



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

PROYECTO DE INVESTIGACION

**ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA EN EL CAMPUS
SALACHE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

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

AUTORES:

Christian Fabricio Aman Quinga
Bryan Saúl Casa Chasi

TUTOR:

Ing. MSc. Walter Paul Rueda Flores

LATACUNGA-ECUADOR

2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, AMAN QUINGA CHRISTIAN FABRICIO con C.C: 185063429-4 y CASA CHASI BRYAN SAUL con C.C: 050415384-2, declaramos ser los autores del presente proyecto de Investigación: “ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGIA EN EL CAMPUS SALACHE DE LA UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI”, siendo el Ing. Mg. Rueda Flores Walter Paul el tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Atentamente,



.....
Aman Quinga Christian Fabricio

C.C. 185063429-4



.....
Casa Chasi Bryan Saul

C.C. 050415384-2

AVAL DEL TUTOR

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

“ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA EN EL CAMPUS SALACHE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, de los estudiantes **Aman Quinga Christian Fabricio** y **Casa Chasi Bryan Saul**, de la carrera de Ingeniería en Electricidad, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científicos-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Febrero 2025



Ing. Mg. Rueda Flores Walter Paul

Tutor

C.C. 0503689895

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: **Aman Quinga Christian Fabricio** con cedula de ciudadanía C.C: 1850634294 y **Casa Chasi Bryan Saul** con cedula de ciudadanía C.C: 050415384-2, con el título de Proyecto de titulación: “**ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGIA EN EL CAMPUS SALACHE DE LA UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI**”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Latacunga, Febrero 2025

Para constancia firman:



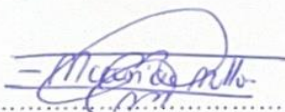
Lector 1 (presidente)

Ing. MSc. Franklin Hernán Vásquez Teneda
CC: 1710434497



Lector 2

Ing. MSc. Castillo Fiallos Jessica Nataly
CC: 0604590216



Lector 3

Ing. MSc. Mauricio Eduardo Mullo Pallo
CC: 0503755183

AGRADECIMIENTO

Cada logro es el resultado de esfuerzo, dedicación y el apoyo de quienes nos rodean. Por ello, quiero dedicar estas palabras a quienes me han acompañado en este camino.

En primer lugar, agradezco a Dios y a la vida por darme la oportunidad de culminar este proceso y cumplir el sueño de obtener una carrera universitaria.

Sin su guía y bendiciones, este camino habría sido aún más difícil. Este logro no es solo mío, sino de todas las personas que me han acompañado desde mi primer día de estudios, brindándome su apoyo incondicional y motivándome a seguir adelante.

A mis padres, Antonio Aman y María Quinga, quienes han sido mi pilar fundamental, brindándome su amor, comprensión y enseñándome con su ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mis tíos, tanto por parte de mi padre como de mi madre, quienes me han respaldado de la manera más hermosa posible: con su cariño y apoyo incondicional en cada paso de este proceso.

A mi hermana Cynthia Aman, quien ha estado siempre pendiente del desarrollo de mis estudios. Su presencia y aliento han sido una motivación constante, y saber que puedo ser un ejemplo de progreso y superación para ella me llena de orgullo y compromiso.

Asimismo, extiendo mi más sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, el Ing. Walter Paul Rueda Flores, por su paciencia, dedicación y por compartir sus conocimientos, los cuales han sido fundamentales para la culminación de este trabajo. Su guía y apoyo fueron clave para superar los desafíos y alcanzar este importante logro.

A todos ustedes, gracias de corazón por estar a mi lado en este camino.

Amán Quinga Christian Fabricio

DEDICATORIA

"Con mucha gratitud y emoción, dedico esta tesis a quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y fortaleza. A Dios, por brindarme las fuerzas necesarias para superar cada obstáculo y permitirme llegar hasta aquí.

A mis padres, Antonio Aman y María Quinga, por su amor incondicional, su guía y sacrificios, que han sido el motor que me impulsó a nunca rendirme. Sin ustedes, este sueño no sería posible.

A mi hermana Cynthia Aman, porque su cariño y apoyo han sido una luz en mi camino.

A mis queridas abuelitas, Gloria Medina y Mercedes Córdor, quienes siempre se preocupan por mí y están ahí en cada momento, brindándome su amor, apoyo y sabiduría. Sus palabras de aliento y su presencia han sido un refugio en los momentos difíciles.

A mi querida tía Diana Quinga, quien me cuidó desde niño y me apoyó en todo sentido a lo largo de mi carrera universitaria. Lamentablemente, debido a la situación económica del país, tuvo que emigrar en busca de un mejor futuro y no podrá estar presente para ver este logro. Sin embargo, su amor y enseñanzas siempre vivirán en mi corazón, y esta meta alcanzada también es suya.

También dedico este triunfo a mi primo Sebastián Padilla, quien, siendo aún un niño, tuvo que migrar y dejar en mí un profundo sentimiento de ausencia. Espero que, con este logro en la vida, el destino nos permita encontrarnos nuevamente y compartir los sueños que quedaron en pausa.

A todos aquellos que, de una u otra manera, han formado parte de mi proceso académico y personal. Gracias por su compañía, sus enseñanzas y su aliento en cada paso de este camino.

Amán Quinga Christian Fabricio

AGRADECIMIENTO

Al finalizar este trabajo, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, han sido fundamentales en este proceso.

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme sabiduría, fortaleza y perseverancia para llegar hasta este punto.

A mi familia, por su amor incondicional, comprensión y palabras de aliento. A mis padres, Cesar Casa y Rosa Chasi, por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia, y por estar siempre a mi lado en cada paso de este camino. A mi querida hermana Evelyn Casa, por su apoyo incondicional y compañía en todo momento.

A mis amigos y compañeros de estudio, quienes me brindaron su ayuda, compartieron conocimientos y me acompañaron en este proceso. Sus palabras de ánimo y su confianza en mí fueron impulso invaluable.

Mi más sincero agradecimiento al Ing. MSc. Walter Paul Rueda Flores, cuya guía, paciencia y conocimientos fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación. Sus consejos y apoyo constante me motivaron a seguir adelante en los momentos de mayor desafío.

Finalmente, agradezco a la vida por darme la oportunidad de aprender y crecer a lo largo de esta experiencia. Este logro no es solo mío, sino de todos aquellos que me han apoyado en este camino.

Casa Chasi Bryan Saúl

DEDICATORIA

Con profundo respeto y gratitud, dedico este trabajo a aquellos que han sido un pilar fundamental en mi vida y en la culminación de esta etapa académica.

A mi madre, Rosa Chasi cuya dedicación, esfuerzo y amor incondicional han sido la base de mi formación personal y profesional. Su ejemplo de fortaleza y perseverancia ha sido mi mayor inspiración.

A mi hermana y cuñado, Evelyn Casa, Darío Ramos y mis sobrinos Lían y Eimy por su apoyo inquebrantable, por su compañía en los momentos de mayor desafío y por ser un motor constante en mi vida.

A mis primos Geovanny, Daniel, Alex y Mirian con quienes he compartido innumerables momentos de crecimiento y aprendizaje, y quienes han sido un apoyo incondicional a lo largo de este camino.

Con profundo amor y respeto, dedico este trabajo a la memoria de mi querido primo Edwin Casa, cuya ausencia sigue dejando un vacío imposible de llenar, pero cuyo recuerdo permanece vivo en mi corazón. Fuiste más que un primo; fuiste un hermano, un amigo y un compañero en este camino de la vida. Tus palabras, tu alegría y tu fortaleza siguen siendo una fuente de inspiración para mí. Aunque el destino no permitió que estuvieras físicamente en este momento, sé que, de alguna manera, sigues acompañándome y celebrando conmigo este logro.

A mis tíos Aníbal y Diocelina por sus consejos, enseñanzas y por brindarme siempre su respaldo y confianza, demostrado que la familia es un pilar fundamental en cada logro alcanzado.

Casa Chasi Bryan Saúl

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGIA EN EL CAMPUS SALACHE DE LA UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI”

Autores:

Aman Quinga Christian Fabricio

Casa Chasi Bryan Saúl

RESUMEN

El análisis de la calidad de energía eléctrica en el campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi revela que la tensión se mantiene dentro de niveles adecuados durante la mayor parte del tiempo. Aunque se presentan algunas fluctuaciones menores en la tensión y estas afectan significativamente el funcionamiento de los equipos. El estudio también identificó un desbalance de potencias y caídas de voltaje en las cargas conectadas a los tableros de distribución eléctrica, lo que requiere una redistribución equilibrada entre las fases para minimizar el riesgo de fallas y asegurar el suministro adecuado de energía a los equipos.

Además, se observó que la potencia activa, reactiva y aparente de los transformadores de 75 kVA y 45 kVA no cumple con los parámetros establecidos por la ARCENNR 003-23, lo que indica que se debe trabajar en la mejora de la calidad de energía. Los armónicos generados por estos transformadores no cumplen con la norma IEEE 519, lo que provoca distorsiones en el suministro eléctrico. Por ello, se recomienda ajustar el tap changer del transformador de 75 kVA para optimizar el sistema y reducir las caídas de voltaje como una acción que mejoraría la calidad energética según la simulación realizada con ETAP.

Es necesario realizar un seguimiento constante del sistema eléctrico para prevenir posibles fallas y mantener un entorno tanto seguro como eficiente en el que se destaca la importancia de capacitar a la comunidad universitaria sobre el uso adecuado de los equipos eléctricos y electrónicos, así como sobre la prevención de picos de tensión y la gestión correcta de los dispositivos.

Palabras clave: calidad de energía, fluctuaciones de tensión, desbalance de potencias, transformadores, capacitación energética.

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES FACULTY

TOPIC: “ENERGY QUALITY ANALYSIS AT THE SALACHE CAMPUS OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI”

Authors:

Aman Quinga Christian Fabricio

Casa Chasi Bryan Saúl

ABSTRACT

The analysis of electrical power quality at the Salache campus at the Technical University of Cotopaxi reveals that the voltage is maintained within adequate levels most of the time. However, there are some minor fluctuations in voltage, which significantly affect the operation of equipment. The study also identified a power imbalance and voltage drops in the loads connected to the electrical distribution boards, which requires a balanced redistribution between phases to minimize the risk of failures and ensure adequate power supply to the equipment.

It was also observed that the active, reactive, and apparent power of the 75 kVA and 45 kVA transformers do not comply with the parameters established by ARCENNR 003-23. This indicates that work must be done to improve power quality. The harmonics generated by these transformers do not comply with the IEEE 519 standard, which causes distortions in the power supply. Therefore, it is recommended to adjust the tap changer of the 75 kVA transformer to optimize the system and reduce voltage drops as an action that would improve power quality according to the simulation performed with ETAP.

Constant monitoring of the electrical system is necessary to prevent possible failures and to maintain a safe and efficient environment. This highlights the importance of training the university community on the proper use of electrical and electronic equipment, as well as on the prevention of voltage spikes and the correct management of the devices.

Keywords: power quality, voltage fluctuations, power unbalance, transformers, energy training.

ÍNDICE GENERAL

1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	2
2.2. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	4
2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	5
2.3.1. Objetivo de investigación:.....	5
2.3.2. Campo de acción:	5
2.4. BENEFICIARIOS.....	5
2.4.1. Directo.....	5
2.4.2. Indirecto.....	6
2.5. JUSTIFICACIÓN.....	6
2.6. OBJETIVOS	7
2.6.1. General	7
2.6.2. Específicos	7
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8
3.1. Conceptos básicos de calidad de energía eléctrica.....	8
3.1.1. Voltaje:.....	8
3.1.2. Frecuencia:.....	9
3.1.3. Armónicos:	9
3.1.4. Picos de corriente:	10
3.2. Impacto de la baja calidad de energía en equipos y sistemas eléctricos	10
3.3. Tecnologías de medición de calidad de energía.....	13
3.4. Análisis de carga eléctrica y distribución de energía	15
3.5. Problemas comunes de calidad de energía en infraestructuras académicas	17
3.6. Metodología para el análisis de calidad de energía.....	19
3.7. Soluciones técnicas y mejoras para optimizar la calidad de energía	22
3.7.1. Estabilizadores de Voltaje.....	22
3.7.2. Fuentes de Alimentación Ininterrumpida (UPS).....	23
3.7.3. Filtros de Armónicos	24
3.7.4. Transformadores de Aislamiento.....	25
3.7.5. Sistemas de monitoreo y control de la calidad de energía	26
3.7.6. Mejoras en la Infraestructura Eléctrica	27
3.8. Normativas y regulaciones sobre calidad de energía	28
3.8.1. ARCERNNR 003/23	29

3.8.2.	Norma IEC 5552.	29
3.8.3.	Estándar IEEE 519.	29
3.8.4.	Norma IEC 61000-3-2.....	30
3.8.5.	Límites de Distorsión Armónica en voltaje en % del voltaje nominal: ...	32
4.	Metodos y procedimientos.....	33
4.1.	Tipo de investigación:	34
4.1.1.	Investigación Descriptiva.....	34
4.1.2.	Investigación Diagnóstica	35
4.1.3.	Investigación Aplicada	35
4.2.	Método de investigación.....	35
4.2.1.	Metodología de la Investigación Bibliográfica	35
4.2.2.	Método Inductivo – Deductivo.....	36
4.3.	Variables.....	36
4.3.1.	Variables Dependientes	36
4.3.2.	Variables Independientes	37
4.4.	Técnicas e instrumentos.....	39
4.4.1.	Instrumento SUIN SA2100 analizador de calidad de energía.....	40
4.4.2.	Conexiones	41
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	44
5.1.	ANÁLISIS DE LOS DATOS EN EL TRANSFORMADOR DE 75 KVA....	46
5.1.1.	Análisis de nivel de voltaje en el Transformador de 75 kVA	46
5.1.2.	Desequilibrio de voltaje en el transformador de 75 kVA	49
5.1.3.	Análisis de corriente de línea en el transformador de 75 kVA.....	49
5.1.4.	Análisis de las potencias en el transformador de 75 kVA	50
5.1.5.	Análisis del factor de potencia en el transformador de 45 kVA.....	53
5.1.6.	Distorsión armónica total de voltaje en el transformador	54
5.1.7.	Armónicos individuales de voltaje en el transformador de 75 kVA.....	55
5.1.8.	Distorsión armónica total de corriente en el transformador de 75 kVA ..	57
5.1.9.	Armónicos individuales de corriente en el transformador de 75 kVA.....	59
5.1.10.	Curva de la demanda del transformador de 75 kVA.....	61
5.2.	ANÁLISIS DE LOS DATOS EN EL TRANSFORMADOR DE 45 KVA....	62
5.2.1.	Análisis de nivel de voltaje en el Transformador de 45 kVA.	62
5.2.2.	Desequilibrio de voltaje en el transformador de 45 kVA	64
5.2.3.	Análisis de corriente de línea en el transformador de 45 kVA.....	65
5.2.4.	Análisis de las potencias en el transformador de 45 kVA	65

5.2.5.	Análisis del factor de potencia en el transformador de 45 kVA.....	68
5.2.6.	Distorsión armónica total de voltaje en el transformador de 45 kVA.....	69
5.2.7.	Armónicos individuales de voltaje en el transformador de 45 kVA.....	70
5.2.8.	Distorsión armónica total de corriente el transformador de 45 kVA.....	72
5.2.9.	Armónicos individuales de corriente en el transformador de 45 kVA.....	74
5.2.10.	Análisis de la Curva de la Demanda en el transformador de 45 kVA..	76
5.3.	LEVANTAMIENTO DE CARGAS CONECTADAS A LOS TRANSFORMADORES	77
5.3.1.	Levantamiento de cargas del transformador de 75 kVA	77
5.3.2.	Levantamiento de cargas del transformador de 45 kVA	80
5.4.	PARÁMETROS UTILIZADOS PARA REALIZAR LA SIMULACIÓN.....	82
5.4.1.	Red de Media Tensión	83
5.4.2.	Transformador de 75kVA	83
5.4.3.	Transformador de 45 kVA	84
6.	RESULTADOS Y SOLUCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI CAMPUS SALACHE	86
6.1.	Resultados de la simulación en ETAP	86
6.1.1.	Resultado del transformador de 75 kVA	86
6.1.2.	Resultados del transformador de 45 kVA.....	87
6.1.3.	Propuesta de solución a las problemáticas presentadas en la Universidad Técnica de Cotopaxi campus Salache	88
7.	PRESUPUESTO FINANCIERO	92
7.1.	Costo de implementar de un filtro de armónicos	93
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
8.1.	CONCLUSIONES	93
8.2.	RECOMENDACIONES.....	95
9.	REFERENCIAS.....	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficios.....	15
Tabla 2. Parámetros importantes	20
Tabla 3. Técnicas de análisis de calidad de energía.....	20
Tabla 4. Medidas correctivas	21
Tabla 5. Beneficios y aplicaciones de un estabilizador.....	23
Tabla 6. Beneficios y aplicaciones de un UPS	24
Tabla 7. Beneficios y aplicaciones de un filtro de armónicos	25
Tabla 8. Beneficios y aplicaciones de un transformador de aislamiento	26
Tabla 9. Beneficios y aplicaciones de un sistema de monitoreo	26
Tabla 10. Beneficios y aplicación de mejoras en la infraestructura	27
Tabla 11. Límites según la norma IEEE519 [64].	30
Tabla 12. Límites según la norma IEEE 519.....	30
Tabla 13. Límites para los equipos clase A según la norma 61000-3-2 [66].	31
Tabla 14. Límites de Distorsión Armónica en Voltaje en % del voltaje nominal según la IEEE 519.	32
Tabla 15. Valores Límites de Armónicas De Voltaje [10]	32
Tabla 16. Nivel de voltaje fase-neutro 127 V.....	45
Tabla 17. Niveles de voltaje fase-neutro 127 V: transformador 75 kVA	46
Tabla 18. Variación de voltaje 127 V en el transformador de 75 kVA	46
Tabla 19. Niveles de voltaje fase-fase 220 V del transformador de 75 kVA.....	47
Tabla 20. Variación de voltaje 220 V en el transformador de 75 kVA	47
Tabla 21. Nivel de voltaje en el neutro	48
Tabla 22. Desequilibrio de voltaje en el transformador de 75 kVA.....	49
Tabla 23. Nivel de corriente fase-neutro en el transformador de 75 kVA.....	50
Tabla 24. Niveles de potencia activa en el transformador de 75 kVA	50
Tabla 25. Niveles de potencia reactiva en el transformador de 75 kVA	51
Tabla 26. Niveles de potencia aparente en el transformador de 75 kVA.....	52
Tabla 27. Niveles de factor de potencia en el transformador de 75 kVA	53
Tabla 28. Distorsión armónica total del transformador de 75 kVA	54
Tabla 29. Nivel de distorsión armónica individual	55
Tabla 30. Nivel de distorsión armónica individual en el neutro	56
Tabla 31. Corriente de cortocircuito y la corriente de línea en p.u del transformador ..	58
Tabla 32. Distorsión total de corriente del transformador	58

Tabla 33. Distorsión individual de corriente en el transformador de 75 kVA	59
Tabla 34. Armónicos individuales de voltaje en el neutro del transformador de 75 kVA	60
Tabla 35. Niveles de voltaje fase-neutro 127 V en el transformador de 45 kVA.....	62
Tabla 36. Variaciones de voltaje 127 V del transformador de 45 kVA.....	62
Tabla 37. Niveles de voltaje fase-fase 220 V del transformador de 45 kVA.....	63
Tabla 38. Variación de voltaje 220 V del transformador de 45 kVA.....	63
Tabla 39. Niveles de voltaje en el neutro	64
Tabla 40. Desequilibrio de voltaje en el transformador de 45 kVA.....	64
Tabla 41. Nivel de corriente fase-neutro en el transformador de 45 kVA.....	65
Tabla 42. Niveles de potencia activa en el transformador de 45 kVA	66
Tabla 43. Niveles de potencia reactiva en el transformador de 45 kVA	66
Tabla 44. Niveles de potencia aparente en el transformador de 45 kVA.....	67
Tabla 45. Niveles de factor de potencia en el transformador de 45 kVA	68
Tabla 46. Distorsión armónica total del transformador de 45 kVA	69
Tabla 47. Nivel de distorsión armónica individual	70
Tabla 48. Nivel de distorsión armónica individual en el neutro del transformador de 45 kVA.....	71
Tabla 49. Corriente de cortocircuito y la corriente de línea en p.u del transformador ..	73
Tabla 50. Distorsión total de corriente del transformador	73
Tabla 51. Distorsión individual de corriente en el transformador de 45 kVA	74
Tabla 52. Armónicos individuales de voltaje en el neutro del transformador de 45 kVA	75
Tabla 53. Levantamiento de carga del transformador de 75 kVA	78
Tabla 54. Corrientes nominales y reales consumidas en el transformador de 75 kVA..	79
Tabla 55. Levantamiento de carga del transformador de 45 kVA	80
Tabla 56. Corrientes nominales y reales consumidas breaker de 200A	81
Tabla 57. Potencias y corriente de cortocircuito en el punto de conexión.....	83
Tabla 58. Datos del transformador de los bloques de aula	83
Tabla 59. Datos del transformador de los laboratorios	84
Tabla 60. Inversión si aplica el filtro	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Voltajes [12].	9
Figura 2. Frecuencia [14].	9
Figura 3. Armónicos [16].	10
Figura 4. Picos de corrientes [18].	10
Figura 5. Problemas de una mala calidad de energía [24].	12
Figura 6. Analizadores de calidad eléctrica [30].	13
Figura 7. Registrador de potencia y energía [33].	14
Figura 8. Sensores de voltaje y corriente [36].	14
Figura 9. Transmisión y distribución de la red eléctrica [41].	16
Figura 10. Estabilizador [55].	23
Figura 11. UPS [56].	24
Figura 12. Filtro de armónicos [57].	25
Figura 13. Transformadores de Aislamiento [58].	25
Figura 14. Sistemas de monitoreo [59].	26
Figura 15. Infraestructura eléctrica [60].	27
Figura 16. Proceso de la elaboración del esquema unifilar	39
Figura 17. Analizador de calidad de energía	40
Figura 18. Conexión del equipo	41
Figura 19. Pantalla de tabla.	42
Figura 20. Pantalla de tendencia.	42
Figura 21. Pantalla de forma de onda	43
Figura 22. Pantalla de Fasores	43
Figura 23. Pantalla de gráfico de barras.	44
Figura 24. Nivel de voltaje fase-neutro 127 V del transformador de 75 kVA	47
Figura 25. Nivel de voltaje fase-fase 220V del transformador de 75 kVA.	48
Figura 26. Nivel de voltaje en el neutro del transformador de 75 kVA.	49
Figura 27. Nivel de corriente de fase del transformador de 75 kVA.	50
Figura 28. Niveles de potencia activa trifásicas del transformador de 75 kVA	51
Figura 29. Niveles de potencia reactiva trifásicas del transformador de 75 kVA	52
Figura 30. Niveles de potencia aparente trifásicas del transformador de 75 kVA	53
Figura 31. Niveles de factor de potencia en el transformador de 75 kVA.	54
Figura 32. Niveles de THD de voltaje	55
Figura 33. Armónicos individuales de voltaje en el transformador de 75 kVA	56

Figura 34. Armónicos individuales de voltaje en el neutro del transformador de 75kVA	57
Figura 35. Niveles de distorsión total de corriente	58
Figura 36. Porcentajes de armónicos de corriente individuales	60
Figura 37. Porcentaje de armónicos de corriente individuales en el neutro del transformador de 75 kVA	61
Figura 38. Demanda del transformador de 75 kVA en un día.	61
Figura 39. Niveles de voltaje fase-neutro de 127 V en el transformador de 45 kVA....	63
Figura 40. Niveles de voltaje fase-fase 220 V en el transformador de 45 kVA	63
Figura 41. Nivel de voltaje en el neutro del transformador de 45 kVA.....	64
Figura 42. Niveles de corrientes de fase del transformador de 45 kVA	65
Figura 43. Niveles de potencia activa trifásicas del transformador de 45 kVA	66
Figura 44. Niveles de potencia reactiva trifásicas del transformador de 45 kVA	67
Figura 45. Niveles de potencia aparente trifásicas del transformador de 45 kVA	68
Figura 46. Niveles de factor de potencia en el transformador de 45 kVA.....	69
Figura 47. Niveles de THD de voltaje	70
Figura 48. Armónicos individuales de voltaje en el transformador de 75 kVA	71
Figura 49. Armónicos individuales de voltaje en el neutro del transformador	72
Figura 50. Niveles de distorsión total de corriente	74
Figura 51. Porcentajes de armónicos de corriente individuales	75
Figura 52. Porcentaje de armónicos de corriente en el neutro del transformador de 45 kVA.....	76
Figura 53. Demanda del transformador de 45 kVA en un día.	77
Figura 54. Transformador de 75 kVA	84
Figura 55. Transformador de 45 kVA	85
Figura 56. Caídas de voltaje en el transformador de 75 KVA.....	89
Figura 57. Voltaje inicial en el transformador de 75 kVA.	90
Figura 58. Voltaje mejorado en el transformador de 75 kVA	90
Figura 59. Mejoramiento de los armónicos al instalar un filtro pasivo	92
Figura 60. Laboratorio de Granos Andinos	¡Error! Marcador no definido.
Figura 61. Laboratorio de Agroindustria 1.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 62. Laboratorio de Agroindustria 2.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 63. Laboratorio de Agroindustria 2.....	¡Error! Marcador no definido.

- Figura 64. Tablero principal del transformador de 45 KVA..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 65. Tablero principal del transformador de 75 kVA **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 66. Tablero principal y subtableros del transformador..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 67. Subtablero biblioteca del transformador de 75 kVA **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 68. Subtablero laboratorio agroindustria **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 69. Subtablero Bloque antiguo 2 **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 70. Subtablero Bloque antiguo 1 **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 71. Subtablero Bloque nuevo **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 72. Diagrama unifilar de las cargas conectadas al transformador **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 73. Subtablero laboratorio Agroindustria..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 74. Subtablero laboratorio Granos Andinos **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 75. Subtablero laboratorio Agroindustria 2 **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 76. Simulación en MATLAB Simulink del filtro de armónicos **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 77. Simulación de la curva de armónico afectado..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 78. Simulación de la curva armónico corregida.. **¡Error! Marcador no definido.**

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: Estudio de calidad de energía en la extensión Salache

Modalidad de titulación: Proyecto de Investigación.

Carrera: Ingeniería en electricidad.

Trabajo de titulación vinculado al proyecto: Calidad Energética

Equipo de Trabajo de Titulación:

- Aman Quinga Christian Fabricio
- Casa Chasi Bryan Saúl

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

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

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

2. INTRODUCCIÓN

El análisis de calidad de energía en sistemas eléctricos es un aspecto necesario para asegurar el correcto funcionamiento de equipos, la eficiencia operativa y la seguridad en cualquier tipo de infraestructura. Según Calderón este análisis es especialmente relevante en entornos académicos, donde el desempeño de diversas actividades depende en gran medida de un suministro eléctrico estable y confiable. En este contexto, el presente estudio se centra en el análisis de calidad de energía en el Campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi con el propósito de evaluar los parámetros eléctricos que afectan el suministro de energía, así como el identificar posibles irregularidades o distorsiones en la red eléctrica para proponer medidas correctivas y preventivas que contribuyan a optimizar el servicio [1].

La calidad de la energía eléctrica en este entorno universitario es de particular importancia, ya que cualquier variación o irregularidad en el suministro llega a tener efectos negativos sobre el desempeño de equipos informáticos, sistemas de iluminación, dispositivos de comunicación y otros equipos esenciales para las actividades académicas, administrativas y de investigación. Las fluctuaciones de voltaje, los armónicos y las caídas de tensión pueden afectar no solo la eficiencia de los sistemas, sino también su durabilidad, aumentando los costos de mantenimiento y reduciendo la productividad general [2].

A través de este análisis, se pretende no solo detectar y comprender los problemas eléctricos existentes, sino también proporcionar un diagnóstico detallado que permita tomar decisiones informadas sobre cómo mejorar la calidad de la energía en el campus. Además, se busca identificar oportunidades para mejorar la estabilidad, eficiencia y sostenibilidad del suministro eléctrico, lo cual es importante para lograr un entorno de aprendizaje que permita un trabajo tanto seguro como confiable. Las recomendaciones resultantes de este estudio estarán orientadas a optimizar el uso de la energía, reducir el impacto ambiental y asegurar que el campus cuente con un sistema eléctrico robusto y preparado para satisfacer las necesidades futuras de la comunidad universitaria.

2.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El sistema eléctrico actual del campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi está experimentando un crecimiento debido a la expansión de nuevas infraestructuras. Sin embargo, este aumento también ha generado desafíos adicionales, como el deterioro

progresivo de las instalaciones existentes y las fallas recurrentes que se producen a raíz de estos problemas.

El mal funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos, así como el deterioro de las instalaciones que conforman la red eléctrica en el campus, es consecuencia de una deficiente calidad de energía eléctrica donde esta situación afecta de manera directa a equipos cruciales para el funcionamiento académico y científico, tales como los utilizados en los laboratorios de ciencias y tecnología, el laboratorio de alimentos lácteos y los equipos veterinarios en la clínica de animales, lo que acorta la vida útil de estos dispositivos así como genera frecuentes interrupciones en el suministro eléctrico, que pueden ser parciales o totales, dependiendo de la magnitud de las fallas [3].

Las alteraciones en la calidad de energía tienen un impacto negativo en los equipos, así como en el desarrollo normal de las actividades académicas y administrativas del campus. La interrupción del servicio eléctrico afecta las jornadas académicas, interrumpe las prácticas profesionales de los estudiantes y retrasa las actividades financieras, lo cual afecta el funcionamiento general de la universidad. Además, al no contar con una energía de calidad, se generan pérdidas económicas relacionadas con los daños y el reemplazo de equipos, que son esenciales para los procesos educativos y la formación de los estudiantes, especialmente en áreas como la veterinaria o la agroindustria ya que estos equipos permiten una preparación profesional adecuada y son fundamentales para el cumplimiento de los objetivos académicos y de investigación [4].

En respuesta a estos problemas, entidades internacionales como la IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) y la IEC (International Electrotechnical Commission) han establecido estándares, métodos de medición y equipos para la evaluación de la calidad de energía eléctrica. En Ecuador, la Regulación 003/23, emitida por la Agencia Nacional de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), regula las empresas distribuidoras de energía eléctrica, estableciendo directrices para mantener un suministro de calidad. Sin embargo, los problemas de calidad de energía, tales como variaciones en el voltaje, la corriente y la frecuencia, continúan siendo un reto importante, ya que provocan perturbaciones en el sistema eléctrico y aceleran el desgaste de los equipos, afectando su funcionamiento y reduciendo su vida útil [5].

La final de este proyecto de investigación es evaluar la calidad de energía en el campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con un enfoque específico en los equipos

utilizados en los laboratorios y otros espacios clave para la formación académica. Se prevé que las alteraciones en la calidad de energía se deben en parte a la presencia de equipos no lineales, como motores y variadores de frecuencia, los cuales forman parte de la infraestructura de la universidad y contribuyen a la inestabilidad del suministro eléctrico. Para abordar esta problemática, es necesario llevar a cabo una evaluación exhaustiva del sistema eléctrico, que incluya un análisis detallado de las cargas eléctricas. Este estudio permitirá identificar las causas principales de las fluctuaciones en la calidad de la energía y desarrollar una propuesta que contemple la implementación de soluciones técnicas y prácticas orientadas a mejorar los parámetros eléctricos. Asimismo, se busca que el sistema cumpla con las normativas establecidas por la regulación ARCERNR 003/23 y IEEE 519, promoviendo así un ambiente más eficiente y seguro para el desarrollo académico y científico dentro del campus [6].

2.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

La ausencia de un análisis detallado del consumo de energía en el campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi representa una deficiencia importante que afecta directamente la eficiencia y fiabilidad tanto de sus instalaciones como laboratorios. La falta de evaluación precisa de los patrones de consumo energético llega a generar un uso inadecuado de los recursos, lo que a su vez incrementa los costos operativos de la universidad donde estos costos no solo incluyen el pago por el consumo de energía, sino también los gastos asociados al mantenimiento y reemplazo de equipos que sufren el impacto de un suministro eléctrico inestable o ineficiente [7].

Además, una gestión inadecuada del consumo energético logra afectar la operación de los laboratorios y otros espacios clave dentro de la universidad, especialmente en áreas que requieren un funcionamiento tanto continuo como estable de equipos electrónicos. El mal manejo de la energía provoca fallas en los equipos, lo que acorta su vida útil y afecta negativamente la calidad de las investigaciones y las prácticas académicas, poniendo en riesgo la formación de los estudiantes y el desarrollo de proyectos científicos [8].

La falta de un análisis riguroso también resulta en la pérdida de oportunidades para optimizar el uso de la energía, lo que afecta la sostenibilidad económica y ambiental de la universidad pues sin un control adecuado, el campus podría estar incurriendo en un consumo innecesario o excesivo, lo cual eleva los costos mientras también aumenta la huella de carbono de la institución que vulnera los esfuerzos por adoptar prácticas más

sostenibles. Por lo tanto, es esencial que la Universidad Técnica de Cotopaxi realice un análisis exhaustivo del consumo energético en su campus Salache, con el objetivo de mejorar la eficiencia junto al reducir costos, así como brindar un entorno académico adecuado para los estudiantes, docentes y personal administrativo.

