



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE GUAYAQUIL**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

ESTUDIO DEL CONTENIDO DE ARMÓNICOS EN LA FÁBRICA CHAIDE Y  
CHAIDE S.A. PLANTA GUAYAQUIL PARA PROPONER SOLUCIONES DE MEJORA  
DE LA CALIDAD DE ENERGÍA

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Eléctrico

**AUTORES:** Cristhian Xavier Gonzalez Bone  
Frank Brayan Ambuludi Veloz

**TUTOR:** Ing. Julio Manuel Silva Becherán, Msc

**Guayaquil – Ecuador**

**2024**

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Cristhian Xavier Gonzalez Bone con documento de identificación No. 0704901602 y Frank Brayan Ambuludi Veloz con documento de identificación No. 1718930116; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 17 de septiembre del año 2024

Atentamente,



---

Cristhian Xavier Gonzalez Bone

0704901602



---

Frank Brayan Ambuludi Veloz

1718930116

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Cristhian Xavier Gonzalez Bone con documento de identificación No. 0704901602 y Frank Brayán Ambuludi Veloz con documento de identificación No. 1718930116, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de lo que somos autores del Proyecto Técnico : “Estudio del contenido de armónicos en la fábrica Chaide y Chaide S.A Planta Guayaquil para proponer soluciones de mejora de la calidad de energía”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 17 de septiembre del año 2024

Atentamente,



---

Cristhian Xavier Gonzalez Bone

0704901602



---

Frank Brayán Ambuludi Veloz

1718930116

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Julio Manuel Silva Becherán con documento de identificación N° 0959623422, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el proyecto técnico: “ESTUDIO DEL CONTENIDO DE ARMÓNICOS EN LA FÁBRICA CHAIDE Y CHAIDE S.A. PLANTA GUAYAQUIL PARA PROPONER SOLUCIONES DE MEJORA DE LA CALIDAD DE ENERGÍA”, realizado por Cristhian Xavier Gonzalez Bone con documento de identificación N° 0704901602 y Frank Brayan Ambuludi Veloz con documento de identificación N° 1718930116, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 17 de septiembre del año 2024

Atentamente,



---

Ing. Julio Manuel Silva Becherán, Msc

0959623422

## DEDICATORIA

A mis padres, quienes me enseñaron que el conocimiento es un viaje sin fin y me brindaron su apoyo incondicional en cada paso de esta travesía académica. A mis amigos, por su ánimo constante y sus palabras de aliento en los momentos más desafiantes. A mis profesores, cuya sabiduría y guía han sido fundamentales en mi formación. A todos aquellos que de alguna manera contribuyeron a este logro, les dedico este trabajo con profundo agradecimiento y humildad.

A mi mentor, cuya guía experta y apoyo inquebrantable han sido fundamentales en mi desarrollo académico y personal. Tu sabiduría y paciencia han sido faros en medio de la oscuridad, orientándome hacia el éxito. Esta tesis es un tributo a tu dedicación y compromiso, y te la dedico con profunda gratitud y admiración. Que nuestra colaboración continúe inspirando a otros en su búsqueda del conocimiento.

*Cristhian Xavier González Bone*

Dedico este trabajo a mis seres queridos, cuyo apoyo incondicional ha sido mi mayor fortaleza a lo largo de este camino. A mis padres, familiares y amigos, quienes han sido mi fuente de inspiración y motivación. A todos aquellos que creyeron en mí y me alentaron a alcanzar mis metas. Este logro es también suyo. ¡Gracias por estar siempre a mi lado!

Dedico este trabajo a todos aquellos que, con su sabiduría, paciencia y ánimo, han sido parte fundamental de mi viaje académico. A mis profesores, cuyo conocimiento y guía han iluminado mi camino. A mis amigos, cuyo apoyo y compañía hicieron más llevadera esta travesía. A mi familia, por su amor incondicional y constante apoyo. A todos ustedes, mi gratitud eterna.

*Frank Brayán Ambuludi Veloz*

## RESUMEN

El presente documento de estudio titulado "Estudio del contenido de armónicos en la fábrica Chaide y Chaide S.A. planta Guayaquil para proponer soluciones de mejora de la calidad de energía", tiene como objetivo principal analizar y proponer soluciones para mejorar la calidad de energía en la mencionada planta industrial. En el contexto actual, la presencia de armónicos en los sistemas eléctricos representa un problema significativo que puede afectar tanto la calidad del suministro eléctrico como la eficiencia de los equipos conectados a la red. Por lo tanto, este estudio se enfoca en comprender el contenido de armónicos en la fábrica Chaide y Chaide S.A. en Guayaquil, identificando sus causas y efectos en la calidad de energía.

La investigación se fundamenta en una revisión exhaustiva de la literatura relacionada con los armónicos eléctricos, incluyendo definiciones, origen, causas y efectos en los sistemas eléctricos y los equipos conectados. Se destaca la importancia de abordar este fenómeno para garantizar un suministro eléctrico confiable y eficiente en entornos industriales. Para lograr los objetivos propuestos, se empleó una metodología que incluyó la realización de mediciones de armónicos en la planta de Chaide y Chaide S.A., el análisis de los datos obtenidos y la propuesta de soluciones específicas para mitigar los efectos negativos de los armónicos en la calidad de energía.

Los resultados obtenidos en este estudio proporcionan una visión detallada del contenido de armónicos en la fábrica Chaide y Chaide S.A., identificando las principales fuentes de distorsión armónica y sus impactos en el sistema eléctrico. Además, se presentan recomendaciones prácticas y viables para mejorar la calidad de energía, como la instalación de filtros activos, la reconfiguración de la red eléctrica y la adopción de prácticas de eficiencia energética. En conclusión, este trabajo de titulación contribuye al conocimiento en el campo de la calidad de energía y los armónicos eléctricos, ofreciendo una perspectiva integral sobre la problemática en la fábrica Chaide y Chaide S.A. y proponiendo soluciones efectivas para optimizar el suministro eléctrico y garantizar un funcionamiento óptimo de los equipos industriales.

## ABSTRACT

The present degree study entitled “Study of the harmonics content in the Chaide y Chaide S.A. factory Guayaquil plant to propose solutions to improve the power quality”, has as main objective to analyze and propose solutions to improve the power quality in the mentioned industrial plant. In the current context, the presence of harmonics in electrical systems represents a significant problem that can affect both the quality of power supply and the efficiency of the equipment connected to the grid. Therefore, this study focuses on understanding the harmonic content in the Chaide y Chaide S.A. factory in Guayaquil, identifying its causes and effects on power quality.

The research is based on a comprehensive review of the literature related to electrical harmonics, including definitions, origin, causes and effects on electrical systems and connected equipment. The importance of addressing this phenomenon to ensure reliable and efficient power supply in industrial environments is highlighted. To achieve the proposed objectives, a methodology was employed that included the performance of harmonics measurements at the Chaide y Chaide S.A. plant, the analysis of the data obtained and the proposal of specific solutions to mitigate the negative effects of harmonics on power quality.

The results obtained in this study provide a detailed view of the harmonic content in the Chaide y Chaide S.A. plant, identifying the main sources of harmonic distortion and their impacts on the electrical system. In addition, practical and feasible recommendations are presented to improve power quality, such as the installation of active filters, the reconfiguration of the electrical network and the adoption of energy efficiency practices. In conclusion, this degree work contributes to the knowledge in the field of power quality and electrical harmonics, offering a comprehensive perspective on the problems in the Chaide y Chaide S.A. factory and proposing effective solutions to optimize the power supply and ensure optimal operation of industrial equipment.

## ÍNDICE

<b>PORTADA.....</b>	<b>i</b>
<b>CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....</b>	<b>ii</b>
<b>CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR .....</b>	<b>iii</b>
<b>CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>v</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vii</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>1</b>
1.1. Título.....	1
1.2. Introducción.....	1
1.3. Justificación.....	2
1.4. Delimitación del problema.....	3
1.5. Planteamiento del Problema.....	4
1.6. Objetivos.....	5
1.6.1. Objetivo General.....	5
1.6.2. Objetivos Específicos.....	5
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>6</b>
2. Fundamentos teóricos.....	6
2.1.1. Definición de armónicos eléctricos.....	6
2.1.2. Origen y causas de los armónicos en sistemas eléctricos.....	7
2.1.3. Efectos de los armónicos en la calidad de energía y los equipos eléctricos.....	8
2.1.4. Reducción de la Eficiencia Energética.....	9
2.1.5. Daños en Equipos Sensibles.....	10
2.1.6. Medición y análisis del contenido de armónicos.....	10
2.1.7. Distorsión armónica total(THD) y su importancia en la evaluación de armónicos.....	12
2.1.8. Cargas no lineales y su contribución a la generación de armónicos.....	12
2.1.9. Técnicas de mitigación de armónicos: filtros, transformadores especiales, etc.....	13
2.2. Normativas y estándares relacionados con la calidad de energía y los armónicos.....	14
2.2.1. IEEE 519.....	15
2.2.2. IEC 61000-2-4 - Electromagnetic compatibility (EMC) .....	15
2.2.3. IEC 61000-3-2.....	16

2.2.4.IEEE 1547.....	16
2.2.5.EN 61000-3-12.....	17
2.3. Herramientas de simulación y modelado para el análisis de armónicos.....	17
2.3.1.Software de Análisis de Redes Eléctricas.....	18
2.3.2.Impacto económico de los armónicos en instalaciones industriales.....	18
2.3.3.Evaluación de riesgos asociados con la presencia de armónicos.....	19
2.3.4.Soluciones de ingeniería para reducir la emisión de armónicos en instalaciones industriales.	19
2.3.5.Implementación de sistemas de monitorización y control de armónicos.....	20
2.3.6.Investigación sobre tecnologías emergentes para la mitigación de armónicos.....	20
2.3.7.Concepto y definición de calidad de energía eléctrica.....	21
2.4. Parámetros de calidad de energía: tensión, frecuencia, distorsión armónica, etc.....	22
2.4.1.Tensión.....	22
2.4.2. Frecuencia.....	22
2.4.3. Importancia de la calidad de energía en instalaciones industriales.....	22
2.4.4. Impacto de la calidad de energía en la operación y mantenimiento de equipos eléctricos.	23
2.4.5. Fiabilidad y Disponibilidad.....	23
2.4.6. Vida Útil de los Equipos.....	24
2.4.7. Eficiencia Energética.....	24
2.4.8. Rendimiento y Calidad del Producto.....	24
2.5. Evaluación del costo económico de la mala calidad de energía.....	24
2.5.1. Estrategias de gestión de la calidad de energía en instalaciones industriales.....	25
2.5.2. Tecnologías de monitorización y control de la calidad de energía.....	25
2.5.3. Impacto ambiental de la mala calidad de energía.....	26
2.5.4. Innovaciones tecnológicas en la mejora de la calidad de energía.....	26
2.5.5. Planificación y diseño de sistemas eléctricos para garantizar la calidad de energía.....	27
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>28</b>
3. Descripción de los equipos de medición.....	28
3.1. Equipos utilizados.....	29
3.1.1. FIUKE 438-II, Analizador De Motor y Calidad de Energía Eléctrica.....	29
3.1.2. Digsilent Power Factory.....	30
3.2. Procesamiento de Información.....	32
3.3. Análisis de datos.....	32
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>34</b>
4. Datos técnicos de la fábrica Chaide y Chaide S.A.....	34
4.1. Datos de fabricante del banco de transformadores.....	34
4.2. Datos de Tablero Eléctrico Principal.....	35

4.3. Datos de Tablero Eléctrico de Producción.....	36
4.4. Datos de Tablero Eléctrico Sección Paneles.....	36
4.5. Registro de parámetros y determinación de la cargabilidad en el B. de transformadores... 37	
4.6. Descripción de medición de energía	40
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>42</b>
5.1. Resultados del análisis de calidad de energía tablero eléctrico sección Paneles.....	42
5.1.1. Análisis de Sobretensiones.....	42
5.1.2. Frecuencia del Sistema.....	43
5.1.3. Variaciones de tensión de alimentación.....	44
5.1.4. Severidad del Flicker.....	46
5.1.5. Desequilibrio de tensión.....	47
5.1.6. Armónicos de tensión.....	48
5.1.7. Inter armónicos de tensión.....	49
5.1.8. Señalización.....	50
5.1.9. Sobretensiones.....	51
5.1.10. Sumario de cumplimiento según EN50160.....	52
5.1.11. Resumen de Cumplimiento IEEE 519.....	53
5.1.12. Tiempo corto Armónicos de corriente y TDD – 95%.....	56
5.1.13. Tiempo corto Armónicos de corriente y TDD – 99%.....	59
5.1.14. Resumen de Energía.....	61
5.1.15. Demanda de Energía.....	63
5.1.16. Demanda de Potencia Máxima (P tot).....	64
5.1.17. Demanda promedio de potencia.....	65
5.2. Criterios para el Dimensionamiento del Filtro Activo.....	66
5.4. Resultados de simulación de flujo armónico de la planta en software.....	71
5.4.1. Lista de Generador Asíncrono.....	71
5.4.2. Lista de Conductores.....	71
5.4.3. Lista del banco de Transformadores.....	73
5.4.4. Parámetros de cortocircuito trifásico en la salida de la barra de 13.8 KV.....	74
5.5. Cálculo de Flujo de Carga.....	75
5.6. Cálculo de Cortocircuito.....	77
5.7. Resultados de cortocircuito trifásico en barras.....	79
5.8. Análisis de armónicos.....	80
5.9. Resultados de Flujo Armónico.....	80
5.9.1. Espectro Armónico Desbalanceado del Tablero Eléctrico de Distribución.....	80
5.9.2. Resultados en Operación Normal.....	81
5.10. Inyección de corriente de los Filtros Activos.....	82

