



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

CARRERA DE ELECTRICIDAD
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CENTRO
COMERCIAL POPULAR “EL SALTO”

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

Autores:

Mario Enrique Iza Iza
Cristian Paul Lema Almachi

Tutor:

Ing. MSc. Franklin Hernán Vásquez Teneda

LATACUNGA-ECUADOR

MARZO-2026

Latacunga, marzo 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **Iza Iza Mario Enrique** declaro ser autor del proyecto de titulación “ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CENTRO COMERCIAL POPULAR EL SALTO”, siendo el Ing. Franklin Hernán Vásquez Teneda MSc. tutor del presente trabajo de titulación; 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 de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.



Iza Iza Mario Enrique

C.C:0550525067

Latacunga, marzo 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **Lema Almachi Cristian Paul** declaro ser autor del proyecto de titulación "**ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CENTRO COMERCIAL POPULAR 'EL SALTO'**", siendo el Ing. Franklin Hernán Vásquez Teneda MSc. tutor del presente trabajo de titulación; 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 de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.



Lema Almachi Cristian Paul

C.C:0550177182

Latacunga, marzo 2026

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: "**ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CENTRO COMERCIAL POPULAR 'EL SALTO'**", propuesto por los estudiantes Mario Enrique Iza Iza, Cristian Paul Lema Almachi de la Carrera de Electricidad, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



Ing. MSc. Franklin Hernán Vásquez Teneda

C.C. 171043449-7

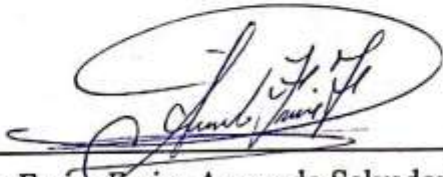
Latacunga, marzo 2026

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título "ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CENTRO COMERCIAL POPULAR 'EL SALTO'", propuesto por los estudiantes Iza Iza Mario Enrique, Lema Almachi Cristian Paul de la Carrera de Ingeniería en Electricidad, me permito indicar que el o la estudiante ha concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, además de validar el funcionamiento de la propuesta, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad Propuesta de Investigación en virtud de lo cual el o la postulante puede presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

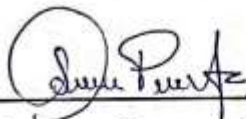
Atentamente,



Ing. Freire Freire Armando Salvador Mgr.
C.C. 0503842833



Ing. Mullo Pallo Mauricio Eduardo Mgr.
C.C. 0503755183



Ing. Pallasco Venegas Mirian Susana Mgr.
C.C. 0501862874

AGRADECIMIENTO

A mis padres, Antonio Iza y Barbarita Iza por ser el pilar fundamental de mi vida. Gracias por cada sacrificio silencioso, por las noches de desvelo y por haberme dado las herramientas necesarias para enfrentar el mundo. Este título no es solo un logro académico personal, sino el fruto de su entrega y el cumplimiento de un sueño que empezamos juntos. Todo lo que soy y lo que he logrado se lo debo a ustedes.

Iza Iza Mario Enrique

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi por mi formación y a mi tutor, el Ing. Franklin Vásquez, por su invaluable guía y paciencia. Gracias a mis docentes por su pasión y enseñanzas, y a mi compañero Mario Iza por el apoyo mutuo en este camino. Finalmente, a mi familia: mis abuelos por criarme, la memoria de mi madre, mis hermanos y, especialmente, mis sobrinos por ser mi mayor motivación.

Lema Almachi Cristian Paul

DEDICATORIA

A mis padres, Antonio Iza y Barbarita Iza, por su sacrificio y amor incondicional. A mis hermanos, por su alegría y por creer siempre en mí. A mi novia Mishel, por su compañía constante, por sus palabras de aliento y por ser la luz que guio este camino hacia la meta. Este logro no es solo mío, es el fruto del amor de todos ustedes.

Iza Iza Mario Enrique

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a la memoria de mi madre, Narcisa Lema, cuyo amor es mi fortaleza. A mis abuelos, Cesar y Valentina, por abrirme su hogar y criarme con infinito amor y consejos. A mis hermanos, Missel y Luis, por ser mi refugio y apoyo incondicional en cada paso. Y a mi mejor amiga, Vanessa, por creer en mí y no dejarme rendir. Gracias a todos los que confiaron en mí y nunca me abandonaron.

Lema Almachi Cristian Paul

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CENTRO COMERCIAL POPULAR “EL SALTO”

Autores:

Mario Enrique Iza Iza

Cristian Paul Lema Almachi

RESUMEN

El presente proyecto de titulación analiza la calidad de la energía eléctrica en el Centro Comercial Popular “El Salto”, ubicado en la ciudad de Latacunga, con el objetivo de identificar perturbaciones y proponer soluciones técnicas que optimicen la eficiencia y seguridad del sistema. La metodología aplicada corresponde a un estudio de tipo cuantitativo-descriptivo, basado en la recopilación de datos en tiempo real mediante el analizador de redes Fluke 435-II durante un período de siete días continuos, conforme a la norma IEC 61000-4-30, los lineamientos de la regulación ARCONEL 009/24 y el estándar IEEE 519/14. Para el análisis se realizó el levantamiento de cargas, el modelado del diagrama unifilar en AutoCAD 2026 y la simulación del sistema eléctrico en el software ETAP 19.0.1, con el fin de validar el diagnóstico. Los resultados mostraron que, aunque los niveles de tensión y flicker se mantienen dentro de los límites normativos, se detectaron incumplimientos en el factor de potencia, con un valor de 0,89, y en la distorsión armónica total de corriente (TDD), superior al 30,94 %, asociados a la presencia de cargas no lineales como iluminación LED y equipos electrónicos. Como propuesta de mitigación, se diseñó un filtro pasivo sintonizado al quinto armónico, cuya simulación en ETAP demostró una mejora sustancial: el factor de potencia se elevó a 0,94 y la distorsión armónica de corriente se redujo al 5,77 %, cumpliendo con los lineamientos establecidos. Se concluye que la implementación de esta solución técnica es viable y contribuirá a disminuir las pérdidas en la red, evitando penalizaciones económicas y prolongando la vida útil de los equipos eléctricos del centro comercial.

Palabras claves: calidad de energía, distorsión armónica, factor de potencia, filtro pasivo, ARCONEL 009/24, IEEE 519/14.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

**TITLE: “ANALYSIS OF ELECTRICAL POWER QUALITY AT THE “EL SALTO”
POPULAR SHOPPING CENTER”**

Authors:

Mario Enrique Iza Iza

Cristian Paul Lema Almachi

ABSTRACT

This degree project analyzes the electrical power quality at the “El Salto” Popular Shopping Center, located in the city of Latacunga, with the objective of identifying disturbances and proposing technical solutions to optimize the efficiency and safety of the system. The applied methodology corresponds to a quantitative-descriptive study based on the collection of real-time data using the Fluke 435-II Power Quality Analyzer over a period of seven consecutive days, in accordance with the IEC 61000-4-30 standard, the guidelines of the ARCONEL 009/24 regulation, and the IEEE 519/14 standard. For the analysis, load measurements were carried out, the single-line diagram was modeled in AutoCAD 2026, and the electrical system was simulated using the ETAP 19.0.1 software in order to validate the diagnosis. The results showed that, although voltage and flicker levels remain within regulatory limits, non-compliance was detected in the power factor, with a value of 0.89, and in the total demand distortion of current (TDD), exceeding 30.94%, associated with the presence of non-linear loads such as LED lighting and electronic equipment. As a mitigation proposal, a passive filter tuned to the fifth harmonic was designed, whose simulation in ETAP demonstrated a substantial improvement: the power factor increased to 0.94 and the current harmonic distortion was reduced to 5,77%, complying with the established guidelines. It is concluded that the implementation of this technical solution is feasible and will contribute to reducing losses in the network, avoiding economic penalties and extending the useful life of the electrical equipment in the shopping center.

Keywords: power quality, harmonic distortion, power factor, passive filter, ARCONEL 009/24, IEEE 519/14.

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

Iza Iza Mario Enrique - Lema Almachi Cristian Paul

AVAL DE TRADUCCIÓN- Profesional Externo

Yo Ledesma Tiñe María José, con cédula de identidad número: 0503966517, Licenciada en Ciencias de la Educación Especialidad Inglés con número de registro de la SENESCYT No. 1020-2024-2842105; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: "**ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CENTRO COMERCIAL POPULAR 'EL SALTO'**" de: **Iza Iza Mario Enrique y Lema Almachi Cristian Paul**, egresados de la carrera de **Electricidad**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**.

En virtud de lo expuesto y para constancia de lo mismo se registra la firma respectiva.

Latacunga, marzo, 2026


.....
María José Ledesma Tiñe
C.I: 0503966517

ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
AVAL DE TRADUCCIÓN- Profesional Externo	xii
ÍNDICE.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xviii
ÍNDICE DE FIGURAS	xix
ÍNDICE DE ANEXOS	xxi
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
2.1 Situación Problemática	3
2.2 Formulación del Problema.....	3
2.3 Objeto y Campo de Acción.....	3
2.4 Beneficiarios	4
2.5 Justificación	4
2.6 OBJETIVOS	5
2.6.1 General.....	5
2.6.2 Específicos.....	5
2.7 Sistemas de Tareas.....	6
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
3.1 Introducción a la Calidad de Energía.....	7
3.1.1 Concepto de calidad de energía eléctrica	7

3.1.2	Calidad de Energía Eléctrica	7
3.1.3	Conceptos de calidad de la energía eléctrica	8
3.1.4	Clasificación de cargas en los sistemas eléctricos.....	9
3.1.5	Cargas lineales en sistemas eléctricos	9
3.1.6	Corrientes lineales	9
3.1.7	Cargas no lineales.....	10
3.2	Normas enfocadas a la calidad de energía eléctrica.....	11
3.2.1	Normas Nacional e Internacional	11
3.2.2	Norma IEEE 519	11
3.2.3	Regulación ARCONEL-009/24.....	11
3.3	Problemas de sobrevoltajes.....	12
3.4	Importancia de la calidad de energía	12
3.5	Características de Calidad de Energía.....	12
3.6	Regulación del Nivel de Tensión.....	13
3.7	Niveles de tensión.....	13
3.8	Calidad de Producto.....	14
3.8.1	Nivel de Tensión.....	14
3.8.2	Límites del nivel de tensión.....	14
3.8.3	Cumplimiento del índice de nivel de tensión en el punto.....	15
3.9	Armónicos de tensión y corriente	15
3.9.1	Definición de Armónicos.....	15
3.9.2	Conceptos Generales	15
3.9.3	Indicadores esenciales de la distorsión armónica	15
3.9.4	Impacto de los armónicos en el sistema eléctrico.....	16
3.9.5	Equipos que generan armónicos en la red	16
3.10	La frecuencia	16
3.11	Perturbación Rápida de Tensión (Flicker)	17

3.11.1	Límite	17
3.12	Distorsión Armónica de Tensión.....	17
3.13	Distorsión armónica de la corriente	19
3.13.1	Límites	19
3.14	Potencia Eléctrica.....	20
3.14.1	Potencia	20
3.14.2	Triángulo de potencias.....	20
3.15	El Angulo φ	21
3.15.1	Potencia activa.....	21
3.15.2	Potencia reactiva.....	22
3.15.3	Potencia aparente.....	22
3.16	Factor de potencia	23
3.16.1	Corrección del factor de potencia en la red	23
3.16.2	Consecuencias del bajo factor de potencia	24
3.16.3	Formas de instalación y localización del banco de condensadores	24
3.17	ETAP.....	25
3.18	AUTOCAD 2026	25
3.19	FLUKE 435-II.....	26
3.19.1	Características del Analizador de Redes FLUKE 435-II.....	27
3.20	DRAW.IO	27
4.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	29
4.1	Metodología de Investigación.....	29
4.1.1	Método analítico – diagnóstico	29
4.1.2	Método inductivo – deductivo.....	29
4.1.3	Método Estadístico – encuesta	29
4.1.4	Investigación de campo	29
4.2	Procedimiento	30

4.2.1	Diagrama de flujo	30
4.3	Inspección del área del Centro Comercial Popular “El Salto”	31
4.4	Recolectar información del Sistema Eléctrico	32
4.4.1	Encuesta Aplicada a los Arrendatarios	34
4.4.2	Cuadro de Cargas	35
4.4.3	Elaboración del diagrama unifilar	36
4.4.4	Selección del punto de medición	38
4.4.5	Conexión del equipo a la red trifásica	38
4.4.6	Instalación y configuración del analizador de red	39
4.4.7	Verificación del funcionamiento del analizador de redes	41
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	42
5.1	Interpretación de los datos	42
5.1.1	Análisis de Nivel de Tensión del Transformador 125 KVA	42
5.1.2	Tensión Promedio Fase-Neutro: 127 V	42
5.1.3	Tensión Promedio Fase–Fase: 220 V	44
5.1.4	Tensión en el neutro en el transformador 125 kVA	45
5.1.5	Análisis de Corriente (A).....	46
5.1.6	Potencia Activa (kW)	47
5.1.7	Potencia Reactiva (KVAr).....	48
5.1.8	Potencia Aparente (KVA)	49
5.1.9	Factor de potencia (FP).....	50
5.1.10	Distorsión Armónica total de tensión THD.....	51
5.1.11	Armónicos individuales de tensión.....	53
5.1.12	TDD de corriente del transformador	54
5.1.13	Distorsión individual de corriente	56
5.1.14	Flickers en el transformador	57
5.2	Resumen de resultados del análisis de Calidad de Energía	58

5.3	Simulación del sistema en ETAP.....	59
6.	PROPUESTAS	61
6.1	Corrección del bajo factor de potencia	61
6.1.1	Resultados de la simulación	64
6.1.2	Ahorro de energía mediante la compensación reactiva.....	67
6.2	Análisis de penalizaciones por bajo factor de potencia	67
6.3	Resonancia en el Transformador de 125 KVA.....	68
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
	REFERENCIAS	70
8.	ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Campos de la ciencia y Tecnología UNESCO [1].	1
Tabla 2. Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO [1].	4
Tabla 3. Beneficiarios del proyecto.	4
Tabla 4 Sistema de Tareas.	6
Tabla 5. Límites de índice de nivel de tensión [14].	14
Tabla 6. Límites máximos de armónicos de tensión (%) [22].	18
Tabla 7 Niveles máximos de deformación de la onda de corriente [22].	19
Tabla 8. Características del transformador del C. C. Popular "El Salto".	33
Tabla 9 Cargas conectadas al transformador de 125 kVA.	35
Tabla 10 Niveles de tensión promedio fase-neutro: 127 V.	42
Tabla 11 Porcentaje de Variación de tensión 127 V.	43
Tabla 12 Nivel de tensión fase-fase: 220 V.	44
Tabla 13 Variación de tensión 220 V.	44
Tabla 14 Nivel de tensión Neutro.	45
Tabla 15 Nivel de corriente.	46
Tabla 16 Potencia activa.	48
Tabla 17 Potencia reactiva (KVAr)	49
Tabla 18 Potencia Aparente (KVA)	50
Tabla 19 Factor de Potencia.	51
Tabla 20 Distorsión Armónica total de tensión THD.	52
Tabla 21 Armónicos individuales de tensión.	53
Tabla 22 Distorsión Armónica total de corriente TDD	55
Tabla 23 Distorsión individual de corriente.	56
Tabla 24 Flickers en el transformador 125 KVA.	57
Tabla 25 Resultados del Estudio de Calidad de Energía.	58
Tabla 26 Resultados del software ETAP 19.0.1.	60
Tabla 27 Datos del Filtro Pasivo sintonizado al tercer y quinto Armónico.	63
Tabla 28 Resultados del Factor de Potencia.	64
Tabla 29 Resultado de los armónicos.	65
Tabla 30 Presupuesto del Filtro Pasivo.	67
Tabla 31 Tablero de Distribución Principal.	75
Tabla 32 Tablero principal de servicios generales.	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1 Representación de una carga lineal.	9
Figura. 2 Carga no lineal.	10
Figura. 3 Triángulo de Potencias. Elaboración propia.	20
Figura. 4 Software ETAP 19.0.1 [24].	25
Figura. 5 Software AutoCAD 2026 [25].	26
Figura. 6 Equipo Fluke 435-II [26].	27
Figura. 7 Plataforma Draw.io [28].	28
Figura. 8 Metodología para análisis de calidad de energía.	31
Figura. 9 Centro Comercial Popular "El Salto"	32
Figura. 10 Transformador 125 KVA.	33
Figura. 11 Tablero de distribución principal.	34
Figura. 12 Diagrama Unifilar del C.C. "EL Salto". Elaboración propia.	37
Figura. 13 Analizador de redes Fluke 435 II [27].	38
Figura. 14 Conexión del analizador de redes a un sistema trifásico [27].	39
Figura. 15 Instalación del analizador de redes en el sistema eléctrico. Elaboración propia.	40
Figura. 16 Registro de datos en el analizador de red.	41
Figura. 17 Tensión Promedio fase-neutro 127V.	43
Figura. 18 Tensión Promedio fase-fase 220V.	45
Figura. 19 Nivel de tensión en el neutro del transformador.	46
Figura. 20 Nivel de corriente de fase-neutro del transformador de 125 kVA.	47
Figura. 21 Nivel de potencia activa.	48
Figura. 22 Potencia reactiva semanal	49
Figura. 23 Potencia Aparente Semanal.	50
Figura. 24 Factor de Potencia.	51
Figura. 25 Nivel de THD de tensión.	52
Figura. 26 Armónicos individuales de tensión.	53
Figura. 27 TDD de corriente semanal.	56
Figura. 28 Armónico individual de corriente.	57
Figura. 29 Análisis de Flickers.	58
Figura. 30 Resultado de la Simulación.	60

Figura. 32 Comparación de resultados del Factor de Potencia.	64
Figura. 33 Resultado con la compensación reactiva.....	65
Figura. 34 Comparación de resultados armónicos de corriente.....	66
Figura. 35 THD Total con el Filtro Pasivo.....	66

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Simulación del sistema eléctrico en ETAP del C.C. "El Salto".	73
Anexo 2 Diagrama Unifilar del Sistema Eléctrico del C.C "El Salto"	74
Anexo 3 Datos del tablero de distribución principal.	75
Anexo 4 Tabla de selección del Filtro Pasivo.	79
Anexo 5 Encuesta aplicada a comerciantes del Centro Comercial "El Salto"	80
Anexo 6 Encuesta aplicada a comerciantes de parte de los estudiantes.	82
Anexo 7 Comerciantes realizando la encuesta.	82
Anexo 8 Configuración del analizador de redes Fluke 435 II.	83
Anexo 9 Planilla de consumo y facturación del local #83.	84

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema de proyecto: Análisis de calidad de energía eléctrica en el Centro Comercial Popular “El Salto”.

Tipo de Proyecto: Proyecto de Investigación.

Carrera: Electricidad.

Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto: Estrategias de planeación de sistemas eléctricos en el contexto de la transición energética.

Equipo de Trabajo:

Tutor de Titulación:

Nombre: Ing. MSc. Franklin Hernán Vásquez Teneda

E-mail: franklin.vasquez@utc.edu.ec

Estudiante:

Nombre: Iza Iza Mario Enrique

E-mail: mario.iza5067@utc.edu.ec

Nombre: Lema Almachi Cristian Paul

E-mail: cristian.lema7182@utc.edu.ec

Área de Conocimiento:

Tabla 1. Campos de la ciencia y Tecnología UNESCO [1].

07 Ingeniería, Industria y Construcción	071 Ingeniería y Profesiones Afines	0713 Electricidad y energía
		0714 Electrónica y automatización

Línea de investigación: Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección Ambiental.

Sublíneas de investigación de la Carrera: Diseño, construcción y explotación eficiente de sistemas eléctricos con energía convencional y alternativa.

ODS: Producción y consumo responsables.

2. INTRODUCCIÓN

Analizar la calidad de la energía eléctrica en el Centro Comercial Popular “El Salto”, implica examinar el comportamiento de los parámetros eléctricos, así como identificar posibles perturbaciones que puedan afectar la estabilidad de la red. El servicio seguro del sistema eléctrico no depende solo de la continuidad del suministro eléctrico, sino también que cumplan con la veracidad de los parámetros calidad de la energía eléctrica conforme a regulaciones. Según la norma IEEE 519/14, la variedad de cargas no lineales sería una de la causa principal de presencia de distorsiones armónicas que afectan la seguridad del sistema y reducen la vida útil de los equipos instalados a la red [2]. Por ende, un análisis profundo de estos fenómenos eléctricos resulta importante para garantizar la eficiencia y seguridad del sistema eléctrico.

Estos eventos no son aislados, sino síntomas de una red saturada por perturbaciones de tensión y corriente donde el incumplimiento de los límites de distorsión armónica del estándar IEEE 519/14 y la deficiente compensación de potencia reactiva degradan aceleradamente los equipos eléctricos. Esta situación conlleva en sobrecostos operativos por mantenimiento y penalizaciones económicas por parte de la distribuidora [2]. Mitigar estas anomalías es importante para mejorar la vida útil de los equipos conectados a la red.

Esta investigación tiene como eje prioritario el llevar a cabo un diagnóstico técnico detallado sobre la calidad de la energía eléctrica en las redes de baja tensión del centro comercial para así proponer medidas técnicas de mitigación en el caso de presencia de perturbaciones. Este proyecto se divide en objetivos específicos que incluyen la evaluación de la demanda eléctrica mediante el monitoreo de parámetros eléctricos, el análisis de las fuentes de distorsión armónica y la comparación de los datos obtenidos con los límites de la normativa ARCONEL009/24 y IEEE 519/14. Busca diseñar una propuesta técnica que incluya sistemas de filtración o corrección del factor de potencia, asegurando que la instalación opere en condiciones óptimas de eficiencia y fiabilidad.

El alcance del proyecto incluye el análisis de la red eléctrica interna, abarcando desde el centro de transformación hasta los tableros de distribución secundarios de cada planta del centro comercial donde las principales limitaciones abarcan la incapacidad de controlar las perturbaciones que provienen de la red de media tensión del distribuidor y a las variaciones en el consumo eléctrico según el horario de apertura y la afluencia de clientes. La metodología utilizada es de tipo cuantitativo y descriptivo, la cual se enfoca en la recopilación de datos en tiempo real mediante analizador de redes conforme a la norma IEC 61000-4-30 [3].

2.1 Situación Problemática

El sector comercial moderno demanda una infraestructura eléctrica de alta confiabilidad debido a la sensibilidad de los equipos tecnológicos actuales. En el Centro Comercial Popular “El Salto”, la operatividad diaria depende de una red que soporte una mezcla heterogénea de cargas, donde predominan los dispositivos electrónicos, sistemas de iluminación LED y motores eléctricos. No obstante, esta configuración introduce una alta densidad de cargas no lineales, las cuales son responsables de la inyección de corrientes armónicas que distorsionan la onda fundamental de tensión.

La información obtenida previamente muestra una disminución en los índices de calidad de la energía eléctrica presenciando eventos como el sobrecalentamiento de conductores especialmente en el conductor neutro por donde circula en particular perturbaciones armónicas, así como la activación impredecible de protecciones térmicas, también se evidencia la presencia de distorsión armónica. Estas perturbaciones no solo intensifican las pérdidas energéticas por efecto Joule, sino que exponen al centro comercial a penalizaciones económicas según las regulaciones de ARCONEL, lo que deriva en sanciones por bajo factor de potencia o exceso de distorsión armónica.

La ausencia de un registro histórico de mediciones y de un diagnóstico técnico especializado impide cuantificar la magnitud real de las perturbaciones en el Centro Comercial por lo que esta falta de información técnica dificulta que cualquier intento de corrección sea empírico, lo que conlleva un alto riesgo de ineficacia y de inversiones no óptimas. Por lo tanto, se justifica plenamente la necesidad de realizar un análisis cuantitativo- descriptivo riguroso. Con este estudio permitirá, en primer lugar, identificar con precisión las fuentes de las perturbaciones y, posteriormente, diseñar soluciones de mitigación basadas en los datos recopilados, garantizando así la seguridad a los usuarios y la eficiencia energética de las instalaciones.

