



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

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL  
ESTADIO BANCO GUAYAQUIL PERTENECIENTE AL EQUIPO DE FÚTBOL  
INDEPENDIENTE DEL VALLE.**

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

**Autores:**

Pallasco Guasti Jonathan Joel

Quishpe Cundulli Edison David

**Tutor Académico:**

Ing. Gabriel Pesántez MSc.

**LATACUNGA – ECUADOR**

**2024**



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Pallasco Guasti Jonathan Joel** y **Quishpe Cundulli Edison David**, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “**ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL ESTADIO BANCO GUAYAQUIL PERTENECIENTE AL EQUIPO DE FÚTBOL INDEPENDIENTE DEL VALLE**”, siendo el Ing. **Gabriel Napoleón Pesantez Palacios** MSc. Tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, agosto 2024

Pallasco Guasti Jonathan Joel  
C.C. 1750787242

Quishpe Cundulli Edison David  
C.C. 1719713719



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

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

**“ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL ESTADIO BANCO GUAYAQUIL PERTENECIENTE AL EQUIPO DE FÚTBOL INDEPENDIENTE DEL VALLE”**, de los estudiantes: **Pallasco Guasti Jonathan Joel** y **Quishpe Cundulli Edison David**, de la Carrera de Ingeniería en Electricidad, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto 2024

**TUTOR**

Ing. Gabriel Napoleón Pesantez Palacios MSc.

C.C. 0301893889



## 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: **Pallasco Guasti Jonathan Joel** y **Quishpe Cundulli Edison David**, con el título de Proyecto de titulación: **“ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL ESTADIO BANCO GUAYAQUIL PERTENECIENTE AL EQUIPO DE FÚTBOL INDEPENDIENTE DEL VALLE”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

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

Latacunga, agosto 2024

Para constancia firman:

**Lector 1 (Presidente)**

Ing. Vázquez Teneda Franklin Hernán MSc.  
C.C: 1710434497

**Lector 2**

Ing. León Segovia Marco Aníbal MSc.  
C.C: 0502305402

Ing. León Segovia Manuel Ángel MSc.  
C.C: 0502041353



## AGRADECIMIENTO

*Agradezco en primer lugar a Dios por darme la salud, la sabiduría y la fortaleza necesarias para llegar a este momento tan importante en mi vida, a mis padres Fernando y Lidia por ser pilares fundamentales en mi vida por su apoyo constante y por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación. A mis hermanos Jefferson y Camila, quienes han sido mi apoyo incondicional en cada paso de este camino. Su amor, comprensión y compañía han sido fundamentales para alcanzar este logro.*

*De la misma manera al Ing. MSc. Gabriel Pesántez, por su guía, paciencia y sabiduría. A todos los docentes de la carrera de Ingeniería Eléctrica, por compartir sus conocimientos y por inspirarme a alcanzar nuevos horizontes.*

*A todos ustedes, muchas gracias.*

***Jonathan Pallasco***



*Quiero agradecer a la persona más importante en mi vida, mi madre María, quien con su esfuerzo incansable y arduo trabajo ha sembrado en mí la motivación y el deseo de culminar esta carrera. Tu amor y apoyo han sido fundamentales y siempre serán lo más valioso en mi vida.*

*A mi hermana Lisbeth, por ser un pilar de fortaleza en nuestras vidas a lo largo de todos estos años. Tu constante apoyo ha sido esencial tanto para mí como para nuestra madre.*

*A mi pareja, por estar a mi lado en los momentos más difíciles, brindándome su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos.*

*A todos mis amigos que he conocido a lo largo de esta carrera universitaria y compañero de tesis. Gracias por ser parte de este camino y por todo el apoyo brindado.*

*Finalmente, agradezco a mi tutor Ing. Gabriel Napoleón Pesantez Palacios MSc. junto a los Lectores quienes han sido de gran apoyo y una significativa guía de enseñanza en la elaboración de este trabajo.*

***Edison Quishpe***



## **DEDICATORIA**

*Quiero dedicar este trabajo a mis padres, Fernando y Lidia, por todo el sacrificio que han hecho por mí. Gracias a su dedicación y amor, no solo me he convertido en un buen profesional, sino en una persona íntegra, capaz de servir a la sociedad con los valores que me inculcaron desde niño. A mi padre, especialmente, quiero expresarle mi gratitud por enseñarme la importancia del trabajo constante en esta hermosa profesión, compartiendo su experiencia y sabiduría a lo largo del camino.*

*A mis hermanos Jefferson y Camila, por su compañía y aliento en los momentos más difíciles. A la memoria de mi hermano Washington, a quien no tuve la oportunidad de conocer, pero que ha estado presente en mi corazón y pensamientos desde siempre.*

**Jonathan Pallasco**



*Dedico la elaboración de este trabajo a las mujeres más importantes en mi vida: a mi madre, María, y a mi hermana, Lisbeth. Mamá, tu amor incondicional, tu fortaleza y tu dedicación han sido mi mayor inspiración. Has sido mi guía y mi refugio en cada paso de este camino, y no hay palabras que puedan expresar cuán profundamente te agradezco por todo lo que has hecho por mí. Lisbeth, tu apoyo constante y tu cariño han sido esenciales para mí. Eres mi ejemplo a seguir y una parte invaluable de mi vida.*

*A mi sobrino Yahir, dedico también este trabajo. Tu risa, tu energía y la luz que traes a mis días me han llenado de alegría y esperanza. Eres un recordatorio constante de la belleza y la inocencia de la vida, y mi amor por ti es inmenso.*

*Este logro es de todos nosotros. Gracias por ser mi fuerza, mi inspiración y el mayor tesoro que tengo en este mundo.*

***Edison Quishpe***



## ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN .....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
AVAL DE TRADUCCIÓN - Profesional Externo .....	xx
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. INTRODUCCIÓN .....	2
2.1. Situación Problemática .....	2
2.2. Formulación del problema .....	3
2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	4
2.3.1. Objeto de investigación: .....	4
2.3.2. Campo de Acción:.....	4
2.4. BENEFICIARIOS.....	4
2.4.1. Beneficiarios directos:.....	4
2.4.2. Beneficiarios indirectos: .....	4
2.5. JUSTIFICACIÓN.....	4
2.6. HIPÓTESIS.....	6
2.7. OBJETIVOS.....	6
2.7.1. Objetivo General.....	6
2.7.2. Objetivos Específicos.....	6
2.8. SISTEMA DE TAREAS .....	7



3.	FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO-TEÓRICA .....	8
3.1.	REGULACIÓN EN EL ECUADOR .....	9
3.1.2.	Límites de voltajes .....	9
3.1.3.	Cumplimiento del índice de nivel de voltaje en el punto de medición .....	9
3.1.4.	Distorsión armónica de voltaje .....	10
3.1.5.	Límites de distorsión armónica de voltaje .....	11
3.1.6.	Desequilibrio de Voltaje.....	11
3.1.7.	Perturbación rápida de voltaje (Flicker) .....	11
3.1.8.	Límites de perturbación rápida de voltaje (Flicker).....	12
3.1.9.	Cumplimiento del índice de Flicker en el punto de medición .....	12
3.1.10.	Distorsión armónica de corriente .....	12
3.1.11.	Límites de distorsión armónica de corriente .....	13
3.1.12.	Factor K.....	13
3.2.	TIPOS DE CARGAS ELÉCTRICAS.....	14
3.3.	DISTORSIÓN DE FORMA DE ONDA .....	16
3.4.	MEDIDAS CUANTIFICABLES .....	17
3.4.1.	Factor de potencia.....	17
3.4.2.	Distorsión Armónica THD .....	18
3.5.	PROBLEMAS OCASIONADOS POR ARMÓNICOS Y SUS RESPECTIVAS SOLUCIONES .....	19
3.5.1.	Interferencias Electromagnéticas .....	19
3.5.2.	Resonancia eléctrica.....	20
3.5.3.	Resonancia en serie.....	20
3.5.4.	Resonancia en Paralelo .....	20
3.5.5.	Sobrecalentamiento de los conductores y perturbaciones en los interruptores automáticos de los circuitos .....	21



3.5.6.	Sobrecarga de los transformadores de distribución .....	21
3.6.	TIPOS DE FILTROS.....	22
3.6.1.	Filtros pasivos para reducir armónicos .....	22
3.6.2.	Filtro pasivo en serie.....	23
3.6.3.	Filtro pasivo en derivación.....	23
3.6.4.	Proceso para dimensionar un filtro pasivo de armónicos .....	24
3.6.5.	Filtros activos para reducir armónicos .....	25
4.	MÉTODOS Y MATERIALES.....	26
4.2.	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....	26
4.2.1.	Método inductivo – deductivo .....	26
4.3.	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS .....	26
4.3.1.	Levantamiento de Información .....	28
4.3.2.	Recolección y Análisis de Datos.....	28
4.3.3.	Simulación .....	29
4.3.4.	Proponer Soluciones y Verificación.....	30
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	31
5.2.	RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO DE CARGAS.....	31
5.3.	CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR 1 .....	32
5.3.1.	Análisis de Voltajes .....	32
5.3.2.	Análisis de Voltajes medios para el Transformador 1 .....	32
5.3.3.	Análisis de Voltajes mínimos para el Transformador 1 .....	34
5.3.4.	Perfil de Voltajes máximos para el Transformador 1 .....	35
5.3.6.	Análisis del Factor de Distorsión Armónica Individual de Voltaje (DV) para el Transformador 1.....	36
5.3.8.	Desequilibrio de Voltaje para el Transformador 1 .....	39



5.3.9.	Análisis de corrientes de línea para el Transformador 1 .....	40
5.3.10.	Curva de Corrientes medias para el Transformador 1 .....	40
5.3.11.	Curva de Corrientes máximas para el Transformador 1 .....	41
5.3.12.	Distorsión Armónica de Corriente (TDD) para el Transformador 1 ....	42
5.3.13.	Análisis del Factor de Distorsión Armónica Individual de Corriente (DI) para el Transformador 1 .....	43
5.3.14.	Análisis de la Distorsión Armónica Total I (TDD) para el Transformador 1	45
5.3.15.	Análisis de la Potencia activa Transformador 1 .....	46
5.3.16.	Análisis de Potencia reactiva en Transformador 1. ....	47
5.3.17.	Análisis de la Potencia Aparente en el transformador 1 .....	48
5.3.18.	Análisis del Factor de Potencia para el Transformador 1 .....	50
5.3.19.	Análisis del Factor K para el transformador 1 .....	51
5.3.20.	Análisis de Flicker PST (Flicker de corta duración) para el Transformador 1 .....	52
5.4.	CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR 2 DE 400 KVA.....	53
5.4.1.	Análisis de Voltajes medios para el transformador 2 .....	54
5.4.2.	Análisis de Voltajes mínimos para el Transformador 2 .....	55
5.4.3.	Análisis de Voltajes máximos para el Transformador 2 .....	57
5.4.4.	Análisis del Factor de Distorsión Armónica Individual de Voltaje (DV) para el Transformador 2.....	58
5.4.5.	Análisis del Factor de Distorsión Armónica Total de Voltaje (THDV) para el Transformador 2.....	60
5.4.6.	Desequilibrio de Voltaje para el Transformador 2 .....	61
5.4.7.	Análisis de corrientes de línea para el Transformador 2.....	62
5.4.8.	Curva de Corrientes medias para el Transformador 2 .....	63



5.4.9.	Curva de Corrientes máximas para el Transformador 2 .....	63
5.4.10.	Distorsión Armónica de Corriente (THDI) para el Transformador 2... ..	64
5.4.11.	Análisis del Factor de Distorsión Armónica Individual de Corriente (DI) para el Transformador 2.....	65
5.4.12.	Análisis de la Distorsión Armónica Total I (THDI) para el Transformador 2 .....	66
5.4.13.	Análisis de la Potencia activa en el Transformador 2 .....	67
5.4.14.	Análisis de la Potencia reactiva en el Transformador 2. ....	69
5.4.15.	Análisis de la Potencia Aparente en el transformador 2.....	70
5.4.16.	Análisis del Factor de Potencia para el Transformador 2.....	72
5.4.17.	Análisis del Factor K para el transformador 2 .....	73
5.4.18.	Análisis de la curva de Flicker PST (Flicker de corta duración).....	73
5.5.	PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES PARA LA MITIGACIÓN DE ARMÓNICOS DEL PRIMER TRANSFORMADOR .....	74
6.	SIMULACIÓN EN SOFTWARE ESPECIALIZADO .....	75
6.3.	Procedimiento para la simulación.....	75
6.4.	Transformador 1.....	76
6.5.	Aplicación de Filtro Pasivo en ETAP .....	78
6.6.	Simulación del Transformador 2.....	80
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	83
8.	REFERENCIAS.....	86



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3. 1. Representación de una carga lineal [15].	15
Figura 3. 2. Representación de un sistema no lineal [15].	16
Figura 3. 3. Orden de Armónicos [20].	19
Figura 3. 4. Fuentes de EMI [24].	19
Figura 3. 5. Circuito RLC en Serie [25].	20
Figura 3. 6. Circuito RLC en Paralelo [25].	20
Figura 3. 7. Filtro de tipo serie [33].	23
Figura 3. 8. Filtro de tipo en derivación [33].	24
Figura 4. 1. Método de análisis de la calidad de energía en el sistema eléctrico del “Estadio Independiente del Valle”.	27
Figura 5. 1. Voltajes Medios para el transformador 1.	33
Figura 5. 2. Voltajes mínimos para el transformador 1.	35
Figura 5. 3. Voltajes máximos para el transformador 1.	36
Figura 5. 4. Armónicos de voltaje para el transformador 1.	38
Figura 5. 5. Distorsión armónica total de voltaje para el Transformador 1.	39
Figura 5. 6. Corrientes medias del transformador 1.	41
Figura 5. 7. Corrientes máximas para el transformador 1.	42
Figura 5. 8. Armónicos de corriente del transformador 1.	45
Figura 5. 9. Distorsión armónica total de corriente para el transformador 1.	46
Figura 5. 10. Potencia activa del transformador 1.	47
Figura 5. 11. Potencia reactiva para el transformador 1.	48
Figura 5. 12. Potencia aparente para el transformador 1.	50
Figura 5. 13. Factor de potencia del transformador 1.	51
Figura 5. 14. Curva de Flicker PST para el transformador 1.	53



Figura 5. 15. Niveles de voltajes medios para el transformador 2. ....	55
Figura 5. 16. Niveles de voltajes mínimos para el transformador 2. ....	57
Figura 5. 17. Niveles de voltajes máximos para el transformador 2. ....	58
Figura 5. 18. Análisis del Factor de Distorsión Armónica Individual de Voltaje (DV) Transformador 2. ....	60
Figura 5. 19. Distorsión Armónica Total de Voltaje para el transformador 2. ....	61
Figura 5. 20. Corrientes medias para el transformador 2. ....	63
Figura 5. 21. Corrientes máximas para el transformador 2. ....	64
Figura 5. 22. Armónicos individuales de corriente para el transformador 2. ....	66
Figura 5. 23. Distorsión armónica total de corriente para el transformador 2. ....	67
Figura 5. 24. Potencia activa del transformador 2. ....	69
Figura 5. 25. Potencia reactiva para el transformador 2. ....	70
Figura 5. 26. Potencia aparente en el transformador 2. ....	71
Figura 5. 27. Factor de potencia para el transformador 2. ....	73
Figura 5. 28. Curva de Flicker PST para el transformador 2. ....	74
Figura 6. 1. Esquema unifilar correspondiente al Transformador 1. ....	76
Figura 6. 2. Desarrollo de datos en ETAP para el Transformador 1. ....	77
Figura 6. 3. Flujo de Potencia del Transformador 1. ....	78
Figura 6. 4. Configuración del Filtro para el Transformador 1. ....	78
Figura 6. 5. Aplicación del Filtro Pasivo para el transformador 1. ....	79
Figura 6. 6. Resultados de los filtros para armónicos de corriente para el Transformador 1. ....	79
Figura 6. 7. Sistema Eléctrico para el Transformador 2. ....	80
Figura 6. 8. Desarrollo de datos en ETAP para el Transformador 2. ....	82
Figura 6. 9. Flujo de Potencia para el Transformador 2. ....	82



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Sistema De Tareas Establecidas.....	7
Tabla 3. 1. Límites del nivel de voltaje [6].....	9
Tabla 3. 2. Límites para el índice de nivel de voltaje [6].....	11
Tabla 3. 3. Niveles máximos de armónicos impares [6].....	13
Tabla 3. 4. Diferencias eléctricas entre cargas lineales y no lineales [16].....	16
Tabla 3. 5. Diferentes formas de distorsión de onda [16].....	17
Tabla 3. 6. Factores de Carga en Base al Orden de Armónico [32].....	22
Tabla 4. 1. Parámetros Recolectados por el Analizador de Redes.....	29
Tabla 5. 1. Datos del Transformador 1. ....	32
Tabla 5. 2. Voltajes medios para el transformador 1.....	33
Tabla 5. 3. Voltajes mínimos para el transformador 1. ....	34
Tabla 5. 4. Voltajes máximos para el transformador 1.....	35
Tabla 5. 5. Resultados de distorsión individual de voltaje para el transformador 1. ....	37
Tabla 5. 6. Distorsión armónica total de voltaje para el transformador 1.....	38
Tabla 5. 7. Desequilibrio de voltaje para el transformador 1.....	39
Tabla 5. 8. Corrientes de línea para el transformador 1.....	40
Tabla 5. 9. Niveles máximos de armónicos impares para el Transformador 1.....	42
Tabla 5. 10. Resultados del factor de distorsión individual de corriente del transformador 1. ....	44
Tabla 5. 11. Distorsión armónica total de corriente del transformador 1. ....	45
Tabla 5. 12. Potencia activa del transformador 1. ....	46
Tabla 5. 13. Potencia reactiva para el transformador 1.....	48
Tabla 5. 14. Potencia aparente para el transformador 1.....	49
Tabla 5. 15. Factor de potencia para el transformador 1 .....	50



Tabla 5. 16. Factor K en el transformador 1. ....	51
Tabla 5. 17. Flicker PST para el transformador 1. ....	52
Tabla 5. 18. Características del Transformador de Potencia 2. ....	54
Tabla 5. 19. Niveles de voltajes medios para el transformador 2. ....	55
Tabla 5. 20. Niveles de voltajes mínimos para el transformador 2. ....	56
Tabla 5. 21. Niveles de voltajes máximos para el transformador 2. ....	57
Tabla 5. 22. Factor de Distorsión Armónica Individual de Voltaje (DV) para el transformador 2. ....	59
Tabla 5. 23. Análisis del factor de distorsión armónica total de voltaje (THDV) para el transformador 2. ....	60
Tabla 5. 24. Desequilibrio de voltaje para el transformador 2. ....	62
Tabla 5. 25. Análisis de corrientes de línea para el transformador 2. ....	63
Tabla 5. 26. Distorsión Armónica de Corriente Individual para el transformador 2. ....	64
Tabla 5. 27. Análisis del Factor de distorsión armónica individual de corriente para el transformador 2. ....	65
Tabla 5. 28. Distorsión armónica total de corriente para el transformador 2. ....	67
Tabla 5. 29. Potencia activa del transformador 2. ....	68
Tabla 5. 30. Potencia reactiva del transformador 2. ....	69
Tabla 5. 31. Potencia aparente en el transformador 2. ....	71
Tabla 5. 32. Factor de potencia para el transformador 2. ....	72
Tabla 5. 33. Factor K en el transformador 2. ....	73
Tabla 5. 34. Flicker PST para el transformador 2. ....	73
Tabla 6. 1. Armónicos de corriente para el transformador 1. ....	76
Tabla 6. 2. Resultado con la aplicación de Filtros pasivos para el transformador 1. ....	80
Tabla 6. 3. Armónicos de Corriente en T2. ....	81



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

**TITULO: “ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL ESTADIO BANCO GUAYAQUIL PERTENECIENTE AL EQUIPO DE FÚTBOL INDEPENDIENTE DEL VALLE”**

**Autores:**

Pallasco Guasti Jonathan Joel  
Quishpe Cundulli Edison David

**RESUMEN**

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal evaluar y mejorar la calidad de la energía en el sistema eléctrico del Estadio Banco Guayaquil perteneciente al equipo de fútbol Independiente del Valle. Con este propósito, se realizó el análisis de la calidad de energía eléctrica. Mediante este procedimiento, problemas relacionados con la distorsión armónica, el desequilibrio de voltaje y las perturbaciones rápidas de voltaje (flicker) fueron identificados. Estos problemas no solo comprometieron la eficiencia energética, sino que también afectaron la estabilidad operativa durante eventos deportivos y espectáculos. Para abordar estos desafíos, se implementó una metodología basada en un enfoque inductivo-deductivo. Esta metodología incluyó la recolección exhaustiva de datos de los circuitos eléctricos del estadio. Para verificar las condiciones existentes de calidad de energía en el estadio, se utilizó un analizador de redes y se analizó cada parámetro eléctrico conforme a la normativa ARCERNR 002/20. Adicionalmente, se realizaron simulaciones detalladas mediante software especializado, permitiendo evaluar diferentes soluciones técnicas para mitigar los problemas de calidad de energía. Los resultados del estudio revelaron que los niveles de distorsión armónica de corriente superaban los límites recomendados, afectando principalmente al primer Transformador dedicado a la iluminación del estadio. Además, se detectó un bajo factor de potencia, lo que indicaba una ineficiencia en el uso de la energía y un aumento en las pérdidas eléctricas. Se propuso la implementación de un filtro pasivo como la solución más viable para reducir estas distorsiones, lo cual fue corroborado por las simulaciones realizadas.

**Palabras clave:** Calidad de energía, distorsión armónica, perturbaciones, armónicos, filtro pasivo.



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

**TITLE: “STUDY OF POWER QUALITY IN THE ELECTRICAL SYSTEM OF THE BANCO GUAYAQUIL STADIUM BELONGING TO THE INDEPENDIENTE DEL VALLE FOOTBALL TEAM”**

**Authors:**

Pallasco Guasti Jonathan Joel  
Quishpe Cundulli Edison David

**ABSTRACT**

The main objective of this research work was to evaluate and improve the power quality in the electrical system of the Banco Guayaquil Stadium belonging to the Independiente del Valle soccer team. For this purpose, the power quality analysis was carried out. Through this procedure, problems related to harmonic distortion, voltage imbalance and rapid voltage disturbances (flicker) were identified. These problems not only compromised energy efficiency, but also affected operational stability during sporting events and shows. To address these challenges, a methodology based on an inductive-deductive approach was implemented. This methodology included the exhaustive collection of data from the stadium's electrical circuits. In order to verify the existing power quality conditions in the stadium, a network analyzer was used, and each electrical parameter was analyzed in accordance with ARCERNNR 002/20 regulations. In addition, detailed simulations were performed using specialized software, allowing the evaluation of different technical solutions to mitigate power quality problems. The results of the study revealed that the current harmonic distortion levels exceeded the recommended limits, mainly affecting the first transformer dedicated to the stadium lighting. Furthermore, a low power factor was detected, indicating an inefficient use of energy and an increase in electrical losses. The implementation of a passive filter was proposed as the most viable solution to reduce these distortions, which was corroborated by the simulations performed.

**Key words:** Power quality, harmonic distortion, disturbances, harmonics, passive filter.

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

### CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD

**Pallasco Guasti Jonathan Joel**

**Quishpe Cundulli Edison David**

## AVAL DE TRADUCCIÓN - Profesional Externo

Ledesma Tiñe María José con cédula de identidad número: 050396651 Licenciada en: Pedagogía del idioma inglés con número de registro de la SENESCYT: 1020-2024-2842105; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: **“ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL ESTADIO BANCO GUAYAQUIL PERTENECIENTE AL EQUIPO DE FÚTBOL INDEPENDIENTE DEL VALLE”** de: **Pallasco Guasti Jonathan Joel y Quishpe Cundulli Edison David**, egresados de la carrera de **Ingeniería en Electricidad**, perteneciente a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

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

Latacunga, agosto,2024



.....  
Lic. Ledesma Tiñe María José  
CI: 050396651

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

**Título:** Estudio de la Calidad de Energía en el Sistema Eléctrico del Estadio Banco Guayaquil perteneciente al equipo de fútbol Independiente del Valle.

**Fecha de inicio:** Octubre del 2023

**Fecha de finalización:** Febrero del 2024

**Lugar de ejecución:** Sector Chillo-Jijón, Amaguaña – Cantón Quito – Provincia de Pichincha.

**Facultad que auspicia:** Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

**Carrera que auspicia:** Carrera de Ingeniería en Electricidad.

**Proyecto de investigación vinculado:** Desarrollo de sistemas eficientes para el abastecimiento y el uso de energía eléctrica a nivel local, regional o nacional.

**Equipo de Trabajo:**

**Tutor de Titulación:** Ing. Gabriel Pesántez MSc.

**Estudiantes:** Pallasco Guasti Jonathan Joel

Quishpe Cundulli Edison David

**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 eléctrica del sector industrial, comercial y residencial.

## **2. INTRODUCCIÓN**

La relevancia de la calidad de energía eléctrica en instalaciones deportivas ha sido reconocida ampliamente debido a su impacto en la seguridad y el funcionamiento eficiente. Estadios y arenas de todo el mundo enfrentan desafíos similares, donde las fluctuaciones en el suministro eléctrico y las interrupciones en la iluminación pueden afectar la experiencia de los espectadores y la integridad de los eventos deportivos. Los estudios de calidad de energía han demostrado que las perturbaciones eléctricas pueden tener efectos adversos en los equipos electrónicos y eléctricos, llevando a costosas interrupciones y reparaciones. Esto es especialmente crítico en instalaciones deportivas donde la seguridad de los atletas y espectadores depende de un funcionamiento ininterrumpido y confiable de los sistemas eléctricos [1].

El Estadio Banco Guayaquil, ubicado en la parroquia de Amaguaña, cantón Quito, Ecuador, es un emblema deportivo de la región inaugurado en el 2021 [2]. A medida que el estadio ha crecido en importancia y ha albergado una variedad de competiciones y espectáculos, las demandas de calidad de energía se han vuelto más cruciales y contando con varios desafíos operativos, como las interrupciones de energía y las fluctuaciones de voltaje durante eventos cruciales.

La necesidad de abordar los problemas de calidad de energía se convierte en una continuación de la dedicación que ha sustentado la existencia del estadio. El compromiso con la seguridad, la eficiencia y la experiencia de los asistentes y participantes en los eventos impulsa la urgencia de comprender y solucionar los problemas que impactan la calidad del suministro eléctrico [1].

### **2.1. Situación Problemática**

Hoy en día, la energía eléctrica es un recurso esencial para el correcto funcionamiento de cualquier organización, y los estadios deportivos no son la excepción. En el caso específico del Estadio Banco Guayaquil, situado en la parroquia de Amaguaña, es crucial garantizar la calidad de la energía eléctrica no solo para el sistema de iluminación, sino también para asegurar la seguridad de los usuarios y el correcto desempeño de las instalaciones en su totalidad.

El mismo cuenta con dos transformadores de 400 kVA, el primero funciona para todo el sistema de iluminación del estadio y el segundo funciona para servicios generales como: pasillos, pantallas, camerinos, suites, etc. Durante los eventos deportivos y espectáculos que se llevan a cabo en el estadio, se han reportado frecuentes interrupciones en la iluminación, fluctuaciones de voltaje y problemas de estabilidad en el suministro eléctrico.

Estas deficiencias en la calidad de energía eléctrica han generado múltiples inconvenientes tanto para los organizadores de los eventos como para los espectadores y jugadores. Las fluctuaciones de voltaje pueden dañar los equipos de iluminación y ocasionar gastos adicionales de reparación y reemplazo, esta situación problemática no solo afecta la experiencia de los asistentes a los eventos, sino que también tiene un impacto negativo en la imagen del estadio y en la calidad de los servicios que ofrecen.

Por ello, se llevará a cabo un estudio detallado de la calidad de energía del sistema eléctrico del Estadio Banco Guayaquil, con el fin de identificar posibles problemas que puedan estar afectando su óptimo funcionamiento. Se analizarán diferentes aspectos que provoquen fallas y distorsiones en el sistema eléctrico en su conjunto. Además, se propondrán soluciones integrales para mejorar la calidad de la energía eléctrica en el lugar [3],[4].

## **2.2. Formulación del problema**

El Estadio Banco Guayaquil enfrenta problemas recurrentes de calidad de energía, incluyendo interrupciones en la iluminación y fluctuaciones en el suministro eléctrico durante eventos. Estas deficiencias comprometen la seguridad de los usuarios, afectan la experiencia de los asistentes y generan gastos por daños a equipos. La necesidad apremiante de resolver estos problemas requiere un estudio profundo que identifique las causas y proponga soluciones integrales, garantizando un suministro eléctrico confiable y seguro para optimizar las operaciones y la imagen del estadio. El objetivo principal de esta investigación es analizar detalladamente la calidad de energía en el estadio, abordando tanto la potencia como la iluminación, con el fin de identificar fuentes de problemas y ofrecer soluciones efectivas.

## **2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN**

### **2.3.1. Objeto de investigación:**

Evaluación de la continuidad, estabilidad y uniformidad del suministro eléctrico, así como la identificación de problemas como fluctuaciones de voltaje, interrupciones en la iluminación y otros aspectos que afecten la calidad de la energía.

### **2.3.2. Campo de Acción:**

07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0713 Electricidad y Energía.

## **2.4. BENEFICIARIOS**

### **2.4.1. Beneficiarios directos:**

Los beneficiarios directos de este análisis son:

Estadio Banco Guayaquil, organizadores de eventos, jugadores y equipos deportivos.