5.11. Cuadro comparativo de flujo de carga.....	
<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
<b>CAPITULO VI.....</b>	<b>84</b>
6.1. Propuesta de mejora.....	84
6.2. Evaluación Integral de la Calidad de Energía.....	84
6.2.1. Importancia de la Evaluación de la Calidad de Energía.....	85
6.3. Parámetros por Evaluar.....	85
6.3.1. Armónicos.....	85
6.3.2. Sobretensiones.....	85
6.3.3. Desequilibrios de Tensión.....	86
6.3.4. Flicker.....	86
6.4. Metodología de Evaluación.....	86
6.4.1. Beneficios de la Evaluación Integral.....	86
6.5. Implementación de Filtrado Activo.....	87
6.6. Compensación de Energía Reactiva.....	87
6.7. Protección contra Sobretensiones.....	87
6.8. Educación y Capacitación del Personal.....	88
6.9. Monitoreo Continuo y Mantenimiento Predictivo.....	88
6.10. Reducción de Armónicos.....	88
6.11. Corrección de Desequilibrios de Tensión.....	89
6.12. Monitoreo Continuo de la Calidad de Energía.....	89
6.13. Eficiencia Energética.....	89
6.13.1. Gestión Inteligente de la Demanda.....	89
6.13.2. Actualización de Equipos y Tecnologías.....	90
6.13.3. Implementación de Energías Renovables.....	90
6.14. Gestión de la Energía y Formación del Personal.....	90
6.14.1. Programa de Sensibilización y Formación.....	90
6.14.2. Equipamiento de Herramientas de Gestión de Energía.....	91
6.15. Inversión y Planificación a Largo Plazo.....	91
6.15.1. Presupuesto para Implementación de Mejoras.....	91
6.15.2. Planificación a Largo Plazo.....	91
6.16. Presupuesto.....	92
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>93</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>95</b>

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>97</b>
--	-----------

## INDICE DE FIGURAS

Figura No. 1. Armónicos eléctricos y sus efectos .....	6
Figura No. 2. Diagrama simplificado del sistema eléctrico. ....	8
Figura No. 3. Efecto en el voltaje por la conmutación de capacitores .....	9
Figura No. 4. Tensión y corriente para cargas lineales.....	10
Figura No. 5. Armónicos de orden 3,5,7,9. ....	11
Figura No. 6. Corriente consumida por carga no lineales.....	12
Figura No. 7. Comportamiento no lineal .....	13
Figura No. 8. Medición y Análisis de armónicos.....	14
Figura No. 9. Simulación de sistemas de potencia en Digsilent .....	18
Figura No. 10. Equipo Fluke 438 – II (Fluke Calibration). ....	30
Figura No. 11. Simulación de sistemas de potencia.....	31
Figura No. 12. Voltajes L-N.....	38
Figura No. 13. Armónicos de voltaje lines 1,2,3.....	38
Figura No. 14. Corrientes armónicas en líneas 1,2,3. ....	40
Figura No. 15. Análisis de sobretensiones .....	42
Figura No. 16. Frecuencia del sistema.....	43
Figura No. 17. Variaciones de tensión de alimentación .....	44
Figura No. 18. Severidad del Flicker .....	46
Figura No. 19. Desequilibrio de tensión .....	47
Figura No. 20. Armónicos de tensión.....	48
Figura No. 21. Interarmónicos de tensión.....	49
Figura No. 22. Señalización .....	50
Figura No. 23. Sobretensiones .....	51
Figura No. 24. Resumen de cumplimiento de la norma IEEE 519 .....	53
Figura No. 25. Tiempo corto Armónicos de corriente y TDD – 95% .....	56
Figura No. 26. Tiempo corto Armónicos de corriente y TDD – 99% .....	59
Figura No. 27. Registro de Energía.....	61
Figura No. 28. Gasto de Energía.....	62
Figura No. 29. Demanda de Energía.....	63
Figura No. 30. Demanda de Potencia Máxima P tot.....	64
Figura No. 31. Demanda promedio de potencia.....	65
Figura No. 32. Esquema Modelo para cálculo de filtro .....	67
Figura No. 33. Grafico aproximado para el calculo de Fsh .....	68

Figura No. 34. Factor de seguridad calculado.....	69
Figura No. 35. Parametros de cortocircuito en la salida de la barra 13.8KV .....	74
Figura No. 36. Esquematzación y simulación de Flujo de Potencia de la Planta .....	75
Figura No. 37. Niveles de Tensión.....	76
Figura No. 38. Esquematzación y cálculo de la corriente de cortocircuito.....	78
Figura No. 39. Filtro armonico $Lc$ sin filtro vs con filtro activo.....	81
Figura No. 40. Filtro armonico $La$ sin filtro vs con filtro activo.....	81
Figura No. 41. Filtro armonico $Lb$ sin filtro vs con filtro activo.....	82
Figura No. 42. Inyección de corriente de Filtro activo propuesto.....	82
Figura No. 43. Primera sección del diagrama unifilar de la planta.....	100
Figura No. 44. Segunda sección del diagrama unifilar de la planta.....	101
Figura No. 45. Tercera sección del diagrama unifilar de la planta.....	102
Figura No. 46. Diagrama unifilar de Banco de la barra 13.8Kv y banco de transformadores ..	103
Figura No. 47. Diagrama unifilar de la Barra Principal de 0.24Kv. ....	104
Figura No. 48. Diagrama unifilar de Tablero Eléctrico de Producción.....	105
Figura No. 49. Diagrama unifilar de Tablero E.S.P.(P1) con Filtro Activo.....	106
Figura No. 50. Diagrama unifilar de Tablero Eléctrico Sección Paneles (P2) .....	107
Figura No. 51. Vista frontal del filtro propuesto .....	108
Figura No. 52. Interior del Filtro Activo propuesto .....	108
Figura No. 53. Corriente CC modelado en Digsilent.....	82

## INDICE DE TABLAS

Tabla No. 1. Características del transformador instalado.....	34
Tabla No. 2. Características del transformador instalado.....	35
Tabla No. 3. Demanda promedio de 2015 datos .....	69
Tabla No. 4. Voltaje Línea – Línea de 2015 datos .....	37
Tabla No. 5. Voltaje Línea – Neutro de 2015 datos.....	37
Tabla No. 6. Corriente de línea promedio de 2015 datos .....	37
Tabla No. 7. Corrientes armónicas en % de IL .....	39
Tabla No. 8. Promedio de carga en cada Transformador.....	40
Tabla No. 9. Datos de la medición de los equipos .....	41
Tabla No. 10. Sumario de cumplimiento según EN50160.....	52
Tabla No. 11. Distorsión armónica de tensión .....	68
Tabla No. 12. Resultados de corriente obtenidos en DIGSILENT .....	69
Tabla No. 13. Resultados de las corrientes RMS por fases obtenidos por analizador .....	69
Tabla No. 14. Resultados de distorsión total.....	70
Tabla No. 15. Modelo de filtros activos proporcionados por CIRCUTOR.....	70
Tabla No. 16. Datos técnicos del generador.....	71
Tabla No. 17 Lista de conductores.....	72
Tabla No. 18. Lista del banco de Transformadores.....	73
Tabla No. 19. Parámetros de cortocircuito.....	74
Tabla No. 20. Resultados de cortocircuito trifásico en barras.....	79
Tabla No. 21. Espectro Armónico Desbalanceado del Tablero E.S. Paneles.....	80
Tabla No. 22. Cuadro comparativo sin filtro vs con filtro activo.....	83
Tabla No. 23. Valores detallados del presupuesto.....	92

## CAPITULO I

### 1.1. Título

Estudio del contenido de armónicos en la fábrica Chaide y Chaide S.A. Planta Guayaquil para proponer soluciones de mejora de la calidad de energía.

### 1.2. Introducción

La investigación sobre la presencia y el análisis de armónicos en el sistema eléctrico de la fábrica Chaide y Chaide S.A. Planta Guayaquil es clave para evaluar la calidad de la energía eléctrica actual. Su adecuado monitoreo y control es vital para el buen funcionamiento de equipos eléctricos y electrónicos que requieren energía eléctrica de calidad. Los armónicos son corrientes y tensiones eléctricas con frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de la red eléctrica. Estos armónicos suelen generarse por cargas no lineales en los sistemas de distribución eléctrica, las mismas pueden distorsionar la calidad de la energía eléctrica.

En el contexto de esta investigación, el propósito fundamental del estudio que se presenta consiste en llevar a cabo una evaluación detallada del contenido de armónicos que se encuentran en el sistema eléctrico de la fábrica Chaide y Chaide S.A. Este estudio se centra en identificar y evaluar las posibles causas que provocan los armónicos y sus efectos en la red eléctrica. A partir de la evaluación y el estudio detallado, se propondrán un grupo de soluciones y medidas concretas con el objetivo de minimizar los efectos perjudiciales que los armónicos pueden causar. De esta manera, se busca mejorar la calidad de energía eléctrica y un funcionamiento eficiente y óptimo de todos los equipos eléctricos y electrónicos que se encuentran en la planta.

Para llevar a cabo esta evaluación, se emplearán técnicas de medición y análisis de armónicos en puntos estratégicos de la instalación eléctrica de la planta, así como se aplicarán herramientas de simulación y modelado para evaluar diferentes escenarios y soluciones. Además, se considerarán normativas y estándares internacionales que hacen referencia con la eficiencia energética para asegurar que las soluciones propuestas cumplan con los requisitos establecidos.

Esta evaluación proporcionará una visión detallada del problema del contenido de armónicos en la fábrica Chaide y Chaide S.A. Planta Guayaquil, así como soluciones prácticas y viables para mejorar la calidad de energía y optimizar el funcionamiento de los sistemas eléctricos en la planta.

### **1.3. Justificación**

La industria dedicada a la fabricación de productos relacionados con el descanso en el Ecuador es notable, y dentro de este sector se encuentra la fábrica Chaide y Chaide S.A. En los últimos meses, la Planta Guayaquil ha experimentado un impacto notable en su producción debido a paradas no programadas, las cuales han sido causadas por pérdidas de energía asociadas con una variedad de anomalías eléctricas. Estos incluyen el calentamiento de los aislamientos en conductores, desbalances en los voltajes y en las intensidades, así como otros factores que, de manera significativa, afectan tanto a los equipos como a las instalaciones eléctricas de la planta. Esta circunstancia no solo tiene un impacto adverso en la capacidad de producción, sino que también suscita inquietudes significativas relacionadas con la seguridad de los individuos responsables de operar y mantener dichos equipos.

En un diagnóstico realizado a la Fabrica Chaide y Chaide S.A. Planta Guayaquil, mediante un analizador de redes tipo FLUKE 438-II se detectó la presencia de contenidos de armónicos en las señales de voltaje y corriente, así como los fenómenos de parpadeo de corta duración (Flicker), niveles de voltaje fuera de los rangos permisibles de operación, desbalances de corriente ocasionando sobrecalentamientos en los conductores, disparos intempestivos de interruptores automáticos y diferenciales, averías en los PLCs y pantallas HDMI de maquinarias de procesos de producción.

El presente estudio tiene como objetivo el desarrollo de una metodología integral que facilite un análisis exhaustivo y la formulación de recomendaciones orientadas a la optimización de los equipos de protección, conductores y otros elementos, los cuales han sido sometidos a un proceso de sobredimensionamiento. El objetivo primordial de este proyecto es minimizar los niveles de armónicos en el sistema eléctrico, lo cual, a su vez, favorecerá la mejora en la calidad de la energía proporcionada y la reducción de los tiempos de inactividad en los procesos de producción.

La investigación se fundamentará en una variedad de datos, incluyendo los planos estructurales, la recolección de información sobre las cargas que han sido instaladas, la identificación de los circuitos que se consideran más críticos, es decir, aquellos que sufren el impacto de elevados niveles de armónicos, así como la cuidadosa selección de parámetros específicos y la realización de mediciones adecuadas. Todo esto se realizará con el objetivo de proponer soluciones efectivas para minimizar el impacto de los armónicos en el sistema eléctrico de la fábrica.

#### **1.4. Delimitación del problema**

El presente trabajo de titulación está planeado para realizarlo en un plazo de 6 meses a partir de su aprobación que está estimado para el mes de noviembre del 2023.

Nos delimitaremos a realizar el estudio de las variables eléctricas y el simulador de calidad de energía obteniendo datos mediante pruebas, se utilizarán las instalaciones de la fábrica Chaide y Chaide S.A Planta Guayaquil., donde realizaremos un levantamiento técnico usando equipos de medición para la obtención de datos reales y equipos de protección personal precautelando nuestra seguridad y brindando la confianza para los empleados de la planta, también se utilizarán los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil campus Centenario para realizar la simulación de la red eléctrica, obtención de graficas.