2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1. Objetivo de investigación:

Sistemas eléctricos de la Universidad Técnica de Cotopaxi campus Salache.

2.3.2. Campo de acción:

3322.99 Otras (Calidad de Energía)

2.4. BENEFICIARIOS

La Universidad Técnica de Cotopaxi, campus Salache, se dedica a la enseñanza de ciencias agropecuarias y recursos naturales, que brinda diversos beneficios tanto directos como indirectos a la comunidad universitaria. Beneficios que se materializan a través de la implementación de servicios educativos de calidad y una optimización de la capacidad de la carga instalada en las infraestructuras del campus con el fin de evaluar la efectividad de la propuesta de investigación sobre la mejora de la calidad de energía en el campus Salache, se realizarán encuestas que buscan medir el grado de satisfacción de los estudiantes, lo que permitirá obtener resultados que motiven la continuidad y expansión de la investigación.

2.4.1. Directo

Los beneficiarios principales de esta mejora en la calidad de energía serán los estudiantes y docentes del campus Salache, ya que son usuarios que dependen de los laboratorios para realizar prácticas profesionales y estudios biológicos, esenciales para su formación y desarrollo profesional. La mejora en la calidad de la energía eléctrica reducirá el riesgo de interrupciones en el suministro, lo que permite una mayor estabilidad y continuidad en el servicio eléctrico donde esto, a su vez, ayuda a la realización de experimentos e investigaciones sin contratiempos que es clave para el desarrollo académico de los estudiantes y la efectividad de la enseñanza.

2.4.2. Indirecto

La mejora en la calidad de la energía también generará beneficios indirectos al potenciar el aprendizaje de los estudiantes en un entorno educativo más eficiente, con equipos funcionales y sin interrupciones energéticas, el cual ofrecerá a los estudiantes mayores oportunidades para adquirir conocimientos y habilidades prácticas, que les proporcionará una ventaja significativa al ingresar al mercado laboral. Además, el mantenimiento reducido de los equipos eléctricos en los laboratorios, gracias a un suministro eléctrico estable, permitirá un uso más prolongado de los recursos tecnológicos, reduciendo los costos asociados al reemplazo y reparación de equipos.

La mejora de la calidad de energía también beneficiará a la comunidad local, ya que el campus Salache se encuentra ubicado en una zona rural de Latacunga por lo cual, si los equipos y laboratorios funcionan de manera óptima, los estudiantes y docentes podrán ofrecer apoyo directo a la comunidad, para brindar soluciones a las necesidades locales, especialmente en áreas de producción agropecuaria y recursos naturales. La interacción con la comunidad local, que a menudo carece de recursos adecuados para implementar estrategias de producción eficientes, será necesaria para mejorar su calidad de vida y fomentar el desarrollo regional.

Además, la experiencia práctica adquirida por los estudiantes durante su formación en estos contextos reales fortalecerá su preparación profesional y su compromiso con el entorno donde la implementación de esta propuesta no solo mejorará la calidad de la energía en el campus Salache, sino que también traerá consigo una serie de beneficios que impactarán positivamente tanto a la comunidad universitaria como a la comunidad local, contribuyendo a un desarrollo académico, profesional y social.

2.5. JUSTIFICACIÓN

Este estudio tiene como objetivo realizar un análisis técnico de la calidad de la energía eléctrica en el campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi, dado el crecimiento continuo de su infraestructura y la incorporación de equipos de alta precisión en laboratorios y áreas académicas. La presencia de perturbaciones en la red, como armónicos, variaciones de voltaje y picos de corriente, compromete la operatividad de estos dispositivos, afectando su rendimiento, reduciendo su vida útil y generando interrupciones en las actividades académicas. Un suministro eléctrico deficiente impacta

directamente en la formación práctica de los estudiantes, particularmente en disciplinas que requieren equipamiento especializado.

La ausencia de estudios continuos y diagramas unifilares actualizados limita la identificación de fallas en el sistema eléctrico, lo que impide la implementación de soluciones correctivas y preventivas. En este contexto, el uso de analizadores de redes eléctricas permitirá obtener mediciones precisas de variables críticas, como tensión, corriente y distorsión armónica, facilitando el diagnóstico de anomalías en la red. Esto es esencial para desarrollar estrategias de mitigación, optimizar la eficiencia energética y garantizar la estabilidad operativa de los equipos tecnológicos utilizados en investigación y docencia.

Este análisis no solo permitirá la detección y corrección de deficiencias en el sistema eléctrico, sino que también contribuirá al diseño de una infraestructura más robusta y adaptable a la demanda energética creciente. La implementación de soluciones basadas en normativas técnicas, como la Regulación ARCERNR 003/23 e IEEE 519, garantizará un suministro confiable, reduciendo costos operativos y optimizando el consumo energético. Además, las recomendaciones resultantes promoverán una gestión eficiente de los recursos eléctricos, alineándose con estrategias de sostenibilidad y eficiencia energética para mejorar la operatividad y resiliencia del campus.

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. General

- Analizar los índices de calidad de energía eléctrica en el campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi mediante el uso del analizador de redes SUIN SA2100, con el fin de optimizar el rendimiento del sistema, reducir el impacto de daños en los distintos equipos y minimizar los costos por reemplazo o reparación a futuro.

2.6.2. Específicos

- Verificar las cargas conectadas en los tableros para realizar mediciones de calidad de energía eléctrica, a fin de evaluar el estado de la energía en el campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi y optimizar su rendimiento a futuro.

- Evaluar la concordancia de los datos de calidad de energía obtenidos de las mediciones con los estándares definidos por la normativa ARCERNNR 003/23, IEEE 519.
- Proponer estrategias para mejorar la calidad de energía eléctrica para el beneficio de los equipos con una vida útil duradera.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. Conceptos básicos de calidad de energía eléctrica

La energía eléctrica es un recurso esencial para el funcionamiento de la mayoría de los sistemas modernos pues desde aplicaciones domésticas hasta industriales, la calidad de la energía eléctrica influye directamente en la eficiencia de los procesos y en la longevidad de los equipos. En este contexto, comprender los conceptos básicos de la calidad de energía eléctrica es importante para lograr un suministro confiable, eficiente y seguro. La calidad de energía eléctrica se refiere a la capacidad de la energía para mantener los parámetros eléctricos dentro de los límites establecidos, de manera que no afecten el funcionamiento de los dispositivos eléctricos [9].

En otras palabras, se trata de la capacidad del sistema eléctrico para proporcionar energía estable, sin fluctuaciones, interrupciones o distorsiones que logren interferir con los equipos conectados a la red. La calidad de la energía está estrechamente relacionada con el voltaje, la corriente y la frecuencia que se suministran, ya que cualquier alteración en estos parámetros llega a tener consecuencias perjudiciales para los sistemas eléctricos. Existen varios parámetros que se utilizan para medir la calidad de la energía eléctrica donde los más importantes incluyen el voltaje, la frecuencia, los armónicos, y los picos de corriente en los que cada uno de estos parámetros influye de manera directa en el rendimiento de los dispositivos que dependen de la energía eléctrica [10].

3.1.1. Voltaje:

El voltaje es uno de los parámetros más importantes, ya que cualquier fluctuación en él puede dañar los equipos electrónicos. Las variaciones en el voltaje, como las caídas o los aumentos, logran afectar el funcionamiento normal de los equipos, provocando fallos o daños permanentes por lo cual los equipos eléctricos están diseñados para operar dentro de un rango específico de voltaje, y las desviaciones fuera de este rango conllevan a una reducción en la eficiencia operativa o a una avería [11].



Figura 1. Voltajes [12].

3.1.2. Frecuencia:

La frecuencia de la energía eléctrica, medida en hertzios (Hz), es otro parámetro importante. En muchos países como en el Ecuador, la frecuencia estándar es de 50 o 60 Hz y las fluctuaciones en la frecuencia causa el desajuste de los equipos eléctricos, especialmente en aquellos que dependen de un ciclo constante de corriente alterna (AC). En sistemas industriales y comerciales, las variaciones de frecuencia generan problemas en procesos de producción y en la sincronización de maquinaria [13].

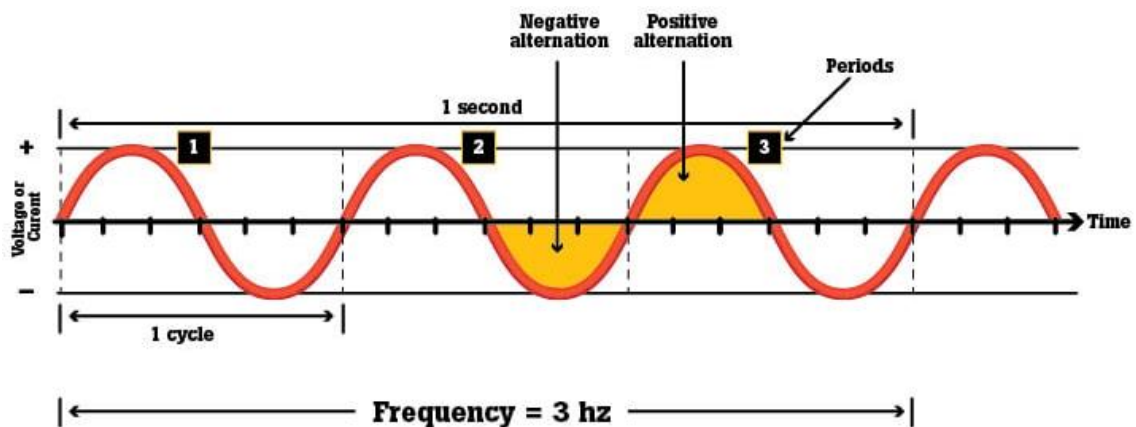


Figura 2. Frecuencia [14].

3.1.3. Armónicos:

Los armónicos son señales de frecuencia múltiplo de la frecuencia fundamental del suministro eléctrico que se generan debido a cargas no lineales, como computadoras, inversores, y otros equipos electrónicos. Los armónicos distorsionan la forma de onda de la corriente y el voltaje, lo que afecta el funcionamiento de equipos sensibles mientras reduce la eficiencia de los transformadores, y generar calor adicional que daña los dispositivos eléctricos [15].

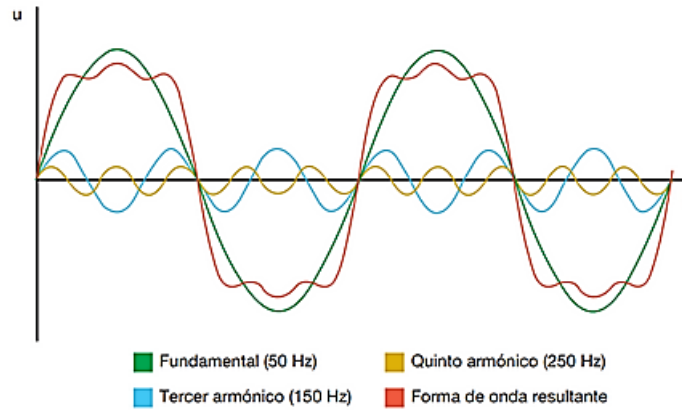


Figura 3. Armónicos [16].

3.1.4. Picos de corriente:

Los picos o transitorios de corriente son breves aumentos en la corriente eléctrica que ocurren de forma abrupta donde estos picos llegan a ser causados por eventos como rayos, conmutaciones de carga o fallos en la red eléctrica. Los picos de corriente dañan los equipos electrónicos, así como reducen su vida útil mientras generan fallos en los sistemas de control [17].

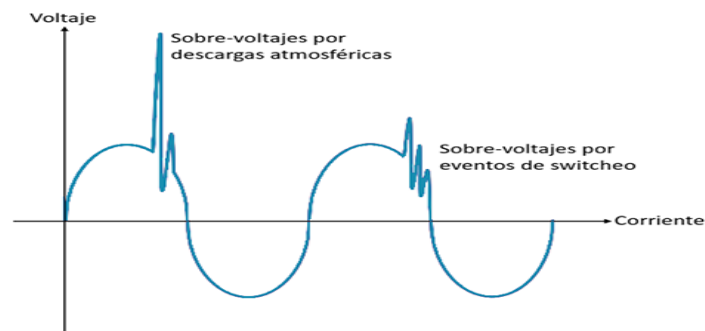


Figura 4. Picos de corrientes [18].

3.2. Impacto de la baja calidad de energía en equipos y sistemas eléctricos

En una sociedad cada vez más dependiente de la tecnología, los efectos de una baja calidad de energía son capaces de ser devastadores tanto a nivel económico como operacional por lo que se necesita que el suministro de energía eléctrica sea constante y libre de perturbaciones que afecten la operación de equipos industriales, comerciales, y académicos. Sin embargo, diversos factores como fluctuaciones de voltaje, armónicos, picos de corriente y caídas de tensión que deterioran la calidad de energía, poseen la capacidad de generar un impacto en los sistemas eléctricos y los equipos conectados [19].

La baja calidad de energía eléctrica se refiere a cualquier alteración o desviación en los parámetros estándar del suministro eléctrico, como el voltaje, la corriente y la frecuencia, que afecta el rendimiento normal de los equipos y sistemas eléctricos donde estas alteraciones que incluyen fluctuaciones de voltaje, armónicos, caídas de tensión, picos de corriente, y distorsiones en la forma de onda de la energía proporcionan una calidad de energía deficiente que no solo interrumpe las operaciones diarias de equipos y sistemas, sino que también es capaz de provocar daños permanentes en ellos como el afectar así su fiabilidad y vida útil [20].

Los equipos eléctricos y electrónicos están diseñados para operar dentro de ciertos rangos de voltaje, corriente y frecuencia por lo que cualquier desviación fuera de estos rangos es capaz de causar una serie de problemas que afectan la integridad de los equipos donde los efectos más comunes de la baja calidad de energía en los equipos electrónicos como computadoras, sistemas de comunicación, laboratorios de alta tecnología, y dispositivos industriales que son especialmente sensibles a las fluctuaciones de voltaje y los armónicos lleguen a sufrir de sobrecalentamiento, fallos en los circuitos internos o incluso daños irreparables [21].

Los armónicos, que son distorsiones en la forma de onda de la corriente ocasionan una sobrecarga en los transformadores y otros componentes, lo que provoca un mal funcionamiento o incluso la destrucción de los equipos. Cuando los equipos reciben un suministro eléctrico con baja calidad, estos operan de manera menos eficiente. Por ejemplo, los motores eléctricos que experimentan fluctuaciones en el voltaje no funcionan a su máxima capacidad, lo que aumenta el consumo de energía y reduce la eficiencia general que incrementa los costos operativos, mientras se afecta la productividad de las operaciones que dependen de estos equipos [22].

La baja calidad de energía acorta la vida útil de los equipos eléctricos ya que las fluctuaciones de voltaje frecuentes o los picos de corriente causan un desgaste acelerado de los componentes internos de los dispositivos, especialmente aquellos que utilizan circuitos electrónicos sensibles donde el desgaste prematuro de los equipos resulta en la necesidad de realizar reparaciones más frecuentes o incluso el reemplazar los equipos antes de lo esperado que genera costos adicionales tanto en mantenimiento como en reemplazos [23].

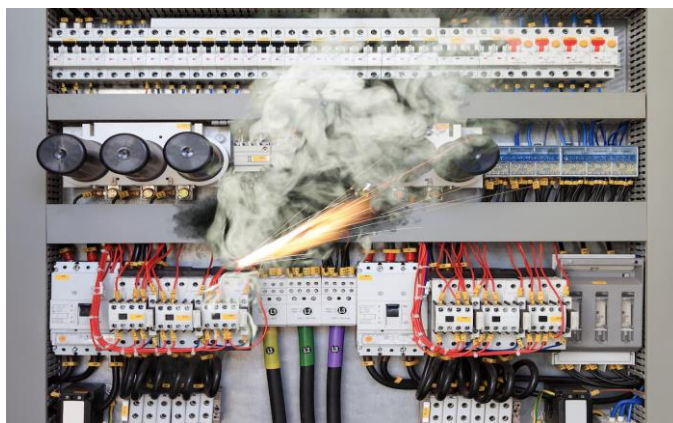


Figura 5. Problemas de una mala calidad de energía [24].

En ambientes industriales y de manufactura, las fallas de calidad de energía causan interrupciones en la producción pues los equipos de control automático y los sistemas de producción que dependen de un suministro eléctrico estable llegan a experimentar fallos intermitentes debido a las fluctuaciones de voltaje, lo que interrumpe el flujo normal de las operaciones. Las paradas inesperadas no solo afectan la producción, sino que también aumentan los tiempos de inactividad, lo que afecta directamente la eficiencia operativa y las ganancias de las empresas [25].

No solo los equipos individuales se ven afectados por la baja calidad de energía, sino que también los sistemas eléctricos completos experimentan problemas graves, ya que estos sistemas están diseñados para gestionar grandes cargas y distribuir energía de manera eficiente donde las perturbaciones en la calidad de energía afectan la estabilidad general del sistema, lo que conlleva a consecuencias de gran alcance [26].

En situaciones extremas, los problemas de calidad de energía con lleva a interrupciones en el suministro eléctrico donde los cortes de energía llegan a ser parciales o totales, por lo que afectan tanto a equipos industriales como a áreas residenciales o comerciales pues las interrupciones en el suministro eléctrico afectan directamente a la productividad y la eficiencia operativa de las organizaciones, causando pérdidas económicas como un mal funcionamiento general de los sistemas [27].

La baja calidad de energía eléctrica tiene un impacto profundo y negativo tanto para los equipos y sistemas eléctricos, ya que provoca daños, reducciones en la eficiencia operativa, y una disminución en la vida útil de los equipos. Además, las perturbaciones en la energía eléctrica genera sobrecargas en la infraestructura, interrupciones en la producción, y pérdidas económicas por lo que es esencial que las organizaciones y las instituciones adopten medidas para mantener un suministro eléctrico estable y de alta

calidad donde la implementación de tecnologías de medición avanzadas y la adopción de prácticas de mantenimiento preventivo destacan para mitigar los riesgos asociados con la baja calidad de energía a largo plazo [28].

3.3. Tecnologías de medición de calidad de energía

Para evaluar y solucionar los problemas de calidad de energía, existen diversas tecnologías de medición que permiten monitorear los parámetros eléctricos en tiempo real y generar datos útiles para tanto para el análisis como la mejora del sistema. Los analizadores de calidad de energía son dispositivos especializados que miden una amplia gama de parámetros eléctricos, como voltaje, corriente, frecuencia, armónicos, distorsión de la onda de voltaje y otros factores relacionados con la calidad de la energía [29].



Figura 6. Analizadores de calidad eléctrica [30].

Los dispositivos se conectan al sistema eléctrico y proporcionan lecturas precisas y continuas que permiten detectar y analizar problemas de calidad de energía. Los analizadores modernos cuentan con la capacidad de registrar datos durante largos períodos, lo que facilita la identificación de patrones de irregularidades y la realización de diagnósticos completos del sistema [31].

Los registradores de datos son dispositivos más simples que almacenan información relacionada con los parámetros eléctricos durante un período específico pero estos dispositivos son útiles para realizar un seguimiento de las fluctuaciones y variaciones en la calidad de la energía a lo largo del tiempo. Aunque no tienen la misma capacidad de análisis en tiempo real que los analizadores de calidad de energía, los registradores de datos son herramientas efectivas para obtener una visión general de la calidad de energía y para detectar problemas recurrentes o intermitentes [32].



Figura 7. Registrador de potencia y energía [33].

El monitoreo de armónicos es una de las medidas clave para evaluar la calidad de la energía pues los armónicos son causados por equipos electrónicos no lineales, como variadores de velocidad y fuentes de alimentación conmutadas. Los monitores de armónicos son dispositivos especializados que detectan y miden los armónicos presentes en la red eléctrica, ayudando a identificar sus causas y a cuantificar su impacto en el sistema pues estos dispositivos son útiles para dimensionar los filtros necesarios con el fin de reducir la distorsión armónica y mejorar la calidad de energía [34].

Los sistemas de monitoreo en tiempo real permiten la vigilancia continua de los parámetros eléctricos mediante una red de sensores conectados a dispositivos de monitoreo centralizados para sistemas que están diseñados para ofrecer alertas automáticas en caso de que se detecten irregularidades en la calidad de la energía. La tecnología es especialmente útil en entornos industriales o comerciales donde es esencial mantener un suministro de energía constante para evitar interrupciones en la producción o en la operación de sistemas críticos [35].

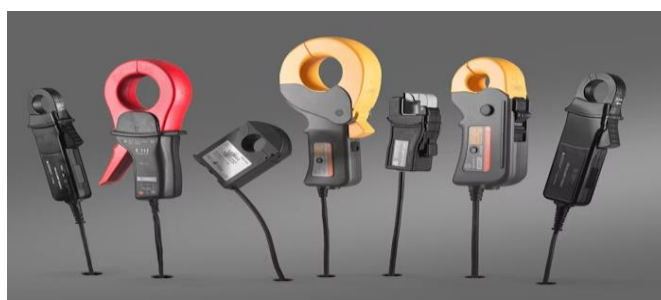


Figura 8. Sensores de voltaje y corriente [36].

Los sensores de voltaje y corriente son componentes necesarios en el monitoreo de la calidad de la energía, ya que estos sensores miden los valores de voltaje y corriente en diferentes puntos del sistema eléctrico, permitiendo detectar problemas como fluctuaciones de voltaje o desbalances de corriente. Los datos recogidos por estos sensores se envían a dispositivos de análisis para su evaluación donde la implementación de tecnologías avanzadas de medición de calidad de energía

proporciona varios beneficios tanto a nivel económico como operativo. Entre los principales beneficios se incluyen:

Tabla 1. Beneficios

Beneficio	Descripción
Prevención de Daños a Equipos	Medir y detectar irregularidades en la calidad de la energía permite prevenir daños en equipos sensibles, al identificar problemas antes de que afecten su funcionamiento.
Mejora en la Eficiencia Operativa	Un suministro eléctrico estable y de buena calidad contribuye a una mayor eficiencia en la operación de los sistemas eléctricos, lo que resulta en una reducción de costos operativos a largo plazo.
Reducción de Costos de Mantenimiento	Al identificar y corregir problemas de calidad de energía antes de que causen fallos graves, se logra reducir los costos de mantenimiento y reemplazo de equipos dañados
Cumplimiento de Normativas	Las tecnologías de medición de calidad de energía también ayudan a las empresas e instituciones a cumplir con las normativas locales e internacionales relacionadas con la calidad de la energía, como la regulación CONELEC 005/18 en Ecuador

Fuente: Elaboración propia

3.4. Análisis de carga eléctrica y distribución de energía

El análisis de carga eléctrica y distribución de energía es un aspecto primordial en el diseño y operación de sistemas eléctricos ya que análisis tiene como objetivo lograr que los recursos energéticos sean utilizados de manera eficiente y segura, para maximizar el rendimiento del sistema eléctrico y minimizar las pérdidas de energía. La carga eléctrica se refiere a la cantidad de electricidad demandada por los dispositivos y equipos conectados a la red los cuales son de diferentes tipos como resistivas, inductivas o capacitivas [37].

Las diferentes características según el uso de la energía son las cargas resistivas, como los calefactores eléctricos, que convierten la energía eléctrica directamente en calor; las cargas inductivas, como los motores que almacenan energía en campos magnéticos y las cargas capacitivas como los condensadores. El análisis de carga eléctrica involucra la evaluación de la magnitud de la carga, su distribución a lo largo de la red, y el perfil temporal de la demanda [38].

El comportamiento de la carga varía durante el día y a lo largo de las estaciones del año, lo que plantea un desafío importante para las empresas de distribución eléctrica ya que deben prever estas variaciones y asegurar que la oferta de energía se ajuste a la demanda

en todo momento donde la distribución de energía que es el proceso de transporte de la electricidad desde las plantas generadoras hasta los consumidores finales a través de una red de cables, transformadores y equipos de control debe ser capaz de manejar la carga de manera eficiente, lo que implica tanto el dimensionamiento adecuado de los equipos de distribución como la implementación de técnicas para reducir las pérdidas de energía durante el proceso de distribución [39].

Uno de los principales desafíos en la distribución de energía es mantener un equilibrio entre la oferta y la demanda de electricidad en tiempo real ya que la red eléctrica debe ser capaz de adaptarse a los picos de demanda, especialmente en horas de máxima utilización, como en las tardes calurosas de verano, cuando el uso de aire acondicionado es elevado. Además, deben gestionarse las fluctuaciones en la producción de energía, como aquellas derivadas de fuentes renovables, que no siempre son constantes, como la energía solar o eólica [40].

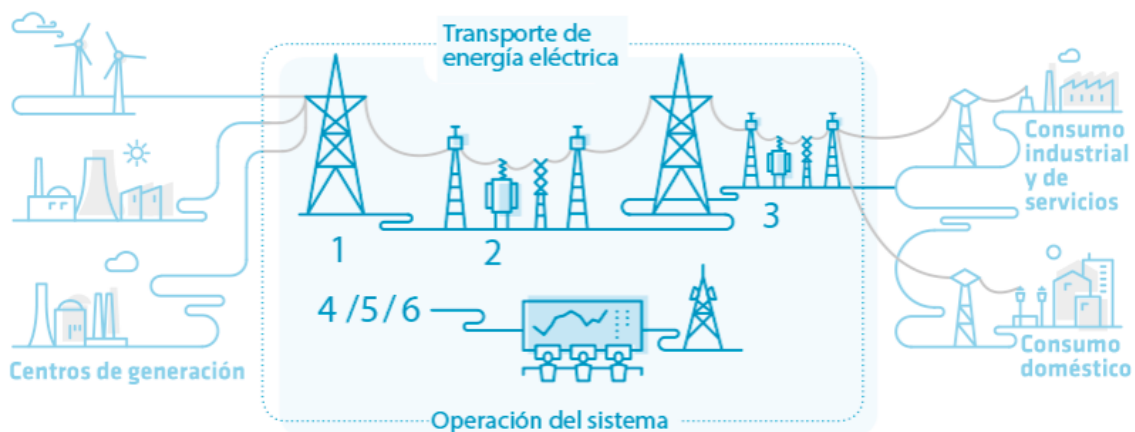


Figura 9. Transmisión y distribución de la red eléctrica [41].

Existen diversas técnicas para gestionar la distribución de energía, como el uso de transformadores y subestaciones para reducir o aumentar el voltaje de la electricidad según las necesidades de la carga, así como también se implementan sistemas de control y automatización para mejorar tanto la fiabilidad como eficiencia del sistema donde el análisis de carga en tiempo real y las tecnologías de medición avanzada permiten realizar ajustes dinámicos en la distribución de energía, reduciendo las pérdidas y aumentando la estabilidad de la red [42].

El análisis de carga eléctrica es un proceso técnico que se realiza para evaluar cómo la carga influye en la operación del sistema eléctrico. Uno de los métodos más utilizados es el análisis de flujo de carga, que estudia cómo la energía se distribuye a través de la red

eléctrica y cómo los voltajes junto a las corrientes varían en diferentes puntos del sistema el cual es crucial para identificar cuellos de botella, pérdidas excesivas de energía y puntos de falla potenciales [43].

Otro método importante es el análisis de cortocircuitos, que permite simular las condiciones de falla en el sistema y evaluar la capacidad de protección de la red. A través de estas simulaciones, los ingenieros logran dimensionar adecuadamente los interruptores y disyuntores para evitar daños a la infraestructura de distribución. Adicionalmente, la simulación de la demanda a lo largo del tiempo es importante para prever las variaciones en la carga donde utilizando datos históricos de consumo y modelos predictivos, se logra estimar la demanda futura de energía y tomar decisiones informadas sobre la expansión o mejora de la infraestructura eléctrica [44].

El análisis de carga eléctrica y la distribución de energía son esenciales para mantener el buen funcionamiento de los sistemas eléctricos donde estos procesos permiten no solo asegurar que se satisfaga la demanda de energía de manera eficiente, sino que también se identifique y mitigue posibles riesgos o fallos en la infraestructura. La implementación de nuevas tecnologías, como el análisis en tiempo real, la automatización de la red y los sistemas de almacenamiento de energía, promete mejorar la eficiencia y fiabilidad del sistema eléctrico en el futuro [45].

3.5. Problemas comunes de calidad de energía en infraestructuras académicas

La calidad de la energía es un factor determinante dentro de cualquier infraestructura, especialmente en las académicas, donde se realizan actividades que requieren un uso intensivo de tecnología, tanto en aulas como en laboratorios, bibliotecas y oficinas. La energía eléctrica debe ser estable, limpia y constante para asegurar el rendimiento de los sistemas tecnológicos, la seguridad de los equipos y el bienestar de los usuarios. No obstante, muchas infraestructuras académicas enfrentan problemas relacionados con la calidad de la energía, lo que genera inconvenientes tanto en el proceso educativo como en la operación institucional [46].

Las fluctuaciones de voltaje son variaciones en el suministro eléctrico que son repentinas y significativas donde en las infraestructuras académicas, estas fluctuaciones llegan a ser provocadas por la sobrecarga de la red, el uso inadecuado de equipos o incluso por la infraestructura eléctrica vieja. Un voltaje demasiado bajo provoca un rendimiento deficiente de equipos electrónicos como computadoras y proyectores, mientras que un

voltaje demasiado alto es capaz de dañarlos permanentemente lo cual afectan la continuidad del aprendizaje y el trabajo administrativo, y generan costos adicionales para las instituciones educativas [47].

Los cortes de energía, aunque no son tan comunes llegan tener efectos devastadores en las infraestructuras académicas pues una interrupción afecta tanto a las actividades académicas como a las administrativas, así como a los sistemas informáticos y las bases de datos que se interrumpen, lo que genera pérdida de información. En los laboratorios, los experimentos quedan incompletos, y el equipo costoso puede dañarse si no se apaga correctamente donde estas interrupciones de energía son causadas por fallos en la red eléctrica, daños en las líneas de transmisión o problemas internos de la infraestructura eléctrica del edificio [48].

La armonización de frecuencia se refiere a la presencia de frecuencias no deseadas en el sistema eléctrico, que genera interferencias y distorsiones en los equipos electrónicos que son el resultado de una variedad de factores, incluidos los equipos con motores o sistemas que provocan armónicos. En las instituciones académicas, esto afecta especialmente a los equipos de tecnología avanzada, como servidores, computadoras de alto rendimiento y otros dispositivos sensibles a las fluctuaciones de frecuencia, además la distorsión armónica también causa una pérdida de eficiencia energética y aumentar el costo de operación de los sistemas eléctricos [49].

El ruido eléctrico es otro problema de calidad que afecta tanto a equipos electrónicos como a la infraestructura general el cual hace referencia a las interferencias que se producen cuando señales no deseadas afectan el flujo de energía eléctrica. Los ruidos llegan a provenir de dispositivos como generadores, transformadores y otros equipos que no están adecuadamente aislados o que funcionan en condiciones inadecuadas. En las infraestructuras académicas, esto interfiere en el funcionamiento de computadoras, sistemas de comunicación e incluso en equipos de laboratorio que requieren señales eléctricas estables [50].

Los picos de voltaje son aumentos repentinos y de corta duración en el nivel de voltaje, los cuales son causados por rayos, desconexión de cargas grandes o fallos en la red eléctrica donde los picos dañan los equipos electrónicos sensibles, como computadoras, proyectores, sistemas de almacenamiento de datos y otros equipos utilizados en las instituciones educativas pues estos picos llegan a destruir circuitos internos, causar la

pérdida de datos o incluso destruir equipos costosos que son necesarios para las actividades académicas [51].

La sobrecarga de los circuitos eléctricos es otro problema frecuente en las infraestructuras académicas, especialmente en aquellas con instalaciones más antiguas o con una gran demanda de energía. Las universidades y colegios suelen contar con numerosos dispositivos eléctricos en uso simultáneo, como computadoras, proyectores, equipos de laboratorio y sistemas de calefacción o refrigeración y cuando el consumo de energía excede la capacidad de los circuitos eléctricos, llega haber un sobrecalentamiento que genera fallos en los sistemas eléctricos o, en el peor de los casos, incendios [52].

Una conexión a tierra deficiente o mal realizada representa un riesgo en la infraestructura eléctrica de las instituciones académicas, ya que los problemas en la conexión a tierra son capaces de ocasionar fugas de corriente, lo que pone en peligro tanto a las personas como a los equipos electrónicos. En ambientes académicos, donde se manejan dispositivos costosos y sensibles, los problemas de conexión a tierra genera daños y malfuncionamientos, además de representar un riesgo de descargas eléctricas [53].

3.6. Metodología para el análisis de calidad de energía

El primer paso en cualquier estudio sobre la calidad de la energía es establecer claramente el objetivo del análisis donde este objetivo varía según el tipo de instalación o el problema específico que se desea abordar, en una infraestructura académica donde el objetivo es alcanzar un suministro eléctrico estable para los equipos informáticos y sistemas de comunicación. El objetivo de este análisis también incluye la evaluación de la eficiencia energética, la reducción de pérdidas de energía, la mejora de la estabilidad del suministro o la identificación de equipos que generan perturbaciones con el objetivo definido se determina los parámetros que se medirán y las técnicas de análisis que se emplearán [31].

Una vez que se ha establecido el objetivo del análisis, el siguiente paso es la medición de los parámetros eléctricos relevantes ya que la calidad de la energía abarca varios factores, como la tensión, la corriente, la frecuencia, las distorsiones armónicas, los picos de voltaje y las fluctuaciones, para medir estos parámetros, se utilizan equipos especializados conocidos como analizadores de calidad de energía [9].