### **2.4.2. Beneficiarios indirectos:**

Los beneficiarios indirectos de este análisis incluyen:

Espectadores, asistentes, proveedores de servicios y empresas relacionadas.

## **2.5. JUSTIFICACIÓN**

Los motivos que llevaron a realizar este proyecto, es investigar si la calidad del sistema eléctrico en el estadio Banco Guayaquil, está dentro de los parámetros establecidos por la normativa perteneciente a la ARCERNNR-002/20. Se propone un plan que reduzca y mitigue las perturbaciones más relevantes, siguiendo un marco referencial propuesto por normas de regulación nacionales e internacionales mencionadas anteriormente, que exponen un límite, un periodo de medición y una etapa de análisis de cumplimiento. Además, se realiza un modelamiento del sistema eléctrico del estadio, donde se ve y analiza los posibles escenarios antes y después de la evaluación de calidad de energía [5].

Con los resultados de la evaluación de calidad de energía, se consigue obtener datos que permiten proponer un plan correctivo para lograr un servicio eléctrico, confiable y

seguro, para con ello mejorar la situación económica del estadio y evitar penalización por incumplimiento a las normativas a futuro [5].

Según la normativa ARCERNNR-002/20 [6]. Denominada: Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica. Establece los indicadores, índices y límites de calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica; y, definir los procedimientos de medición, registro y evaluación a ser cumplidos por las empresas eléctricas de distribución y consumidores, según corresponda. La presente regulación es de cumplimiento obligatorio para las empresas eléctricas de distribución, y para los consumidores regulados y no regulados conectados a la red de distribución.

Existen otras normativas, como la norma IEEE 519 o la IEEE 1159, las cuales han sido usadas como referencia en el presente trabajo, donde se establecen objetivos para el diseño de sistemas eléctricos que incluyen cargas tanto lineales como no lineales. Se describen las formas de onda de voltaje y corriente que pueden existir en todo el sistema y se establecen los objetivos de distorsión de la forma de onda para el diseñador del sistema. La interfaz entre fuentes y cargas se describe como el punto de acoplamiento común y el cumplimiento de los objetivos de diseño reducirá la interferencia entre equipos eléctricos. Esta norma aborda las limitaciones del estado estacionario. Se pueden encontrar condiciones transitorias que excedan estas limitaciones. Este documento establece la calidad de la energía que se proporcionará en el punto de acoplamiento común. Este documento no cubre los efectos de la interferencia de radiofrecuencia; sin embargo, se ofrece orientación para sistemas telefónicos cableados [5], [7].

Mediante la evaluación de calidad de energía, se recopilarán datos que respaldarán la formulación de un plan correctivo para garantizar un suministro eléctrico estable y seguro en el Estadio Banco Guayaquil. Los principales beneficiarios de este proyecto son los gestores, organizadores y asistentes a los eventos del estadio, y en un sentido indirecto, la empresa proveedora de energía [3]. Adicionalmente, la implementación de la evaluación de eficiencia energética busca identificar oportunidades para el uso más eficiente de la energía eléctrica en distintas áreas del estadio. Esto ayudará a obtener una comprensión precisa del perfil de consumo en los diversos puntos de carga.

La metodología aplicada en este proyecto inicia con la recopilación de información sobre las instalaciones eléctricas del estadio. A través de la colocación del analizador de redes, se registrarán valores relacionados con distorsión armónica, voltaje, corriente, Flicker, desbalance de voltaje, interrupciones y factor de potencia. Estos datos posibilitarán entender el comportamiento del sistema en operación y detectar problemas existentes en la instalación eléctrica del estadio. Basándose en un análisis técnico, se presentarán soluciones prácticas para abordar eficazmente los problemas identificados [8].

## **2.6. HIPÓTESIS**

¿Podría la presencia de cargas no lineales, como los reflectores LED utilizados en el sistema de iluminación del Estadio Banco Guayaquil, estar generando armónicos y perturbaciones en el suministro eléctrico?

## **2.7. OBJETIVOS**

### **2.7.1. Objetivo General**

Evaluar la calidad de energía en el sistema eléctrico del Estadio Banco Guayaquil al identificar cargas no lineales que introducen problemas en la red con el fin de garantizar un suministro eléctrico confiable, eficiente y seguro.

### **2.7.2. Objetivos Específicos**

- Realizar una investigación teórica sobre la Calidad de Energía y cómo afectan las cargas no lineales a la misma.
- Realizar un levantamiento de información y simulación del sistema eléctrico del estadio.
- Evaluar la estabilidad del suministro eléctrico en el estadio, identificando posibles problemas relacionados con la calidad de Energía.
- Proponer soluciones para mitigar los fenómenos eléctricos identificados.

## 2.8. SISTEMA DE TAREAS

A continuación, por medio de la Tabla 2.1, se presenta el sistema de tareas en donde se organiza las actividades necesarias para evaluar la calidad de energía en el estadio. Comienza por identificar y categorizar todos los objetivos relacionados con la medición y análisis de problemas relacionados a la calidad de energía.

Tabla 2. 1. Sistema De Tareas Establecidas.

<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>ACTIVIDADES (TAREAS)</b>	<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>	<b>TÉCNICAS, MEDIOS E INSTRUMENTOS</b>
- Realizar una investigación teórica sobre la Calidad de Energía y cómo afectan las cargas no lineales a la misma.	- Investigación bibliográfica y revisión de documentos técnicos relacionados al tema.	- Recopilación de información sobre la calidad de energía y sus afectaciones por cargas no lineales.	- Acceso a trabajos investigativos digitales, bases de datos académicas y literatura especializada en estudios de Calidad Energética.
- Realizar un levantamiento de información y simulación del sistema eléctrico del estadio.	- Inspección in situ del sistema eléctrico del estadio y recopilación de datos técnicos.  - Modelado y simulación del sistema eléctrico del estadio.	- Obtención de datos, datos de funcionamiento y diagramas.  - Modelado del sistema eléctrico en un Software especializado.	- Equipos de medición eléctrica y los respectivos planos eléctricos del estadio.  - Uso de un Software especializado y datos recolectados en la inspección.
- Evaluar la estabilidad del suministro eléctrico en el estadio, identificando posibles problemas relacionados con la calidad de Energía.	- Monitoreo continuo del suministro eléctrico durante un período determinado.  - Análisis de los datos recopilados para identificar problemas de calidad de energía.	- Gráficas sobre variaciones en la calidad eléctrica del Estadio.  - Registro de Datos de forma cuantitativa.	- Uso de Analizador de redes dentro del sistema eléctrico perteneciente al estadio.  - Uso de software para observar los datos obtenidos en la actividad anterior.
- Proponer soluciones para mitigar los fenómenos eléctricos identificados.	- Investigación de soluciones técnicas para los problemas identificados.	- Desarrollo de posibles escenarios con resultados esperados.	- Uso de software especializado

### **3. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO-TEÓRICA**

Cuando hablamos de calidad de energía nos referimos a un término de mucha importancia desde la generación hasta la distribución principalmente enfocada en el servicio final entregado a los clientes de tipo residencial, comercial e industrial. En los últimos años este tema ha ido tomando gran consideración por el avance tecnológico y la utilización de nuevas tecnologías, por el aumento considerable de cargas que son sensibles de cierto modo eficientes, pero provocan disturbios a la red eléctrica. Teniendo en cuenta que con uso de estas mismas cargas se obtiene la degradación de la calidad de energía, no es solución óptima el dejar de utilizar estas cargas y equipos para mejorar la calidad de producto, este tipo de cargas que a diario utilizamos están compuestas por electrónica de potencia, conmutación por medio de semiconductores y lo más notorio la rectificación, a este tipo de cargas se las denomina como cargas no lineales; es bastante inusual que hoy en día el usuario no utilice este tipo de cargas. Debido a la alta presencia de estas cargas y dispositivos la red eléctrica se ve afectada de cierto modo contaminada, es necesaria una limpieza para que clientes y la generación puedan seguir complaciéndose de los beneficios de la electricidad sin tener presentes inconvenientes y problemas que a futuro serán significativos [9].

La mejora de la calidad en el suministro de energía eléctrica presenta desafíos significativos, ya que no hay un método claro para eliminar la energía que no cumple con los estándares requeridos o para que los usuarios devuelvan la energía al proveedor. Los problemas de calidad en el suministro eléctrico suelen atribuirse a la compañía proveedora o a eventos externos a las instalaciones de las empresas. Aunque lo expuesto anteriormente puede ser cierto en algunas situaciones, Cada vez es más común que la baja calidad de la energía eléctrica sea el resultado de las contribuciones de varios usuarios, como la generación de armónicos por parte de sus equipos o el bajo factor de potencia, etc [10].

Desde un punto de vista teórico, al considerar la calidad de la energía eléctrica, el consumidor espera recibir de su proveedor (la empresa distribuidora) un suministro caracterizado por tensiones balanceadas, ondas sinusoidales con amplitudes y frecuencias estables. Esto se refleja en la provisión de un servicio de alta calidad que conlleva costos variables relacionados con un rendimiento óptimo, asegurando la seguridad y fiabilidad

de equipos y procesos. Todo esto se realiza sin comprometer el medio ambiente ni el bienestar de las personas. Con la introducción de nuevos equipos y tecnologías, la mayoría de las cargas se clasifican ahora como no lineales, ya que incorporan componentes más eficientes que han alterado la respuesta tradicionalmente esperada de una corriente sinusoidal a otras formas con características distintas [11], [12].

### **3.1. REGULACIÓN EN EL ECUADOR**

El ARCERNNR es el organismo encargado de regular todo lo que concierne al uso de energía eléctrica en el país, tal como su generación, transmisión, distribución; para este caso calidad de energía a través de la Regulación ARCERNNR No -002/20 [13].

Dentro de la Regulación de la Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución comprende los siguientes puntos de análisis [6]:

- Calidad del Producto
- Calidad del Servicio Técnico
- Calidad del Servicio Comercial

#### **3.1.1. Análisis de la Regulación ARCERNNR No. - 002/20**

La regulación en Ecuador se organiza mediante fases y establece niveles de tolerancia para los voltajes en diferentes rangos. Además, se consideran rangos distintos para áreas urbanas y rurales [6].

#### **3.1.2. Límites de voltajes**

Los rangos de voltajes admitidos [6], se detallan continuación en la Tabla 3.1:

Tabla 3. 1. Límites del nivel de voltaje [6].

<b>Niveles de Tensión</b>	<b>Tolerancia</b>
Alta Tensión (Grupo 1 y Grupo 2)	±5%
Media Tensión	±6%
Baja Tensión	±8%

#### **3.1.3. Cumplimiento del índice de nivel de voltaje en el punto de medición**

La distribuidora cumple con el nivel de voltaje en un punto de medición cuando el 95% o más de los registros de las variaciones de voltaje, en todas y cada una de las fases,

en el período de evaluación de al menos siete (7) días continuos, se encuentran dentro del rango admisible [6].

### 3.1.4. Distorsión armónica de voltaje

Se considerará la distorsión armónica de voltaje y la distorsión armónica total de voltaje, expresadas en las ecuaciones 1, 2 y 3 [6]:

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

$$DV_{h,k} = \frac{V_{h,k}}{V_{h,1}} \times 100 \text{ [%]} \quad (2)$$

$$THD_k = \left[ \frac{1}{V_{h,1}} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (V_{h,k})^2} \right] \times 100 \text{ [%]} \quad (3)$$

Donde:

$V_{h,k}$  = Armónica de voltaje h en el intervalo k de 10 minutos.

$V_{h,i}$  = Valor eficaz (rms) de la armonica de voltaje h (para h = 2,3, ...,50), medido cada 3 segundos (i = 1,2, ..., 200).

$DV_{h,k}$  = Factor de distorsion individual de voltaje de la armonica h (para h = 2,3, ...,50) en el intervalo k de 10 minutos.

$THD_k$  = Factor de distorsión armónica total de voltaje.

$V_{h,1}$  = Valor eficaz (rms) de la componente fundamental de voltaje en el punto de medicion.

### 3.1.5. Límites de distorsión armónica de voltaje

Los límites máximos del factor de distorsión armónica individual de voltaje y del factor de distorsión armónica de voltaje [6], se presentan en la Tabla 3.2, en donde se detalla que:

Tabla 3. 2. Límites para el índice de nivel de voltaje [6].

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

### 3.1.6. Desequilibrio de Voltaje

El desequilibrio de voltaje en un punto del sistema de distribución se determinará con la ecuación 4 de la siguiente manera:

$$\text{Desequilibrio de Voltaje} = \left| \frac{V^-}{V^+} \right| \times 100 \text{ [%]} \quad (4)$$

Donde:

$V^-$  = Componente de secuencia negativa de voltaje, determinado como el promedio de las medidas registradas (al menos cada 3 segundos) en un intervalo de 10 minutos.

$V^+$  = Componente de secuencia positiva de voltaje, determinado como el promedio de las medidas registradas (al menos cada 3 segundos) en un intervalo de 10 minutos.

### 3.1.7. Perturbación rápida de voltaje (Flicker)

La evaluación se realizará utilizando el índice de severidad por Flicker de corta duración ( $P_{st}$ ), de acuerdo con lo anexado en la norma ARCERNNR 002/20. Este índice mide la severidad de las variaciones periódicas de amplitud de voltaje a corto plazo, expresados en la ecuación 5, con intervalos de medición de 10 minutos [6]:

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}} \quad (5)$$

Donde:

$P_{st}$ : Índice de severidad de Flicker de corta duración.

$P_{0,1}, P_1, P_3, P_{10}, P_{50}$ : Niveles de efecto Flicker que se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total de intervalo de medición.

### 3.1.8. Límites de perturbación rápida de voltaje (Flicker)

El valor límite para el índice de severidad del Flicker de corta duración  $P_{st}$  en el punto de medición respectivo no debe superar la unidad [6].

### 3.1.9. Cumplimiento del índice de Flicker en el punto de medición

La distribuidora cumple con el índice de severidad por Flicker de corta duración  $P_{st}$  en un punto de medición cuando el 95% o más de los valores registrados, en todas y cada una de las fases, en el período de evaluación no inferior a siete (7) días continuos, es menor al límite establecido [6].

### 3.1.10. Distorsión armónica de corriente

Se evaluará la distorsión armónica individual de corriente y la distorsión de demanda total, expresadas en las ecuaciones 6, 7 y 8 y se presentan a continuación [6]:

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

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

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

Donde:

$I_{h,k}$  = Armónica de corriente h en el intervalo k de 5 minutos.

$I_{h,i}$  = Valor eficaz (rms) de la armónica de corriente h (para h = 2, 3, ..., 50), medido cada 3 segundos (i = 1, 2, 3, ..., 200).

$DI_{h,k}$  = Factor de distorsión individual de voltaje de la armónica h (para  $h = 2, 3, \dots, 50$ ) en el intervalo k de 10 minutos.

$TDD_k$  = Factor de distorsión de demanda total (armónicos de corriente).

$I_{h,1}$  = Valor eficaz (rms) de la componente fundamental de voltaje en el punto de medición.

### 3.1.11. Límites de distorsión armónica de corriente

Los límites de distorsión armónica individual de corriente y distorsión de demanda total [6] son los presentados en la Tabla 3.3, que se especifican a continuación:

Tabla 3. 3. Niveles máximos de armónicos impares [6].

Niveles máximos de armónicos impares (% de la corriente máxima de demanda)						
$\frac{I_{cc}}{I_L}$	$3 \leq h \leq 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
<20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20<50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50<100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100<1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
>1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

Los límites para armónicos pares corresponden al 25% de los límites indicados en la Tabla 16. Todos los equipos están limitados a estos valores de distorsión de corriente, donde:  $I_{cc}$  = corriente máxima de corto circuito en el PCC2; y,  $I_L$  = corriente máxima de carga a frecuencia fundamental (60 Hz) [6].

### 3.1.12. Factor K

El factor K establece una comparación entre el efecto de calentamiento causado por una corriente distorsionada en un transformador y una corriente sinusoidal de igual magnitud (RMS), lo que indica la capacidad del transformador para suministrar energía a cargas no lineales sin exceder los límites de aumento de temperatura no lineales [14].

Para calcular el factor K, se suma el cuadrado de las corrientes armónicas multiplicadas por el cuadrado del orden armónico. En la ecuación 9 se presenta la fórmula utilizada:

$$k = \frac{\sum_{n=1}^h (Ih^2 \cdot h^2)}{\sum_{n=1}^h (Ih^2)} \quad (9)$$

Donde  $k$  es el factor  $K$ ,  $h$  es el orden armónico e  $Ih$  es la intensidad RMS real del orden armónico  $h$ .

El Factor  $K$  se utiliza para evaluar los impactos del calentamiento causado por los armónicos en las cargas y las pérdidas en el transformador. Un valor de  $K = 1$  representa la referencia para un transformador estándar. Si el valor de  $K$  es 4, indica que el calentamiento es cuatro veces mayor que el nivel normal [14].

### **3.2. TIPOS DE CARGAS ELÉCTRICAS**

En los sistemas eléctricos, las cargas representan los dispositivos que utilizan energía eléctrica. Estas cargas se dividen principalmente en dos categorías: lineales y no lineales. Esta distinción es fundamental para la planificación, operación y evaluación de los sistemas de energía eléctrica [15].

#### **3.2.1. Cargas lineales**

Cuando se suministra un voltaje sinusoidal a dispositivos como resistencias, inductores, capacitores o una combinación de estos, la corriente resultante es proporcional y también sinusoidal. Por lo tanto, estos dispositivos se clasifican como cargas lineales. Como se presenta en la Figura 3.1, la corriente y el voltaje siempre son proporcionales a lo largo de la línea de su impedancia [15].

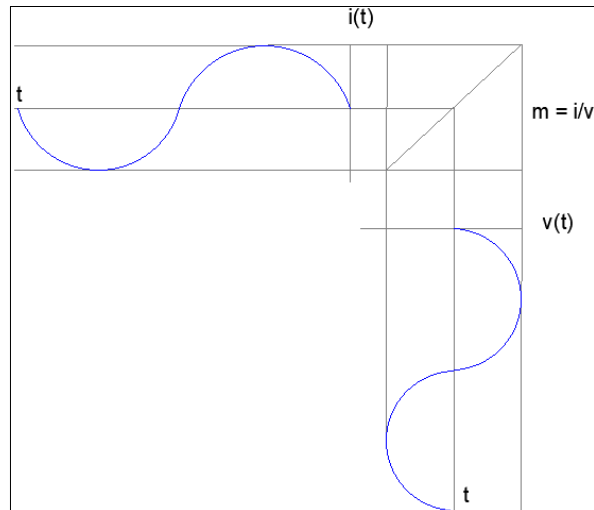


Figura 3. 1. Representación de una carga lineal [15].

### 3.2.2. Cargas No lineales

Una carga no lineal se caracteriza porque la corriente de carga no guarda una relación proporcional con el voltaje instantáneo, representado en la Figura 3.2. En muchos casos, la corriente de carga no es continua, pudiendo estar activa solo durante una parte del ciclo, como en un circuito rectificador controlado, un ordenador o un sistema de alimentación ininterrumpida (UPS). El principal efecto de las cargas no lineales es la generación de una notable distorsión armónica en el sistema eléctrico. Estas corrientes armónicas provocan un sobrecalentamiento en transformadores y motores. Los armónicos de orden impar se acumulan en el conductor neutro del sistema, y algunas corrientes pulsantes no se cancelan en el neutro, incluso cuando las tres fases del sistema están equilibradas. Esto resulta en una sobrecarga en los conductores neutros. Además, muchas de estas cargas no lineales tienen un bajo factor de potencia, lo que aumenta el costo de la energía eléctrica cuando se aplica una penalización por bajo factor de potencia [15].

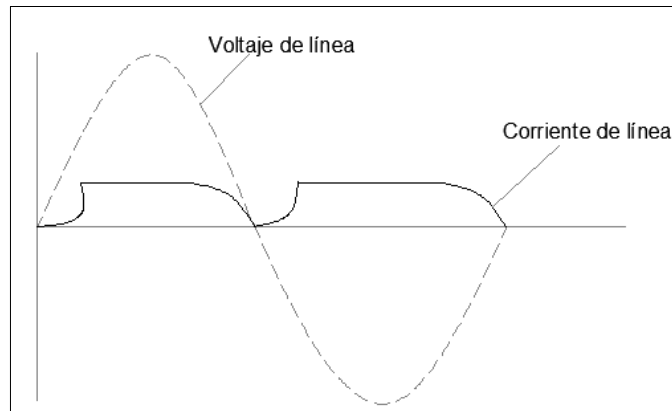


Figura 3. 2. Representación de un sistema no lineal [15].

En la Tabla 3.4 se presenta las diferencias entre los dos tipos de cargas presentes en los sistemas eléctricos.

Tabla 3. 4. Diferencias eléctricas entre cargas lineales y no lineales [16].

<b>CARGAS LINEALES</b>	<b>CARGAS NO LINEALES</b>
La corriente de carga es completamente proporcional al voltaje.	La corriente de carga no es proporcional al voltaje.
Si el voltaje de alimentación es sinusoidal la corriente también es sinusoidal.	Aún con voltaje de alimentación sinusoidal la corriente puede no ser sinusoidal.
Las ondas de voltaje no se ven afectadas por las ondas de corriente.	Las ondas de voltaje se distorsionan debido a las ondas de corriente.

### 3.3. DISTORSIÓN DE FORMA DE ONDA

De acuerdo con [16] se define la distorsión armónica como una desviación constante de la onda sinusoidal, caracterizada principalmente por el contenido espectral de la misma desviación. Se puede clasificar en cinco tipos, que se describen a continuación en la Tabla 3.5:

Tabla 3. 5. Diferentes formas de distorsión de onda [16].

<b>FORMAS DE DISTORSIÓN DE ONDA</b>	
Muesca	Una irregularidad en la forma de onda del voltaje que tiene una duración inferior a medio ciclo y muestra polaridad contraria a la señal de operación, son ocasionadas por cortocircuitos entre fases [16].
Ruido	El ruido eléctrico se refiere a la alteración de la forma de onda sinusoidal del voltaje, generada por sistemas de transmisión de señales de radio. Este tipo de interferencia puede impactar el rendimiento de las computadoras [16].
Armónicos	Los armónicos, que son corrientes y/o voltajes con frecuencias múltiplo de la frecuencia fundamental en un sistema eléctrico. El aumento significativo de cargas no lineales, como convertidores, ha ocasionado un notable incremento en el contenido de armónicas. Estas armónicas se manifiestan como diversas distorsiones en la forma de onda del voltaje en la red de distribución [16].
Inter-Armónicos	Son considerados voltajes o corrientes que contienen componentes de frecuencia que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, pueden provocar graves problemas de resonancia en el sistema eléctrico. Lo que provoca esta distorsión son los convertidores de frecuencia estática, ciclo convertidores, hornos de inducción y dispositivos de formación de arcos [18].

### **3.4. MEDIDAS CUANTIFICABLES**

El incremento en el empleo de cargas no lineales tanto en contextos residenciales como industriales ha generado un mayor interés entre la comunidad de investigadores en ingeniería eléctrica en los últimos años. Este interés se centra especialmente en los desafíos asociados con la calidad de la energía, particularmente en lo que respecta a la distorsión de la forma de onda del voltaje en los sistemas de distribución. Una considerable cantidad de estas cargas hacen uso de convertidores que, en su esencia, están compuestos por diodos rectificadores de onda completa. Estos diodos suministran energía a un condensador conectado en paralelo al receptor. El constante ciclo de carga y descarga del condensador provoca cambios en la forma de onda de la corriente, lo que resulta en la aparición de picos prominentes [19], [20].

#### **3.4.1. Factor de potencia**

El factor de potencia se define como la relación entre potencia real y potencia aparente, presentado en la ecuación 10. Un factor de potencia elevado indica que una parte

significativa de la energía se convierte en trabajo, mientras que un factor de potencia bajo señala una subutilización de energía [21].

$$fp = \frac{P}{S} \quad (10)$$

Para el caso en que las ondas de voltaje y corriente no están distorsionadas en su forma, aplica la reducción en la ecuación 11 que se presenta a continuación [21]:

$$fp = \cos \theta \quad (11)$$

### 3.4.2. Distorsión Armónica THD

Se considera como una distorsión periódica de la onda senoidal, es decir, son perturbaciones en la frecuencia real de la señal eléctrica que se originan dentro de las propias instalaciones eléctricas debido a que se consideran como señales cuya frecuencia es un múltiplo entero de la frecuencia principal o fundamental. Se clasifican en términos de su orden, lo que significa que las armónicas de segundo, tercer y cuarto orden tienen frecuencias de 120, 180 y 240 Hz, respectivamente. Es la relación del valor RMS de la distorsión al valor RMS de la fundamental. Como el valor efectivo de la distorsión es la sumatoria de cuadrados de todos los valores efectivos de cada componente armónica excepto la fundamental, descrito en la ecuación 12 que se presenta a continuación [20].

$$THD = \frac{RMS \text{ distorción}}{RMS \text{ Fundamental}} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_{hmax}^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{I^2 - I_1^2}}{I_1} \quad (12)$$

Para entender de mejor forma, se observa en la Figura 3.6 como se ubican los diferentes tipos de distorsiones frente a la presencia de armónicos [20].

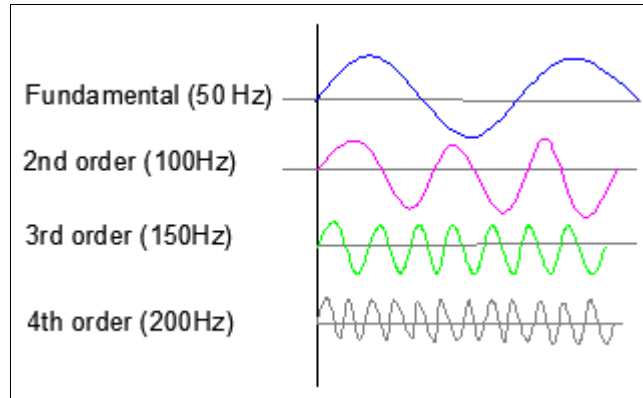


Figura 3. 3. Orden de Armónicos [20].

### 3.5. PROBLEMAS OCASIONADOS POR ARMÓNICOS Y SUS RESPECTIVAS SOLUCIONES

#### 3.5.1. Interferencias Electromagnéticas

La Interferencia Electromagnética (EMI), también conocida como interferencia electromagnética, se refiere a la energía que provoca respuestas no deseadas en dispositivos electrónicos. Puede originarse por una variedad de fuentes, interruptores de circuitos de potencia, sistemas de carga inductiva y resistiva, relés, interruptores, lámparas fluorescentes, calentadores, descargas atmosféricas e incluso descargas electrostáticas entre personas y equipos, dispositivos de microondas, equipos de comunicación móvil, entre otros, ilustrados en la Figura 3.4. Causando disturbios como sobretensiones, subtensiones, picos de tensión, transitorios, entre otros, los cuales pueden afectar el funcionamiento de una red. La EMI es particularmente frecuente en entornos industriales y fábricas, donde la presencia de máquinas, motores, redes digitales y computadoras en áreas cercanas la hace más común [24].

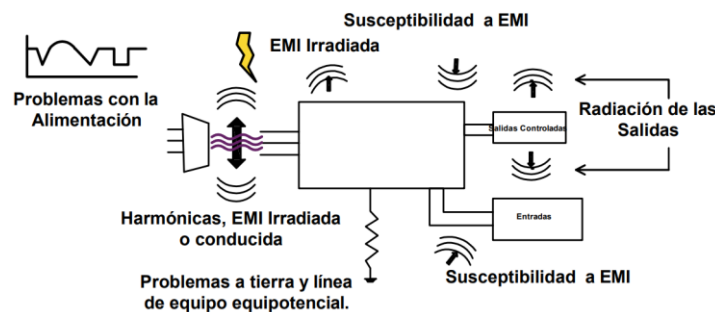


Figura 3. 4. Fuentes de EMI [24].

### 3.5.2. Resonancia eléctrica

La resonancia electromagnética es el fenómeno en el cual la reactancia inductiva y la capacitiva de los elementos de un circuito RLC se ajustan de manera precisa. Durante la ocurrencia de este fenómeno, es posible que se produzcan sobretensiones potencialmente peligrosas, cuya magnitud depende del factor de calidad  $Q$  del circuito. Estas sobretensiones pueden ocasionar daños a los equipos conectados al sistema. Es importante destacar que la resonancia también puede surgir debido a la presencia de frecuencias armónicas [18], [25].

### 3.5.3. Resonancia en serie

El fenómeno de la resonancia en serie puede surgir cuando se produce un incidente perturbador, como una falla de fase a tierra, durante la operación del sistema eléctrico, representada en la Figura 3.5. En esta situación, la resonancia ocurre cuando la reactancia inductiva se equilibra con la reactancia capacitiva [25].

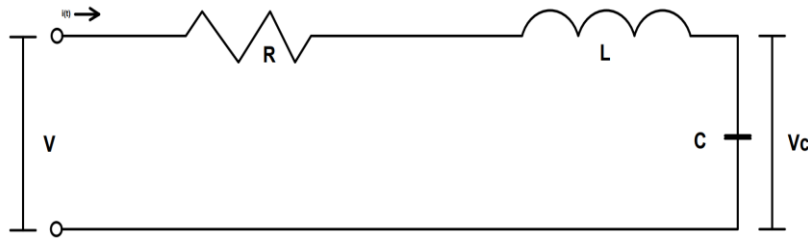


Figura 3. 5. Circuito RLC en Serie [25].