Los trabajos de análisis realizados en cada tablero o transformador y las pruebas son los siguientes:

- Análisis de cargabilidad en el tablero.
- Determinar la potencia activa, reactiva y aparente promedio que consumen las cargas conectadas a cada uno de los transformadores durante un período de trabajo determinado.
- Determinar el factor de potencia promedio existente en los transformadores.
- Determinar el nivel y presencia de armónicos en los transformadores.
- Determinar la calidad de voltaje de los transformadores.
- Determinar los desbalances de voltajes existentes.
- Determinar los desbalances de corriente existentes.
- Determinar los factores Flicker de larga y corta duración.
- Determinar los desbalances de frecuencia.
- Simulación de armónicos de tensión y corriente.

### **1.5. Planteamiento del Problema**

La entidad empresarial identificada como Chaide y Chaide S.A. se especializa en la producción de una variedad de productos. La empresa Planta Guayaquil se especializa en la producción y distribución de una amplia gama de productos orientados al descanso, tales como colchones, ha estado enfrentando algunos problemas significativos en sus operaciones recientes. Esto se debe a que han estado llevando a cabo sus actividades de manera continua durante un período prolongado, lo que ha llevado a un aumento considerable en las cargas de trabajo en las diferentes áreas de sus procesos de producción en los últimos meses. Como consecuencia de esta situación, han surgido deficiencias que han afectado, en gran medida, sus instalaciones eléctricas, las cuales se ven impactadas por fenómenos eléctricos como los armónicos, que generan complicaciones en el funcionamiento de sus sistemas eléctricos.

Con base en las anomalías identificadas, se llevaron a cabo mediciones detalladas en el establecimiento conocido como Chaide y Chaide S.A. La Planta Guayaquil tiene como finalidad principal estudiar y analizar el comportamiento actual que se manifiesta en la fábrica, con el propósito de poder ofrecer sugerencias y recomendaciones que resulten en acciones eficaces. La entidad identificada como Chaide y Chaide S.A., especializada en la producción de una variedad de productos. La empresa Planta Guayaquil se especializa en la producción y distribución de una amplia gama de productos orientados al descanso, con el fin de optimizar la calidad de la energía empleada.

Se realizó la medición de diversos indicadores correspondientes a condiciones de estado estable, que abarcan el perfil de voltaje, la corriente y la distorsión armónica observada en la corriente, así como los valores máximos y mínimos de potencia y la distorsión armónica en el voltaje. A través de estas observaciones, se pudo constatar que hubo una notable disminución en el factor de potencia. Esta reducción da lugar a una serie de problemáticas, incluyendo una disminución en la eficiencia operativa de motores y equipos de protección, así como de transformadores, además de un aumento en la corriente y una disminución en los niveles de voltaje. Para lograr un rendimiento óptimo en las operaciones y minimizar los tiempos de inactividad en las actividades productivas, es esencial realizar un análisis detallado de la calidad de la energía eléctrica. Este estudio tiene como objetivo reducir la aparición de armónicos en las formas de onda de la corriente y el voltaje, dado que estos pueden tener un impacto adverso en la infraestructura eléctrica de la instalación industrial.

La realización de esta evaluación tiene como objetivo establecer un control eficaz sobre los diversos problemas que pueden presentarse en el entorno industrial. Para la elaboración de este diagnóstico, se utilizó como fundamento la información recolectada mediante el analizador de redes Fluke 438-II, dispositivo que facilita una evaluación exhaustiva de las condiciones eléctricas existentes. Con el propósito de realizar la simulación, se empleará el software denominado DIGSILENT. Este programa nos permitirá realizar un análisis de diversas curvas, así como examinar el comportamiento de los distintos armónicos generados por las cargas. Asimismo, DIGSILENT nos asistirá en la evaluación de las condiciones asociadas a la calidad de la energía.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo General**

Realizar una evaluación exhaustiva del contenido de armónicos en la fábrica Chaide y Chaide S.A. Planta Guayaquil con el propósito de mejorar la calidad de la energía eléctrica en las instalaciones de la empresa.

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- Cuantificar mediante el analizador de redes tipo FLUKE 438-II los armónicos presentes en el sistema eléctrico de la fábrica Chaide y Chaide S.A., analizando sus características, frecuencias y magnitudes.
- Evaluar los efectos de los armónicos en los equipos y sistemas eléctricos de la empresa, identificando posibles problemas y riesgos asociados.
- Calcular la capacidad de los filtros de armónicos en la fábrica Chaide y Chaide S.A.
- Proponer medidas correctivas y preventivas para mitigar estos efectos y mejorar la calidad de la energía suministrada.
- Simulación del contenido de armónico de redes con software Digsilent.

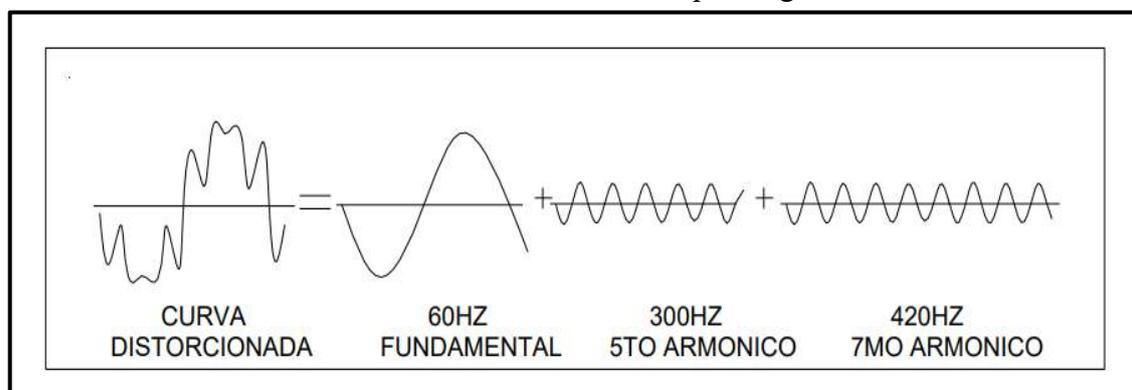
## CAPITULO II

### 2. Fundamentos teóricos

#### 2.1.1. Definición de armónicos eléctricos.

Los armónicos eléctricos pueden definirse como los elementos que constituyen una señal de corriente o voltaje. Estos componentes presentan frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental que define la red eléctrica. En términos alternativos, los armónicos representan frecuencias adicionales que se añaden a la frecuencia fundamental, generando una interacción compleja dentro de la señal que puede afectar el rendimiento de los sistemas eléctricos. La existencia de cargas no lineales en el sistema eléctrico puede resultar en la aparición de componentes adicionales, los cuales se reflejan en las formas de onda de la corriente y de la tensión. En un sistema eléctrico considerado ideal, tanto la forma de onda de la corriente como la de la tensión se manifestarían exclusivamente como ondas sinusoidales perfectas y puras. No obstante, en la práctica cotidiana de los sistemas eléctricos, la incorporación de cargas no lineales provoca la distorsión de las formas de onda, lo que resulta en la generación de armónicos que impactan el desempeño del sistema. [1].

**Fuente:** libro distorsión armónica por Eugenio Telles.



**Figura No. 1.** Armónicos eléctricos y sus efectos.

Los armónicos pueden ser generados por una variedad de dispositivos eléctricos y electrónicos, como variadores de frecuencia, rectificadores, fuentes de alimentación conmutadas, transformadores saturados, motores eléctricos con accionamientos electrónicos, y sistemas de iluminación con tecnología LED, entre otros. Estas cargas no lineales presentan una impedancia que varía con la tensión o la corriente aplicada, lo que resulta en corrientes armónicas que se inyectan en el sistema eléctrico.

La existencia de armónicos en un sistema eléctrico puede provocar diversos efectos perjudiciales e indeseables, tanto en el funcionamiento general del sistema como en el desempeño de los equipos que están conectados a él. Este fenómeno abarca una serie de problemas significativos que incluyen, entre otros, el sobrecalentamiento desmedido de transformadores y cables, lo que puede llevar a un deterioro prematuro y prematuro de los equipos eléctricos. Además, también se observa una notable reducción en la eficiencia energética de los sistemas, así como la interferencia electromagnética que afecta adversamente a los sistemas de comunicación y control. Por último, este caldo de cultivo de problemas en conjunto contribuye a la degradación general de la calidad de la energía [2].

Para llevar a cabo una evaluación adecuada de la cantidad de armónicos presentes en un sistema eléctrico, se recurre a una medida específica que se conoce comúnmente como Distorsión Armónica Total, abreviada como THD en inglés. Esta medida proporciona una indicación clara de la proporción que representan los armónicos en relación con la potencia total del sistema, en comparación con la potencia de la señal fundamental que sirve como base para la evaluación. Un elevado nivel de Distorsión Armónica Total (THD) señala la existencia de una cantidad considerable de distorsión armónica en el sistema eléctrico. Este fenómeno puede tener un efecto adverso sobre la calidad de la energía eléctrica proporcionada, lo que, a su vez, podría influir en el funcionamiento y la eficiencia de los dispositivos conectados. Por consiguiente, podría resultar indispensable la adopción de múltiples estrategias de mitigación con la finalidad de garantizar que la calidad de la energía se sostenga en umbrales adecuados, asegurando así un funcionamiento óptimo y sin contratiempos de los dispositivos.

### **2.1.2. Origen y causas de los armónicos en sistemas eléctricos.**

La generación de armónicos eléctricos es una consecuencia inherente a la existencia de cargas no lineales en los sistemas eléctricos, provocando distorsiones en la forma de onda de la corriente y produciendo así armónicos. Entre las cargas no lineales, los dispositivos notables incluyen variadores de frecuencia (VFD), rectificadores, fuentes de alimentación conmutadas, sistemas de iluminación LED y equipos de control electrónico.

Estos dispositivos, al no presentar una impedancia constante, generan corrientes armónicas debido a su naturaleza no lineal. Específicamente, los VFD, ampliamente utilizados para controlar la velocidad de motores eléctricos en aplicaciones industriales, son una fuente

significativa de armónicos debido a la modulación de ancho de pulso (PWM) que utilizan. Además, los transformadores saturados, los motores eléctricos alimentados por VFD, los sistemas de iluminación LED, los rectificadores y los cargadores de batería también contribuyen a la generación de armónicos en el sistema eléctrico. Estas fuentes de armónicos pueden agravar el problema, especialmente cuando operan cerca de su capacidad máxima o a cargas parciales, lo que puede tener un impacto negativo en la calidad de energía y el rendimiento del sistema eléctrico.[3].

Fuente: Grigsby, 2012.

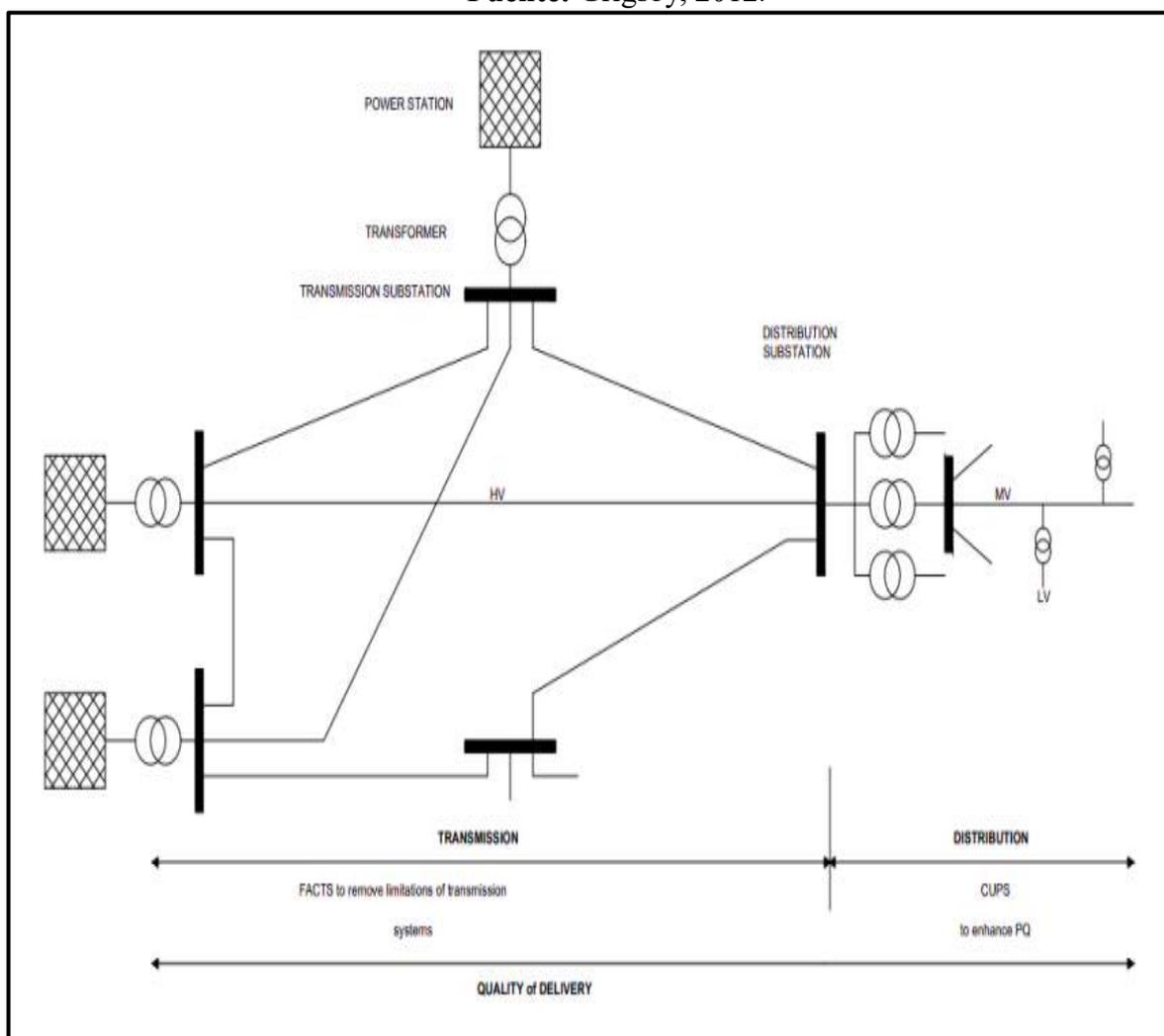


Figura No. 2. Diagrama simplificado del sistema eléctrico.