2.2 Formulación del Problema

Dado a la ausencia de un diagnóstico técnico detallado sobre las perturbaciones eléctricas en el Centro Comercial Popular 'El Salto', nos encontramos con la necesidad de identificar cómo estas perturbaciones están impactando el funcionamiento del centro y qué medida técnica podrían implementarse para mejorar la calidad del suministro eléctrico.

2.3 Objeto y Campo de Acción

Objeto de Investigación: Calidad de energía eléctrica.

Campo de Acción:

Tabla 2. Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO [1].

Resultado	Categoría
330000	Ciencias Tecnológicas
3306	Ingeniería y Tecnología Eléctricas
3306.99	Eficiencia de la energía eléctrica

2.4 Beneficiarios

Tabla 3. Beneficiarios del proyecto.

Beneficiarios Directos	Beneficiarios Indirectos	Total, de Beneficiarios
Administración del Centro Comercial Popular “El Salto”	Clientes y visitantes del Centro Comercial	500 (comerciantes y personal administrativo)
Comerciantes y arrendatarios del Centro Comercial	Comunidad local	
	Autoridades y entidades reguladoras	

2.5 Justificación

Este estudio se fundamenta en la necesidad técnica de identificar y reducir las perturbaciones eléctricas que afectan al Centro Comercial Popular “El Salto”, siendo esta un punto importante de actividad comercial económica del cantón Latacunga, dado que el creciente uso de cargas no lineales ha generado un entorno de incertidumbre en la red eléctrica interna, cuyos efectos reales son desconocidos al no existir un diagnóstico previo; por consiguiente, este estudio permitirá comparar el estado real de la red con los límites de distorsión armónica y perturbaciones de tensión según la norma IEEE 519/14 y las regulaciones de ARCONEL 009/24, basándose en hechos para la toma de decisiones, de modo que, una vez determinada estos problemas se procederá a aplicar medidas de ajuste que permitirán mejorar el consumo energético prolongando la duración de los dispositivos que están conectados a la red.

La relevancia de este estudio gira en torno a la reducción de riesgos eléctricos presentes en la red eléctrica con el exceso de carga en los conductores, especialmente en el neutro debido a

corrientes armónicas, implica un peligro latente de cortocircuitos e incendios en el centro comercial de alta concurrencia pública; por consiguiente, los resultados de este análisis proporcionan un ambiente seguro para los usuarios y la continuidad del servicio para los arrendatarios.

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 General

- Analizar la calidad de energía eléctrica en el Centro Comercial Popular "El Salto", con el propósito de identificar perturbaciones eléctricas y proponer soluciones a los problemas encontrados.

2.6.2 Específicos

- Revisar el estado de arte y normativas del ARCONEL 009/24 y la IEEE 519/14 sobre calidad de energía, para establecer los parámetros que permitan diagnosticar y evaluar las perturbaciones del sistema eléctrico.
- Recolectar información del sistema eléctrico a través del levantamiento de cargas, planos eléctricos y registros in-situ con el analizador de red y elaboración del diagrama unifilar, para caracterizar el estado de operación real del centro comercial.
- Simular el sistema eléctrico en el software ETAP, para validar el diagnóstico y evaluar el impacto de posibles soluciones.
- Proponer soluciones técnicas operativas viables para mitigar las perturbaciones detectadas, y mejorar la calidad de energía y eficiencia del sistema eléctrico del centro comercial.

2.7 Sistemas de Tareas

Tabla 4 Sistema de Tareas.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, medios e instrumentos
Revisar el estado de arte y normativas del ARCONEL 009/24 y la IEEE 519/14 sobre calidad de energía, para establecer los parámetros que permitan diagnosticar y evaluar las perturbaciones del sistema eléctrico.	-Búsqueda y selección de libros, artículos y documentos técnicos. -Revisión de las normas enfatizando a la calidad de energía.	Compendio teórico y legal que sustenta el análisis de perturbaciones eléctricas.	Revisión de documentos normativos IEEE 519/14 y regulación ARCONEL009/24.
Recolectar información del sistema eléctrico a través del levantamiento de cargas, planos eléctricos y registros in-situ con el analizador de red y elaboración del diagrama unifilar, para caracterizar el estado de operación real del centro comercial.	-Recolección de datos técnicos y detalles físicos de la instalación en el sitio. -Medición de parámetros eléctricos con analizador de redes.	Informe de diagnóstico con registros de voltajes, corrientes y perfiles de carga.	Uso de analizador de redes Fluke 435-II y levantamiento de inventario de cargas.
Simular el sistema eléctrico en el software ETAP, para validar el diagnóstico y evaluar el impacto de posibles soluciones.	-Tabulación y procesamiento de la información técnica recolectada. -Evaluación del nivel de distorsión para verificar el cumplimiento de las normas.	Identificación de puntos críticos y efectos en el transformador.	Uso del software ETAP y Excel.
Proponer soluciones técnicas operativas viables para mitigar las perturbaciones detectadas, y mejorar la calidad de energía y eficiencia del sistema eléctrico del centro comercial.	-Proposición de medidas correctivas para mejorar la calidad de la energía. -Evaluar costos y beneficios de las soluciones propuestas.	Validación del comportamiento de la red y visualización de distorsiones en software.	Uso del software ETAP, Excel y documentos normativos IEEE 519/14 y regulación ARCONEL009/24.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 Introducción a la Calidad de Energía

3.1.1 Concepto de calidad de energía eléctrica

Calidad de energía eléctrica se define como la distribución de electricidad bajo condiciones adecuadas de tensión, frecuencia y forma de onda, permitiendo que los equipos funcionen sin pérdida de rendimiento ni fallos. En esta situación, las empresas distribuidoras tienen la responsabilidad de supervisar y solucionar los fallos técnicos para así garantizar un servicio apropiado al usuario final, cumpliendo con las normativas vigentes [4].

Una mala calidad de energía se hace evidente diferentes tipos de perturbaciones, entre las más notables las fluctuaciones de voltaje, armónicos, transitorios y variaciones de frecuencia. Estas perturbaciones se clasifican en dos categorías principales:

- Eventos que provocan la interrupción de la carga o del circuito.
- Fenómenos que reducen la eficiencia y seguridad del sistema eléctrico sin interrumpir el suministro de forma inmediata.

Es importante enmarcar que, aunque el suministro de energía es estable, mucho de los problemas de calidad se originan al interior de las instalaciones debido a la interacción con cargas no lineales. Por lo tanto, asegurar una onda sinusoidal sin distorsiones es importante para así extender la vida útil de los equipos y reducir costos de los usuarios [5].

3.1.2 Calidad de Energía Eléctrica

La calidad de la electricidad es un concepto fundamental que abarca tanto la constancia como la eficiencia del suministro eléctrico. Esta evaluación incluye distintos parámetros, tales como la frecuencia, el voltaje y los armónicos, que influyen en el funcionamiento de los aparatos eléctricos. Un suministro de alta calidad disminuye no solo la probabilidad de errores y costos operativos, sino también prolonga la vida útil del equipo. Las interrupciones y variaciones en la calidad de la electricidad pueden ocasionar daños significativos y pérdidas financieras. Por ello, es esencial implementar sistemas de monitoreo y gestión que garanticen un suministro eléctrico seguro y efectivo, especialmente en entornos de negocios e industriales [6].

Se entiende que calidad de energía se relaciona con la entrega de electricidad a los aparatos y dispositivos eléctricos en condiciones y características apropiadas, lo que les permite operar de

manera continua sin que su rendimiento se vea afectado o sus componentes sufran fallos. Esto facilita la normalización del suministro eléctrico a través de normativas que definen las categorías, criterios fundamentales, patrones de onda, armonías y grados de distorsión armónica, junto con interrupciones [7].

3.1.3 Conceptos de calidad de la energía eléctrica

La norma UNE-EN 50160, adaptada al español desde el estándar europeo de 2000, regula que la calidad del suministro eléctrico en baja y media tensión directamente en el punto de entrega para los consumidores donde la función principal es establecer los rangos aceptables para valores críticos como la frecuencia, amplitud, simetría trifásica y forma de onda en escenarios de operación habitual. Dado que estas características no son fijas y varían según el tiempo y la ubicación, la norma define periodos de medición obligatorios y rangos de fluctuación específicos. Estableciendo un criterio de cumplimiento al reglamento referenciado en un nivel óptimo, verificando que los límites establecidos solo pueden ser excedidos en un límite máximo del 5% de las mediciones realizadas [8].

La calidad de la energía referida al concepto de suministro eléctrico y un sistema de puesta a tierra que deben garantizar el funcionamiento óptimo de máquinas y equipos electrónicos, asegurando su funcionamiento con la instalación eléctrica y otros dispositivos conectados hace referencia la norma IEEE 1100 – 2005. No obstante, esta interpretación suele considerarse restrictiva al enfocarse únicamente en la electrónica, ya que, parte práctica, cualquier componente o elemento del sistema eléctrico es susceptible a fallos ante perturbaciones en el suministro. Esto se refiere desde maquinaria, como motores, generadores, hasta dispositivos electrónicos, como computadoras, impresoras y sistemas de comunicación [9].

La normativa Estándar IEEE 519 define "Recomendaciones y requisitos para la regulación de armónicos en sistemas eléctricos de potencia" [2], el propósito es reducir tanto la distorsión armónica total como la individual de voltajes y corrientes que se generan al añadir cargas no lineales enfocándose más durante el diseño de los sistemas eléctricos, de modo que tanto el usuario como el distribuidor, se comprometan en una responsabilidad compartida para el control, que puedan medir los índices de armónicos en el mismo punto de referencia.

3.1.4 Clasificación de cargas en los sistemas eléctricos

En redes eléctricas la distorsión armónica es una consecuencia directa de la operación de cargas no lineales, lo cual afecta el funcionamiento del sistema y perjudica a los usuarios, esta afectación es capaz de involucrar incluso a aquellos con dispositivos lineales. La presencia lineal o no lineal de una carga depende estrictamente de su relación tensión-corriente, por lo que no debe generalizarse que todo equipo con semiconductores sea no lineal. Un ejemplo claro de esto se observa en los servicios que manejan tiristores conectados en paralelo con control de cruce por cero, los cuales se consideran lineales al no generar distorsión; por el contrario, los elementos resistivos que utilizan control de fase se clasifican como cargas no lineales debido a la alteración que provocan en la forma de onda [10].

3.1.5 Cargas lineales en sistemas eléctricos

Es un carga que trabaja con una corriente temporal que se relaciona directamente con el voltaje que es alimentado, lo que significa que su impedancia se mantiene estable a lo largo del ciclo de corriente alterna. Cuando se trata en una red eléctrica que opera con frecuencia de 50 o 60 Hz, implica que la intensidad es completamente sinusoidal [11].

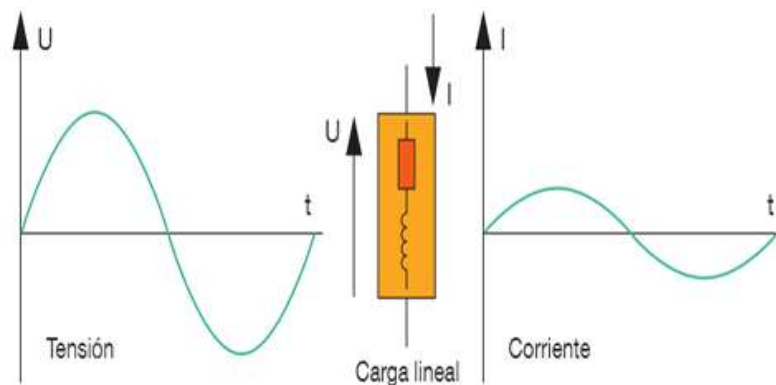


Figura. 1 Representación de una carga lineal.

3.1.6 Corrientes lineales

Los componentes pasivos como las resistencias, inductancias y capacitancias ideales son definidos respecto a su comportamiento lineal. Lo que implica que, ante una señal de voltaje senoidal, la respuesta del elemento mantiene su proporcionalidad independientemente de la amplitud aplicada. Un ejemplo común es el circuito resistivo donde la corriente se rige por la ley de Ohm, estableciendo una correlación directa y lineal entre el voltaje y el amperaje. [11].

- IR: corriente resistiva.
- IL: corriente inductiva (en atraso).
- IC: corriente capacitiva (en adelanto).

La interacción entre tensión y corriente en relación con una carga lineal suele ser directa y lineal donde estas cargas no muestran problemas de distorsión de onda debido a su comportamiento lineal [11].

3.1.7 Cargas no lineales

La presencia de distorsión armónica en sistemas eléctricos se transformó en un inconveniente que persiste hoy en día debido al crecimiento de cargas no lineales. Ante el incremento de este tipo de cargas no lineal, sobre todo en equipos semiconductores y maquinaria electrónica, la distorsión armónica en tensión y corriente ha ido en aumento, lo que puede provocar diversos efectos negativos que impactan el funcionamiento regular y la calidad del servicio de los sistemas eléctricos. Algunos de estos efectos son [12]:

- Perturbaciones de tensión.
- Altos niveles de tensión presentes de neutro a tierra.
- Calentamientos del transformador.

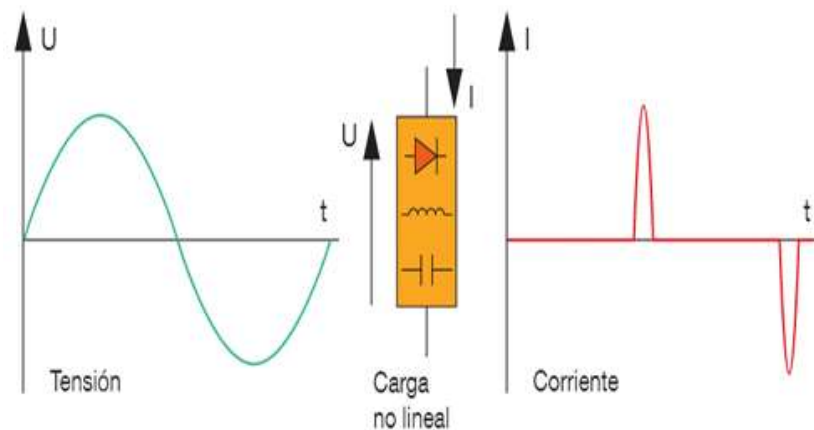


Figura. 2 Carga no lineal.

3.2 Normas enfocadas a la calidad de energía eléctrica

3.2.1 Normas Nacional e Internacional

La definición de estos estándares es realizada en gran medida por entidades como es el “Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos IEEE”, es una normativa Internacional, la “Agencia de Regulación y Control de Electricidad” ARCONEL normativa nacional.

3.2.2 Norma IEEE 519

En el análisis de las cargas no lineales y su impacto en la distorsión armónica se fundamenta en los criterios de la norma IEEE 519, la cual menciona el regular la magnitud de las corrientes armónicas en el punto de acoplamiento común (PCC). Con esta normativa, se define el alcance de responsabilidad compartida: donde el consumidor limita la inyección de corrientes armónicas la red, la empresa encargada de distribuir el servicio deber de mantener la calidad de energía dentro de los límites operativos permitidos. Ante la presencia de cualquier fluctuación en los niveles de distorsión, en este caso ambas partes están comprometidas a trabajar para mitigar las fallas y preservar la estabilidad del sistema eléctrico [13].

3.2.3 Regulación ARCONEL-009/24

La Regulación ARCONEL-009/24, conforma el marco normativo actual que se basa en los parámetros métricos y en los límites técnicos permitidos para el suministro eléctrico. Esta regulación tiene como propósito central estandarizar los requerimientos de medición, monitoreo y análisis técnico especificando las obligaciones que deben acatar tanto las empresas distribuidoras en cuanto a la calidad del producto y servicio técnico como los usuarios finales, quienes deben asegurar que sus instalaciones no degraden la calidad de la red [14].

3.2.3.1 Parámetros de calidad de energía

-Calidad de energía.

- a) a) Grado de voltaje.
- b) b) Fluctuaciones de voltaje (Parpadeo).
- c) c) Distorsión armónica de voltaje y corriente.
- d) d) Inbalance de voltaje.

3.3 Problemas de sobrevoltajes

Los problemas de sobrevoltajes se refieren a los incrementos abruptos de tensión los cuales alcanzan en un rango de tiempo, suelen tener duraciones de los microsegundos. Estas perturbaciones son causadas fundamentalmente por descargas atmosféricas (rayos), aunque también se originan por conmutaciones internas en la red, cambios repentinos en la carga o fallas en las líneas de transmisión. El problema de este fenómeno es crítico, ya que puede derivar en la destrucción inmediata o el daño severo de los equipos, fallas en la operación del sistema, deterioro prematuro de los dispositivos e interrupciones en el suministro eléctrico para los consumidores [15].

3.4 Importancia de la calidad de energía

Un punto importante de calidad de la energía eléctrica presenta varios desafíos significativos que pueden influir de manera adversa en el funcionamiento de sistemas eléctricos y electrónicos, uno de los problemas más críticos son los armónicos, ya que distorsionan la forma de onda de la corriente, pudiendo ocasionar un rendimiento ineficiente en dispositivos sensibles, lo que se traduce en pérdidas de eficacia y costos adicionales. Además, las fluctuaciones en el voltaje, que pueden resultar en apagones o daños en los equipos, son otro inconveniente común. Tales situaciones afectan negativamente tanto la continuidad del servicio como la productividad [16].

Se puede afirmar que se presenta un inconveniente cuando hay algún tipo de alteración en la tensión, la corriente y la frecuencia que ocasiona un funcionamiento inadecuado de los equipos eléctricos de consumo. Esto deteriora gradualmente la economía o el bienestar de los usuarios, o también se manifiesta cuando hay una interrupción en el suministro de energía eléctrica.

El suministro eléctrico deficiente genera afectaciones críticas, tales como:

- Pérdidas económicas y una menor competitividad comercial dentro de la cadena de producción.
- Aumento del costo, desconfianza de la confiabilidad.

3.5 Características de Calidad de Energía

La calidad de la energía se caracteriza principalmente en la continuidad del suministro garantizando disponibilidad permanente durante todo el día, todos los días del año, así como en la regularidad de la frecuencia y la claridad de la onda de voltaje y corriente. Estas cualidades

se encuentran regulados a través de índices métricos establecidos en la normativa nacional, como la Resolución ARCONEL-009/24. Tales lineamientos definen los rangos de margen de error, asegurando que las perturbaciones eléctricas no perjudiquen la operatividad de los sistemas [17].

- Límites de Tensión.
- Desequilibrio de Tensión.
- Distorsión Armónica (THD).
- Campañas de Medición.
- Cumplimiento (95%).
- Medición y Equipos.

3.6 Regulación del Nivel de Tensión

El nivel de tensión se define como la magnitud del potencial eléctrico presente en un sistema de suministro. Este parámetro resulta importante, donde de su estabilidad depende la eficiencia energética y la seguridad de los dispositivos conectados a la red. Un nivel de tensión apropiado se establece mediante regulaciones como la ARCONEL-009/24 que determinan los límites permisibles, garantizando así un funcionamiento eficiente y seguro.

3.7 Niveles de tensión

Baja tensión

Por lo general, se refiere a tensiones de menos de 0,6 kV, que se usan en casas y pequeños establecimientos comerciales.

Media tensión

Entiende tensiones que oscilan entre 0,6 kV y 40 kV, empleadas en redes de distribución e industrias específicas.

Alta tensión Grupo 1

Hace referencia a tensiones que superan los 40 kV y menores a los 138 KV, empleadas sobre todo para transmitir energía a grandes distancias.

Alta tensión Grupo 2

Comprende a los sistemas cuya tensión de operación es estrictamente superior a 138 kV [14].

Una oscilación en el nivel de tensión puede dar lugar a inconvenientes, como la reducción de la eficiencia, el recalentamiento de los equipos e incluso problemas permanentes. Por ese motivo, es esencial establecer sistemas de control y regulación que mantengan la tensión dentro de los niveles ideales, asegurando de esta manera un funcionamiento seguro y eficaz. Esto es particularmente relevante en los entornos residenciales, comerciales e industriales, donde la variabilidad puede tener un impacto considerable en la seguridad y la productividad.

3.8 Calidad de Producto

3.8.1 Nivel de Tensión

La evaluación de la calidad del producto, específicamente en lo que respecta al nivel de tensión, se calculará a través de la ecuación (1).

$$\Delta V_k = \frac{V_k - VN}{VN} * 100[\%] \quad (1)$$

Donde:

ΔV_k : Variación de tensión respecto a la tensión nominal en el punto K.

V_k : Tensión en el punto k.

VN : Tensión nominal en el punto k.

3.8.2 Límites del nivel de tensión

Tabla 5. Límites de índice de nivel de tensión [14].

Límite de nivel de Tensión	Rango
Alta Tensión (Grupo 1 y Grupo 2)	± 5%
Media Tensión	± 6%
Baja Tensión	± 8%

3.8.3 Cumplimiento del índice de nivel de tensión en el punto

Para verificar el cumplimiento del nivel de tensión, el 95% de los datos registrados en un periodo semanal de 7 días debe permanecer dentro del rango admisible, aplicando esta condición de forma estricta a todas las fases del sistema [14].

3.9 Armónicos de tensión y corriente

3.9.1 Definición de Armónicos

Los armónicos se definen como componentes sinusoidales de tensión o corriente cuyas frecuencias corresponden a múltiplos enteros de la frecuencia del sistema. De acuerdo con el análisis de Fourier, cualquier onda distorsionada puede descomponerse en la suma de su señal básica y estas componentes armónicas, las cuales surgen principalmente por la característica no lineal de las cargas y equipos conectados a la red [17].

3.9.2 Conceptos Generales

En la actualidad, las redes eléctricas integran múltiples componentes denominados cargas no lineales, los cuales transforman la señal senoidal pura de la frecuencia fundamental en ondas de diversas frecuencias. Este proceso da origen al fenómeno de la generación de armónicos, una perturbación que afecta la integridad técnica de la infraestructura [18]. Los armónicos representan una problemática compartida que impacta tanto a los consumidores finales como a las empresas eléctricas, derivando en múltiples efectos perjudiciales sobre el funcionamiento y la vida útil de los equipos conectados a la red.

3.9.3 Indicadores esenciales de la distorsión armónica

El análisis de la deformación en las señales de tensión y corriente se logran a través de indicadores técnicos especializados. Estos parámetros permiten evaluar con precisión el nivel de distorsión armónica presente en el sistema. Dichos índices son:

- Factor de potencia.
- Potencia de distorsión.
- Frecuencia.
- Distorsión armónica.

El uso de estos parámetros resulta fundamental para definir y ejecutar las medidas técnicas necesarias que permitan corregir las anomalías detectadas en el sistema [19].

3.9.4 Impacto de los armónicos en el sistema eléctrico

La generación de tensiones con formas de onda no sinusoidales es una consecuencia significativa en diversos puntos de la red eléctrica, originadas por la circulación de bucles de corriente distorsionados a través de las líneas. Este flujo de corriente causa caídas de tensión que impiden que los puntos de conexión del sistema mantengan una señal senoidal pura; por lo tanto, a medida que aumenta la intensidad de las corrientes armónicas en los alimentadores, se intensifica la deformación de la tensión en los puntos de conexión, agravando los fallos operativos [19]. La aparición constante de estas perturbaciones sobre los equipos eléctricos depende directamente de su diseño técnico, además de factores como la magnitud, la frecuencia y el ángulo de fase de los armónicos presentes.