Entre los parámetros más importantes que se deben medir se incluyen:

Tabla 2. Parámetros importantes

Parámetro	Descripción
Voltaje	Variaciones en el nivel de voltaje (subidas o caídas de tensión) son indicadores clave de problemas de calidad de energía
Corriente	Se deben medir tanto las corrientes de línea como las corrientes de los dispositivos para identificar posibles desbalances o perturbaciones.
Frecuencia	Las desviaciones en la frecuencia afectan a equipos sensibles como los generadores o motores sincrónicos.
Armónicos	Las distorsiones armónicas causadas por cargas no lineales dañan equipos y afecta el rendimiento de los sistemas eléctricos.
Picos y caídas de tensión	Son eventos transitorios que logran tener efectos adversos, especialmente en equipos sensibles.

Fuente: Barzola [20]

Los analizadores de calidad de energía proporcionan información detallada sobre estos parámetros y permiten registrar los eventos a lo largo del tiempo, lo que facilita el diagnóstico de problemas, ya que, una vez recolectados los datos, es necesario realizar un análisis detallado de la información. El análisis de calidad de energía implicar varias técnicas, que dependen de la naturaleza de los problemas que se buscan identificar [54].

Tabla 3. Técnicas de análisis de calidad de energía

Técnicas	Descripción
Análisis de tendencias	Examina cómo los parámetros medidos (como voltaje y frecuencia) cambian con el tiempo. Lo que permite identificar patrones repetitivos o fluctuaciones en el suministro de energía
Análisis de eventos transitorios	Identificar y analizar eventos repentinos como picos o caídas de tensión que han ocurrido durante el período de medición. Esto se hace mediante la comparación de los datos de los analizadores con registros históricos.
Detección de distorsión armónica	Medir la presencia de armónicos es importante, ya que las distorsiones armónicas afectan gravemente a equipos como servidores, computadoras, motores eléctricos y equipos de comunicación.
Análisis de equilibrio de fases	En sistemas trifásicos, es importante asegurar que las tres fases estén equilibradas pues si existe un desequilibrio de fases se genera sobrecargas y pérdidas de eficiencia.

Fuente: Azogue [37]

Los datos recolectados deben ser procesados para determinar si las variaciones en los parámetros de la energía eléctrica están dentro de los límites aceptables o si se trata de perturbaciones que necesitan corrección. Una parte esencial de la metodología de análisis

es la comparación de los resultados obtenidos con los estándares y normativas internacionales de calidad de la energía en los que existen diversas normativas que establecen límites aceptables para los parámetros eléctricos [3].

Entre las más conocidas se encuentran:

- **IEC 61000-4-30:** Esta norma establece las medidas y los métodos para evaluar la calidad de la energía, especialmente las perturbaciones en sistemas de distribución eléctrica.
- **IEEE 519:** Esta norma se centra en los límites de distorsión armónica para sistemas eléctricos y la tolerancia de los equipos a estos armónicos.
- **Normas locales:** ARCONEL 005/18 Y ARCERNR 003/23.

La comparación de los datos obtenidos con estos estándares es necesaria para determinar si los problemas de calidad de energía están dentro de los límites permitidos o si es necesario implementar medidas correctivas. Ya que una vez que se han identificado las perturbaciones o anomalías en la calidad de la energía, es necesario realizar un análisis para determinar las causas que son la raíz de los problemas [31].

Tabla 4. Medidas correctivas

Medida	Descripción
Identificación de cargas problemáticas	Los equipos o sistemas que generan distorsiones armónicas o que son responsables de picos de voltaje deben ser localizados y evaluados.
Condiciones de la infraestructura eléctrica	Las instalaciones de cableado, transformadores y sistemas de protección pueden estar deterioradas o desactualizadas, lo que puede afectar la calidad de la energía.
Interferencias externas	Factores externos como la fluctuación en la red de suministro, rayos o fallos en el sistema eléctrico de la red pública también pueden ser responsables de problemas de calidad de energía.

Fuente: Camarena [19]

El último paso en la metodología de análisis es la implementación de soluciones correctivas las cuales, dependiendo de los resultados del análisis, las soluciones llegan a incluir:

- **Instalación de equipos de protección:** Como estabilizadores de voltaje, filtros de armónicos o sistemas UPS (Uninterruptible Power Supply).
- **Mejoras en la infraestructura eléctrica:** Reemplazo de cables viejos, mejora de la conexión a tierra y actualización de transformadores o interruptores.

- **Modificación de cargas:** En algunos casos, cambiar el tipo de equipo o reorganizar las cargas para equilibrar mejor el sistema eléctrico logra mejorar la calidad de la energía [19].

La metodología para el análisis de calidad de energía es un proceso sistemático y riguroso que permite identificar, medir y corregir los problemas que afectan el suministro eléctrico ya que, al seguir una serie de pasos estructurados, desde la medición de parámetros hasta la implementación de soluciones correctivas, las organizaciones alcanzan una energía de alta calidad que asegure el funcionamiento adecuado de equipos y sistemas. Con el uso adecuado de herramientas tecnológicas y el cumplimiento de normativas, es posible minimizar los impactos negativos tanto de las perturbaciones eléctricas como mantener un entorno seguro.

3.7. Soluciones técnicas y mejoras para optimizar la calidad de energía

Para optimizar la calidad de la energía, es importante implementar soluciones técnicas adecuadas que ayuden a mitigar los problemas, así como mejorar la fiabilidad y estabilidad del suministro. A continuación, se detallan algunas de las soluciones y mejoras más eficaces para optimizar la calidad de la energía eléctrica en infraestructuras industriales, comerciales y académicas.

3.7.1. Estabilizadores de Voltaje

Los estabilizadores de voltaje son dispositivos diseñados para mantener un nivel de voltaje constante y dentro de los rangos aceptables, incluso cuando se producen fluctuaciones o caídas en la red eléctrica en la que estos dispositivos son esenciales para proteger los equipos electrónicos sensibles, como computadoras, servidores, equipos de laboratorio y otros dispositivos de alto rendimiento [55].



Figura 10. Estabilizador [55].

Tabla 5. Beneficios y aplicaciones de un estabilizador

Beneficios:	Aplicaciones:
Mantienen el voltaje en niveles estables, evitando daños por picos o caídas.	Se utilizan principalmente en entornos donde los equipos electrónicos dependen de un suministro estable de energía, como en oficinas, laboratorios y centros de datos.
Mejoran la eficiencia energética, reduciendo el desgaste prematuro de los equipos.	
Protegen contra la pérdida de datos o fallos del sistema en caso de fluctuaciones.	

Fuente: Todosai [55]

3.7.2. Fuentes de Alimentación Ininterrumpida (UPS)

Las fuentes de alimentación ininterrumpida (UPS) son dispositivos que proporcionan energía de respaldo en caso de cortes de electricidad. Los cuales permiten que los equipos conectados continúen funcionando durante un tiempo determinado, lo que es especialmente útil para evitar pérdidas de datos o daños a los equipos electrónicos. Además, muchos sistemas UPS también protegen contra picos de tensión y fluctuaciones de voltaje [56].



Figura 11. UPS [56].

Tabla 6. Beneficios y aplicaciones de un UPS

Beneficios:	Aplicaciones:
<p>Ofrecen tiempo suficiente para apagar los equipos de forma segura durante un corte de energía.</p> <p>Protegen contra picos y caídas repentinas de voltaje.</p> <p>Mejoran la fiabilidad de los sistemas electrónicos en instalaciones críticas, como hospitales, universidades y centros de datos.</p>	<p>Son indispensables en infraestructuras donde la interrupción del suministro eléctrico pueda ocasionar grandes pérdidas económicas o operativas, como en centros educativos, empresas tecnológicas o plantas industriales.</p>

Fuente: Revistaseguridad360 [56]

3.7.3. Filtros de Armónicos

Los filtros de armónicos se utilizan para mitigar, al reducir o eliminar las frecuencias no deseadas en la red eléctrica. Los filtros llegan a ser activos o pasivos, dependiendo de las necesidades de la instalación [57].



Figura 12. Filtro de armónicos [57].

Tabla 7. Beneficios y aplicaciones de un filtro de armónicos

Beneficios:	Aplicaciones:
Reducen la distorsión armónica en el sistema eléctrico.	Son especialmente útiles en instalaciones industriales y comerciales donde se utilizan equipos no lineales, como variadores de velocidad, hornos eléctricos, o sistemas de refrigeración.
Mejoran la eficiencia de los equipos, reduciendo las pérdidas de energía.	
Protegen los equipos electrónicos y eléctricos de daños causados por armónicos.	

Fuente: Igoenergy [57].

3.7.4. Transformadores de Aislamiento

Los transformadores de aislamiento son dispositivos que separan los circuitos de entrada y salida, proporcionando una barrera física entre el suministro eléctrico y los equipos que ayuda a reducir la propagación de ruidos eléctricos, picos de tensión y otras perturbaciones en la red. Además, ofrecen protección contra descargas eléctricas y daños causados por variaciones en el suministro [58].



Figura 13. Transformadores de Aislamiento [58].

Tabla 8. Beneficios y aplicaciones de un transformador de aislamiento

Beneficios:	Aplicaciones:
Mejorar la calidad de la energía, reduciendo el impacto de perturbaciones eléctricas como los picos de tensión y el ruido.	Se utilizan en sistemas donde se requiere una protección adicional, como en hospitales, centros de investigación y laboratorios, así como en instalaciones que dependen de equipos electrónicos de alta precisión.
Protegen a los equipos sensibles de posibles daños por sobretensiones o cortocircuitos.	
Aislar los equipos electrónicos de las fluctuaciones de la red eléctrica.	

Fuente: Audax [58].

3.7.5. Sistemas de monitoreo y control de la calidad de energía

El monitoreo continuo de la calidad de la energía es necesario para detectar y prevenir problemas antes de que causen daños. Los sistemas avanzados de monitoreo permiten registrar las variaciones en los parámetros eléctricos, como el voltaje, la frecuencia y los armónicos, para generar alertas cuando se superan los límites establecidos [59].

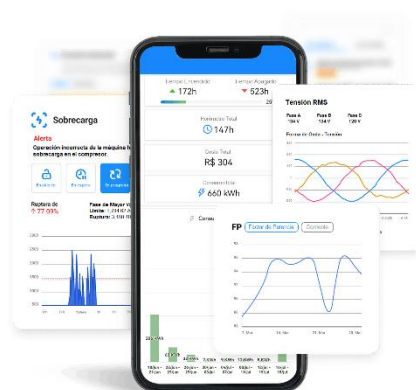


Figura 14. Sistemas de monitoreo [59].

Tabla 9. Beneficios y aplicaciones de un sistema de monitoreo

Beneficios:	Aplicaciones:
Permiten identificar problemas en tiempo real, lo que facilita la toma de decisiones rápidas para mitigar el impacto.	Son útiles en instalaciones industriales y comerciales de gran escala, así como en edificios educativos, donde la calidad de la energía es crucial para la operación continua de equipos.
Proporcionan datos detallados sobre las variaciones de la energía, lo que ayuda a identificar las causas subyacentes de los problemas.	
Mejoran la eficiencia operativa al optimizar el uso de energía y prevenir daños en los equipos.	

Fuente: TRACTIAN [59].

3.7.6. Mejoras en la Infraestructura Eléctrica

En muchos casos, los problemas de calidad de energía se deben a una infraestructura eléctrica obsoleta o inadecuada en donde mejorar la infraestructura eléctrica mediante el reemplazo de cables viejos junto con la mejora de las conexiones a tierra, así como la instalación de sistemas de protección y la actualización de transformadores junto con los paneles de distribución para ser una solución que optimizar la calidad de la energía.



Figura 15. Infraestructura eléctrica [60].

Tabla 10. Beneficios y aplicación de mejoras en la infraestructura

Beneficios:	Aplicaciones:
Asegura una distribución eléctrica más eficiente y confiable.	Se recomienda para instalaciones industriales antiguas, edificios comerciales o académicos que experimentan problemas de calidad de energía debido a su infraestructura eléctrica anticuada.
Reduce las pérdidas de energía y mejora la seguridad de la instalación.	
Prolonga la vida útil de los equipos al proporcionar una energía más estable y limpia.	

Fuente: Fluke [60]

La optimización de la calidad de la energía es vital para mantener un funcionamiento eficiente y seguro de los sistemas eléctricos donde las soluciones técnicas como estabilizadores de voltaje, UPS, filtros de armónicos, transformadores de aislamiento, sistemas de monitoreo y mejoras en la infraestructura eléctrica son herramientas importantes para abordar los problemas comunes de calidad de energía. Además, el implementar estas soluciones no solo protege los equipos y mejora la eficiencia, sino que también contribuye a la reducción de costos operativos y al bienestar general de las instalaciones [20].

3.8. Normativas y regulaciones sobre calidad de energía

En Ecuador, la calidad de la energía eléctrica está regida por un marco normativo diseñado para brindar un servicio eficiente, seguro y confiable para todos los consumidores. Uno de los pilares de este marco es la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, que establece las bases para la prestación del servicio público de electricidad, abarcando todos los aspectos relacionados con la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía. Además, esta ley promueve la eficiencia energética junto con el uso de fuentes renovables, alineándose con los objetivos de sostenibilidad del país [61].

Para complementar esta ley, se encuentra el Reglamento a la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, que especifica las disposiciones técnicas y operativas necesarias para asegurar que el servicio eléctrico cumpla con los estándares de calidad requeridos donde este reglamento define los parámetros técnicos que deben ser observados, los indicadores de calidad del servicio junto con los procedimientos de medición y evaluación que deben seguirse. Además, incluye las metodologías de control y monitoreo para asegurar que el suministro eléctrico sea estable y seguro [62].

Una de las normativas que destaca en este estudio es la Resolución sobre Calidad del Servicio de Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica, que establece los indicadores, índices y límites de calidad que las empresas eléctricas deben cumplir. Esta resolución también incluye los procedimientos para la medición y evaluación de la calidad del servicio de distribución y comercialización, lo que permite garantizar que los consumidores reciban un servicio adecuado y conforme a los estándares establecidos [5].

Entre los aspectos más relevantes que regulan la calidad de la energía eléctrica en Ecuador se encuentran los indicadores de calidad, como la continuidad del suministro, la tensión, la frecuencia, la distorsión armónica y los tiempos de respuesta ante interrupciones pues estos indicadores sirven para evaluar el desempeño del sistema eléctrico y la fiabilidad del servicio. Además, se establecen límites permisibles para cada uno de estos indicadores, con el fin de lograr un servicio confiable y adecuado para todos los usuarios.

Las empresas eléctricas tienen la responsabilidad de cumplir con estos estándares, realizar mediciones periódicas y tomar las medidas correctivas necesarias en caso de que se presenten desviaciones. Por su parte, los consumidores tienen el derecho a recibir un

servicio eléctrico de calidad y a presentar reclamos si no se cumplen las condiciones establecidas en la normativa [6].

3.8.1. ARCERNNR 003/23

La normativa regulatoria sobre la calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica incluye disposiciones sobre la regulación y penalización por bajo factor de potencia.

Estos fenómenos contribuyen a la creación de normativas que penalizan el consumo elevado de potencia reactiva. En Ecuador, esto se conoce como el cargo por bajo factor de potencia. Para evitar estas penalizaciones, las empresas distribuidoras implementan bancos de condensadores, lo que les permite reducir los recargos económicos y evitar sanciones [63].

3.8.2. Norma IEC 5552.

La normativa establece las condiciones relativas a las armónicas que deben cumplir las maquinarias cuyo consumo sea inferior a 16 Amperios por fase en redes de 220 V a 415 V. Esta regulación abarca equipos como computadoras y televisores. Los parámetros definidos por la normativa incluyen las cantidades (RMS) de cada armónica, su relación con la cantidad máxima permitida y el valor máximo superior [64].

3.8.3. Estándar IEEE 519.

Existe una preocupación significativa en relación con las cargas no lineales y su impacto en las corrientes armónicas. Todos los operadores de redes de consumo de energía tienen la responsabilidad de mantener niveles adecuados de tensión y forma de onda. La norma IEEE 519 aborda la amplitud de las corrientes armónicas en función de la red suministradora.

En cualquier lugar donde se presenten problemas debido al exceso de corriente armónica o variación de tensión, tanto el proveedor como el receptor de la energía deben abordar y resolver estas situaciones de manera obligatoria. El propósito de esta propuesta es sugerir medidas ante situaciones extremas de distorsión armónica, basándose en dos fundamentos Tabla 11 [64].

Tabla 11. Límites según la norma IEEE519 [64].

Límites de corriente Armónica para carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con otras cargas, para voltajes entre 120 – 69,000 volts.						
Máxima distorsión armónica impar de la corriente, en % del armónico fundamental						
ISC/IL	<11	11<=h<11	17<=h<23	23<=h35	35<h	TDD
<20	04.0	2.0	1.5	0.6	0.3	05.0
20<50	07.0	3.5	2.5	1.0	0.5	08.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

La norma IEEE 519 establece otros parámetros para evaluar la calidad de la energía eléctrica, uno de ellos es el Flicker de Tensión. Esta normativa incluye directrices específicas sobre la reducción de la tensión debida a usuarios individualizados Tabla 12 [65].

Tabla 12. Límites según la norma IEEE 519.

Voltaje de barra en el punto de acoplamiento común	Distorsión individual de tensión (%)	Distorsión total del voltaje THD (%)
Hasta 69 KV	3	5
De 69 KV a 137.9 KV	1.5	2.5
138 KV y más	1	1.5

Nota: Los sistemas de alto voltaje pueden llegar hasta un 2.0% en THD cuando lo que causa es un alto voltaje terminal DC, el cual podría ser atenuado.

3.8.4. Norma IEC 61000-3-2

La norma IEC 61000-3-2: 2006 + A1 + A2 se aplica a equipos eléctricos que reciben alimentación de la red con una tensión igual o superior a 220 V y una corriente de hasta 16 A (inclusive), con el objetivo de limitar la emisión de componentes armónicos. Esta norma excluye ciertos equipos en virtud de su alcance, tales como equipos con potencia nominal inferior a 75 W, a excepción de aquellos de clase C, equipos profesionales con potencia superior a 1 kW, elementos de calentamiento controlados simétricamente con una potencia de hasta 200 W, atenuadores independientes para luminarias incandescentes con potencia igual o inferior a 1 kW.

La norma EN 61000-3-2: 2006 + A1 + A2, que trata sobre compatibilidad electromagnética (EMC), específicamente en la parte 3-2 referente a límites para las emisiones de corriente armónica (con corriente de entrada del equipo ≤ 16 A por fase), se clasifica en distintas categorías [66].

La Clase A:

- Equipos trifásicos
- Electrodomésticos (excepto equipos de Clase D)
- Herramientas estacionarias fijas
- Equipos de atenuación diseñados para combinarse con lámparas incandescentes
- Otros equipos no clasificados como Clase B, Clase C o Clase D.

La Tabla 13 de la norma establece los límites permitidos para armónicos impares y pares, proporcionando así directrices para la conformidad de los equipos con los estándares especificados.

Tabla 13. Límites para los equipos clase A según la norma 61000-3-2 [66].

Orden armónico h	Corriente armónica máxima permitida (A)
Armónicos Impares	
3	2.30
5	1.14
7	0.77
9	0.40
11	0.33
13	0.21
15 ≤ h ≤ 39	0.25/h
Armónicos Pares	
2	1.08
4	0.43
6	0.30
8 ≤ h ≤ 40	1.84/h

Clase B:

- Comprende herramientas portátiles
- Equipos de soldadura por arco no profesionales.

Clase C:

- Equipos de iluminación.

Clase D:

- Equipos de tipo con una potencia igual o inferior a 600 W
- Los ordenadores personales dispositivos similares
- Receptores de televisión.

3.8.5. Límites de Distorsión Armónica en voltaje en % del voltaje nominal:

IEEE 519

Tabla 14. Límites de Distorsión Armónica en Voltaje en % del voltaje nominal según la IEEE 519.

Nivel de tensión en la acometida (Vn)	Distorsión Armónica Individual	Distorsión Armónica Total THD Vn
Vn < 69 k	3.00%	5.00%
69 kV < Vn < 161 kV	1.50%	2.50%
Vn > 161 kV	1.00%	1.50%

CONELEC 004/01

Tabla 15. Valores Límites de Armónicas De Voltaje [10].

ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA Y THD	TOLERANCIA V o THD (% respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V > 40 kV (otros puntos)	V < 40 kV (trafos de distribución)
Impares no múltiplos de 3		
5	2	6
7	2	5
11	1.5	3.5
13	1.5	3
17	1	2
19	1	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
>25	$0.1 + 0.6 \cdot 25/n$	$0.2 + 1.3 \cdot 25/n$
Impares múltiplos de 3		
3	1.5	5
9	1	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
>21	0.2	0.2

Pares		
2	1.5	2
4	1	1
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
>12	0.2	0.2
THD	3	8

4. METODOS Y PROCEDIMIENTOS

El presente proyecto tiene como objetivo realizar un análisis exhaustivo de la calidad de energía eléctrica en el Campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi donde este análisis tiene una alta relevancia debido a que una mala calidad de energía logra generar no solo pérdidas económicas por equipos dañados, sino que también afectar a la eficiencia operativa y el ambiente académico. El propósito de este proyecto es evaluar el sistema eléctrico del campus y proponer soluciones que mejoren su estabilidad y calidad, lo que redundará en una mejora de los servicios y la infraestructura de la universidad para lo cual se considera los siguientes aspectos:

- Evaluación de la calidad del suministro eléctrico: Identificar variaciones en la tensión, frecuencias y perturbaciones en la red que puedan afectar a los equipos y sistemas.
- Detección de posibles fallas o irregularidades: Analizar posibles fluctuaciones de voltaje, armónicos y transitorios que podrían estar afectando la operación de equipos sensibles.
- Propuesta de soluciones: Sugerir mejoras en la infraestructura eléctrica y en la gestión del consumo de energía para asegurar un suministro estable y confiable, evitando posibles daños a los equipos y sistemas de la universidad.

El alcance de este proyecto abarca el análisis de los parámetros eléctricos dentro del campus, incluyendo la medición de variables como voltaje, frecuencia, armónicos, transitorios y otras perturbaciones. Para ello, se emplearán equipos especializados de medición de calidad de energía en diversas ubicaciones clave del campus, tales como:

- Sistemas de suministro eléctrico en edificios académicos y administrativos.

- Laboratorios, auditorios y otros espacios de alto consumo.
- Áreas comunes y espacios exteriores.

Además, el proyecto incluirá una revisión de la infraestructura eléctrica existente (transformadores, paneles eléctricos, cableado, etc.) para identificar posibles puntos débiles o riesgos de sobrecarga. El análisis también considerará las condiciones de operación de los equipos informáticos, sistemas de telecomunicaciones y otros sistemas tecnológicos que requieren un suministro eléctrico de alta calidad. La Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), ubicada en la ciudad de Latacunga, es una de las instituciones académicas más importantes de la provincia. El Campus Salache, uno de sus principales campus, alberga una gran cantidad de aulas, laboratorios, auditorios y otros espacios esenciales para el desarrollo académico y administrativo.

En los últimos años, el uso de equipos electrónicos y tecnológicos ha aumentado, lo que implica una mayor demanda de energía eléctrica estable y de calidad para garantizar el funcionamiento adecuado de estos dispositivos. Sin embargo, los problemas de calidad de la energía llegan a ocasionar daños a los equipos, interrumpir las actividades académicas e incluso generar costos adicionales para la institución debido a la reparación o reposición de equipos dañados.

Este proyecto surge como respuesta a la necesidad de mejorar la confiabilidad del suministro eléctrico dentro del campus y garantizar la correcta operación de los sistemas eléctricos pues la calidad de energía no solo influye en la vida útil de los equipos, sino también en la eficiencia operativa y el bienestar de los estudiantes, docentes y personal administrativo, que dependen cada vez más de una infraestructura tecnológica avanzada.

4.1. Tipo de investigación:

4.1.1. Investigación Descriptiva

El tipo de investigación a aplicar es descriptivo, ya que se enfocará en caracterizar y analizar el comportamiento del sistema eléctrico en el Campus para lo cual se recopilarán datos sobre las condiciones de calidad de energía a lo largo del tiempo, abarcando variables como el voltaje, las fluctuaciones de frecuencia, armónicos, distorsiones y otros factores que afectan la calidad del suministro eléctrico. El análisis se basará en los datos históricos de la red eléctrica del campus, permitiendo así identificar patrones y problemas

recurrentes con el propósito de describir el estado actual del sistema eléctrico y comprender cómo los diferentes factores influyen en la calidad de la energía suministrada.

4.1.2. Investigación Diagnóstica

La investigación también tiene un enfoque diagnóstico, ya que busca identificar las causas subyacentes de los problemas de calidad de energía en el campus. A través de mediciones y análisis de campo, donde se recogerán datos sobre la infraestructura eléctrica existente, incluyendo transformadores, paneles de distribución, y equipos conectados al sistema. Se evaluarán las causas de las fluctuaciones o perturbaciones en la energía, tales como sobrecargas, variaciones en la red eléctrica, interferencias o problemas derivados de la infraestructura antigua o mal dimensionada. Los resultados de este diagnóstico permitirán identificar los factores que están afectando la calidad del suministro eléctrico y proporcionar una base sólida para la implementación de soluciones.

4.1.3. Investigación Aplicada

La investigación es aplicada, ya que los conocimientos técnicos obtenidos se utilizarán para implementar soluciones prácticas. A través de la recopilación y análisis de los datos de calidad de energía, se emplearán herramientas computacionales y algoritmos para procesar los datos lo que permitirá identificar las anomalías y prever posibles fallas a futuro. La metodología empleada incluirá el uso de programas especializados en análisis de calidad de energía y herramientas de simulación para evaluar la estabilidad y eficiencia del sistema eléctrico del campus. Además, se proponen medidas correctivas basadas en los resultados obtenidos, como la instalación de dispositivos estabilizadores de voltaje, filtros de armónicos y recomendaciones sobre el mantenimiento preventivo de la infraestructura eléctrica.

4.2. Método de investigación

4.2.1. Metodología de la Investigación Bibliográfica

La investigación bibliográfica desempeña un papel importante en el desarrollo de este proyecto, ya que proporciona el marco teórico necesario para comprender y analizar los conceptos clave relacionados con la calidad de energía eléctrica. La revisión de documentos físicos y digitales, como artículos científicos, libros especializados, tesis académicas y publicaciones en línea, permitirá una comprensión más profunda sobre los

aspectos técnicos involucrados en el análisis de la calidad de la energía, el uso de herramientas de medición, y las mejores prácticas en sistemas eléctricos.

Además, se investigará sobre el impacto de las fluctuaciones de energía y las perturbaciones en sistemas como el de la Universidad Técnica de Cotopaxi, así como los protocolos y normativas que regulan la calidad de energía en entornos educativos y urbanos donde este proceso ayudará a formular teorías, establecer hipótesis y realizar un análisis que guiará la identificación de soluciones prácticas para mejorar la calidad de energía en el campus.

4.2.2. Método Inductivo – Deductivo

El enfoque inductivo-deductivo se utilizará para analizar los datos recopilados y para construir las conclusiones y recomendaciones del estudio en la que este método combina la observación de datos específicos y el análisis general de las características del sistema eléctrico del campus, comenzando desde lo particular (medición y análisis de datos de calidad de energía) hacia una comprensión más general sobre los factores que afectan la calidad de la energía eléctrica en el campus.

A partir de los resultados obtenidos en el análisis descriptivo del sistema eléctrico y las perturbaciones en la red, se desarrollarán conclusiones generales que contribuirán al entendimiento de los problemas existentes. El enfoque deductivo se aplicará en la creación de recomendaciones basadas en las mejores prácticas documentadas en la literatura, y en las posibles soluciones que se llegan a implementar en el campus para mejorar la calidad de la energía. La comparación de las metodologías existentes y los algoritmos utilizados en otros estudios permitirá la formulación de estrategias específicas que optimicen el rendimiento del sistema eléctrico en el campus.

4.3. Variables

4.3.1. Variables Dependientes

Las variables dependientes son aquellas que se ven afectadas por las condiciones o factores de las variables independientes. En este caso, son las variables que se miden para evaluar la calidad de la energía en el campus Salache. Algunas de estas variables incluyen:

- **Calidad de la energía eléctrica:**

Es la variable principal que se estudia en el proyecto. Se refiere a las características de la energía eléctrica que son esenciales para el funcionamiento adecuado de los equipos eléctricos, sin causar fallas o daños. Esta calidad se mide a través de parámetros como:

- **Frecuencia:** Variaciones en la frecuencia de la red eléctrica.
- **Tensión o Voltaje:** Niveles de voltaje que deben mantenerse dentro de un rango específico para evitar problemas.
- **Harmónicos:** La presencia de ondas de alta frecuencia en la señal eléctrica que pueden interferir con el equipo eléctrico.
- **Interrupciones o Cortes de energía:** La cantidad y duración de las interrupciones en el suministro eléctrico.

- **Impacto de perturbaciones en el equipo eléctrico:**

Las fluctuaciones o perturbaciones en la energía eléctrica, como picos de voltaje o caídas, pueden afectar el funcionamiento de los dispositivos eléctricos en el campus. Esta variable mide cómo las perturbaciones influyen en el desempeño de los equipos eléctricos utilizados en el campus, como computadoras, sistemas de climatización, y equipos de laboratorio.

- **Satisfacción del usuario con la calidad de la energía:**

Esta variable mide cómo los usuarios (estudiantes, docentes y personal administrativo) perciben la calidad de la energía en su entorno. La satisfacción puede estar influenciada por la cantidad de cortes de energía, fluctuaciones de voltaje, o problemas de funcionamiento derivados de una baja calidad energética.

4.3.2. Variables Independientes

Las variables independientes son aquellas que afectan o influyen sobre las variables dependientes. En este estudio, las variables independientes se refieren a los factores que pueden modificar la calidad de la energía en el campus Salache, y se centran principalmente en las condiciones del sistema de suministro eléctrico y las prácticas de mantenimiento y operación. Algunas de estas variables incluyen:

- **Estado de la infraestructura eléctrica:**

Se refiere a las condiciones físicas y operativas de los sistemas eléctricos en el campus, incluyendo transformadores, cables, interruptores, y dispositivos de protección. Una infraestructura en mal estado puede generar fluctuaciones de voltaje y cortes frecuentes, lo que afectará la calidad de la energía. Ejemplo de medición: Inspecciones regulares, mantenimiento preventivo, y análisis de la vida útil de los equipos.

- **Carga demandada en el sistema eléctrico:**

La cantidad de energía que se solicita del sistema eléctrico en diferentes momentos del día. La alta demanda de energía puede generar fluctuaciones en el voltaje, especialmente si el sistema no está dimensionado correctamente para soportar estos picos de carga. Ejemplo de medición: Registros de consumo eléctrico en términos de kilovatios hora (kWh) y análisis de picos de demanda.

- **Prácticas de mantenimiento y control del sistema eléctrico:**

Las actividades relacionadas con el mantenimiento preventivo y correctivo del sistema eléctrico. El mantenimiento adecuado ayuda a evitar fallas y a garantizar la estabilidad de la calidad de la energía. Ejemplo de medición: Frecuencia de mantenimiento realizado, tiempos de respuesta a fallas y calidad de los materiales utilizados en las reparaciones.

- **Condiciones climáticas:**

Las variaciones climáticas, como tormentas o cambios de temperatura extremos, pueden afectar el sistema eléctrico, provocando caídas de tensión o cortes. Este factor está fuera del control directo de los operadores del sistema, pero puede influir significativamente en la calidad de la energía. Ejemplo de medición: Registro de condiciones meteorológicas extremas (tormentas, lluvias intensas) y su correlación con interrupciones de energía.

- **Comportamiento de los equipos eléctricos conectados:**

El tipo y la cantidad de equipos eléctricos conectados al sistema, y su comportamiento durante el uso, como dispositivos electrónicos, maquinaria pesada o sistemas de climatización, que pueden generar fluctuaciones o consumir más energía de lo previsto. Ejemplo de medición: Análisis del consumo de energía de los equipos eléctricos en diferentes momentos del día y correlación con las fluctuaciones de energía.

4.4. Técnicas e instrumentos

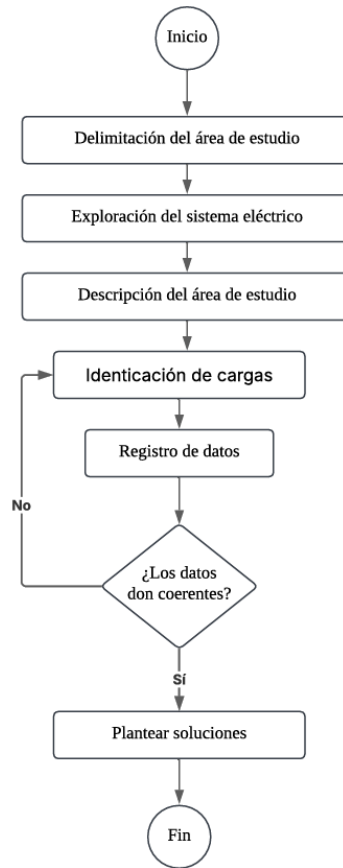


Figura 16. Proceso de la elaboración del esquema unifilar

El proyecto se desarrollará en tres etapas principales:

Fase 1: Diagnóstico y Recolección de Datos. Se realizarán mediciones de los parámetros de calidad de energía en diferentes puntos estratégicos del campus utilizando el equipo SUIN SA2100 (anализador de calidad de energía) para recopilar los datos sobre tensiones, frecuencia, armónicos, distorsiones y otros factores que afectan la calidad de energía.