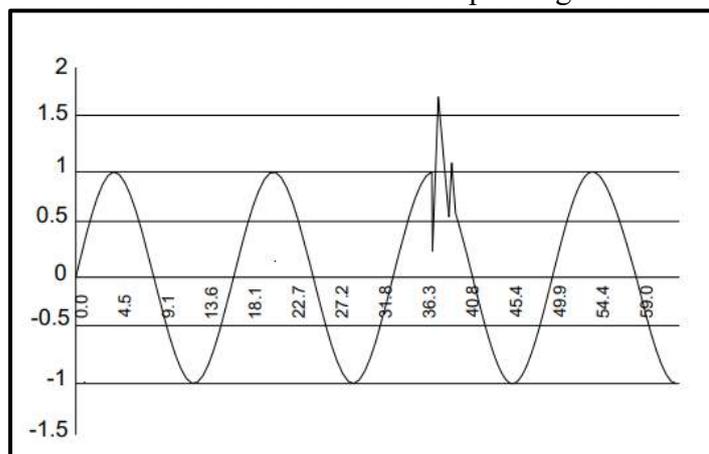
### 2.1.3. Efectos de los armónicos en la calidad de energía y los equipos eléctricos.

La presencia de armónicos en un sistema eléctrico puede dar lugar a diversos efectos adversos que afectan no solo la calidad de la energía suministrada, sino también el funcionamiento eficiente y la operatividad adecuada de los diversos equipos eléctricos

interconectados a dicho sistema. Entre los efectos más significativos y pertinentes que se pueden identificar, destaca de manera particular la distorsión que impacta la forma de onda tanto de la corriente eléctrica como de la tensión existente en el sistema eléctrico de manera general. Esta aberración en la señal eléctrica puede conducir a un deterioro considerable en la calidad de la energía eléctrica proporcionada. Este deterioro puede obstaculizar el rendimiento óptimo de los dispositivos conectados a esta red eléctrica, lo que, a su vez, podría provocar una serie de problemas y dificultades operativas que impactarían negativamente en el desempeño general de dichos dispositivos.

Los armónicos pueden causar sobrecalentamiento en transformadores y conductores, reducir la eficiencia de los equipos eléctricos y provocar fallos prematuros en componentes como capacitores, interruptores y fusibles. Además, pueden afectar negativamente la estabilidad y la fiabilidad del sistema eléctrico, aumentando el riesgo de cortocircuitos y daños en equipos sensibles.[4].

**Fuente:** libro distorsión armónica por Eugenio Telles.



**Figura No. 3.** Efecto en el voltaje por la conmutación de capacitores.

#### 2.1.4. Reducción de la Eficiencia Energética

La aparición de armónicos en la corriente eléctrica puede dar lugar a una variedad de efectos negativos en los sistemas eléctricos utilizados en entornos industriales. Entre estos efectos se encuentra el incremento de la temperatura en los conductores y transformadores, lo cual no solo acorta de manera significativa la vida útil de los equipos involucrados, sino que también incrementa notablemente el riesgo de que se produzcan fallos o averías de forma anticipada. Además de lo mencionado anteriormente, los armónicos en el sistema eléctrico

pueden generar pérdidas adicionales que no deben pasarse por alto. Esto se debe a que dichos armónicos pueden causar un calentamiento excesivo en los equipos que forman parte del sistema, lo que a su vez conlleva una disminución de la eficiencia energética general. Como consecuencia de esta ineficiencia, también se pueden ver incrementados los costos operativos, haciendo que la gestión del sistema sea más costosa a largo plazo. Las interferencias electromagnéticas generadas por los armónicos pueden perturbar sistemas de comunicación y control, como los sistemas CNC, mientras que las resonancias inducidas pueden causar problemas de sobretensión y sobre corriente, incrementando el riesgo de daños graves en los equipos eléctricos. Estos efectos destacan la necesidad de abordar los armónicos de manera efectiva para garantizar la seguridad, eficiencia y fiabilidad del suministro eléctrico en entornos industriales[5].

Fuente: Schneider, 2015.

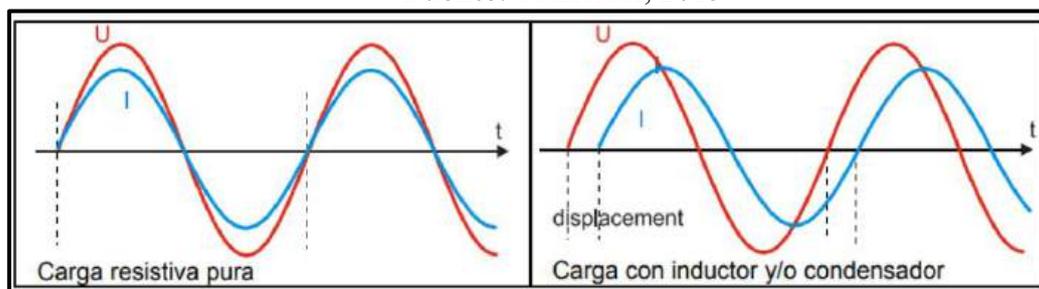


Figura No. 4. Tensión y corriente para cargas lineales.

### 2.1.5. Daños en Equipos Sensibles

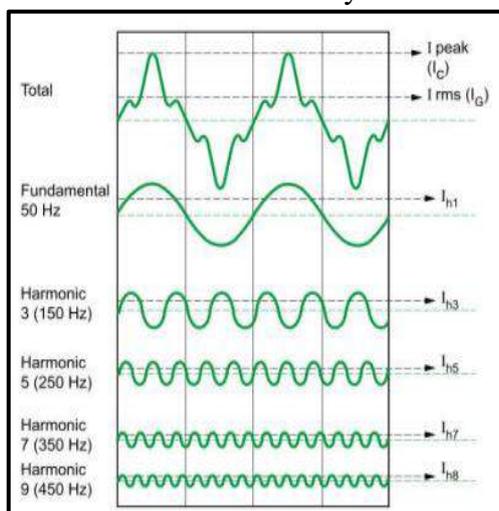
Los armónicos pueden causar daños en equipos electrónicos sensibles, como computadoras, servidores, equipos de telecomunicaciones y sistemas de control. La presencia de armónicos puede acortar la vida útil de estos equipos y aumentar la necesidad de mantenimiento y reparaciones. Los armónicos pueden tener una serie de efectos perjudiciales en la calidad de energía y en el funcionamiento de los equipos eléctricos en una planta industrial. Por lo tanto, es crucial identificar y mitigar los armónicos para garantizar un suministro eléctrico seguro, confiable y eficiente, así como para proteger la integridad de los equipos conectados[6].

### 2.1.6. Medición y análisis del contenido de armónicos.

La evaluación cuidadosa y el estudio detallado del contenido de armónicos presentes en un sistema eléctrico constituyen etapas esenciales e ineludibles que permiten adquirir una comprensión más profunda acerca de la calidad de la energía. Además, estos procesos son

cruciales para identificar y prever los posibles inconvenientes o dificultades que pueden surgir debido a la presencia de armónicos en dicho sistema. Este procedimiento abarca la identificación y elección de puntos críticos que son fundamentales para la medición, tales como los paneles de distribución eléctrica y los transformadores. Estos dispositivos son utilizados para capturar y registrar la forma de onda tanto de la corriente como de la tensión que se presenta en el sistema eléctrico. Una vez que han sido adecuadamente configurados, estos dispositivos se encargan de registrar de manera continua e ininterrumpida los datos durante un periodo de tiempo específico que se ha determinado previamente. Posteriormente, esos datos recopilados se someten a un análisis detallado con el objetivo de identificar la presencia de armónicos para evaluar la magnitud de dichos armónicos en el sistema. Este análisis abarca de manera detallada el cálculo de varios parámetros, entre los cuales se destaca la Distorsión Armónica Total (THD). Esta última es un indicador crucial que expresa la relación entre la potencia total de los armónicos presentes en una señal y la potencia de la señal fundamental, lo que permite evaluar la calidad y la fidelidad de la señal en cuestión. Los resultados obtenidos se utilizan para realizar un análisis exhaustivo de la calidad de la energía eléctrica, así como para determinar si los armónicos presentes están afectando de manera adversa el desempeño óptimo de los equipos y dispositivos conectados a la red. En caso de obtener una respuesta afirmativa, es plausible que se implementen diversas medidas correctivas, las cuales podrían abarcar, entre otras, la instalación de dispositivos destinados a la filtración de armónicos o la realización de modificaciones en la configuración de las cargas eléctricas, con el propósito de disminuir o mitigar los efectos negativos que tales fenómenos pueden ocasionar. [7].

**Fuente:** W. D. S. Montalvo y C. A. R. Jara.



**Figura No. 5.** Armónicos de orden 3,5,7,9.

### 2.1.7. Distorsión armónica total (THD) y su importancia en la evaluación de armónicos.

La Distorsión Armónica Total, comúnmente referida por su acrónimo en inglés THD, constituye una métrica fundamental en el análisis y la valoración de los armónicos en sistemas eléctricos. Este parámetro es fundamental, dado que proporciona información significativa sobre la magnitud de la distorsión que impacta la forma de onda de la tensión o corriente, la cual es ocasionada por la generación y la presencia de armónicos en el sistema. En calidad de un indicador global de distorsión, el Total Harmonic Distortion (THD) cuantifica la relación entre la potencia total de los armónicos y la potencia de la señal fundamental. Este índice facilita la evaluación del cumplimiento de los niveles de distorsión respecto a los estándares y normativas vigentes, tales como IEEE 519 e IEC 61000-2-4. Además, una THD elevada puede indicar problemas de calidad de energía, como la presencia de cargas no lineales, lo que puede afectar el funcionamiento de equipos sensibles y la eficiencia energética. Al proporcionar una medida cuantitativa de la magnitud de la distorsión, la THD permite identificar áreas críticas en el sistema donde se pueden estar generando armónicos, facilitando la implementación de medidas correctivas. Posteriormente, la THD se utiliza para monitorear la eficacia de las soluciones de mitigación, como filtros de armónicos, al verificar cualquier reducción en la distorsión armónica después de su implementación[8].

Fuente: Schneider, 2015.

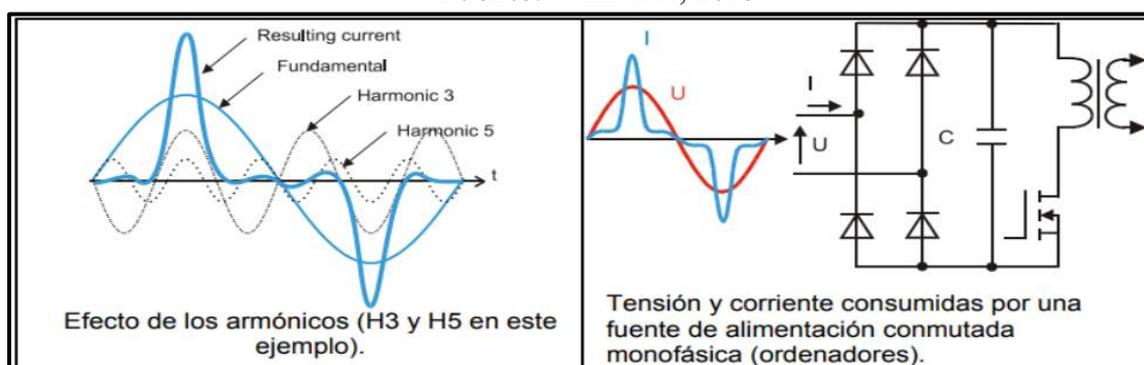


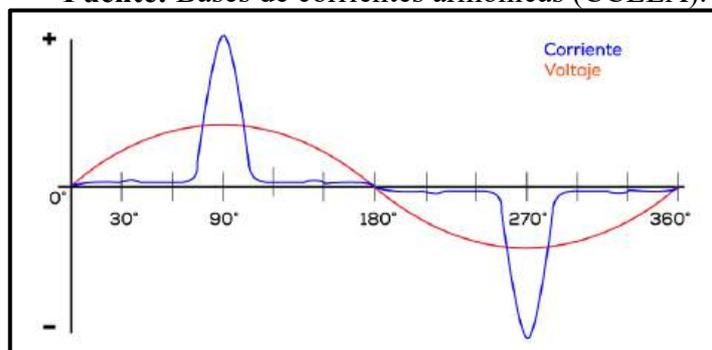
Figura No. 6. Corriente consumida por carga no lineales.