### 3.5.4. Resonancia en Paralelo

El examen del fenómeno de la resonancia en un circuito RLC en paralelo, como se muestra en la Figura 6, presenta similitudes con el análisis de un circuito RLC en serie. La evaluación de la resonancia puede realizarse utilizando la admitancia o la impedancia, y en ambos enfoques se obtiene el mismo resultado [25].

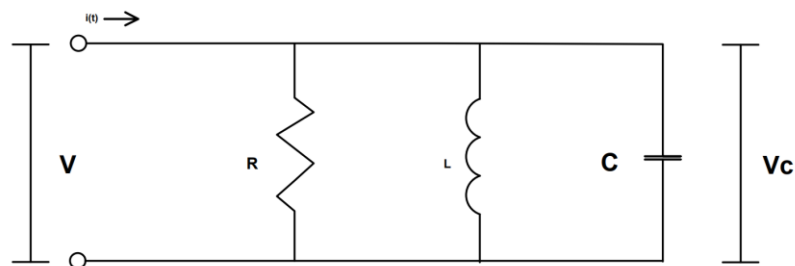


Figura 3. 6. Circuito RLC en Paralelo [25].

### **3.5.5. Sobrecalentamiento de los conductores y perturbaciones en los interruptores automáticos de los circuitos**

La existencia de corrientes armónicas en un sistema eléctrico puede provocar diversas complicaciones. En primer lugar, estas corrientes incrementan el valor eficaz de la corriente total en el sistema, generando pérdidas adicionales de energía en forma de calor. Esto puede resultar en un sobrecalentamiento en los conductores y otros elementos de la instalación eléctrica, lo que, a su vez, puede acortar la vida útil de los equipos y aumentar el riesgo de fallos. Además, como consecuencia, la capacidad efectiva del conductor para transportar corriente se reduce, lo que puede ocasionar un aumento adicional en la resistencia y las pérdidas de energía. Aunque el efecto piel suele ser insignificante en suministros de energía a frecuencias estándar como 50 o 60 Hz, en frecuencias más elevadas, como los armónicos de orden superior, este efecto se vuelve más notable y puede tener un impacto significativo en el desempeño del sistema [27], [28].

### **Solución a los Sobrecalentamiento de los conductores y perturbaciones en los interruptores automáticos de los circuitos**

Para contrarrestar los impactos adversos de las corrientes armónicas, una medida preventiva es emplear cables con una sección superior a la indicada en los catálogos. Cuando las corrientes armónicas están presentes, los cables pueden experimentar un incremento en la temperatura debido a las pérdidas de energía adicionales. Al utilizar cables con una sección transversal mayor, se reduce la resistencia eléctrica y, por consiguiente, se atenúan las pérdidas de energía y el sobrecalentamiento en los conductores [26].

### **3.5.6. Sobrecarga de los transformadores de distribución**

Los transformadores de distribución que suministran energía a cargas no lineales sufren un impacto negativo significativo debido a los armónicos. La distorsión en la forma de onda de la corriente, causada por los armónicos, resulta en un aumento del valor eficaz de la corriente, lo que a su vez conlleva pérdidas adicionales en el cobre del bobinado del transformador. Estas pérdidas adicionales generan un aumento de la temperatura en el transformador, lo que puede disminuir su capacidad de carga y su eficiencia [29], [30].

Además de las pérdidas en el cobre, las corrientes armónicas de alta frecuencia también generan pérdidas adicionales en los núcleos del transformador. Este fenómeno se debe a las corrientes de Foucault inducidas en los materiales conductores del núcleo por los campos magnéticos cambiantes asociados con los armónicos. Estas corrientes adicionales ocasionan un aumento de la temperatura en las carcasas metálicas y los bobinados del transformador, lo que puede acelerar el deterioro del aislamiento y otros componentes, reduciendo de esta manera la vida útil del transformador [31].

### Solución a la sobrecarga en transformadores de distribución

Una opción más eficaz implica el empleo de transformadores de la categoría K. Estos transformadores se distinguen por asignar un factor K específico, indicado en su placa de identificación. Este factor K sirve como un indicador que evalúa la capacidad del transformador para funcionar con corrientes nominales que incluyen cierta cantidad de armónicos, los valores relacionados para K son los presentados en la Tabla 3.6. Estos transformadores están especialmente diseñados para suministrar energía a cargas que presentan armónicos, y pueden integrar ajustes en su diseño para mejorar su resistencia a los efectos de estos armónicos [32].

Tabla 3. 6. Factores de Carga en Base al Orden de Armónico [32].

<b>CARGAS CON FACTOR K</b>					
<b>Armónica</b>	<b>Hertz</b>	<b>K-4</b>	<b>K-13</b>	<b>K-20</b>	<b>K-30</b>
1	60	100.00 %	100.00 %	100.00 %	100.00 %
3	180	16.67 %	33.33 %	41.67 %	50.00 %
5	300	10.00 %	20.00 %	25.00 %	30.00 %
7	420	7.14 %	14.29 %	17.86 %	21.43 %
9	540	5.56 %	11.11 %	13.89 %	16.67 %
11	660	4.55 %	9.10 %	11.36 %	13.64 %
13	780	3.85 %	7.69 %	9.62 %	11.54 %
15	900	3.33 %	6.67 %	8.33 %	10.00 %

## 3.6. TIPOS DE FILTROS

### 3.6.1. Filtros pasivos para reducir armónicos

Las configuraciones de un filtro pasivo están compuestas por diversos componentes diseñados para disminuir el flujo de tensión o corriente armónica en una o varias barras

de carga, o en equipos específicos dentro de un sistema de potencia. Los filtros pasivos no se adaptan a los cambios topológicos del sistema ni a las condiciones de operación, lo que puede provocar que no estén sintonizados y aumenten la distorsión. Estos filtros están compuestos por una combinación de inductores, condensadores y resistencias, que se eligen a través de cálculos para lograr una impedancia máxima o mínima en determinadas frecuencias específicas [33].

### 3.6.2. Filtro pasivo en serie

El filtro en serie es un dispositivo que se conecta a un sistema de potencia, compuesto por un inductor y un capacitor en paralelo, como se muestra en la Figura 3.7. Este filtro está sintonizado a una frecuencia de resonancia específica. A la frecuencia fundamental, puede diseñarse para ofrecer una baja impedancia, permitiendo así el flujo de la frecuencia fundamental con menores pérdidas [33].

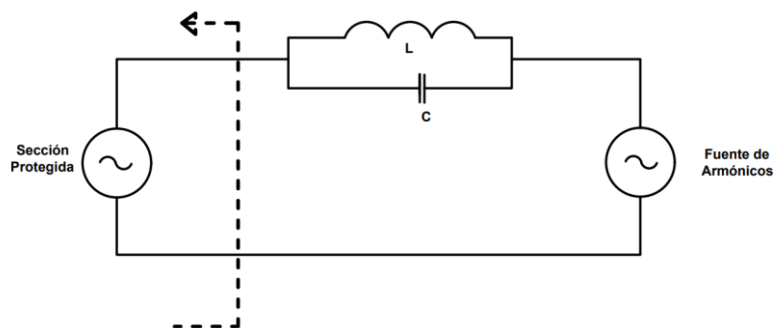


Figura 3. 7. Filtro de tipo serie [33].

### 3.6.3. Filtro pasivo en derivación

Los filtros en derivación, como se muestra en la Figura 3.8 proporcionan un camino de baja impedancia para las frecuencias armónicas. Están formados por una rama resonante que incluye elementos resistivos, capacitivos e inductivos, creando un circuito RLC conectado en paralelo al sistema de potencia o al equipo que lo necesite. Los filtros en derivación ofrecen más ventajas que los filtros en serie, ya que son más económicos, manejan las corrientes armónicas para las que fueron diseñados y aportan potencia reactiva al sistema, lo que ayuda a estabilizar el factor de potencia [33].

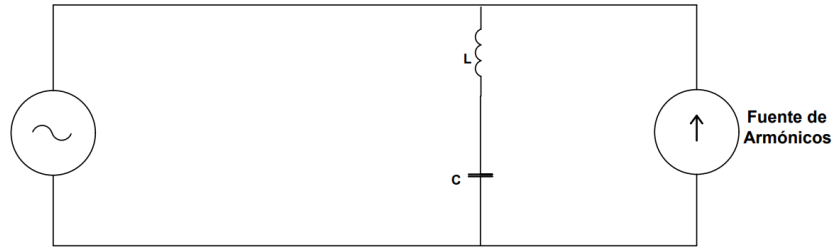


Figura 3. 8. Filtro de tipo en derivación [33].

### 3.6.4. Proceso para dimensionar un filtro pasivo de armónicos

Una de las estrategias más utilizadas en el sector industrial es la implementación de filtros pasivos sintonizados para mitigar armónicos. Estos filtros, debido a sus características capacitivas, también mejoran el factor de potencia, considerando las características eléctricas y los puntos de resonancia de la red [33].

Para dimensionar un filtro pasivo, se consideran las normativas IEEE 1531-2003 [34]. Generalmente, un filtro debe sintonizarse a una frecuencia ligeramente inferior a la de los armónicos más significativos, es decir, entre un 3 % y un 15 % por debajo de la frecuencia objetivo, teniendo en cuenta la potencia reactiva efectiva y la impedancia efectiva del filtro, como se ilustra en las ecuaciones 13, 14 que se presentan a continuación [33].

$$Q_{eff} = P(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \quad (13)$$

$$X_{eff} = \frac{(V_{LL\,sit})^2}{Q_{eff}} \quad (14)$$

Donde:

$V_{LL\,sit}$  = Voltaje línea a línea

$Q_{eff}$  = Potencia reactiva efectiva

$X_{eff}$  = Reactancia efectiva

Se calcula la impedancia de la red a la frecuencia fundamental, así como la impedancia capacitiva, inductiva, la capacitancia y la impedancia total, aplicando las ecuaciones 15, 16 correspondientes [33].

$$X_c = \frac{h^2}{h^2 - 1} \times X_{eff} \quad (15)$$

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_c} \quad (16)$$

De la misma manera aplicamos las ecuaciones 17, 18 para obtener los valores de impedancia inductiva y el valor de la inductancia.

$$X_L = \frac{X_C}{h^2} \quad (17)$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (18)$$

Donde:

$X_L$  = Reactancia inductiva

$X_C$  = Reactancia capacitiva

$L$  = Inductancia

$R$  = Resistencia

$C$  = Capacitancia

Para el dimensionamiento del filtro se recomienda que el factor de calidad tenga un valor entre 20 y 30 [33].

### **3.6.5. Filtros activos para reducir armónicos**

Los filtros activos, aunque son más costosos que los filtros pasivos, destacan por su avanzada tecnología electrónica y la ausencia de problemas de resonancia en el sistema. Su propósito es rectificar la forma distorsionada de una onda, convirtiéndola en una sinusoidal mediante la introducción de una distorsión armónica contraria a la generada por las cargas no lineales [33].

## **4. MÉTODOS Y MATERIALES**

En esta sección se detalla la metodología empleada, incluyendo las técnicas de investigación, el sistema de procedimientos, así como las herramientas y materiales utilizados en el estudio actual. El modelo metodológico propone un conjunto de procedimientos, técnicas y métodos para el manejo de datos y conocimientos, con el objetivo de obtener parámetros válidos para el desarrollo de la investigación.

### **4.2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

#### **4.2.1. Método inductivo – deductivo**

Este método se utilizó para determinar es estado actual del sistema eléctrico del “Estadio Banco Guayaquil”, en el cual se determinó los problemas y causas de esta, además de plantear posibles soluciones para mitigar las mismas. Para ello se realizó la recolección de datos de todos los circuitos derivados de los dos transformadores, identificando cargas lineales, no lineales, el registro de perturbaciones mediante el analizador de redes Fluke 1744; verificación de las corrientes y voltajes por circuito por medio de una pinza Amperimétrica Extech MA440, posteriormente se analizan los parámetros de calidad de energía. Finalmente se efectúa las simulaciones correspondientes en el software ETAP 19.0.1 con los datos obtenidos anteriormente, para dar soluciones a los principales fenómenos que afectan al sistema eléctrico.

### **4.3. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS**

Para determinar los parámetros eléctricos en el “Estadio Banco Guayaquil”, se empleará un analizador de calidad eléctrica y energía. Este dispositivo realizará el registro de la potencia consumida en kilovatios (kW) cada 5 minutos, lo que posibilitará identificar las variaciones en el consumo de energía y la energía suministrada. El proceso de identificación, conexión y soluciones en el estudio de calidad de energía se encuentran en la Figura 4.1, que se detallan a continuación.

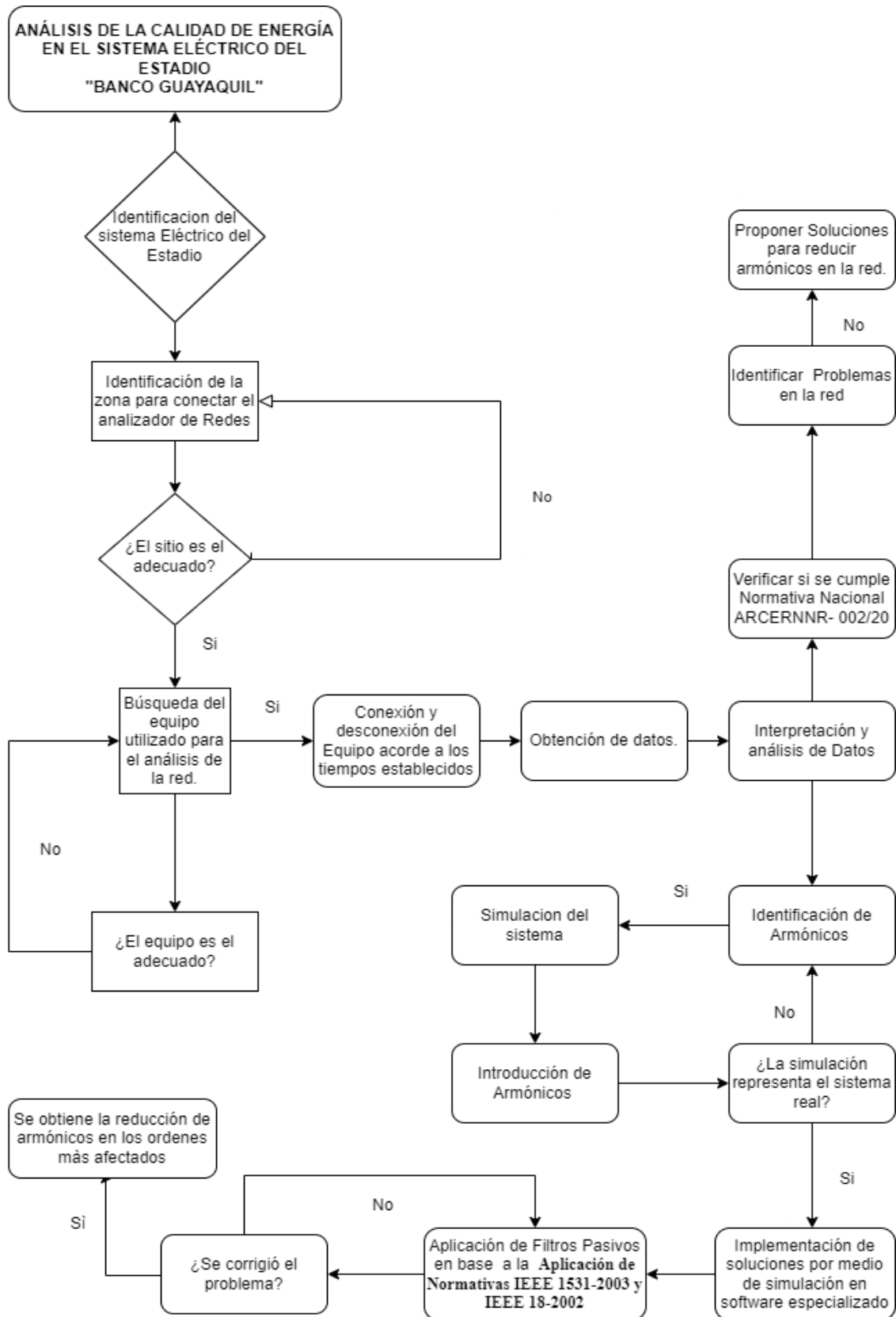


Figura 4. 1. Método de análisis de la calidad de energía en el sistema eléctrico del “Estadio Independiente del Valle”.

#### **4.3.1. Levantamiento de Información**

El primer paso en la metodología es el levantamiento de información, que incluye varios subprocesos detallados en el sistema de tareas. En primer lugar, se realiza la Identificación del sistema eléctrico perteneciente al Estadio Banco Guayaquil, donde se lleva a cabo una revisión exhaustiva de los planos y esquemas eléctricos del estadio. Esta etapa es crucial para comprender la estructura y los componentes del sistema eléctrico que se analizarán.

Una vez identificado el sistema y en base a la normativa IEEE 519 [5], se procede a localizar la zona en la que se conectará el analizador de redes, obteniendo como mejor alternativa los bornes de baja tensión de ambos transformadores. Aquí, es esencial seleccionar los puntos críticos del sistema eléctrico donde se espera la mayor presencia de armónicos, evaluando la accesibilidad y la seguridad para la instalación del equipo. Después de seleccionar la zona, se realiza una inspección física del sitio para asegurarse de que cumple con los requisitos necesarios, una vez verificado el sitio de conexión del analizador de redes, se procede a realizar la conexión del mismo durante 7 días como se establece en la normativa de la ARCERNNR-002/20 [6].

#### **4.3.2. Recolección y Análisis de Datos**

La recolección de datos se realizó por medio de un analizador de redes Fluke 1744. Una vez conectado el equipo, se procede a aislar la zona de conexión del mismo para evitar accidentes o desconexiones involuntarias del equipo dentro de este periodo de tiempo.

Al transcurrir el tiempo establecido de 7 días según la normativa ARCERNNR-002/20 [6], se procede a la recolección de datos, los cuales han sido almacenados dentro del equipo en intervalos de 5 minutos para asegurar su consistencia y precisión. Posteriormente, se extraen los datos del analizador de redes y se observan de forma numérica dentro de Excel, la realización de este análisis permite identificar problemas y patrones en el sistema eléctrico con el objetivo de verificar que se cumpla con la normativa vigente, observando graves problemas de armónicos en el transformador 1, el cual es el responsable de la iluminación de la cancha perteneciente al estadio Banco Guayaquil.

En cuanto al transformador 2, los datos arrojados por el analizador de redes determinaron un correcto funcionamiento del mismo y dentro de los límites establecidos por la normativa ARCERNNR-002/20.

Los parámetros recolectados por el analizador de redes se encuentran en la Tabla 4.1, las mismas que se detallan a continuación.

Tabla 4. 1. Parámetros Recolectados por el Analizador de Redes.

<b>Tipo de Parámetro</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
Voltajes (V)	V medio L1, L2, L3	Voltaje medio en las fases L1, L2, L3
	V máximo L1, L2, L3	Voltaje máximo en las fases L1, L2, L3
	V mínimo L1, L2, L3	Voltaje mínimo en las fases L1, L2, L3
Corrientes (A)	I medio L1, L2, L3, N	Corriente media en las fases L1, L2, L3 y neutro
	I máximo L1, L2, L3, N	Corriente máxima en las fases L1, L2, L3 y neutro
Potencias (W, Var, VA)	P medio L1, L2, L3, total	Potencia activa media en las fases L1, L2, L3 y total
	Q medio L1, L2, L3, total	Potencia reactiva media en las fases L1, L2, L3 y total
	S medio L1, L2, L3, total	Potencia aparente media en las fases L1, L2, L3 y total
	PF L1, L2, L3, total	Factor de potencia en las fases L1, L2, L3 y total
Calidad de Energía (-)	Flickers L1, L2, L3	Flickers en las fases L1, L2, L3
Distorsión Armónica Total (THD) (%)	THD V medio L1, L2, L3	Distorsión armónica total del voltaje medio en las fases L1, L2, L3
	THD I medio L1, L2, L3, N	Distorsión armónica total de la corriente media en las fases L1, L2, L3 y neutro
Energía (Wh)	Energía L1, L2, L3, total	Energía consumida en las fases L1, L2, L3 y total
Armónicos de Voltaje (%)	V h1 L1, L2, L3 hasta V h50 L1, L2, L3	Armónicos de voltaje del primer al quincuagésimo armónico en las fases L1, L2, L3

### 4.3.3. Simulación

Una vez analizados los datos obtenidos mediante el analizador de redes, se procede a realizar la simulación del sistema eléctrico del estadio utilizando el software ETAP 19.0.1.

En esta etapa, se modela el comportamiento del sistema eléctrico introduciendo parámetros y condiciones reales en el modelo de simulación. Esto implica la inserción de los armónicos obtenidos por medio del analizador de redes en la librería del software ETAP para observar los efectos en el rendimiento y estabilidad del sistema. Si la simulación representa fielmente el sistema real, se procede con la identificación de armónicos, evaluando los resultados de la simulación para detectar las frecuencias armónicas presentes.

La Introducción de armónicos en el modelo simulado permite observar el comportamiento del sistema bajo condiciones de armónicos. Si la simulación no representa adecuadamente el sistema real, se deben realizar ajustes y validaciones adicionales. Una vez que la simulación es precisa, se pasa a la Implementación de soluciones por medio de simulación en software especializado, probando diversas estrategias de mitigación antes de su implementación en el sistema real.

#### **4.3.4. Proponer Soluciones y Verificación**

Continuando con la problemática inicial, ahora es necesario proponer soluciones y verificar su efectividad. Basándose en los análisis y simulaciones previas, se desarrollan estrategias para mitigar los armónicos detectados en el sistema eléctrico del estadio. En esta fase se proponen soluciones para reducir armónicos en la red, evaluando técnicas como la instalación de filtros pasivos basándonos en las normativas IEEE 1531-20031 la cual ayuda a calcular el dimensionamiento de estos filtros para la mitigación de armónicos [34].

Se implementan las soluciones técnicas en el entorno simulado y, si los resultados son positivos se da por aprobado la aplicación de ese filtro. La Aplicación de filtros pasivos es una de las estrategias comunes utilizadas para mitigar los armónicos. Una vez implementadas las soluciones, se realiza una medición de parámetros de calidad de energía para verificar la reducción de armónicos, comparando los resultados con los objetivos iniciales. Si persisten problemas de armónicos, se reevalúan los puntos críticos. Una vez corregido el problema se procede a simular el sistema eléctrico del estadio y por medio de la herramienta Report Manager de Etap se observa el antes y el después del

sistema eléctrico del estadio, evidenciando una reducción aceptable de los armónicos en el transformador 1.

## **5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Es importante considerar que el presente trabajo se realizó en base a la Normativa establecida por la ARCERNNR 002/20, la cual establece varias pautas relacionadas al control de la calidad de la energía eléctrica en este tipo de zonas [6]. Además, se utilizó los esquemas unifilares brindados por parte del personal técnico de la institución, obteniendo lo siguientes resultados:

### **5.2. RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO DE CARGAS**

Para el análisis, se realizó el respectivo levantamiento de carga, el mismo se realizó en base a los datos obtenidos por medio del esquema unifilar perteneciente al Estadio Banco Guayaquil, proporcionado por el mismo, identificando que, a comparación de la información del esquema unifilar, el transformador 1 pertenece a iluminación general y el transformador 2 pertenece a servicios generales.

Se describe de manera exhaustiva el proceso de levantamiento de cargas realizado para los dos transformadores, obteniendo de manera organizada los valores de corrientes, voltajes y potencias para cada circuito dependiente de cada transformador. Es notable destacar que el transformador 1 está destinado únicamente a los sistemas de iluminación del estadio, que incluyen iluminación LED y pantallas de publicidad, que mayormente se encuentran conectadas a este transformador. Por otro lado, el transformador 2 abarca circuitos más pequeños de iluminación, así como cargas como bombas eléctricas utilizadas en los servicios generales del estadio.

El proceso de levantamiento de cargas se llevó a cabo de manera meticulosa, utilizando equipos y herramientas de medición especializados para garantizar la precisión de los datos recopilados. Se realizaron mediciones periódicas durante un período representativo para asegurar la captura de datos en diferentes condiciones de carga y operación del estadio.

### 5.3. CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR 1

En la presente Tabla 5.1, se describen las características principales del transformador 1, es importante detallar que la mayoría de estos datos fueron extraídas de las placas técnicas de cada transformador. Adicional a esta información se detalló de manera simple al analizador de red utilizado para obtener los resultados de calidad de energía y se detalla la fecha de instalación y retiro del instrumento utilizado.

Tabla 5. 1. Datos del Transformador 1.

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>DATOS</b>
No. De transformador	1
No.	022190751
Potencia [kVA]	400
No. De fases	3
Voltaje en media tensión [V]	22860 Y/13200
Voltaje en baja tensión [V]	220/127
Tipo de conexión	Yyn0
Equipo instalado	FLUKE 1744
Serie del equipo	21595CA/YD
Fecha de instalación	24/11/2023
Fecha de retiro	30/11/2023
Días de lectura	7
Intervalo de registros	0:05
Número de registros	1730
Sitio de la instalación	Bornes De Bajo Voltaje Del Transformador

#### 5.3.1. Análisis de Voltajes

Con la normativa ARCERNNR 002/20 establece que los registros de las variaciones de voltajes en cada una de las líneas se encuentran dentro del rango establecido en la Tabla 3.1. Para el “Estadio Banco Guayaquil” en sus niveles de bajo voltaje su nivel de voltaje no debe pasar el  $\pm 8\%$ .

#### 5.3.2. Análisis de Voltajes medios para el Transformador 1

Tomando como referencia los límites del nivel de voltaje establecidos en la Tabla 3.1. Se establecen los valores obtenidos, lo que se refiere a la descripción del voltaje medio obtenido por cada línea, se establece un rango de variación de voltaje tomando valores máximos y mínimos registrados en los siete días y establecidos en la Tabla 5.2.

Obteniendo como resultado que **los valores de voltajes medios se encuentran dentro del límite establecido por la norma.**

Tabla 5. 2. Voltajes medios para el transformador 1.

V medio	V medio Promedio	% de variación de voltaje		Límite ARCERNNR 002/20	Observación
		Máximo	Mínimo		
Vm_L1	129,86	4,20%	0,49%	8%	Cumple
Vm_L2	129,34	3,62%	0,99%	8%	Cumple
Vm_L3	130,36	4,63%	0,01%	8%	Cumple

Los resultados del monitoreo revelan que los valores de voltaje medio se mantienen dentro de los límites establecidos por la normativa, sin superar el 8% de variación permitida. Esto indica que el sistema eléctrico del estadio Banco Guayaquil mantiene una estabilidad adecuada en términos de voltaje, cumpliendo con los estándares de calidad exigidos.

La Figura 5.1 proporciona una representación visual de las fluctuaciones de voltaje registradas durante el período de siete días. Estas variaciones se mantienen en niveles aceptables, lo que refleja la eficiencia del sistema de suministro eléctrico y su capacidad para mantener un voltaje constante y seguro para las operaciones en el estadio.

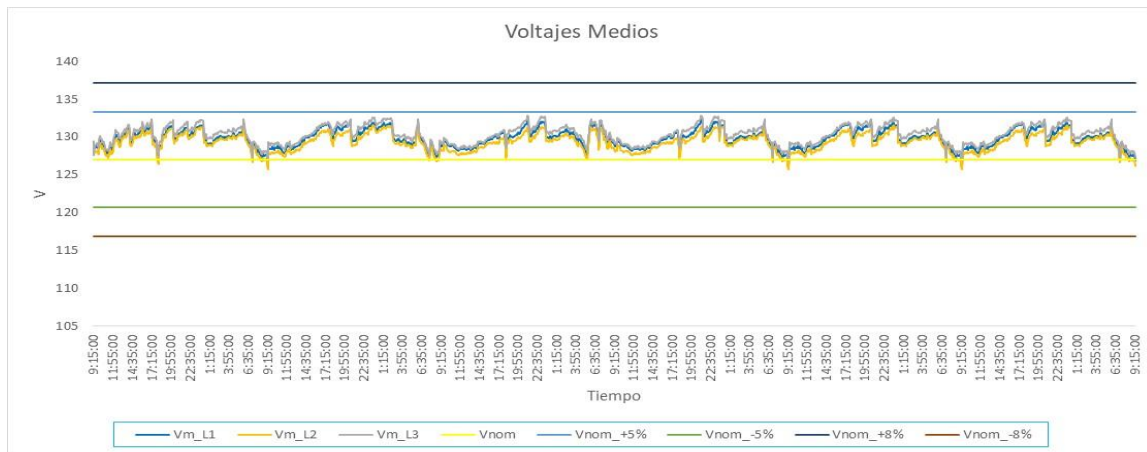


Figura 5. 1. Voltajes Medios para el transformador 1.

Este análisis detallado de las variaciones de voltaje es fundamental para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos eléctricos, así como para garantizar la seguridad de los usuarios y la integridad de las instalaciones. Los resultados obtenidos respaldan la calidad del suministro eléctrico en el estadio, proporcionando una base sólida para futuras evaluaciones y mejoras en el sistema eléctrico.

### 5.3.3. Análisis de Voltajes mínimos para el Transformador 1

Tomando como referencia las variaciones de voltaje establecidos en la Tabla 3.1. Se establecen los valores obtenidos por el analizador de red, lo que se refiere a la descripción de los voltajes mínimos obtenido por cada línea, se dispone un rango de variación de voltaje tomando valores máximos y mínimos registrados en los siete días, estos se encuentran registrados en la Tabla 5.3.

Obteniendo como resultado que **los valores de voltajes mínimos se encuentran dentro del límite establecido por la norma.**

Tabla 5. 3. Voltajes mínimos para el transformador 1.