Los transformadores experimentan un aumento en las pérdidas de energía y aparición del efecto Joule que reducen prematuramente su tiempo de funcionamiento. Por su parte, los fusibles manifiestan un calentamiento anómalo incluso bajo condiciones de carga habituales. En cuanto a los conductores eléctricos, estos sufren el deterioro de su aislamiento y la aparición del efecto corona, mientras que los balastos de las lámparas fluorescentes tienden a sobrecalentarse [18].

3.9.5 Equipos que generan armónicos en la red

Los dispositivos electrónicos de potencia, tales como variadores de frecuencia, sistemas UPS y rectificadores de corriente continua, operan mediante puentes rectificadores trifásicos. Estas configuraciones generan distorsión en frecuencias específicas siguiendo el patrón matemático de $6n \pm 1$, lo que resulta en la presencia de armónicos en cada múltiplo de seis. Desde una perspectiva teórica, la magnitud de estas perturbaciones decrece de forma inversa a su número de orden; bajo este principio, el quinto armónico presentaría una amplitud del 20%, mientras que el undécimo se reduciría al 9%, manteniendo esta tendencia descendente en órdenes superiores [20].

3.10 La frecuencia

La frecuencia de una componente armónica se determina mediante el producto de su orden por la frecuencia fundamental del sistema (60Hz).

Por ejemplo:

$$3^{ra} \text{ Armonica} = 3 * 60 = 180Hz$$

El tercer armónico opera a 180Hz. Mientras que los armónicos impares están presentes en redes industriales y de construcción, las componentes de orden par surgen únicamente bajo condiciones de asimetría en la señal eléctrica [21].

3.11 Perturbación Rápida de Tensión (Flicker)

Para medir la severidad de las variaciones de tensión a corto plazo, se empleará el parámetro Pst conforme a la normativa IEC 61000-4-15, utilizando periodos de integración de 10 minutos para determinar el impacto del flicker en el sistema:

$$Pst = \sqrt{0.031P_{0.1} + 0.052P_1 + 0.065P_3 + 0.280P_{10} + 0.080P_{50}} \quad (2)$$

En donde:

Pst : Severidad de flicker a corto plazo.

$P_{0.1}, P_1, P_3, P_{10}, P_{50}$: Niveles de "flicker" que se sobrepasan durante el 0.1 %, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total [21].

3.11.1 Límite

El límite admisible para las variaciones de tensión por flicker de corto plazo es 1. Superar este valor en el punto de monitoreo indicaría niveles de parpadeo visualmente perceptibles y fuera de norma.

3.12 Distorsión Armónica de Tensión

Para el análisis de la calidad de energía eléctrico incluirá la magnitud de los armónicos individuales de tensión junto con el índice de distorsión total THD_k , los cuales serán calculados mediante las siguientes ecuaciones:

$$V_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (V_{h,i})^2} \quad (3)$$

$$DV_{h,k} = \frac{V_{h,k}}{V_{h,1}} * 100[\%] \quad (4)$$

$$THD_k = \left[\frac{1}{V_{h,1}} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (V_{h,i})^2} \right] * 100[\%] \quad (5)$$

Donde:

$V_{h,k}$: Se trata del valor del armónico de tensión (h) medido en un periodo (k) de 10 minutos.

$V_{h,i}$: Valores RMS de las armónicas de tensión desde el orden 2 hasta el 50 (h), obtenidos mediante 200 lecturas individuales (i) realizadas cada 3 segundos.

$DV_{h,k}$: Coeficiente de distorsión armónica individual de voltaje (h) para los órdenes 2 al 50, calculado en el periodo de observación (k) de diez minutos.

THD_k : Índice de distorsión armónica global de voltaje.

$V_{h,1}$: La magnitud cuadrática media (V_{rms}) de la frecuencia fundamental de voltaje en el nodo de registro.

Se presentan los límites máximos del factor de distorsión armónica individual de tensión y del factor de distorsión armónica total de tensión en la Tabla 6:

Tabla 6. Límites máximos de armónicos de tensión (%) [22].

Niveles de tensión	Factor de Distorsión Armónico Individual en (%)	THD (%)
Baja Tensión	5	8
Media Tensión	3	5
Alta Tensión (Grupo 1)	1.5	2.5
Alta Tensión (Grupo 2)	1	1.5

Se considera que la empresa distribuidora opera dentro de los estándares de calidad si el 95% de las mediciones de desequilibrio de tensión, recolectadas durante una semana completa de medición, no superan el límite técnico establecido.

3.13 Distorsión armónica de la corriente

Deformación de la onda de corriente es la señal senoidal de corriente producida por la presencia de cargas no lineales en una instalación. Estas cargas no consumen una corriente proporcional a la tensión aplicada, sino que lo hacen de forma intermitente o a través de pulsos [22].

$$I_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (V_{h,i})^2} \quad (6)$$

$$DI_{h,k} = \frac{I_{h,k}}{I_{h,1}} * 100[\%] \quad (7)$$

$$TDD_k = \left[\frac{1}{I_{h,1}} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (I_{h,k})^2} \right] * 100[\%] \quad (8)$$

Donde.

$I_{h,k}$: Componente armónico de intensidad de orden (h) registrado durante el segmento temporal (k) de diez minutos.

$I_{h,i}$: Magnitud cuadrática media (Irms) de los componentes armónicos de intensidad (h) del segundo al quincuagésimo orden, con un registro de 200 muestras (i) tomadas en intervalos de tres segundos.

$DI_{h,k}$: Coeficiente de distorsión armónica individual de intensidad (h) para los órdenes del 2 al 50, evaluado en el bloque temporal (k) de diez minutos.

TDD_k : Distorsión armónica total referida a la demanda máxima.

$I_{h,1}$: Magnitud cuadrática media (Irms) de la frecuencia fundamental de intensidad a 60 Hz.

3.13.1 Límites

En la tabla 7, se presentan los umbrales definidos para los armónicos individual de corriente y la distorsión total de la demanda.

Tabla 7 Niveles máximos de deformación de la onda de corriente [22].

Nivel máximo de armónicos impares (% de la corriente máxima de demanda)						
I_{CC}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	TDD
< 20	4	2	1,5	0,6	0,3	5

20 < 50	7	3,5	2,5	1	0,5	8
50 < 100	10	4,5	4	1,5	0,7	12

De acuerdo a la normativa, los márgenes permitidos para los componentes armónicos de orden par se restringen al 25% de los valores establecidos en la Tabla 7 de componentes impares. Estas limitaciones de distorsión de corriente son aplicables, donde I_{CC} representa la corriente máxima de cortocircuito en el Punto de Acoplamiento Común (PCC) e I_L define la corriente máxima de demanda a la frecuencia fundamental de 60 Hz.

3.14 Potencia Eléctrica

3.14.1 Potencia

Se define como potencia a la proporción de energía generada o consumida por un sistema eléctrico en un intervalo temporal específico. Dentro de cualquier circuito, la operación de los dispositivos e infraestructura depende de la interacción de los siguientes tipos de potencia [23].

- Potencia Aparente
- Potencia Activa
- Potencia Reactiva

3.14.2 Triángulo de potencias

El ángulo que se genera en el triángulo de potencias por P, S y Q representa el desfase entre la corriente y la tensión, siendo el mismo ángulo de la impedancia; así, el " $\cos \varphi$ " está directamente relacionado con el desfase, como se ilustra en la Figura 3.

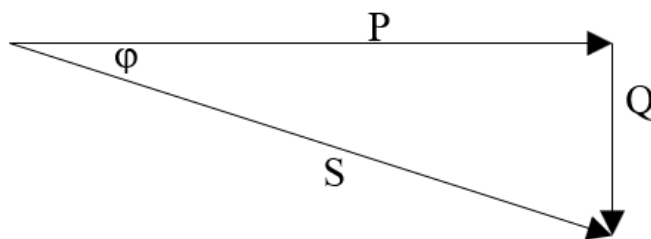


Figura. 3 Triángulo de Potencias. Elaboración propia.

Donde:

P (W) = Potencia activa.

Q (VAr) = Potencia reactiva, no produce trabajo, pero existe una penalización por ella.

S (VA) = Potencia aparente, total de energía necesaria para suministrar la carga

En la Figura 3 se obtiene la ecuación (9):

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (9)$$

En mucho de los sistemas eléctricos, el factor de potencia muestra el desfase entre la tensión y la corriente. Se menciona que el fp es en atraso (inductivo) cuando la corriente sigue a la tensión, y en adelanto (capacitivo) cuando la corriente se adelanta a la tensión. El signo del ángulo (φ) de desfase será positivo para cargas inductivas y negativo para capacitivas [23].

3.15 El Angulo (φ)

El ángulo (φ) representa el desfase entre las ondas de tensión y corriente. Dependiendo condición de la carga, el factor de potencia (FP = $\cos(\varphi)$), determinará la eficiencia con la que se aprovecha la energía, clasificándose generalmente en inductivo, capacitivo o unitario.

- Igual a 1 representa una (carga resistiva)
- Retrasado representa una (carga inductiva)
- Adelantado representa una (carga capacitiva)

3.15.1 Potencia activa

Denominada como potencia real o efectiva, se identifica (P) y se mide en vatio (W). Este tipo de potencia resalta por ser la única capaz en convertirse directamente en trabajo útil, ya sea en forma de energía mecánica o calor [23].

La fórmula utilizada para calcular la potencia activa en sistemas trifásicos de muestra en la ecuación (10):

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos(\varphi) \quad (10)$$

En donde:

P: Es la potencia activa (W).

U: Es la tensión de la red (V).

I: Es la corrientes de fase (A).

φ : Ángulo de desfase entre la tensión y corriente.

3.15.2 Potencia reactiva

Denominada potencia magnetizante y representada por la letra Q, su unidad de medida es el voltamperio reactivo (VAr). Aunque es indispensable para crear los campos magnéticos en motores, transformadores y bobinas, no genera trabajo útil (calor o movimiento) y, por el contrario, provoca pérdidas de energía durante su transporte por la red eléctrica [23].

La fórmula utilizada para calcular la potencia reactiva en sistemas trifásicos de muestra en la ecuación 11:

$$Q = \sqrt{3} * U * I * \text{sen}(\varphi) \quad (11)$$

En donde:

Q: Es la potencia reactiva (VAR).

U: Es la tensión de la red (V).

I: Es la corrientes de fase (A).

Sen φ : Es el valor del seno del ángulo.

3.15.3 Potencia aparente

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (8)$$

$$S = U * I \quad (9)$$

$$S = \sqrt{3} * U * I \quad (10)$$

Donde:

S: Potencia total (VA)

U: Fasor de tensión de la red (V)

I: Fasor de corriente de fase (A)

3.16 Factor de potencia

El factor de potencia es la relación que hay entre la potencia activa y la potencia aparente. La potencia activa nunca superará la potencia aparente, lo que indica que cuando son iguales, el FP es 1. Esto significa que las cargas son resistivas o que hay capacitancias e inductancias equilibrando el FP entre sí.

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (11)$$

El factor de potencia en el área eléctrica, es comúnmente confundido con el Coseno phi ($\cos \varphi$), cuya definición es:

$$\cos \varphi = \frac{P1}{S1} \quad (12)$$

P1 = Es la potencia activa fundamental.

S1 = Es la potencia aparente fundamental.

Donde, el “ $\cos \varphi$ ” se enfoca en la frecuencia fundamental [19].

3.16.1 Corrección del factor de potencia en la red

En los entornos residenciales, comerciales e industriales, la presencia de dispositivos inductivos como motores y bobinas genera una demanda de energía reactiva. Por esta razón, el comportamiento eléctrico no solo depende de la potencia activa (kW) que realiza el trabajo, sino también de la potencia reactiva (kVAr) necesaria para el funcionamiento de dichos equipos.

Aunque la potencia reactiva no genera trabajo útil de forma directa, es indispensable para crear los flujos electromagnéticos que pone en funcionamiento a elementos como motores, transformadores y sistemas de refrigeración. En instalaciones con una alta carga de estos equipos, la demanda de reactiva aumenta proporcionalmente, lo que deriva en una reducción crítica del factor de potencia [23].

Para mitigar las pérdidas y mejorar el factor de potencia, resulta práctico instalar condensadores eléctricos o aprovechar motores síncronos ya existentes en el sistema eléctrico. Uno de los

objetivos importantes es la de compensar la potencia reactiva corrigiendo el factor de potencia; para ello, se recurre a bancos de capacitores como la solución más accesible, buscando siempre un equilibrio entre la solución y la inversión económica.

Para corregir el factor de potencia existen algunas estrategias como son:

- Procurar reducir la operación de motores con poca carga o se encuentren en vacío.
- Tratar de evitar operar los equipos por debajo de su tensión nominal.
- Sustituir los motores obsoletos conforme con motores eficientes en energía.

Para garantizar un alto factor de potencia, los motores deben operar siempre cerca de su capacidad nominal y evitar el sobredimensionamiento.

3.16.2 Consecuencias del bajo factor de potencia

En cualquier sistema eléctrico, un incremento en la energía reactiva es capaz de provocar una disminución del factor de potencia. Dado que la potencia activa se mantiene fija, y el sistema se obliga a elevar la intensidad de corriente para así cubrir la demanda total del sistema eléctrico. Este aumento de corriente incrementa las pérdidas energéticas por el efecto Joule, donde I es la corriente total y R es la resistencia eléctrica de todos los equipos [23]. Dichas pérdidas se presentan principalmente como disipación de calor en conductores, bobinados y transformadores.

Estas pérdidas por efecto Joule se percibe en:

- Efecto Joule de los conductores.
- Incremento de temperatura de embobinados de los trafos de distribución.
- Accionamiento sin motivo de los dispositivos de protección.

El sobrecalentamiento destruye irreversiblemente el aislamiento eléctrico, reduciendo la resistencia de los equipos y aumentando la probabilidad de que ocurran cortocircuitos.

3.16.3 Formas de instalación y localización del banco de condensadores

Es posible ubicar los bancos de condensadores en distintos niveles del sistema eléctrico. Según el punto de conexión elegido, la compensación se puede clasificar en las siguientes modalidades.

- Instalación Individual

- Instalación en grupo o por sectores
- Instalación global

Idealmente, se debería neutralizar el bajo factor de potencia justo donde se genera reactivos para así evitar que circule por toda la red [23]. Aunque, en la práctica, la ubicación de los equipos de compensación es definidas a través de un análisis que promedia los beneficios de la red y a los criterios económicos.

3.17 ETAP

ETAP 19.0.1 es una plataforma de análisis eléctrico que permite estudiar y optimizar sistemas de potencia en diferentes sectores industriales. Además de sus funciones tradicionales como flujo de carga, cortocircuito, coordinación de protecciones y estabilidad transitoria, esta versión incorpora herramientas específicas para el análisis de calidad de energía, lo que resulta fundamental en instalaciones modernas. Estas funciones pueden ser evaluadas como armónicos, fluctuaciones de voltaje, factor de potencia y distorsión total, garantizando que la red cumpla con las normativas internacionales (IEEE 519, IEC 61000). La utilización de ETAP 19.0.1 en proyectos eléctricos incluye la instalación del software, la configuración de parámetros del sistema eléctrico, la simulación en el punto operativo y la validación de resultados, permite identificar problemas de calidad de energía y aplicar soluciones como filtros pasivos, compensación de reactivos o ajustes en la configuración de protecciones [24].



Figura. 4 Software ETAP 19.0.1 [24].

3.18 AUTOCAD 2026

AutoCAD 2026 es la versión más reciente del software de diseño asistido por computadora desarrollado por Autodesk como se observa en la Figura 5 su portada, lanzada en 2025, utilizada

para crear planos 2D y modelos 3D en arquitectura, ingeniería y diseño industrial donde con esta edición resulta especialmente útil en el área eléctrica, ya que permite la realización de diagramas unifilares de sistemas de potencia, facilitando la representación gráfica de redes eléctricas y la documentación técnica de proyectos. Su implementación consiste en instalar el software, configurar licencias y parámetros iniciales, modelar y documentar proyectos técnicos, automatizar tareas repetitivas mediante AutoLISP y validar resultados exportando planos en formatos estándar como DWG o PDF [25].



Figura. 5 Software AutoCAD 2026 [25].

3.19 FLUKE 435-II

El Fluke 435-II es un analizador trifásico de calidad de energía Clase A, diseñado para medir, registrar y diagnosticar problemas eléctricos en sistemas industriales y comerciales. Este equipo permite realizar estudios avanzados de calidad de energía, detectar armónicos, flicker, transitorios y pérdidas de energía como se observa en la Figura 6 el equipo. Entre sus funciones más destacadas se encuentran la calculadora de pérdida de energía, que cuantifica el impacto de la energía desperdiciada, y la medición de potencia eléctrica unificada (UPM), que facilita el análisis integral de la red. Su implementación en campo consiste en conectar el analizador a la instalación eléctrica mediante sondas flexibles de corriente (i430flex-TF), configurar parámetros de medición, registrar datos en tiempo real y generar reportes técnicos para mantenimiento predictivo, cumplimiento normativo y optimización de la eficiencia energética [26].



Figura. 6 Equipo Fluke 435-II [26].

3.19.1 Características del Analizador de Redes FLUKE 435-II

- Análisis especializado de calidad de energía eléctrica.
- Estimación integrada de pérdidas de energía.
- Certificación con los más altos estándares de seguridad operativa.
- Almacenamiento de variables eléctricas y parámetros configurados por hasta 45 días.
- Monitoreo de picos de demanda según intervalos de potencia según las necesidades del cliente.
- Validación del consumo de energía para auditar la funcionalidad de los cambios realizados.
- Registro de variaciones de tensión derivadas del arranque o parada de grandes equipos.
- Ajuste sencillo mediante diagramas vectoriales de tensión e corriente.
- Lectura de las 3 fases y neutro.
- Creación de reportes y análisis visual con el programa PowerLog 430-II [27].

3.20 DRAW.IO

Draw.io, conocido como diagrams.net, es una plataforma gratuita y versátil que permite crear diagramas de manera sencilla y profesional, sin la necesidad de instalar programas complejos. Su utilidad nace en que ofrece una amplia variedad de plantillas y figuras prediseñadas para elaborar diagramas de flujo, organigramas, mapas conceptuales, planos de redes, modelos UML y muchos otros tipos de representaciones gráficas, convirtiéndose en una herramienta importante para estudiantes como para profesionales en áreas como la ingeniería, la informática, la administración o la educación como se observa en la Figura 7 su portada. Además, se integra fácilmente con servicios en la nube como Google Drive, OneDrive y Dropbox, lo que facilita

guardar, compartir y colaborar en tiempo real con otras personas, asegurando que los proyectos se mantengan organizados y accesibles desde cualquier lugar [28].



Figura. 7 Plataforma Draw.io [28].

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1 Metodología de Investigación

4.1.1 Método analítico – diagnóstico

La metodología de investigación se fundamentó en un enfoque cuantitativo y descriptivo, orientado a la recopilación de datos en tiempo real mediante un analizador de redes Fluke 435-II, conforme a la norma IEC 61000-4-30, con el fin de caracterizar los parámetros eléctricos del centro comercial. Al mismo tiempo se realiza un estudio bibliográfico de las normativas ARCONEL 009/24, IEEE 519/14 y documentos técnicos, permitiendo así comprender causas y efectos de las perturbaciones en la red, con este enfoque nos permitió descomponer la problemática en partes analizables, identificar la raíz de los incumplimientos como bajo factor de potencia y armónicos, con esto orientar las soluciones hacia medidas técnicas viables y fundamentadas.

4.1.2 Método inductivo – deductivo

Se implementó este método para realizar un análisis de calidad eléctrica en el Centro Comercial Popular "El Salto", con la finalidad de detectar y entender los inconvenientes presentes. Este enfoque integra la recolección de información tanto para cargas lineales como no lineales, esquemas unifilares y la obtención de datos mediante el analizador de redes Fluke 435-II.

4.1.3 Método Estadístico – encuesta

Se aplicó una encuesta digital a 380 comerciantes del Centro Comercial Popular "El Salto" con el objetivo de identificar los equipos tecnológicos instalados en cada local, tales como computadoras, sistemas de cobro, iluminación LED y vitrinas refrigeradas. Esta información permitió clasificar las cargas en lineales y no lineales, complementando el levantamiento técnico visual y obteniendo datos reales para calcular con precisión la potencia instalada.

4.1.4 Investigación de campo

Las visitas técnicas desarrolladas en el Centro Comercial Popular 'El Salto', ubicado en el cantón Latacunga, fueron parte esencial y crucial para el cumplimiento de los objetivos planteados en esta investigación. A través de estas visitas técnicas, se realizó la identificación

y registro detallado de las cargas lineales y no lineales distribuidas en las distintas plantas del centro comercial. Incluso se inspeccionó la configuración eléctrica a la cámara de transformación operada por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, hasta el tablero de distribución principal y sus diferentes tableros secundarios que abastecen los cuatro niveles del edificio.

En estas inspecciones se registraron y caracterizaron todos aquellos equipos que se encuentran conectados a la red, tales como sistemas de iluminación fluorescente y LED, tomacorrientes, bombas de agua, ascensor, montacargas y escaleras eléctricas permitiendo con esta información a la elaboración del diagrama unifilar correspondiente al centro comercial como se observa en la Figura 12.

4.2 Procedimiento

4.2.1 Diagrama de flujo

En la Figura 8 se muestra el método utilizado para analizar y evaluar las instalaciones eléctricas del C.C. El Salto. Este procedimiento incluye desde la inspección del sistema eléctrico hasta la detección y propuestas correctivas de los problemas encontrados basándonos en las la norma ARCONEL 009/24 y la IEEE 519/14, y con la ayuda del analizador de redes Fluke 435-II para recopilar datos de la red.

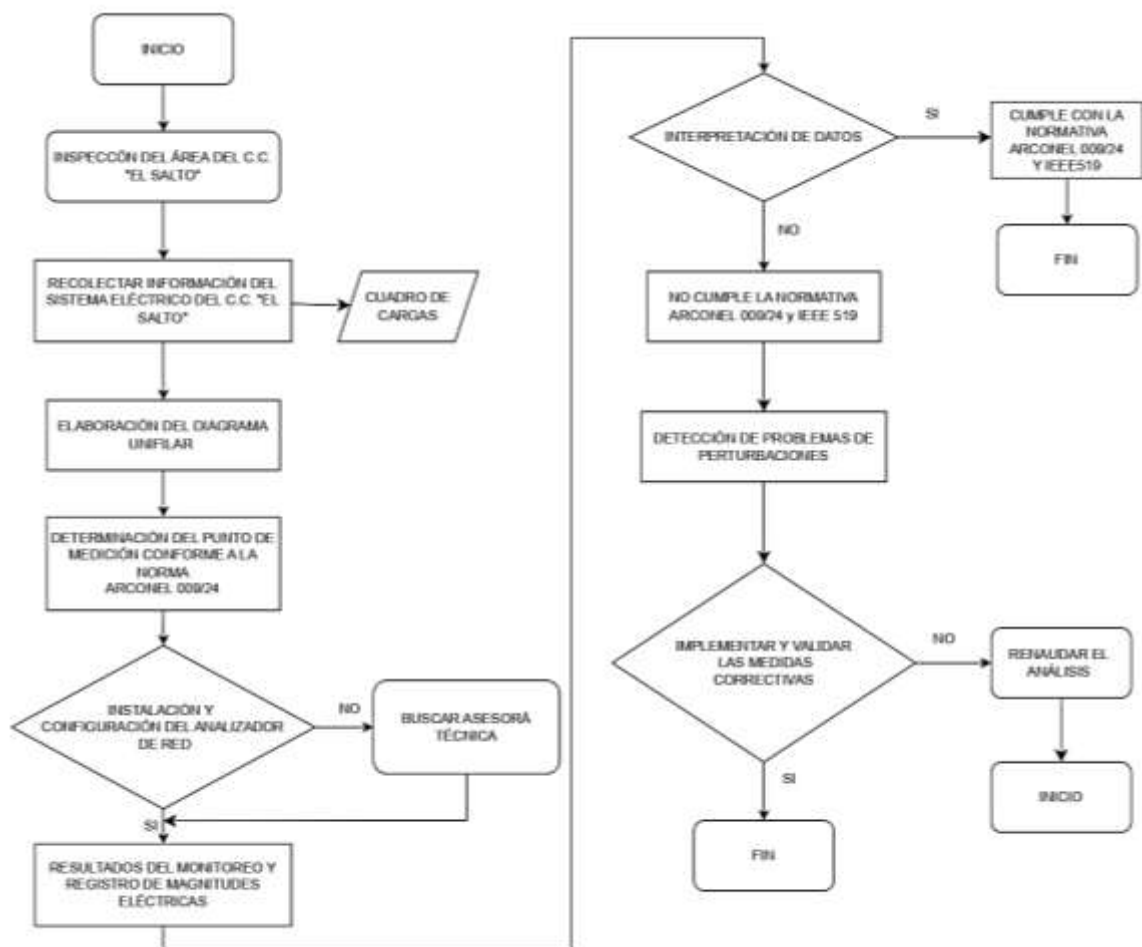


Figura. 8 Metodología para análisis de calidad de energía.