Fase 2: Análisis de los Datos. Los datos recopilados serán procesados y analizados para identificar patrones, anomalías y posibles problemas, lo que permitirá detectar las áreas del campus donde los problemas de calidad de energía son más característicos.

Fase 3: Propuesta de Soluciones. Con base en los resultados obtenidos, se elaborará un informe con recomendaciones sobre las soluciones más viables para mejorar la calidad de la energía en el campus, el cual puede llegar a incluir la instalación de filtros, estabilizadores de voltaje, mejoras en la infraestructura eléctrica, o incluso ajustes en los hábitos de consumo energético.

Al finalizar el proyecto, se espera obtener los siguientes resultados:

- Identificación de las causas de los problemas de calidad de energía en el campus.
- Recomendaciones claras y viables para mejorar la infraestructura eléctrica y la gestión de la energía.
- Implementación de medidas correctivas que aseguren un suministro eléctrico más estable y fiable, reduciendo las incidencias de fallos en equipos y sistemas.
- Concientización y formación para el personal técnico y administrativo sobre la importancia de la calidad de energía y su impacto en el funcionamiento del campus.

La implementación de este proyecto tendrá un impacto positivo en varios aspectos como la mejora en la eficiencia operativa por medio de la reducción de fallas y costos de reparación debido a la estabilización del suministro eléctrico junto con el aumento de la vida útil de los equipos electrónicos con equipos más protegidos frente a fluctuaciones y perturbaciones de la red eléctrica. Así como la optimización del consumo energético con un potencial ahorro de energía a través de un uso más eficiente de la electricidad y una mejora en el ambiente tanto de trabajo como estudio, con menos interrupciones y fallos tecnológicos.

4.4.1. Instrumento SUIN SA2100 analizador de calidad de energía

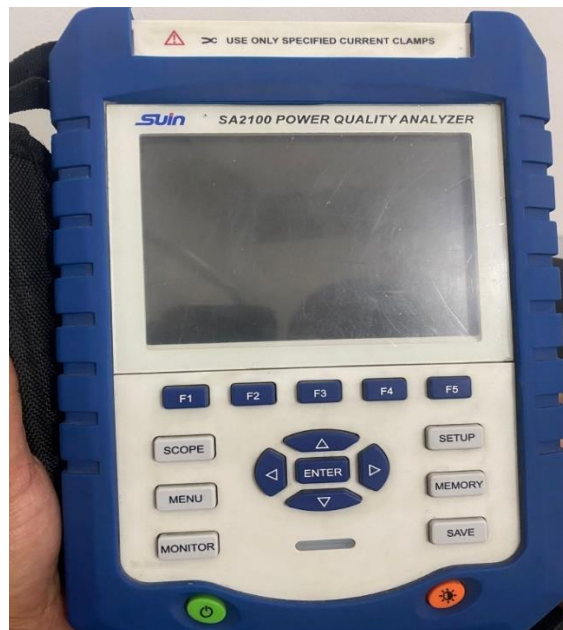


Figura 17. Analizador de calidad de energía

Fuente: Suin Instruments [63]

Este dispositivo calcula una gran cantidad de parámetros eléctricos y procesa todos los datos rápidamente. El analizador está diseñado especialmente para el departamento de inspección y mantenimiento de energía, ofreciendo mediciones tanto extensas como potentes para verificar el sistema de distribución de energía, detectando la calidad y las características eléctricas de la red eléctrica de manera rápida y conveniente. El analizador cuenta una interfaz de pantalla LCD a color de gran tamaño y un teclado fácil de usar [63].

4.4.2. Conexiones

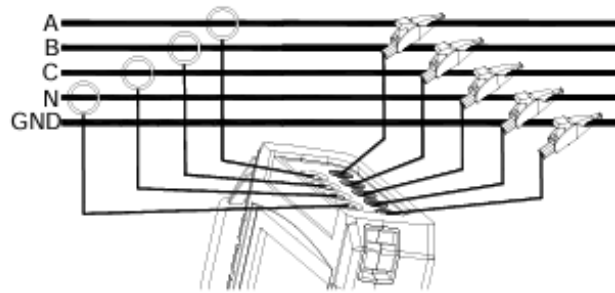


Figura 18. Conexión del equipo

Fuente: Suin Instruments [63]

El Analizador tiene 4 entradas BNC para pinzas de corriente y 5 entradas de banana para voltajes. Para un sistema trifásico, realice las conexiones como se muestra en la Figura 17 donde primero se coloque las pinzas de corriente alrededor de los conductores de la fase A (L1), B (L2), C (L3) y N (neutro). Las pinzas están marcadas con una flecha que indica la polaridad correcta de la señal. A continuación, realice las conexiones de voltaje las cuales se comience con Tierra y luego en secuencia con N, A (L1), B (L2), C (L3). Para obtener resultados de medición correctos, siempre conecte la entrada de Tierra mientras que para mediciones monofásicas se usa la entrada de voltaje A (L1) o la entrada de corriente A (L1) junto con las entradas de voltaje Tierra [63].

Para el monitoreo dependiendo del tipo de medición tenemos la gráfica de barras que muestra especificaciones como voltaje, armónicos, parpadeo, picos, caídas, cambio rápido de voltaje, interrupción, desbalance, frecuencia, entre otros de los parámetros de calidad de la energía, otro tipo de medición es la gráfica de barras detallada de armónicos o la tendencia del conjunto de datos seleccionado a lo largo del tiempo y la tabla de eventos que registra eventos que violan el límite [63].

El analizador utiliza cinco tipos diferentes de pantalla para presentar los resultados de medición de la manera más efectiva.



Figura 19. Pantalla de tabla

Fuente: Suin Instruments [63]

Esta pantalla ofrece una visión instantánea de los valores numéricos de medición importantes en modo de VOLTS/AMPS/HERTZ. Donde en apartado 1 es el encabezado de la pantalla y muestra el modo de medición actual, el apartado 2 es el indicador del estado de la batería y la fecha junto con la hora de la medición, el apartado 3 son los parámetros de medición y valores donde el contenido depende del modo de medición, número de fase y configuración de cableado.



Figura 20. Pantalla de tendencia

Fuente: Suin Instruments [63]

La pantalla de tendencia muestra el curso a lo largo del tiempo de los valores de medición de la tabla. Tales como caídas y picos, el tiempo se muestra horizontalmente, la Tendencia se construye gradualmente desde la derecha de la pantalla. Donde el apartado 1 muestra el último valor de la tendencia. Si el cursor está activado, se muestra el valor de la tendencia en el cursor y en el apartado 2 el Área de visualización de la Tendencia.

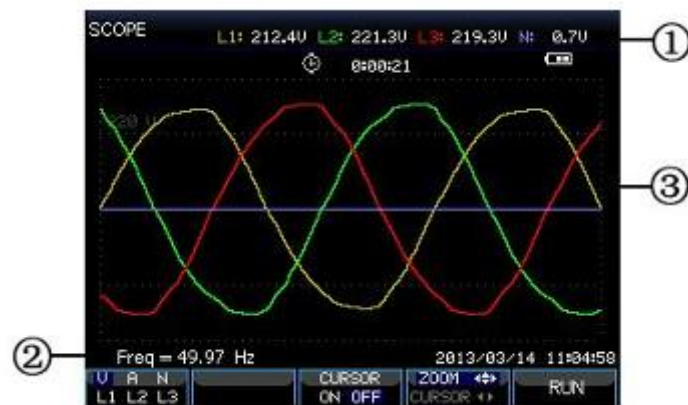


Figura 21. Pantalla de forma de onda

Fuente: Suin Instruments [63]

Esta pantalla muestra en el apartado 1 el encabezado de la pantalla junto con la muestra del valor RMS de las formas de onda, mientras en el apartado 2 muestra la frecuencia medida y en el apartado 3 se muestra el área de visualización de formas de onda de voltaje/corriente.

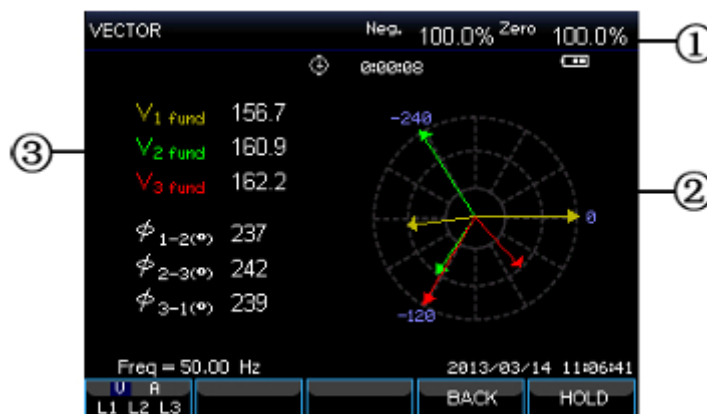


Figura 22. Pantalla de Fasores

Fuente: Suin Instruments [63]

Muestra la relación de fase entre voltajes y corrientes en un diagrama vectorial donde la pantalla de fasores está disponible en modo de Desbalance. En el apartado 1 se muestra el encabezado de la pantalla con el valor de desequilibrio, en el apartado 2 el Diagrama vectorial en el cual el vector de la fase de referencia A(L1) apunta al positivo del eje X, mientras en el apartado 3 se presenta otros datos, como la tensión fundamental y ángulo de fase.



Figura 23. Pantalla de gráfico de barras

Fuente: Suin Instruments [63]

La pantalla de gráfico de barras contiene un gráfico de barras de armónicos y un gráfico de barras de monitoreo de calidad de energía en el que la altura de la barra indica el porcentaje del parámetro representado. La longitud de la barra relacionada aumentará si un parámetro excede su valor nominal. Donde el apartado 1 muestra los límites del valor del gráfico de barras bajo el cursor en el que por medio de las teclas de flecha izquierda/derecha se logra mover el cursor y en el apartado 2 la pantalla de monitoreo de calidad de energía muestra el tiempo del parámetro dentro de la tolerancia alta y baja mediante una barra.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

A través del estudio de calidad de energía, se llevará a cabo un análisis exhaustivo del transformador de 75 KVA, que abastece a los tableros de los bloques de aulas, la zona de oficinas del decanato, la biblioteca, los laboratorios computacionales y los laboratorios de agronomía. Posteriormente, se realizará el análisis del transformador de 45 KVA, que alimenta los tableros de los laboratorios de agroindustria y de granos andinos. El objetivo de estos estudios es evaluar el estado actual del sistema eléctrico, con el fin de identificar posibles problemas y proponer soluciones a largo plazo.

Para realizar el análisis de voltajes se tomará como referencia el voltaje nominal de los sistemas fase-neutro (127 V) y fase-fase (220 V). Para verificar el nivel de calidad de voltaje en algún punto del sistema de distribución se obtendrá mediante la siguiente ecuación (1):

$$\Delta V_K = \frac{V_K - V_N}{V_N} \times 100[\%] \quad (1)$$

Donde:

ΔV_K = Voltaje de variación del suministro respecto al voltaje nominal en el punto k.

V_K = Voltaje medido en el punto k, determinado con las medidas registradas durante el intervalo de 10 minutos de al menos 3 segundos.

V_N = Voltaje nominal.

La regulación ARCERNNR 003/23 establece que un nivel de voltaje se considera incluido si los datos recolectados superan el porcentaje especificado en un 5% o superior a esta. Para los usuarios de bajo voltaje, se debe garantizar que el nivel de voltaje no exceda el $\pm 8\%$, según lo indica en la Tabla 16.

Tabla 16. Nivel de voltaje fase-neutro 127 V.

Nivel de Voltaje	Rango Admisible
Alto Voltaje (Grupo 1 y Grupo 2)	$\pm 5\%$
Medio Voltaje	$\pm 6\%$
Bajo Voltaje	$\pm 8\%$

Se analizará los niveles de voltaje en el establecimiento para voltajes de fase-neutro (27 V) y fase-fase (220 V), y se realizará la comparación con los niveles requeridos por la regulación

La Distorsión Total de la Demanda TDD es la distorsión armónica basada en la máxima corriente de demanda (componente fundamental). Esta es una medida de la distorsión armónica de corriente total en el PCC (punto de conexión común) a través de las cargas conectadas.

De acuerdo a la regulación IEEE-519, para determinar si la industria tiene presencia de armónicos de corriente, hay que analizar el nivel de TDD de Corriente que tiene la industria y el primer paso es calcular la relación entre la corriente de cortocircuito y la corriente de línea.

$$\alpha = \frac{I_{CC}}{I_{Lpu}} \quad (2)$$

Para calcular la corriente de cortocircuito, necesitamos conocer el valor de la reactancia que figura en la placa de identificación de los transformadores. Se calcula utilizando la ecuación (3):

$$I_{cc} = \frac{1}{X_{pu}} \quad (3)$$

Para hacer esto, necesitamos calcular la corriente de línea de los transformadores y se utiliza la siguiente ecuación (4):

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3} * V_{LL}} \quad (4)$$

Para determinar el factor de distorsión requerido y los armónicos de corriente individuales, necesitamos calcular la corriente de línea por unidad con la ecuación (5).

$$I_{Lpu} = \frac{I_{fase}}{I_L} \quad (5)$$

5.1. ANALISIS DE LOS DATOS EN EL TRANSFORMADOR DE 75 KVA.

5.1.1. Análisis de nivel de voltaje en el Transformador de 75 kVA

5.1.1.1. Voltaje nominal entre fase-neutro 127 V del transformador de 75 kVA.

Los voltajes fase- neutros determinados por el analizador de redes se muestra en la Tabla 17, considerando las medidas máxima, media y mínima obtenidas durante el periodo de registro.

Tabla 17. Niveles de voltaje fase-neutro 127 V: transformador 75 kVA

Nivel de Voltaje	Vrms ph-n AN	Vrms ph-n BN	Vrms ph-n CN	Vrms ph-n Promedio
V Mínimo	119.097	119.155	118.642	118.965
V Medio	121.515	121.267	120.870	121.217
V Máxima	123.407	123.167	122.638	123.071

Para verificar si los valores de la Tabla 17 cumplen con los límites establecidos por la normativa, se realizó los cálculos con la ecuación 1 para obtener los siguientes valores de la Tabla 18. Podemos confirmar que el sistema eléctrico no presenta variaciones en nivel de 127 V.

Tabla 18. Variación de voltaje 127 V en el transformador de 75 kVA

	% De Variación		Norma ARCERNR 003/23
	Máximo	Mínimo	
V _{AN}	6.22%	2.83%	Cumple
V _{BN}	6.18%	3.02%	Cumple
V _{CN}	6.58%	3.43%	Cumple

En los sistemas eléctricos es necesario considerar las variaciones de tensión las cuales son afectadas por fenómenos internos como externos del plantel universitario, afectan elementos sensibles equipos electrónicos y motores los cuales son más sensibles a las variaciones de tensión, esto también se pueden dar por instalaciones eléctricas en mal estado. En la Figura 24 se muestran las variaciones de los valores máximos y mínimos para el transformador de 75 kVA.

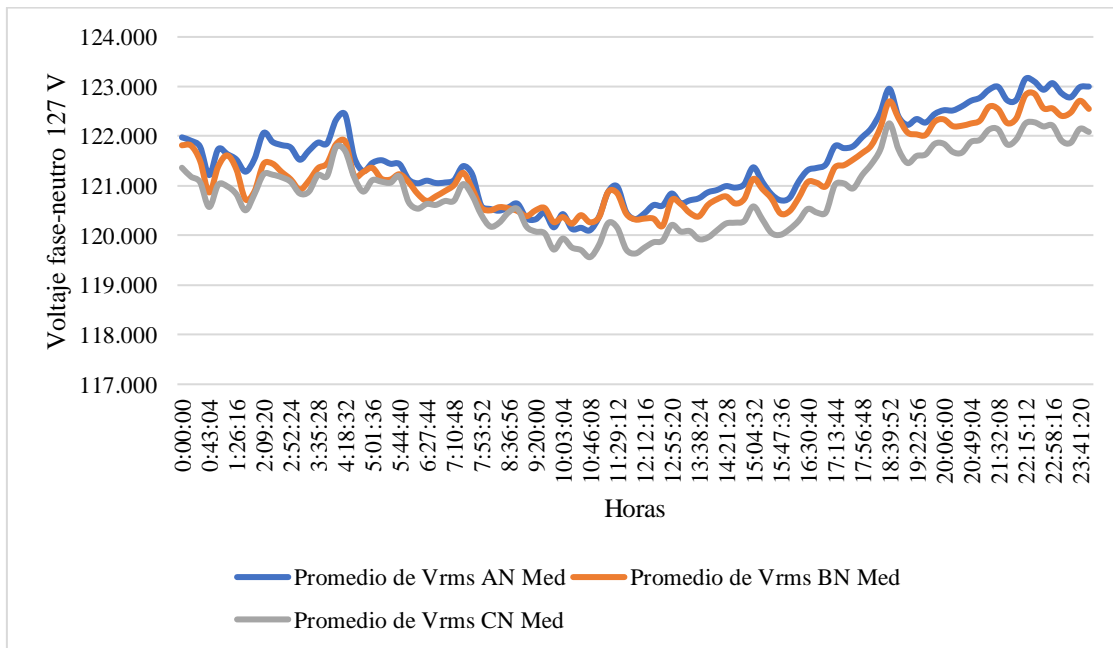


Figura 24. Nivel de voltaje fase-neutro 127 V del transformador de 75 kVA

5.1.1.2. Voltaje nominal fase-fase 220 V en el transformador de 75 kVA.

En la Tabla 19 se muestra los voltajes fase-fase, mientras que en la Tabla 20 se puede verificar que el sistema presenta variaciones de voltaje de nivel 220 V, como se aprecia en la Figura 25 estas se encuentran dentro del $\pm 8\%$ en voltaje fase-fase.

Tabla 19. Niveles de voltaje fase-fase 220 V del transformador de 75 kVA

Nivel de Voltaje	Vrms ph-ph AB	Vrms ph-ph BC	Vrms ph-ph CD	Vrms ph-ph Promedio
V Mínimo	206.383	205.494	206.053	206.283
V Medio	210.040	209.353	209.954	210.470
V Máxima	213.332	212.415	213.165	213.748

Tabla 20. Variación de voltaje 220 V en el transformador de 75 kVA

	% De Variación		Norma ARCERNR 003/23
	Máximo	Mínimo	
V_{AB}	6.24%	2.84%	Cumple

V_{BC}	6.19%	3.03%	Cumple
V_{CA}	6.59%	3.45%	Cumple

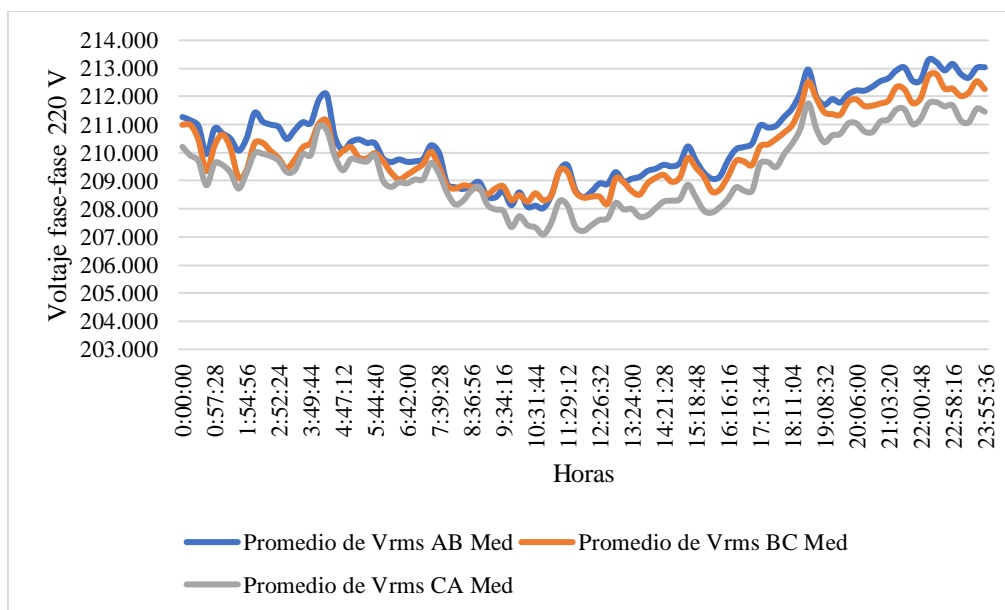


Figura 25. Nivel de voltaje fase-fase 220V del transformador de 75 kVA

5.1.1.3. Voltaje en el neutro del transformador de 75 kVA

En la Tabla 21 y Figura 26 se indica los resultados obtenidos de las mediciones los cuales indican variaciones de voltaje en el neutro del transformador, donde se aprecia que existen voltajes altos y bajos donde el pico más alto es de 0.050 voltios. Teniendo en cuenta que los voltajes en el neutro deben ser cero o menores que un voltio, se pudo determinar que estos voltajes están dentro de los límites establecidos por la normativa.

Tabla 21. Nivel de voltaje en el neutro

	Vrms n NG
V neutro Máximo	0.050
V neutro Promedio	0.035
V neutro Mínimo	0.016

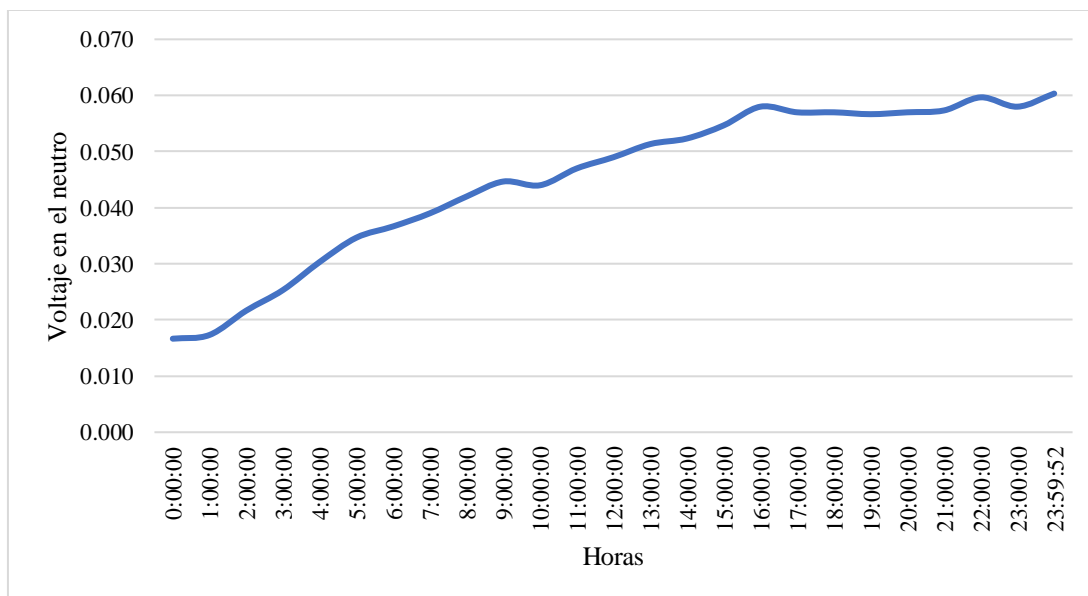


Figura 26. Nivel de voltaje en el neutro del transformador de 75 kVA

5.1.2. Desequilibrio de voltaje en el transformador de 75 kVA

5.1.2.1. Desequilibrio de voltaje en el transformador de 75 kVA.

Conforme con la normativa IEEE 1159, el intervalo aceptable para el desequilibrio de voltaje es de 0.5% a 2%. Según los datos obtenidos en la Tabla 22, el desequilibrio es de 0.35% lo cual indica que está dentro del intervalo permitido por la normativa, por lo tanto, se concluye que no existe desequilibrio de voltaje significativos.

Tabla 22. Desequilibrio de voltaje en el transformador de 75 kVA

V _{LA}	V _{LB}	V _{LC}	V _{L max}	V _{L med}	%Desequilibrio	IEEE-1159	Observaciones
213.748	213.332	212.415	213.748	213.165	0.35%	0.50% - 2.00%	Cumple

5.1.3. Análisis de corriente de línea en el transformador de 75 kVA

Según la información de la Tabla 23 y la Figura 27, se detalla las corrientes de fase con un valor mínimo de 39.90 amperios durante el inicio de la jornada académica, mientras que con un valor promedio de 62.30 amperios durante los periodos de trabajo estándar. Por otro lado, los picos de corriente máxima que alcanza hasta 130.85 amperios, los cuales son generados por la utilización de los bloques de aulas y laboratorios.

Tabla 23. Nivel de corriente fase-neutro en el transformador de 75 kVA

Nivel de corriente	Corriente ph-n AN	Corriente ph-BN	Corriente ph-CN	Corriente ph- Promedio
C. Mínima	8.71	57.04	53.96	39.90
C. Media	30.15	90.39	75.35	65.30
C. Máxima	95.52	163.92	133.10	130.85

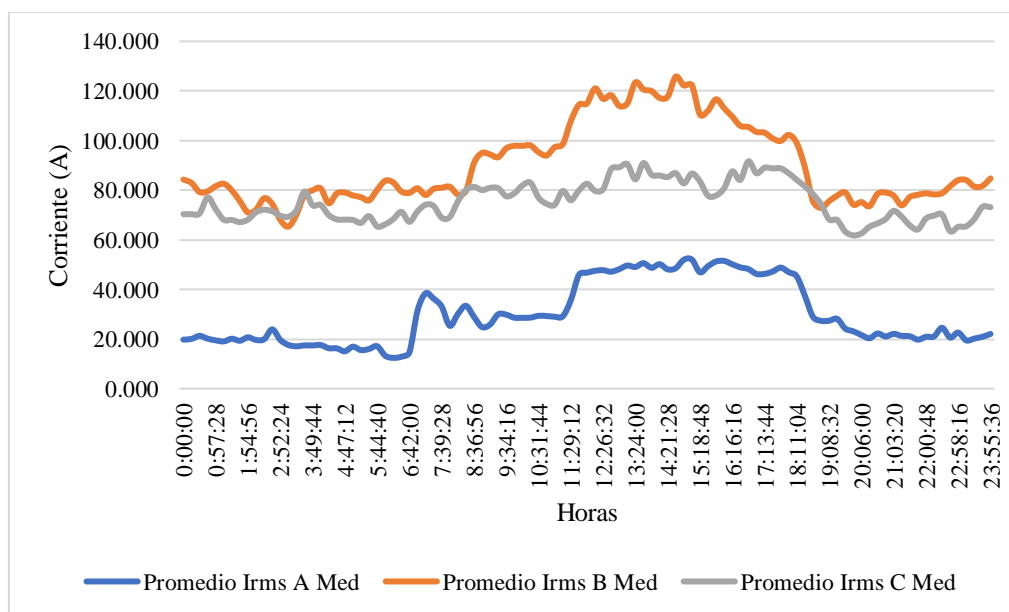


Figura 27. Nivel de corriente de fase del transformador de 75 kVA

5.1.4. Análisis de las potencias en el transformador de 75 kVA

5.1.4.1. Potencia activa del transformador de 75 kVA

En la siguiente Tabla 24 y Figura 28, se detalla las potencias mínimas, medias y máximas de cada fase. De la cual se constató que la potencia máxima activa varía en las tres fases donde la fase B es la más de mayor potencia activa siendo esta de 18.790 kW, mientras que la corriente mínima se registró en la fase A con un valor de 0.669 kW, por lo tanto, en la tabla mencionada se muestra los desbalances de las fases en porcentajes, donde el de mayor desbalance es de 35.22%, misma que supera los 5% permitidos por la regulación.

Tabla 24. Niveles de potencia activa en el transformador de 75 kVA

Potencia	Máximo	Promedio	Mínimo
kW _A	10.079	3.345	0.669
kW _B	18.790	10.466	6.460
kW _C	14.667	8.599	5.915
TOTAL	42.599	22.348	14.275

Desbalance	30.55%	35.22%	24.61%
ARCENNR 003/23	No cumple	No cumple	No cumple

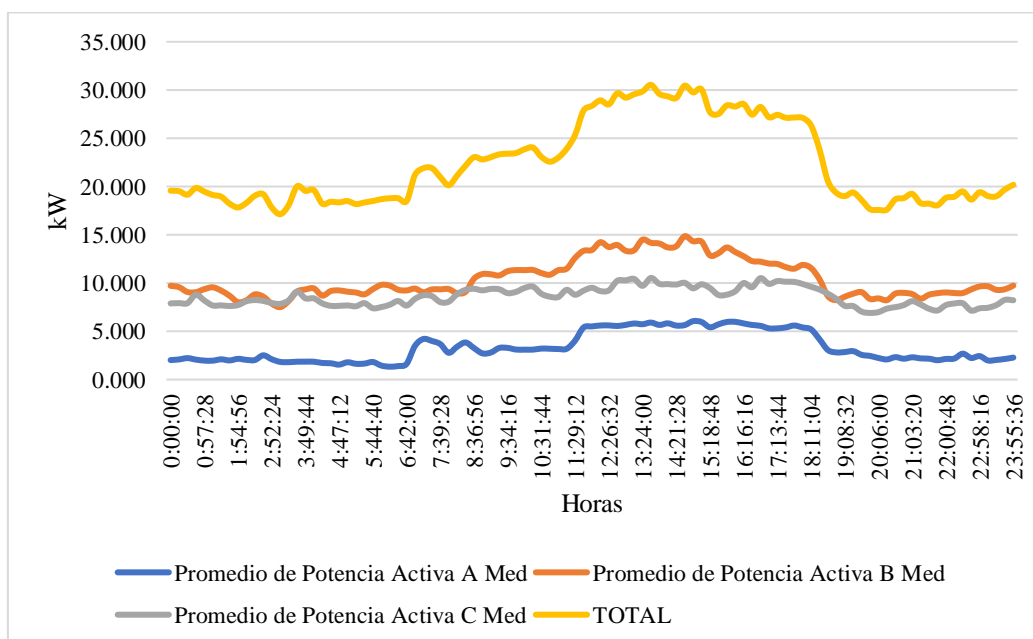


Figura 28. Niveles de potencia activa trifásicas del transformador de 75 kVA

5.1.4.2. Potencia reactiva del transformador de 75 kVA

En la siguiente Tabla 25 y Figura 29, se muestran los valores de potencia reactivas los cuales fueron tomados de los datos recopilados durante el periodo de mediciones, considerando valores máximos, medios y mínimos de cada fase para verificar que cumplan con el desbalance máximo establecido por la regulación ARCENNR 003/23. Se destaca el desbalance de potencia reactiva entre las fases donde el desbalance más alto de 33.60%, excediendo el límite del 5%.

Tabla 25. Niveles de potencia reactiva en el transformador de 75 kVA

Potencia	Máximo	Promedio	Mínimo
kW _A	5.223	1.354	0.013
kW _B	6.165	2.973	0.000
kW _C	6.046	2.872	0.000
TOTAL	10.934	1.053	0.000
Desbalance	10.12%	33.60%	0.013%
ARCENNR 003/23	No Cumple	No Cumple	Cumple

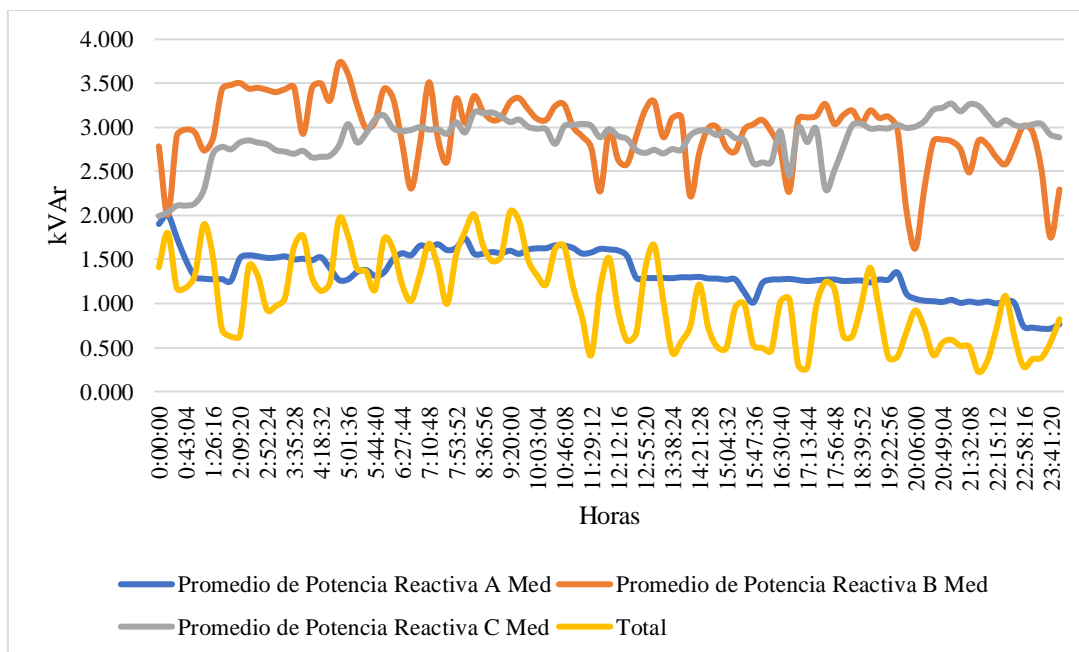


Figura 29. Niveles de potencia reactiva trifásicas del transformador de 75 kVA

5.1.4.3. Potencia aparente en el transformador de 75 kVA

En la Tabla 26 y Figura 30, se nota una potencia máxima más alta en la fase B de 19.753 kVA, además se registra una potencia mínima en la fase A de 1.074 kVA. Igualmente, se tiene una potencia máxima total de 47.710 kVA, mientras que la mínima es 17.556 kVA. Donde la potencia al trabajar a un 50% de las instalaciones se normaliza en un promedio de 25.574 kVA.