V mínimos	V Mínimo Promedio	% de variación de voltaje		Límite ARCERNR 002/20	Observación
		Máximo	Mínimo		
Vm_L1	128,62	3,39%	0,39%	8%	Cumple
Vm_L2	128,23	3,06%	0,37%	8%	Cumple
Vm_L3	129,15	4,06%	0,48%	8%	Cumple

Los resultados del monitoreo revelan que los valores de voltaje mínimo se mantienen dentro de los límites establecidos por la normativa, sin superar el 8% de variación permitida. Esto indica que el sistema eléctrico del estadio Banco Guayaquil mantiene una estabilidad adecuada incluso en los momentos de menor voltaje, cumpliendo con los estándares de calidad exigidos.

La Figura 5.2 proporciona una representación visual de las fluctuaciones de voltaje mínimo registradas durante el período de siete días. Estas variaciones se mantienen en niveles aceptables, lo que refleja la eficiencia del sistema de suministro eléctrico y su capacidad para mantener un voltaje constante y seguro para las operaciones en el estadio, incluso en situaciones de menor demanda eléctrica.

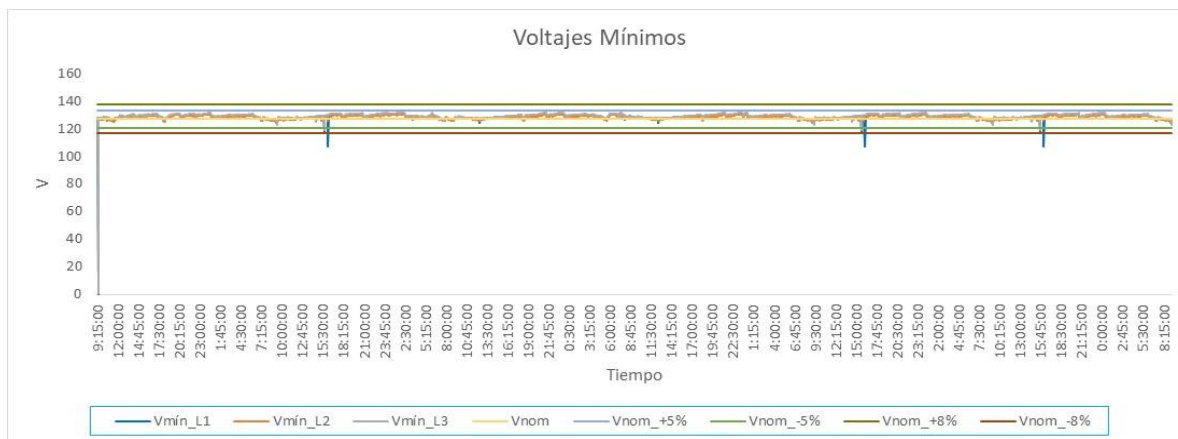


Figura 5. 2. Voltajes mínimos para el transformador 1.

Este análisis detallado de las variaciones de voltaje mínimo es crucial para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos eléctricos, así como para garantizar la seguridad de los usuarios y la integridad de las instalaciones. Los resultados obtenidos respaldan la calidad del suministro eléctrico en el estadio, proporcionando una base sólida para futuras evaluaciones y mejoras en el sistema eléctrico.

### 5.3.4. Perfil de Voltajes máximos para el Transformador 1

Tomando como referencia los límites del nivel de voltaje establecidos en la Tabla 3.1. Se establecen los valores obtenidos por el analizador de red, lo que se refiere a la descripción de los voltajes máximos obtenido por cada línea, se dispone un rango de variación de voltaje tomando valores máximos y mínimos registrados en los siete días, se encuentran registrados en la Tabla 5.4.

Obteniendo como resultado que **los valores de voltajes máximos se encuentran dentro del límite establecido por la norma.**

Tabla 5. 4. Voltajes máximos para el transformador 1.

V máximo	V máxima Promedio	% de variación de voltaje		Límite ARCERNR 002/20	Observación
		Máximo	Mínimo		
Vm_L1	130,80	4,87%	0,51%	8%	Cumple
Vm_L2	130,26	4,46%	0,26%	8%	Cumple
Vm_L3	131,29	5,28%	1,01%	8%	Cumple

Los resultados del monitoreo indican que los valores de voltaje máximo se mantienen dentro de los límites establecidos por la normativa, sin superar el 8% de variación permitida. Esto demuestra que el sistema eléctrico del estadio Banco Guayaquil mantiene

una estabilidad adecuada incluso en momentos de mayor demanda eléctrica, cumpliendo con los estándares de calidad establecidos.

En la Figura 5.3, se presenta una representación visual de las fluctuaciones de voltaje máximo registradas a lo largo de los siete días de monitoreo. Estas variaciones se mantienen en niveles aceptables, lo que refleja la eficiencia del sistema de suministro eléctrico y su capacidad para mantener un voltaje constante y seguro para las operaciones en el estadio, incluso en situaciones de alta demanda eléctrica.

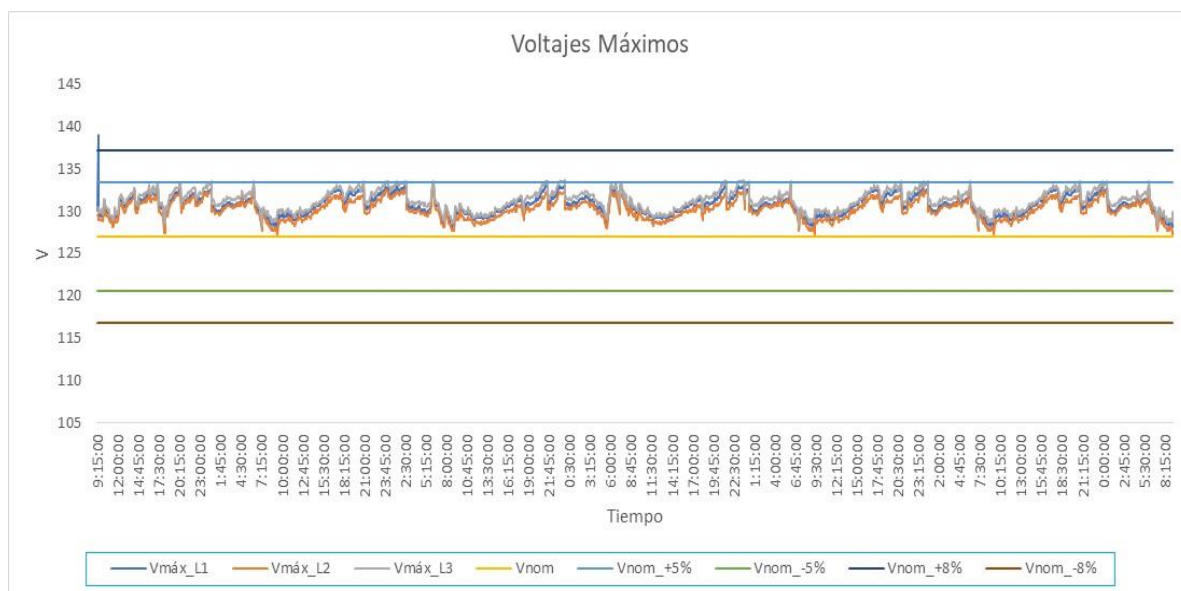


Figura 5. 3. Voltajes máximos para el transformador 1.

### 5.3.5. Distorsión armónica de voltaje

Se considerará la distorsión armónica de voltaje y la distorsión armónica total de voltaje, aplicando las ecuaciones 1 y 2.

Los límites máximos del factor de distorsión armónica individual de voltaje y del factor de distorsión armónica de voltaje presentados en la Tabla 3.2 previamente:

### 5.3.6. Análisis del Factor de Distorsión Armónica Individual de Voltaje (DV) para el Transformador 1

En la Tabla 5.5 se presenta de manera individual el factor de distorsión armónica de voltaje, comenzando desde el tercer armónico y abarcando lecturas de armónicos impares hasta el cuarenta y nueve. Cada línea detalla de forma minuciosa este factor de distorsión

armónica, y los resultados muestran que todos los valores se encuentran dentro del rango establecido por la normativa, cumpliendo así con los estándares de calidad exigidos.

Este análisis detallado del factor de distorsión armónica de voltaje es esencial para evaluar la calidad del suministro eléctrico en el estadio Banco Guayaquil. Al verificar que todos los valores se mantienen dentro de los límites establecidos, se asegura un funcionamiento adecuado de los equipos eléctricos y se garantiza la estabilidad del sistema eléctrico en general, obteniendo como resultado que **todos los valores cumplen y se encuentran dentro del rango establecida por la norma.**

Tabla 5. 5. Resultados de distorsión individual de voltaje para el transformador 1.

FACTOR DE DISTORSIÓN INDIVIDUAL ( $DV_{h,k}$ )						
Armónico	DV <sub>L1</sub>	DV <sub>L2</sub>	DV <sub>L3</sub>	DV_Prom	ARCERNR 002/20	Observación
h3	1,580	1,764	1,517	1,620	5,0	Cumple
h5	3,058	2,964	3,048	3,023	5,0	Cumple
h7	0,417	0,459	0,563	0,479	5,0	Cumple
h9	0,32	0,35	0,377	0,350	5,0	Cumple
h11	0,29	0,27	0,26	0,274	5,0	Cumple
h13	0,18	0,113	0,141	0,143	5,0	Cumple
h15	0,08	0,07	0,10	0,082	5,0	Cumple
h17	0,007	0,010	0,007	0,008	5,0	Cumple
h19	0,005	0,004	0,005	0,005	5,0	Cumple
h21	0,000	0,000	0,000	0,000	5,0	Cumple
h23	0,0014	0,003	0,0027	0,0023	5,0	Cumple
h25	0,0043	0,0004	0,0041	0,0029	5,0	Cumple
h27	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	5,0	Cumple
h29	0,0094	0,0005	0,0022	0,0040	5,0	Cumple
h31	0,0036	0,0029	0,0033	0,0033	5,0	Cumple
h33	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	5,0	Cumple
h35	0,0006	0,0009	0,0014	0,001	5,0	Cumple
h37	0,0003	0,0001	0,0002	0,0002	5,0	Cumple
h39	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	5,0	Cumple
h41	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	5,0	Cumple
h43	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	5,0	Cumple
h45	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	5,0	Cumple
h47	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	5,0	Cumple
h49	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	5,0	Cumple

La Figura 5.4 se presenta los armónicos individuales de voltaje, desde el armónico tres hasta el cuarenta y nueve, en una secuencia impar. Estos armónicos son componentes no deseados en la señal eléctrica y su análisis es fundamental para evaluar la calidad del suministro eléctrico.

Es importante destacar que los valores obtenidos en la Figura 5.4 se mantienen dentro de los límites establecidos por la normativa vigente. Este cumplimiento normativo es esencial para garantizar un suministro eléctrico confiable y seguro, ya que los armónicos pueden ocasionar problemas en el funcionamiento de equipos y sistemas sensibles.

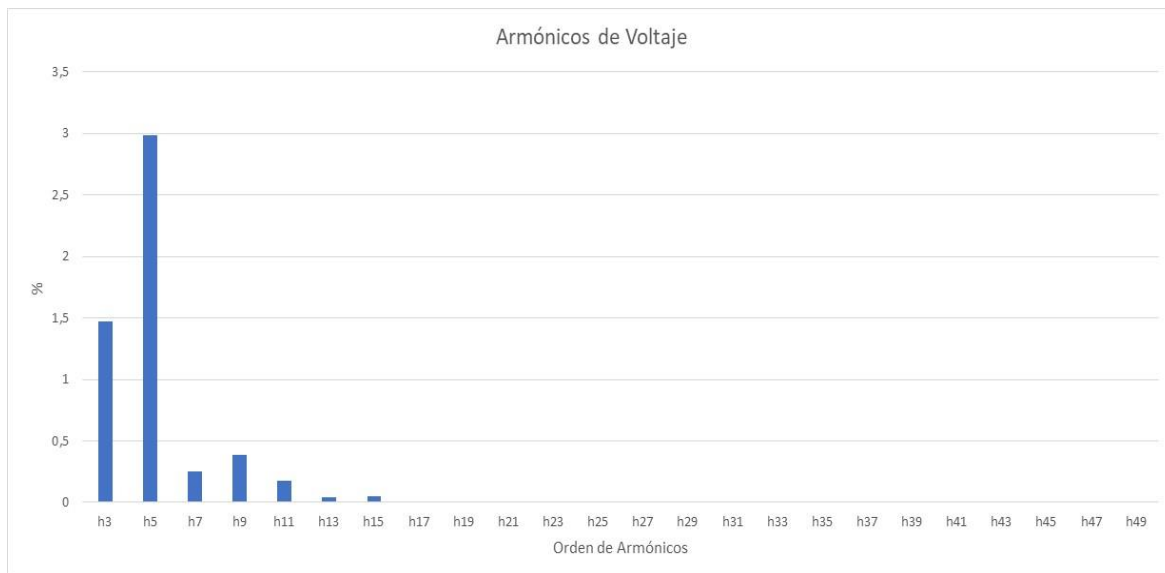


Figura 5. 4. Armónicos de voltaje para el transformador 1.

### 5.3.7. Análisis del Factor de Distorsión Armónica Total de Voltaje (THDV) para el Transformador 1

Con el cumplimiento de la normativa de regulación ARCERNNR 002/20 establecido en la Tabla 3.2. El factor de distorsión armónica total de voltaje en un punto de medición, cuando el 95% o más de los valores registrados, en todos y cada una de las fases, en el periodo de evaluación de al menos siete días continuos, son menores a los límites máximos establecidos [1].

Como se puede identificar en la Tabla 5.6, el sistema eléctrico presenta un THDV que no excede la norma establecida encontrándose debajo del 8%, se concluye entonces que **la Distorsión armónica total de Voltaje se encuentra dentro de los límites establecidas por la norma.**

Tabla 5. 6. Distorsión armónica total de voltaje para el transformador 1.

THDV_L1	THDV_L2	THDV_L3	LIMITE	ARCERNNR
3,594	3,615	3,571	8%	Cumple

Como se puede identificar en la Figura 5.5, el sistema eléctrico presenta un THDV que no excede la norma establecida encontrándose debajo del 8%, se concluye entonces que no existe armónicos individuales de voltaje.

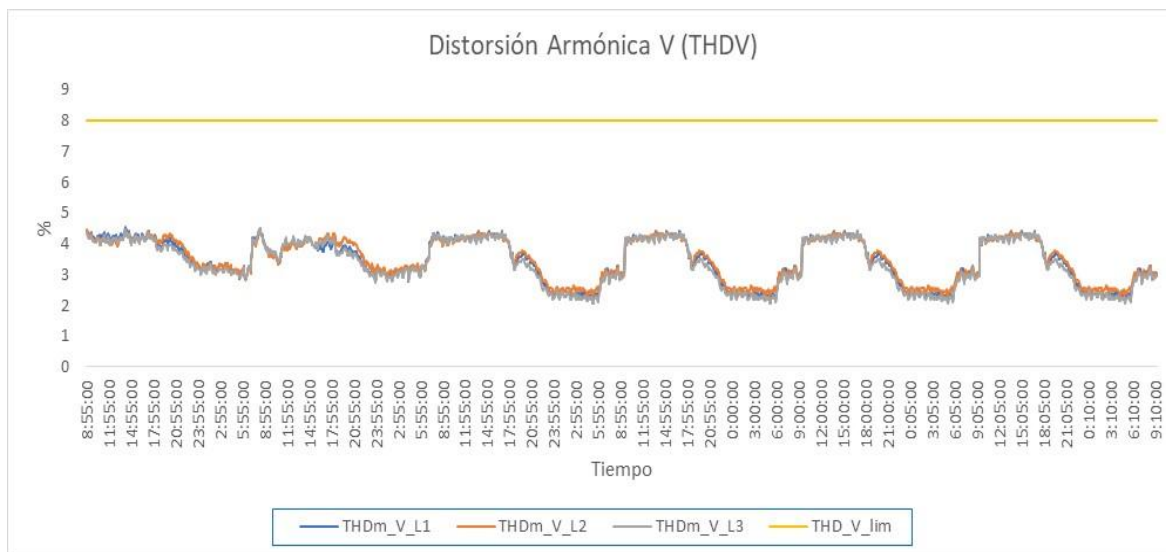


Figura 5. 5. Distorsión armónica total de voltaje para el Transformador 1.

### 5.3.8. Desequilibrio de Voltaje para el Transformador 1

Para calcular los valores de desequilibrio de voltaje se procede a obtener los valores de la componente de secuencia negativa de voltaje, determinado como el promedio de las medidas registradas, la componente de secuencia positiva de voltaje, determinado como el promedio de las medidas registradas. Aplicando la ecuación 4. Se obtiene los siguientes resultados en la Tabla 5.7 que se detallan a continuación:

Tabla 5. 7. Desequilibrio de voltaje para el transformador 1.

$V_{prom}^-$	$V_{prom}^+$	%D	Observaciones
43,287	43,287	100	Cumple

De acuerdo a la normativa ARCERNR 002/20 para el índice de desequilibrio de voltaje en un punto de medición será de 2% para todos los niveles de voltaje, en este caso se muestra que en un total de los valores registrados no debe ser menor al 98%, se muestra que el desequilibrio de voltaje marca un valor del 100% es decir **no existe desequilibrio entre niveles de tensión registrando valores idénticos entre líneas lo que no produce desequilibrio entre las mismas.**

### 5.3.9. Análisis de corrientes de línea para el Transformador 1

En la Tabla 5.8 se presentan detalladamente los valores de corriente de fase, media y máxima registrados en el transformador 1 durante un período de medición de 7 días. Estos datos nos ofrecen una visión completa de cómo varía la demanda eléctrica en diferentes momentos.

Tabla 5. 8. Corrientes de línea para el transformador 1.

Nivel de corriente	I_L1	I_L2	I_L3	I promedio	I_N
Media	104,85	140,49	103,17	116,17	38,39
Máximo	170,56	203,97	164,02	179,52	55,71

Notablemente, se observa un valor promedio de 116,17 amperios durante períodos de baja carga, como por ejemplo un día sin evento deportivo. Esto indica el nivel de corriente típico cuando el estadio no está en pleno funcionamiento. Sin embargo, es importante destacar que estos valores aumentan significativamente durante eventos deportivos, llegando a alcanzar un máximo de 203,97 amperios en la línea 2 cuando el estadio está en plena actividad.

### 5.3.10. Curva de Corrientes medias para el Transformador 1

La Figura 5.6 ilustra claramente el análisis de las corrientes medias, mostrando picos elevados durante el día de eventos deportivos. Estos picos nos permiten identificar los valores máximos de corriente, lo que a su vez nos lleva a evaluar si las protecciones están diseñadas adecuadamente para estos niveles de corriente. Es importante destacar que la norma ARCERNR 002/20 no establece límites específicos para las corrientes medias, centrándose más en los valores máximos y en la seguridad general del sistema eléctrico.

Al identificar estas elevaciones de corriente en días de eventos, podemos tomar medidas preventivas para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente del sistema eléctrico del estadio. Esto puede incluir ajustes en las protecciones, evaluaciones periódicas de la capacidad del sistema y el diseño de estrategias de gestión de carga durante los eventos para evitar sobrecargas y posibles problemas eléctricos.

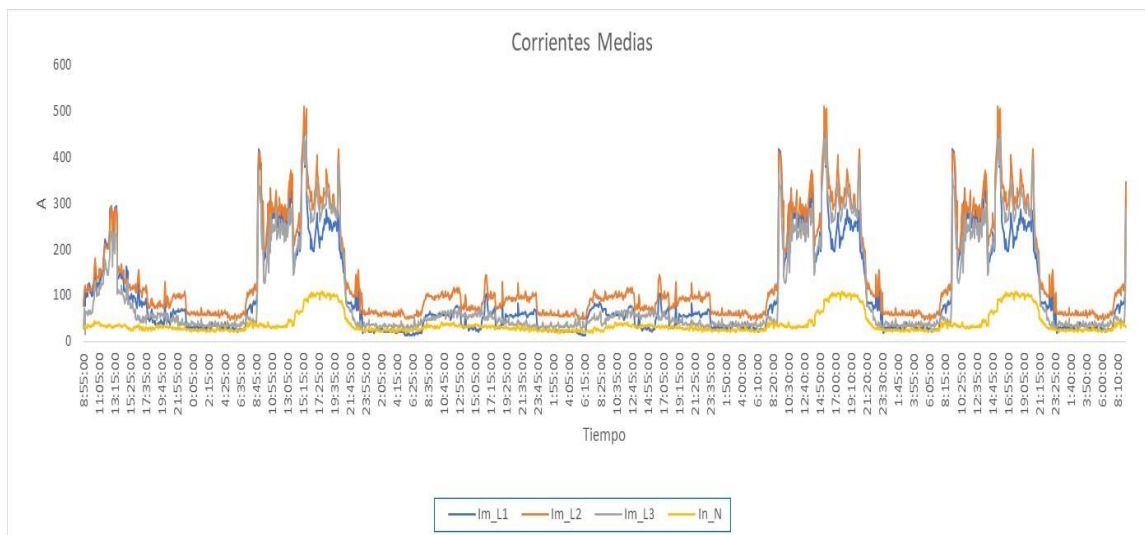


Figura 5. 6. Corrientes medias del transformador 1.

### 5.3.11. Curva de Corrientes máximas para el Transformador 1

En la Figura 5.7 se aprecian claramente las corrientes máximas en distintos momentos: antes, durante y después del partido. Es evidente que los picos más altos de corriente máxima ocurren durante el día del evento deportivo, dado que muchas cargas están en pleno funcionamiento en ese momento. Es importante destacar que, a pesar de estos picos, los valores de corriente máxima no exceden los límites establecidos por las protecciones del transformador 1.

Este análisis nos permite confirmar que las protecciones están correctamente dimensionadas para soportar los niveles de corriente máxima durante eventos deportivos. Además, proporciona información valiosa para la gestión eficiente de la carga eléctrica durante estos periodos de alta demanda, lo que contribuye a mantener la seguridad y estabilidad del sistema eléctrico del estadio.

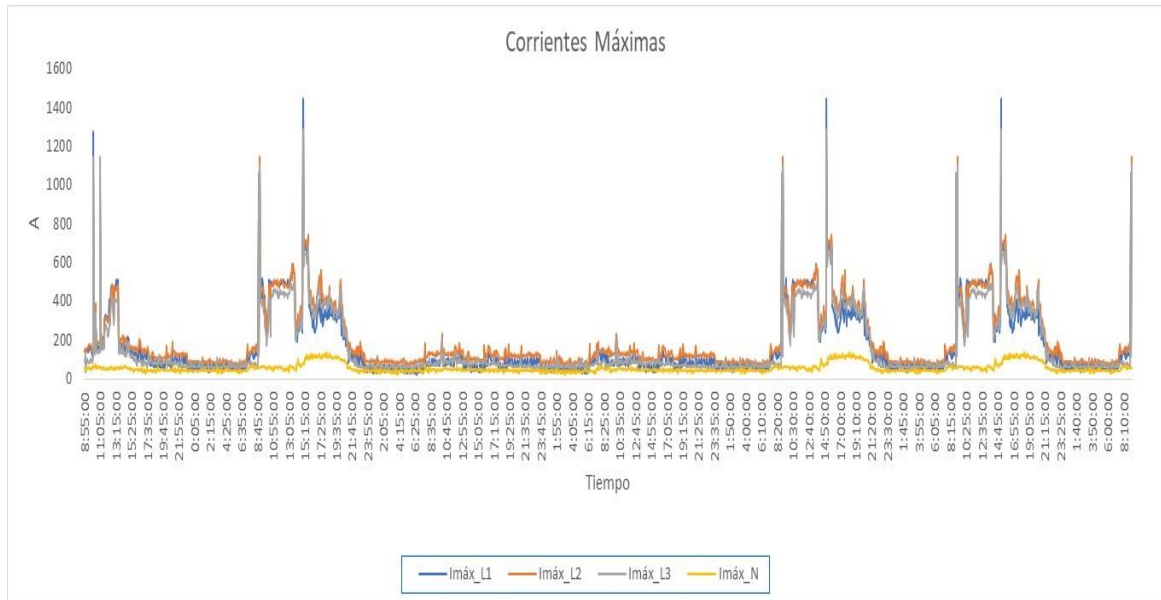


Figura 5. 7. Corrientes máximas para el transformador 1.

### 5.3.12. Distorsión Armónica de Corriente (TDD) para el Transformador 1

Según la norma ARCERNNR 002/20, los límites de distorsión armónica individual de corriente y distorsión de demanda total son los presentados en la Tabla 5.9:

Tabla 5. 9. Niveles máximos de armónicos impares para el Transformador 1.

Niveles máximos de armónicos impares (% de la corriente máxima de demanda)						
$\frac{I_{cc}}{I_L}$	$3 \leq h \leq 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
<20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20<50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50<100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100<1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
>1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

Para el cálculo de la corriente de cortocircuito se necesita saber el valor de la reactancia en por unidad, dato que viene dado en la placa de datos del transformador que es igual a  $X_{pu} = 3,6\%$ .

Se debe calcular la corriente de línea para esto utilizamos la siguiente ecuación:

$$I_L = \frac{S}{V_{F-F} \times \sqrt{3}} \quad (19)$$

$$I_L = \frac{400000 \text{ VA}}{220 \text{ V} \times \sqrt{3}}$$

$$I_L = 1049,73 \text{ A}$$

La corriente de cortocircuito viene dada por la siguiente ecuación.

$$I_{cc} = \frac{I_L}{x_{pu}} \quad (20)$$

$$I_{cc} = \frac{1049,73}{0,036}$$

$$I_{cc} = 29159,17 \text{ A}$$

Se debe calcular la corriente de línea por unidad para determinar la tasa de Distorsión de la demanda y los armónicos individuales de corriente.

$$\frac{I_{cc}}{I_L} \quad (21)$$

$$\frac{I_{cc}}{I_L} = \frac{29159,17 \text{ A}}{1049,73 \text{ A}}$$

$$\frac{I_{cc}}{I_L} = 27,78$$

### 5.3.13. Análisis del Factor de Distorsión Armónica Individual de Corriente (DI) para el Transformador 1

Basándonos en los parámetros establecidos en la Tabla 3.3, que especifica los límites aceptables para cada rango de armónicos, podemos observar los resultados detallados en la Tabla 5.10. En dicha tabla se evidencia que los **armónicos tres, cinco y siete no cumple con los límites establecidos por la norma**. Es considerable establecer que en el **transformador 1 se encuentra afectado por la presencia elevada de armónicos de corriente individual**.

Tabla 5. 10. Resultados del factor de distorsión individual de corriente del transformador 1.

<b>FACTOR DE DISTORSIÓN INDIVIDUAL (<math>DI_{h,k}</math>)</b>						
<b>Armónico</b>	<b><math>DI_{L1}</math></b>	<b><math>DI_{L2}</math></b>	<b><math>DI_{L3}</math></b>	<b><math>DI_{Prom}</math></b>	<b>ARCERNNR 002/20</b>	<b>Observación</b>
h3	9,36	12,04	13,46	11,62	7,0	No Cumple
h5	21,35	23,14	22,27	22,25	7,0	No Cumple
h7	14,06	13,28	15,11	14,15	7,0	No Cumple
h9	1,22	1,46	2,58	1,76	7,0	Cumple
h11	4,55	4,32	4,50	4,46	7,0	Cumple
h13	3,36	2,83	3,44	3,21	3,5	Cumple
h15	0,847	0,697	0,986	0,843	3,5	Cumple
h17	1,348	1,267	1,219	1,278	3,5	Cumple
h19	1,354	1,181	1,323	1,286	2,5	Cumple
h21	0,204	0,262	0,567	0,344	2,5	Cumple
h23	0,596	0,697	0,390	0,561	2,5	Cumple
h25	0,538	0,395	0,671	0,535	1,0	Cumple
h27	0,179	0,145	0,247	0,190	1,0	Cumple
h29	0,505	0,539	0,296	0,447	1,0	Cumple
h31	0,250	0,106	0,272	0,209	1,0	Cumple
h33	0,046	0,073	0,125	0,081	1,0	Cumple
h35	0,020	0,014	0,017	0,017	1,0	Cumple
h37	0,151	0,155	0,254	0,187	0,5	Cumple
h39	0,018	0,054	0,100	0,057	0,5	Cumple
h41	0,089	0,109	0,075	0,091	0,5	Cumple
h43	0,041	0,035	0,103	0,060	0,5	Cumple
h45	0,003	0,025	0,059	0,029	0,5	Cumple
h47	0,010	0,017	0,008	0,012	0,5	Cumple
h49	0,001	0,008	0,010	0,006	0,5	Cumple

Como se puede observar en la Figura 5.8, los armónicos individuales de corriente para el transformador 1 se encuentran elevados de manera que se identifica que los armónicos tres, cinco y siete sobrepasan los límites establecidos por la norma, es considerable decir que se graficó todos los valores de armónicos impares de corriente hasta el cuarenta y nueve sin sumir que sus valores son pequeños, pero existen de manera que se encuentran establecidos en la gráfica.