4.3 Inspección del área del Centro Comercial Popular “El Salto”

En el Centro Comercial Popular "El Salto" situado en el cantón Latacunga Provincia de Cotopaxi, constituye un referente del comercio mayorista y minorista en donde su infraestructura se distribuye en cinco niveles funcionales como se observa en la Figura 9, cada uno con características de cargas eléctricas particulares que inciden directamente en el comportamiento del sistema eléctrico:

Planta baja

Destinada a la venta de moda formal y vestimenta laboral. Esta área concentra una alta densidad de luminarias fluorescentes y tomacorrientes para equipos de planchado y exhibición, lo que representa una carga monofásica significativa durante el horario comercial.

Segunda planta

Especializada en ropa casual y deportiva, predominan las cargas de iluminación LED y tomacorrientes para sistemas de sonido y visualización, contribuyendo a la generación de armónicos de corriente.

Tercera planta

Dedicada a calzado y accesorios, en este nivel se identificó una mayor concentración de equipos electrónicos para cobro con tarjeta, sistemas de iluminación LED y vitrinas refrigeradas para ciertos productos.

Cuarta planta

Orientada a ropa infantil, lencería y trajes tradicionales, se observa presencia de luminarias fluorescentes y tomacorrientes para pequeños electrodomésticos utilizados en la comodidad de los locales comerciales.

Subsuelo

Destinado exclusivamente a estacionamiento, este nivel alberga elementos como las bombas de agua y iluminación de servicio continuo al ser un área oscura, en este nivel es en donde se encuentran la cámara de transformación y el Tablero de distribución principal.



Figura. 9 Centro Comercial Popular "El Salto"

4.4 Recolectar información del Sistema Eléctrico

El sistema eléctrico del Centro Comercial Popular "El Salto" se basa principalmente en una conexión eléctrica trifásica de 13800V que proviene de la red subterránea de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A). Esta red energiza un transformador de

125 kVA tipo PADMOUNTED Figura 10, el cual a su vez proporciona energía a diferentes tableros de distribución del centro comercial, entregando una tensión nominal de 127V / 220V. Las especificaciones de dicho transformador se muestran en la Tabla 8.



Figura. 10 Transformador 125 KVA.

Tabla 8. Características del transformador del C. C. Popular "El Salto".

Parámetro	Información
Marca	ECUATRAN
Potencia (KVA)	125
Tensión Primario (KV)	13,8
Tensión Secundario (V)	127 / 220
Tipo Conexión	Dyn1
Impedancia (%)	3%
Frecuencia (Hz)	60

El transformador del centro comercial de 125 kVA está conectado directamente al panel principal con una tensión de 127V / 220V, utilizando tres cables de cobre de calibre 2/0 AWG para las fases y un cable de cobre de calibre 6 AWG para el neutro, y se conecta a una protección de 400 A, como se observa en la Figura 11.

Este transformador alimenta al centro comercial, suministrando energía a los diferentes circuitos como luminarias fluorescentes, apliques de pared, luces para uso interior, decorativas para exteriores, tomacorrientes dobles, bombas de agua, un ascensor, un montacargas y escaleras eléctricas.



Figura. 11 Tablero de distribución principal.

4.4.1 Encuesta Aplicada a los Arrendatarios

Un punto importante que se ejecutó es una encuesta dirigida especialmente a los comerciantes y administración del Centro Comercial Popular "El Salto" con el objetivo de obtener información detallada sobre los equipos eléctricos instalados en cada local comercial, tales como tipo de iluminación, cantidad de tomacorrientes, equipos electrónicos, vitrinas refrigeradas y otros dispositivos de consumo. Con esta herramienta nos permitió complementar el levantamiento técnico visual, identificando cargas no lineales (como iluminación LED y equipos electrónicos) que no siempre son presenciados en una inspección externa. La información recopilada del centro comercial ayudó para calcular la potencia instalada real, clasificar las cargas por tipo (lineales y no lineales) y validar el modelo de simulación en ETAP, asegurando que el diagnóstico de calidad de energía refleje en tiempo real las condiciones operativas

La encuesta se la aplico de manera digital a 380 comerciantes del centro comercial para identificar los equipos eléctricos instalados en cada local. Con esta información se evidenció una alta presencia de equipos tecnológicos (computadoras, sistemas de cobro, iluminación LED, vitrinas refrigeradas) que corresponden a cargas no lineales, principales generadoras de armónicos en la red eléctrica.

4.4.2 Cuadro de Cargas

4.4.2.1 Potencia de demanda del centro comercial

Para establecer su capacidad instalada, se lleva a cabo la recopilación de cargas utilizando los datos disponibles de cada uno de los elementos previamente mencionados, en relación al transformador de 125 kVA.

En la Tabla 9 se muestra el registro de las cargas general que se han reunido en el Centro Comercial Popular "El Salto".

Tabla 9 Cargas conectadas al transformador de 125 kVA.

N.º	Elemento	Cantidad	Potencia (W)	Tensión (V)	Potencia Total (W)	Factor Demanda (kW)
1	Luminaria fluorescente 2x32	430	64	120	27520	15,136
2	Aplique para pared	68	42	120	2856	1,5708
3	Luminaria para instalación en techo, uso interior	418	20	120	8360	4,598
4	Luminaria tipo ornamental para exterior	15	150	220	2250	1,2375
5	Tomacorriente doble	836	180	120	150480	45,144
6	Bomba 1	1	11185,5	220	11185,5	7,27
7	Bomba 2	1	5500	220	5500	3,58
8	Bomba 3	1	5500	220	5500	3,58
9	Ascensor 1	1	11000	220	11000	7,15
10	Montacarga 2	1	11000	220	11000	7,15
11	Escaleras Eléctricas 1	1	5500	220	5500	3,58
12	Escaleras Eléctricas 2	1	5500	220	5500	3,58
13	Escaleras Eléctricas 3	1	5500	220	5500	3,58

Potencia Total (kW)	107,13
----------------------------	---------------

El levantamiento de cargas realizado en el Centro Comercial Popular "El Salto" permitió identificar una potencia total instalada de 107,13 kW, distribuida en 13 tipos de cargas entre iluminación, tomacorrientes y motores, este valor representa el 85,7% de la capacidad nominal del transformador de 125 kVA.

4.4.3 Elaboración del diagrama unifilar

A partir del levantamiento de cargas y las visitas técnicas realizadas al Centro Comercial Popular "El Salto", se desarrolla el diagrama unifilar del sistema eléctrico, el cual ofrece una visión completa de la disposición de las instalaciones y el funcionamiento de la red de distribución, apoyándose con los lineamientos establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). Para el diseño del diagrama unifilar se empleó el software AutoCAD 2026. Con el diagrama unifilar nos permite visualizar la topología eléctrica desde el transformador de 125 kVA hasta los tableros secundarios que alimentan las cinco plantas del edificio como se ilustra en la Figura 12.

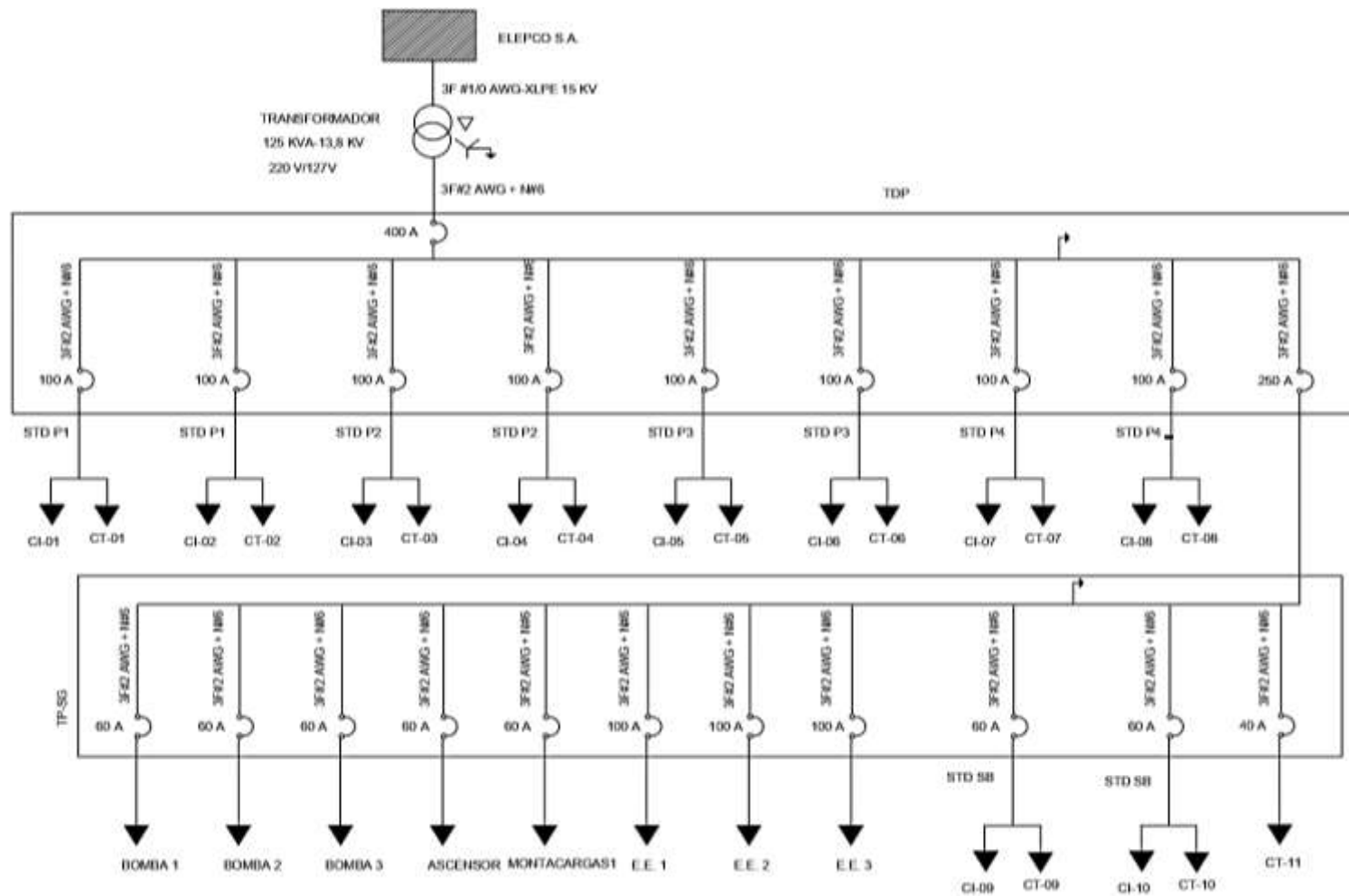


Figura. 12 Diagrama Unifilar del C.C. "EL Salto". Elaboración propia.

4.4.4 Selección del punto de medición

Con el fin de garantizar la precisión de los datos, la normativa ARCONEL-009/24 exige que la medición de los equipos se realice durante una semana completa a intervalos de 10 minutos [14]. Dicha normativa asegura la obtención de datos exhaustivos mediante un monitoreo detallado y continuo.

4.4.5 Conexión del equipo a la red trifásica

Para el análisis de la calidad de energía en el Centro Comercial Popular "El Salto", se utilizó el analizador de red trifásico FLUKE 435-II, Como se ilustra en la Figura 13, este equipo permite evaluar constantemente los parámetros eléctricos del sistema siendo está instalada en las tres fases del tablero de distribución principal, específicamente en los bornes de entrada que conectan con el transformador de 125 kVA. Para este monitoreo se mantuvo durante el periodo de 7 días continuos donde se registró y evaluó parámetros de las Potencias Activa (P), Reactiva (Q), Aparente (S), Tensión (V), Corriente (I), Frecuencia (f), Factor de Potencia (FP) y perturbaciones de red.



Figura. 13 Analizador de redes Fluke 435 II [27].

4.4.6 Instalación y configuración del analizador de red

Para la instalación del equipo en el sistema eléctrico del Centro Comercial Popular "El Salto", se identificó como punto importante el tablero de distribución principal donde esta aloja al interruptor general de la red el cual alimenta a las barras de 500 A que suministran potencia a los subtableros de cada planta, como se observa en la Figura 11.

Este TDP consta de los siguientes elementos:

- Disyuntor Principal de 220 V y 400 A.
- Barras colectoras de 220 V de 500 A.
- Ocho (8) disyuntores de 220 V de 100 A cada uno.
- Barras de neutro.
- Barras de puesta a tierra.

Para el analizador de redes identificamos que dispone de cuatro puertos BNC para la de pinzas amperimétricas y cinco terminales tipo banana para el registro de tensión como se ve en la Figura 14. El registro se realiza en la parte de baja tensión del trafo en cual la instalación comienza con la colocación de las pinzas de corriente en las fases A, B, C y el Neutro, respetando siempre la polaridad señalada por las flechas, luego se conectan los terminales de tensión en un orden de: primero la tierra, seguida del neutro y finalmente las tres fases como medida de seguridad y precisión, y se concluye con una verificación del cierre total y la sujeción de las pinzas, asegurando así las mediciones en el sistema trifásico.

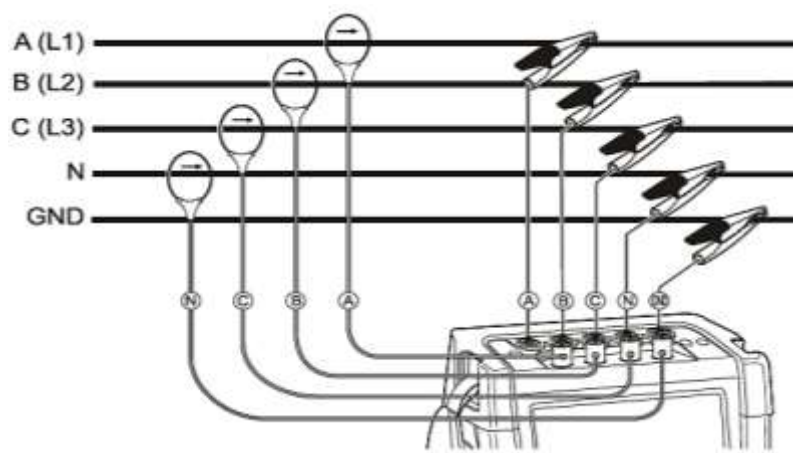


Figura. 14 Conexión del analizador de redes a un sistema trifásico [27].

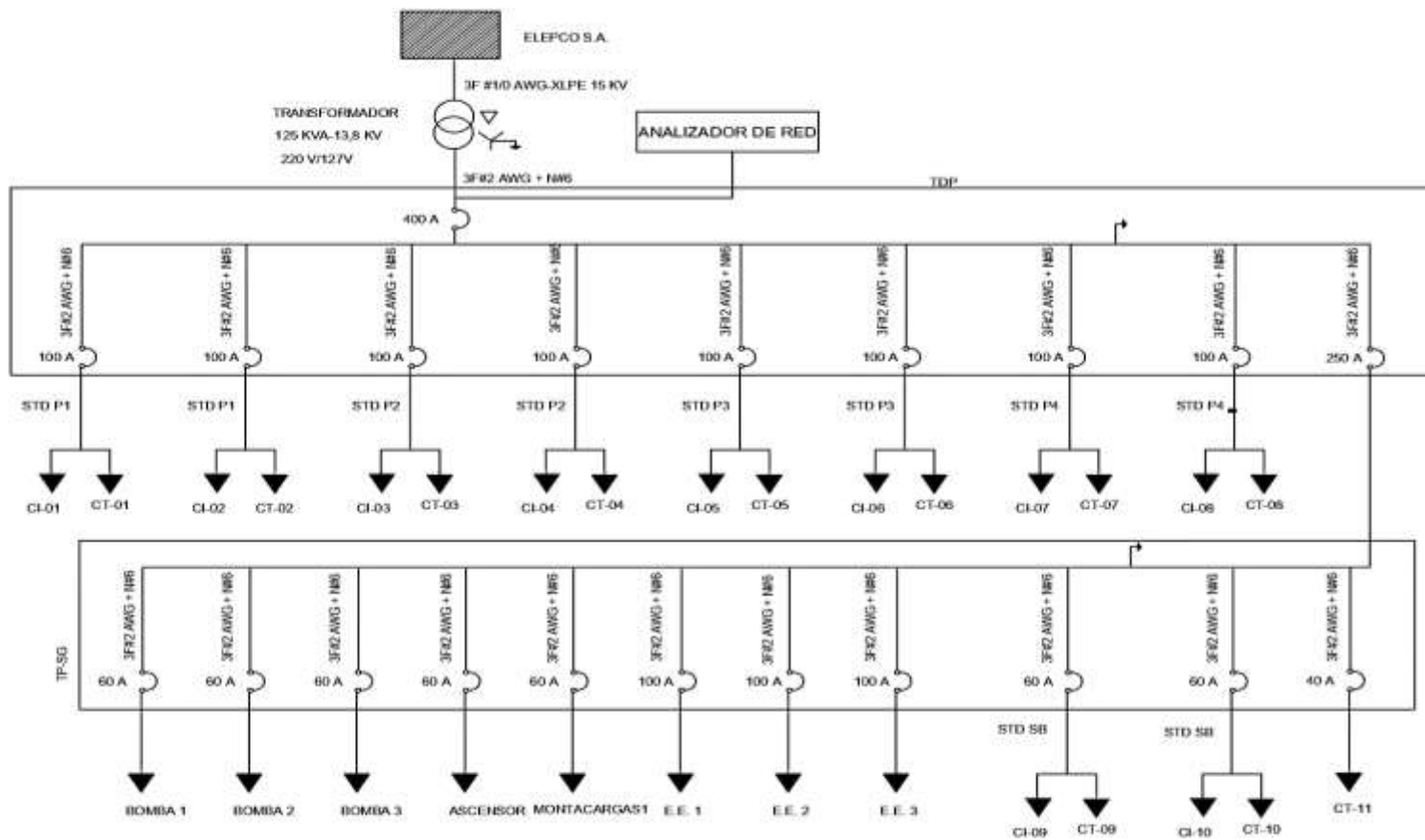


Figura. 15 Instalación del analizador de redes en el sistema eléctrico. Elaboración propia.

El periodo de monitoreo comprendió un total de 168 horas continuas (7 días), desde las 13:53 del 19 de noviembre de 2025 hasta las 13:43 del 26 de noviembre de 2025. El analizador de redes se lo instaló en el TDP, permitiendo la captura en tiempo real de los parámetros eléctricos del sistema tal como se observa en la Figura 16 y representado en el diagrama unifilar de la Figura 15.

4.4.7 Verificación del funcionamiento del analizador de redes

Previo al inicio del registro, se debe validar la precisión de los parámetros en la pantalla LED y corroborar la correcta disposición de las pinzas de corriente y terminales de la tensión mediante el diagrama fasorial como se observa en la Figura 16. En una red con secuencia positiva, la representación vectorial debe mostrar las magnitudes de las fases A para la (L1), B para la (L2) y C para la (L3) dispuestas de forma consecutiva al seguir el sentido de las manecillas del reloj, confirmando así una instalación técnica adecuada.



Figura. 16 Registro de datos en el analizador de red.

Previo a la instalación, se realizó una revisión exhaustiva del manual de usuario del Fluke 435-II para garantizar la correcta configuración de parámetros como tipo de conexión trifásica, intervalo de registro (10 minutos) y normas de medición (IEC 61000-4-30). Durante los 7 días de monitoreo continuo, se efectuaron visitas técnicas diarias al equipo para verificar su funcionamiento, asegurar la correcta sujeción de las pinzas amperimétricas y validar que no existieran desconexiones o alarmas, garantizando así la integridad y confiabilidad de los datos registrados.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 Interpretación de los datos

5.1.1 Análisis de Nivel de Tensión del Transformador 125 KVA

La normativa ARCONEL 009/24, determina que los límites de tensión no se consideran aceptables si la información obtenida supera el porcentaje permitido. El Centro Comercial Popular “El Salto” se clasifica en la categoría de Baja tensión; por lo tanto, su voltaje no debe exceder un $\pm 8\%$ de su tensión nominal como se observa en la Tabla 11 [14].

Conforme a la norma ARCONEL 009/24, las tensiones registradas entre fases (220 V) y entre la fase y el punto neutro (127 V) se utilizan como puntos de referencia para evaluar el nivel de voltaje. Se aplicará la ecuación (13) para evaluar el nivel de tensión en cualquier punto de la red de distribución [14]:

$$\Delta V_K = \frac{V_K - V_N}{V_N} * 100\% \quad (13)$$

A continuación, se revisan los niveles de tensión en el centro comercial, analizando tanto el voltaje entre fase y neutro (127 V), como la tensión entre fases (220 V), y se corroborarán con los niveles que marca la normativa.

5.1.2 Tensión Promedio Fase-Neutro: 127 V

Los datos de la Tabla 10 muestran una tensión promedio de 129,72 V, con una variación entre un mínimo de 126,44 V y un máximo de 131,79 V recolectadas a lo largo del periodo de 7 días. Se observa que estos datos operan dentro del rango de tolerancia, mostrando una estabilidad en el suministro eléctrico de las tres fases (AN, BN, CN) para el sistema de 127 V.

Tabla 10 Niveles de tensión promedio fase-neutro: 127 V.

Fecha	Hora	Nivel de Tensión	Vrms ph-n AN	Vrms ph-n BN	Vrms ph-n CN	Promedio
20/11/2025	15:03	Mínimo	126,91	126,06	126,35	126,44
		Promedio	130,39	128,99	129,78	129,72
20/11/2025	04:23	Máximo	132,64	130,87	131,86	131,79

Bajo la norma ARCONEL 009/24, las variaciones porcentuales (máxima de 4,44% en V_{AN}) se mantienen significativamente por debajo de los límites de tolerancia ($\pm 8\%$) según el punto de medición. Los resultados confirman el cumplimiento de la normativa ecuatoriana, asegurando la integridad de los equipos conectados detallados en la Tabla 11.

Tabla 11 Porcentaje de Variación de tensión 127 V.

	% de Variación		Norma ARCONEL 009/24
	Máximo	Mínimo	
V_{AN}	4,44%	0,07%	Si Cumple
V_{BN}	3,04%	0,74%	Si Cumple
V_{CN}	3,83%	0,51%	Si Cumple

La Figura 17 muestra los eventos durante el periodo de medición donde se observa la mayor relevancia operativa: el día 20 de noviembre se identifica como la jornada de pico máximo, alcanzando una tensión de 132,64 V a las 04:23 am. El mismo día 20 de noviembre registra el impacto de tensión mínimo, donde la curva desciende hasta los 126,06 V. Ambos extremos, aunque pronunciados, se mantienen dentro de los límites de control establecidos por la normativa.