Tabla 26. Niveles de potencia aparente en el transformador de 75 kVA

Potencia	Máximo	Promedio	Mínimo
kW _A	11.349	3.657	1.074
kW _B	19.753	10.955	6.983
kW _C	15.750	9.104	6.492
TOTAL	47.710	25.574	17.556
Desbalance	27.33%	33.74%	27.85%
ARCENNR 003/23	No Cumple	No Cumple	Cumple

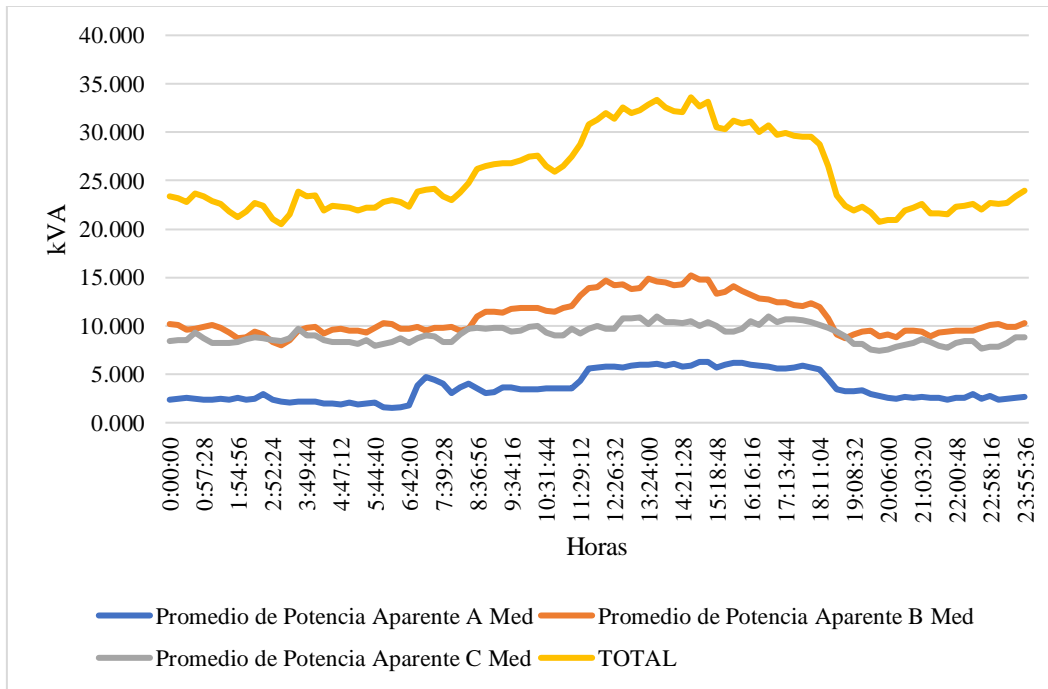


Figura 30. Niveles de potencia aparente trifásicas del transformador de 75 kVA

5.1.5. Análisis del factor de potencia en el transformador de 45 kVA

5.1.5.1. Factor de potencia del transformador de 75 kVA

En la Tabla 27 y Figura 31, se muestran los valores de factor de potencia de las fases, así también como un factor de potencia total correspondiente al transformador, donde se evidencio que el valor medio y máximo están dentro de los rangos permitidos por la regulación ARCERNNR 003/23, la cual establece que el factor de potencia debe ser de 0.92.

Según lo estipulado en el Artículo 27 de la regulación ARCONEL 006/20 de la codificación de reglamentos de tarifas, se establece que los clientes que tengan un factor de potencia promedio menor al 0.92, serán penalizados. El transformador de 75 kVA tiene un valor promedio de 0.92, el cual cumple con el valor mínimo de 0.92.

Tabla 27. Niveles de factor de potencia en el transformador de 75 kVA

Factor de potencia (F.P.)	F.P. Total	Referencia norma ARCERNNR 002/20	Observaciones
F.P. Mínima	0.76	0.92	No cumple
F.P. Media	0.92	0.92	Cumple
F.P. Máxima	0.96	0.92	Cumple

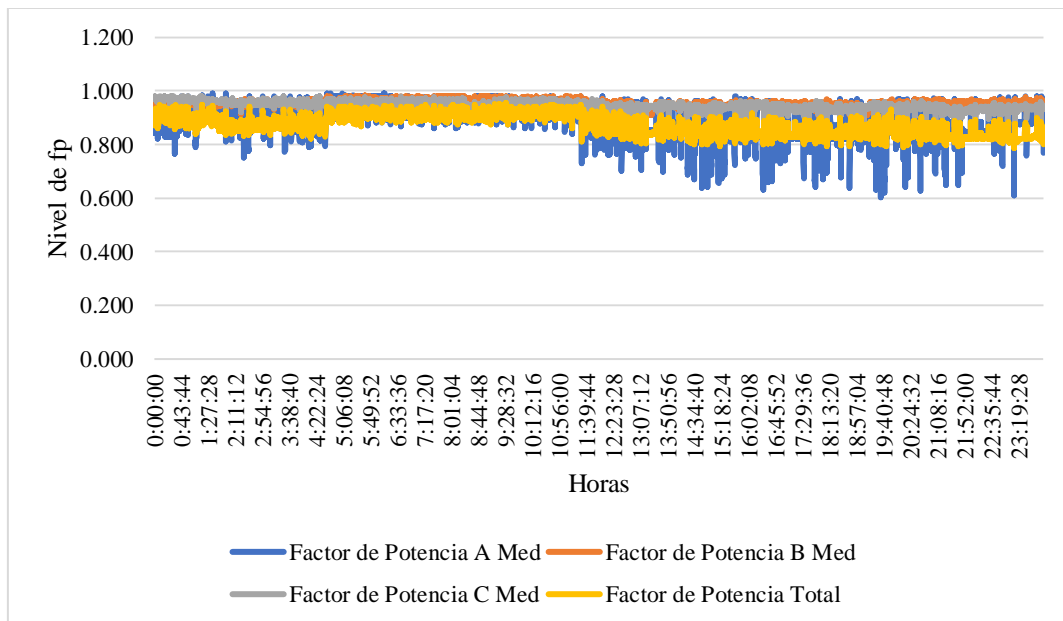


Figura 31. Niveles de factor de potencia en el transformador de 75 kVA

5.1.6. Distorsión armónica total de voltaje en el transformador

5.1.6.1. Distorsión total de voltaje en el transformador de 75 kVA

Decretar si los armónicos de voltaje están presentes en el sistema eléctrico de la Universidad requiere un análisis de los niveles de THD. Según establece la norma IEEE 519, no debe superar el 8% para las tensiones inferiores al 1.0 kV.

Se detallan los resultados obtenidos a partir de los datos recopilados por el analizador de redes se muestra en la siguiente Tabla 28.

Tabla 28. Distorsión armónica total del transformador de 75 kVA

THD Voltaje	THD Promedio %	THD L _A %	THD L _B %	THD L _C %	Referencia IEEE 519 %	Observación
THD Mínimo	1.72	1.62	1.71	1.84	8%	Dentro de la norma
THD Promedio	2.22	2.02	2.16	2.49	8%	Dentro de la norma
THD Máximo	2.62	2.40	2.56	2.90	8%	Dentro de la norma

En la Figura 32, se aprecia la variación de los THD de tensión en las tres fases donde en promedio la más alta es de 2.62% que se encuentra dentro de la norma.

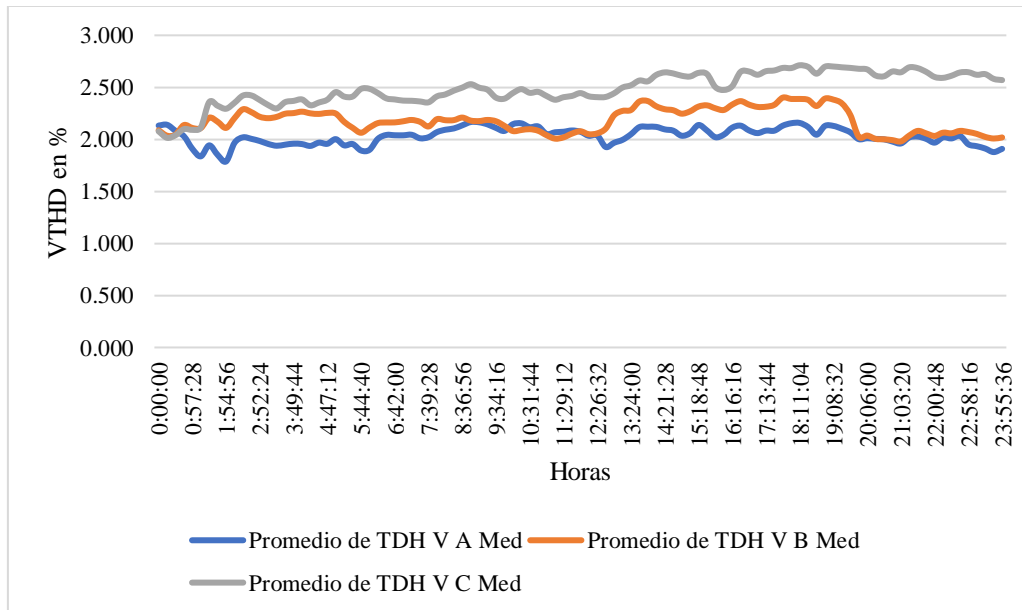


Figura 32. Niveles de THD de voltaje

5.1.7. Armónicos individuales de voltaje en el transformador de 75 kVA

5.1.7.1. Análisis de armónicos individuales de voltaje

Según la normativa de la IEEE 519, establece que los armónicos no deben superar el 5%. Los resultados de los datos obtenidos en las mediciones se muestran en la Tabla 29, muestran que los armónicos de tensión tercero, quinto, séptimo, noveno, onceavo y treceavo asociados al transformador no superan el 5%.

Tabla 29. Nivel de distorsión armónica individual

Armónicos de voltaje			
Nivel de armónicos	Total, armónicos en %	Referencia - IEEE 519	Observación
1	0.96%	5.00%	Cumple
2	0.03%	5.00%	Cumple
3	0.76%	5.00%	Cumple
4	0.02%	5.00%	Cumple
5	1.88%	5.00%	Cumple
6	0.02%	5.00%	Cumple
7	0.35%	5.00%	Cumple
8	0.01%	5.00%	Cumple
9	0.28%	5.00%	Cumple
10	0.01%	5.00%	Cumple
11	0.55%	5.00%	Cumple
12	0.01%	5.00%	Cumple
13	0.13%	5.00%	Cumple

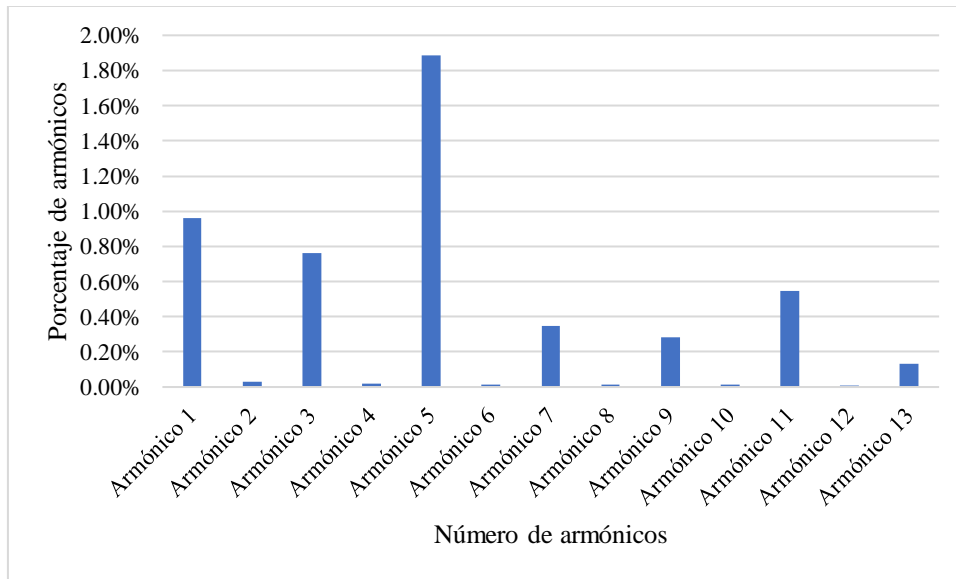


Figura 33. Armónicos individuales de voltaje en el transformador de 75 kVA

La armónica tercera de voltaje con un valor de 0.76%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 1.88%, la armónica séptima con un valor de 0.35%, la armónica novena con un valor de 0.28%, la armónica decimoprimer con un valor de 0.55% y la armónica decimotercera con 0.13%.

En la Figura 33, se ilustra los resultados obtenidos, donde el porcentaje más alto está en la armónica cinco con un valor de 1.88%. por lo tanto, los armónicos cumplen con la normativa IEEE 519.

5.1.7.2. Análisis de armónicos individuales de voltaje en el neutro

En la Tabla 30 y la Figura 34 se muestra los porcentajes de los niveles de armónicos individuales en el neutro. Se observa que existe porcentajes muy elevados, los cuales fueron comparados con los estándares establecidos por la regulación IEEE 519. En este caso se encuentran armónicos significativos que superan el 5%, del cual la armónica tercera es la más alta del 17.06%, lo que significa que hay que corregir este problema.

Tabla 30. Nivel de distorsión armónica individual en el neutro

Armónicos de voltaje		Referencia - IEEE 519	Observación
Nivel de armónicos	Total, armónicos en %		
1	10.00%	5.00%	No cumple
2	14.88%	5.00%	No cumple
3	17.06%	5.00%	No cumple
4	14.38%	5.00%	No cumple

5	14.27%	5.00%	No cumple
6	14.21%	5.00%	No cumple
7	14.49%	5.00%	No cumple
8	14.13%	5.00%	No cumple
9	14.50%	5.00%	No cumple
10	14.09%	5.00%	No cumple
11	14.24%	5.00%	No cumple
12	14.08%	5.00%	No cumple
13	14.07%	5.00%	No cumple

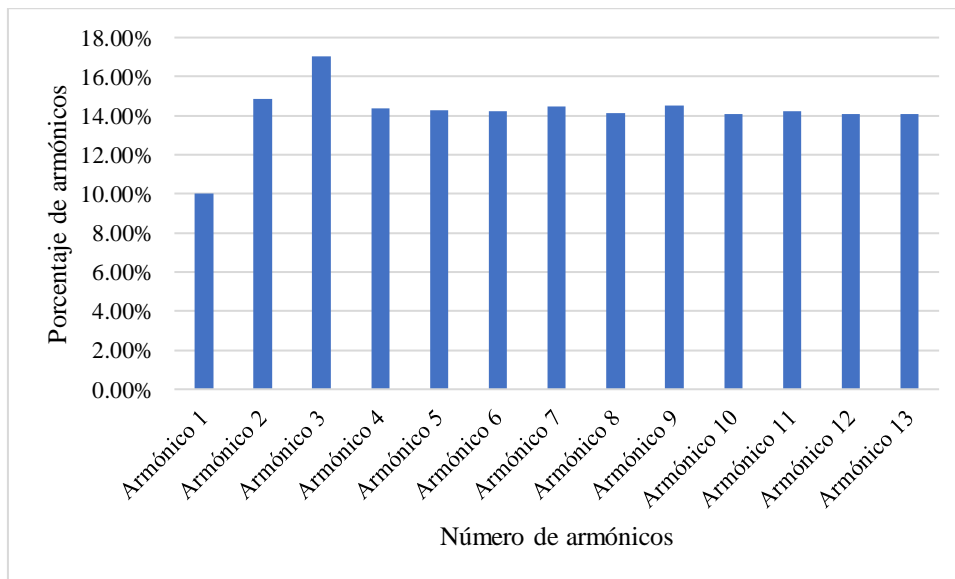


Figura 34. Armónicos individuales de voltaje en el neutro del transformador de 75kVA

5.1.8. Distorsión armónica total de corriente en el transformador de 75 kVA

Para realizar el cálculo de la corriente de cortocircuito, necesitamos la reactancia del transformador. En este caso $X_{pu} = 2,7\%$ del transformador de 75 kVA. Se calcula utilizando la ecuación (3):

$$I_{cc} = \frac{1}{0.027} \quad (6)$$

$$I_{cc} = 37.04 \text{ pu} \quad (7)$$

Para hacer esto, necesitamos calcular la corriente de línea de los transformadores y se utiliza la siguiente ecuación (4):

$$I_L = \frac{75000VA}{\sqrt{3} * 220} \quad (8)$$

$$I_L = 196.82A \quad (9)$$

5.1.8.1. Distorsión armónica de corriente en el transformador de 75 kVA

La normativa IEEE 519 establece los límites indicados en la Tabla 31 para este parámetro. Según la relación previamente calculada de I_{cc}/I_{Lpu} , está dentro del rango de 100 a 1000, lo que resulta en un valor de THD del 15%. Sin embargo, en la Tabla 32 y en la Figura 35, se observa que el nivel máximo de THD es del 77.58%, lo que indica la presencia de problemas de armónicos de corriente.

Tabla 31. Corriente de cortocircuito y la corriente de línea en p.u del transformador

Fases	X_{pu}	I_{cc}	I_{Lpu}	I_{cc}/I_{Lpu}
L ₁	0.027	37.040	0.260	142.361
L ₂	0.027	37.040	0.290	127.724
L ₃	0.027	37.040	0.302	122.65

Tabla 32. Distorsión total de corriente del transformador

THD	L _A %	L _B %	L _C %	TDD Promedio %	Referencia IEEE 519 %	Observación
Mínimo	11.39	16.28	16.60	14.76	15%	Dentro de la norma
Promedio	34.79	29.00	31.70	31.83	15%	Fuera de la norma
Máximo	65.02	40.96	42.78	49.58	15%	Fuera de la norma

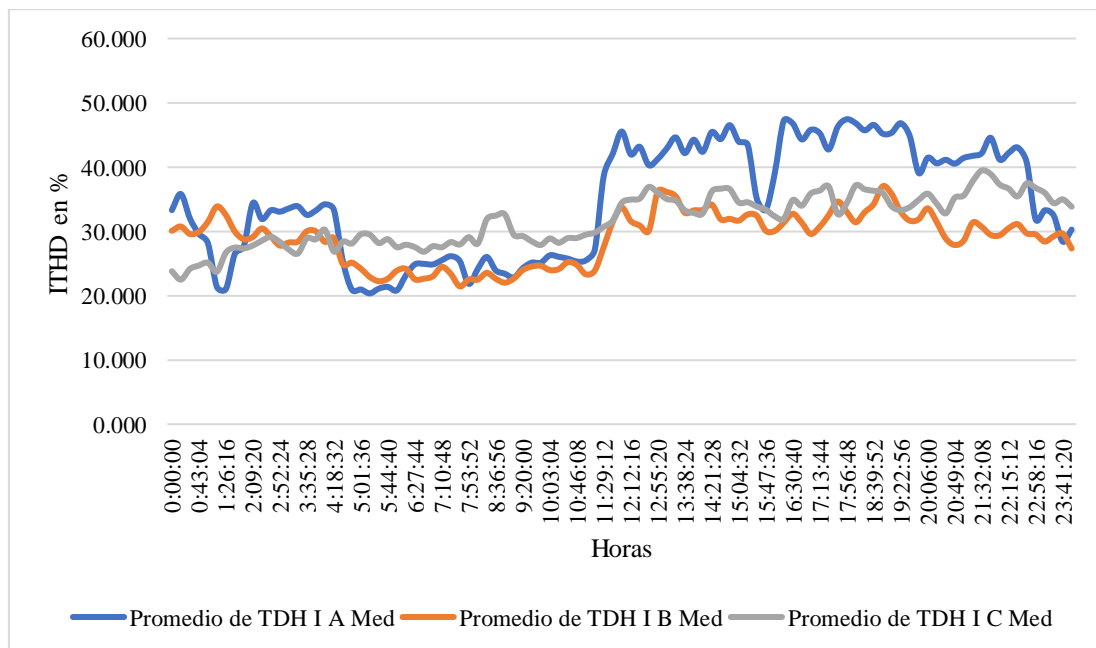


Figura 35. Niveles de distorsión total de corriente

5.1.9. Armónicos individuales de corriente en el transformador de 75 kVA

5.1.9.1. Análisis de los armónicos individuales de corriente

En la normativa IEEE 519 y la regulación ARCERNNR 003/23 especifica que los armónicos individuales de corriente dentro del rango de armónico 3 a 11 deben cumplir el límite de distorsión del 15% mientras que a partir del armónico 11 debe cumplir con un límite del 5.50%.

En la Tabla 33 y en la Figura 36, se muestran la armónica tercera con un valor de 15.45%, la armónica quinta con un valor de 1.45%, la armónica séptima con un valor de 0.94%, la armónica novena con un valor de 0.78%, la armónica decimoprimer con un valor de 0.62% y la armónica decimotercera con un valor de 0.61%. mediante el análisis se observa que el primer, segundo y tercer armónico son los más altos, pero el tercer armónico no cumple con los límites impuestos por la norma, por lo que es necesario corregir ya que esto puede afectar a los equipos con la vida útil y ocasionar daños a los aislamientos de los conductores a un futuro.

Tabla 33. Distorsión individual de corriente en el transformador de 75 kVA

Armónicos de voltaje		Referencia - IEEE 519	Observación
Nivel de armónicos	Total, armónicos en %		
1	10.41%	15.00%	Cumple
2	10.45%	15.00%	Cumple
3	15.14%	15.00%	No cumple
4	2.19%	15.00%	Cumple
5	1.45%	15.00%	Cumple
6	1.47%	15.00%	Cumple
7	0.94%	15.00%	Cumple
8	1.05%	15.00%	Cumple
9	0.78%	15.00%	Cumple
10	0.76%	15.00%	Cumple
11	0.62%	5.50%	Cumple
12	0.62%	5.50%	Cumple
13	0.61%	5.50%	Cumple

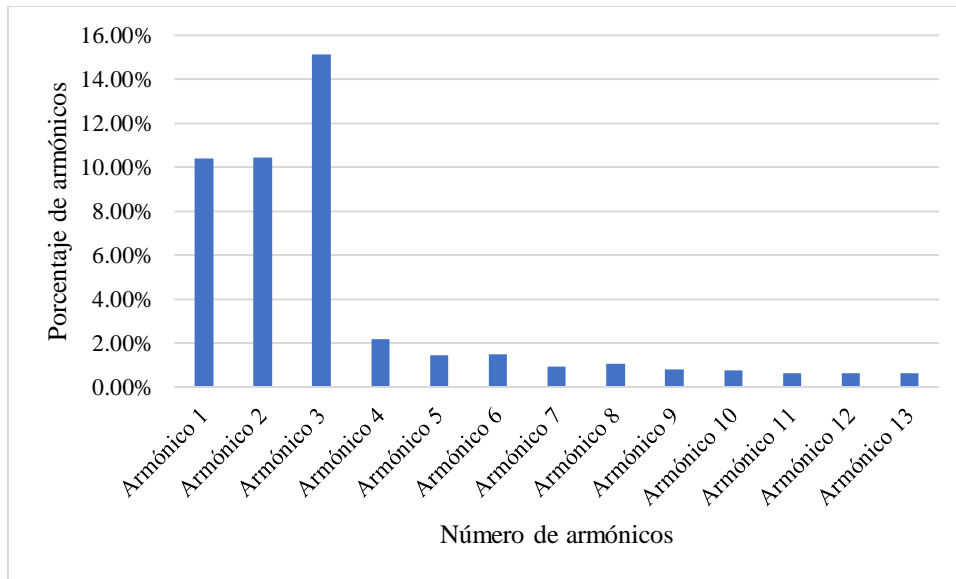


Figura 36. Porcentajes de armónicos de corriente individuales

5.1.9.2. Análisis de los armónicos individuales de corriente en el neutro

En la Tabla 34 y en la Figura 37, se evidencia que el tercer armónico de corriente con un valor del 22.74%, la armónica quinta con un valor de 19.46%, la armónica séptima con un valor del 18.56%, la armónica novena con un valor del 18.14%, la armónica decimoprimer con un valor del 17.91% y la armónica decimotercera con el 17.77%. De acuerdo a este análisis se observa que el transformador presenta armónicos en el neutro, donde el armónico con más porcentaje está en la segunda armónica con el 29.45%.

Tabla 34. Armónicos individuales de voltaje en el neutro del transformador de 75 kVA

Armónicos de voltaje		Referencia - IEEE 519	Observación
Nivel de armónicos	Total, armónicos en %		
1	26.08%	15.00%	No cumple
2	29.45%	15.00%	No cumple
3	22.74%	15.00%	No cumple
4	20.51%	15.00%	No cumple
5	19.46%	15.00%	No cumple
6	18.91%	15.00%	No cumple
7	18.56%	15.00%	No cumple
8	18.32%	15.00%	No cumple
9	18.14%	15.00%	No cumple
10	18.03%	15.00%	No cumple
11	17.91%	5.50%	No cumple
12	17.84%	5.50%	No cumple
13	17.77%	5.50%	No cumple

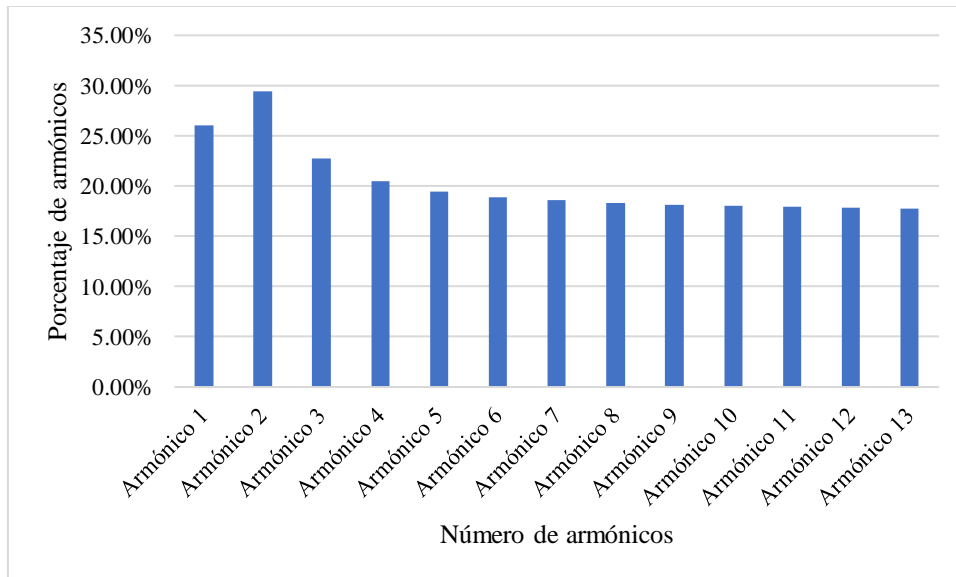


Figura 37. Porcentaje de armónicos de corriente individuales en el neutro del transformador de 75 kVA

5.1.10. Curva de la demanda del transformador de 75 kVA

En la Figura 38, se observa la curva de demanda en el transformador durante un día de utilización de los laboratorios. Se destaca que, en este día específico, la actividad productiva alcanzó su punto máximo con una potencia de 31.728 kW. Este pico se atribuye a que los bloques de aulas y laboratorios operaron a su capacidad máxima para cumplir con una alta demanda.

Durante los períodos de utilización intermedia, cuando los estudiantes no utilizan los laboratorios, se observa una potencia media de 23.263 kW. Esta reducción en la demanda permite a la Universidad operar de manera más eficiente.

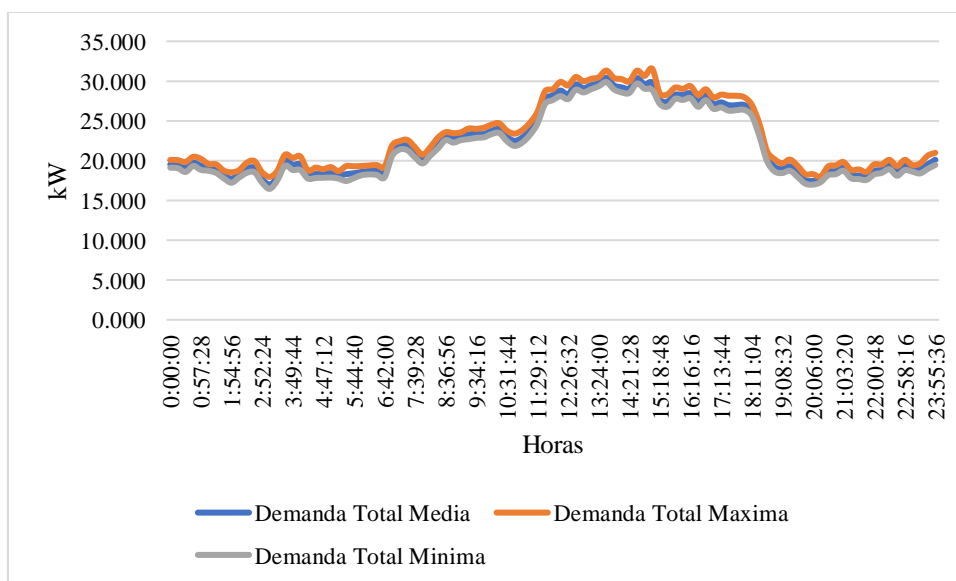


Figura 38. Demanda del transformador de 75 kVA en un día.

5.2. ANALISIS DE LOS DATOS EN EL TRANSFORMADOR DE 45 KVA.

5.2.1. Análisis de nivel de voltaje en el Transformador de 45 kVA.

5.2.1.1. Voltaje nominal fase-neutro 127 V del transformador de 45 kVA.

De la misma manera se presentan los resultados en la Tabla 35 de las mediciones fase-neutro mínimas, medias y máximas, las cuales se verificarán su estado actual con la normativa ARCERNNR 003/23.

Tabla 35. Niveles de voltaje fase-neutro 127 V en el transformador de 45 kVA

Nivel de Voltaje	Vrms ph-n AN	Vrms ph-n BN	Vrms ph-n CN	Vrms ph-n Promedio
V Mínimo	115.997	118.933	119.502	118.144
V Medio	121.073	121.925	122.701	121.900
V Máxima	125.273	125.001	125.491	125.255

En la Tabla 36 y Figura 39 se muestran variaciones que exceden el $\pm 8\%$ del límite permitido. Estas variaciones están influenciadas por factores como el tipo de cargas o las condiciones de las instalaciones eléctricas.

Tabla 36. Variaciones de voltaje 127 V del transformador de 45 kVA

	% De Variación		Norma ARCERNNR 003/23
	Máximo	Mínima	
V _{AN}	8.66%	1.36%	No cumple
V _{BN}	6.35%	1.57%	Cumple
V _{CN}	5.90%	1.19%	Cumple

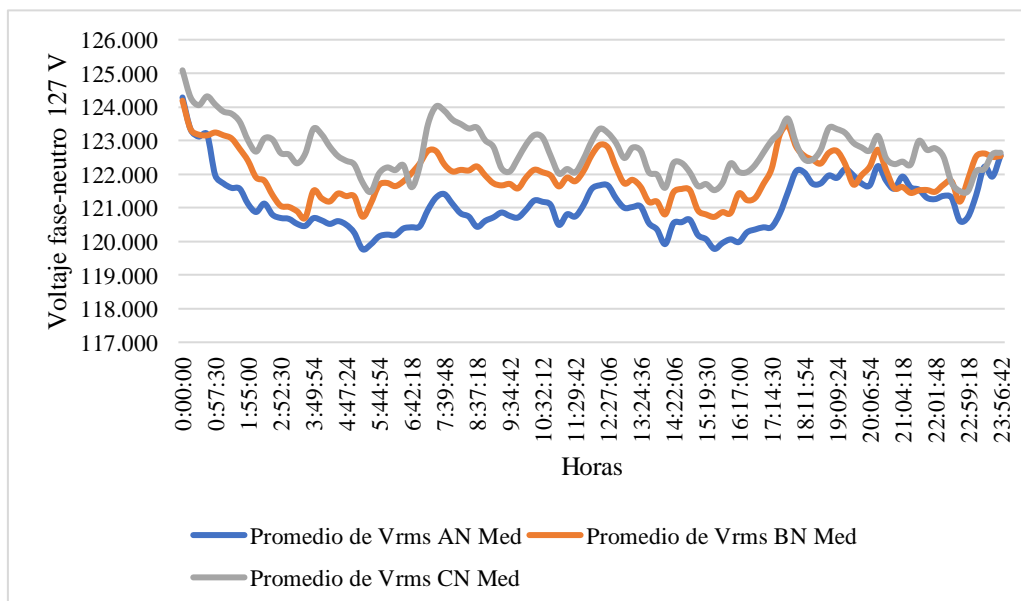


Figura 39. Niveles de voltaje fase-neutro de 127 V en el transformador de 45 kVA

5.2.1.2. Voltaje nominal fase-fase 220 V en el transformador de 45 kVA.

Se presenta los resultados de las mediciones máxima, medias y mínimas de los voltajes fase-fase en la Tabla 37 y Figura 40. Para verificar su estado actual con la normativa.