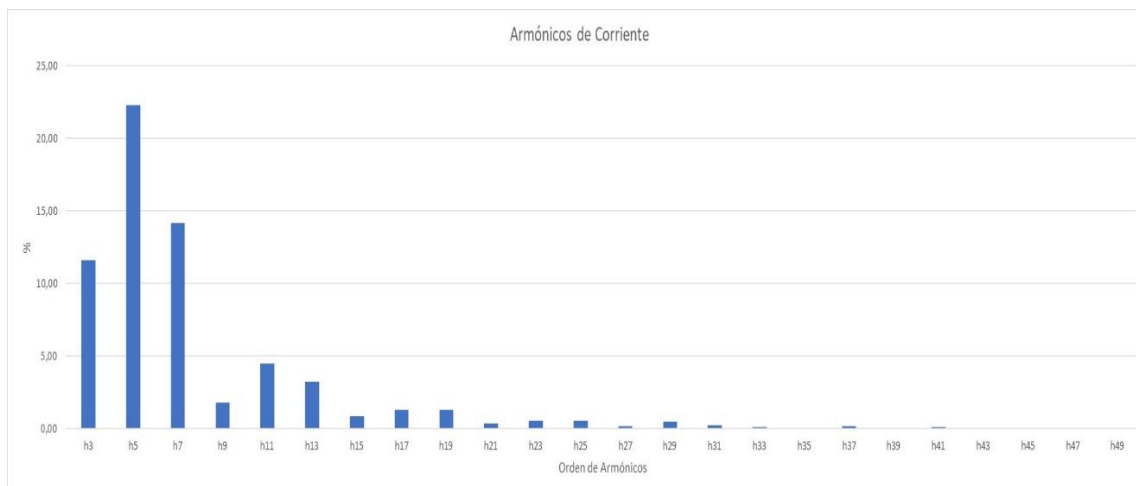


Figura 5. 8. Armónicos de corriente del transformador 1.

### 5.3.14. Análisis de la Distorsión Armónica Total I (TDD) para el Transformador 1

De acuerdo con la normativa ARCERNR 002/2020, se establece una relación entre la corriente de cortocircuito y la corriente de calculados, que deben estar en el rango de 20 a 50, lo que equivale a un valor de THD correspondiente al 8%. Sin embargo, al realizar los cálculos pertinentes, dentro de la Tabla 5.11 se observa que los valores de distorsión armónica total de corriente en cada línea no cumplen con los límites establecidos en la norma.

Tabla 5. 11. Distorsión armónica total de corriente del transformador 1.

Nivel de TDD	TDD_L1 (%)	TDD_L2 (%)	TDD_L3 (%)	TDD Promedio	ARCERNR 002/20
Media	30,312	22,700	37,015	30,018	No Cumple

Esta situación plantea una preocupación significativa en cuanto a la calidad de la energía suministrada y su impacto en el sistema eléctrico. La presencia de una distorsión armónica elevada puede provocar diversos problemas, como sobrecalentamiento en equipos, pérdida de eficiencia energética y posibles fallos en el funcionamiento de dispositivos sensibles.

En la Figura 5.9, se aprecian los valores de distorsión armónica total de corriente, evidenciando que algunos valores son significativamente altos y claramente superan los límites establecidos por la normativa. Es importante destacar que el valor máximo se registra el día del partido, coincidiendo con el funcionamiento completo de las luminarias LED.

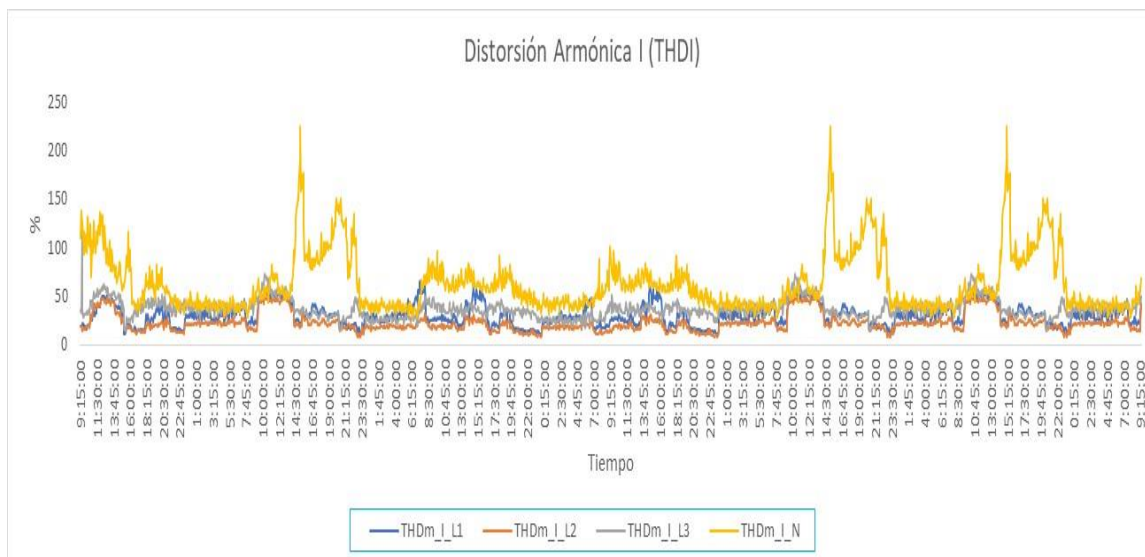


Figura 5. 9. Distorsión armónica total de corriente para el transformador 1.

Esta situación plantea una preocupación en cuanto a la calidad del suministro eléctrico durante eventos deportivos, ya que la presencia de una distorsión armónica tan elevada puede tener efectos negativos en el sistema eléctrico. Entre estos efectos se incluyen el sobrecalentamiento de equipos, pérdida de eficiencia energética y posibles fallas en dispositivos sensibles.

### 5.3.15. Análisis de la Potencia activa Transformador 1

A continuación, en la Tabla 5.12 se presentan detalladamente las potencias mínimas, medias y máximas registradas en cada una de las fases. Destaca el valor máximo de potencia activa en la línea 2, alcanzando los 62,90 kW, marcado en el registro del día 25/11/2023 a las 16:25. Por otro lado, se identifica un valor mínimo de potencia activa en la línea 3, con un registro de 0,27 kW a las 14:10. Es importante señalar que el día en que se registró el máximo valor de potencia activa coincide directamente con la fecha en que se celebró un evento deportivo en el estadio.

Tabla 5. 12. Potencia activa del transformador 1.

Potencia	Máximo	Promedio	Mínimo
kW <sub>L1</sub>	56,06	12,57	1,47
kW <sub>L2</sub>	62,90	16,93	3,53
kW <sub>L3</sub>	55,59	12,26	0,27
kW <sub>TOTAL</sub>	<b>271,64</b>	<b>41,76</b>	<b>10,96</b>
Fecha de registro	24/11/2023	-	25/11/2023
Hora de registro	16:25:00	-	14:10:00

Al observar la Figura 5.11 se puede identificar los picos de potencia activa existentes el día del partido cuando entran en funcionamiento gran parte de máquinas eléctricas como motores elevando así los valores de potencia activa para el transformador 1, es considerable que los días que no existen eventos deportivos la potencia activa disminuye totalmente ya que estas cargas no entran en funcionamiento en gran parte lo que reduce estos picos de potencia.

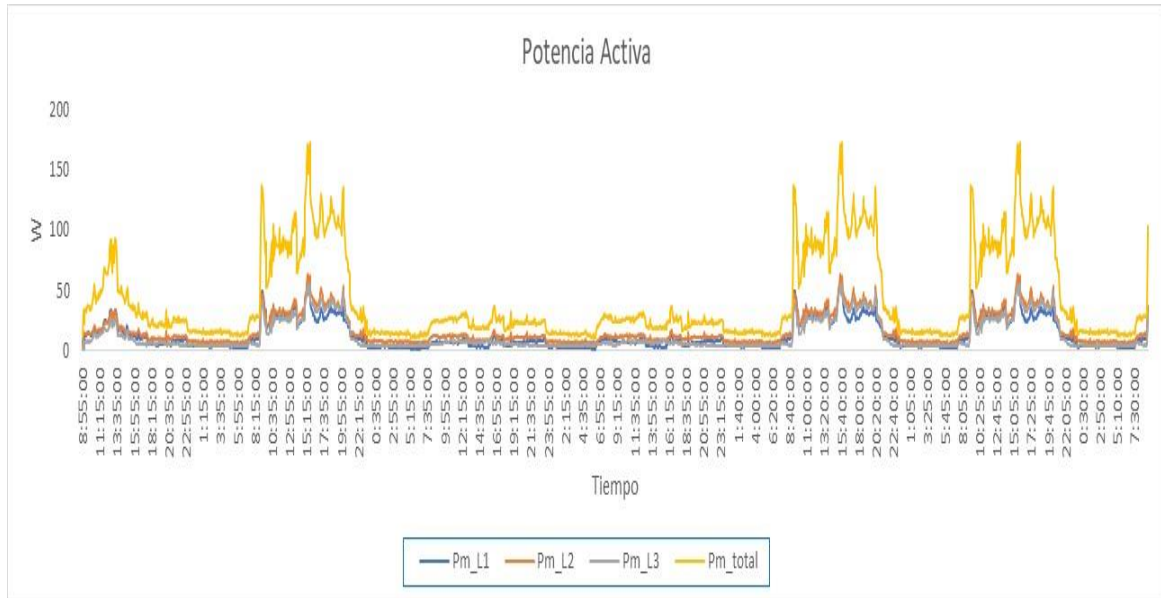


Figura 5. 10. Potencia activa del transformador 1.

### 5.3.16. Análisis de Potencia reactiva en Transformador 1.

A continuación, en la Tabla 5.13 se indican los valores de las potencias reactivas en cada una de las fases del transformador 1, consiguiendo datos de las potencias reactivas máximas, mínimas y los valores promedio, podemos identificar que el valor máximo registrado ocurre el 25 de noviembre del 2023 a las 16:25 con un valor de potencia reactiva de 12,02 kVAR en la segunda fase, por otro lado la potencia mínima se registra con un valor de -4,78 kVAR en la primera fase el mismo día a las 19:20, podemos darnos cuenta que existen valores negativos en el registro de reactivos en el transformador 1, lo que nos indica que dentro del funcionamiento del transformadores los reactivos son despreciables es decir toda la potencia está siendo transformada en trabajo con pocas pérdidas.

Tabla 5. 13. Potencia reactiva para el transformador 1.

Potencia	Máximo	Promedio	Mínimo
kVAr <sub>L1</sub>	5,76	-0,02	-4,78
kVAr <sub>L2</sub>	12,02	3,47	-2,80
kVAr <sub>L3</sub>	11,57	0,75	-4,12
<b>TOTAL</b>	<b>19,52</b>	<b>4,19</b>	<b>-3,06</b>
<b>Fecha de registro</b>	25/11/2023	-	25/11/2023
<b>Hora de registro</b>	16:25:00	-	19:20:00

Al observar la Figura 5.11, se presentan los valores de potencia reactiva en diferentes momentos: antes, durante y después del evento deportivo. Es notable observar los picos de potencia reactiva que se registran específicamente en el día del partido. Estos picos son indicativos de la activación de cargas que experimentan pérdidas eléctricas, o bien, de la subutilización de la potencia por parte de estas cargas. Estos fenómenos pueden deberse a diversos factores, como el arranque simultáneo de equipos de alto consumo o la presencia de elementos inductivos que generan reactividad en el sistema eléctrico.

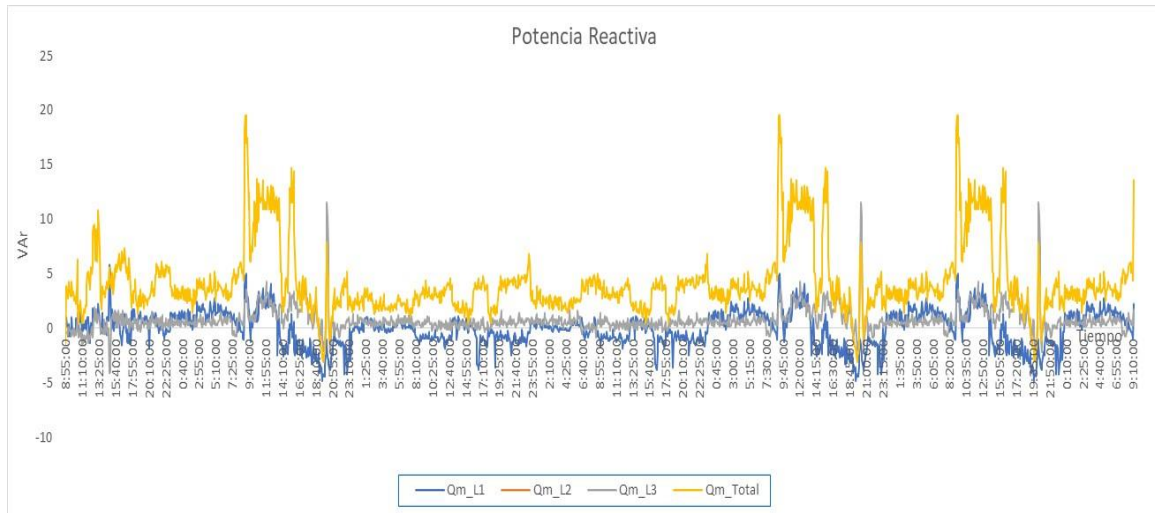


Figura 5. 11. Potencia reactiva para el transformador 1.

### 5.3.17. Análisis de la Potencia Aparente en el transformador 1

En la Tabla 5.14 se encuentran detallados los datos de potencia aparente del transformador 1, mostrando las potencias máximas, promedio y mínimas registradas. Destaca que la máxima potencia aparente se alcanzó en la segunda línea el 25 de noviembre de 2023 a las 16:25, llegando a 65.33 kVA, coincidiendo precisamente con el día del evento deportivo en el estadio. Por otro lado, se registró una potencia aparente

mínima de 1.23 kVA también en el mismo día a las 14:10. La potencia total máxima se sitúa en 180.63 kVA, dentro de la capacidad nominal del transformador que es de 400 kVA, lo que indica que no se está sobrecargando el transformador 1.

Tabla 5. 14. Potencia aparente para el transformador 1.

<b>Potencia</b>	<b>Máximo</b>	<b>Promedio</b>	<b>Mínimo</b>
<b>kVAL1</b>	58,10	13,37	1,63
<b>kVAL2</b>	65,33	17,96	6,04
<b>kVAL3</b>	57,98	13,18	1,23
<b>TOTAL</b>	<b>180,63</b>	<b>44,52</b>	<b>11,78</b>
<b>Fecha de registro</b>	25/11/2023	-	25/11/2023
<b>Hora de registro</b>	16:25:00	-	14:10:00

Al observar la Figura 5.12 se pueden identificar los valores de potencia aparente antes, durante y después del partido. Es notable que los valores de potencia aparente se elevan significativamente el día del evento deportivo, ya que todo el establecimiento se encuentra a plena carga. Sin embargo, es importante destacar que estas elevaciones de potencia no sobrepasan la capacidad del transformador 1, lo cual significa que no se produce ningún problema de sobrecarga. Este comportamiento es crucial para asegurar la estabilidad y eficiencia del suministro eléctrico durante eventos de alta demanda, evitando posibles fallas o interrupciones en el servicio. La capacidad del transformador 1, con un margen adecuado para manejar estos picos de demanda, demuestra una planificación efectiva y una robustez del sistema eléctrico del estadio.

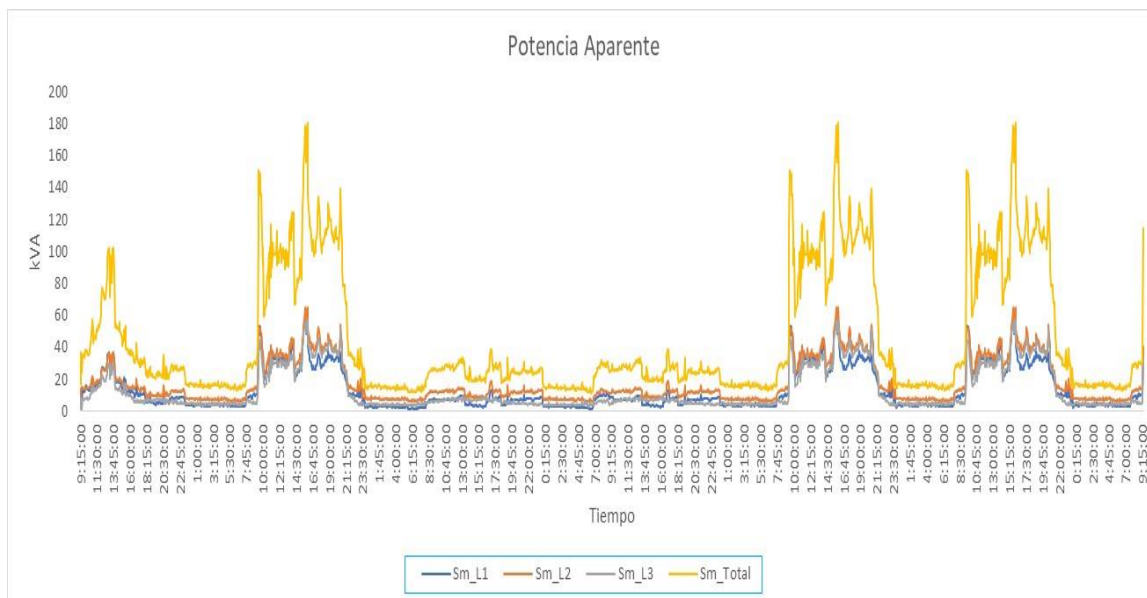


Figura 5. 12. Potencia aparente para el transformador 1.

### 5.3.18. Análisis del Factor de Potencia para el Transformador 1

De acuerdo con lo establecido en el pliego tarifario de cada empresa distribuidora, los clientes que registren un factor de potencia mensual inferior a 0.92 recibirán una sanción. En la Tabla 5.15 se presentan los valores registrados para cada línea del transformador 1. Se destacan algunas lecturas que no alcanzan los estándares establecidos, especialmente en la línea 3. El promedio general de estas lecturas es inferior a 0.92, lo que indica un bajo factor de potencia. Este valor, al estar por debajo del límite establecido por la empresa distribuidora, sugiere la necesidad de tomar medidas correctivas para mejorar la eficiencia energética y optimizar el rendimiento del transformador 1.

Un bajo factor de potencia no solo implica sanciones económicas, sino que también refleja una ineficiencia en el uso de la energía eléctrica. Esta ineficiencia puede causar un aumento en las pérdidas eléctricas y sobrecargar el sistema de distribución. Para mitigar estos efectos, es fundamental implementar estrategias como la instalación de bancos de condensadores para corregir el factor de potencia, el uso de dispositivos de compensación reactiva, o la optimización del uso de los equipos conectados al transformador.

Tabla 5. 15. Factor de potencia para el transformador 1

FACTOR DE POTENCIA	PF_L1	PF_L2	PF_L3	PF_TOTAL	Observaciones
Promedio	0,94	0,94	0,79	0,89	No cumple

Como se puede observar en la Figura 5.13, los valores registrados del factor de potencia en el transformador 1 se encuentran en un rango moderado cercano a la unidad. Sin embargo, se identifican valores notablemente bajos, especialmente en la línea 3. Estos valores bajos perjudican el factor de potencia general del transformador 1. Es importante destacar que un factor de potencia bajo puede resultar en penalizaciones económicas según las regulaciones tarifarias establecidas por la empresa distribuidora.

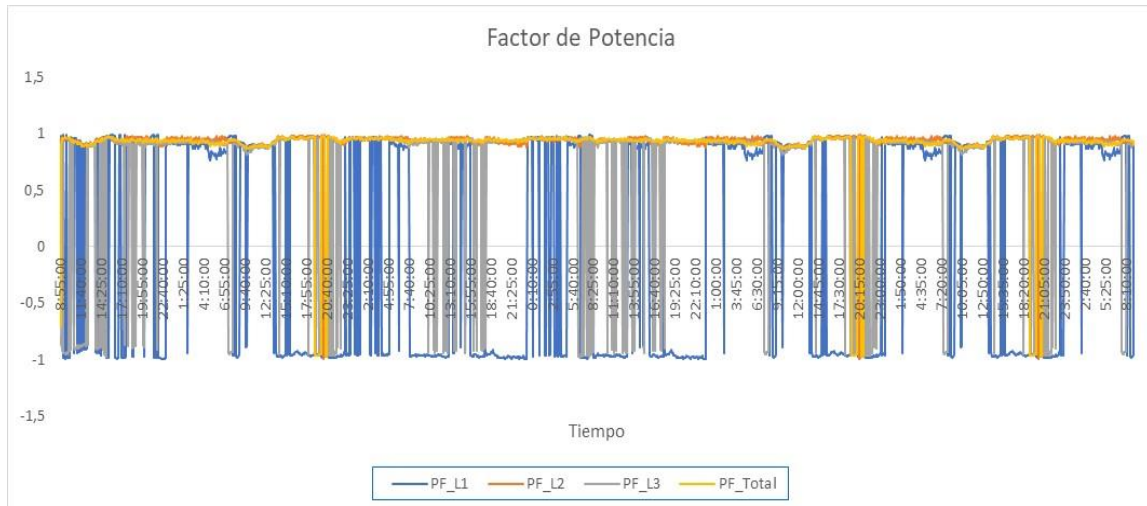


Figura 5. 13. Factor de potencia del transformador 1.

El análisis detallado de la Figura 22 revela que, aunque la mayoría de las mediciones están dentro de un rango aceptable, las fluctuaciones en la línea 3 son significativas y constantes. Este patrón sugiere la presencia de cargas que no están optimizadas para un rendimiento eficiente, lo que provoca una disminución en el factor de potencia. Las penalizaciones por bajo factor de potencia no solo impactan económicamente, sino que también indican una pérdida de eficiencia en el sistema de distribución eléctrica.

### 5.3.19. Análisis del Factor K para el transformador 1

Utilizando la ecuación 9 se calcula el valor del Factor K para el transformador 1, donde se puede interpretar que supera el calentamiento de armónico cuatro veces a lo normal, provocando daños externos en tal caso el calentamiento en conductores, todo esto detallado en la Tabla 5.16 que se presenta a continuación.

Tabla 5. 16. Factor K en el transformador 1.

No. De transformador	Factor K
Transformador 1	4.317

### 5.3.20. Análisis de Flicker PST (Flicker de corta duración) para el Transformador 1

De acuerdo con lo establecido por la norma de regulación ARCERNN 002/20, el valor límite de los flickers no debe ser superior a la unidad [1]. Se realizó un estudio detallado del segundo transformador de 400 kVA, obteniendo resultados que aseguran el cumplimiento de esta normativa.

En la Tabla 5.17, se puede identificar que el valor promedio de flicker registrado es de 0,13, lo cual se encuentra cómodamente dentro del rango permitido por la norma. Este resultado indica que el segundo transformador opera con una estabilidad adecuada en términos de flicker, minimizando las variaciones de tensión que podrían afectar el rendimiento de los equipos conectados.

Tabla 5. 17. Flicker PST para el transformador 1.

Flicker	Pst_L1	Pst_L2	Pst_L3	Pst_Promedio	ARCERNN 002/20
Promedio	0,132	0,131	0,125	0,13	Cumple
Mínimo	0,149	0,149	0,153	0,15	Cumple

En la Figura 5.14 se pueden identificar los valores de flickers registrados en el transformador 1. Estos valores promedio no superan la unidad y se encuentran dentro del rango establecido por la norma ARCERNNR 002/20, lo que indica un funcionamiento adecuado en términos de estabilidad de tensión. Sin embargo, es importante señalar que los valores pico de flickers se registraron el día del evento deportivo, lo que sugiere un aumento temporal en la variabilidad de la tensión debido a la carga adicional en ese momento.

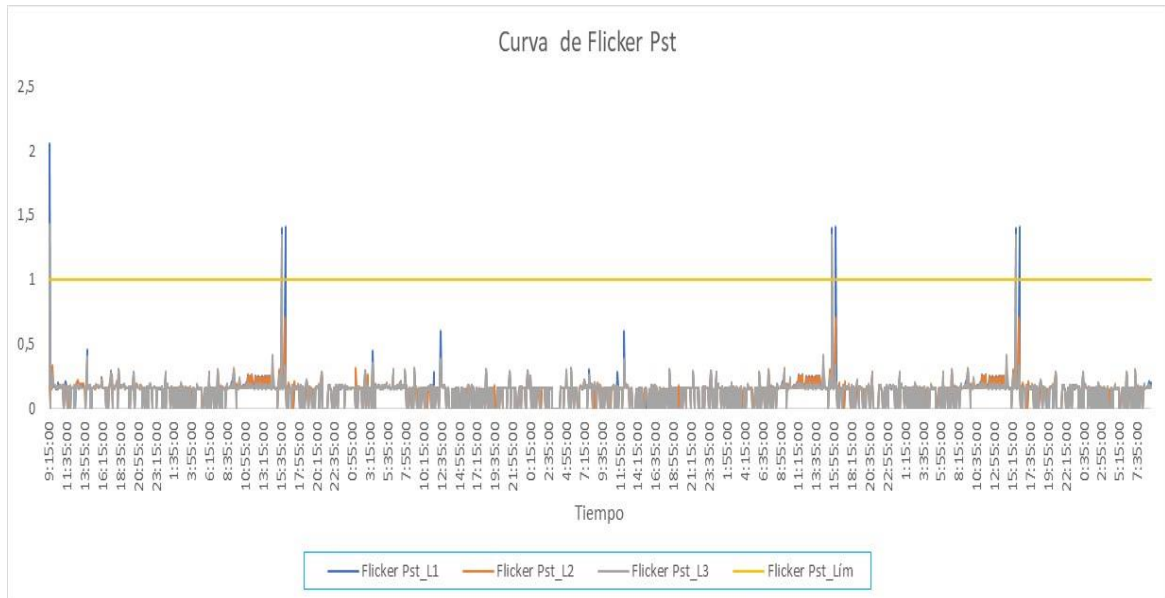


Figura 5. 14. Curva de Flicker PST para el transformador 1.

Este comportamiento es esperable, ya que, durante eventos deportivos, el estadio opera a plena capacidad, lo que incrementa significativamente la demanda de energía. Las fluctuaciones de tensión reflejadas en los picos de flickers están asociadas con el encendido masivo de luminarias y otros equipos eléctricos de alta potencia, que generan perturbaciones temporales en el suministro eléctrico.

#### 5.4. CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR 2 DE 400 KVA

En la Tabla 5.18 se presentan las principales características del Transformador 2. Es fundamental resaltar que la mayoría de estos datos se obtuvieron de las placas técnicas de cada transformador. Además de esta información, se proporciona una descripción concisa del analizador de red empleado para evaluar los resultados de calidad de energía, junto con las fechas de instalación y retiro del instrumento utilizado. Estos datos incluyen la capacidad nominal del transformador, la tensión primaria y secundaria, la corriente nominal, y otros parámetros críticos que describen su operación y rendimiento. La placa técnica del transformador es una fuente esencial de información técnica que garantiza la precisión de los valores utilizados en el análisis.

El analizador de red utilizado para esta evaluación es un dispositivo de alta precisión diseñado para medir y registrar múltiples parámetros eléctricos, como voltaje, corriente, potencia, armónicos, y flickers. Este equipo es crucial para obtener una visión detallada y precisa de la calidad de la energía suministrada y consumida por el transformador. Las

fechas de instalación y retiro del analizador de red también se incluyen en la tabla para proporcionar un contexto temporal claro sobre el período de medición. Esto asegura que los datos recogidos correspondan al período específico de análisis, permitiendo una evaluación precisa y contextualizada de la calidad de la energía durante ese tiempo.

Tabla 5. 18. Características del Transformador de Potencia 2.

CARACTERÍSTICAS	DATOS
No. De transformador	2
No.	022190752
Potencia [kVA]	400
No. De fases	3
Voltaje en media tensión [V]	22860 Y/13200
Voltaje en baja tensión [V]	220/127
Tipo de conexión	Yyn0
Equipo instalado	FLUKE 1744
Serie del equipo	21595CA/YD
Fecha de instalación	24/11/2023
Fecha de retiro	30/11/2023
Días de lectura	7
Intervalo de registros	0:05
Número de registros	1730
Sitio de la instalación	Bornes De Bajo Voltaje Del Transformador

#### 5.4.1. Análisis de Voltajes medios para el transformador 2

Tomando como referencia los límites del nivel de voltaje establecidos en la Tabla 3.1, se presentan a continuación los valores obtenidos para el voltaje medio en cada línea. En este análisis, se considera el rango de variación del voltaje, incluyendo los valores máximos y mínimos registrados durante un período de siete días.

La Tabla 5.19 proporciona una visión detallada de cómo varía el voltaje a lo largo del tiempo en cada línea del sistema. Estos datos permiten identificar patrones y posibles desviaciones que podrían afectar la estabilidad y eficiencia del suministro eléctrico. Obteniendo como resultado que **los valores de voltajes medios se encuentran dentro del límite establecido por la norma.**

Tabla 5. 19. Niveles de voltajes medios para el transformador 2.

V medio	V medio Promedio	% de variación de voltaje		Límite ARCERNNR 002/20	Observación
		Máximo	Mínimo		
Vm_L1	129,95	4,19%	0,13%	8%	Cumple
Vm_L2	129,48	3,69%	0,37%	8%	Cumple
Vm_L3	130,61	4,77%	0,48%	8%	Cumple

Al observar la Figura 5.15 se proporciona una representación visual clara de estas variaciones, permitiendo identificar cualquier patrón o tendencia que pueda surgir durante el período de monitoreo. El análisis de los voltajes medios es esencial para evaluar la estabilidad y calidad del suministro eléctrico. Durante el período de siete días de registro, los datos muestran que las variaciones de voltaje se mantienen dentro de los límites aceptables, lo que indica un sistema robusto y confiable. La ausencia de variaciones superiores al 8% conforme a la normativa vigente asegura que el sistema eléctrico está operando de manera eficiente y segura.