### 2.1.8. Cargas no lineales y su contribución a la generación de armónicos.

Las cargas no lineales se definen como dispositivos, ya sean eléctricos o electrónicos, en los cuales la relación entre la tensión aplicada y la corriente que circula no se comporta de manera lineal. Esto implica que, al modificar la tensión, la corriente no exhibe un comportamiento predecible o proporcional. Como consecuencia de este comportamiento no

lineal, se generan distorsiones en la forma de onda de la corriente que circula, lo que, a su vez, favorece la aparición de armónicos en el sistema eléctrico. Entre los ejemplos más comunes presentes en la industria y en aplicaciones eléctricas se incluyen dispositivos tales como los variadores de frecuencia, frecuentemente denominados VFD, los rectificadores, las fuentes de alimentación conmutadas y, finalmente, los sistemas de iluminación LED, que han alcanzado una notable popularidad debido a su eficiencia energética. Al establecer una conexión con la red eléctrica, estas cargas eléctricas extraen una corriente que, en lugar de seguir el patrón sinusoidal ideal que se podría esperar, presenta una forma de onda que se desvía de esa norma, lo que resulta en la generación de componentes armónicos adicionales que pueden afectar el rendimiento del sistema. La influencia que ejerce sobre la distorsión armónica está determinada por diversos elementos, tales como la intensidad de la carga y la frecuencia a la que se realiza la conmutación. Este comportamiento no lineal puede afectar la calidad de energía, causando problemas en equipos sensibles, sobrecalentamiento de conductores y deterioro de la eficiencia energética. Por tanto, es esencial identificar y mitigar los efectos de las cargas no lineales para garantizar un suministro eléctrico seguro, confiable y eficiente[9].

**Fuente:** Bases de corrientes armónicas (CCEEA).



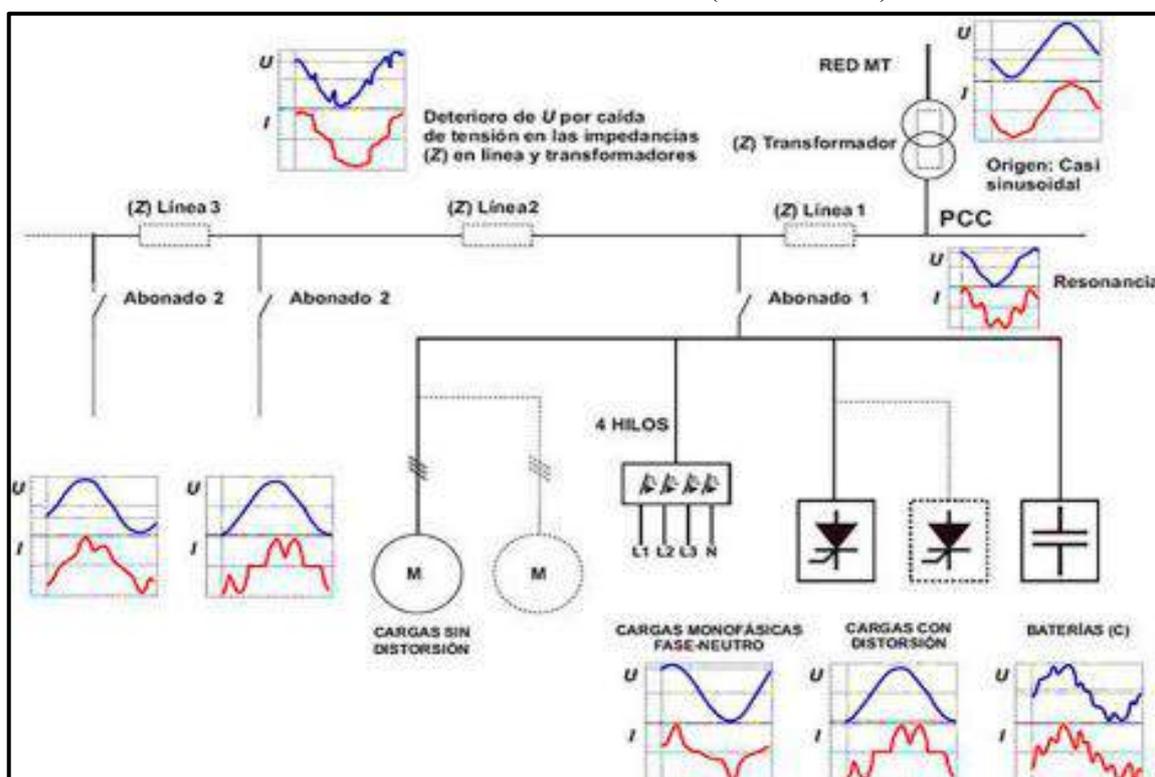
**Figura No. 7.** Comportamiento no lineal.

#### **2.1.9. Técnicas de mitigación de armónicos: filtros, transformadores especiales, etc.**

La mitigación de armónicos es crucial para gestionar la eficacia de energía eléctrica en entornos industriales y comerciales, y diversas técnicas y dispositivos están disponibles para este fin. Los filtros de armónicos pasivos y activos, diseñados para atenuar selectivamente ciertos armónicos, se destacan como herramientas efectivas. Mientras los primeros utilizan bancos de capacitores y bobinas para desviar armónicos del sistema, los segundos emplean tecnología electrónica avanzada para generar una corriente compensadora que cancela los armónicos no deseados[10].

Además, los transformadores especiales, como los de zigzag, y la preferencia por cargas lineales sobre no lineales son estrategias comunes. Incluso, modificar el diseño del sistema eléctrico, como reconfigurar la distribución de cargas, puede ser una opción. No obstante, el seguimiento constante y el análisis de datos son fundamentales para valorar la eficacia de las estrategias de mitigación y para implementar acciones correctivas cuando sea pertinente. Estas técnicas no solo aseguran un suministro eléctrico seguro y confiable, sino que también optimizan la eficiencia energética de acuerdo con las necesidades particulares de cada instalación.

**Fuente:** Armónicos eléctricos (CIRCUTOR).



**Figura No. 8 .** Medición y Análisis de armónicos.

## 2.2. Normativas y estándares relacionados con la calidad de energía y los armónicos.

Las regulaciones y los criterios establecidos en relación con la calidad de la energía eléctrica y los armónicos son esenciales para asegurar que se mantenga un suministro eléctrico que sea tanto seguro como confiable. Esto es crucial para prevenir problemas técnicos y garantizar el buen funcionamiento de los equipos que dependen de una electricidad estable. Entre las diversas regulaciones que se encuentran en vigor, sobresalen ciertas normas internacionales de gran relevancia, como la IEEE 519, la cual determina y establece límites específicos para la distorsión armónica que puede presentarse en los sistemas de

distribución de energía eléctrica. Además, destaca la norma IEC 61000-2-4, que tiene como objetivo definir criterios exigentes de calidad de energía destinados a los sistemas que están conectados a la red pública de electricidad [11]. Además, normativas locales y regionales suelen complementar estas normas internacionales para adaptarse a las condiciones específicas de cada área geográfica. El cumplimiento de estas normativas no solo asegura la efectividad de la energía, sino que también promueve la interoperabilidad entre equipos y facilita la resolución de problemas relacionados con armónicos y otros aspectos de la calidad de energía.

### **2.2.1. IEEE 519**

La norma IEEE 519 reviste una importancia crucial en la investigación debido a su papel fundamental en el establecimiento de límites y criterios para la distorsión armónica en sistemas de distribución de energía eléctrica[12]. Al ofrecer orientaciones precisas y detalladas respecto a los niveles tolerables de armónicos en el sistema eléctrico, esta normativa capacita a los investigadores para analizar la calidad energética y desarrollar estrategias eficaces para la mitigación de armónicos. Su implementación no solo asegura un suministro eléctrico confiable y seguro, sino que también facilita la interoperabilidad entre diversos equipos y sistemas eléctricos, lo que a su vez favorece el desarrollo sostenible y eficiente de las infraestructuras energéticas.

### **2.2.2. IEC 61000-2-4 - Electromagnetic compatibility (EMC)**

La norma IEC 61000-2-4, dentro del ámbito de la compatibilidad electromagnética (EMC), desempeña un papel crucial en la investigación al establecer criterios y directrices para evaluar la energía en sistemas conectados a la red pública[13]. Al establecer de manera detallada los parámetros que rigen la calidad de la energía eléctrica y los valores máximos permitidos para fenómenos como los armónicos, las variaciones en la tensión y las interrupciones en el suministro de electricidad, esta norma ofrece un valioso marco de referencia internacional. Este marco es de gran utilidad tanto para investigadores como para profesionales que operan en el ámbito del sector eléctrico, ya que les permite contar con criterios uniformes y reconocidos para evaluar y mejorar la calidad de la energía. La herramienta que ha sido desarrollada desempeña un papel fundamental en la garantía de un suministro eléctrico que no solo sea confiable, sino también de una calidad superior. Al hacerlo, incentiva la interoperabilidad entre diversos equipos y sistemas eléctricos, lo que a

su vez permite el avance en la creación de tecnologías innovadoras y soluciones efectivas. Esto tiene como objetivo no solo mejorar la eficiencia, sino también aumentar la fiabilidad general de las redes eléctricas, asegurando así un futuro más sostenible y eficiente en la gestión de la energía.

### **2.2.3. IEC 61000-3-2**

La norma conocida como IEC 61000-3-2, que forma parte de la extensa serie de estándares relacionados con la compatibilidad electromagnética, comúnmente abreviada como EMC, tiene una relevancia significativa en el ámbito de la investigación. Esto se debe a que su principal objetivo es establecer directrices para la limitación de las corrientes armónicas que pueden presentarse en distintos sistemas eléctricos, lo cual es crucial para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro de dichos sistemas. Esta normativa particular define un conjunto de restricciones que deben ser observadas en referencia a las corrientes armónicas producidas por diversos dispositivos eléctricos y electrónicos conectados a la red de suministro de energía eléctrica [14]. Al definir de forma clara y precisa estos límites específicos, la norma IEC 61000-3-2 proporciona un marco de referencia fundamental que es crucial para la evaluación y la mitigación de los efectos adversos que las corrientes armónicas pueden ejercer sobre la calidad de la energía eléctrica suministrada. La implementación de su aplicación es de vital relevancia y fundamental para garantizar un suministro eléctrico que sea no solo confiable, sino también de alta calidad. Asimismo, esta herramienta desempeña una función fundamental en la promoción de la interoperabilidad y la compatibilidad entre una variedad de equipos y sistemas eléctricos, lo que favorece su adecuada integración y operación conjunta.

### **2.2.4. IEEE 1547**

La norma IEEE 1547 es de suma importancia en la investigación debido a su enfoque en la interconexión de sistemas de generación distribuida con las redes eléctricas. Esta norma define los criterios técnicos y de seguridad necesarios para la integración de fuentes de energía renovable, tales como los sistemas fotovoltaicos y los aerogeneradores, a las redes eléctricas preexistentes [15]. Al establecer los criterios y lineamientos necesarios para la interconexión, la norma IEEE 1547 asegura que la integración de la generación distribuida dentro del sistema eléctrico se realice de manera segura y eficiente. De este modo, fomenta la adopción de fuentes de energía renovables y contribuye a la modernización y mejora de

las infraestructuras eléctricas existentes. La implementación de su aplicación resulta ser de suma importancia para garantizar tanto la estabilidad como la confiabilidad del suministro de energía eléctrica. Además, juega un papel crucial en la promoción de una transición eficaz hacia un sistema eléctrico que sea no solo más sostenible, sino también más resistente frente a diversas contingencias.

### **2.2.5. EN 61000-3-12**

La norma europea EN 61000-3-12 se considera un elemento fundamental en el ámbito de la investigación, ya que se centra en la regulación y limitación de las corrientes armónicas presentes en sistemas eléctricos que operan a baja tensión. Esta norma es esencial para garantizar la eficiencia y el correcto funcionamiento de los equipos eléctricos, así como para minimizar posibles interferencias y mejorar la calidad de la energía eléctrica en aplicaciones diversas. Esta normativa establece y especifica los límites que deberían observarse respecto a las corrientes armónicas que son producidas por equipos que presentan una carga no lineal. Entre estos equipos se encuentran computadoras, sistemas de iluminación y una variedad de otros dispositivos electrónicos que están conectados a la red de suministro eléctrico [16]. Al implementar estos límites específicos, la norma europea EN 61000-3-12 ofrece un marco de referencia fundamental que resulta crucial para la evaluación y la reducción de los efectos negativos que las corrientes armónicas. La implementación de su aplicación resulta ser de suma importancia para asegurar la disponibilidad de un suministro de electricidad que no solo sea confiable, sino que también cuente con altos estándares de calidad. Además, desempeña un papel crucial en fomentar la interoperabilidad y la compatibilidad entre los diversos equipos y sistemas eléctricos que se utilizan en la actualidad.