Tabla 37. Niveles de voltaje fase-fase 220 V del transformador de 45 kVA

Nivel de Voltaje	Vrms ph-ph AB	Vrms ph-ph BC	Vrms ph-ph CA	Vrms ph-ph Promedio
V Mínimo	200.913	205.997	206.983	204.631
V Medio	209.704	211.181	212.524	211.136
V Máxima	216.979	216.509	217.357	216.948

En la Tabla 38 se presenta los resultados, los cuales se muestran variaciones que exceden el 8% del límite permitido. Las cuales son afectados por distintos factores.

Tabla 38. Variación de voltaje 220 V del transformador de 45 kVA

	% De Variación		Norma ARCERNR 003/23
	Máximo	Mínimo	
V _{AB}	7.68%	1.37%	Cumple
V _{BC}	6.36%	1.59%	Cumple
V _{CA}	5.92%	1.20%	Cumple

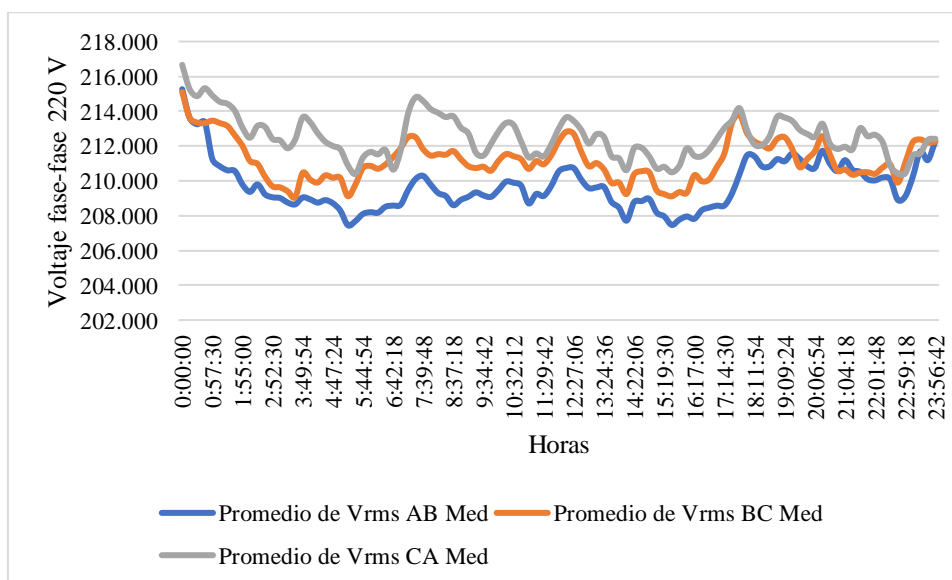


Figura 40. Niveles de voltaje fase-fase 220 V en el transformador de 45 kVA

5.2.1.3. Voltaje en el neutro del transformador de 45 kVA

En la Tabla 39 y en la Figura 41, se presentan los datos de las variaciones de voltajes en el neutro del transformador. Se puede observar que el valor más alto es de 0.050 V

registrado, lo que indica que cumple con el límite de voltaje permitido por lo cual este transformador no muestra la presencia de armónicos y tiene un eficiente en la puesta a tierra.

Tabla 39. Niveles de voltaje en el neutro

	Vrms ph-n NG
V neutro Máximo	0.050
V neutro Promedio	0.036
V neutro Mínimo	0.016

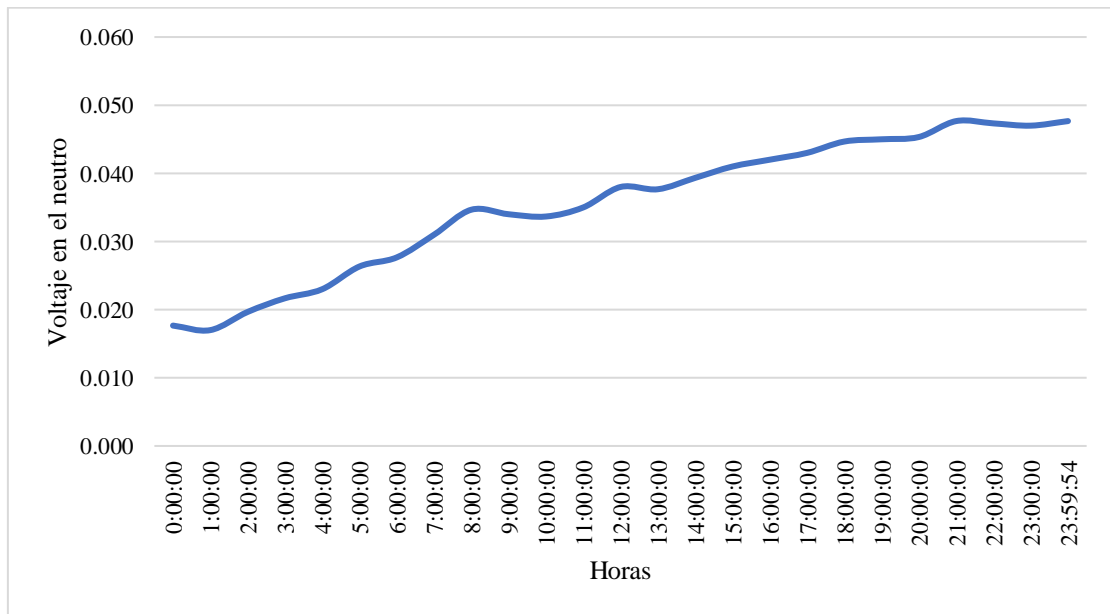


Figura 41. Nivel de voltaje en el neutro del transformador de 45 kVA

5.2.2. Desequilibrio de voltaje en el transformador de 45 kVA

5.2.2.2. Desequilibrio de voltaje en el transformador de 45 kVA

Según se desprende la Tabla 40, el desequilibrio de voltaje es de 0.20%, lo que indica que está dentro de los límites aceptables por la normativa IEEE 1159. Esto indica que el transformador no presenta desequilibrios de voltaje.

Tabla 40. Desequilibrio de voltaje en el transformador de 45 kVA

V_{LA}	V_{LB}	V_{LC}	V_{L max}	V_{L med}	%Desequilibrio	IEEE-1159	Observaciones
216.979	216.509	217.357	217.357	216.948	0.20%	0.50% - 2.00%	Cumple

5.2.3. Análisis de corriente de línea en el transformador de 45 kVA

En la Tabla 41 y la Figura 42, se muestran los valores obtenidos de corrientes máxima, media y mínima del transformador, registrados durante el periodo de mediciones, estas corrientes presentan un valor promedio de 26.09 amperios durante el periodo de utilización normales de los laboratorios de agroindustria y granos andinos. Mientras que al utilizar al máximo los laboratorios se observan valores máximos de corriente de hasta 58.08 amperios.

Tabla 41. Nivel de corriente fase-neutro en el transformador de 45 kVA

Nivel de corriente	Corriente ph-n AN	Corriente ph-BN	Corriente ph-CN	Corriente ph- Promedio
C. Mínima	7.73	8.75	1.18	5.89
C. Media	35.26	26.12	16.90	26.09
C. Máxima	70.25	50.35	53.64	58.08

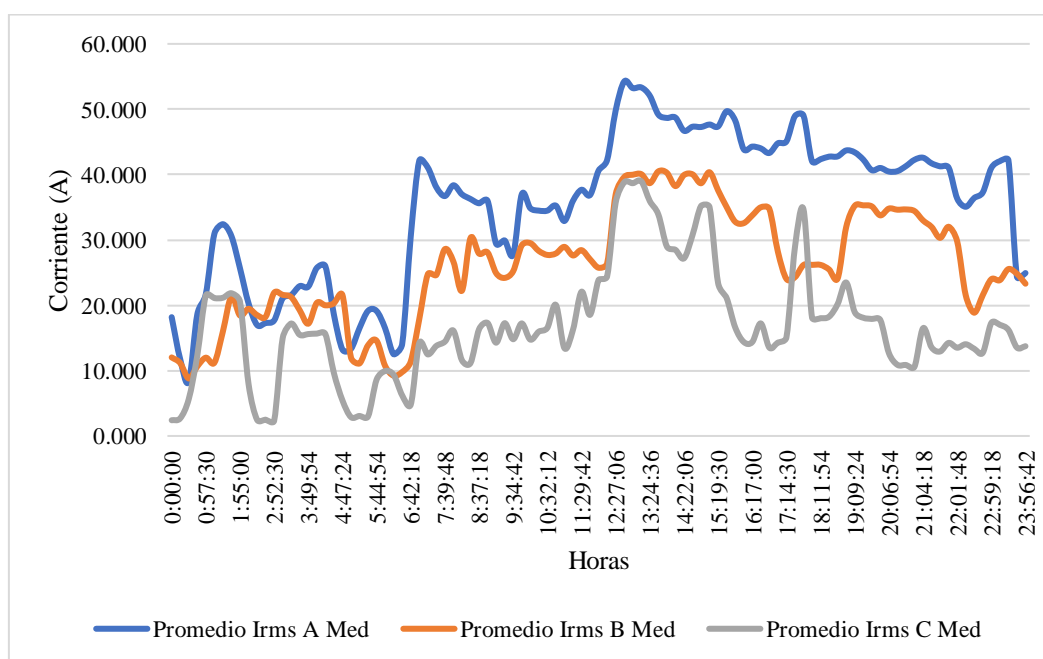


Figura 42. Niveles de corrientes de fase del transformador de 45 kVA

5.2.4. Análisis de las potencias en el transformador de 45 kVA

5.2.4.1. Potencia activa del transformador de 45 kVA

En la Tabla 42 y Figura 43, se puede evidencia que las potencias activas son variadas en las fases donde la potencia máxima más alta se encuentra en la fase A con un valor de 7.615 kW, mientras que la potencia más baja está en la fase C con un valor de 0.052 kW.

Además, la potencia total tiene un valor máximo de 15.648 kW. Asimismo, se evidencio que no cumple el porcentaje establecidos, donde el de mayor desbalance es de 27.27%.

Tabla 42. Niveles de potencia activa en el transformador de 45 kVA

Potencia	Máximo	Promedio	Mínimo
kW _A	7.615	3.634	0.408
kW _B	5.313	2.541	0.549
kW _C	5.724	1.767	0.052
TOTAL	15.648	7.942	1.049
Desbalance	22.48%	27.27%	21.33%
ARCENNR 003/23	No Cumple	No Cumple	No Cumple

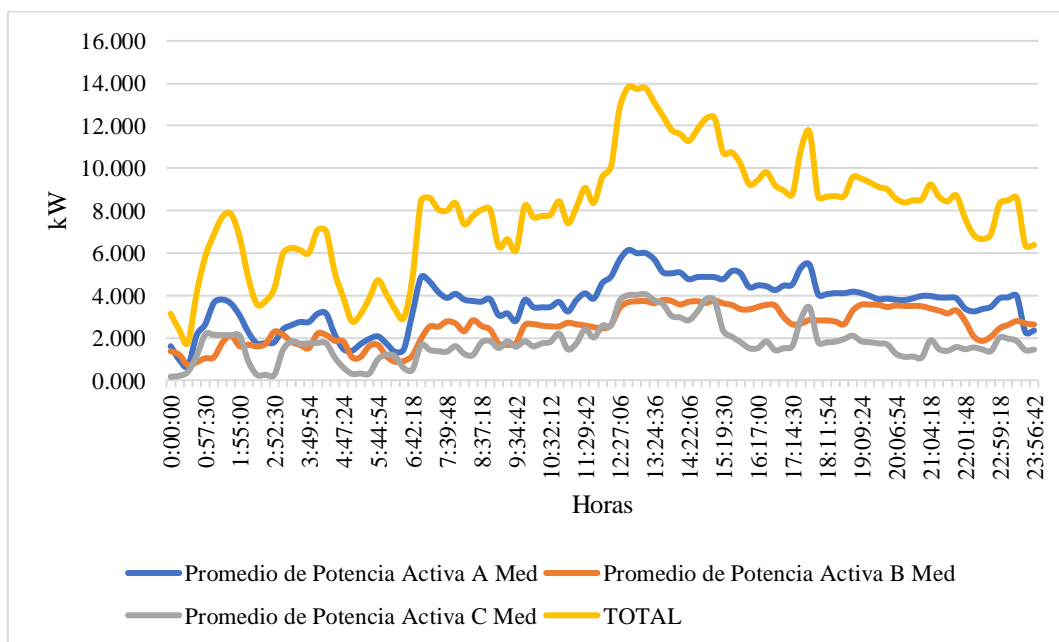


Figura 43. Niveles de potencia activa trifásicas del transformador de 45 kVA

5.2.4.2. Potencia reactiva del transformador de 45 kVA

En la Tabla 43 y la Figura 44, se presentan los detalles de la potencia reactivas en el breaker principal. Se resalta el desbalance entre las fases, el cual con mayor desbalance entre las fases alcanza un valor de 23.82%, superando el límite permitido por la regulación.

Tabla 43. Niveles de potencia reactiva en el transformador de 45 kVA

Potencia	Máximo	Promedio	Mínimo
kW _A	4.083	2.056	0.558
kW _B	4.094	1.875	0.338
kW _C	3.390	1.051	0.012
TOTAL	9.295	4.906	1.149

Desbalance	5.90%	23.82%	14.25%
ARCENNR 003/23	No Cumple	No Cumple	No Cumple

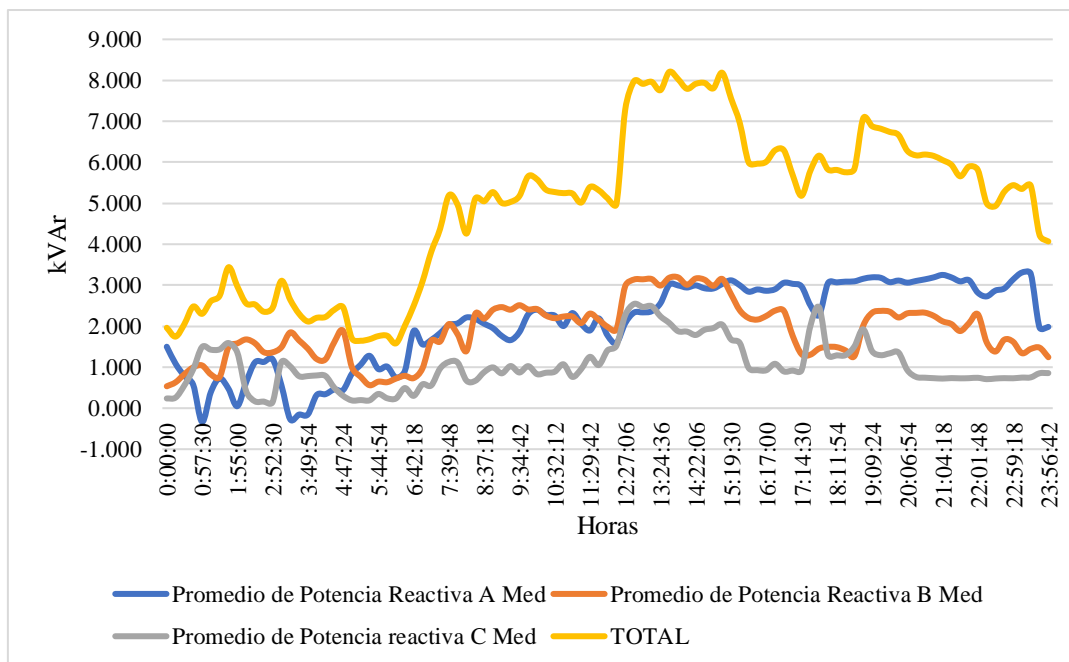


Figura 44. Niveles de potencia reactiva trifásicas del transformador de 45 kVA

5.2.4.3. Potencia aparente en el transformador de 45 kVA

En la Tabla 44 y Figura 45, se nota una potencia máxima más alta en la fase A de 8.203 kVA, además se registra una potencia mínima en la fase A de 0.782 kVA. Asimismo, de tiene una potencia máximo total de 18.029 kVA, mientras que la mínima es 1.932 kVA. Donde la potencia al trabajar a un 50% de las instalaciones se normaliza en un promedio de 10.084 kVA.

Tabla 44. Niveles de potencia aparente en el transformador de 45 kVA

Potencia	Máximo	Promedio	Mínimo
kW _A	8.203	4.264	0.782
kW _B	6.098	3.182	0.819
kW _C	6.438	2.070	0.158
TOTAL	18.029	10.084	1.932
Desbalance	18.66%	34.43%	33.35%
ARCENNR 003/23	No Cumple	No Cumple	No Cumple

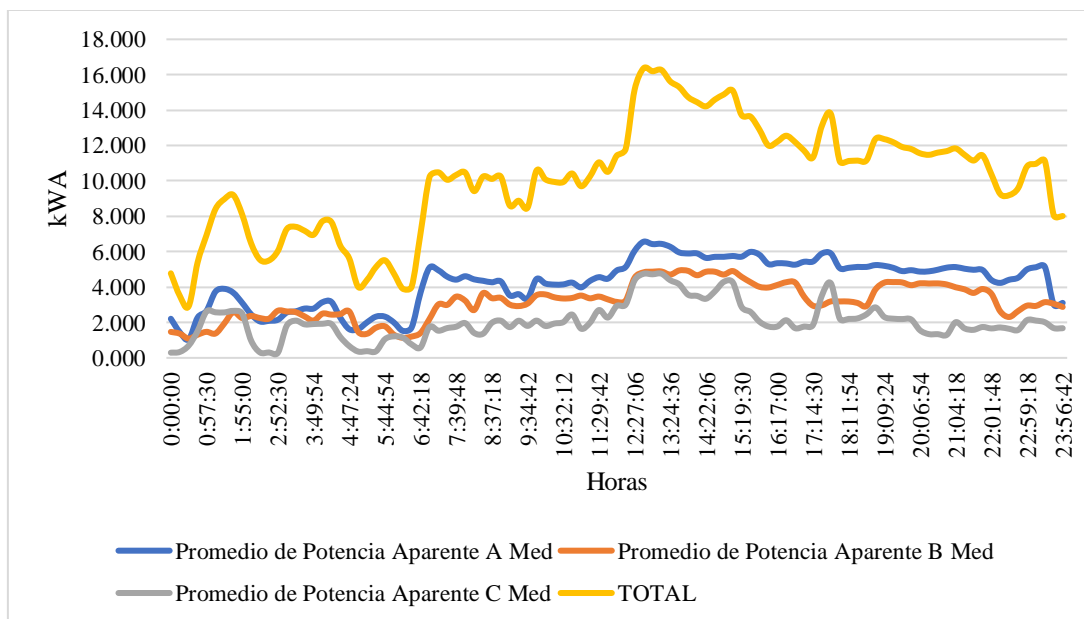


Figura 45. Niveles de potencia aparente trifásicas del transformador de 45 kVA

5.2.5. Análisis del factor de potencia en el transformador de 45 kVA

5.2.5.1. Factor de potencia del transformador de 45 kVA

En la Tabla 45, se muestra los valores de factor de potencia total del sistema correspondiente al transformador, donde se evidencio que el valor promedio y el valor máximo están dentro del rango establecido.

En el caso del transformador de 45 kVA de los laboratorios de agroindustria y granos andinos tiene un factor de potencia de 0.93 cumpliendo con el mínimo de 0.92, lo que conlleva a que no sea penalizado por la Empresa Eléctrica Cotopaxi, como se muestra en la Figura 46.

Tabla 45. Niveles de factor de potencia en el transformador de 45 kVA

Factor de potencia (F.P.)	F.P. Total	Referencia norma ARCERNNR 003/23	Observaciones
F.P. Mínima	0.78	0.92	No cumple
F.P. Media	0.92	0.92	Cumple
F.P. Máxima	0.93	0.92	Cumple

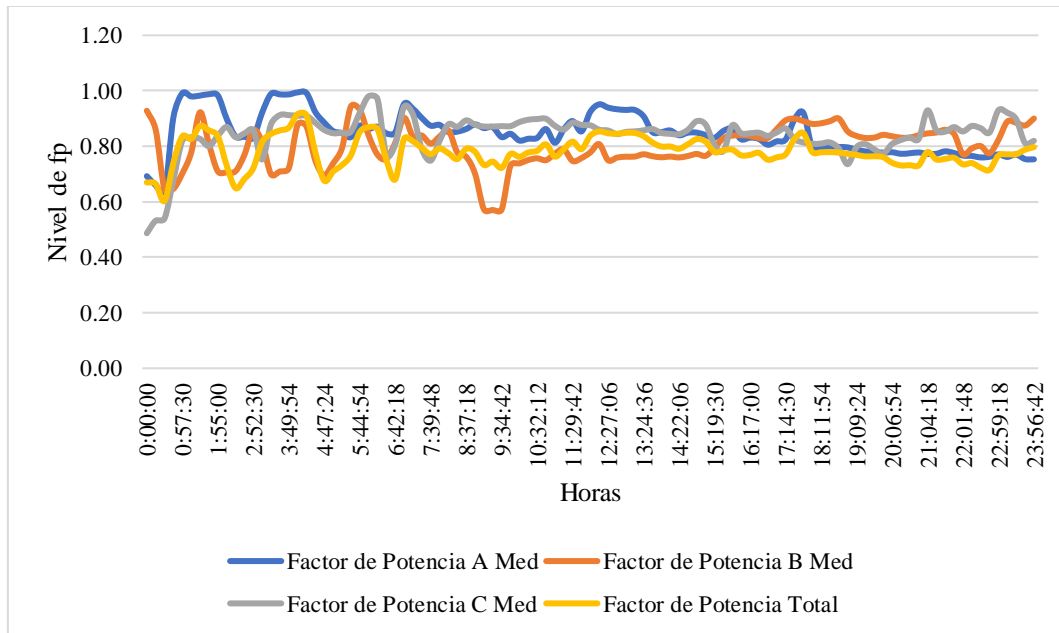


Figura 46. Niveles de factor de potencia en el transformador de 45 kVA

5.2.6. Distorsión armónica total de voltaje en el transformador de 45 kVA

5.2.6.1. Distorsión armónica total de voltaje del transformador de 45 kVA

En la Tabla 46, se evidencio que los niveles de THD de voltaje es de 2.23%, el cual está dentro del intervalo estipulado por la norma IEEE 519. Por ende, es base a los datos se puede concluir que no existen armónicos de tensión.

En la Figura 47, se muestra que no se excede el 1.80% en el promedio, por ende, se encuentra dentro de los límites aceptables.

Tabla 46. Distorsión armónica total del transformador de 45 kVA

THD Voltaje	THD Promedio %	THD L _A %	THD L _B %	THD L _C %	Referencia IEEE 519 %	Observación
THD Mínimo	1.39	1.36	1.31	1.51	8.00	Dentro de la norma
THD Promedio	1.80	1.78	1.74	1.89	8.00	Dentro de la norma
THD Máximo	2.23	2.20	2.18	2.31	8.00	Dentro de la norma

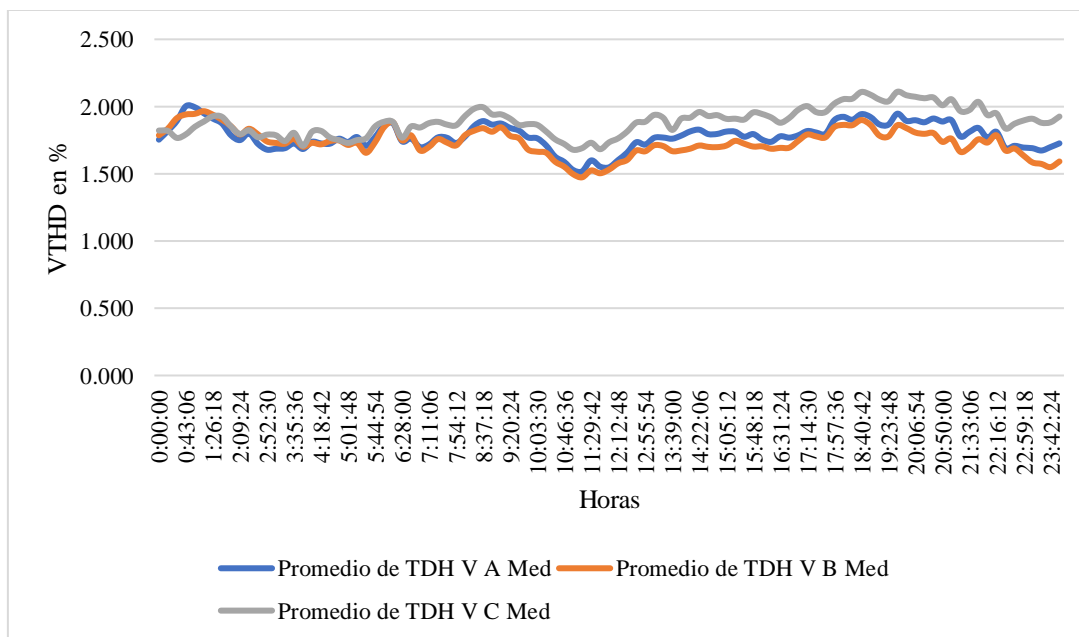


Figura 47. Niveles de THD de voltaje

5.2.7. Armónicos individuales de voltaje en el transformador de 45 kVA

5.2.7.1. Análisis de armónicos individuales de voltaje

Según la normativa de la IEEE 519, establece que los armónicos no deben superar el 5%. Los resultados de los datos obtenidos en las mediciones se muestran en la Tabla 47, muestran que los armónicos de tensión tercero, quinto, séptimo, noveno, onceavo y treceavo asociados al transformador no superan el 5%.

Tabla 47. Nivel de distorsión armónica individual

Armónicos de voltaje		Referencia - IEEE 519	Observación
Nivel de armónicos	Total, armónicos en %		
1	0.96%	5.00%	Cumple
2	0.05%	5.00%	Cumple
3	0.20%	5.00%	Cumple
4	0.03%	5.00%	Cumple
5	1.72%	5.00%	Cumple
6	0.03%	5.00%	Cumple
7	0.18%	5.00%	Cumple
8	0.03%	5.00%	Cumple
9	0.15%	5.00%	Cumple
10	0.03%	5.00%	Cumple
11	0.30%	5.00%	Cumple
12	0.02%	5.00%	Cumple
13	0.08%	5.00%	Cumple

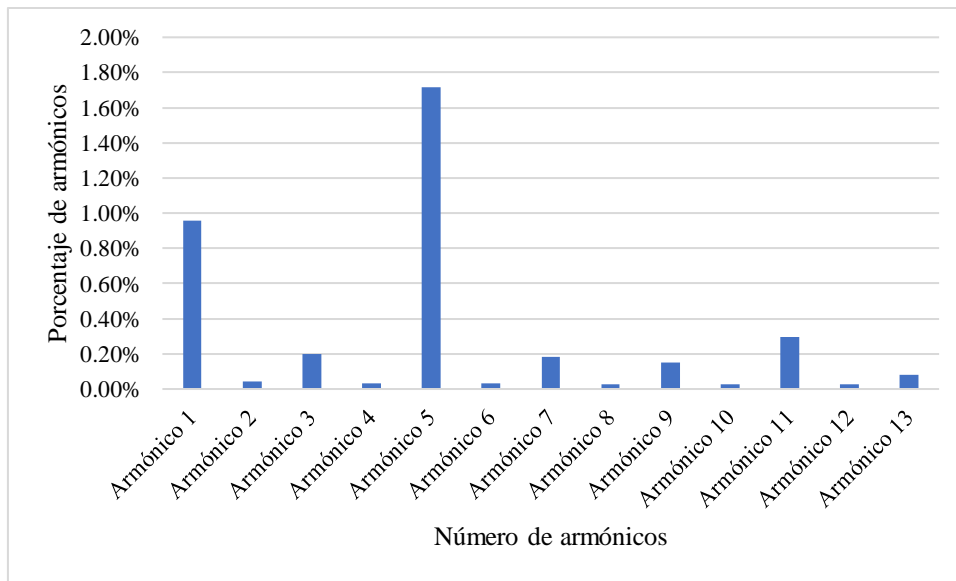


Figura 48. Armónicos individuales de voltaje en el transformador de 75 kVA

La armónica tercera de voltaje con un valor de 0.20%, la armónica quinta de voltaje con un valor de 1.72%, la armónica séptima con un valor de 0.18%, la armónica novena con un valor de 0.15%, la armónica decimoprimer con un valor de 0.30% y la armónica decimotercera con 0.08%.

En la Figura 48, se ilustra los resultados obtenidos, donde el porcentaje más alto está en la armónica cinco con un valor de 1.72%. por lo tanto, el armónico más alto que se debe tratar de disminuir en el armónico cinco.

5.2.7.2. Armónicos individuales de voltaje en el neutro del transformador de 45 kVA

En la siguiente Tabla 48 y Figura 49, se evidencia que existe armónicos que no cumplen con los porcentajes establecidos por la normativa, asimismo, en este caso ningún armónico cumple con los 5%, del cual el segundo armónico es el más alta del 14.17%, lo que sugiere que hay que solucionar los problemas.

Tabla 48. Nivel de distorsión armónica individual en el neutro del transformador de 45 kVA

Armónicos de voltaje		Referencia - IEEE 519	Observación
Nivel de armónicos	Total, armónicos en %		
1	10.25%	5.00%	Cumple
2	14.17%	5.00%	No cumple
3	14.08%	5.00%	No cumple

4	13.56%	5.00%	No cumple
5	13.65%	5.00%	No cumple
6	13.45%	5.00%	No cumple
7	13.48%	5.00%	No cumple
8	13.40%	5.00%	No cumple
9	13.45%	5.00%	No cumple
10	13.33%	5.00%	No cumple
11	13.43%	5.00%	No cumple
12	13.31%	5.00%	No cumple
13	13.37%	5.00%	No cumple

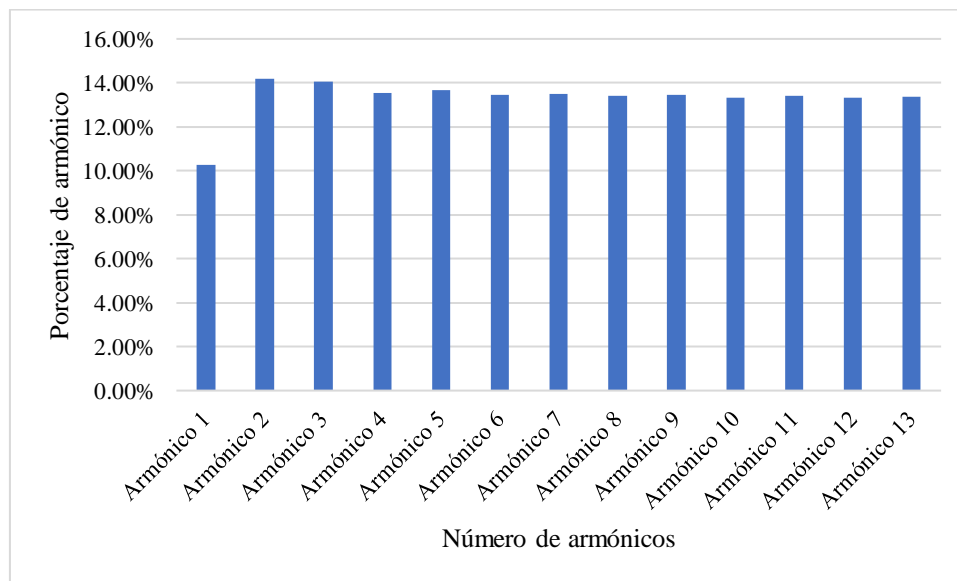


Figura 49. Armónicos individuales de voltaje en el neutro del transformador

5.2.8. Distorsión armónica total de corriente el transformador de 45 kVA

Para calcular la corriente de cortocircuito, se necesitamos conocer el valor de la reactancia en este caso es $X_{pu}=1,7\%$ del transformador de 45 kVA, Se calcula utilizando la ecuación (3):

$$I_{cc} = \frac{1}{0.017} \quad (10)$$

$$I_{CC} = 58.82 \text{ pu} \quad (11)$$

Para hacer esto, necesitamos calcular la corriente de línea del transformador y se utiliza la siguiente ecuación (4):

$$I_L = \frac{45000VA}{\sqrt{3} * 220} \quad (12)$$

$$I_L = 118.10A \quad (13)$$

5.2.8.1. Distorsión armónica de corriente en el transformador de 45 kVA

En la Figura 50, se indica los valores correspondientes del transformador de la relación de la corriente de cortocircuito y la corriente de línea en p.u del transformador, para determinar el THD de corriente.

Tabla 49. Corriente de cortocircuito y la corriente de línea en p.u del transformador

Fases	X_{pu}	I_{cc}	I_{Lpu}	I_{cc}/I_{Lpu}
L_1	0.017	58.82	0.22	267.37
L_2	0.017	58.82	0.43	136.80
L_3	0.017	58.82	0.23	255.73

De acuerdo a la relación entre la corriente de cortocircuito y la corriente de línea I_{cc}/I_{Lpu} está dentro del rango $100 < 1000$, lo que corresponde un valor de TDD correspondiente al 15%.

La normativa IEEE 519 define los límites especificados en la Figura 51 para este criterio. De acuerdo con la relación I_{cc}/I_{Lpu} calculada previamente, se encuentra dentro del intervalo de 100 a 1000, lo que resulta en un valor de THD del 15%. Sin embargo, en la Tabla 50 y en la Figura 50, se aprecia que el nivel máximo de THD es del 35.51%, lo que sugiere la existencia de problemas relacionados con armónicos de corriente.