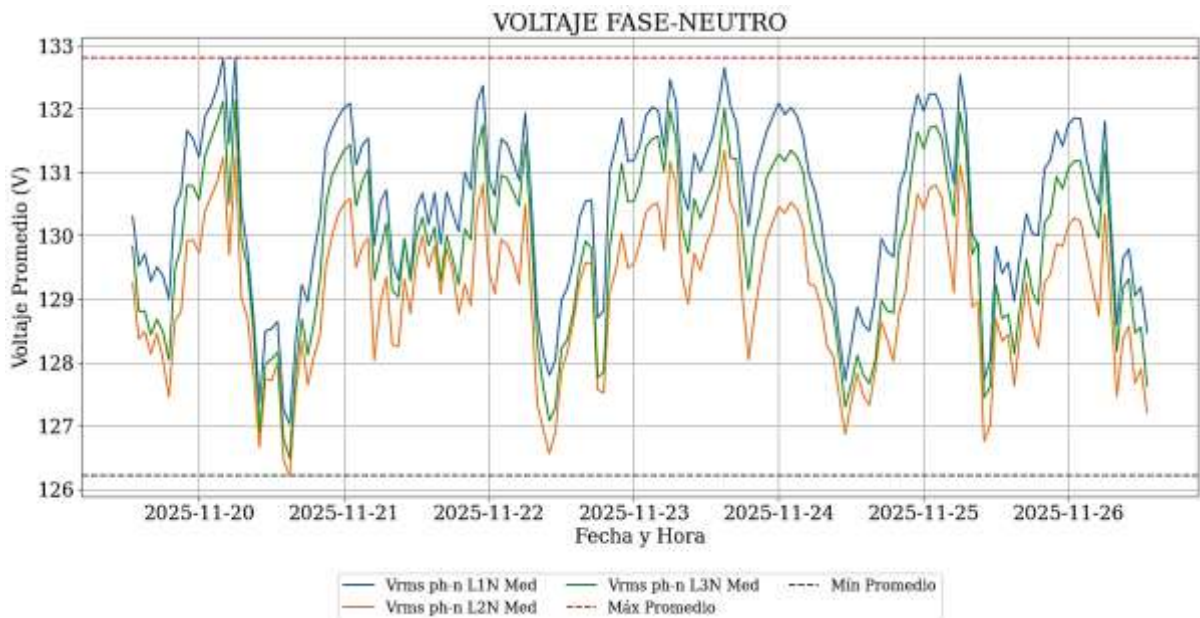


Figura. 17 Tensión Promedio fase-neutro 127V.

5.1.3 Tensión Promedio Fase–Fase: 220 V

En la Tabla 12 se observa los datos de voltaje fase-fase obtenidas durante el registro de los 7 días, donde muestran una variación entre un mínimo de 218,14 V y un máximo de 228,64 V con un promedio de 224,47 V. Estos datos indican un que existe un suministro de tensión aceptable.

Tabla 12 Nivel de tensión fase-fase: 220 V.

Fecha	Hora	Nivel de Tensión	Vrms ph-ph AN	Vrms ph-ph BN	Vrms ph-ph CN	Vrms ph-ph Promedio
20/11/2025	15:23	Mínimo	218,14	219,05	218,16	218,45
		Promedio	223,60	225,56	224,26	224,47
25/11/2025	06:03	Máximo	227,39	229,64	228,24	228,43

Conforme a la norma ARCONEL 009/24, los niveles de variación mostrados en la Tabla 13, demuestra que su valor máximo es de 4,38% en V_{BN} el cual incluso se encuentran dentro de los rangos de tolerancia permitidos. Los resultados confirman el cumplimiento técnico de la red vinculada al transformador de 125 kVA, garantizando que las fluctuaciones no afecten la vida útil de los equipos conectados a la red.

Tabla 13 Variación de tensión 220 V.

	% de Variación		Norma ARCONEL 009/24
	Máximo	Mínimo	
V_{AN}	3,36%	0,85%	Si Cumple
V_{BN}	4,38%	0,43%	Si Cumple
V_{CN}	3,75%	0,84%	Si Cumple

La Figura 18 muestra la variación de la tensión entre fases a lo largo de 7 días, destacando un rango de carga que se mantienen consistentemente dentro de los límites normativos en el cual se puede notar que la fase L31 tiende a mostrar los valores de tensión más altos, mientras que la fase L23 muestra los valores más bajos durante los picos de demanda, con esta información se indica que el sistema eléctrico no sufre de transitorios negativos ni caídas de tensión que pudieran afectar la seguridad de los equipos.

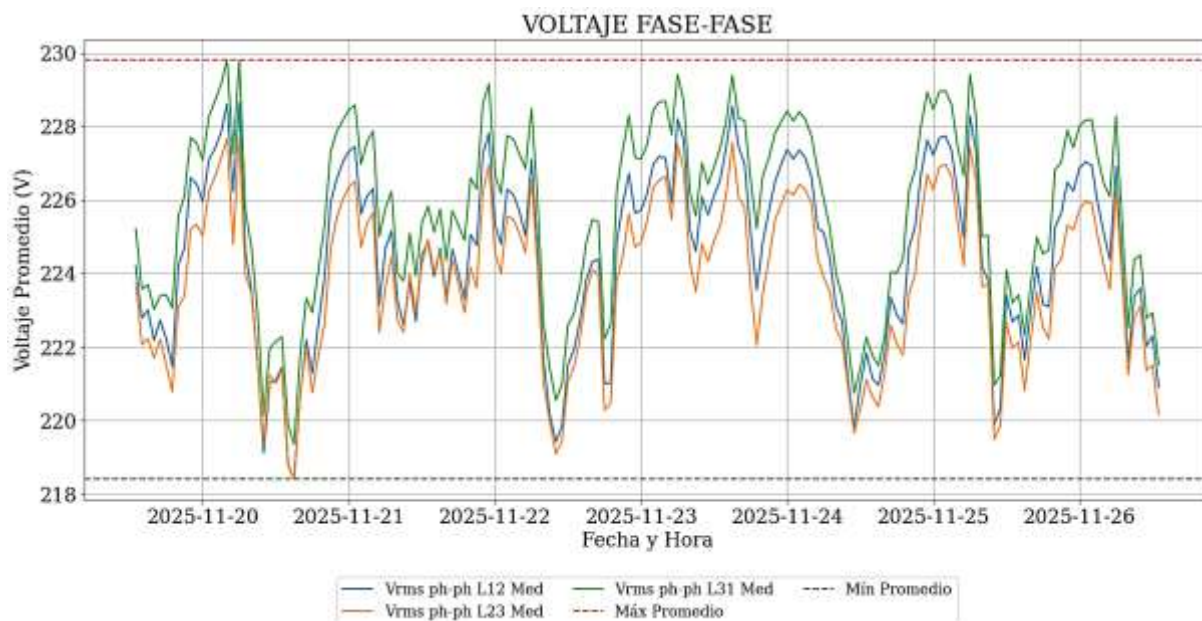


Figura. 18 Tensión Promedio fase-fase 220V.

5.1.4 Tensión en el neutro en el transformador 125 kVA

En la Tabla 14 se registra la tensión promedio de 3,59 V en el neutro del transformador, con valores que oscilan entre un mínimo de 2,02 V y un máximo de 6,47 V. Tomando en cuenta que el nivel de tensión debe ser cero o menor de un voltio. Estos valores son indicativos de la caída de tensión en el conductor neutro que pueden ser debido a una insuficiencia a tierra o armónicas hacia el transformador de 125kVA.

Tabla 14 Nivel de tensión Neutro.

Fecha	Hora	Nivel de tensión	Vrms ph-n NG
25/11/2025	01:13	Mínimo	2,02
		Promedio	3,59
22/11/2025	11:03	Máximo	6,47

En la Figura 19 se observan de forma repetitiva picos de tensión máximos de 6,47 V, que coinciden con las horas de mayor actividad, seguidos de caídas abruptas hasta un nivel mínimo de 2,02 V durante los periodos de baja carga, destacando una anomalía el 23 de noviembre donde la carga fue significativamente menor por ser un día de poco comercio.

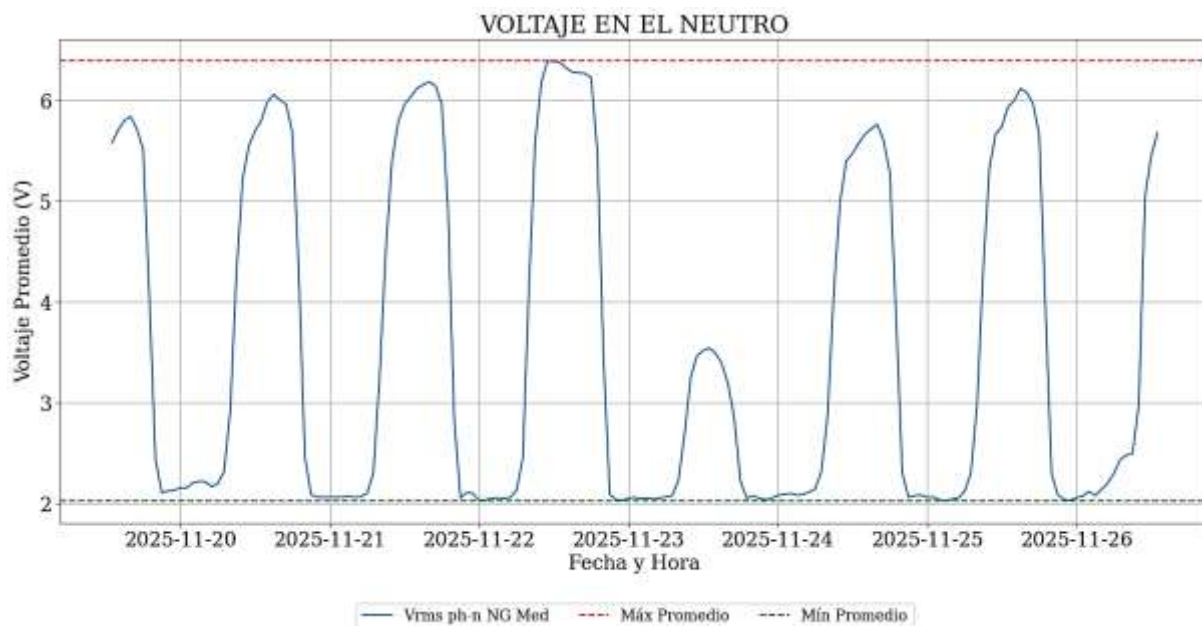


Figura. 19 Nivel de tensión en el neutro del transformador.

5.1.5 Análisis de Corriente (A)

La Tabla 15 presenta los niveles de corriente obtenidos, mostrando un promedio de corriente de los 7 días de 157,50 A. El pico de corriente llegó a alcanzar los 353,39 A el 22 de noviembre a las 12:03, mientras que el punto más bajo se situó en 44,49 A el 25 de noviembre a la 01:02. Se evidencia una variación entre fases en el momento de mayor demanda, donde la fase BN registró 353,39 A, superando de manera considerable a las fases AN y CN, lo que indica un desbalance en las cargas del transformador debido a arranque de los equipos de mayor consumo.

Tabla 15 Nivel de corriente.

Fecha	Hora	Nivel de Corriente	I. ph-AN	I. ph-BN	I. ph-CN	I. ph Promedio
25/11/2025	01:02	Mínimo	61,75	75,46	44,49	60,57
		Promedio	149,95	176,28	146,26	157,50
22/11/2025	12:03	Máximo	303,72	353,39	324,11	327,07

La Figura 20 muestra el registro semanal, destacando un comportamiento cíclico con aumentos de demanda en las horas diurnas y descensos pronunciados durante las noches, con esto notamos que la fase L3 es la que transporta continuamente la mayor carga en los picos de consumo, mientras que la fase L1 presenta los valores más bajos en los momentos valle,

alcanzando casi el límite inferior. Un caso excepcional se presenta el 23 de noviembre (domingo), cuando la demanda desciende notablemente, manteniéndose muy por debajo de los niveles observados en los días con afluencia.

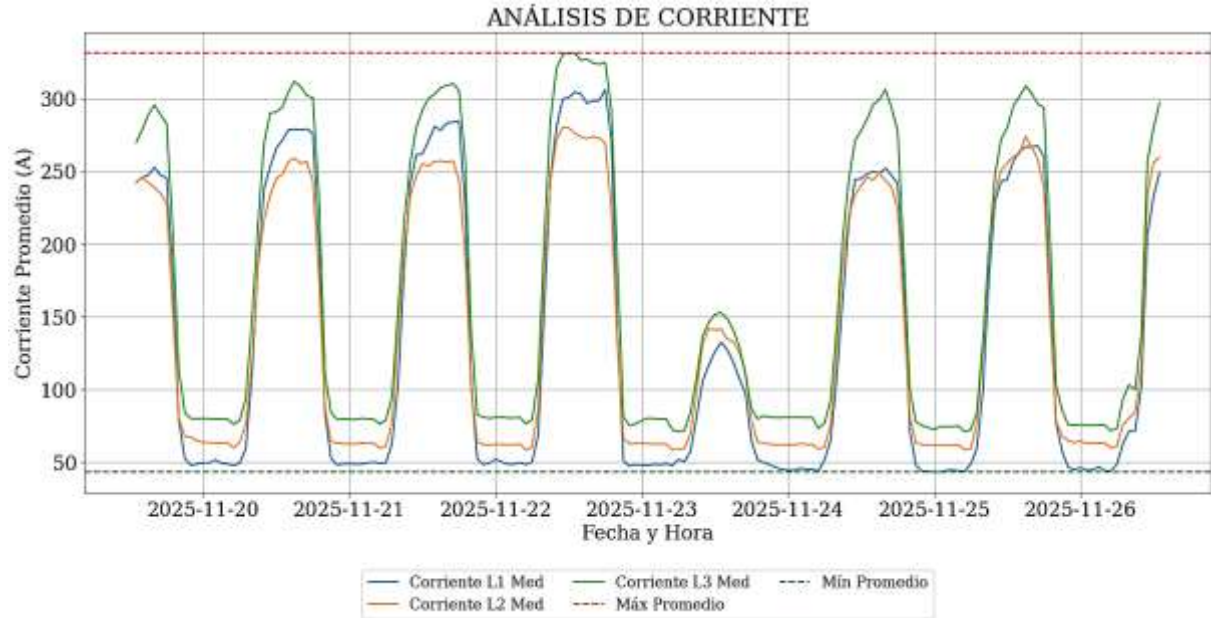


Figura. 20 Nivel de corriente de fase-neutro del transformador de 125 kVA.

Con este análisis se ha observado que el transformador de 125 kVA presenta perturbaciones de carga importantes, operando con un desbalance entre sus fases. La coincidencia de los picos de corriente con los aumentos de tensión en el neutro, demostrando que existe un desequilibrio en el consumo lo cual está provocando el retorno de corrientes residuales por el conductor neutro. Sin embargo, a pesar de los altos niveles de corriente en horas pico, el sistema se mantiene en su mayoría dentro de los límites de diseño, aunque es recomendable una redistribución de cargas para mejorar la eficiencia del transformador y disminuir las pérdidas en la red.

5.1.6 Potencia Activa (kW)

La Tabla 16 muestra una potencia activa de fase promedio de 18,12 kW, con picos máximos que alcanzan los 37,23 kW. Se observa una distribución de carga desigual entre las fases, donde la Fase C presenta el mayor consumo promedio (20,37 kW) en comparación con las fases A (16,91 kW) y B (17,07 kW). Esta desigualdad confirma la existencia de un desequilibrio de carga, lo cual es coherente con las variaciones de tensión en el neutro analizadas previamente.

Tabla 16 Potencia activa.

Fecha	Hora	Nivel de Potencia	kW A	kW B	kW C	Promedio
25/11/2025	01:13	Mínimo	5,18	7,20	8,83	7,07
		Promedio	16,91	17,07	20,37	18,12
22/11/2025	15:23	Máximo	37,36	33,73	40,62	37,23

La Figura 21 muestra el registro de la carga comercial, con una demanda elevada y estable durante las horas laborables y una reducción drástica a niveles mínimos de 7,07 kW durante los periodos de inactividad. La coincidencia entre las tres fases en el gráfico es evidente, aunque la L3 (Fase C) se mantiene consistentemente por encima de las demás, reafirmando que el desequilibrio de cargas es una característica propia del centro comercial.

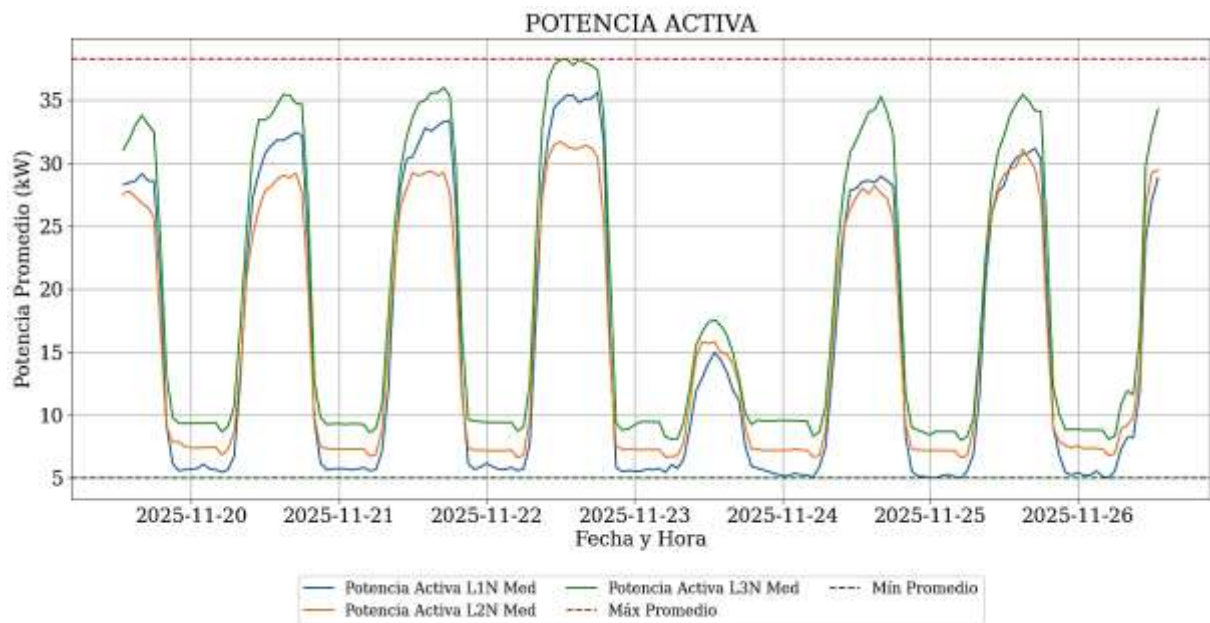


Figura. 21 Nivel de potencia activa.

5.1.7 Potencia Reactiva (KVAr)

La Tabla 17 muestra los datos de potencia reactiva por fase en promedio registrando 2,05 kVAr, con un pico máximo registrado de 5,38 kVAr. El consumo reactivo se distribuye de manera más uniforme entre las fases, con promedios de 2,02 kVAr para la fase A y 2,07 kVAr para las fases B y C. Estos valores nos indican la presencia de cargas inductivas como motores que requieren compensación para su continuo funcionamiento.

Tabla 17 Potencia reactiva (KVAR)

Fecha	Hora	Nivel de Potencia	KVAR-A	KVAR-B	KVAR-C	Promedio
22/11/2025	02:43	Mínimo	0,17	1,06	0,69	0,64
		Promedio	2,02	2,07	2,07	2,05
22/11/2025	17:53	Máximo	6,14	4,67	5,35	5,38

La Figura 22 muestra una correlación directa entre la demanda reactiva y los tiempos de operación diaria, con aumentos notables durante las horas de mayor actividad. Se observa que el registro reactivo de la Fase A presenta picos más pronunciados en ciertos intervalos, alcanzando un máximo de 6,14 kVAR. Esta variabilidad subraya la importancia de monitorear la compensación reactiva para mejorar la capacidad disponible del transformador.

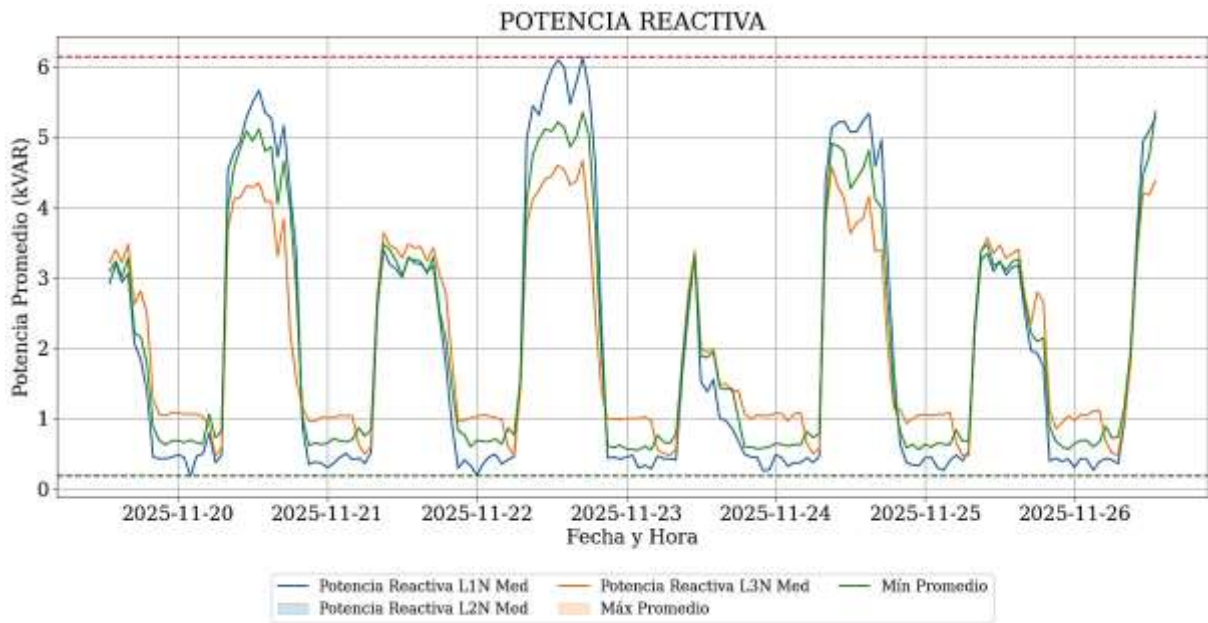


Figura. 22 Potencia reactiva semanal

5.1.8 Potencia Aparente (KVA)

La Tabla 18 muestra el comportamiento de la potencia aparente por fase, donde registra un promedio de 20,30 kVA. El valor máximo de la demanda aparente alcanzó los 45,11 kVA el 22 de noviembre a las 12:53 horas, mientras que el nivel mínimo se situó en 5,88 kVA el 25 de noviembre a las 01:13 horas. Es importante ver que la fase A (KVA-A) presenta el promedio más elevado con 22,73 kVA, lo que nuevamente se confirma la presencia de un desequilibrio

de carga en el transformador de 125 kVA, donde la magnitud de la potencia total demandada es superior en dicha fase.

Tabla 18 Potencia Aparente (KVA)

Fecha	Hora	Nivel de Potencia	KVA-A	KVA-B	KVA-C	Promedio
25/11/2025	01:13	Mínimo	9,93	8,08	5,88	7,96
		Promedio	22,73	19,24	18,93	20,30
22/11/2025	12:53	Máximo	45,11	38,66	41,66	41,81

La Figura 23 muestra una curva de carga aceptable con las fases, donde la potencia aparente sigue una curva de demanda comercial con picos sostenidos durante el día y valles de hasta 7,96 kVA en horario nocturno. Se observa una separación clara entre la L1 (Fase A) y las demás líneas durante los picos máximos, lo que reafirma el desequilibrio de carga identificado en el análisis de potencia activa.

