica en la Figura 0.2.



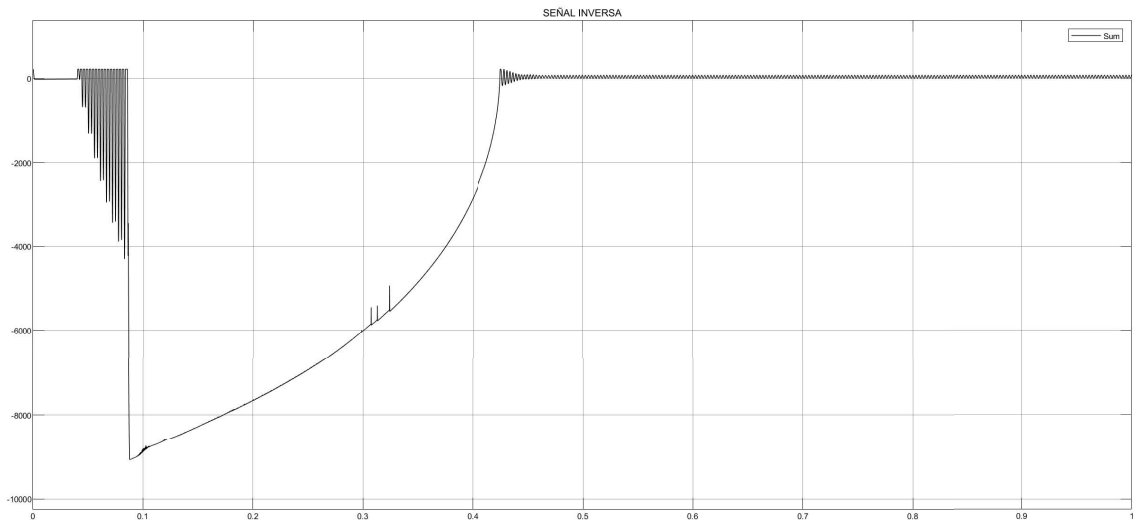
**Figura 0.2.** Configuración cargas no lineales

Para mitigar los armónicos el modelo del filtro emplea detectores de armónicos, inversores de señales, generadores de impulsos y atenuadores de señales para mitigar las señales de salida, el modelo se representa en la Figura 0.3.



**Figura 0.3.** Modelo del filtro activo shunt

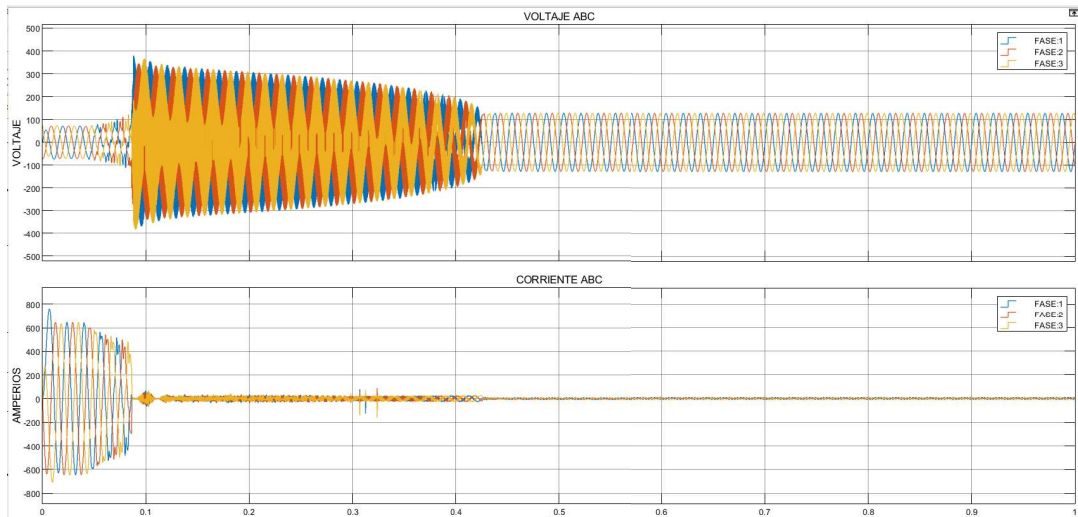
La señal resultante del control del filtro es una opuesta a los armónicos del sistema por lo que al ser representada como indica la Figura 0.4, decrece significativamente hasta los 0.1 segundos luego a partir del tiempo 0.4 segundos la señal se estabiliza indicando que modelo del filtro entrega una señal mitigadora de armónicos.