### **2.3. Herramientas de simulación y modelado para el análisis de armónicos**

Las herramientas de simulación y modelado juegan un papel crucial en el análisis de armónicos en sistemas eléctricos, ofreciendo a ingenieros y técnicos la capacidad de evaluar la calidad de energía, identificar problemas de armónicos y diseñar medidas de mitigación de manera eficiente y precisa. Estas herramientas, que van desde software de simulación de circuitos eléctricos hasta programas especializados en análisis de calidad de energía, permiten ajustar la respuesta de los sistemas eléctricos ante la presencia de armónicos, analizar la propagación de armónicos a lo largo de la red eléctrica y evaluar el impacto de diferentes escenarios operativos[17]. Al proporcionar una representación virtual de los sistemas eléctricos, estas herramientas permiten realizar análisis exhaustivos sin la necesidad

de intervención directa en los sistemas reales, lo que resulta en un ahorro de tiempo y costos significativos en el desarrollo de soluciones de mitigación y optimización de la energía.

### 2.3.1. Software de Análisis de Redes Eléctricas

El software especializado en el análisis de redes eléctricas, como es el caso de DigSilent, constituye una herramienta fundamental y esencial en la investigación y el estudio detallado de los armónicos que aparecen en los distintos sistemas eléctricos. Estas plataformas brindan una extensa variedad de características y herramientas que permiten a los usuarios modelar, simular y llevar a cabo un análisis detallado del comportamiento de los sistemas eléctricos, especialmente en situaciones donde se presentan armónicos. Mediante el uso de software especializado como DigSilent y otras herramientas similares, los ingenieros eléctricos tienen la capacidad de crear modelos detallados y precisos de redes eléctricas. Estos modelos no solo incorporan cargas no lineales, sino que también incluyen dispositivos que generan armónicos, los cuales pueden afectar significativamente la calidad de la energía. [18].

Fuente: MATOS.

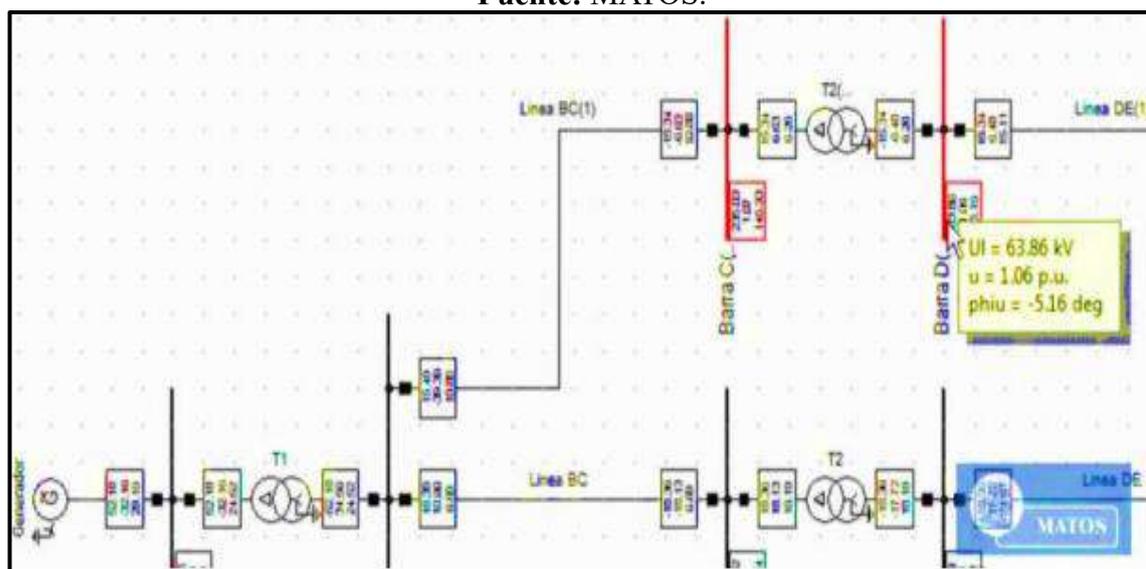


Figura No. 9. Simulación de sistemas de potencia en Digsilent.

### 2.3.2. Impacto económico de los armónicos en instalaciones industriales.

El impacto económico de los armónicos en instalaciones industriales puede ser significativo y abarca varios aspectos que afectan tanto los costos operativos como los de mantenimiento. La presencia de armónicos puede causar un aumento en las pérdidas de energía debido al calentamiento adicional de los conductores, transformadores y equipos eléctricos, lo que resulta en un mayor consumo de energía eléctrica y, por lo tanto, en costos operativos más

altos[19]. Además, los daños en equipos sensibles y las multas por incumplimiento de normativas pueden agregar costos adicionales a la operación. Por tanto, la gestión adecuada de los armónicos es esencial para mitigar estos impactos económicos y garantizar la eficiencia operativa y la rentabilidad a largo plazo de una instalación industrial.

### **2.3.3. Evaluación de riesgos asociados con la presencia de armónicos.**

Evaluar los riesgos asociados con la presencia de armónicos en instalaciones industriales es importante para identificar y reducir posibles impactos negativos en las operaciones y la seguridad. Algunos riesgos incluyen el sobrecalentamiento del dispositivo, que puede provocar daños, cortocircuitos e incendios, así como una reducción de la vida útil del dispositivo debido al estrés adicional causado por la distorsión de la forma de onda actual. Además, la inestabilidad en el sistema eléctrico puede provocar fluctuaciones de voltaje y problemas en la calidad de la energía, afectando el funcionamiento de equipos sensibles.[20]. La interferencia electromagnética generada por los armónicos puede perturbar el funcionamiento de equipos de comunicación y control, mientras que los daños en equipos sensibles pueden ocasionar pérdidas de datos y costos adicionales de reparación. El hecho de no cumplir con las normativas y estándares establecidos puede acarrear consecuencias serias, como la imposición de multas económicas, lo cual podría afectar su imagen ante los clientes y socios comerciales. Para poder enfrentar y gestionar de manera efectiva los riesgos asociados, resulta imprescindible un análisis profundo de la energía. Este análisis deberá incluir la identificación precisa de las diversas fuentes de armónicos que pueden afectar el sistema. A partir de estos hallazgos, será fundamental implementar medidas de mitigación que sean adecuadas, entre las cuales se destacan la instalación de filtros diseñados específicamente para contrarrestar los armónicos indeseados y la elección cuidadosa de equipos que se alineen con los requerimientos de calidad de energía.

### **2.3.4. Soluciones de ingeniería para reducir la emisión de armónicos en instalaciones industriales.**

Con el objetivo de disminuir la cantidad de armónicos que se emiten en las instalaciones industriales, es posible llevar a cabo la implementación de diversas soluciones de ingeniería que han sido específicamente diseñadas y desarrolladas para ayudar a mitigar tanto la generación como la propagación de armónicos dentro del sistema eléctrico en cuestión. Entre las diversas alternativas que se pueden considerar para abordar este problema, se encuentran las soluciones que implican la instalación de filtros de armónicos pasivos. Estos filtros están

específicamente diseñados para reducir de manera selectiva la presencia de ciertos armónicos problemáticos en el sistema. Además, también se ofrecen filtros de armónicos activos, los cuales utilizan tecnología electrónica avanzada con el propósito de cancelar de forma efectiva aquellos armónicos no deseados que pudieran estar interfiriendo en el desempeño óptimo del sistema. [21]. La utilización de transformadores especiales, como transformadores de zigzag o transformadores con devanado secundario conectado en delta, puede ayudar a minimizar la propagación de armónicos. Para equipos sensibles que generan armónicos, como variadores de frecuencia y rectificadores, se pueden instalar limitadores de armónicos. También es importante considerar el diseño y la selección adecuada de equipos eléctricos, así como la optimización del diseño de la red eléctrica, para reducir la emisión de armónicos. Al llevar a cabo la implementación de estas soluciones, resulta fundamental realizar un examen exhaustivo y minucioso de la calidad de energía que se presenta en la instalación. Además, es necesario diseñar y establecer medidas de mitigación adecuadas y específicas con el objetivo de asegurar un suministro eléctrico que sea no solo seguro, sino también confiable, especialmente en los contextos y entornos industriales donde se requiere un funcionamiento óptimo y continuo.

### **2.3.5. Implementación de sistemas de monitorización y control de armónicos.**

La puesta en práctica de sistemas destinados a la monitorización y el control de armónicos es de suma importancia para asegurar una calidad óptima de la energía eléctrica. Además, esta implementación es crucial en la disminución de los efectos negativos que los armónicos pueden ocasionar en las instalaciones industriales, contribuyendo así a su correcto funcionamiento y eficiencia. El proceso de implementación comienza con la evaluación de requisitos y necesidades específicas, seguido de la selección e instalación de equipos de monitorización de calidad de energía. Luego, se configuran los parámetros de medición y se analizan los datos recopilados para identificar la presencia de armónicos y su impacto en la instalación[22]. Con base en estos resultados, se implementan medidas de control adecuadas, como la instalación de filtros de armónicos y la optimización de la distribución de cargas.

### **2.3.6. Investigación sobre tecnologías emergentes para la mitigación de armónicos.**

Active Harmonic Filters: A Review and Trends: Este estudio proporciona un análisis exhaustivo de los filtros armónicos activos, resaltando su eficacia en la reducción de armónicos en sistemas eléctricos industriales. Además, identifica tendencias emergentes en el diseño y la implementación de estos filtros, lo que incluye avances tecnológicos, nuevas

aplicaciones y desafíos asociados[23]. Por otro lado, *Recent Advances in Harmonic Mitigation Techniques: A Review*, El artículo ofrece una visión general de las técnicas contemporáneas de mitigación de armónicos, evaluando tanto sus beneficios como sus limitaciones. Además, examina las aplicaciones industriales de estas tecnologías y subraya la importancia de mejorar la calidad de la energía para asegurar el funcionamiento eficiente de los sistemas eléctricos.[24]. Asimismo, *Recent Trends in Harmonic Mitigation Techniques for Power Quality Improvement: A Review*, Esta revisión resalta los desarrollos más recientes en técnicas para la reducción de armónicos y su influencia en el incremento de la calidad de energía. Examina detalladamente las aplicaciones prácticas de estas tecnologías en sistemas de distribución de energía y resalta su papel en la optimización del rendimiento del sistema. *An Overview of Harmonics Mitigation Techniques and Their Comparative Analysis*, El artículo ofrece una descripción general de las técnicas de mitigación de armónicos, presentando un análisis comparativo de su eficacia, costos y aplicaciones[25]. Enfatiza la relevancia de elegir la técnica más adecuada según las necesidades particulares de la instalación y resalta la importancia de la calidad de energía para una operación segura y eficiente.

### **2.3.7. Concepto y definición de calidad de energía eléctrica.**

La eficacia de la energía eléctrica hace referencia a la situación o estado en el cual se proporciona la electricidad a los usuarios finales, asegurando que ésta cumpla con los estándares y requisitos específicos que han sido establecidos. Esto es fundamental para que los equipos eléctricos y electrónicos puedan funcionar de manera segura, confiable y eficiente, evitando inconvenientes relacionados con la interrupción o la variación en el suministro eléctrico. Este concepto engloba una variedad considerable de aspectos relacionados con la energía. Entre estos aspectos se encuentran la estabilidad tanto del voltaje como de la frecuencia, así como la necesidad de garantizar que no existan interrupciones en el suministro eléctrico. También es fundamental evitar fluctuaciones y transitorios, que podrían afectar negativamente el funcionamiento de los dispositivos conectados [11]. En un marco más extenso y general, está intrínsecamente vinculado a la habilidad del sistema eléctrico para proporcionar una forma de energía que no solo sea confiable, sino también exenta de cualquier tipo de anomalías o irregularidades que pudieran perjudicar de manera adversa el funcionamiento de equipos y procesos en diversos entornos, ya sean industriales, comerciales o de uso doméstico. Este aspecto es fundamental, ya que asegura un rendimiento

óptimo y seguro de toda la infraestructura eléctrica, así como de los dispositivos diversos que están conectados a dicha red eléctrica.

## **2.4. Parámetros de calidad de energía: tensión, frecuencia, distorsión armónica, etc.**

### **2.4.1. Tensión**

La tensión eléctrica, a menudo referida como el voltaje, actúa como la fuerza motriz que facilita y promueve el movimiento del flujo de corriente a lo largo de los diversos componentes y trayectorias de los circuitos eléctricos. En el ámbito específico de la energía, resulta de suma importancia que la estabilidad de la tensión se mantenga en niveles adecuados, ya que esto es fundamental para asegurar que el suministro de electricidad sea tanto constante como confiable y, de esta manera, se eviten interrupciones que puedan afectar el funcionamiento de diversos equipos y sistemas [26]. Las fluctuaciones en la tensión eléctrica, que incluyen fenómenos como los sags, que se refieren a las caídas temporales de voltaje, así como los swells, que son aumentos momentáneos de la tensión, tienen la capacidad de influir negativamente en el correcto funcionamiento de dispositivos y maquinarias sensibles. Esto, a su vez, puede ocasionar fallos o interrupciones en los procesos industriales que dependen de un suministro eléctrico estable y constante.