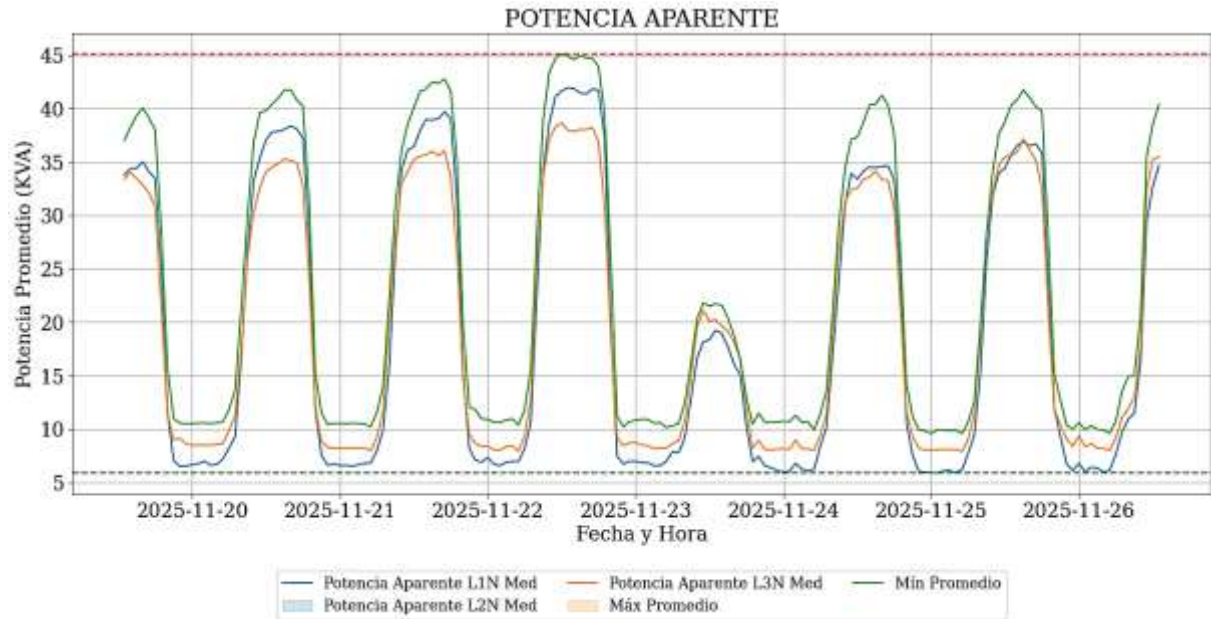


Figura. 23 Potencia Aparente Semanal.

5.1.9 Factor de potencia (FP)

La Tabla 19 se muestra un (fp) por fase promedio de 0,89, con variaciones entre un valor mínimo de 0,87 y un máximo de 0,90. El detalle por fases muestra una notable uniformidad, situándose la Fase C con el promedio más alto de 0,90. Estos valores indican una presencia

significativa de carga reactiva en relación con la potencia activa, lo que desplaza el aprovechamiento de la energía respecto a la unidad.

Tabla 19 Factor de Potencia.

Fecha	Hora	Factor de Potencia	F.P A	F.P B	F.P C	Promedio	Observaciones
23/11/2025	16:43	Mínimo	0,86	0,87	0,89	0,87	Fuera de norma
		Promedio	0,89	0,89	0,90	0,89	Fuera de norma
22/11/2025	20:13	Máximo	0,90	0,89	0,91	0,90	Fuera de norma

La Figura 24 evidencia una alta variabilidad del Factor de Potencia (FP), con caídas críticas de 0,86 en la Fase A. Este desempeño incumple el límite de 0,92 establecido por la norma ARCONEL 006/25 [22], debido al uso de cargas inductivas y electrónicas no compensadas, en estos casos se requiere un banco de capacitores automático para estabilizar el sistema y evitar penalizaciones por parte de la empresa distribuidora.



Figura. 24 Factor de Potencia.

5.1.10 Distorsión Armónica total de tensión THD

De acuerdo con la Tabla 20, el análisis de THD de tensión muestra un cumplimiento general en los valores mínimos y promedios bajo el límite del 8% de la norma IEEE 519/14; sin embargo, se registra un incumplimiento crítico el día 22/11/2025 a las 11:13, alcanzando un máximo de

8.37% en la fase LC y un 8,06 en la fase LB, lo que supera el límite permitido y requiere atención inmediata en ese horario

Tabla 20 Distorsión Armónica total de tensión THD.

Fecha	Hora	THD de tensión	THD LA	THD LB	THD LC	Referencia IEEE 519	Observaciones
24/11/2025	1:13	Mínimo	1,51	1,70	1,99	8%	Si cumple
		Promedio	4,00	4,17	4,48	8%	Si cumple
22/11/2025	11:13	Máximo	7,74	8,06	8,37	8%	No cumple

La Figura 25 muestra un comportamiento variable del THD de tensión con picos recurrentes que rozan el límite normativo, confirmando visualmente que durante el periodo del 22 al 23 de noviembre las tres fases superaron la línea roja de referencia del 8% establecida por la IEEE 519/14, mientras que en los días posteriores la distorsión se estabilizó dentro de los rangos de seguridad permitidos

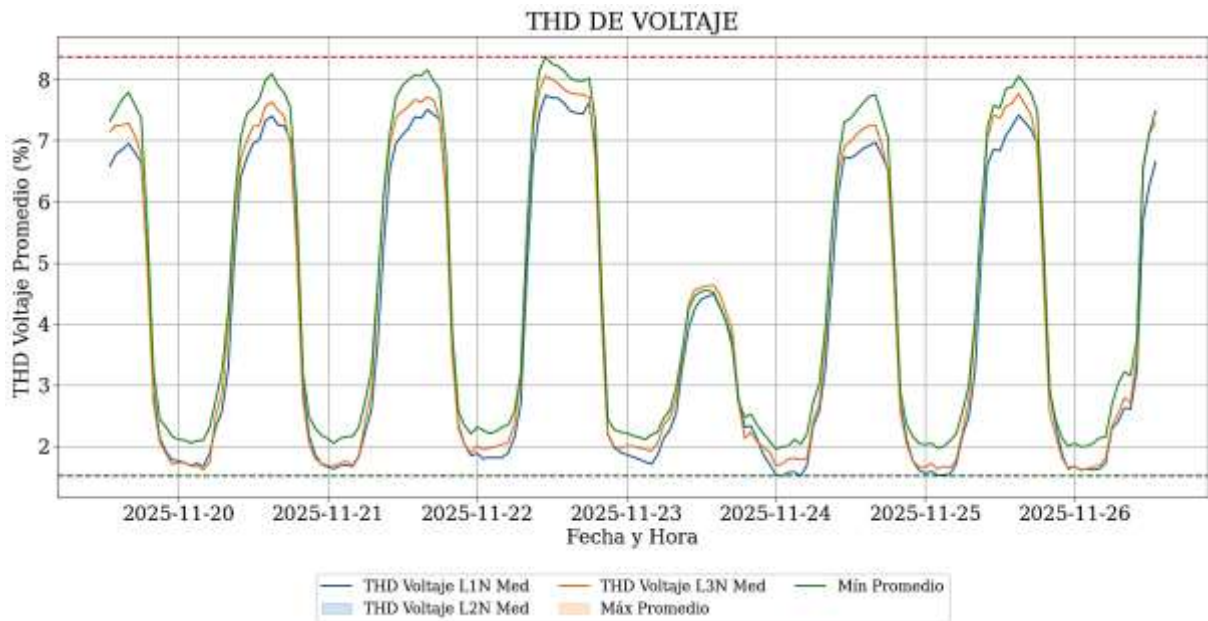


Figura. 25 Nivel de THD de tensión.

Para reducir los picos de THD de tensión superiores al 8%, se recomienda la instalación de un Filtro pasivo de Armónicos (AHF). Esta solución una opción más efectiva basándonos en la norma IEEE 519/14, ya que se adapta automáticamente a las variaciones de la carga, elimina riesgos de resonancia y garantiza la estabilidad del factor de potencia.

5.1.11 Armónicos individuales de tensión

Los resultados de la Tabla 21, muestra que los armónicos de tensión del transformador de 125 KVA se mantienen por debajo del 5 % establecido para tensiones menores a 1 kV. Se muestra el 3er armónico, con un valor de 3,45%, seguido por el 5to armónico con 1,87%. Este comportamiento es normal en sistemas con una alta presencia de cargas monofásicas. De acuerdo con la norma IEEE 519/14, establece que el porcentaje del armónico individual no supere el 5% y en este caso cumple con lo referido a la norma.

Tabla 21 Armónicos individuales de tensión.

Armónicos de tensión		Referencia IEEE 519	Observación
Nivel de armónico	Total, armónico en (%)		
3	3,45	5%	Cumple
5	1,87	5%	Cumple
7	0,83	5%	Cumple
9	0,44	5%	Cumple
11	0,54	5%	Cumple
13	0,28	5%	Cumple

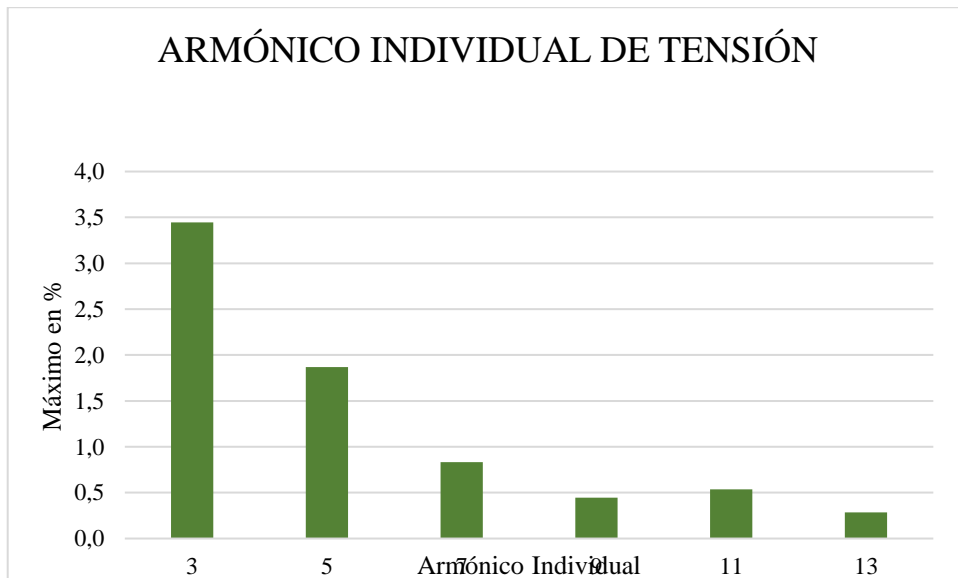


Figura. 26 Armónicos individuales de tensión.

La Figura 26 permite visualizar de forma clara la jerarquía de la distorsión armónica, donde los armónicos de orden bajo 3 y 5 representan el mayor valor los cuales se encuentran dentro del rango permitido.

5.1.12 TDD de corriente del transformador

La regulación IEEE-519/14, establece que para calcular si el centro comercial tiene armónicos de corriente, se debe evaluar el porcentaje de TDD de Corriente. Para obtener el TDD del transformador partimos calculando: La corriente de cortocircuito del sistema en este caso del lado secundario que corresponde a baja tensión del trafo para así obtener los TDD por fase y el total del trafo con esto evidenciar el porcentaje que se encuentra el sistema eléctrico.

Como primer paso calculamos la corriente de Corto Circuito del lado de baja del transformador.

$$I_{CCT} = \frac{S}{V_{f-f} * \sqrt{3} * Z} \quad (14)$$

$$I_{CCT} = \frac{125000 \text{ VA}}{220 * \sqrt{3} * 0,03}$$

$$I_{CCT} = 10934,66 \text{ A}$$

TDD por fase del transformador.

$$T_{DD} = \frac{I_{CCT}}{I_{FA}} \quad (15)$$

- Fase A

$$T_{DDFA} = \frac{10934,66 \text{ A}}{149,95 \text{ A}}$$

$$T_{DDFA} = 72,92 \text{ A}$$

- Fase B

$$T_{DDFB} = \frac{10934,66 \text{ A}}{176,28 \text{ A}}$$

$$T_{DDFB} = 62,03 \text{ A}$$

- Fase C

$$T_{DDFC} = \frac{10934,66 \text{ A}}{146,26 \text{ A}}$$

$$T_{DDFC} = 74,76 A$$

TDD del transformador.

$$T_{DDT} = \frac{10934,66 A}{353,39 A}$$

$$T_{DDT} = 30,942 A$$

La Tabla 22 evidencia un incumplimiento con respecto a la norma IEEE 519/14, donde los valores de TDD registrados en las fases superan el límite de referencia establecido del 8%. Con un promedio máximo de 48,19% y picos máximos que alcanzan el 58,31% en la fase LA. Este exceso tan marcado de armónicos de corriente indica que las cargas conectadas al transformador son no lineales y están inyectando una contaminación armónica que compromete la eficiencia del sistema y la integridad térmica de los equipos.

Tabla 22 Distorsión Armónica total de corriente TDD

Fecha	Hora	TDD de Corriente	TDD LA	TDD LB	TDD LC	Referencia IEEE 519	Observaciones
20/11/2025	8:13	Mínimo	36,32	44,70	42,67	8%	No cumple
		Promedio	48,19	47,75	47,37	8%	No cumple
23/11/2025	16:53	Máximo	58,31	54,49	49,82	8%	No cumple

La Figura 27 ilustra una distorsión de corriente persistente que no desciende por debajo del 36,32%, manteniéndose muy por encima del límite durante toda la semana de medición. A diferencia del voltaje, que presentaba valles claros de baja distorsión, la corriente muestra una saturación armónica continua con fluctuaciones erráticas que frecuentemente rozan el 58.31%.

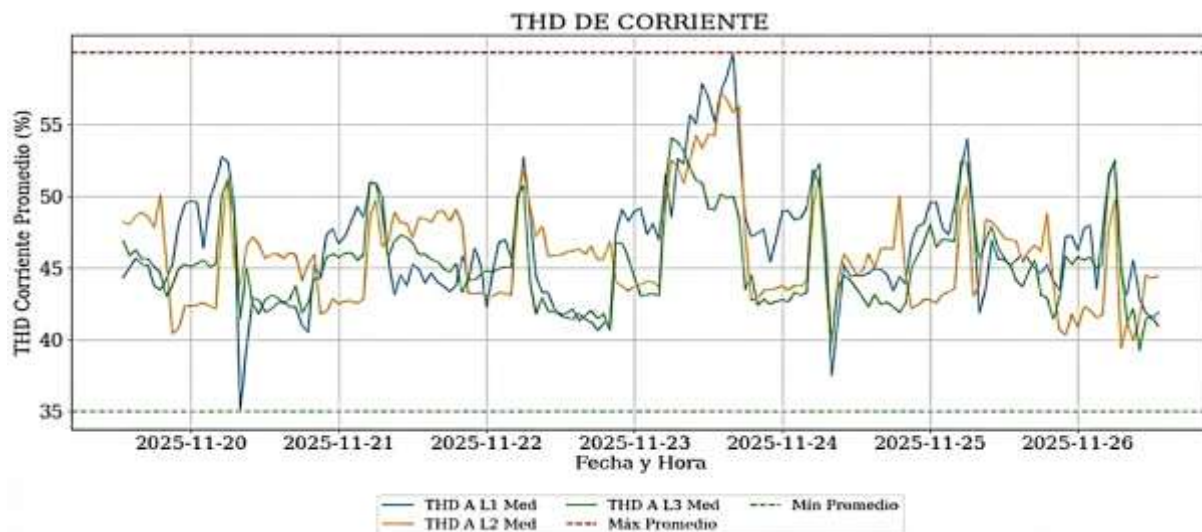


Figura. 27 TDD de corriente semanal.

Una solución para corregir el incumplimiento de la norma IEEE 519/14 es la implementación de un Filtro Pasivo en la parte de baja tensión del transformador.

5.1.13 Distorsión individual de corriente

En la Tabla 23 se evidencia el incumplimiento normativo en las órdenes de armónicas con respecto a la regulación IEEE 519/14. Se observa que en los armónicos del 9 al 13 se mantienen dentro del límite permitido del 7% y 3,50% respectivamente, los niveles 3, 5 y 7 presentan valores excesivos de 41,94%, 19,02% y 8,935 respectivamente. Este elevado valor señala directamente la necesidad de implementar medidas correctivas en las frecuencias más bajas para evitar daños en el sistema eléctrico.

Tabla 23 Distorsión individual de corriente.

Armónicos de corriente Individual		Referencia IEEE 519	Observación
Nivel de armónico	Total, armónico en %		
3	41,94	7%	No cumple
5	19,02	7%	No cumple
7	8,93	7%	No Cumple
9	2,35	7%	Cumple
11	2,37	3,50%	Cumple
13	2,06	3,50%	Cumple

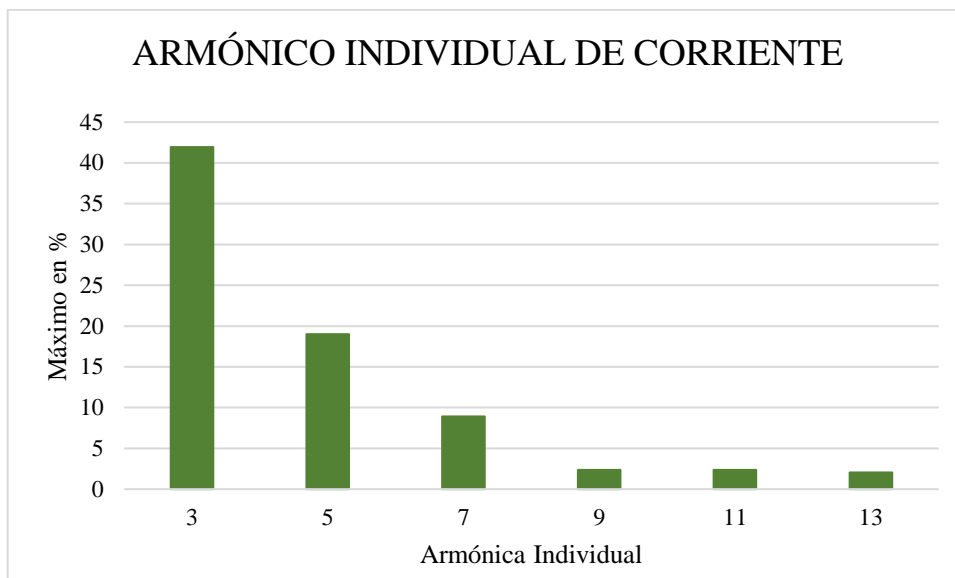


Figura. 28 Armónico individual de corriente.

5.1.14 Flickers en el transformador

En la Tabla 24 presenta los valores de la medición de parpadeo (flicker), desglosados por fase (LA, LB, LC). Se evaluó el parámetro Pst obteniendo valores de 0.69 para LA, 0.7 para LB y 0.61 para LC. Al comparar estos registros con el rango permitido por la norma ecuatoriana ARCONEL 009/24, el cual establece un límite máximo de 1.0, se evidencia que todas las fases operan dentro de los márgenes aceptables.

Tabla 24 Flickers en el transformador 125 KVA.

Línea	Pst	Rango Límite	Norma ARCONEL 009/24
LA	0,69	1	Cumple
LB	0,7	1	Cumple
LC	0,61	1	Cumple

La Figura 29 muestra el gráfico de barras de los niveles de flicker Pst en las fases del transformador. Se observa una ligera variación entre las fases, siendo la fase LB la que registra el valor más alto (0.7) y la fase LC la más baja (0.61). No obstante, es imperativo destacar que

el gráfico ilustra una clara consistencia en los niveles de parpadeo, todos situándose por debajo del límite de aceptabilidad de 1.0.

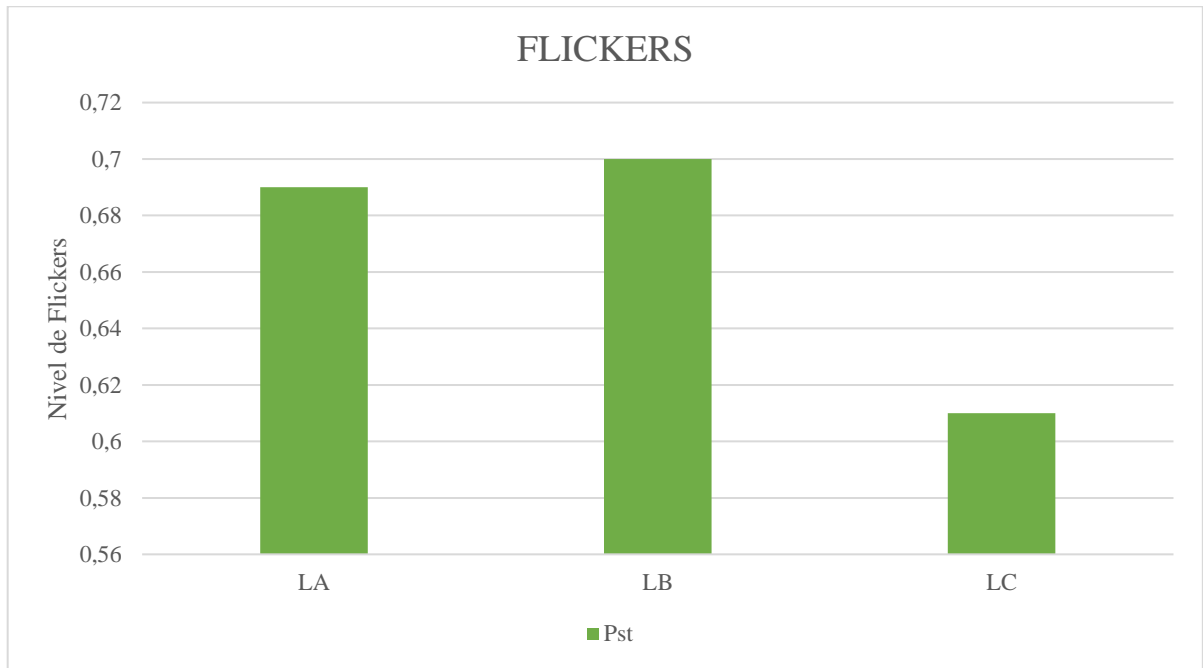


Figura. 29 Análisis de Flickers.

5.2 Resumen de resultados del análisis de Calidad de Energía

Tabla 25 Resultados del Estudio de Calidad de Energía.

Parámetro Analizado	Máximo	Promedio	Mínimo	Cumple (ARCONEL 009/24)	Unidad
Voltaje fase A	227,39	223,60	218,14	Si cumple	V
Voltaje fase B	229,64	225,56	219,05	Si cumple	V
Voltaje fase C	228,24	224,26	218,16	Si cumple	V
Desbalance de voltaje		0.56	Si cumple		%
Corriente fase A	303,72	149,95	61,75	N/A	A
Corriente fase B	353,39	176,28	75,46	N/A	A
Corriente fase C	324,11	146,26	44,49	N/A	A
Factor de potencia	0.90	0.89	0.87	No cumple	
THD Voltaje fase A	7,74	4,00	1,51	Si cumple	%
THD Voltaje fase B	8,06	4,17	1,70	Si cumple	%

THD Voltaje fase C	8,37	4,48	1,99	Si cumple	%
THD Corriente fase A	58,31	48,19	36,32	No cumple	%
THD Corriente fase B	54,49	47,75	44,70	No cumple	%
THD Corriente fase C	49,82	47,37	42,67	No cumple	%
Flicker corta duración fase A	1,72	0,69	0,02	Si cumple	
Flicker corta duración fase B	1,61	0,70	0,04	Si cumple	
Flicker corta duración fase C	1,10	0,61	0,03	Si cumple	

Los resultados de la Tabla 25, bajo la normativa ARCONEL 009/24, aclara que los niveles de voltaje y desbalance se mantienen dentro de los límites normativos con un promedio de 224,47 V, existe un incumplimiento en el Factor de Potencia total (0,89) y considerando la elevada presencia de THD de corriente, que promedia un 30,942 % en las tres fases. Estos valores tan elevados en la tabla respaldan técnicamente lo expuesto en el texto sobre la influencia de cargas monofásicas (3ra armónica) y motores/bombas (5ta armónica), especialmente en la Fase C, donde la distorsión de demanda y la carga capacitiva de las luminarias degradan la calidad de la energía, requiriendo una intervención inmediata para mitigar el sobrecalentamiento y las pérdidas en el sistema.