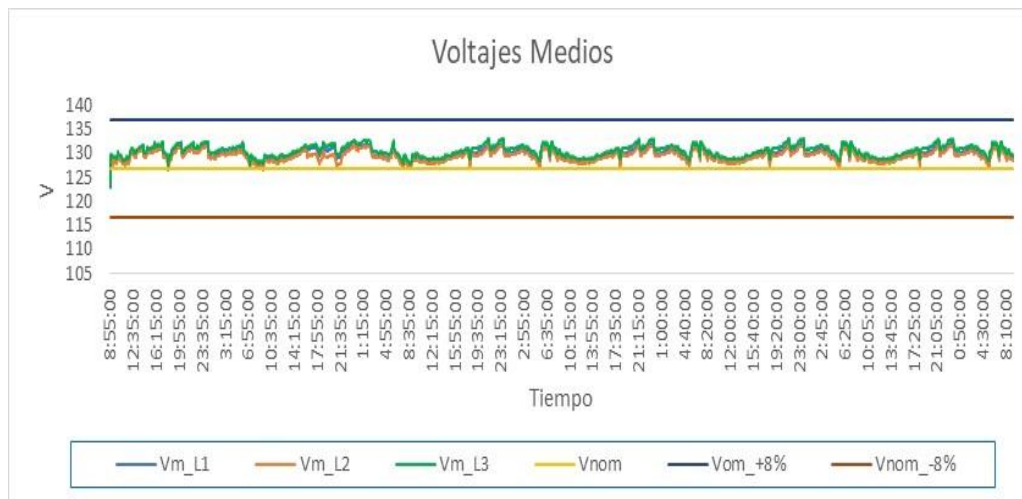


Figura 5. 15. Niveles de voltajes medios para el transformador 2.

#### 5.4.2. Análisis de Voltajes mínimos para el Transformador 2

Tomando como referencia los límites del nivel de voltaje establecidos en la Tabla 3.1, se presentan los valores obtenidos por el analizador de red. Estos valores se refieren a la descripción de los voltajes mínimos registrados en cada línea. Se dispone de un rango de variación de voltaje, considerando tanto los valores máximos como mínimos registrados durante el período de siete días, los cuales se encuentran detallados en la Tabla 5.20. Los datos obtenidos por el analizador de red ofrecen una visión precisa y detallada de cómo

fluctúan los voltajes a lo largo de la semana, permitiendo identificar cualquier posible problema de suministro.

En la Tabla 5.20 se pueden observar estos valores mínimos y su comparación con los límites establecidos en la Tabla 3.1. Esta comparación es esencial para evaluar la conformidad del sistema con las normas vigentes y para garantizar la calidad y estabilidad del suministro eléctrico. Mantener las variaciones de voltaje dentro de los límites aceptables no solo es un requisito normativo, sino también una necesidad operativa para asegurar la eficiencia y la durabilidad de los equipos eléctricos. Obteniendo como resultado que **los valores de voltajes mínimos se encuentran dentro del límite establecido por la norma.**

Tabla 5. 20. Niveles de voltajes mínimos para el transformador 2.

V mínimos	V mínimo Promedio	% de variación de voltaje		Límite ARCERNNR 002/20	Observación
		Máximo	Mínimo		
Vm_L1	128,74	3,39%	0,13%	8%	Cumple
Vm_L2	128,30	3,06%	0,37%	8%	Cumple
Vm_L3	129,38	3,97%	0,48%	8%	Cumple

La Figura 5.16 proporciona una representación visual de las variaciones de voltaje a lo largo de siete días de registro, lo cual permite observar con mayor detalle cómo fluctúa el voltaje durante ese período de tiempo. Es fundamental destacar que el cumplimiento de los estándares de variación de voltaje establecidos en la normativa es crucial para garantizar la estabilidad y confiabilidad de la red eléctrica. Las variaciones excesivas pueden afectar el funcionamiento de los equipos conectados, provocando desde un rendimiento deficiente hasta daños permanentes.

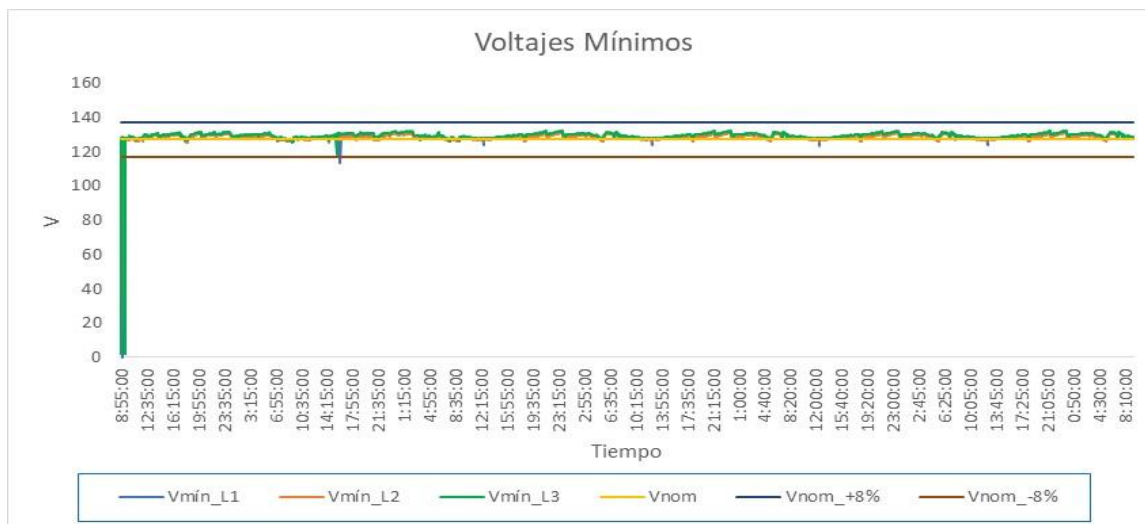


Figura 5. 16. Niveles de voltajes mínimos para el transformador 2.

### 5.4.3. Análisis de Voltajes máximos para el Transformador 2

Tomando como referencia los límites del nivel de voltaje establecidos en la Tabla 3.1. Se establecen los valores obtenidos por el analizador de red, lo que se refiere a la descripción de los voltajes máximos obtenido por cada línea, se dispone un rango de variación de voltaje tomando valores máximos y mínimos registrados en los siete días, se encuentran registrados en la Tabla 5.21.

Tabla 5. 21. Niveles de voltajes máximos para el transformador 2.

V máximos	V máx. Promedio	% de variación de voltaje		Límite ARCERNR 002/20	Observación
		Máximo	Mínimo		
Vm_L1	130,86	4,87%	0,59%	8%	Cumple
Vm_L2	130,39	4,63%	0,43%	8%	Cumple
Vm_L3	131,52	5,45%	1,09%	8%	Cumple

Durante el período de registro de los valores de voltajes máximos, se encontró que ninguno de ellos excedió el límite del 8% de variación especificado por la normativa. Esta observación refleja un cumplimiento adecuado de los estándares establecidos en cuanto a las variaciones máximas de voltaje. Es importante destacar que estos valores son indicativos de la estabilidad y consistencia del suministro eléctrico, aspectos cruciales para garantizar un funcionamiento óptimo de los equipos y sistemas conectados a la red.

La Figura 5.17 proporciona una representación gráfica detallada de estas variaciones a lo largo de siete días, lo que permite una visión más completa y detallada de cómo

fluctúan los voltajes en ese período. Este tipo de análisis es fundamental para evaluar la calidad y confiabilidad del suministro eléctrico, ya que cualquier desviación significativa de los estándares establecidos podría tener repercusiones negativas en el rendimiento de los equipos y la satisfacción de los usuarios.

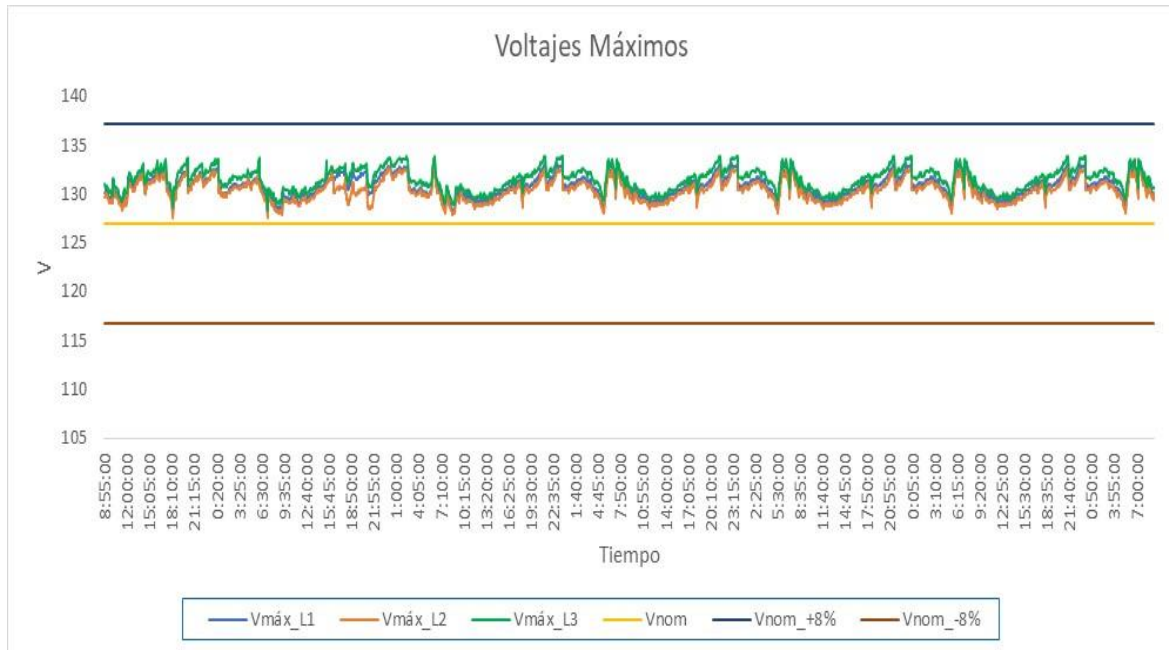


Figura 5. 17. Niveles de voltajes máximos para el transformador 2.

#### 5.4.4. Análisis del Factor de Distorsión Armónica Individual de Voltaje (DV) para el Transformador 2

A continuación, se detallan de manera individual los factores de distorsión armónica de voltaje, comenzando desde el tercer armónico y tomando lecturas de los armónicos impares hasta el cuarenta y nueve. Estos datos son esenciales para evaluar la calidad del suministro eléctrico y detectar posibles problemas de distorsión que puedan afectar el funcionamiento de los equipos conectados a la red.

Posteriormente, en la Tabla 5.22 se realiza una descripción minuciosa de estos factores de distorsión armónica para cada línea, lo que proporciona una visión detallada de cómo se distribuyen estas distorsiones en diferentes partes del sistema eléctrico. Es importante destacar que, según los resultados obtenidos, todos los valores cumplen con el rango establecido por la normativa, Obteniendo como resultado que **todos los valores cumplen y se encuentran dentro del rango establecida por la norma.**

Tabla 5. 22. Factor de Distorsión Armónica Individual de Voltaje (DV) para el transformador 2.

<b>FACTOR DE DISTORSIÓN INDIVIDUAL (<math>DV_{h,k}</math>)</b>						
<b>Armónico</b>	<b>DV_L1</b>	<b>DV_L2</b>	<b>DV_L3</b>	<b>DV_Prom</b>	<b>ARCERNR 002/20</b>	<b>Observación</b>
h3	1,43	1,64	1,33	1,470	5,0	Cumple
h5	3,02	2,96	3,01	2,990	5,0	Cumple
h7	0,20	0,26	0,31	0,250	5,0	Cumple
h9	0,36	0,38	0,42	0,387	5,0	Cumple
h11	0,19	0,17	0,16	0,174	5,0	Cumple
h13	0,07	0,022	0,027	0,039	5,0	Cumple
h15	0,05	0,05	0,06	0,053	5,0	Cumple
h17	0,007	0,010	0,007	0,008	5,0	Cumple
h19	0,00528	0,00350	0,00536	0,005	5,0	Cumple
h21	0,0000	0,0000	0,00000	0,000	5,0	Cumple
h23	0,0014	0,0027	0,0027	0,0023	5,0	Cumple
h25	0,0043	0,0004	0,0041	0,0029	5,0	Cumple
h27	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	5,0	Cumple
h29	0,0094	0,0005	0,0022	0,0040	5,0	Cumple
h31	0,0036	0,0029	0,0033	0,0033	5,0	Cumple
h33	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	5,0	Cumple
h35	0,0006	0,0009	0,0014	0,001	5,0	Cumple
h37	0,0003	0,0001	0,0002	0,0002	5,0	Cumple
h39	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	5,0	Cumple
h41	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	5,0	Cumple
h43	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	5,0	Cumple
h45	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	5,0	Cumple
h47	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	5,0	Cumple
h49	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	5,0	Cumple

Los valores mostrados en la Figura 5.18 se representan los armónicos individuales de voltaje en forma gráfica, desde el tercer armónico hasta el cuarenta y nueve, en una secuencia impar. Donde se encuentran dentro de los límites establecidos por la normativa vigente, lo que indica que no se supera el límite permitido. Este cumplimiento asegura que la distorsión armónica se mantiene dentro de un rango aceptable, minimizando los posibles efectos adversos en los equipos conectados a la red.

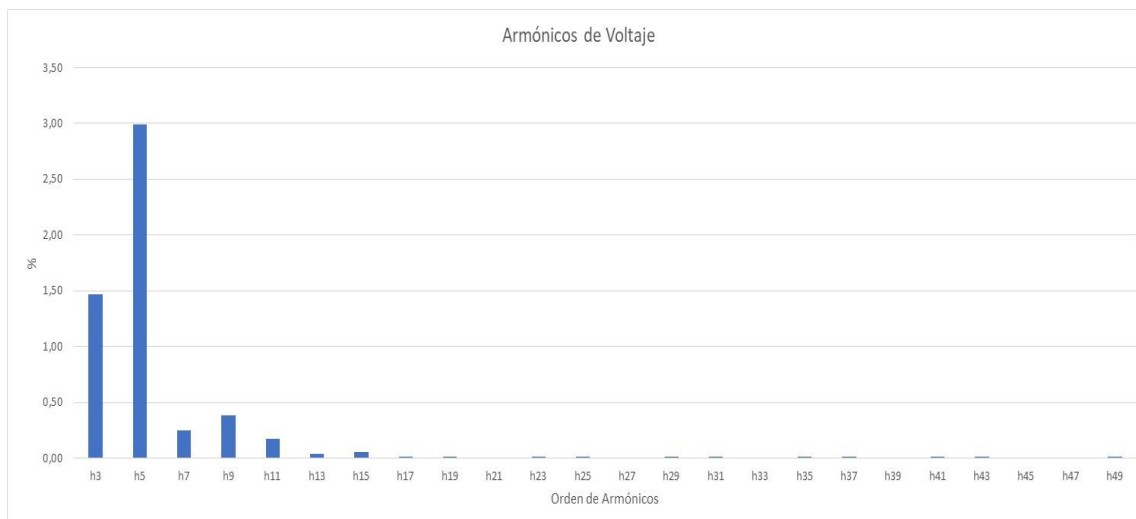


Figura 5. 18. Análisis del Factor de Distorsión Armónica Individual de Voltaje (DV) Transformador 2.

#### 5.4.5. Análisis del Factor de Distorsión Armónica Total de Voltaje (THDV) para el Transformador 2

Con el cumplimiento de la normativa de regulación ARCERNNR 002/20 establecida en la Tabla 3.2. El factor de distorsión armónica total de voltaje en un punto de medición, cuando el 95% o más de los valores registrados, en todos y cada una de las fases, en el periodo de evaluación de al menos siete días continuos, son menores a los límites máximos establecidos [1].

Como se puede identificar en la Tabla 5.23, el sistema eléctrico presenta un THDV que no excede la norma establecida, manteniéndose por debajo del 8%. Esto indica que el nivel de distorsión armónica total es aceptable y cumple con los estándares normativos.

Tabla 5. 23. Análisis del factor de distorsión armónica total de voltaje (THDV) para el transformador 2.

THDV_L1	THDV_L2	THDV_L3	LIMITE	ARCERNNR 002/2020
3,447	3,502	3,385	8%	Cumple

Dado que el THDV está dentro de los límites permitidos, se concluye que no hay armónicos individuales de voltaje que superen los valores establecidos por la normativa. Esta observación es crucial para asegurar que la calidad del suministro eléctrico es adecuada y que los equipos conectados a la red no se verán afectados negativamente por distorsiones armónicas excesivas, se concluye entonces que **la Distorsión armónica total de Voltaje se encuentra dentro de los límites establecidos por la norma.**



como el promedio de las medidas registradas [1]. Aplicando la ecuación 4, se obtienen los resultados que se detallan a continuación.

Estos cálculos son esenciales para evaluar el equilibrio del voltaje en el sistema eléctrico. La componente de secuencia negativa indica el nivel de desequilibrio, mientras que la componente de secuencia positiva representa el voltaje ideal sin desequilibrio. La Tabla 5.24 proporciona una visión detallada de estos valores, permitiendo identificar y cuantificar cualquier desequilibrio presente en el sistema.

Tabla 5. 24. Desequilibrio de voltaje para el transformador 2.

$V_{prom}^-$	$V_{prom}^+$	%D	Observaciones
0,332	0,332	100	Cumple

Según lo establecido en la normativa ARCERNR 002/20, el índice de desequilibrio de voltaje en un punto de medición debe ser del 2% para todos los niveles de voltaje. En este caso, se evidencia que la suma total de los valores registrados no debe ser inferior al 98%. Se observa que el desequilibrio de voltaje muestra un valor del 100%, lo que indica que **no hay desequilibrio entre los niveles de tensión**, ya que se registran valores idénticos entre las líneas.

#### 5.4.7. Análisis de corrientes de línea para el Transformador 2

En la Tabla 5.25 se presentan los valores de corriente de fase, tanto medios como máximos, del transformador 2, registrados a lo largo de un período de medición de 7 días. Estas corrientes eléctricas muestran un valor promedio de 27,71 amperios durante un día de baja carga, es decir, sin eventos deportivos. Además, se resaltan los valores máximos por cada línea, destacando un máximo de 35,36 amperios en la línea 1 durante eventos deportivos, cuando el estadio está en plena carga.

Estos datos son cruciales para comprender la carga eléctrica que soporta el transformador 2, especialmente durante eventos deportivos que generan una demanda significativamente mayor. El valor máximo de corriente en la línea 1 durante estos eventos destaca la importancia de tener una infraestructura eléctrica preparada para manejar picos de demanda sin comprometer la calidad del suministro eléctrico.

Tabla 5. 25. Análisis de corrientes de línea para el transformador 2.

Nivel de corriente	I_L1	I_L2	I_L3	I_promedio	I_N
Media	31,62	29,71	21,81	27,71	7,45
Máximo	35,36	32,74	24,62	30,91	11,64

#### 5.4.8. Curva de Corrientes medias para el Transformador 2

Como se observa en la Figura 5.20, el análisis de las corrientes medias corresponde a los picos elevados de corriente existentes en el día del evento deportivo, considerando estas elevaciones de corriente media se puede identificar los valores máximos de corriente y estableciendo que las protecciones están sobre el valor de estas corrientes, es considerable decir que la norma ARCERNR 002/20 no establece límites de corrientes medias, se quiere identificar las elevaciones de corriente en días eventuales.

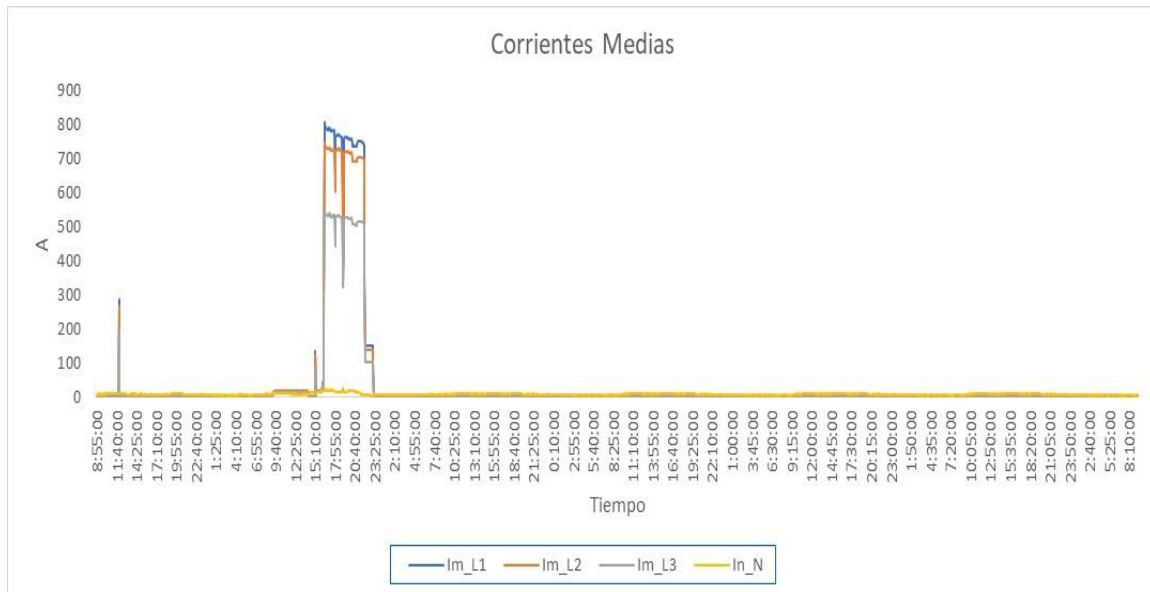


Figura 5. 20. Corrientes medias para el transformador 2.

#### 5.4.9. Curva de Corrientes máximas para el Transformador 2

Se puede identificar en la Figura 5.21 las corrientes máximas que se presentan antes, durante y después del partido, se puede identificar que los picos de corriente máxima se encuentran ubicados en el día del evento deportivo por motivo que gran parte de las cargas se encuentran en funcionamiento, es considerable que los valores de los picos de las corrientes máximas no superan el rango límite de las protecciones para el transformador 2.

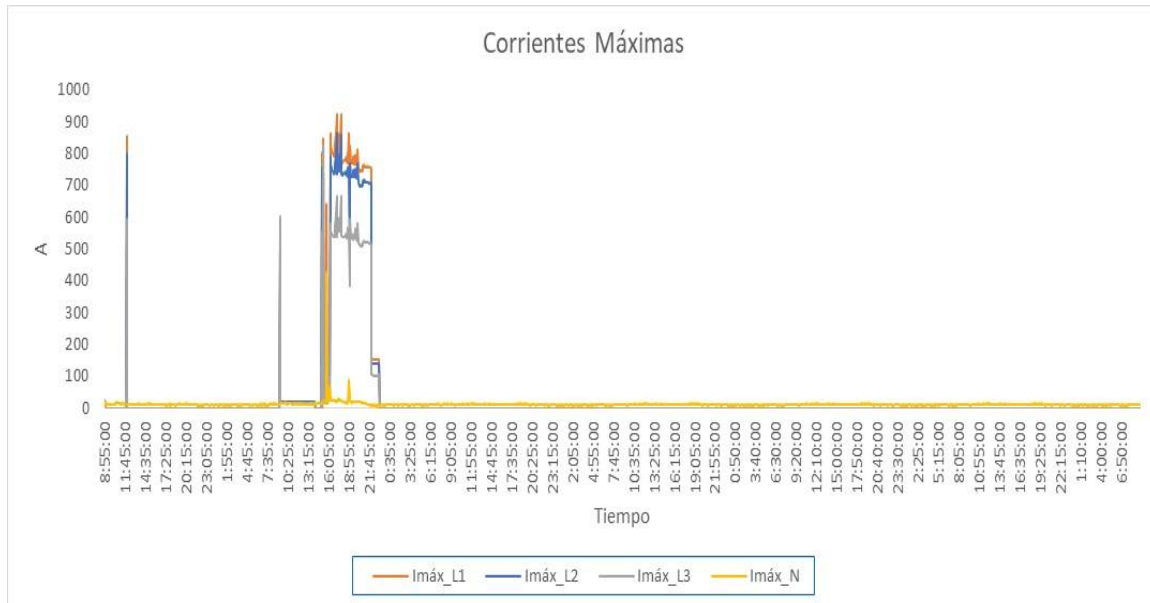


Figura 5. 21. Corrientes máximas para el transformador 2.

#### 5.4.10. Distorsión Armónica de Corriente (THDI) para el Transformador 2

Según la norma ARCERNR 002/20, los límites de distorsión armónica individual de corriente y distorsión de demanda total expresados en la Tabla 5.26, son los siguientes:

Tabla 5. 26. Distorsión Armónica de Corriente Individual para el transformador 2.

Niveles máximos de armónicos impares (% de la corriente máxima de demanda)						
$\frac{I_{cc}}{I_L}$	$3 \leq h \leq 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
<20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20<50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50<100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100<1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
>1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

Para el cálculo de la corriente de cortocircuito se necesita saber el valor de la reactancia en por unidad, dato que viene dado en la placa de datos del transformador que es igual a  $X_{pu} = 3,6\%$ .

Ayudándonos de la ecuación 19 se calcula la corriente de línea, obteniendo el siguiente valor:

$$I_L = \frac{400000 \text{ VA}}{220 \text{ V} \times \sqrt{3}}$$

$$I_L = 1049,73 \text{ A}$$

Utilizando la ecuación 20 obtenemos un valor de corriente de cortocircuito de:

$$I_{cc} = 29159,17 \text{ A}$$

Se debe calcular la corriente de línea por unidad para determinar la tasa de Distorsión de la demanda y los armónicos individuales de corriente, utilizando la ecuación 21 obtenemos:

$$I_L = 27,78 \text{ pu}$$

#### 5.4.11. Análisis del Factor de Distorsión Armónica Individual de Corriente (DI) para el Transformador 2

De acuerdo con lo indicado en la Tabla 3.3, que establece los límites para cada rango de armónicos, se presenta a continuación en la Tabla 5.27 que **los armónicos individuales de corriente cumplen con los límites establecidos por la norma.**

Tabla 5. 27. Análisis del Factor de distorsión armónica individual de corriente para el transformador 2.

FACTOR DE DISTORSIÓN INDIVIDUAL ( $DI_{h,k}$ )						
Armónico	$DI_{L1}$	$DI_{L2}$	$DI_{L3}$	$DI_{Prom}$	ARCERNNR 002/20	Observación
h3	0,96	0,93	0,43	0,77	7,0	Cumple
h5	5,43	5,36	4,34	5,04	7,0	Cumple
h7	2,83	2,83	2,60	2,75	7,0	Cumple
h9	0,05	0,08	0,05	0,06	7,0	Cumple
h11	1,65	1,68	1,42	1,58	7,0	Cumple
h13	1,10	0,92	1,02	1,02	3,5	Cumple
h15	0,015	0,024	0,012	0,017	3,5	Cumple
h17	0,403	0,463	0,412	0,426	3,5	Cumple
h19	0,285	0,260	0,288	0,278	2,5	Cumple
h21	0,005	0,012	0,002	0,006	2,5	Cumple
h23	0,127	0,107	0,105	0,113	2,5	Cumple
h25	0,102	0,102	0,143	0,115	1,0	Cumple
h27	0,001	0,008	0,001	0,003	1,0	Cumple
h29	0,103	0,088	0,094	0,095	1,0	Cumple
h31	0,085	0,093	0,085	0,088	1,0	Cumple

h33	0,000	0,000	0,000	0,000	1,0	Cumple
h35	0,064	0,045	0,053	0,054	1,0	Cumple
h37	0,044	0,042	0,050	0,045	0,5	Cumple
h39	0,000	0,000	0,000	0,000	0,5	Cumple
h41	0,046	0,023	0,038	0,036	0,5	Cumple
h43	0,038	0,038	0,038	0,038	0,5	Cumple
h45	0,000	0,000	0,000	0,000	0,5	Cumple
h47	0,037	0,024	0,028	0,030	0,5	Cumple
h49	0,028	0,027	0,031	0,029	0,5	Cumple

Al observar la Figura 5.22, se evidencia que los armónicos individuales de corriente del transformador 2 se mantienen dentro de los límites establecidos por la normativa. Aunque los valores de estos armónicos sean pequeños, se graficaron todos los armónicos impares hasta el cuadragésimo noveno para una visualización completa de su presencia.

Es esencial destacar que, a pesar de su magnitud reducida, la existencia de estos armónicos es significativa y debe monitorearse. Pueden impactar la calidad del suministro eléctrico y afectar el rendimiento de los equipos.