**Figura 0.4.** Señal inversa del filtro

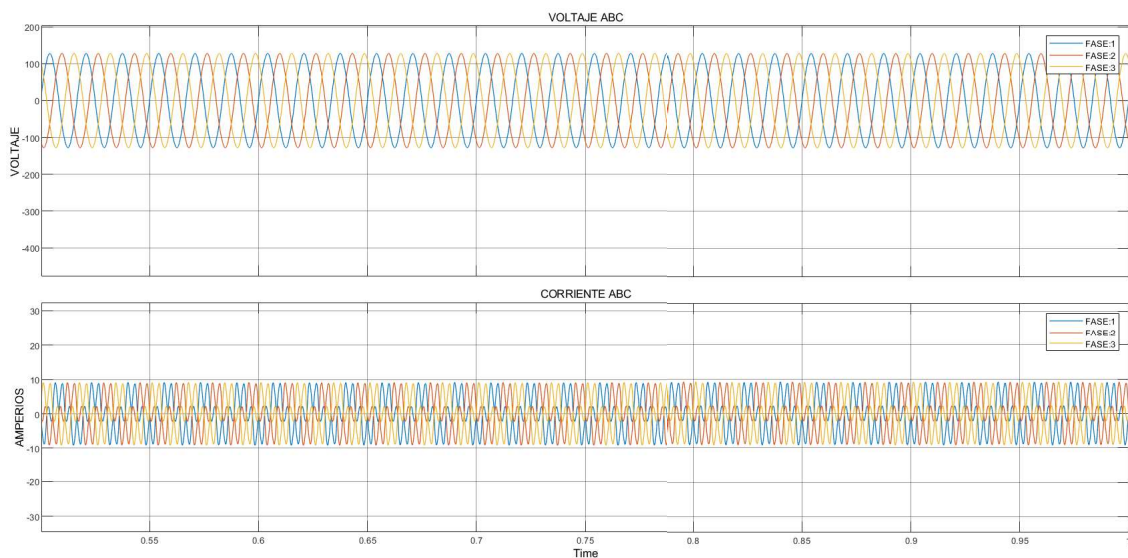
Aplicando la función de transformada de Fourier en Simulink, se determinó que la suma de los armónicos inyectados en el sistema genera un THD del 20.32%, mientras que en la salida del filtro este valor se reduce a 0.74%. Esto demuestra el correcto funcionamiento del filtro activo shunt, el cual logra mitigar eficazmente los armónicos de orden 3, 5 y 7, siendo este último el más significativo dentro del sistema.

En la Figura 0.5 **Figura 0.5**, se puede observar las curvas de voltaje y corriente del filtro, donde se evidencia que los armónicos inyectados a los 0.1 segundos alteran la forma de onda sinusoidal de la fuente. Entre los 0.1 y 0.4 segundos, se presentan variaciones en la amplitud y un incremento del ruido eléctrico debido a la presencia de armónicos. Además, en el instante 0.3 segundos, se observa un sobre impulso en la onda de corriente, producto del mecanismo de control del filtro al compensar la distorsión armónica.



**Figura 0.5.** Graficas de voltaje y corriente

Una vez finalizada la etapa de atenuación de las curvas del modelo del filtro, a partir de los 0.5 segundos, la señal de voltaje y corriente en las fases A, B y C se estabiliza. Esto indica que la reducción de los armónicos en la red ha alcanzado niveles aceptables, cumpliendo con los estándares esperados para un filtro activo de potencia shunt, diseñado para mitigar armónicos impares de hasta orden 7. Observe la Figura 0.6.