### **2.4.2. Frecuencia**

La frecuencia eléctrica se refiere al número de ciclos que se producen por segundo en el flujo de corriente alterna. Este parámetro es fundamental, ya que refleja la estabilidad y consistencia del suministro eléctrico. En los sistemas de generación y distribución de energía conectados a la red eléctrica, la frecuencia nominal estándar suele fijarse en 50 o 60 hertzios, según la normativa y la región correspondiente. [27]. Las fluctuaciones que se observan en la frecuencia pueden ser un indicativo de la existencia de problemas tanto en la generación de energía como en la estabilidad del sistema eléctrico en su conjunto. Estas variaciones son significativas porque pueden influir negativamente en el correcto funcionamiento de los equipos conectados a dicho sistema.

### **2.4.3. Importancia de la calidad de energía en instalaciones industriales.**

Esta importancia desempeña un papel crucial en las instalaciones industriales, ya que afecta directamente la operación segura, eficiente y confiable de los equipos y procesos. En un entorno industrial, donde se encuentran una variedad de cargas críticas y sensibles, como

motores, variadores de velocidad, sistemas de control y equipos de automatización, cualquier desviación en la calidad de energía puede tener consecuencias significativas[28].

La estabilidad de tensión y frecuencia, la ausencia de interrupciones y variaciones bruscas, y la minimización de la distorsión armónica son aspectos fundamentales para garantizar un funcionamiento óptimo de los equipos industriales. La existencia de una calidad de energía que se considera deficiente o inadecuada puede provocar una serie de problemas significativos en el funcionamiento de los equipos y maquinaria. Esto puede resultar en fallos en los equipos, lo que a su vez genera pérdidas en la producción, períodos de inactividad que son costosos para la operación, y posibles daños a los activos, lo cual puede tener un efecto adverso considerable en la productividad general y en la rentabilidad del establecimiento o instalación en cuestión. En consecuencia, es fundamental destacar que la relevancia en las instalaciones industriales se debe a su efecto inmediato y significativo sobre diversos aspectos cruciales, tales como la eficiencia operativa, la productividad general y, por ende, la competitividad del negocio en el mercado actual.

#### **2.4.4. Impacto de la calidad de energía en la operación y mantenimiento de equipos eléctricos.**

La calidad de la energía eléctrica desempeña un papel fundamental y multifacético, afectando de diversas maneras tanto la operación como el mantenimiento de los equipos eléctricos que se utilizan en instalaciones industriales. Este aspecto es crucial para garantizar un funcionamiento eficiente y prolongar la vida útil de los sistemas eléctricos involucrados. Es de suma importancia asegurar que se mantenga un nivel adecuado de calidad en la energía, ya que esto resulta fundamental para lograr la fiabilidad en las operaciones de la empresa. Además, un suministro energético de calidad contribuye considerablemente a extender la duración y la funcionalidad de los equipos utilizados. Para lograrlo, resulta fundamental considerar detenidamente los aspectos que se detallan a continuación:

#### **2.4.5. Fiabilidad y Disponibilidad**

La fiabilidad y disponibilidad de los equipos eléctricos en una instalación industrial están estrechamente ligadas al sistema energético. Interrupciones inesperadas en el suministro eléctrico debido a problemas como fluctuaciones de tensión, interrupciones momentáneas o armónicos pueden causar tiempos de inactividad no planificados[29]. Estos períodos de

inactividad no solo afectan la producción y la productividad, sino que también pueden generar costos adicionales asociados con la pérdida de producción y la reparación de equipos dañados.

#### **2.4.6. Vida Útil de los Equipos**

La presencia de anomalías en el sistema energético, como armónicos, puede sobrecargar los componentes internos de los equipos, aumentando así el desgaste y reduciendo su vida útil[30]. Esto puede resultar en una mayor frecuencia de fallas y la necesidad de realizar mantenimiento preventivo o correctivo con mayor frecuencia, lo que a su vez aumenta los costos operativos.

#### **2.4.7. Eficiencia Energética**

El sistema energético también afecta la eficiencia energética de los equipos eléctricos. Por ejemplo, la distorsión armónica puede provocar pérdidas adicionales en los transformadores y cables debido al calentamiento excesivo, lo que resulta en un mayor consumo de energía[31]. Además, variaciones de tensión fuera de los límites especificados pueden hacer que los equipos funcionen de manera menos eficiente, consumiendo más energía de la necesaria para realizar una tarea determinada.

#### **2.4.8. Rendimiento y Calidad del Producto**

En una amplia variedad de industrias, la calidad del producto que se produce al final del proceso está influenciada de manera significativa por la exactitud y la consistencia en los diferentes procedimientos de fabricación que se implementan. Esta situación puede llevar a la generación de productos que presenten defectos, lo que a su vez podría ocasionar el rechazo de unidades durante el proceso de producción y, como consecuencia, resultar en una pérdida significativa de la confianza que los clientes tienen en la marca.

### **2.5. Evaluación del costo económico de la mala calidad de energía.**

La evaluación se vuelve fundamental para poder comprender de manera clara y precisa el impacto financiero que esta situación puede tener en las operaciones industriales que dependen de una energía de calidad adecuada para su funcionamiento. Los costos asociados con la pérdida de productividad debido a tiempos de inactividad, reparación y reemplazo de equipos dañados, aumento del consumo de energía, pérdida de clientes y multas por

incumplimiento de estándares de calidad pueden ser significativos y afectar negativamente la rentabilidad y la competitividad de una empresa[32].

### **2.5.1. Estrategias de gestión de la calidad de energía en instalaciones industriales.**

La adecuada y eficaz administración de la calidad de la energía en entornos industriales resulta ser de suma importancia para asegurar que se disponga de un suministro eléctrico que no solo sea confiable, sino también altamente eficiente. Las diversas estrategias que se utilizan para la gestión eficiente y eficaz en el ámbito eléctrico abarcan una serie de acciones que incluyen, pero no se limitan a, el análisis continuo y metódico, así como el monitoreo constante. Además, se busca la implementación de dispositivos de protección que sean capaces de resguardar el sistema contra eventos perturbadores tales como las sobretensiones y los transitorios eléctricos.

También se enfocan en el mejoramiento del factor de potencia a través del establecimiento y uso de sistemas diseñados específicamente para la compensación de energía reactiva. Otro aspecto importante es el filtrado de armónicos para asegurar que la energía sea lo más pura posible. Asimismo, se incluyen acciones como la regulación del voltaje mediante reguladores automáticos o estáticos, así como una planificación cuidadosa y meticulosa del sistema eléctrico en su totalidad. Por último, es esencial proporcionar capacitación al personal, asegurando que estén bien preparados y entrenados en medidas efectivas de gestión y respuesta ante situaciones imprevistas. [33]. Al implementar estas estrategias, las instalaciones industriales pueden optimizar la confiabilidad y eficiencia de su sistema eléctrico, reducir tiempos de inactividad no planificados y costos asociados, y mantener la continuidad de sus operaciones de manera efectiva.

### **2.5.2. Tecnologías de monitorización y control de la calidad de energía.**

Las innovadoras tecnologías destinadas a la monitorización y control de la calidad energética proporcionan herramientas sofisticadas y perfeccionadas, que facilitan la supervisión detallada y la gestión eficiente del suministro eléctrico en diversas instalaciones de carácter industrial. Estas soluciones permiten a las empresas garantizar que la energía utilizada se mantenga dentro de parámetros óptimos, asegurando así un funcionamiento fluido y un rendimiento eficaz de sus operaciones. Entre estas innovadoras tecnologías se encuentran los sistemas de supervisión remota, que tienen la capacidad de recopilar información en tiempo real acerca de diversos parámetros eléctricos, tales como la tensión, la corriente, la

frecuencia y los armónicos. Esto facilita la identificación temprana de cualquier tipo de inconvenientes relacionados con la calidad de la energía [34]. Adicionalmente, los sistemas de control automático tienen la capacidad de intervenir de manera automática con el fin de corregir cualquier desviación que se produzca fuera de los límites que han sido previamente establecidos. Esto incluye, por ejemplo, la posibilidad de realizar ajustes en los reguladores de voltaje o incluso la activación de dispositivos diseñados para la compensación de energía reactiva, asegurando así un funcionamiento óptimo y eficiente del sistema. Estas soluciones completas y bien estructuradas ofrecen una gestión que es tanto proactiva como altamente eficaz en relación a la calidad de la energía, lo que contribuye a una mejora notable en la confiabilidad operativa. Como resultado, se logra una significativa reducción en los tiempos de inactividad y se optimiza el rendimiento energético, especialmente en contextos y entornos industriales.

### **2.5.3. Impacto ambiental de la mala calidad de energía.**

La influencia que tiene la baja calidad de la energía en el medio ambiente se extiende a numerosos factores que impactan negativamente no solo en la naturaleza, sino también en el bienestar y la salud de las personas que habitan en esas áreas. La distorsión armónica, junto con diversas irregularidades que pueden presentarse en la forma de onda de la corriente eléctrica, tiene la capacidad de ocasionar pérdidas significativas de energía dentro de los sistemas eléctricos. Esto, a su vez, conduce a un aumento en el consumo de recursos naturales, además de contribuir a una mayor emisión de gases de efecto invernadero que están relacionados con los procesos de generación de electricidad.

Además, la operación ineficiente de equipos eléctricos debido a la mala calidad de energía puede aumentar su demanda de energía, contribuyendo así a un mayor consumo de combustibles fósiles y a una mayor huella de carbono[35]. Además, los equipos dañados o mal funcionamiento pueden generar residuos adicionales y requerir un reemplazo prematuro, lo que aumenta aún más el impacto ambiental a través del ciclo de vida de los productos.

### **2.5.4. Innovaciones tecnológicas en la mejora de la calidad de energía.**

Las recientes innovaciones tecnológicas que se están desarrollando en el ámbito de la mejora de la energía están transformando de manera significativa la manera en que las diversas industrias se encargan de gestionar y optimizar el suministro eléctrico que requieren para su funcionamiento. Una de las innovaciones más destacadas en el ámbito tecnológico actual es

la creación y el perfeccionamiento de dispositivos que se utilizan para el almacenamiento de energía de manera avanzada. Entre estos dispositivos se encuentran las baterías de ion-litio, así como también sistemas de almacenamiento de energía a gran escala. Estas tecnologías modernas desempeñan un papel crucial al facilitar la estabilización de las fluctuaciones que pueden ocurrir en la red eléctrica, permitiendo a su vez proporcionar energía de respaldo de forma efectiva durante situaciones de interrupciones o cortes de suministro eléctrico [36].

De manera similar, la evolución y el avance en la creación de dispositivos electrónicos de potencia que son no solo más eficientes sino también más robustos, junto con la implementación de sistemas de control y monitoreo que son notablemente más sofisticados, está contribuyendo de manera significativa a mejorar tanto la estabilidad como la energía en diversos entornos industriales.

#### **2.5.5. Planificación y diseño de sistemas eléctricos para garantizar la calidad de energía.**

En primer lugar, resulta de suma importancia llevar a cabo un examen minucioso y exhaustivo de las cargas eléctricas que se encuentran en la instalación, lo cual implica identificar y evaluar las particularidades de cada uno de los equipos utilizados, así como también comprender cómo cada uno de ellos influye en la calidad de la energía que se distribuye [37]. Con base en la información proporcionada, es posible crear un diseño para una distribución de cargas que sea tanto equilibrada como optimizada. Este enfoque nos permitirá prevenir la acumulación de cargas que no son lineales, las cuales podrían dar lugar a la generación de armónicos u otros tipos de inconvenientes relacionados con la calidad de la energía suministrada.

Asimismo, es fundamental tomar en cuenta la adecuada elección y selección de equipos destinados a la protección y control, tales como interruptores automáticos, dispositivos supresores de sobretensiones y filtros diseñados para mitigar armónicos. La selección de componentes de excelente calidad, junto con la adopción e implementación de prácticas adecuadas de instalación y sistemas de puesta a tierra, resulta ser igualmente crucial para asegurar no solo un funcionamiento seguro, sino también un rendimiento confiable del sistema eléctrico en su totalidad [38].

## CAPITULO III

### 3. Descripción de los equipos de medición

La calidad del suministro eléctrico es esencial para el funcionamiento eficiente y confiable de cualquier sistema eléctrico, especialmente en entornos industriales donde la demanda de energía es significativa y los equipos sensibles son fundamentales para los procesos de producción. En este contexto, el estudio del contenido de armónicos se presenta como una investigación fundamental para comprender y abordar los desafíos asociados con la calidad de energía en instalaciones industriales. En particular, la fábrica Chaide y Chaide S.A., se enfrenta a dificultades concernientes con la presencia de armónicos en su sistema eléctrico, lo que afecta la eficiencia operativa y la confiabilidad de sus equipos. Por lo tanto, este estudio se propone investigar en profundidad el contenido de armónicos en esta planta industrial con el objetivo de proponer soluciones efectivas para mejorar la calidad de energía.