5.3 Simulación del sistema en ETAP

Para simular el sistema eléctrico del Centro Comercial Popular "El Salto" en el software ETAP, empezamos realizando el levantamiento de cargas detallado en el ANEXO 5, donde se detallaron todos los equipos que conforman la instalación: transformador de 125 kVA, tablero principal con protección de 400 A, ocho salidas secundarias de 100 A, bombas de agua, ascensor, montacargas, escaleras eléctricas y los sistemas de iluminación y tomacorrientes distribuidos en las cinco plantas del edificio. Esta información, ingresada al simulador con todas sus especificaciones técnicas, permitió modelar la topología real del centro comercial y validar

los resultados obtenidos en las mediciones de campo con el analizador FLUKE 435-II, tal como se muestra en el ANEXO 1.

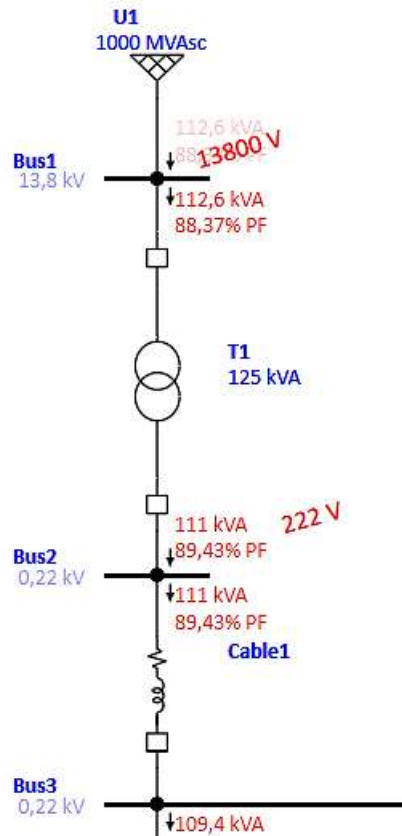


Figura. 30 Resultado de la Simulación.

El factor de potencia de 89,42% de la Figura 30 indica una ineficiencia por exceso de energía reactiva, lo que satura el transformador con 311,4 A, para este caso se recomienda instalar un banco de capacitores en el Bus 3 corregiría este desfase, reduciendo el calentamiento de los cables y liberando capacidad en el sistema. En la Tabla 26 se muestra los resultados simulados en ETAP 19.0.1. la cual corrobora los datos del analizador de redes con el software.

Tabla 26 Resultados del software ETAP 19.0.1.

ID	kW	kvar	Amp	% PF
ASCENSOR	9,3	5,41	28,56	86,44
BOMBA 1	8,54	4,96	26,12	86,48
BOMBA 2	4,95	3,1	15,42	84,79
BOMBA 3	4,95	3,1	15,42	84,79
C. ILUMINACION 9	1,51	0,643	4,332	92
C. ILUMINACION 10	0,167	0,0608	0,47	94
C. ILUMINACIÓN 1	2,37	1,15	6,951	90
C. ILUMINACIÓN 2	2,37	1,15	6,951	90

C. ILUMINACIÓN 3	2,38	1,15	6,955	90
C. ILUMINACIÓN 4	2,38	1,15	6,955	90
C. ILUMINACIÓN 5	2,38	1,15	6,962	90
C. ILUMINACIÓN 6	2,38	1,15	6,962	90
C. ILUMINACIÓN 7	2,52	0,827	6,966	95
C. ILUMINACIÓN 8	2,52	0,827	6,966	95
C. TOMACORRIENTES	4,86	2,35	14,22	90
C. TOMACORRIENTES 1	4,85	2,35	14,22	90
C. TOMACORRIENTES 2	4,85	2,35	14,22	90
C. TOMACORRIENTES 4	4,86	2,35	14,22	90
C. TOMACORRIENTES 5	4,87	2,36	14,24	90
C. TOMACORRIENTES 6	4,87	2,36	14,24	90
C. TOMACORRIENTES 7	4,88	2,36	14,25	90
C. TOMACORRIENTES 8	4,88	2,36	14,25	90
C. TOMACORRIENTES 9	0,192	0,0931	0,564	90
C. TOMACORRIENTES 10	0,188	0,102	0,564	88
ESCALERAS ELEC. 1	3,95	2,49	12,35	84,56
ESCALERAS ELEC. 2	3,95	2,49	12,37	84,56
ESCALERAS ELEC. 3	3,95	2,49	12,39	84,56
ILUMINACION PLAZA	1,08	0,583	3,236	88
MONTACARGAS	9,3	5,41	28,56	86,44

6. PROPUESTAS

6.1 Corrección del bajo factor de potencia

Mejorar el bajo factor de potencia utilizamos la ecuación (16), donde (P) es potencia activa y QC es potencia reactiva de compensación para mejorar el factor de potencia θ_2 de 0,89 y pasar a un valor θ_2 del 0,96.

$$Q_c = P * (\tan(\theta_1) - \tan(\theta_2)) \quad (16)$$

$$Q_c = 100 * (\tan(\cos^{-1}(0.89)) - \tan(\cos^{-1}0.96))$$

$$Q_c = 100 * (\tan(27,126) - \tan(19,94))$$

$$Q_c = 100 * (0,512 - 0,362)$$

$$Q_c = 15 \text{ KVar}$$

Se utiliza la ecuación (17) para el capacitor por fase, donde V es la tensión de fase, f es la frecuencia y C es el valor del capacitor:

$$C = \frac{Q_c/3}{2 * \pi * f * (V)^2} \quad (17)$$

$$C = \frac{15 \text{ KVar}/3}{2 * \pi * 60 * (127 \text{ V})^2}$$

$$C = 822,3 \mu\text{F}$$

Reactancia del condensador (X_c) se muestra en la ecuación (18), en donde V es el voltaje de fase:

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c} \quad (18)$$

$$X_c = \frac{(0,127 \text{ V})^2}{15000}$$

$$X_c = 1,075 \text{ ohmios}$$

Vamos con la reactancia del reactor (X_L) el cual está dado por la siguiente ecuación (19), en donde hS es el orden armónico de sintonización:

$$X_L = \frac{X_c}{hS^2} \quad (19)$$

Armónico 3

$$X_L = \frac{1,075}{3^2}$$

$$X_L = 0,119 \Omega$$

Armónico 5

$$X_L = \frac{1,075}{5^2}$$

$$X_L = 0,043 \Omega$$

A continuación, la resistencia del reactor (X_R) con la ecuación (20):

$$X_R = \sqrt{X_c * X_L} \quad (20)$$

Armónico 3

$$X_R = \sqrt{1,075 * 0,119}$$

$$X_R = 0,357 \Omega$$

Armónico 5

$$X_R = \sqrt{1,075 * 0,043}$$

$$X_R = 0,215 \Omega$$

Valor de resistencia (R) aplicando un factor de calidad de 100 se obtiene con la siguiente ecuación (21):

$$R = \frac{X_R}{Q} \quad (21)$$

Armónico 3

$$R = \frac{0,357}{100}$$

$$R = 0,003 \Omega$$

Armónico 5

$$R = \frac{0,215}{100}$$

$$R = 0,0021 \Omega$$

Observamos en la Tabla 28 el resultado del filtro pasivo sintonizando al quinto orden armónico, con estos datos aplicaremos para simular en ETAP y verificar su funcionamiento.

Tabla 27 Datos del Filtro Pasivo sintonizado al tercer y quinto Armónico.

Filtro Pasivo	Qc (kVAr)	Q	X_c	hs	X_L	R (mΩ)
	15	100	1,075	5	0,043	0,0021
	15	100	1,075	3	0,119	0,03

Debido a que la distorsión armónica de corriente que supera el 8% donde se está incumpliendo con la normativa ARCONEL 009/24 por la presencia de los armónicos 3 y 5, se propone una compensación reactiva sintonizado. Para las armónicas de tercer orden, que circulan por el neutro, pero se mantienen bloqueadas por la conexión delta del transformador, debe centrarse un balanceo de cargas monofásicas y revisar del sistema de puesta a tierra que se encuentren con buena resistencia. Para mitigar la quinta armónica y evitar fenómenos de resonancia, se

utiliza el software ETAP para diseñar el filtro pasivo sintonizado, donde la implementación debe reducir la distorsión y suministra potencia reactiva para elevar el factor de potencia.

6.1.1 Resultados de la simulación

La implementación del filtro pasivo generó una mejora sustancial en la eficiencia del sistema como se observa en la Tabla 28, elevando el Factor de Potencia de 89,43% a 94,02%. Este incremento, visualizado en la Figura 31 de barras reflejando una optimización en el aprovechamiento de la energía y una reducción de la potencia reactiva.

Factor de Potencia

Tabla 28 Resultados del Factor de Potencia.

	ANTES DE IMPLEMENTAR FILTRO	DESPUÉS DE IMPLEMENTAR EL FILTRO
FP (%)	89,43	94,02

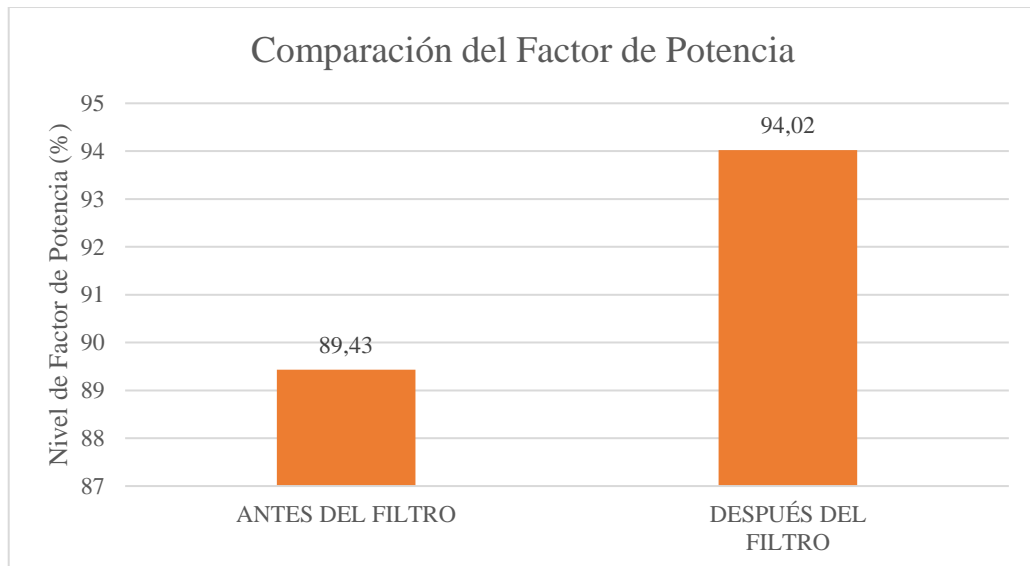


Figura. 31 Comparación de resultados del Factor de Potencia.

En la Figura 32 se observa que el factor de potencia ha mejorado significativamente hasta un 94,02%, lo que indica un sistema aceptable y libre de penalizaciones. Al mejorar el uso de la energía reactiva, la corriente en el secundario se redujo de 311,4 A a 282,2 A, permitiendo que el transformador de 125 kVA trabaje con mayor normalidad y menos calentamiento

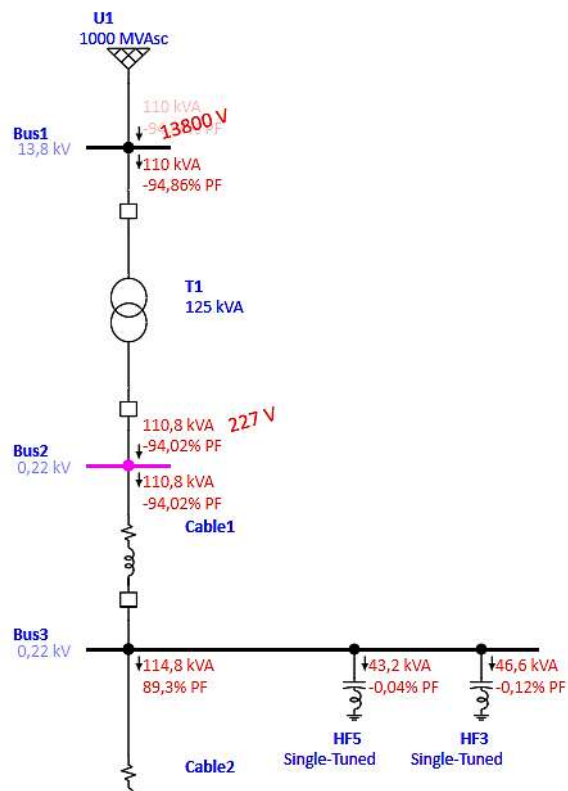


Figura. 32 Resultado con la compensación reactiva.

Distorsión armónica de corriente

La Tabla 30 demuestra una mitigación drástica de la distorsión armónica, donde el THD (Distorsión Armónica Total) se redujo del 30,94% a apenas un 5,77%. Destaca especialmente la eliminación casi total de los armónicos de bajo orden (3.º y 9.º), lo que asegura que el sistema opere bajo estándares de alta calidad y con una mínima interferencia en la red eléctrica.

Tabla 29 Resultado de los armónicos.

ORDEN ARMÓNICA DE CORRIENTE	ANTES DE IMPLEMENTAR EL FILTRO	DESPUÉS DE IMPLEMENTAR EL FILTRO
3	41,94	0,96
5	19,02	0,13
7	8,93	5,14
9	2,35	1,31
11	2,37	1,50
13	2,06	1,32
THD	30,94	5,76

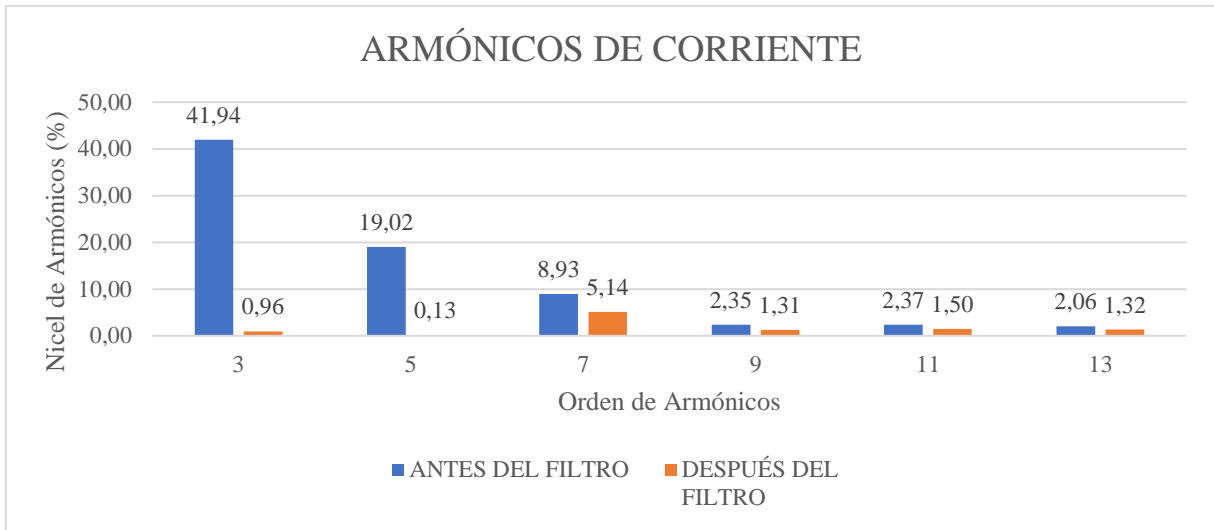


Figura. 33 Comparación de resultados armónicos de corriente.

El diagrama de la Figura 34 muestra una Distorsión Armónica Total (THD) controlada de 5,76% en el Bus 2, valor que se mantiene por debajo del límite crítico del 8% recomendado para evitar daños en equipos sensibles.

Respecto al armónico de tercer orden que circulan por el neutro, se debe considerar que estos quedan confinados por la conexión delta del transformador en media tensión. Por otro lado, en el lado de baja tensión, es importante realizar un balance de cargas monofásicas y verificar que el sistema de puesta a tierra mantenga una baja resistencia.

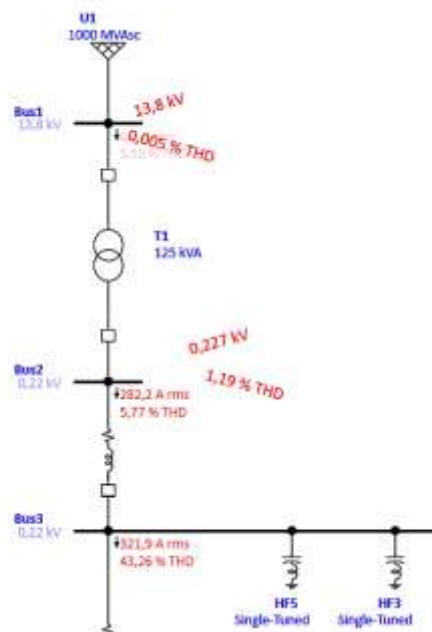


Figura. 34 THD Total con el Filtro Pasivo.

6.1.2 Ahorro de energía mediante la compensación reactiva

Mediante la integración del filtro pasivo para la compensación de potencia reactiva en el subtablero de servicios generales del Centro Comercial El Salto. Esta implementación evidencia una reducción en la potencia reactiva, mejorando el factor de potencia y controlando la los armónicos de corriente. Para la implementación del filtro pasivo, se seleccionó un equipo de la marca VEMAC (60 Hz), con una capacidad de 30 kVAr a una tensión nominal de 220/240 V como se detalla en la Tabla 31. El dispositivo debe opera mediante un sistema de 3 pasos, permitiendo una compensación escalonada.

Tabla 30 Presupuesto del Filtro Pasivo.

Catálogo	Tensión (V)	# de Pasos	Costo Unitario (\$)	Precio Total (\$)
F. Pasivo (VEMAC)	220/440	3	\$5.892,20	\$5.892,20
Importación			\$2.835,56	\$2.835,56
Transporte			\$500,00	\$500,00
Implementación			\$900	\$900,00
			SubTotal	\$10.128
			IVA	\$1.519,2
			TOTAL	\$11.646,9

6.2 Análisis de penalizaciones por bajo factor de potencia

De acuerdo con el Pliego Tarifario (Resolución ARCONEL-006/25), el factor de potencia (FP) mínimo requerido para el sistema eléctrico ecuatoriano es de 0,94 [22]. Para los usuarios categorizados como comerciales en baja tensión, el incumplimiento de este umbral conlleva la aplicación de penalizaciones económicas mensuales, donde dichos recargos se calculan mediante fórmulas de penalización proporcionales al déficit del FP, con el objetivo de desincentivar el consumo ineficiente de energía reactiva y garantizar la estabilidad del sistema nacional.

Basado en los datos se estima:

$$P_{BFP} = B_{FP} * FSPEE \quad (22)$$

$$B_{FP} = \frac{0,94}{FP_r} - 1 \quad (23)$$

Donde:

P_{BFP} : Penalización de (fp)

B_{FP} : Componente de penalización

FP_r : Componente de potencia registrado o calculado

$FSPEE$: Factura por servicio público de energía eléctrica inicial

Determinamos el valor económico con el valor de fp . que se tiene en este caso es de 0.89.

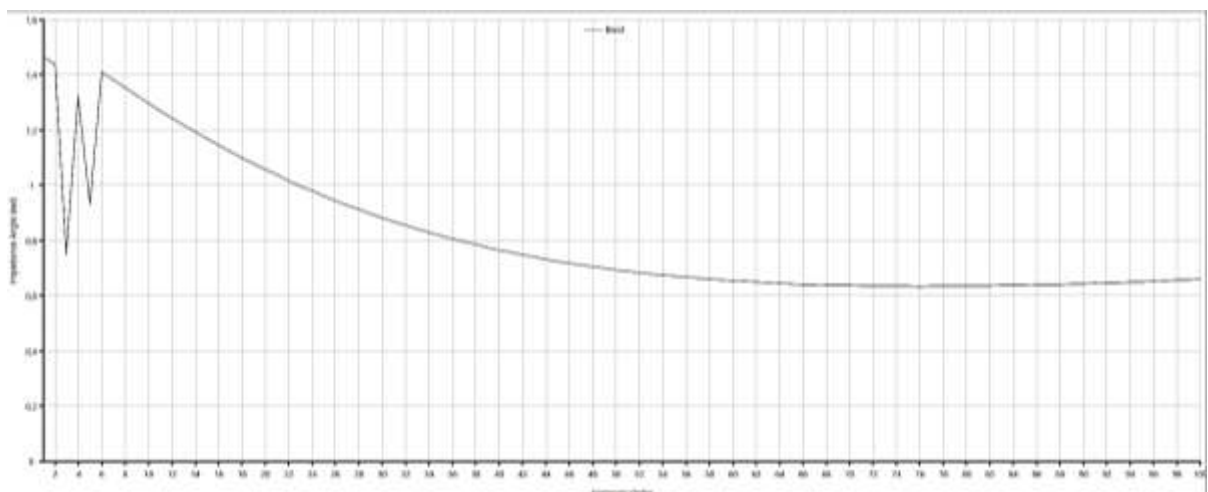
$$B_{FP} = \frac{0,94}{0,89} - 1 = 0,33$$

$$B_{FP} = 0,33 * 535,8 = \$176,814$$

Se tiene una estimación que debería pagarse mensualmente un valor aproximado de \$176,814 a la empresa de distribución ELEPCO S.A. por penalización.

6.3 Resonancia en el Transformador de 125 KVA

La gráfica muestra que tus filtros están actuando correctamente al generar caídas de impedancia en los armónicos 3° y 5°, pero la presencia de picos pronunciados inmediatamente después de esos puntos (especialmente entre el orden 7 y 8) indica que la capacitancia de los filtros ha creado una resonancia paralela con la inductancia del transformador en una frecuencia superior. Si bien el sistema no resuena en las frecuencias filtradas, existe un riesgo real de amplificación de corrientes y sobrecalentamiento si tus cargas generan armónicos de 7° orden, por lo que deberías vigilar la magnitud de la impedancia en esa zona para asegurar que no supere los niveles de seguridad del transformador.



7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se determinó que el marco normativo conformado por la Regulación ARCONEL 009/24 y el estándar IEEE 519/14 constituye una herramienta fundamental para la evaluación técnica del sistema eléctrico, permitiendo contrastar los parámetros medidos con los límites establecidos y validar el diagnóstico de calidad de energía en el Centro Comercial Popular "El Salto".
- Mediante el levantamiento de cargas y las mediciones in-situ con el analizador Fluke 435-II durante siete días continuos, se identificó que el sistema presenta un factor de potencia promedio de 0,89 y una distorsión armónica total de corriente superior al 30%, valores que incumplen la normativa vigente, siendo las principales causas las cargas no lineales como iluminación LED, equipos electrónicos y motores que generan armónicos de tercer y quinto orden.
- La simulación del sistema eléctrico en el software ETAP verifica los resultados obtenidos en campo, demostrando que el modelado refleja el comportamiento real de la red y constituye una herramienta confiable para evaluar el impacto de las soluciones propuestas antes de su implementación física.
- El diseño del filtro pasivo sintonizado al quinto armónico con una capacidad de compensación reactiva de 15 kVAr, cuya simulación demuestra la viabilidad técnica la propuesta al elevar el factor de potencia a 0,96 y disminuir la distorsión armónica de corriente al 5,77%, con esto cumple con los estándares IEEE 519/14 y la ARCONEL 009/24, cual permitirá evitar penalizaciones económicas y ayuda a prolongar la vida útil de los equipos del centro comercial.