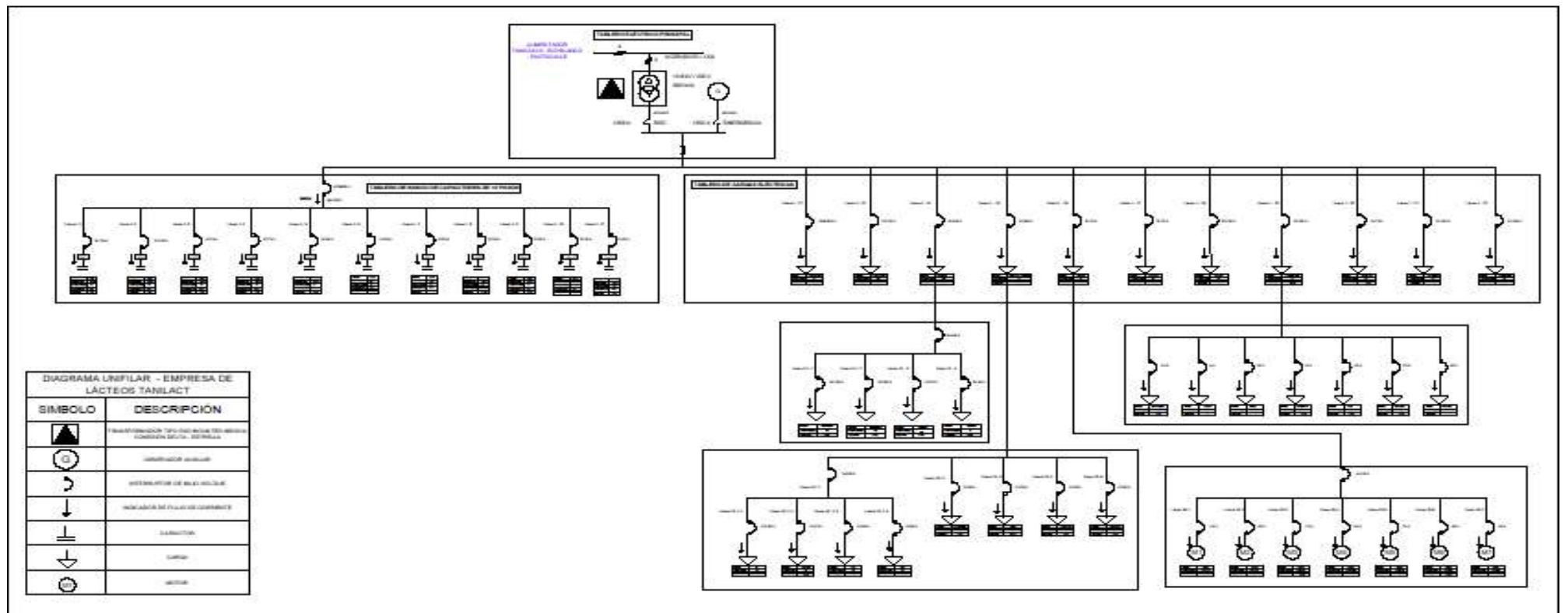
**Figura 0.6.** Respuesta atenuada del filtro

## **IMPACTO DEL FILTRO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO**

Una vez determinados los armónicos más significativos de la empresa de lácteos “Tanilact”, se procede a realizar la inserción de armónicos en las cargas no lineales de la empresa mediante el uso del software especializado ETAP. Esta simulación permite analizar el comportamiento del sistema ante la presencia de armónicos, evidenciando distorsiones en la forma de onda que afectan el factor de potencia, generan sobrecalentamiento en los equipos y pueden provocar fallos en dispositivos electrónicos sensibles.

El filtro activo shunt en el sistema tiene un impacto crucial en la mitigación de estos armónicos, ya que su función principal es detectar y compensar en tiempo real las distorsiones generadas por las cargas no lineales. Al activarse, el filtro inyecta una corriente de compensación con fase opuesta a los armónicos no deseados, logrando reducir significativamente la distorsión armónica total (THD) en la red. Como resultado, se mejora la estabilidad del voltaje, se optimiza el factor de potencia y se minimizan los efectos adversos sobre los equipos de la empresa.

**ANEXO C: DIAGRAMA UNIFILAR DE LA EMPRESA TANILACT.**



# ANEXO D: SIMULACIÓN EN EL SOFTWARE ESPECIALIZADO ETAP DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA EMPRESA TANILACT