Tabla 50. Distorsión total de corriente del transformador

THD	L_A %	L_B %	L_C %	TDD Promedio %	Referencia IEEE 519	Observación
Mínimo	2.91	3.60	2.66	3.06	15.00	Dentro de la norma
Promedio	5.28	5.14	5.74	8.72	15.00	Dentro de la norma
Máximo	18.78	8.28	79.47	35.51	15.00	Dentro de la norma

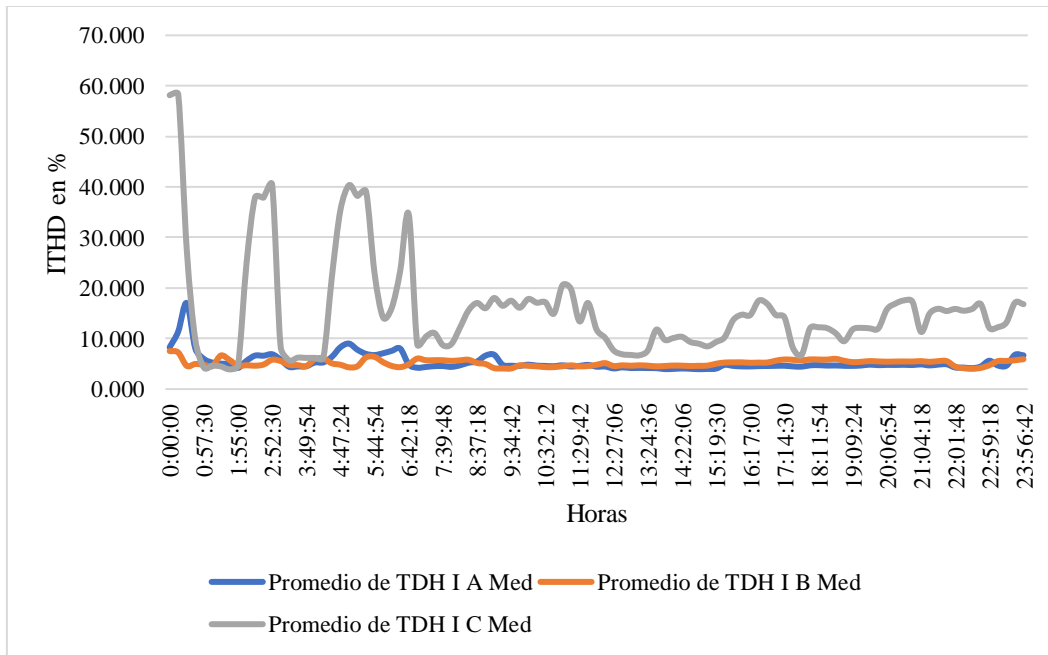


Figura 50. Niveles de distorsión total de corriente

5.2.9. Armónicos individuales de corriente en el transformador de 45 kVA

5.2.9.1. Análisis de los individuales de corriente

En la Tabla 51 y la Figura 51, se muestra que la armónica tercera de corriente con un valor del 6.24%, la armónica quinta de corriente con un valor de 5.22%, la armónica séptima con un valor de 2.30%, la armónica novena con un valor del 1.23%, la armónica decimoprimer con un valor del 1.52%, la armónica decimotercera con un valor del 1.55%. De acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el transformador es armónico en el orden tercero el cual está dentro de los valores impuestos por la norma.

Tabla 51. Distorsión individual de corriente en el transformador de 45 kVA

Armónicos de voltaje		Referencia - IEEE 519	Observación
Nivel de armónicos	Total, armónicos en %		
1	0.70%	15.00%	Cumple
2	0.90%	15.00%	Cumple
3	6.24%	15.00%	Cumple
4	0.29%	15.00%	Cumple
5	5.22%	15.00%	Cumple
6	0.16%	15.00%	Cumple
7	2.30%	15.00%	Cumple
8	0.12%	15.00%	Cumple

9	1.23%	15.00%	Cumple
10	0.09%	15.00%	Cumple
11	1.52%	5.50%	Cumple
12	0.07%	5.50%	Cumple
13	1.55%	5.50%	Cumple

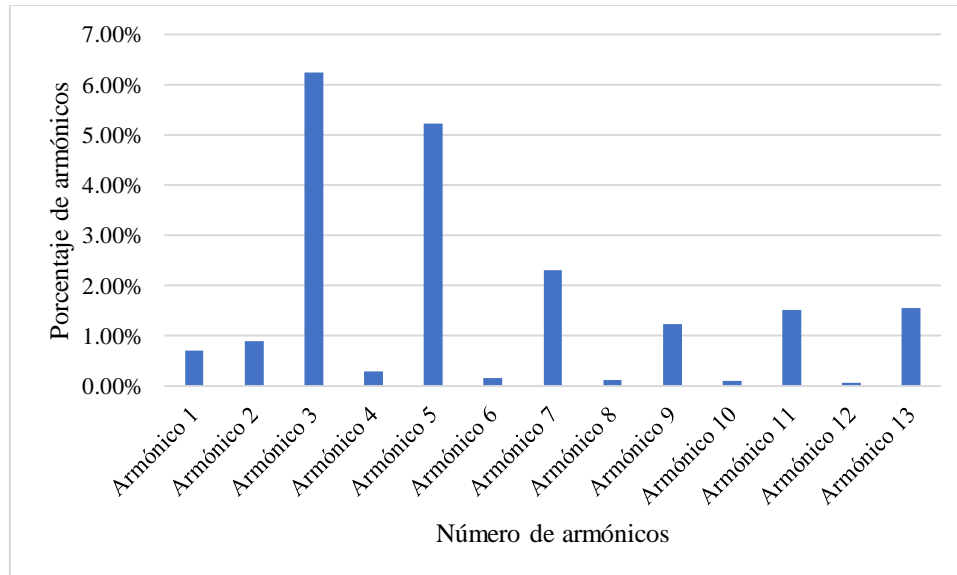


Figura 51. Porcentajes de armónicos de corriente individuales

5.1.9.2. Análisis de los armónicos individuales de corriente en el neutro

En la Tabla 52 y Figura 52, La armónica de corriente de tercer orden tiene un valor del 21.43%, la quinta armónica tiene un valor de 5.53%, la séptima armónica tiene un valor del 6.76%, la novena armónica tiene un valor del 3.05%, la undécima armónica tiene un valor del 3.37% y la decimotercera armónica tiene un valor del 1.84%. A partir de este análisis, se concluye que el transformador exhibe armónicos en el neutro, el cual es el tercer armónico que no cumple con la normativa IEEE 519.

Tabla 52. Armónicos individuales de voltaje en el neutro del transformador de 45 kVA

Armónicos de voltaje		Referencia - IEEE 519	Observación
Nivel de armónicos	Total, armónicos en %		
1	18.00%	15.00%	No cumple
2	1.33%	15.00%	Cumple
3	21.43%	15.00%	No cumple
4	0.30%	15.00%	Cumple
5	5.53%	15.00%	Cumple
6	0.18%	15.00%	Cumple
7	6.76%	15.00%	Cumple

8	0.14%	15.00%	Cumple
9	3.05%	15.00%	Cumple
10	0.12%	15.00%	Cumple
11	3.37%	5.50%	Cumple
12	0.10%	5.50%	Cumple
13	1.84%	5.50%	Cumple

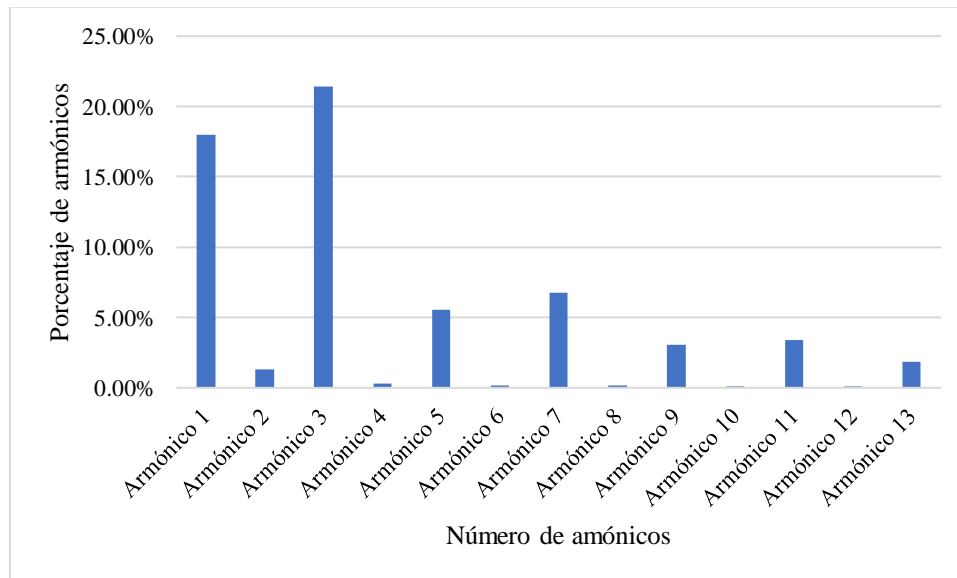


Figura 52. Porcentaje de armónicos de corriente en el neutro del transformador de 45 kVA

5.2.10. Análisis de la Curva de la Demanda en el transformador de 45 kVA

Se realizaron mediciones de potencia en la Universidad Técnica de Cotopaxi utilizando el Analizador de Redes SUIM SA2100 a intervalos de 5 minutos, siguiendo el procedimiento especificado en la Regulación ARCERNNR 003/23. Los resultados obtenidos se presentan en la figura.

En la Figura 53 se observa la curva de demanda en el transformador durante un día de utilización de los laboratorios. Se destaca que, en este día específico, la actividad productiva alcanzó su punto máximo con una potencia de 13.787 kW. Este pico se atribuye a los laboratorios de agroindustria y granos andinos, que operan a su capacidad máxima para cumplir con una alta demanda.

Durante los períodos de utilización intermedia, cuando los estudiantes no utilizan los laboratorios, se observa una potencia media de 13.639 kW. Esta reducción en la demanda permite a la Universidad operar de manera más eficiente.

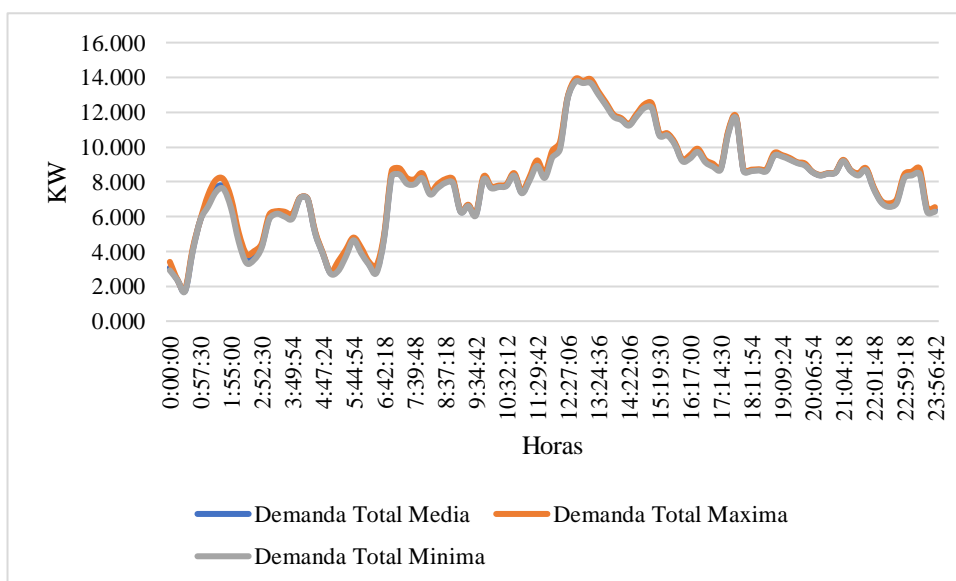


Figura 53. Demanda del transformador de 45 kVA en un día.

5.3. LEVANTAMIENTO DE CARGAS CONECTADAS A LOS TRANSFORMADORES

5.3.1. Levantamiento de cargas del transformador de 75 kVA

Lo primordial para una adecuada simulación de la red eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi del campus Salache, es realizar un levantamiento de las cargas correspondientes a los equipos que están conectados a la red, los mismo que se dividen a los subtableros abarcando los bloques de aulas, las salas de docentes y decanato, la biblioteca y también los laboratorios de agronomía. Estas cargas se detallan a continuación en la Tabla 53.

Tabla 53. Levantamiento de carga del transformador de 75 kVA

Equipo	Nombre	Potencia (hp) / W	Factor de servicio	Corriente (a)	Cable concéntrico	Breakers abb 3x(a)
Ascensor	ASC	1845	1.125	9.08	3x8AWG	3x32
Iluminación	ISALDOCE	270	1.125	1.74	3x14AWG	3x33
Tomacorrientes	TSALDOCE	470	1.125	2.64	3x12AWG	3x32
Iluminación	IPEN	380	1.125	1.84	3x14AWG	3x32
Iluminación	IAULAS3Y4	65	1.125	0.32	3x14AWG	3x32
Tomacorrientes	TAULAS1-6	180	1.125	0.9	3x12AWG	3x32
Iluminación	ICMSPA	1150	1.125	6.06	3x14AWG	3x32
Tomacorrientes	TCMSPA	360	1.125	1.89	3x12AWG	3x32
Iluminación	ILABCOMP	1150	1.125	6.06	3x14AWG	3x32
Tomacorrientes	TLABCOMP	1800	1.125	9.48	3x12AWG	3x32
Iluminación	IAULAS11-13	1150	1.125	6.06	3x14AWG	3x33
Tomacorrientes	TAULAS11-13	360	1.125	1.89	3x12AWG	3x32
Iluminación	ISDAUL	1150	1.125	6.06	3x14AWG	3x32
Tomacorrientes	TSDAUL	740	1.125	3.89	3x12AWG	3x32
Iluminación	IAULAS2-4	1340	1.125	7.03	3x14AWG	3x32
Tomacorrientes	TAULAS2-4	360	1.125	1.89	3x12AWG	3x32
Iluminación	IAULAS5-7	1320	1.125	6.94	3x14AWG	3x32
Tomacorrientes	TAULAS5-7	735	1.125	1.89	3x12AWG	3x32
Iluminación	IAULAS8-10	1260	1.125	6.61	3x14AWG	3x32
Tomacorrientes	TAULAS8-10	360	1.125	1.89	3x12AWG	3x33
Iluminación	IAULAS14-16	1260	1.125	6.61	3x14AWG	3x32
Tomacorrientes	TAULAS14-16	360	1.125	1.89	3x12AWG	3x32
Iluminación	IHLR	116	1.125	0.55	3x14AWG	3x32
Tomacorrientes	THLR	198	1.125	0.95	3x12AWG	3x32
Iluminación	IORBQM	141	1.125	0.68	3x14AWG	3x32
Tomacorrientes	TORBQM	308	1.125	1.48	3x12AWG	3x32
Iluminación	IRAAMO	147	1.125	0.72	3x14AWG	3x32
Tomacorrientes	TRAAMO	343	1.125	1.66	3x12AWG	3x32
Iluminación	IOSFB	162	1.125	0.77	3x14AWG	3x33
Tomacorrientes	TOSFB	326	1.125	1.58	3x12AWG	3x32
Iluminación	IBIBLIO	2000	1.125	10.5	3x14AWG	3x32
Tomacorrientes	TBIBLIO	3660	1.125	19.25	3x12AWG	3x32
Iluminación	IISD	307	1.125	1.62	3x14AWG	3x32
Tomacorrientes	TIASD	3370	1.125	17.68	3x12AWG	3x32
Iluminación	ISD3VICE	140	1.125	0.74	3x14AWG	3x32
Tomacorrientes	TSD3VICE	1240	1.125	6.52	3x12AWG	3x32

En base al levantamiento de carga se evidencio que el transformador no excede su capacidad al estar trabajando a plena carga, sin embargo, en base al estudio de calidad de energía realizado con el analizador de redes Suin SA2100, se logró determinar que a pesar de obtener el levantamiento de carga correcto todos los equipos tienen un factor de demanda bajo por lo cual sus demandas de corriente son bajas, se especifica los niveles de corriente medidos en cada equipo del laboratorio y una relación a comparación de su corriente nominal como se muestra en la siguiente Tabla 54.

Tabla 54. Corrientes nominales y reales consumidas en el transformador de 75 kVA

Equipo	Nombre	Corriente consumida (a)	Corriente nominal (a)
Ascensor	ASC	7.26	9.08
Iluminación	ISALDOCE	1.74	1.74
Tomacorrientes	TSALDOCE	2.64	2.64
Iluminación	IPEN	1.84	1.84
Iluminación	IAULAS3Y4	0.32	0.32
Tomacorrientes	TAULAS1-6	0.9	0.9
Iluminación	ICMSPA	6.06	6.06
Tomacorrientes	TCMSPA	1.89	1.89
Iluminación	ILABCOMP	4.85	6.06
Tomacorrientes	TLABCOMP	7.59	9.48
Iluminación	IAULAS11-13	6.06	6.06
Tomacorrientes	TAULAS11-13	1.89	1.89
Iluminación	ISDAUL	6.06	6.06
Tomacorrientes	TSDAUL	3.89	3.89
Iluminación	IAULAS2-4	7.03	7.03
Tomacorrientes	TAULAS2-4	1.89	1.89
Iluminación	IAULAS5-7	6.94	6.94
Tomacorrientes	TAULAS5-7	1.89	1.89
Iluminación	IAULAS8-10	6.61	6.61
Tomacorrientes	TAULAS8-10	1.89	1.89
Iluminación	IAULAS14-16	6.61	6.61
Tomacorrientes	TAULAS14-16	1.89	1.89
Iluminación	IHLR	0.55	0.55
Tomacorrientes	THLR	0.95	0.95
Iluminación	IORBQM	0.68	0.68
Tomacorrientes	TORBQM	1.48	1.48
Iluminación	IRAAMO	0.72	0.72
Tomacorrientes	TRAAMO	1.66	1.66
Iluminación	IOSFB	0.77	0.77
Tomacorrientes	TOSFB	1.58	1.58
Iluminación	IBIBLIO	10.5	10.5
Tomacorrientes	TBIBLIO	19.25	19.25

Iluminación	IIASD	1.62	1.62
Tomacorrientes	TIASD	17.68	17.68
Iluminación	ISD3VICE	0.74	0.74
Tomacorrientes	TSD3VICE	6.52	6.52

La corriente nominal se determina con la siguiente ecuación (14) la cual ayuda a verificar la Cargabilidad del transformador

$$I_{trafo} = \frac{S_n}{\sqrt{3} * V_{LL}} \quad (14)$$

$$I_{trafo_{75kVA}} = \frac{75 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 220V} \quad (15)$$

$$I_{trafo_{75kVA}} = 196.82 \text{ A} \quad (16)$$

5.3.2. Levantamiento de cargas del transformador de 45 kVA

Para lograr una simulación que se acerque a la realidad es fundamental identificar y levantar la información de cada una de las cargas correspondientes a cada uno de los subtableros conectados al sistema eléctrico los mismos que se encuentran distribuidos en los laboratorios de agroindustria y granos andinos. Mediante estos datos podemos analizar que si se trabajara a plena carga el nivel de tensión del transformador tiende a llegar a un 85% de Cargabilidad. Estas cargas se detallan a continuación en la Tabla 55

Tabla 55. Levantamiento de carga del transformador de 45 kVA

EQUIPOS ELECTRONICOS LABORATORIO AGROINDUSTRIA							
Equipo	Nombre	Potencia (hp)	Factor de servicio	Conexión motora	Corriente (a)	Cable concéntrico	Breakers abb 3x(a)
Bomba De Agua Para Caldero	BAC	1	1.25	Δ	6.3	3X4 AWG	3X16
Quemador De Diesel Del Caldero	QDC	1	1.25	Y	9.6	3X4 AWG	3X16
Bomba De Agua De Sisterna	BAS	2	1.25	Δ	16	3X4 AWG	3X150
Chiler (Enfriador De Agua)	CHEA	5	1.25	Δ	15.1	3X4 AWG	3X25
Empacadora	EPDA	1	1.25	Y	18	3X4 AWG	3X16
Bomba Para Tanque De Fermentacion	BTF	1	1.25	Δ	138	3X4 AWG	3X16
Cuarto Frio	CFR	1	1.25	Δ	29	3X4 AWG	3X16
Mescladora	MSR	1	1.25	Y	2.59	3X4 AWG	3X16
Molino	MLN	1	1.25	Y	15.4	3X4 AWG	3X16
Batidora 1	BTR-1	1	1.25	Y	11	3X4 AWG	3X16
Licuadaora	LCA	1	1.25	Y	10	3X4 AWG	3X16
Exprimidora	XPM	1	1.25	Δ	3	3X4 AWG	3X16

Cortadora De Carne	CTC	2	1.25	Δ	10	3X4 AWG	3X150
Batidora 2	BTR-2	1	1.25	Y	11	3X4 AWG	3X16
Fileteadora	FTDR	1	1.25	Δ	6.5	3X4 AWG	3X16
Molino De Carne	MDC	2	1.25	Y	11	3X4 AWG	3X150
Horno	HRN	17,5 KW	1.25			3X10 AWG	3X16
Congelador	CNR	3KW	1.25			3X12 AWG	3X20
Congelador Doble	CNRD	5KW	1.25			3X12 AWG	3X20
Deshidratadora	DHTR	3KW	1.25			3X10 AWG	3X20
EQUIPOS DEL LABORATORIO DE GRANOS ANDINOS							
Molino 1	MLN-1	3	1.25	Δ	18	3X4 AWG	3X20
Molino 2	MLN-2	1	1.25	Y	15.4	3X4 AWG	3X16
Secadora De Granos	SRG	1	1.25	Δ	36	3X4 AWG	3X16
Empacadora	EMP	1	1.25	Δ	18	3X4 AWG	3X16
Tostadora	TSR	1	1.25	Y	15	3X4 AWG	3X16

En base al levantamiento de carga se observa que la potencia instalada en los laboratorios de agroindustria y granos andinos esta no excede la capacidad del transformador al operar a plena carga, sin embargo, en base al estudio de calidad de energía realizado con el analizador de red, se logró determinar que a pesar de obtener el levantamiento de carga correcto todos los motores tienen un factor de demanda bajo por lo cual sus demandas de corriente es promedio a la corriente nominal de cada equipo, se especifica los niveles de corriente medidos en cada motor del laboratorio y una relación a comparación de su corriente nominal.

Tabla 56. Corrientes nominales y reales consumidas breaker de 200A

EQUIPOS ELECTRONICOS LABORATORIO			
EQUIPO	NOMBRE	Corriente consumida (a)	Corriente nominal (a)
Bomba De Agua Para Caldero	BAC	5.04	6.3
Quemador De Diésel Del Caldero	QDC	8.64	9.6
Bomba De Agua De Cisterna	BAS	8	16
Chiler (Enfriador De Agua)	CHEA	7.55	15.1
Empacadora	EPDA	12.6	18
Bomba Para Tanque De Fermentación	BTF	41.4	138
Cuarto Frio	CFR	29	29
Mescladora	MSR	1.16	2.59
Molino	MLN	9.24	15.4
Batidora 1	BTR-1	4.4	11
Licuada	LCA	3	10
Exprimidora	XPM	0.9	3
Cortadora De Carne	CTC	4	10
Batidora 2	BTR-2	4.4	11
Fileteadora	FTDR	1.3	6.5
Molino De Carne	MDC	2.2	11
Horno	HRN	6	20
Congelador	CNR	12	15
Congelador Doble	CNRD	24	30
Deshidratadora	DHTR	5.4	9
Iluminación	IAGRO	6.06	6.06
Tomacorrientes	TAGRO	9.48	9.48

Iluminación	IAGRO	6.06	6.06
Tomacorrientes	TAGRO	9.48	9.48
EQUIPOS DEL LABORATORIO DE GRANOS ANDINOS			
Molino 1	MLN-1	14.4	18
Molino 2	MLN-2	9.24	15.4
Secadora De Granos	SRG	18	36
Empacadora	EMP	12.6	18
Tostadora	TSR	12	15
Iluminación	ILABGA	6.06	6.06
Tomacorrientes	ILABGA	9.48	9.48

Por lo general en los motores las corrientes en vacío (I_0) tienen una pequeña fracción de la corriente a plena carga que por lo general estos varían entre 20% y 40%, donde al observar cómo es el funcionamiento de los motores se logró evidenciar que ningún motor trabaja a plena carga lo cual indica que los consumos de corriente son bajos. Estos niveles de corriente no afectan al transformador ya que la corriente nominal del transformador se calcula con la siguiente ecuación (14):

$$I_{trafo_{45kVA}} = \frac{45 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 220V} \quad (17)$$

$$I_{trafo_{45kVA}} = 118.10 \text{ A} \quad (18)$$

La corriente nominal del transformador es muy superior a la consumida por los laboratorios y en los bloques de aulas de la Universidad Técnica de Cotopaxi Campus Salache por lo cual se evidencia que el transformador no está en peligro de daños o una mala operación en la cual estos datos se validaron tanto en los resultados obtenidos por el analizador de redes y también por los datos medidos en los conductores de cada uno de los motores con dos pinzas amperimétrica HYTAIS TS-201 y HABOTEST HT208D para tener una mejor verificación de las medidas.

5.4. PARÁMETROS UTILIZADOS PARA REALIZAR LA SIMULACIÓN

Para realizar una simulación en ETAP correcta se toma en consideración los parámetros como:

- Factor de demanda
- Modelos de los motores
- La inercia del motor
- Arranques de los motores

- Tipo de cargas de los motores.

Para poder realizar una modelación apegada a la realidad se tomaron datos aproximados de los apartados en los cuales no existían datos con el fin de ayudar a que la simulación reflejara el estado eléctrico el cual fue acercado a lo datos medidos en el analizador de redes, afirmando los resultados antes estudiados. Los laboratorios están alimentados por un transformador de 45 kVA el cual alimenta al breaker principal, mientras que los bloques de aulas y biblioteca, están alimentados por un transformador de 75kVA el cual alimenta al breaker principal.

5.4.1. Red de Media Tensión

El primer elemento y el principal en modelar es la red equivalente, la cual es fundamental porque de esta red se extraen los datos que son utilizados en la Universidad para el dimensionamiento de las protecciones eléctricas, estos datos sirven para tener un modelo más cercano a la realidad.

Los datos utilizados para la simulación de la red se basaron en datos que fueron utilizados en el dimensionamiento de las protecciones, estos datos que se solicitan son las potencias y corrientes de cortocircuito en el punto en donde se van a conectar los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi Campus Salache y fueron los datos utilizados para la simulación de la red los cuales se encuentran en la Tabla 57.

Tabla 57. Potencias y corriente de cortocircuito en el punto de conexión

Ikss (kA)	Skss(MVA)	Ip(kA)	R1(Ohm)	R2(Ohm)	R0(Ohm)	X0(Ohm)
2.849	68.120	7.280	1.588	4.651	N/A	N/A
2.343	31.150	5.747	1.558	4.651	2.878	8.333

5.4.2. Transformador de 75kVA

Se modelo este elemento con los datos de placa obtenidos en el transformador trifásico convencional existente en la Universidad Técnica de Cotopaxi Campus Salache marca MORETRAN instalado en pórtico, los cuales se pueden observar a continuación en la Tabla 58.

Tabla 58. Datos del transformador de los bloques de aula

Parámetro	Valores
Potencia Aparente	75kVA
Niveles de voltaje	13.8kV/220V

Impedancia	2.70%
Frecuencia	60Hz
Tipo de conexión	Dyn5
TAP	±5%



Figura 54. Transformador de 75 kVA

5.4.3. Transformador de 45 kVA

Es el elemento que se modelo con los datos de placa obtenidos en el transformador trifásico convencional que existente en la Universidad Técnica de Cotopaxi Campus Salache de la marca RYMEL instalado en pórtico, numeración 5929, donde los datos se pueden observar a continuación en la Tabla 59.

Tabla 59. Datos del transformador de los laboratorios

Parámetro	Valores
Potencia Aparente	45kVA
Niveles de voltaje	13.8kV/220V
Impedancia	1.70%
Frecuencia	60Hz
Tipo de conexión	Dyn5
Tap	±2.5%



Figura 55. Transformador de 45 kVA

Una vez obtenida toda la información requerida para la simulación se procede a armar el sistema eléctrico en ETAP el cual se distribuye de la siguiente manera, del breaker principal del transformador de 75 kVA se distribuye para los bloques de aulas, sala de docentes, laboratorios de agronomía y la biblioteca, lo cual se puede evidenciar en **ANEXO F**, mientras que del breaker principal del transformador de 45 kVA se distribuye a los laboratorios de agroindustria y granos andinos, que de igual manera se puede observar en el **ANEXO F**.

6. RESULTADOS Y SOLUCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI CAMPUS SALACHE

6.1. Resultados de la simulación en ETAP

Con el levantamiento antes realizado se efectuó la topología y la parametrización de cada uno de los elementos que conforman las instalaciones en la Universidad Técnica de Cotopaxi campus Salache con el objetivo de verificar que los resultados obtenidos en la simulación sean parecidos con los obtenidos en la recolección de datos medidos, estos resultados los pueden verificar en los anexos. Ya con los flujos realizados se procedió a analizar el comportamiento de las cargas como equipos electrónicos y motores que trabajan en esta transitorio con el fin de poder observar el comportamiento de los parámetros como: Voltajes, potencias activas, reactivas, aparentes y el factor de potencia.

Para realizar la simulación se fue introduciendo carga en tiempos diferentes los cuales se acercara a la realidad ya que así se comportaría la demanda y se podría comparar con los datos obtenidos ya que algunos equipos instalados en la universidad, están en constante arranque y parada, siendo los más influyentes los motores de los laboratorios de agronomía, agroindustria y granos andinos, que son los de mayor demanda en los transformadores, por lo cual existen caídas de voltaje y consumos de corrientes elevados se pueden producir en cualquier momento.

Una vez que se realizó los eventos de encendido y apagado de los distintos elementos del sistema eléctrico se procedió a realizar la simulación, de donde se obtuvieron los siguientes resultados.

6.1.1. Resultado del transformador de 75 kVA

La simulación realizada permitió evidenciar que, al tener cargas que entran al sistema los voltajes se reducen hasta mantenerse en un voltaje estable 214.69 V en el transformador de 75 kVA, estos valores fueron validados con los datos obtenidos a través del analizador de redes, lo que avala la precisión de la simulación respecto a la realidad y garantiza que el modelo utilizado refleja con fidelidad el comportamiento del sistema eléctrico en condiciones operativas reales. Además, se observó que el sistema mantiene un factor de potencia dentro de los límites establecidos por la normativa ARCERNNR 003/23 registrando valores cercanos a 0.97 y un valor mínimo de 0.92 que permite la norma esto sugiere que el sistema opera de manera eficiente y evita penalizaciones económicas por

parte de la Empresa Eléctrica Cotopaxi por bajo factor de potencia lo que indica también un adecuado trabajo del transformador y del sistema en general. A pesar de eso, se apreció un bajo aprovechamiento de la energía suministrada, reflejado en los valores obtenidos en la potencia activa y reactiva lo podría implicar la necesidad de mejorar el consumo eléctrico para mejorar la eficiencia del sistema dado que el transformador de 75 kVA es el encargado de abastecer las áreas principales como los bloques de aulas, sala de docentes, decanato, la biblioteca y los laboratorios de agronomía, es fundamental asegurar que su operación se logre mantener dentro de los parámetros establecidos para que así no se tenga pérdidas innecesarias y garantizar la estabilidad del consumo eléctrico.

En el transformador se presentan desbalance de potencia. Lo que produce problemas el cual pone en riesgo en la estabilidad y la eficiencia del sistema eléctrico, el desbalance de potencia se produce cuando las cargas no son equivalentes entre las fases del transformador lo que produce variaciones de corriente significativa en cada una de las fases, esto ocasiona corrientes excesivas que superan los límites de seguridad tanto para el transformador como también a los equipos y motores conectados al sistema eléctrico.

6.1.2. Resultados del transformador de 45 kVA

Al realizar la simulación se observó que, al conectar carga al sistema, los voltajes perciben una reducción progresiva hasta tener una estabilidad de 215.43 V en el transformador de 45 kVA. Estos datos se validaron mediante la toma de datos con el analizador de redes evidenciando que la simulación es lo más parecida a la realidad y sustentando el modelo utilizado. Igualmente, se analizó la introducción de las potencias procedentes de varios equipos y motores conectados al sistema. Se detectó un comportamiento escalonado en la variación de los voltajes lo cual se atribuye al encendido a un mayor número de motores y congeladores en el sistema.

Este fenómeno tiene su aparición en los picos de voltaje al momento de la activación de los motores lo que indica el comienzo de su trabajo mientras que, al apagarse, en dichos picos se observa una reducción, reflejado el impacto de la demanda eléctrica en el sistema. Por otra parte, el análisis de la potencia reactiva permitió apreciar que esta no supera el valor de la potencia activa lo que muestra que el factor de potencia se mantiene en los límites permitidos por la normativa ARCERNR 003/23.