REFERENCIAS

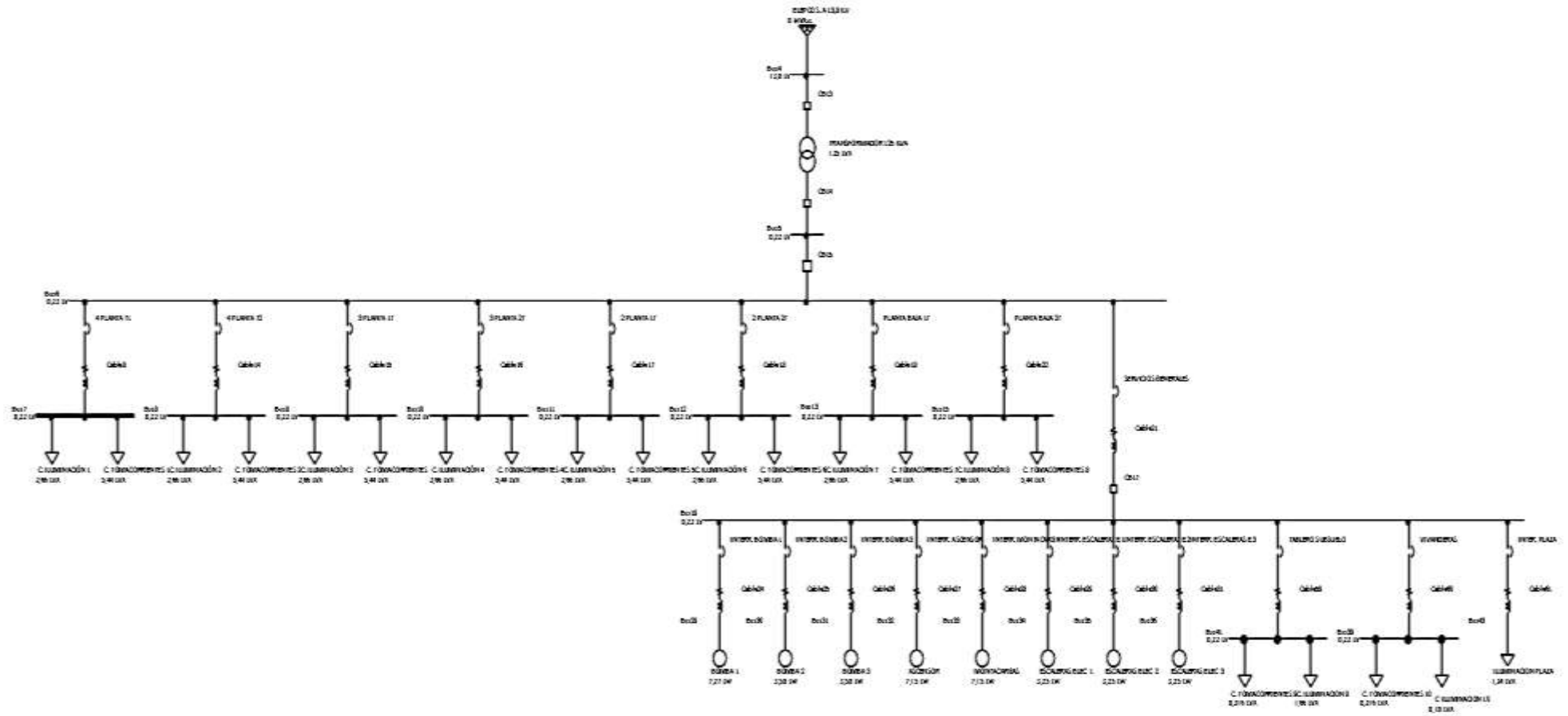
- [1] UNESCO, «Áreas de competencia,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.unesco.org/es/our-expertise>.
- [2] I. P. a. E. Society, «IEEE Standard for Harmonic Control in Electric Power Systems,» *IEEE Std Power and Energy Society*, n° IEEE Std. 519-2022, 2022., 2022.
- [3] N. Española, «Norma IEC 61000-4-30,» 2015.
- [4] W. C. O. Castañeda, «Análisis de Calidad de Energía acerca de la Calidad del Producto e Influencia de,» *Revista Técnica*, vol. 6, n° 1, doi: 10.37116, pp. 76-85, 2010.
- [5] J. B. P. L. P. Verena Mercado Polo, «Calidad de la energía eléctrica bajo la perspectiva de los sistemas de puesta a tierra,» *Redalyc*, vol. 38, n° 2, 2017.
- [6] A. F. B. Franco, L. A. N. Vega y W. M. G. Ramírez, «Análisis de distorsión armónica en iluminación LED,» 2017.
- [7] J. M. O. Garcia y E. R. S. Achig, «Análisis del sistema de protección de puesta a tierra y apantallamiento eléctrico en una planta minera,» 2023.
- [8] M. P. Donsión, *Calidad de la Energía Eléctrica*, 2000.
- [9] IEEE, «De acuerdo con la norma IEEE 1100 – 2005, la,» 2005.
- [10] I. E. T. Ramirez, «Distorsión Armónica,» de *Programa de Ahorro de Energía*, Puebla, Bellavista, p. 123.
- [11] R. Pinyol, «Armónicos: Causas, Efectos Y Minimización,» Salicru, 2016, pp. 1-32.
- [12] J. Mesas, «Estudio y caracterización de cargas no lineales,» *Sustain*, vol. 11, n° 1, <https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2000>, pp. 1-14, 2019.
- [13] A. C. a. J. Vásquez, «ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE,» Repos. UTC, p. 67, 2010, Latacunga, 2010.
- [14] A. d. R. y. C. d. E. y. R. N. N. R. (ARCONEL), *Regulación de Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución y Comercialización*, Quito, Ecuador, 2024.

- [15] A. K. a. M. Thompson, «Power Quality in Electrical Systems,» 2015.
- [16] A. Mullo, J. Reinoso, M. Chamba y C. Lozada, «Análisis y Caracterización de la Calidad de Energía utilizando Minería de Datos,» vol. 22, n° 1, 2025.
- [17] E. M. C. Chacón, «Marketing relacional para centros comerciales populares; caso: centro comercial “EL SALTO” del G.A.D. municipal del cantón Latacunga,» 2018.
- [18] E. B. a. J. CULCAY, «Análisis, normas y soluciones a las condiciones operativas,» vol. II, p. 812, 2011.
- [19] B. F. Moreno, Armónicos en Redes Eléctricas, Ecuador: UPS.
- [20] E. T. d. l. Cruz, Distorsión armónica en instalaciones eléctricas de baja tensión, Madrid, España: Paraninfo, 1.^a ed, 2012.
- [21] S. C. BECERRA, «ANÁLISIS DE ARMÓNICOS EN REDES RESIDENCIALES,» UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, PEREIRA, 2017.
- [22] A. El Directorio de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad, «Resolución Nro. ARCONEL-006/25,» Ecuador, 2025.
- [23] F. S. L. Loya, «Diseño de un banco de condensadores para la corrección del factor se potencia de la empresa BANCHISFOOD S.A,» UPS, Quito, 2012.
- [24] ETAP, «ETAP – Power System Analysis Software,» ETAP 19.0.1, 2024. [En línea]. Available: <https://etap.com>.
- [25] Autodesk, « Autodesk – AutoCAD 2026,» 2025. [En línea]. Available: <https://www.autodesk.com>.
- [26] F. Corporation, «Fluke 435-II Power Quality and Energy Analyzer,» Fluke, 2024. [En línea]. Available: <https://www.fluke.com>.
- [27] F. Corporation, «Manual de uso Fluke 434-II/435-II/437-II,» UE, 2012.
- [28] diagrams.net, «Draw.io,» diagrams.net, [En línea]. Available: <https://Draw.io>.
- [29] R. D. T. Chulde y C. A. Barrera-Singaña, «Estabilidad de Voltaje de Largo Plazo en Sistemas Eléctricos de Potencia,» 2022.

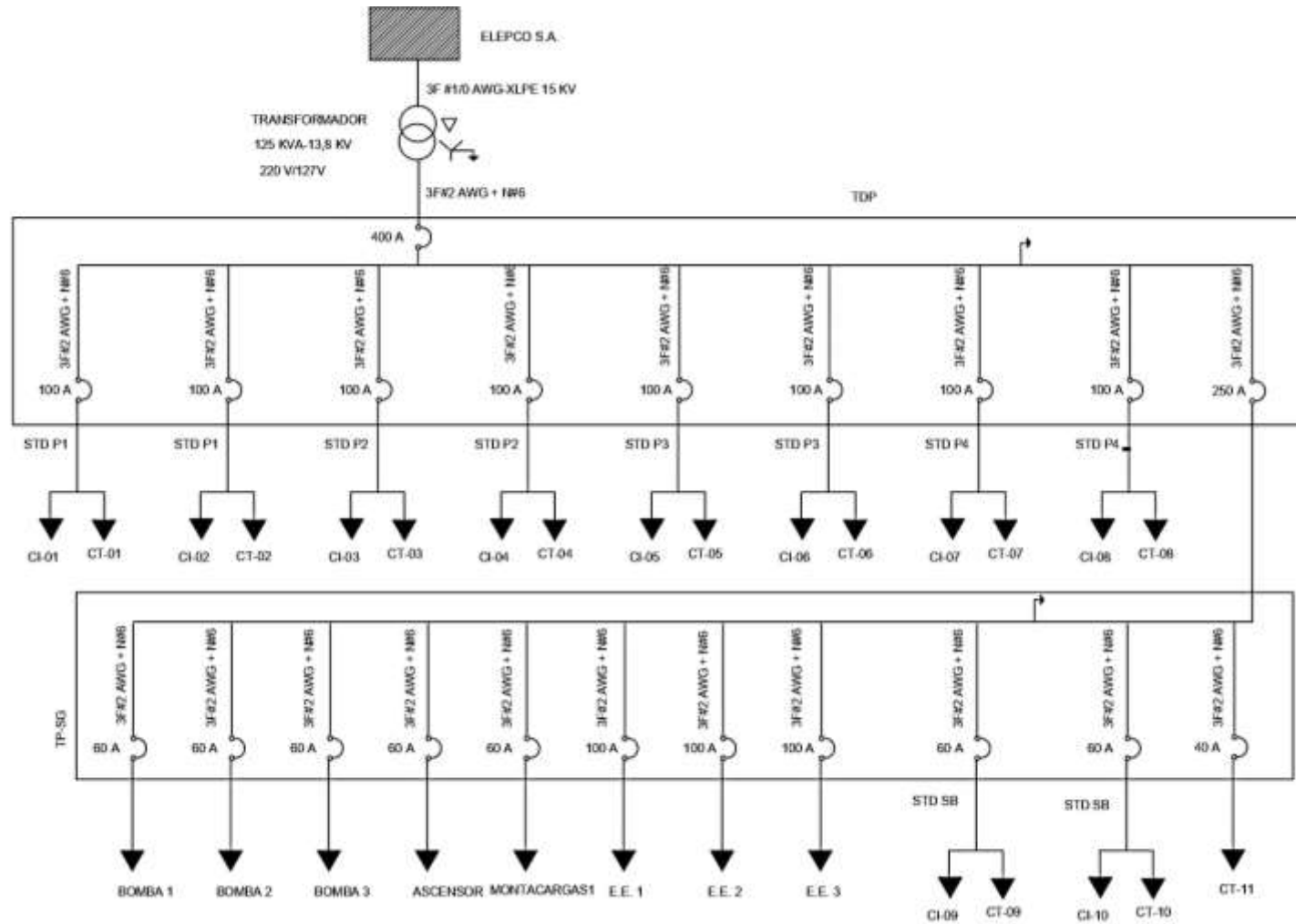
[30] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, «Regulación Nro. ARCERNNR 002/20,» 2023. [En línea]. Available: www.controlrecursosyenergia.gob.ec .

1. ANEXOS

ANEXO 1 Simulación del sistema eléctrico en ETAP del C.C. "El Salto".



ANEXO 2 Diagrama Unifilar del Sistema Eléctrico del C.C "El Salto".



ANEXO 3 Datos del tablero de distribución principal.

Tabla 31 Tablero de Distribución Principal.

Nivel	Tipo	Tipo de Carga	Potencia Total (kW)	Voltaje (V)	Breakers (A)	Conductor
CUARTA PLANTA	TD 1	Luminaria fluorescente 2x32	1,89	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Aplique para pared	0,20	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Luminaria para instalación en techo, uso interior	0,57	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Tomacorriente	5,44	127	30	3F #2 AWG + NG #6
	TD 2	Luminaria fluorescente 2x32	1,89	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Aplique para pared	0,20	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Luminaria para instalación en techo, uso interior	0,57	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Tomacorriente	5,44	127	30	3F #2 AWG + NG #6
TERCERA PLANTA	TD 1	Luminaria fluorescente 2x32	1,89	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Aplique para pared	0,20	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Luminaria para instalación en techo, uso interior	0,57	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Tomacorriente	5,44	127	30	3F #2 AWG + NG #6

	TD 2	Luminaria fluorescente 2x32	1,89	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Aplique para pared	0,20	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Luminaria para instalación en techo, uso interior	0,57	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Tomacorriente	5,44	127	30	3F #2 AWG + NG #6
SEGUNDA PLANTA	TD 1	Luminaria fluorescente 2x32	1,89	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Aplique para pared	0,20	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Luminaria para instalación en techo, uso interior	0,57	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Tomacorriente	5,44	127	30	3F #2 AWG + NG #6
	TD 2	Luminaria fluorescente 2x32	1,89	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Aplique para pared	0,20	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Luminaria para instalación en techo, uso interior	0,57	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Tomacorriente	5,44	127	30	3F #2 AWG + NG #6
PLANTA BAJA	TD 1	Luminaria fluorescente 2x32	1,89	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Aplique para pared	0,20	127	20	3F #2 AWG + NG #6

		Luminaria para instalación en techo, uso interior	0,57	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Tomacorriente	5,44	127	30	3F #2 AWG + NG #6
	TD 2	Luminaria fluorescente 2x32	1,89	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Aplique para pared	0,20	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Luminaria para instalación en techo, uso interior	0,57	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Tomacorriente	5,44	127	30	3F #2 AWG + NG #6
Potencia (kW)			64,83			

Subtablero de Servicios Generales

Tabla 32 Tablero principal de servicios generales.

Nivel	Tipo	Tipo de Carga	Potencia Total (kW)	Tensión (V)	Breakers (A)	Conductor
SUBSUELO	SBTD 1	Iluminación	1,66	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Tomacorriente	0,22	127	30	3F #2 AWG + NG #6
VIVANDERAS		Iluminación	0,18	127	20	3F #2 AWG + NG #6
		Tomacorriente	0,22	127	30	3F #2 AWG + NG #6
		Bomba 1	7,27	220	60	3F #2 AWG + NG #6

PLAZA	Bomba 2	3,58	220	60	3F #2 AWG + NG #6
	Bomba 3	3,58	220	60	3F #2 AWG + NG #6
	Ascensor 1	7,15	220	60	3F #2 AWG + NG #6
	Ascensor 2	7,15	220	60	3F #2 AWG + NG #6
	Escaleras Eléctricas 1	3,25	220	100	3F #2 AWG + NG #6
	Escaleras Eléctricas 2	3,58	220	100	3F #2 AWG + NG #6
	Escaleras Eléctricas 3	3,58	220	100	3F #2 AWG + NG #6
	Iluminación	1,24	220	40	3F #2 AWG + NG #6
Potencia (kW)		42,63			

Anexo 4 Tabla de selección del Filtro Pasivo.



INICIO

TABLA DE SELECCIÓN DEL PRODUCTO

480 V 60 HZ		230 V 60 HZ			
CODIGO	POTENCIA (KVAR)	TENSIÓN (V)	INT. (A)	PASOS	DIMENSIONES (CM)
FAC0025240	25	220/240	100	2	120 x 60 x 60
FAC0030240	30	220/240	125	3	120 x 60 x 60
FAC0040240	40	220/240	160	2	120 x 60 x 60
FAC0050240	50	220/240	200	2	120 x 60 x 60
FAC0060240	60	220/240	250	3	140 x 60 x 60
FAC0075240	75	220/240	300	6	180 x 60 x 60
FAC0080240	80	220/240	300	4	180 x 60 x 60
FAC0090240	90	220/240	400	5	180 x 60 x 60
FAC0100240	100	220/240	400	6	180 x 60 x 60
FAC0125240	125	220/240	500	6	180 x 60 x 60
FAC0140240	140	220/240	500	6	180 x 60 x 60
FAC0150480	150	220/240	600	6	200 x 80 x 60
FAC0175240	175	220/240	600	7	200 x 80 x 60
-----	---	-----	---	-	-----

Anexo 5 Encuesta aplicada a comerciantes del Centro Comercial "El Salto"

¡Bienvenido al Análisis de Calidad de Energía Eléctrica!

Apreciamos tu participación en esta encuesta, la cual tiene como objetivo entender el consumo energético en el Centro Comercial "El Salto". Tu colaboración es fundamental para identificar oportunidades de mejora y ayudar a optimizar el uso de energía en nuestro espacio.

Por favor, dedica unos minutos a completar este formulario. La información que compartas será de gran ayuda para todos los locales y contribuirá a un uso más eficiente de la energía.

¡Gracias por tu tiempo y colaboración!

*Indica que la pregunta es obligatoria

1. *Marca solo un óvalo.*

Opción 1

2. **Sección 1: Información del Local ***

Nombre o número del Local:

3. **Tipo de Negocio:** *

(Tienda de Ropa, Restaurante, Electrónica, Juguetería, Papelería, Otros especificar)

4. Equipos Utilizados *

Selecciona todas las opciones que correspondan.

- Casillas de verificación
- Refrigeradores
- Congeladores
- Aire acondicionado
- Calefacción
- Iluminación (bombillas LED, fluorescentes, incandescentes)
- Equipos de cocina (hornos, estufas, microondas)
- Computadoras de escritorio
- Laptops
- Impresoras
- Cargadores de celular
- Equipos de sonido
- Máquinas de café
- Televisores
- Electrodomésticos (licuadoras, batidoras)
- Otros (especificar)

5. ¿Cuántas horas al día permanecen encendidos sus equipos? *

Marca solo un óvalo.

- Menos de 5 horas
- 5 a 10 horas
- 11 a 16 horas
- 17 a 20 horas
- Más de 20 horas
- Permanecen encendidos todo el día (24 horas)

Google no creó ni aprobó este contenido.

Google Formularios

Anexo 6 Encuesta aplicada a comerciantes de parte de los estudiantes.



Anexo 7 Comerciantes realizando la encuesta.



Anexo 8 Configuración del analizador de redes Fluke 435 II.



Anexo 9 Planilla de consumo y facturación del local #83.



Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A.
Matriz: Marques de Maenza 5-44 Quito J. Ordóñez
Ruc: 056000380001
Contribuyente especial, resolución No. 4519
OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD



K201009088183

Nro. factura 001-020-01805854
Nro. doc. interno 2992403530
Fecha de emisión 16-07-2025
Fecha de vencimiento INMEDIATO
Número de autorización 160720250105900421100012001020018058540263457216

VALOR TOTAL: 435,87

Información del Consumidor

CUENTA CONTRATO 201009988183 Código Único Eléctrico 0510003162
Razón social GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICI PAL DEL CANTON LATACUNGA
RUC 056000380001 Tipo de tarifa **ARCEINER** BTGS001 - BT Comercial Unidad de Lectura 0612M036
Dirección del servicio FELIX VALENCIA SIN / CENTRO COMERCIAL EL SALTO LOCAL # 83 / LATACUNGA - LATACUNGA
Código postal 050101

1. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

Número de medidor 2202013716
Tipo de consumo leido
Fecha desde 16-06-2025
Días facturados 29
Fecha hasta 16-07-2025

Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo Interno Transformador	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)
Energía activa total	16-07-2025	33,00	33,00		0,00	0,00	0,00	kWh	

2. Valores Pendientes

Saldo Planillas Anteriores 22 mes(es) 418,85
Subtotal Planillas Anteriores 418,85
VALORES PENDIENTES (2) 418,85



Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

Valor Consumo 0,00
Comercialización 1,41
Subtotal Servicio Eléctrico (SE) 1,41
Servicio Alumbrado Público General 0,24
Subtotal Alumbrado Público (APG) 0,24
Intereses por Mora 0,28
Subtotal Otros Rubros 0,28
Base I.V.A. 0% 1,65
I.V.A. 0% 0,00
Base Exento de IVA 0,28
Exento de IVA 0,00
TOTAL SE Y APG (1) 1,93

3. Planes de Financiamiento Autorizados por el Consumidor

PLANES DE FINANCIAMIENTO (3) 0,00

La presente factura no constituye título tratativo de dominio, sino únicamente la constancia de recibir un servicio público.

Formas de Pago

FORMA DE PAGO	VALOR	PLAZO	TIEMPO
SIN UTILIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO	1,93	15	días

TOTAL (A)	
Servicio Eléctrico y Alumbrado Público (1)	1,93
Valores Pendientes (2)	418,85
Planes de Financiamiento (3)	0,00
TOTAL SECTOR ELÉCTRICO (1+2+3)	420,78

Mensajes

Recaudación Terceros

ESTOS VALORES NO FORMAN PARTE DE LOS INGRESOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA

4. NOTIFICACIÓN DE PAGO DEL TRIBUTOS PARA EL CUERPO DE BOMBEROS DEL CANTON LATACUNGA							
Beneficiario	C. BOMBEROS LATACUNGA						
R.U.C. Beneficiario	0560022510001						
Fecha de Emisión	16-07-2025						
Cuenta Contrato	201009988183						
RUC	056000380001						
Nombre	GOBIERNO AUTÓNOMO						
Dirección Servicio	FELIX VALENCIA SIN / CENTRO COMERCIAL EL SALTO LOCAL # 83 / LATACUNGA - LA						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>CONCEPTO</th> <th>VALOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Contribución Bomberos</td> <td>7,05</td> </tr> <tr> <td>TOTAL CONTRIBUCION BOMBEROS (4)</td> <td>7,05</td> </tr> </tbody> </table>		CONCEPTO	VALOR	Contribución Bomberos	7,05	TOTAL CONTRIBUCION BOMBEROS (4)	7,05
CONCEPTO	VALOR						
Contribución Bomberos	7,05						
TOTAL CONTRIBUCION BOMBEROS (4)	7,05						

5. NOTIFICACIÓN DE PAGO DEL TRIBUTOS PARA LA TASA RECOLECCIÓN DE BASURA DEL MUNICIPIO DEL CANTON LATACUNGA							
Beneficiario	EPAGAL						
R.U.C. Beneficiario	0560032740001						
Fecha de Emisión	16-07-2025						
Cuenta Contrato	201009988183						
RUC	056000380001						
Nombre	GOBIERNO AUTÓNOMO						
Dirección Servicio	FELIX VALENCIA SIN / CENTRO COMERCIAL EL SALTO LOCAL # 83 / LATACUNGA - LA						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>CONCEPTO</th> <th>VALOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tasa de Recolección Basura</td> <td>8,04</td> </tr> <tr> <td>TOTAL RECOLECCION BASURA (5)</td> <td>8,04</td> </tr> </tbody> </table>		CONCEPTO	VALOR	Tasa de Recolección Basura	8,04	TOTAL RECOLECCION BASURA (5)	8,04
CONCEPTO	VALOR						
Tasa de Recolección Basura	8,04						
TOTAL RECOLECCION BASURA (5)	8,04						

RESUMEN DE VALORES	
Total Sector Eléctrico (A)	420,78
Total Recaudación de Terceros (4+5+6)	15,09
VALOR TOTAL (USD)	435,87