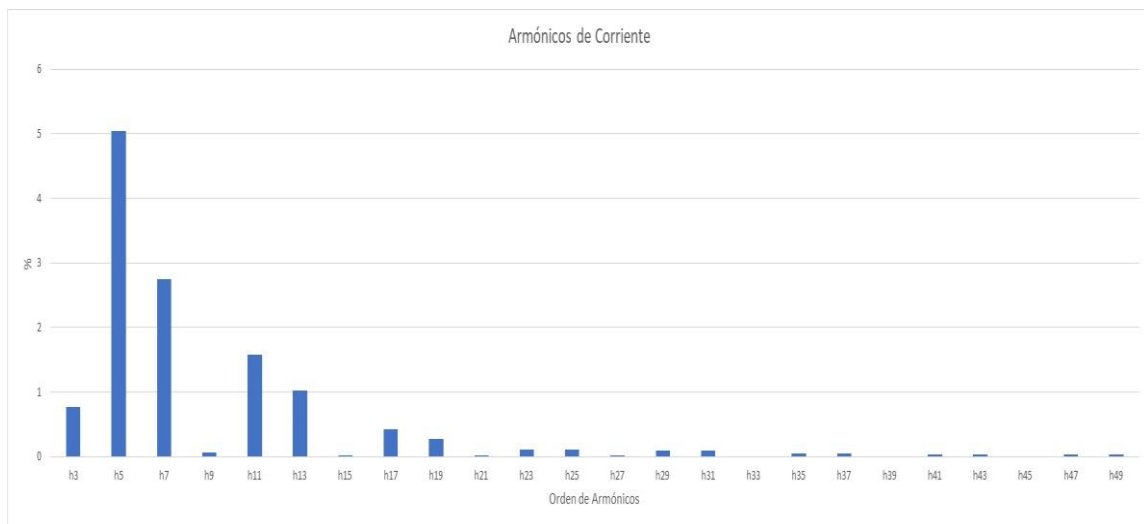


Figura 5. 22. Armónicos individuales de corriente para el transformador 2.

#### 5.4.12. Análisis de la Distorsión Armónica Total I (THDI) para el Transformador 2

Al realizar los cálculos, se observa la relación entre la corriente de cortocircuito y la corriente de línea ( $I_{cc}/I_L$ ), se observa que están dentro del rango  $20 < 50$ , lo que corresponde a un valor de THD del 8%. En la Tabla 5.28 se presentan los valores obtenidos por línea y un promedio. Sin embargo, se concluye que **los valores de**



de 0,67 kW a las 14:10. Es notable que el pico máximo de potencia activa coincidió con la fecha en que se llevó a cabo un evento deportivo en el estadio.

Este análisis detallado de las potencias activas proporciona una visión clara de la demanda eléctrica en diferentes momentos, resaltando cómo eventos como los encuentros deportivos impactan directamente en el consumo energético. Identificar estos picos de demanda es esencial para dimensionar adecuadamente la infraestructura eléctrica y garantizar un suministro estable y eficiente durante situaciones de alta demanda.

Tabla 5. 29. Potencia activa del transformador 2.

Potencia	Máximo	Promedio	Mínimo
<b>kW<sub>L1</sub></b>	104,75	7,96	0,76
<b>kW<sub>L2</sub></b>	95,15	7,34	1,02
<b>kW<sub>L3</sub></b>	71,74	5,56	0,67
<b>kW<sub>TOTAL</sub></b>	<b>271,64</b>	<b>20,86</b>	<b>2,51</b>
<b>Fecha de registro</b>	24/11/2023	-	25/11/2023
<b>Hora de registro</b>	16:25:00	-	14:10:00

Al observar la Figura 39, se pueden observar los picos de potencia activa que ocurren durante el día de un partido, cuando gran parte de las máquinas eléctricas, como los motores, entran en funcionamiento, lo que resulta en un aumento notable en los valores de potencia activa para el transformador 2. Es interesante notar que, en los días sin eventos deportivos, la potencia activa disminuye considerablemente, ya que muchas de estas cargas no están en funcionamiento, lo que reduce los picos de potencia.

Este análisis de los picos de potencia activa es esencial para comprender cómo varía la demanda eléctrica en relación con los eventos y actividades que tienen lugar en el entorno. La identificación de estos picos ayuda a determinar la capacidad necesaria de los transformadores y la infraestructura eléctrica para gestionar eficientemente la demanda, especialmente durante situaciones de alta carga como los eventos deportivos.

La Figura 5.24 ofrece una representación visual clara de estos picos de potencia activa, lo que facilita la evaluación de la demanda energética en distintos escenarios y la

implementación de estrategias para gestionar eficientemente la energía durante periodos de alta demanda.

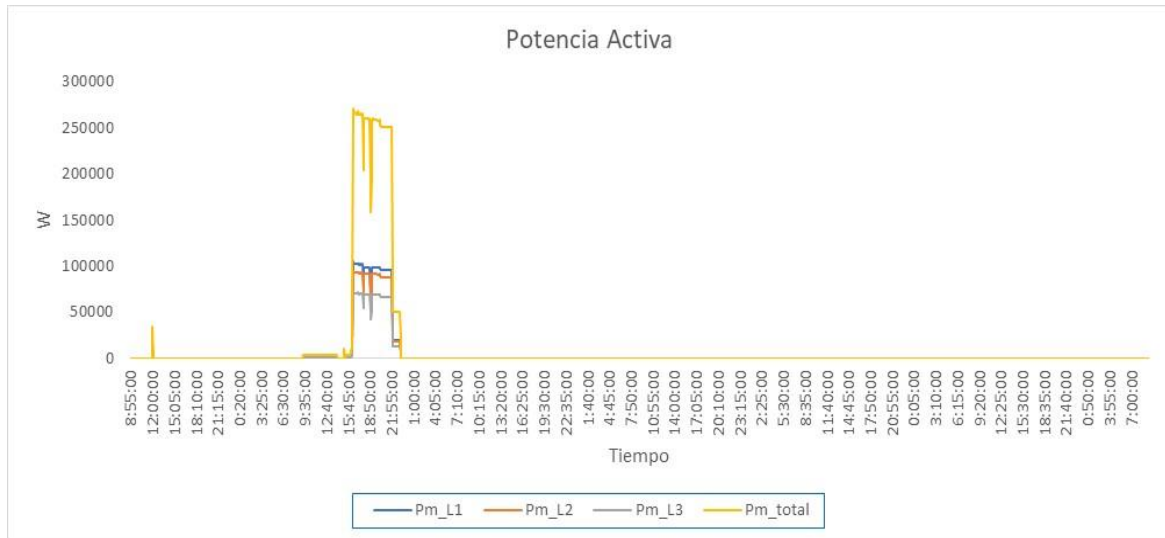


Figura 5. 24. Potencia activa del transformador 2.

#### 5.4.14. Análisis de la Potencia reactiva en el Transformador 2.

En la Tabla 5.30 se registran las potencias reactivas máximas, mínimas y los valores promedio, podemos identificar que el valor máximo registrado ocurre el 25 de noviembre del 2023 a las 16:25 con un valor de potencia reactiva de 18,21 kVAr en la segunda fase, por otro lado la potencia mínima se registra con un valor de -14,15 kVAr en la primera fase el mismo día a las 19:20, podemos darnos cuenta que existen valores negativos en el registro de reactivos en el transformador 2, lo que nos indica que dentro del funcionamiento del transformadores los reactivos son despreciables es decir toda la potencia está siendo transformada en trabajo con pocas pérdidas.

Tabla 5. 30. Potencia reactiva del transformador 2.

Potencia	Máximo	Promedio	Mínimo
kVAr <sub>L1</sub>	1,82	-1,11	-14,54
kVAr <sub>L2</sub>	18,21	1,37	-0,078
kVAr <sub>L3</sub>	0,14	-0,10	-2,80
kVAr <sub>TOTAL</sub>	<b>20,17</b>	<b>0,16</b>	<b>-17,418</b>
Fecha de registro	25/11/2023	-	25/11/2023
Hora de registro	16:25:00	-	19:20:00

Al observar la Figura 5.25 se pueden observar los valores de potencia reactiva antes, durante y después del evento deportivo. Se destacan los picos de potencia reactiva identificados durante el día del partido, los cuales indican la entrada en funcionamiento de cargas que experimentan pérdidas eléctricas o no aprovechan en su totalidad la potencia suministrada. Se proporciona una representación visual clara de estos picos de potencia reactiva, lo que permite identificar áreas de mejora en la gestión energética y tomar medidas para reducir las pérdidas y mejorar la eficiencia del sistema eléctrico.

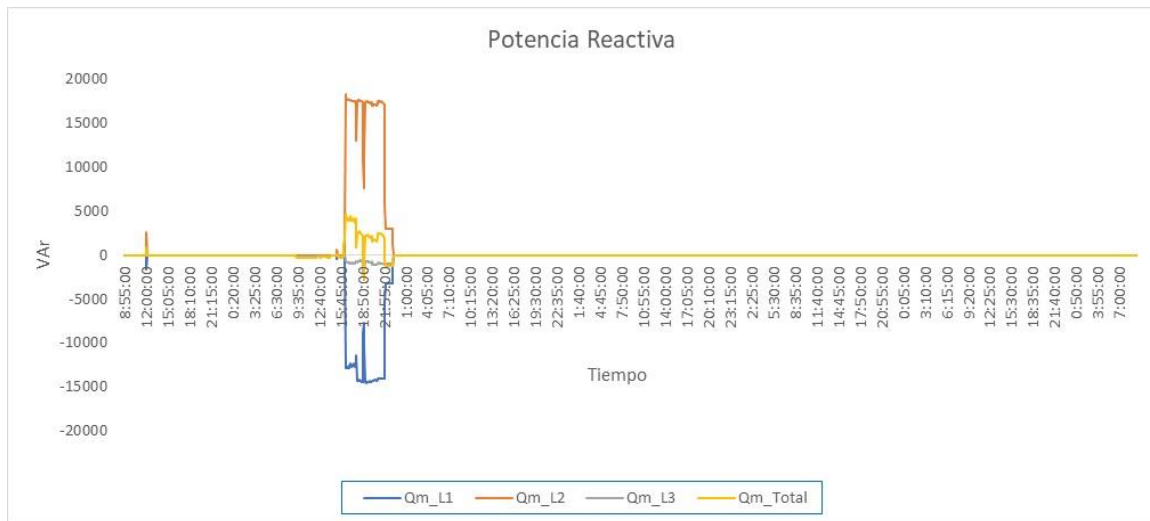


Figura 5. 25. Potencia reactiva para el transformador 2.

Este análisis de la potencia reactiva es crucial para entender cómo se comporta el sistema eléctrico frente a cargas inductivas o capacitivas, y cómo estas afectan la eficiencia energética y el rendimiento general del sistema. Es importante monitorear y gestionar adecuadamente la potencia reactiva para evitar penalidades en la facturación eléctrica y optimizar el uso de la energía eléctrica disponible.

#### 5.4.15. Análisis de la Potencia Aparente en el transformador 2

A continuación, en la Tabla 5.31 se identifican las potencias aparentes máximas, promedio y mínimas. Se establece que la potencia aparente máxima es registrada el 25 de noviembre del 2023 a las 16:25 con un valor de 105,56 kVA, exactamente el día del encuentro deportivo en el estadio, y el valor registrado de potencia aparente mínima registrada con un valor de 1,16 kVA, el mismo día a las 14:10, es claramente que la potencia total máxima tiene un valor de 274,18 kVA para el transformador donde tiene

una capacidad de 400 kVA, entonces se puede establecer que no existe sobrecarga en el transformador 2.

Tabla 5. 31. Potencia aparente en el transformador 2.

Potencia	Máximo	Promedio	Mínimo
$kVA_{L1}$	105,56	8,11	1,22
$kVA_{L2}$	96,89	7,54	1,37
$kVA_{L3}$	71,78	5,62	1,16
$kVA_{TOTAL}$	<b>273,46</b>	<b>21,27</b>	<b>3,75</b>
Fecha de registro	25/11/2023	-	25/11/2023
Hora de registro	16:25:00	-	14:10:00

En la Figura 5.26 se pueden observar los valores de potencia aparente antes, durante y después del evento deportivo. Se destaca que los valores son significativamente elevados durante el día del evento, ya que el establecimiento se encuentra a plena carga en ese momento. Es importante señalar que estas elevaciones de potencia no sobrepasan la capacidad del transformador 2, lo que evita cualquier problema de sobrecarga, se proporciona una representación visual clara de estos valores de potencia aparente, permitiendo una evaluación precisa de la carga eléctrica y asegurando una gestión eficiente de la demanda energética durante situaciones de alta demanda como los eventos deportivos.

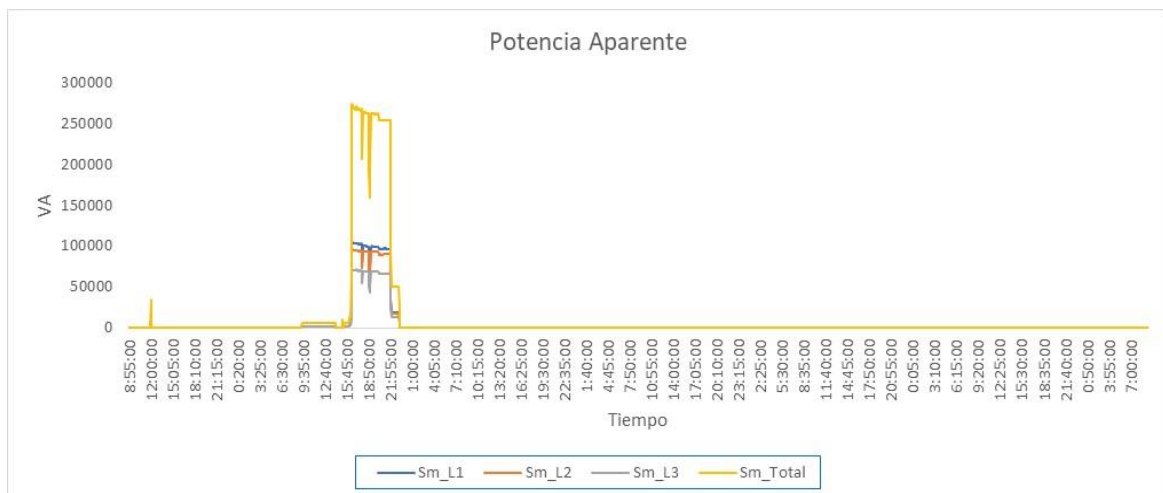


Figura 5. 26. Potencia aparente en el transformador 2.

Este análisis de la potencia aparente es fundamental para asegurar el correcto funcionamiento del sistema eléctrico durante eventos de alta demanda, como los deportivos. Al mantener la potencia dentro de los límites seguros del transformador, se garantiza la estabilidad y confiabilidad del suministro eléctrico, evitando interrupciones o daños en los equipos conectados.

#### **5.4.16. Análisis del Factor de Potencia para el Transformador 2**

De acuerdo con lo establecido en el pliego tarifario por cada empresa distribuidora, plantea que aquellos clientes que registren un factor de potencia mensual menor al 0,92, recibirán una sanción.

En la Tabla 5.32 se presentan los valores registrados para cada línea, indicando que **el factor de potencia del transformador 2 se encuentra dentro de los límites permitidos establecido por la empresa distribuidora.**

Tabla 5. 32. Factor de potencia para el transformador 2.

<b>Factor de Potencia</b>	<b>PF_L1</b>	<b>PF_L2</b>	<b>PF_L3</b>	<b>PF_TOTAL</b>	<b>Observaciones</b>
Promedio	0,94	0,93	0,89	0,92	Cumple

Como se puede observar en la Figura 5.27 los valores registrados del factor de potencia en el transformador 2 se encuentran en un rango moderado a la unidad, obteniendo un promedio general registrado durante los 7 días se obtiene un valor admisible para la empresa distribuidora.

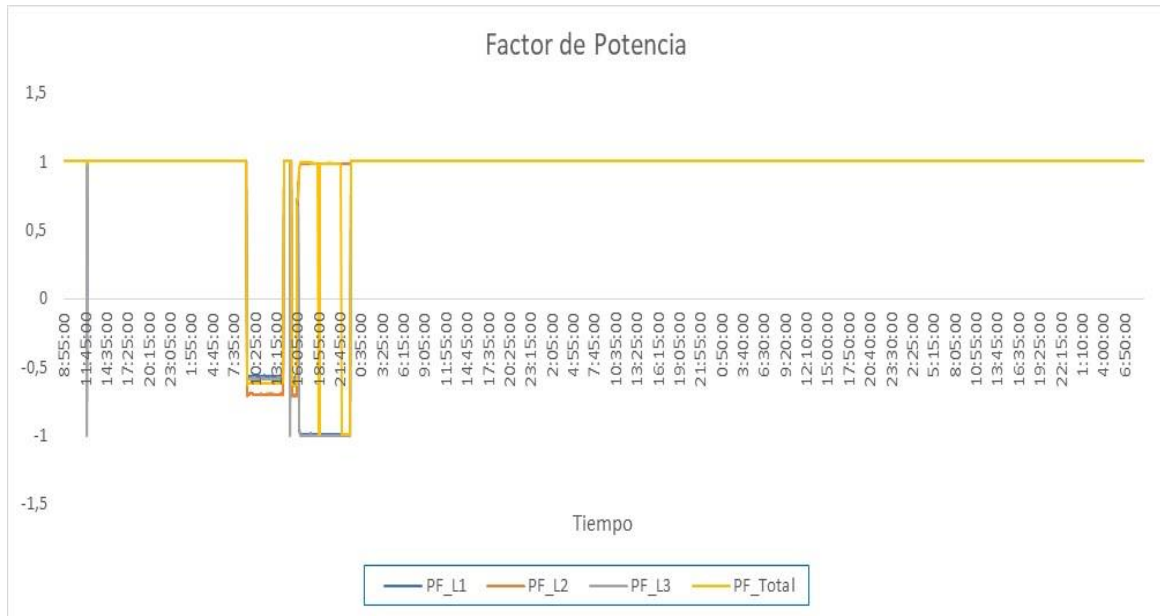


Figura 5. 27. Factor de potencia para el transformador 2.

#### 5.4.17. Análisis del Factor K para el transformador 2

En la Tabla 5.33 se indica el valor calculador del Factor K para el transformador 2, donde se puede interpretar que supera el calentamiento de armónico tres veces a lo normal, provocando daños externos en tal caso el calentamiento en conductores.

Tabla 5. 33. Factor K en el transformador 2.

No. de transformador	Factor K
Transformador 2	3,424

#### 5.4.18. Análisis de la curva de Flicker PST (Flicker de corta duración)

De acuerdo con lo establecido por la norma de regulación ARCERNN 002/20, indica que el valor límite de los flickers no debe ser superior a la unidad [1]. Se realiza el estudio del segundo transformador de 400 kVA, obteniendo los siguientes resultados. En la Tabla 5.34 se puede observar que se obtiene un valor promedio de 0.127, el cual se encuentra dentro del rango permitido.

Tabla 5. 34. Flicker PST para el transformador 2.

Flicker	Pst_L1	Pst_L2	Pst_L3	Pst_Promedio	ARCERNNR 002/20
Promedio	0,129	0,126	0,126	0,127	Cumple
Mínimo	0,149	0,149	0,153	0,15	Cumple

Como se puede observar en la Figura 5.28 se puede identificar los valores de Flickers registrados en el transformador 1 donde existen valores promedios que no superan la unidad y se encuentran dentro del rango establecido por la norma, es considerable que los valores picos presentados son registrados el día del evento deportivo.

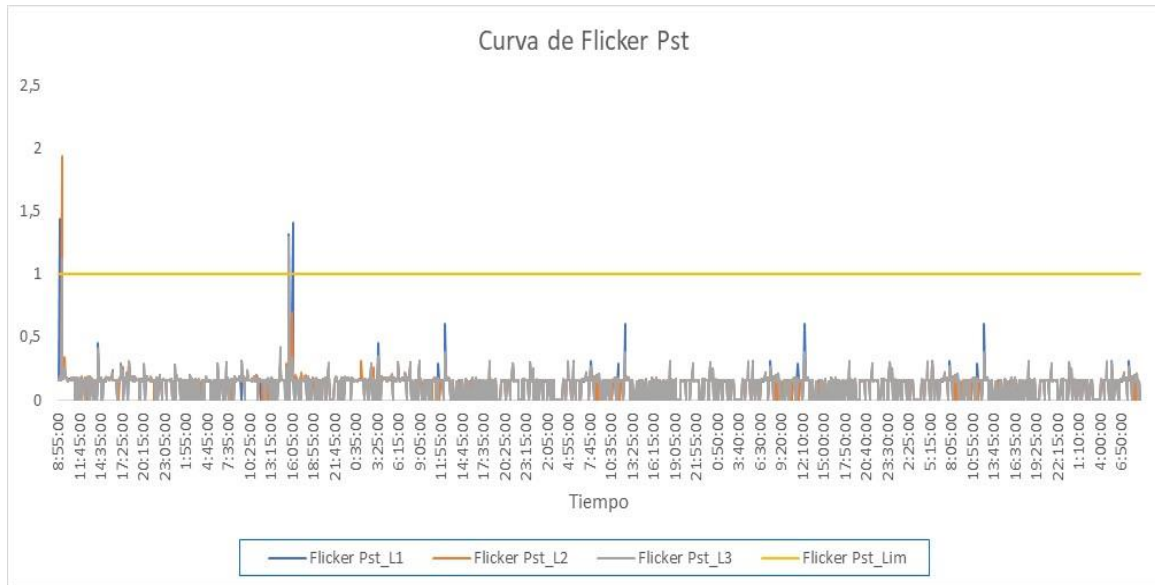


Figura 5. 28. Curva de Flicker PST para el transformador 2.

## 5.5. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES PARA LA MITIGACIÓN DE ARMÓNICOS DEL PRIMER TRANSFORMADOR

### 5.5.1. Mitigación de armónicos

Calculo y dimensionamiento de filtro para atenuación de armónicos en el Transformador 1. La potencia total máxima en el sistema es de 271,64 kW,  $V_{LL} = 220V$ . El factor de potencia del sistema obtenida con el analizador de redes es de 0,89 lo que representa un bajo factor de potencia que a su vez es penalizado por la empresa distribuidora. Se pretende elevar el factor de potencia a 0,96. Procedimiento del cálculo en el (Anexo K).

## **6. SIMULACIÓN EN SOFTWARE ESPECIALIZADO**

Para la respectiva simulación, se utilizará como software especializado ETAP 20.0.0 con licencia estudiantil, el mismo será utilizado para analizar el comportamiento del sistema antes de implementar soluciones que ayuden a la reducción de los armónicos presentados en la red.

### **6.2. Condiciones Iniciales**

Se realizó el respectivo levantamiento de cargas del Estadio Banco Guayaquil Perteneciente Al Equipo De Fútbol Independiente Del Valle.

Los parámetros a utilizar serán:

- Se requieren dos transformadores para el sistema eléctrico de la cancha, ambos con una capacidad de 22860 kV/220 kV y 400 kVA.
- El primero, designado como Transformador 1, está dedicado a la iluminación de la cancha, incluyendo reflectores, pantallas LED de publicidad, marcadores y otros dispositivos relacionados con la iluminación del campo.
- El segundo transformador, conocido como Transformador 2, tiene los mismos parámetros técnicos que el Transformador 1 y está asignado para los Servicios Generales. Este sistema alimenta cargas tales como la iluminación de suites, bares, ascensores y otros elementos esenciales para el funcionamiento general de la instalación
- Ambos transformadores desempeñan roles críticos en la distribución eléctrica de la cancha y los servicios generales, asegurando un suministro confiable y eficiente de energía para las distintas áreas y funciones del complejo deportivo.

Al modelar el sistema y configurar los parámetros obtenidos por medio del levantamiento de cargas, se procede a su simulación para observar la cantidad de armónicos obtenidos en la red.

### **6.3. Procedimiento para la simulación**

Primero, se realiza la ubicación gráfica de los elementos de la red tal y como se demuestra en la Figura 6.1. Luego, se considera un equivalente de red siguiendo las

especificaciones del manual de ETAP en caso de no contar con los parámetros de cortocircuito de la red. Posteriormente, se ingresan las barras correspondientes, utilizando los datos recolectados de los transformadores del sistema eléctrico, y se definen los voltajes de 22,9 kV y 0,22 kV.

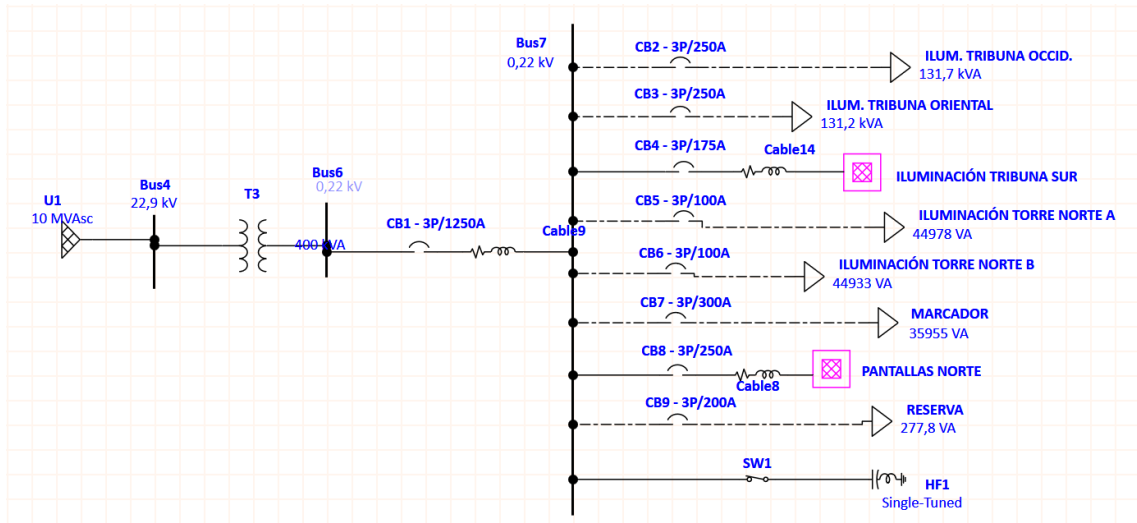


Figura 6. 1. Esquema unifilar correspondiente al Transformador 1.

#### 6.4. Transformador 1

Para el transformador 1 Se procedió a cargar por medio de las librerías pertenecientes a ETAP los datos obtenidos por medio del analizador de red con el objetivo de simular datos precisos, los datos obtenidos para armónicos de corriente se presentan en la Tabla 6.1 que a continuación se detalla:

Tabla 6. 1. Armónicos de corriente para el transformador 1.

Armónicos de Corriente Obtenidos e introducidos en ETAP			
h3	11,62	h27	0,190
h5	22,25	h29	0,447
h7	14,15	h31	0,209
h9	1,76	h33	0,081
h11	4,46	h35	0,017
h13	3,21	h37	0,187
h15	0,843	h39	0,057
h17	1,278	h41	0,091
h19	1,286	h43	0,060
h21	0,344	h45	0,029

h23	0,561	h47	0,012
h25	0,535	h49	0,006

En esta etapa, se utilizó los datos pertenecientes a la Tabla 6.1 para la implementación de los mismos en la biblioteca de armónicos del software especializado. El propósito principal de esta acción fue integrar estos datos en la simulación inicial del sistema eléctrico del estadio. Cabe destacar que los valores presentes en la tabla fueron adquiridos minuciosamente a través de un analizador de redes conectado de manera individual a cada uno de los transformadores mencionados.

El análisis de estos datos permitió obtener y configurar de manera precisa los armónicos que caracterizan el sistema eléctrico del estadio tal y como se muestra en la Figura 6.2.

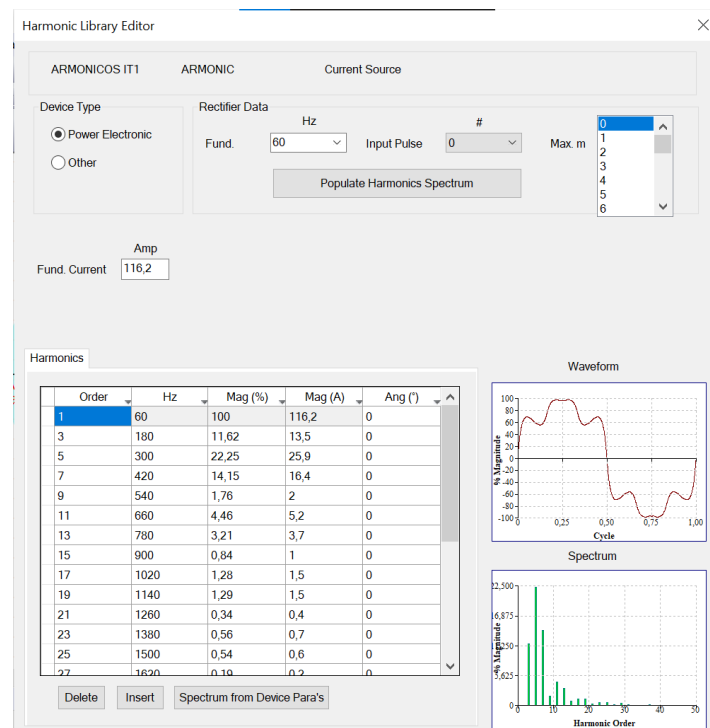


Figura 6. 2. Desarrollo de datos en ETAP para el Transformador 1.

Después de completar la configuración del sistema eléctrico del estadio utilizando los datos recopilados tanto del levantamiento de cargas como del analizador de redes, procedimos a ejecutar el flujo de potencia, obteniendo los resultados pertenecientes a la Figura 6.3.