6.1.3. Propuesta de solución a las problemáticas presentadas en la Universidad Técnica de Cotopaxi campus Salache

Al observar cuidadosamente cada uno de los datos recopilados del analizador de redes y mediante la simulación, se identificó la problemática que existe en el sistema eléctrico el cual se centra en dos aspectos importantes que son:

- Desbalance de potencias
- Caídas de voltaje

Para dar solución a cada uno de los problemas encontrados se realizará un estudio eficiente el cual ayude a mejorar y tener un sistema más confiable que permita a los estudiantes poder realizar prácticas en los laboratorios los cuales ayudaran a su formación profesional.

Para corregir el desbalance de potencia en los transformadores se realiza a una correcta redistribución de las cargas en cada una de las fases sin que estas sean diferentes de las otras, ya que esto ayudara a que las corrientes no sobrepasen de los límites permitidos y así poder evitar que los conductores sufran sobrecargas o que los bobinados de los transformadores se recaliente y se produzca una falla en el transformador donde este saldrá de funcionamiento, produciendo perdidas tanto para estudiantes como profesores.

6.1.3.1. Solución a la caída de voltaje en el transformador de 75 kVA.

En la Universidad, las caídas de tensión pueden afectar el funcionamiento de equipos esenciales como computadoras, proyectores, iluminación y maquinaria especializada en los laboratorios. Estas caídas de voltaje se deben a una sobrecarga en el transformador, largas distancias en el cableado, conexiones deficientes o un factor de potencia bajo. Cuando el voltaje suministrado es inferior al necesario, los equipos pueden operar de manera ineficiente, generar sobrecalentamiento o incluso apagarse, lo que impacta directamente en las actividades académicas y de investigación.

Para dar una solución efectiva y corregir estas caídas de tensión es ajustar el tap del transformador. Los transformadores suelen tener tap changers que permiten modificar el número de espiras en el devanado primario o secundario, ajustando así la relación de transformación para aumentar o disminuir el voltaje de salida. Si la caída de tensión es recurrente y significativa, se puede incrementar el tap para elevar el voltaje suministrado, asegurando que los equipos en aulas y laboratorios reciban la tensión adecuada. Sin

embargo, este ajuste debe realizarse con un análisis previo de la carga y mediciones de voltaje, ya que un ajuste excesivo podría provocar sobre voltajes en períodos de baja demanda.

Mediante la simulación realiza en Etap se puede verificar que al cambiar el TAP del transformador se evidencia que las caídas de voltaje mejoran esto se puede observar en la siguiente Figura 56.

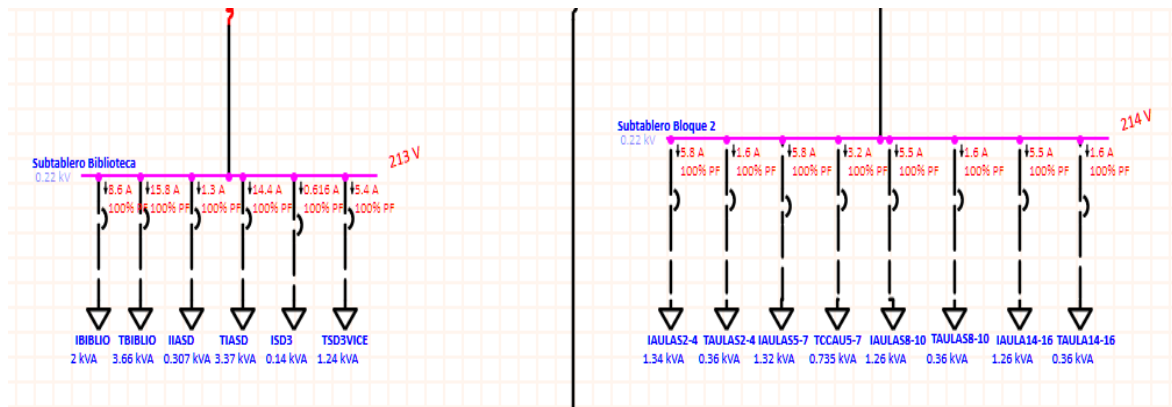


Figura 56. Caídas de voltaje en el transformador de 75 KVA.

En la Figura 57, se puede evidenciar que existen caídas de voltaje en el transformador de 45 kVA, los cuales se encuentran en 214.70 V esto produce afectaciones en los sistemas conectados a la red como pérdidas o daños en los laboratorios de computación, laboratorios de agronomía y demás instalaciones asociadas al sistema eléctrico. Al cambiar la posición del Tap se puede evidenciar en la Figura 58, una mejora en los perfiles de voltaje manteniéndolos en 220.02 V, el cual ayudara a mejorar la vida útil de los equipos para los que fueron adquiridos.

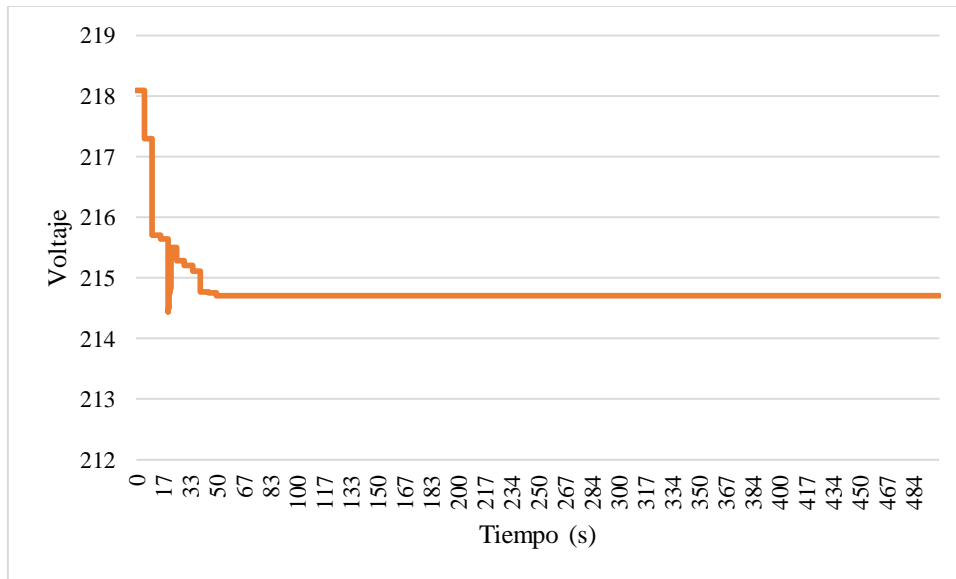


Figura 57. Voltaje inicial en el transformador de 75 kVA.

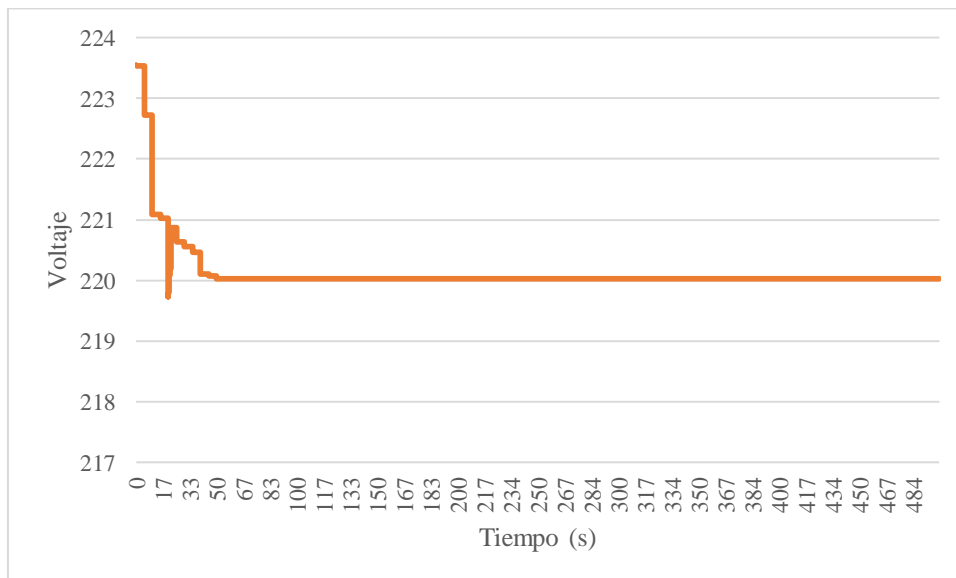


Figura 58. Voltaje mejorado en el transformador de 75 kVA

6.1.3.2. Solución al desbalance de potencia en el transformador de 75 KVA

En la **Anexo D**, se evidencia un desbalance de potencia en el transformador de 75 kVA, debido a una distribución inadecuada de las cargas entre las fases. Esta condición puede generar sobrecarga en una de las fases, afectando la eficiencia y el desempeño del transformador.

Para analizar este fenómeno, se realizó un estudio de cargas validadas por la simulación, por lo tanto, los resultados obtenidos confirmaron el desbalance significativo por fase, esto provoca aumento de pérdidas, sobrecalentamiento de equipos, disparos erróneos de protecciones afectando la estabilidad del sistema.

Para dar solución a la inestabilidad del sistema se procedió a realizar un levantamiento de cargas el cual ayudará a realizar una redistribución como se muestra en el **Anexo E** en el sistema eléctrico con el que permitirá reducir los picos de corriente innecesarios, los cuales afectan directamente a la vida útil de los equipos que se utilizan en los laboratorios así como también ayudara a en la eficiencia del sistema eléctrico. El balance de carga ayudara a mitigar la distorsión total de corriente ya que al estar desbalanceado es probable que una de las fases tenga más armónicos que las otras.

Por otra parte, para una mayor seguridad y protección de los sistemas eléctricos conectados al transformador se recomienda el cambio del relé de protección principal el cual presenta fallas en una de sus fases, lo cual puede producir que salga de operación y deje de suministrar energía a los bloques de aulas, salas de docente, oficina de decanato, la biblioteca y los laboratorios de agronomía. Lo cual produciría perdidas a nivel académico ya que se necesita suministro eléctrico para realizar clases didácticas y prácticas con el fin de garantizar un conocimiento adecuado para cada una de las carreras del campus Universitario-Salache.

6.1.3.3. Solución al armónico en el transformador de 75 kVA.

Para dar paso a esta solución se procedió a simular la implementación de un filtro pasivo de armónicos en el sistema eléctrico del transformador debido a que en la red se presenta armónicos de orden tres por ende el uso de filtros pasivos es la solución más viable ante la problemática. El diseño de estos filtros se basa en los circuitos LC (Inductor, Capacitor) los cuales se ajustan para coincidir con la frecuencia del armónico que se requiere mejorar.

La frecuencia de resonancia se expresa en la ecuación (19):

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (19)$$

Tomando como base la ecuación (19), de la cual se despeja L, se presenta la siguiente ecuación (20).

$$L = \frac{1}{2\pi * f^2 * C} \quad (20)$$

En la Figura 59, se observa el comportamiento del tercer y quinto armónico, destacando el impacto de la implementación del filtro pasivo. Inicialmente, el tercer armónico presentaba un valor del 15.14%, excediendo los límites establecidos por la norma IEEE

519. Sin embargo, tras la instalación del filtro pasivo, se logró una reducción significativa del 63.7%, obteniendo un nuevo valor de 5.50%, lo que permite cumplir con los estándares normativos. Esta mejora demuestra la eficacia del filtro pasivo en la mitigación de armónicos y en la optimización del sistema eléctrico. Además, la simulación realizada en MATLAB la cual se observa en el **Anexo H**, donde se creó el filtro que permitió reducir el elevado porcentaje del armónico.

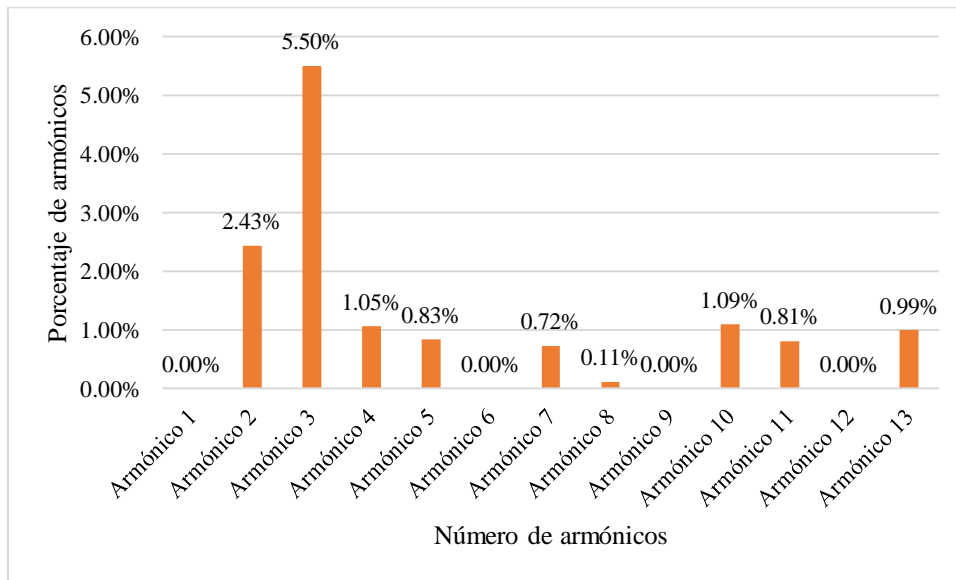


Figura 59. Mejoramiento de los armónicos al instalar un filtro pasivo

7. PRESUPUESTO FINANCIERO

Para el presupuesto financiero, es fundamental identificar los flujos de dinero que la Universidad Técnica de Cotopaxi no está aprovechando debido a las pérdidas energéticas. Estas pérdidas incluyen los kWh desperdiciados por efecto I^2R , las pérdidas derivadas del mal funcionamiento de equipos debido a la baja calidad del suministro eléctrico y, en mayor medida, las pérdidas provocadas por un alto porcentaje de armónicos de tercer orden, cuyo índice alcanza el 15.14%, superando los límites establecidos en la normativa IEEE 519.

Si bien la normativa no detalla sanciones o penalizaciones directas por exceder estos valores, el incumplimiento de los estándares de calidad puede derivar en acciones correctivas por parte de las autoridades reguladoras, tales como la exigencia de implementar medidas de mitigación.

Además de las implicaciones técnicas y regulatorias, el alto contenido de armónicos en la red eléctrica de la universidad no genera pérdidas económicas significativas a corto plazo. Sin embargo, al no operar con un rendimiento óptimo, el sistema afecta el desempeño de los equipos utilizados en diversas actividades académicas, lo que impacta negativamente en la calidad del aprendizaje y la realización de prácticas, análisis que se realiza en la universidad. La presencia de armónicos de tercer orden puede causar sobrecalentamiento de transformadores y conductores, reducción de la vida útil de los equipos y aumento de las pérdidas de energía, comprometiendo así la eficiencia y confiabilidad de la infraestructura eléctrica de la universidad.

7.1. Costo de implementar de un filtro de armónicos

Tabla 60. Inversión si aplica el filtro

CALCULO DE COSTO E INSTALCIÓN DEL FILTRO DE AMÓNICOS			
Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Analizador de red	1	400	400
Caja metálica aislada	1	160	160
Filtro de Armónicos	1	2300	2300
Relé de protección 150(A)	1	200	200
Cableado	30	28,68	860,4
MANO DE OBRA			
Descripción	Días	Costo Diario	Precio total
Ingeniero Eléctrico	8	41,66	333,28
Técnico Eléctrico	2	52,32	104,64
Subtotal			3704,572
IVA			653,748
Total			4358,32

La inversión total en la implementación de un filtro de armónicos es de \$4358,32

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES

Mediante un levantamiento de carga del sistema eléctrico del campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi se pudo identificar los puntos para la toma de mediciones considerando los más relevantes: al transformador de 75KVA, el cual alimenta a los subtableros de los bloques de aulas, salas de docentes, biblioteca, laboratorios de agronomía y laboratorios de computación, así como al transformador de

45kVA del cual se distribuye a los diferentes subtableros que alimentan los laboratorios de agroindustria y granos andinos, así como la clínica veterinaria al considerar que cuenta con elementos sensibles a variaciones en los parámetros eléctricos. Tomando estos puntos de medición como los más importantes ya que agrupan la mayor cantidad de carga instalada.

Al aplicar las normas ARCERNR 003/20 e IEEE 519 se pudo evaluar los parámetros eléctricos obteniendo que, con respecto al desbalance de voltaje de los transformadores de 75KVA Y 45KVA se encuentra en el 0.35% y 0.20% respectivamente, mientras que los desbalances de potencias se encuentran fuera del rango permitido con un 22% y 30% respectivamente, lo que supera el 5% permitido, adicional se identificaron presencia de armónicos de corriente en el transformador de 75 KVA, los cual supero el 15% permitido, especialmente en el tercer armónico donde se observa un 15,14%, a comparación del transformador de 45 KVA que se encuentra dentro de los rangos.

Basados en los distintos estudios de calidad de energía y las normativas aplicadas se considera que el mayor problema que se presenta en el campus Salache obedece al desequilibrio de sus fases, por lo que como una medida principal se propone el balance de cargas, lo que permitirá la mitigación del armónico 3 que se encuentra en el transformador de 75KVA, respecto a los niveles de caída de voltaje se proponer subir una posición en el TAP del transformador lo que varía su relación en 2.5% y permitiría que todos los niveles de voltaje entre dentro de los rangos y finalmente se recomienda en caso de incorporar nuevas cargas mantener el balance que se propone en este trabajo y una revisión periódica del nivel de cargabilidad de los transformadores que actualmente se encuentran en 70% y 85% respectivamente.

8.2. RECOMENDACIONES

- Realizar auditorías periódicas de las cargas conectadas a cada fase del sistema, asegurando una distribución equitativa y evitando desbalances que puedan generar sobrecargas o pérdidas energéticas. Además, establecer protocolos para la incorporación planificada de nuevas cargas, considerando la capacidad disponible y evitando impactos negativos en la estabilidad del sistema.
- Implementar un sistema integral de protección que incluya supresores de picos de corriente, filtros de armónicos, reguladores de voltaje y bancos de capacitores para corregir el factor de potencia. Estos dispositivos minimizarán la incidencia de transitorios eléctricos, reducirán la distorsión armónica y optimizarán la eficiencia del suministro eléctrico.
- Elaborar y mantener diagramas unifilares actualizados del sistema eléctrico, incorporando las modificaciones realizadas en la infraestructura. Además, establecer un plan de mantenimiento preventivo para verificar periódicamente el estado de cables, conexiones, tableros y dispositivos de protección.
- Garantizar que el sistema eléctrico cumpla con regulaciones vigentes como la Regulación ARCERNNR 003/23 e IEEE 519, con el fin de asegurar niveles adecuados de calidad de energía, reducir penalizaciones por bajo factor de potencia y optimizar el rendimiento del sistema.
- Implementar programas de formación dirigidos a docentes, técnicos y estudiantes sobre el uso eficiente de la energía, los riesgos asociados a una mala calidad del suministro y las estrategias para mitigar perturbaciones eléctricas.

9. REFERENCIAS

- [1] C. P. Calderón Naranjo, «Diseño y simulación de un seguidor solar para mejorar el rendimiento de paneles solares portátiles (Bachelor's thesis).» *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*, pp. 12-28, 2024.
- [2] V. S. Álvarez Quispe, «Optimización del sistema eléctrico del Hospital Túpac Amaru nivel II-E de la región Cusco mediante el mantenimiento basado en condición (CBM) periodo-2021.» *Repositorio Institucional Continental*, pp. 13-37, 2023.
- [3] E. J. & C. S. J. H. Ortiz Alfaro, «Diseño e implementación de un sistema de filtros pasivos sintonizados en mejora de la calidad de energía de la red eléctrica de un campus universitario ubicado en el distrito de Santa Anita, provincia.» *Repositorio Institucional de la UTP*, pp. 12-38, 2022.
- [4] M. R. Vilca Eslado, «Análisis de la topología de redes en media tensión para minimizar las interrupciones de servicio eléctrico en el alimentador A4256.» *Universidad Nacional del Centro de Peru*, pp. 12-38, 2023.
- [5] ARCERNNR, «002-20 Calidad Distribucion.» *ARCERNNR*, 2020.
- [6] ARCONEL, «ARCONEL 005/18.» *ARCONEL*, pp. 1-38, 2020.
- [7] P. J. V. J. M. U. E. F. O. S. T. & M. I. Chévez, «Caracterización de patrones de consumo eléctrico e inserción de sistemas fotovoltaicos en edificios universitarios.» *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.*, p. 27, 2023.
- [8] E. K. C. O. E. & T. A. D. Arizcuren, «Aproximación al estudio de la eficiencia energética y el uso responsable de la energía en la Universidad Nacional de Río Negro.» *Universidad Nacional de Rio Negro*, pp. 11-39, 2023.
- [9] A. L. E. X. I. S. & G. R. P. P. D. DUARTE ROMÁN, «Análisis de los niveles de armónicos y propuesta de medidas de atenuación en la instalación eléctrica de la empresa Cooperativa Chortitzer sucursal Coronel Oviedo.» *LYRISIS*, pp. 12-37, 2024.
- [10] A. Negrón Torres, «Propuesta de Mejora para la Calidad de Producto de la Energía Eléctrica en la Empresa NESTLE en la ciudad de Lima, 2023.» *Repositorio Escuela de Posgrado Newman*, pp. 12-36, 2024.
- [11] P. D. W. H. C. A. J. & C. C. J. Coña Mira, «Estudio experimental del comportamiento de placas fotovoltaicas en relación a fallas tipo hotspot.» *Universidad Tecnológica Metropolitana*, 2024.
- [12] concepto, «concepto.de.» concepto, 2023. [En línea]. Available: <https://concepto.de/voltaje/>.

- [13] A. E. C. C. R. M. D. & J. L. M. P. Villacís, «Auditoría energética del sistema eléctrico de la Planta Bellavista de la Empresa Pública.,» *ESPE*, 2022.
- [14] Fluke, «www.fluke.com,» Fluke, 2023. [En línea]. Available: <https://www.fluke.com/es-cl/informacion/blog/electrica/que-es-la-frecuencia>.
- [15] A. D. & U. N. Y. A. Soria Soria, «Análisis de la contaminación armónica a la salida de un inversor híbrido de 3kVA,» *Universidad Técnica de Cotopaxi*, 2024.
- [16] Leiryinchilla, «www.leiryinchilla.com,» leiryinchilla.com, 2024. [En línea]. Available: <https://www.leiryinchilla.com/que-son-los-armonicos/>.
- [17] D. U. Hernández Carballo, «Análisis del fenómeno de ferresonancia en transformadores de potencia,» *Universidad Técnica De Cotopaxi*, pp. 14-36, 2023.
- [18] grupopc, «grupopc.com,» grupopc, 2023. [En línea]. Available: <https://grupopc.com/que-es-un-supresor-de-picos/>.
- [19] A. (. Camarena Flores, «Gestión de un sistema centralizado de energía eléctrica para optimizar la calidad de los servicios que brinda la SUNARP Sede Central–2020.,» *Universidad Nacional del Callao*, 2022.
- [20] H. & V. G. C. R. Barzola Meza, «Sistema de filtros para mejorar la calidad de la energía eléctrica en la planta de producción de la Cooperativa Agropia-2021.,» *Repositorio Institucional Continental*, 2022.
- [21] F. R. Arpi Déleg, «Desarrollo de un sistema para el control y monitoreo de temperaturas de un transformador de potencia, para el diagnóstico y detección temprana fallas sobretensiones,» *Universidad Estatal Península*, 2024.
- [22] L. A. E. & S. J. C. G. Ávila, «Análisis de la eficiencia energética en los sistemas de distribución de bajo voltaje por medio de la reducción de armónicos.,» *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 3(6), pp. 154-163., 2022.
- [23] G. S. Salazar Pérez, «Modelo de despacho óptimo de energía eléctrica de corto plazo para la microrred Baltra Santa Cruz considerando restricciones de seguridad,» *Escuela Politécnica Nacional*, pp. 15-30, 2024.
- [24] PQS, «www.pqs.com.co,» PQS, 2024. [En línea]. Available: <https://www.pqs.com.co/post/powerquality-importancia-de-tener-una-buena-calidad-de-la-energia>.
- [25] D. F. & T. R. M. J. Lozano Villamizar, «Identificación de una alternativa para la actualización tecnológica de una línea de producción de marmelos en una empresa dedica a la elaboración de dulcería.,» *Unidad Central del Valle del Cauca*, pp. 10-25, 2021.

- [26] A. Gómez González, «Sistema de control y protección de posición de línea de subestación evacuadora de un parque fotovoltaico.,» *Universitat Politècnica de Catalunya*, pp. 11-41, 2024.
- [27] S. U. & B. N. K. A. Paredes Jaramillo, «Desarrollo e implementación de un sistema de transferencia automático para la energía de respaldo durante fallas en el suministro eléctrico.,» *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*, pp. 17-49, 2024.
- [28] M. D. L. Á. S. & A. H. B. Medina, «Modelo de negocio de mantenimiento centrado en el diagnóstico y la detección de fallas para mejorar la eficiencia energética en paneles solares fotovoltaicos.,» *Universidad de la Costa*, 2024.
- [29] E. F. & R. O. L. M. Gómez Aguilar, «Análisis de calidad de energía en parques eólicos: estudio en la Central Eólica Huascachaca (Bachelor's thesis).,» *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*, pp. 12-39, 2024.
- [30] Fluke, «www.fluke.com,» Fluke, 2024. [En línea]. Available: <https://www.fluke.com/es-uy/producto/comprobacion-electrica/calidad-electrica/434-435>.
- [31] F. B. & G. B. C. X. Ambuludi Veloz, «Estudio del contenido de armónicos en la fábrica Chaide y Chaide SA Planta Guayaquil para proponer soluciones de mejora de la calidad de energía (Bachelor's thesis).,» *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*, pp. 12-38, 2024.
- [32] J. E. Masabanda Barre, «Propuesta de mejora de instalaciones eléctricas para la eficiencia energética de la Unidad Educativa Benemérita Sociedad Filantrópica del Guayas,» *Universidad Técnica de Babahoyo*, pp. 14-32, 2023.
- [33] seisa, «seisa.com.co,» seisa, 2024. [En línea]. Available: <https://seisa.com.co/producto/registrador-de-potencia-y-energa-pel-102/>.
- [34] A. P. & J. A. A. I. Carrión Ávila, «Análisis de fallas armónicas y su mejoramiento por medio de filtros activos y pasivos en un sistema de 14 barras de la IEEE (Bachelor's thesis).,» <https://dspace.ups.edu.ec/>, 2024. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27294>.
- [35] S. E. & S. C. A. M. Chong Ripalda, «Estudio de las corrientes transitorias causadas por el arranque de motores trifásicos en la red de medio voltaje (13.8 KV), Cerro Pelado mediante la herramienta ATP DRAW,» *Repositorio Institucional de la Universidad Politecnica Salesiana*, 2024.
- [36] DEWESoft, «DEWESoft,» DEWESoft, 2024. [En línea]. Available: <https://dewesoft.com/es/blog/cuales-son-los-principales-tipos-de-sensores-de-corriente>.

- [37] H. D. & R. A. J. F. Azogue Pilicita, «Desarrollo de un sistema para el análisis de corrección del factor de potencia en una red trifásica con cargas desequilibradas.,» *Universidad Tecnica de Cotopaxi*, pp. 12-36, 2022.
- [38] N. O. & B. A. J. R. García Mejillones, «Estudio de reguladores para mantener el nivel de voltaje en un rango de operación que demanda la carga (13.2 KV) como mínimo y máximo (13.8 KV) a la alimentadora (Interagua-San Juan),» *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*, 2024.
- [39] Á. R. & B. C. J. A. Ochoa Álava, «Diseño de redes eléctricas en medio voltaje, bajo voltaje y alumbrado público para urbanizaciones (Bachelor's thesis).,» *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*, 2022.
- [40] R. A. Serrano Cruz, «Diseño de un sistema de gestión de demanda para uso residencial.,» *Repositorio Institucional TecNM*, 2024.
- [41] gremiosprofesionales, «gremiosprofesionales.com,» gremiosprofesionales, [En línea]. Available: <https://gremiosprofesionales.com/courses/sistemas-de-distribucion-de-energia-electrica/>.
- [42] G. S. B. & P. A. J. M. Pusda, «Análisis Comparativo de Smart Grids con el Sistema de Distribución Convencional en la Ciudad de Quito.,» *Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar*, 8(1), pp. 5066-5087., 2024.
- [43] B. J. Zambrano Rendon, «Análisis de un sistema de generación distribuida para la reducción de pérdidas técnicas en un sistema de 14 barras (Bachelor's thesis).,» *Repositorio Institucional de la Universidad Politecnica Salesiana*, 2024.
- [44] V. M. & F. M. C. G. (. Llerena Merchán, «Diseño y simulación del sistema de puesta tierra en una subestación de MT 69/4.16 KV de una planta procesadora de alimentos (Master's thesis).,» *Universidad Politecnica Salesiana* , pp. 11-38, 2024.
- [45] H. O. Buitrón-Barros, «Integración de inteligencia artificial en redes eléctricas inteligentes y su potencial transformador.,» *Horizon Nexus Journal*, vol. 2, nº 2, pp. 29-42., 2024.
- [46] V. & R. A. Yupa, «Implementación de un Ecosistema Digital para instalar medidores de energía tipo AMI en la ciudad e Puerto Ayora Galápagos,» *Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui*, pp. 13-26, 2024.
- [47] L. C. J. Ignacio, «Metodología para la planificación de redes de distribución considerando la Integración de Electrolíneas en la ciudad Arequipa, 2021,» *UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA*, 2024.
- [48] A. J. Velásquez Torres, «Estudio de Factibilidad para el uso de energías renovables como suministro eléctrico complementario en la escuela de Ingeniería Industrial UCAB-Guayana (Doctoral dissertation).,» *LYRASIS*, pp. 12-36, 2024.

- [49] D. Acosta Peña, «Modelo de Gestión a Incidentes de Seguridad en el Centro de Computación de Alto Desempeño (CECAD).», *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, pp. 11-37, 2024.
- [50] J. E. Pilay Vera, «Implementación de un sistema eléctrico para la conectividad tecnológica en el laboratorio de telecomunicaciones de la carrera ingeniería en computación y redes», *Universidad Estatal del Sur de Manabí*, pp. 12-37, 2021.
- [51] J. L. (. Tapan Vele, «Control directo de tensión para un filtro activo de potencia paralelo monofásico», *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*, pp. 12-34, 2022.
- [52] L. M. Bohórquez Martínez, «Diagnóstico de las subestaciones de media tensión, acometidas principales de baja tensión, alumbrado exterior y equipos especiales del campus Cajicá de la Universidad Militar Nueva Granada.», *Universidad Distrital Francisco José De Caldas*, pp. 13-27, 2020.
- [53] J. Z. & M. R. J. A. Álvarez Ordoñez, «Evaluación de la efectividad del sistema de puesta a tierra en el Bloque E de La Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil (Bachelor's thesis).», *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*, pp. 12-31, 2024.
- [54] W. & P. V. J. A. Martínez González, «Auditoría energética al bloque diecinueve de la Institución Universitaria Pascual Bravo.», *Institucion Universitaria Pascual Bravo*, pp. 12-34, 2024.
- [55] Todosai, «todosai.com,» Todosai, 2024. [En línea]. Available: <https://todosai.com/blog/estabilizadores-de-tension-tipos-y-usos-2024-b33.html>.
- [56] revistaseguridad360, «revistaseguridad360.com,» revistaseguridad360, 2022. [En línea]. Available: <https://revistaseguridad360.com/destacados/que-es-una-ups/>.
- [57] igoyenergy, «igoyenergy.com,» igoyenergy, 2023. [En línea]. Available: <https://igoyenergy.com/es/what-is-active-harmonic-filter/>.
- [58] Audax, «www.audax.com.pe,» Audax, [En línea]. Available: <https://www.audax.com.pe/transformador-de-aislamiento-cuales-son-sus-ventajas/>.
- [59] tractian, «tractian.com,» tractian, 2023. [En línea]. Available: <https://tractian.com/es/blog/monitoreo-de-energia-electrica-por-que-es-importante>.
- [60] Fluke, «www.fluke.com,» Fluke, 2024. [En línea]. Available: <https://www.fluke.com/es-ve/informacion/blog/calidad-electrica/solucion-de-los-problemas-de-calidad-electrica-mas-comunes>.
- [61] «LEY ORGANICA DEL SERVICIO PUBLICO DE ENERGIA ELECTRICA,» *REPUBLICA DEL ECUADOR*, pp. 1-35, 2018.

- [62] Constitución de la República, «REGLAMENTO A LEY ORGÁNICA DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA,» *Constitucion de la Republica*, pp. 1-43, 2021.
- [63] ARCERNNR, «Bajo Factor de Potencia,» *PLIEGO TARIFARIO 2022*, vol. II, p. 20, 2022.
- [64] International Electrotechnical Commission, *Limites para las emisiones de corriente alterna*, 2017.
- [65] Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Standards 519 and 1159, *IEEE JOURNER*, 2022.
- [66] Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Standards 519 and 1159, *IEEE JOURNAL*, 2022.
- [67] CONELEC, *CALIDAD DEL SERVICIO ELECTRICO DE DISTRIBUCION*, Quito, 2001.
- [68] Shijiazhuang Suin Instruments Co.,Ltd., «User's Guide SA2100/ SA2100E Power Quality Analyzer,» *Suin Instruments*, 2024.
- [69] IEEE 1159, *Práctica recomendada por IEEE para monitorear la calidad de la energía eléctrica*, 1995.
- [70] International Electrotechnical Commission, *Compatibilidad electromagnética y Límites para las emisiones de corriente armónica*, 2017.