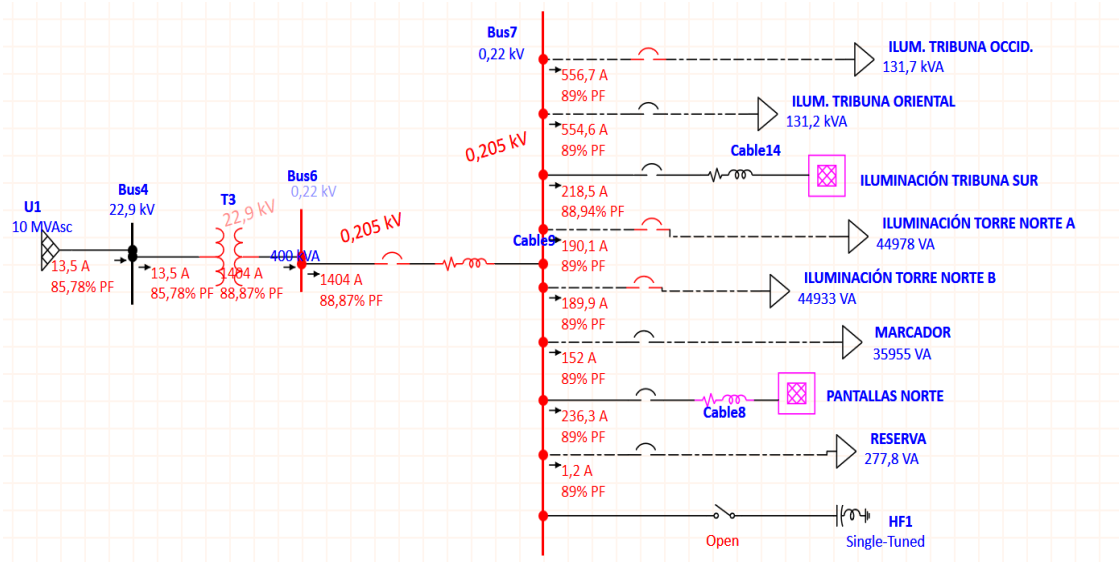


Figura 6. 3. Flujo de Potencia del Transformador 1.

Al observar la barra 7, se puede evidenciar un factor de potencia del 88,87% con un voltaje de 220V, lo que permite evidenciar las nulas caídas de tensión desde el alimentador proveniente del transformador hasta el centro de cargas principal.

### 6.5. Aplicación de Filtro Pasivo en ETAP

La configuración a realizar para el filtro se detalla en la Figura 6.4.

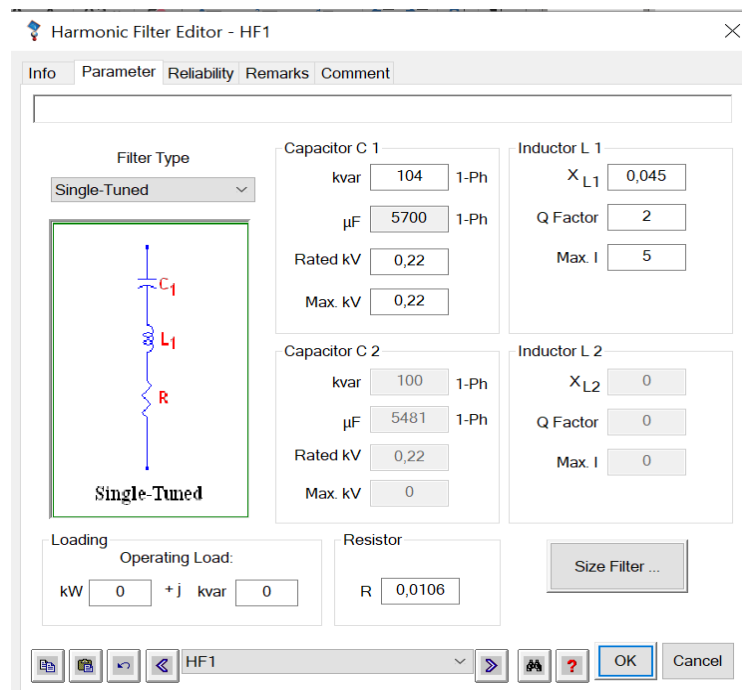


Figura 6. 4. Configuración del Filtro para el Transformador 1.

Después de configurar y poner en funcionamiento el filtro, se observó que el sistema opera de manera óptima y eficiente, como se puede apreciar en detalle en la Figura 47.

Se puede evidenciar que después de la respectiva configuración del filtro pasivo obtenemos una importante elevación del Factor de Potencia al 96,11% como se observa en la Figura 6.5.

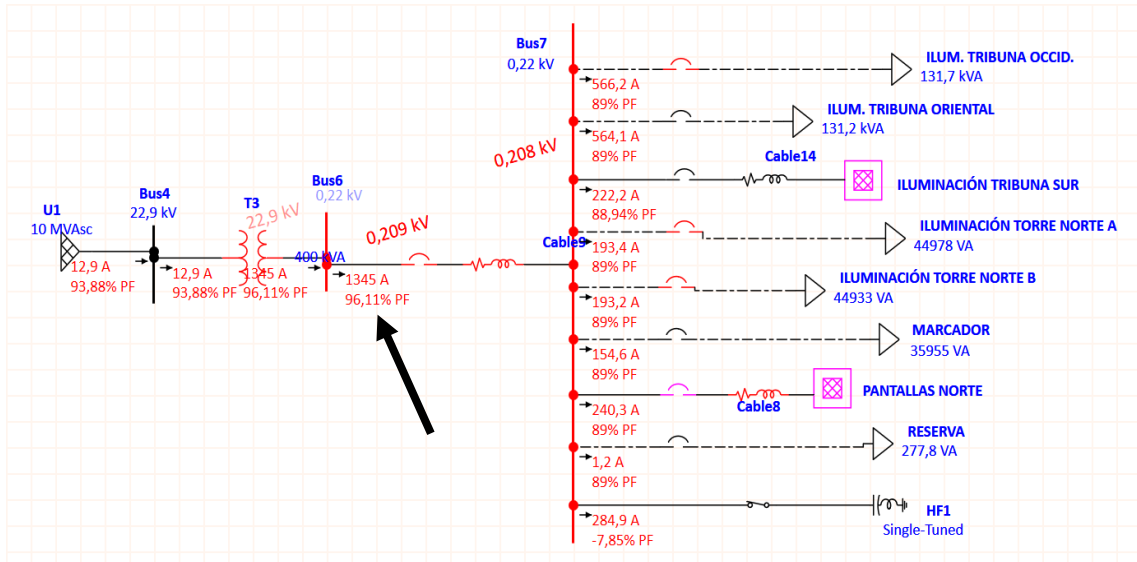


Figura 6. 5. Aplicación del Filtro Pasivo para el transformador 1.

En cuanto a los armónicos, se observa en la Figura 6.6 una importante reducción en los armónicos afectados, teniendo los siguientes valores:

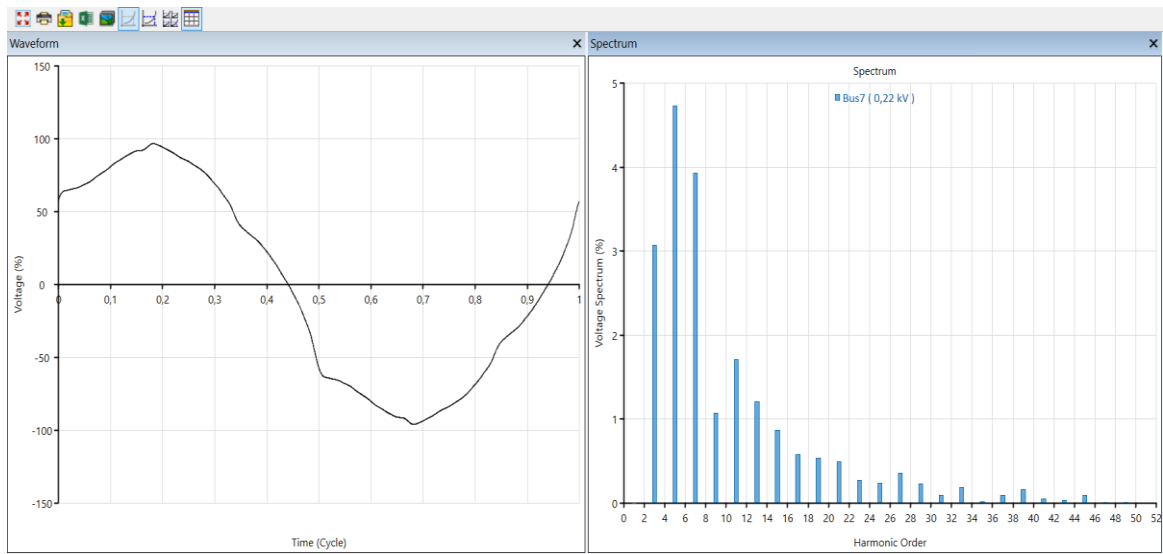


Figura 6. 6. Resultados de los filtros para armónicos de corriente para el Transformador 1.

En el cual se puede observar en la Tabla 6.2, cómo se obtuvo una importante reducción en los armónicos que presentaban valores elevados y que sobrepasaban los límites establecidos por la ARCERNNR 002/20 donde se estipulaba que este límite era del 7%.

Tabla 6. 2. Resultado con la aplicación de Filtros pasivos para el transformador 1.

Armónicos que sobrepasaban la normativa			
Sin Filtro Pasivo para Armónicos		Con Filtro Pasivo para Armónicos	
h3	11,62	h3	3,069
h5	22,25	h5	4,73
h7	14,15	h7	3,92

Se evidencia la importante reducción de armónicos en estos ordenes, dando solución al problema inicial.

### 6.6. Simulación del Transformador 2

Se inicia realizando la representación gráfica del segundo transformador junto a las especificaciones técnicas del mismo, las cuales fueron obtenidas por medio de un levantamiento de cargas, dando como resultado la representación establecida en la Figura 6.7.

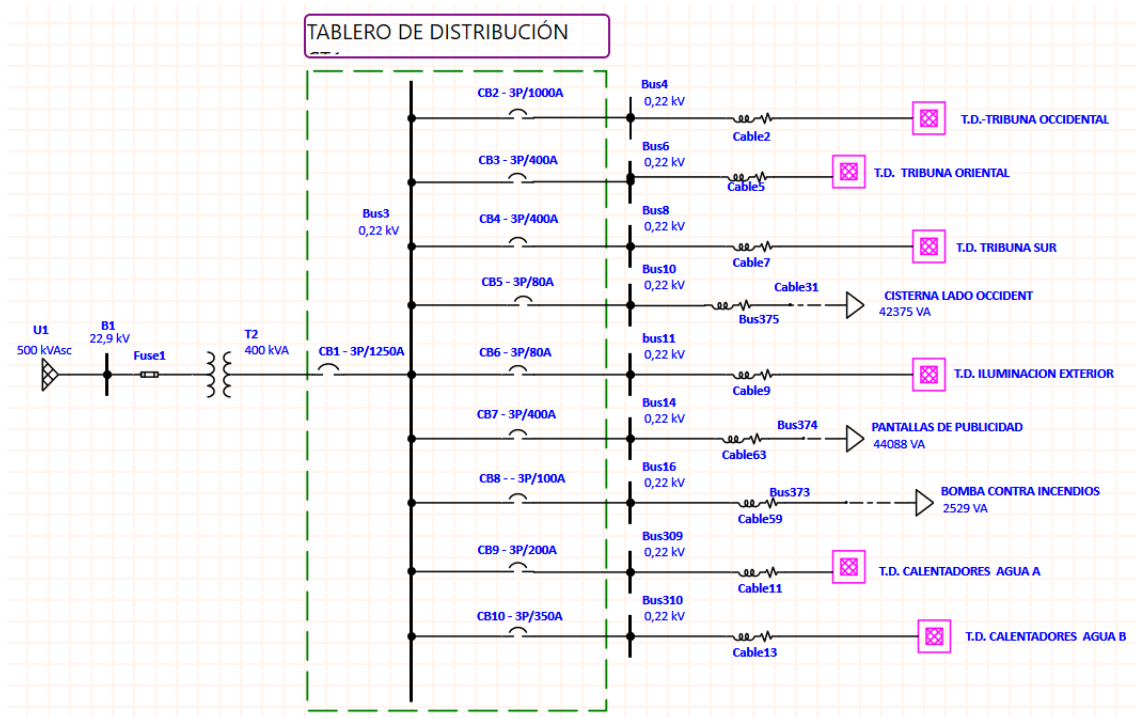


Figura 6. 7. Sistema Eléctrico para el Transformador 2.

Para el transformador 2 se modeló el sistema en base al levantamiento de cargas previamente realizado, junto a los datos obtenidos por parte del analizador de redes, se tiene los siguientes datos representados en la Tabla 6.3:

Tabla 6. 3. Armónicos de Corriente en T2.

<b>Armónicos de Corriente Obtenidos e introducidos en ETAP</b>			
h3	0,77	h27	0,003
h5	5,04	h29	0,095
h7	2,75	h31	0,088
h9	0,06	h33	0.00
h11	1,58	h35	0,054
h13	1,02	h37	0,045
h15	0,017	h39	0.00
h17	0,426	h41	0,036
h19	0,278	h43	0,038
h21	0,006	h45	0.00
h23	0,113	h47	0,03
h25	0,115	h49	0,029

Se procede a insertar todos los valores dentro del software como se observa en la Figura 6.8 y se observa que estos valores de armónicos de corriente están dentro de los límites establecidos por la ARCERNR 002/20, demostrándose que no existe problemas en el sistema eléctrico para este transformador.

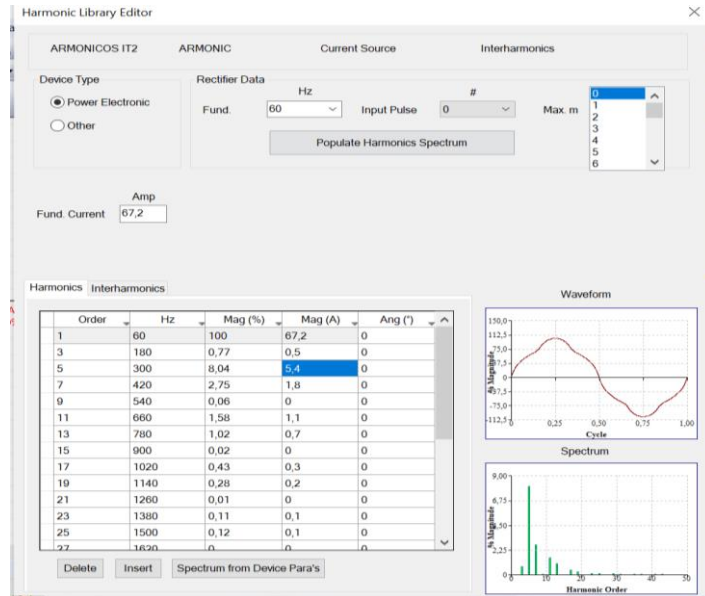


Figura 6. 8. Desarrollo de datos en ETAP para el Transformador 2.

Al observar el sistema, se tiene un factor de potencia del 94%, indicando un factor de potencia aceptable, dato que coincide con el analizador de redes, esto se debe a que las cargas presentadas en este transformador no presentan gran inconveniente, observando en la Figura 6.9 un correcto funcionamiento en este transformador.

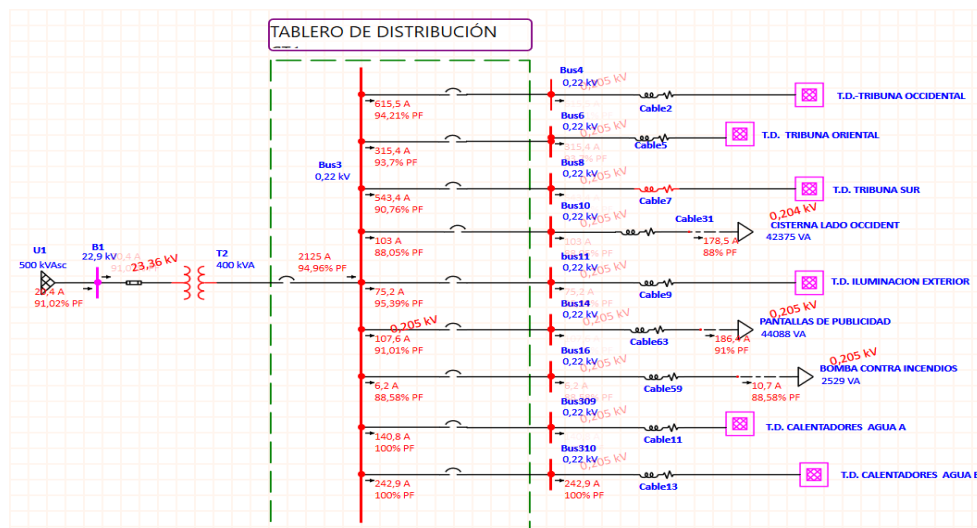


Figura 6. 9. Flujo de Potencia para el Transformador 2.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El análisis del sistema eléctrico del estadio "Banco Guayaquil" reveló problemas significativos con los armónicos y el factor de potencia, especialmente en el Transformador 1. Utilizando un analizador de redes, se identificaron niveles elevados de armónicos de órdenes 3, 5 y 7, con valores de 11,62%, 22,25% y 14,15% respectivamente, superando el límite permitido del 7%. Estos valores excesivos indican perturbaciones severas que afectan negativamente el rendimiento del sistema eléctrico, causando potencialmente sobrecalentamientos, pérdidas adicionales y posibles daños a los equipos sensibles. La identificación precisa de estos problemas fue crucial para establecer una línea base y definir las estrategias correctivas necesarias para garantizar la estabilidad y eficiencia del sistema.
- Se diseñaron y dimensionaron filtros pasivos para mitigar los armónicos, siguiendo la normativa IEEE 1531-2003, lo cual es esencial para asegurar la compatibilidad y efectividad de las soluciones implementadas. La impedancia efectiva de los filtros se calculó meticulosamente para optimizar su rendimiento, y se seleccionaron componentes que garantizaban un factor de calidad adecuado, asegurando la eliminación efectiva de armónicos específicos. Las simulaciones realizadas en el software ETAP validaron la efectividad de los filtros en tiempo real, mostrando una reducción significativa en los niveles de armónicos de orden 3, 5 y 7 a 3,069%, 4,73% y 3,92% respectivamente. Este proceso demostró que los filtros no solo cumplen con los límites normativos, sino que también protegen y prolongan la vida útil de los equipos, mejorando la confiabilidad general del sistema eléctrico.
- La implementación de filtros pasivos no solo redujo los niveles de armónicos, sino que también mejoró notablemente el factor de potencia del sistema. Las simulaciones en ETAP demostraron que el factor de potencia del Transformador 1 aumentó del 88,97% al 96,11%, evidenciando una mejora sustancial que contribuye a un rendimiento más eficiente y fiable del sistema eléctrico. Un factor de potencia más alto implica una utilización más eficiente de la energía, reduciendo las pérdidas y mejorando la capacidad del sistema para manejar cargas adicionales. En el caso del Transformador 2, se comprobó que este ya cumplía

con los requisitos del sistema y no presentaba problemas relacionados con el factor de potencia, lo cual indica que su diseño y operación actuales son adecuados. Este análisis y las mejoras implementadas aseguran que el sistema eléctrico del estadio funcione de manera óptima, minimizando riesgos y costos operativos.

En cuanto a las recomendaciones, se consideró que:

- Es esencial establecer un programa de monitoreo continuo del sistema eléctrico del estadio utilizando analizadores de redes de alta precisión. Este monitoreo debe incluir la medición regular de armónicos y el factor de potencia para asegurar que los niveles se mantengan dentro de los límites establecidos por las normativas. La implementación de un sistema de gestión de calidad de energía permitirá identificar y corregir de manera proactiva cualquier desviación que pueda surgir debido a cambios en la carga o la instalación de nuevos equipos. Adicionalmente, se recomienda capacitar al personal técnico en la interpretación de datos y la operación de estos dispositivos para mantener un control óptimo del sistema.
- El mantenimiento preventivo de los filtros pasivos es crucial para asegurar su continuo desempeño efectivo. Se sugiere implementar un plan de mantenimiento que incluya inspecciones periódicas y pruebas de los componentes del filtro, tales como condensadores, inductores y resistencias, para detectar posibles deterioros o fallas. Este mantenimiento debe ser realizado por personal calificado y siguiendo las especificaciones del fabricante y las mejores prácticas de la industria. La regularidad del mantenimiento ayudará a prevenir problemas mayores y garantizará la estabilidad del sistema eléctrico a largo plazo.
- Además de la mitigación de armónicos, es fundamental adoptar estrategias de eficiencia energética que optimicen el uso de la electricidad en el estadio. Estas estrategias pueden incluir la instalación de equipos de bajo consumo, la optimización del uso de iluminación y climatización, y la implementación de sistemas de control automatizados que ajusten el consumo energético según la demanda real. La combinación de estas medidas con la mitigación de

armónicos contribuirá a una operación más sostenible y económicamente eficiente del estadio.

## 8. REFERENCIAS

- [1] D. Monga, “Determinación de los Indicadores de Calidad Energética para el Caso de un Usuario Conectado en Media Tensión,” *Revista Técnica “energía,”* vol. 20, no. 1, pp. 9–15, Jul. 2023, doi: 10.37116/revistaenergia.v20.n1.2023.578.
- [2] Benditofutbol.com, “Independiente del Valle presentó su uniforme y su estadio en Sangolquí,” 2021, Accessed: Sep. 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.elcomercio.com/deportes/independiente-valle-presento-uniforme-estadio.html>
- [3] J. Duvan, M. Sanchez, Y. Javier, and C. Chavez, “Estudio Y Analisis De Calidad De Energia Enfocado En Nivel De Armonicos En El Sistema Electrico De La Subestacion Enfriadora 1 De Holcim Ecuador Planta Guayaquil,” 2014. Accessed: Sep. 15, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6848>
- [4] D. Monga, “Determinación de los Indicadores de Calidad Energética para el Caso de un Usuario Conectado en Media Tensión,” *Revista Técnica “energía,”* vol. 20, no. 1, pp. 9–15, Jul. 2023, doi: 10.37116/revistaenergia.v20.n1.2023.578.
- [5] D. Zech, “IEEE 519 Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems,” 2014, Accessed: Oct. 05, 2023. [Online]. Available: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1589263/mod\\_resource/content/1/IEE%20Std%20519-2014.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1589263/mod_resource/content/1/IEE%20Std%20519-2014.pdf)
- [6] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, “REGULACIÓN Nro. ARCERNR 002/20,” 2023. Accessed: Oct. 05, 2023. [Online]. Available: [https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/02/Anexo-003-2023-Codificacion-Regulacion-002-20\\_rev-DE-signed.pdf](https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/02/Anexo-003-2023-Codificacion-Regulacion-002-20_rev-DE-signed.pdf)

- [7] M. Kipness, “1159-2019 - IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality | IEEE Standard | IEEE Xplore.” Accessed: Sep. 16, 2023. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8796486>
- [8] O. C. Silvera, M. V. Chamorro, G. V. Ochoa, and M. Vanegas Chamorro, “Estudio y diagnóstico de la calidad de la energía de un campus universitario en la Costa Norte de Colombia,” vol. 15, no. 1, pp. 2619–6581, 2018, doi: 10.18041/avances.v15i1.
- [9] E. Salazar, “Análisis de Disturbios Eléctricos en la Industria Siderúrgica,” Monterrey, 2009. Accessed: Oct. 05, 2023. [Online]. Available: [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/DocsTec\\_10105%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/DocsTec_10105%20(4).pdf)
- [10] M. A. Sánchez, *Calidad de la Energía Eléctrica*. Puebla, 2009. Accessed: Sep. 30, 2023. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/doc/40188303/Libro-Calidad-de-Energia>
- [11] M. Holguín and D. Gómez, “Análisis de calidad de energía eléctrica en el nuevo campus de la Universidad Politécnica Salesiana,” Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2010. Accessed: Oct. 05, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2110/13/UPS-GT000145.pdf>
- [12] O. Castañeda and W. Castañeda, “Análisis de Calidad de Energía acerca de la Calidad del Producto e Influencia de Armónicos,” *Corporación Centro Nacional de Control de Energía - CENACE*, 2010, Accessed: Oct. 05, 2023. [Online]. Available: [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/231-Texto%20del%20art%C3%ADculo-427-1-10-20191114%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/231-Texto%20del%20art%C3%ADculo-427-1-10-20191114%20(2).pdf)
- [13] O. Castañeda and W. Castañeda, “Análisis de Calidad de Energía acerca de la Calidad del Producto e Influencia de Armónicos,” *Corporación Centro Nacional de Control de Energía - CENACE*, 2010, Accessed: Oct. 05, 2023. [Online]. Available: [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/231-Texto%20del%20art%C3%ADculo-427-1-10-20191114%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/231-Texto%20del%20art%C3%ADculo-427-1-10-20191114%20(2).pdf)

- [14] J. Duvan, M. Sanchez, Y. Javier, and C. Chavez, “Estudio Y Analisis De Calidad De Energia Enfocado En Nivel De Armonicos En El Sistema Electrico De La Subestacion Enfriadora 1 De Holcim Ecuador Planta Guayaquil,” 2014. Accessed: Sep. 15, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6848>
- [15] E. Téllez, “Distorsión Armónica,” Puebla, México, 2014. Accessed: Oct. 05, 2023. [Online]. Available: <https://agngroup.net/papers/Distorsion%20Armonica.pdf>
- [16] A. Arellano, D. Mireles, and R. Samayoa, “Mejora De La Confiabilidad En El Edificio Valdés Vallejo De La Unam,” Universidad Nacional Autónoma de México, 2011. Accessed: Oct. 05, 2023. [Online]. Available: [http://132.248.9.195/ptb2011/agosto/0671448/0671448\\_A1.pdf](http://132.248.9.195/ptb2011/agosto/0671448/0671448_A1.pdf)
- [17] J. C. Herrera, “Determinación De La Potencia De Transformadores Para Alimentar Cargas No Lineales,” 1997. Accessed: Oct. 05, 2023. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5992/1/T290.pdf>
- [18] V. Gastón, N. Gallino, and O. Alvarado Moreno, “Calidad De Energía Eléctrica: Análisis Armónico De Sistemas Eléctricos De Potencia,” 1998. Accessed: Oct. 01, 2023. [Online]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1409/1/2715.pdf>
- [19] J. Antonio Suárez, G. Di Mauro, D. Anaut, R. Di Mauro, and J. L. Strack, “Análisis de la calidad de la energía en un centro de cómputos Analysis of power quality on data center,” *Revista chilena de ingeniería*, vol. 21, no. 1, pp. 30–40, 2013, Accessed: Sep. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v21n1/art04.pdf>
- [20] S. Vargas, P. Gavela, and L. Moncada, “Análisis de Indicadores de Calidad para la Actualización de la Regulación No. CONELEC – 003/08 Calidad del Transporte de Electricidad y del Servicio de Transmisión y Conexión en el Sistema Nacional Interconectado,” *Revista Técnica “energía,”* vol. 19, no. 2, pp. 22–31, Jan. 2023, doi: 10.37116/revistaenergia.v19.n2.2023.551.

- [21] Universidad del Espíritu Santo, “Inspección del Trabajo en Seguridad y Salud Ocupacional en la República del Ecuador.”
- [22] D. X. Gualotuña, L. F. Caiza Jacome, and R. E. Suárez Vinueza, “Análisis De Las Perturbaciones (Sags Y Swells) De La Red De Distribución Para Mejorar La Calidad De Energía En El Alimentador Primario ‘D’ En La Subestación Chimbacalle – Quito, Basado En El Uso De Compensadores Reactivos,” 2021. Accessed: Sep. 30, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7846/1/PI-001671.pdf>
- [23] IEEE, *3003.1-2019 - IEEE Recommended Practice for System Grounding of Industrial and Commercial Power Systems*. IEEE, 2019.
- [24] L. Ferrer Arnau, “Introducción a la compatibilidad electromagnética,” 2016, Accessed: Oct. 01, 2023. [Online]. Available: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/13082/Ferrer\\_Arnau\\_emc\\_jcee02.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/13082/Ferrer_Arnau_emc_jcee02.pdf)
- [25] J. Garcia, “Escuela Superior De Ingeniería Mecánica Y Eléctrica Sección De Estudios De Posgrado E Investigación,” 2004. Accessed: Oct. 01, 2023. [Online]. Available: <https://sepielectrica.esimez.ipn.mx/Tesis/2004/Estudio%20Del%20Fenomeno%20De%20Resonancia%20En%20El%20Sistema%20Electrico%20De%20Potencia%20De%20Complejos%20Procesadores%20De%20Gas.pdf>
- [26] AGN Group, “LOS EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS Y SUS SOLUCIONES.” Accessed: Jan. 29, 2024. [Online]. Available: <https://agngroup.net/papers/boletin%20aes%20soluciones%20armonicos.pdf>
- [27] P. Ramon Pinyol, “Armónicos: Causas, Efectos Y Minimización.”
- [28] Richard Rosero, “Reducción De Armónicos Creados Por Corrientes No Sinusoidales Debido A La Presencia De Cargas No Lineales, Mediante Transformadores Con Conexión En.”
- [29] P. Ramon Pinyol, “ARMÓNICOS: CAUSAS, EFECTOS Y MINIMIZACIÓN.”

- [30] AGN Group, “LOS EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS Y SUS SOLUCIONES.” Accessed: Jan. 29, 2024. [Online]. Available: <https://agngroup.net/papers/boletin%20aes%20soluciones%20armonicos.pdf>
- [31] Universidad del Espíritu Santo, “Inspección del Trabajo en Seguridad y Salud Ocupacional en la República del Ecuador.”
- [32] ORIÓN S. A., “Transformadores Trifásicos Secos con Factor K.”
- [33] M. D. Gallo and J. G. Roto, “Estudio De La Calidad De Energía Del Sistema Eléctrico De La Empresa ‘Embutidos La Madrileña,’” Universidad Técnica De Cotopaxi, Latacunga, 2022. Accessed: Oct. 05, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/9343/1/PI-002152.pdf>
- [34] IEEE Power Engineering Society. Transmission and Distribution Committee., Institute of Electrical and Electronics Engineers., and IEEE-SA Standards Board., *IEEE guide for application and specification of harmonic filters*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2003.