La metodología empleada en este estudio se fundamenta en un enfoque integral que combina técnicas de medición, análisis de datos y evaluación de soluciones de mejora de la calidad de energía. En primer lugar, se realizará un mapeo detallado de la infraestructura eléctrica de la planta, identificando las fuentes de generación, distribución y consumo de energía. Esto incluirá la ubicación y características de los transformadores, paneles de distribución, equipos de control y maquinaria industrial. En una etapa posterior, se realizará un análisis detallado y minucioso sobre la eficiencia energética, con especial énfasis en identificar y medir con precisión los armónicos presentes en las formas de onda de corriente y voltaje. Para lograrlo, se utilizarán dispositivos de medición avanzados, como analizadores de calidad de energía y registradores de datos, que registrarán y analizarán parámetros eléctricos relevantes a lo largo del tiempo.

Después de haber reunido y recolectado todos los datos relevantes y necesarios, se llevará a cabo un exhaustivo y minucioso análisis de los resultados obtenidos. En este proceso, se buscará identificar de manera precisa los patrones y tendencias que emergen, así como cualquier anomalía que pueda estar asociada con la presencia de los armónicos que se detectan dentro del sistema eléctrico que opera en la planta. Esto facilitará una comprensión más profunda y detallada sobre los efectos que los armónicos tienen en la calidad de la energía eléctrica, así como también sobre cómo estos afectan de manera significativa el

funcionamiento y la eficiencia de los equipos utilizados en el ámbito industrial. Asimismo, se llevará a cabo una evaluación exhaustiva de diversas soluciones y técnicas destinadas a mitigar los armónicos, las cuales incluirán la instalación de filtros tanto activos como pasivos, la optimización del factor de potencia para mejorar la eficiencia del sistema eléctrico, así como la implementación de sistemas de control avanzados que permiten un manejo más eficaz de dichos armónicos.

Para validar la eficacia de las soluciones propuestas, se llevarán a cabo pruebas piloto en áreas específicas de la planta, monitorizando y comparando la calidad de energía antes y después de la implementación de las medidas de mejora. Esto proporcionará datos empíricos sobre la efectividad de cada solución y permitirá ajustar y optimizar las estrategias de mitigación de armónicos según sea necesario.

### **3.1. Equipos utilizados**

#### **3.1.1. FLUKE 438-II, Analizador De Motor y Calidad de Energía Eléctrica**

El equipo **Fluke 438-II**, que se especializa en el análisis de calidad eléctrica y también en el estudio de motores, incorpora un conjunto de características y funciones que permiten realizar mediciones mecánicas esenciales para los motores eléctricos. Estas nuevas capacidades se suman a las sofisticadas y mejoradas funciones de evaluación de calidad de la energía que ya ofrecían previamente los analizadores de calidad eléctrica Fluke 435-II. Realice una medición y un análisis que sea tanto rápido como sencillo, enfocado en los parámetros más importantes relacionados con el rendimiento eléctrico y mecánico. Estos parámetros incluyen aspectos tales como la potencia, la presencia de armónicos, los desequilibrios, la velocidad del motor y la potencia mecánica [39].

Todo lo mencionado anteriormente se puede realizar de manera efectiva y eficiente sin tener que recurrir al uso de sensores mecánicos para llevar a cabo la tarea. Los recientes modelos de analizadores de calidad eléctrica que ha lanzado la empresa Fluke, que comprenden los dispositivos 434-II, 435-II y 437-II, han integrado recientemente una serie de funciones avanzadas que están específicamente diseñadas para facilitar un análisis más detallado y efectivo de motores eléctricos. Las mejoras que se mencionan son accesibles para los dispositivos que ya están en uso, gracias a un kit de actualización diseñado específicamente, el cual facilita la integración de las funciones avanzadas del analizador de motores Fluke-438-II/MA. El modelo 438-II aprovecha de manera efectiva la información que se encuentra

en la placa de características de los motores eléctricos, los cuales han sido clasificados de acuerdo a los estándares establecidos por organizaciones como NEMA o IEC. Esta información, que contiene especificaciones importantes sobre el motor, se utiliza como una herramienta valiosa y esencial, la cual simplifica y facilita el cálculo de una variedad de parámetros mecánicos que están interrelacionados con el rendimiento y funcionamiento de dichos motores eléctricos. Gráfico 10. El instrumento de medición conocido como FLUKE 438 – II, que es un producto de Fluke Calibration.

**Fuente:** Fluke Calibration.



**Figura No. 10.** Equipo Fluke 438 – II (Fluke Calibration).

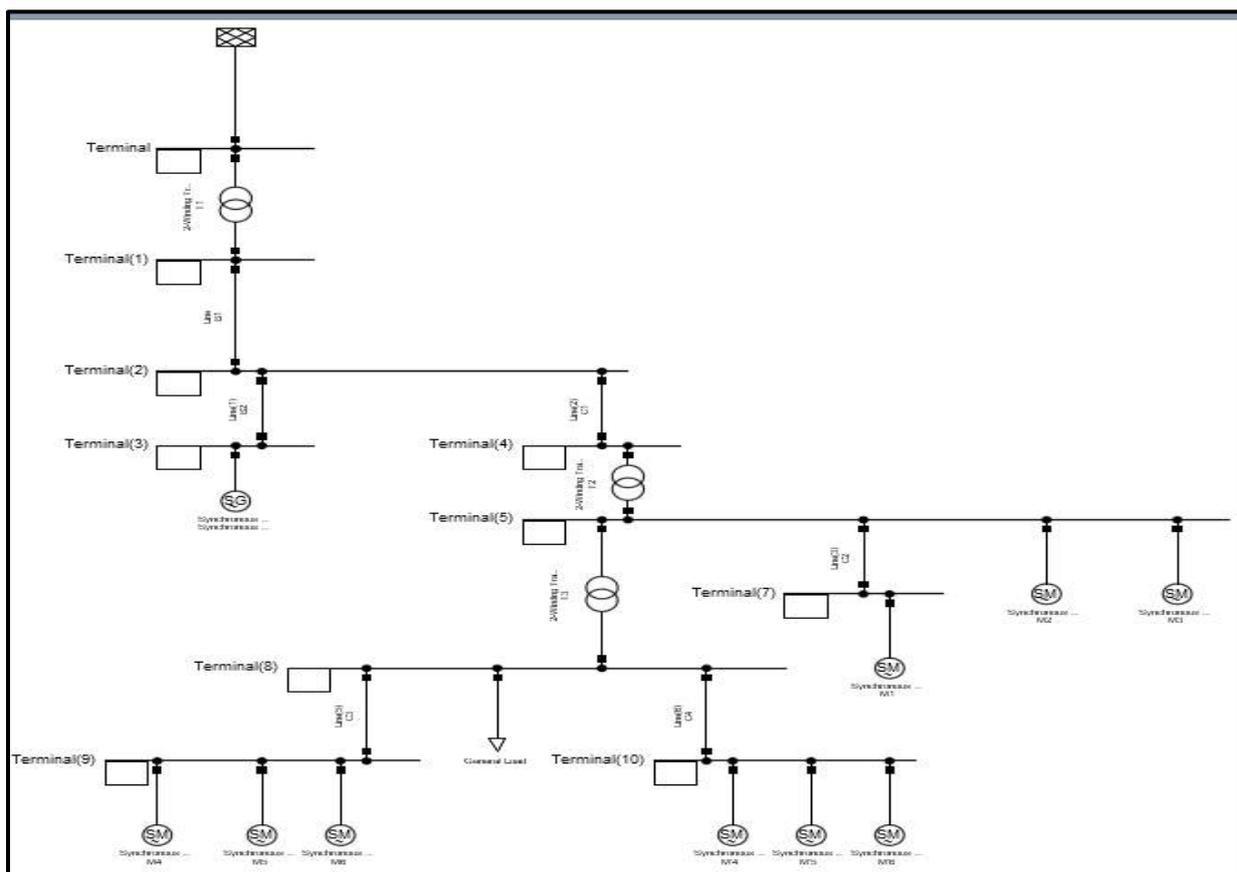
### 3.1.2. Digsilent Power Factory

Este software se posiciona como una herramienta de vanguardia en el ámbito del análisis de sistemas de energía, abarcando una amplia variedad de funciones y capacidades. Su oferta incluye desde características y funcionalidades básicas que son esenciales para el análisis, hasta aplicaciones que son sumamente sofisticadas y avanzadas, diseñadas para satisfacer las necesidades más exigentes de los usuarios en este campo. Con el objetivo de hacer más fácil y eficiente el manejo de todas las tareas vinculadas a la protección, la compañía DIGSILENT ha creado un innovador sistema llamado StationWare. Este sistema se presenta en forma de una avanzada base de datos centralizada, cuya función principal es la configuración de sistemas de protección, permitiendo así una gestión más ágil y efectiva en este ámbito tan crucial. Además de todas sus características avanzadas, este sistema revolucionario incorpora de manera integral un módulo exhaustivo que se dedica a la administración y gestión de activos, así como a la supervisión y control de una variedad de procesos comerciales diferentes. A través de la implementación de sus innovadores y avanzados Sistemas de Monitoreo, la reconocida empresa DIGSILENT se dedica a ofrecer soluciones integrales que incluyen sistemas de medición multifuncionales, los cuales tienen

la capacidad de llevar a cabo una variedad de tareas y análisis complejos de manera eficiente. [40].

El sistema de monitoreo de energía PFM300 ofrece una supervisión integral tanto de la red eléctrica como de la planta. Este sistema permite llevar a cabo un detallado registro de las fallas que puedan ocurrir. Además, proporciona una evaluación de las características específicas de la red, garantizando así un control adecuado y un funcionamiento eficiente del sistema energético. La versión ampliada, conocida como el Sistema de Monitoreo de Cumplimiento del Código de Red PFM300-GCC, proporciona funcionalidades adicionales que facilitan la auditoría constante y detallada del nivel de cumplimiento de las plantas de energía en relación con las normativas establecidas por el código de red, tal como se detalla en las especificaciones de Digsilent.

**Fuente:** Los autores.



**Figura No. 11.** Simulación de sistemas de potencia.

### **3.2. Procesamiento de Información**

El software DIGSILENT PowerFactory se convertirá en una herramienta fundamental y de suma importancia en la supervisión, gestión y análisis exhaustivo de toda la información que se ha reunido a lo largo del estudio, el cual se centra en el contenido de armónicos. Este análisis se está llevando a cabo en la planta ubicada en Guayaquil, la cual es de propiedad de la firma Chaide y Chaide S.A., y su eficaz aplicación será vital para comprender y abordar los aspectos relacionados con los armónicos en la operación de la planta. Debido a las sumamente sofisticadas y altamente avanzadas capacidades que PowerFactory tiene en el ámbito del análisis de sistemas de energía, esta herramienta se transformará en un recurso esencial que permitirá realizar una evaluación exhaustiva y pormenorizada de la calidad de la energía. Este proceso abarcará tanto la identificación minuciosa y detallada como la cuantificación precisa y exacta de los armónicos que se encuentran presentes en la red eléctrica. De igual manera, el software ofrecerá la funcionalidad necesaria para poder simular una amplia gama de soluciones que tienen como objetivo principal la mejora de la calidad de la energía que se utiliza. Esto ofrecerá a los usuarios la oportunidad de analizar con gran detenimiento y consideración el efecto que estas medidas podrían ocasionar, permitiéndoles así reflexionar antes de implementarlas en situaciones prácticas.

Gracias a su impresionante habilidad para administrar tanto la protección como los activos dentro del sistema eléctrico, PowerFactory se encargará de asegurar que haya una configuración que sea no solo eficiente, sino también perfectamente coordinada en lo que respecta a los dispositivos de protección. Adicionalmente, su capacidad de integración con diversos sistemas de monitoreo permitirá llevar a cabo un seguimiento constante y detallado de la calidad de la energía, al mismo tiempo que se verifica que se cumplan todos los requisitos establecidos en el código de red. DIGSILENT PowerFactory ofrecerá un conjunto completo de herramientas que facilitarán el procesamiento y análisis de datos, permitiendo tomar decisiones bien fundamentadas que se basan en información sólida. Este enfoque contribuirá significativamente a la mejora de la calidad y la confiabilidad del suministro eléctrico en la planta ubicada en Guayaquil, perteneciente a la empresa Chaide y Chaide S.A.

### **3.3. Análisis de datos**

Para realizar de manera efectiva y detallada este análisis, se emplearán una variedad de técnicas estadísticas, así como herramientas de software especializadas que facilitarán el

proceso y permitirán obtener resultados más precisos. En primer lugar, se llevará a cabo un análisis exhaustivo y detallado de los datos que se han recopilado meticulosamente durante las mediciones relacionadas con la calidad de la energía. Este análisis tendrá como objetivo principal la identificación de diversos patrones, tendencias significativas y posibles anomalías que puedan estar presentes en las formas de onda tanto de la corriente como de la tensión eléctrica. Asimismo, se llevará a cabo un cálculo meticuloso de métricas específicas que permitirán cuantificar tanto la presencia como la magnitud de los armónicos dentro del sistema eléctrico. Entre estas métricas se incluyen la distorsión armónica total (THD) y diversos índices que reflejan el contenido armónico. Los análisis que se llevarán a cabo facilitarán una comprensión más profunda sobre la naturaleza específica y el efecto que los armónicos tienen en la calidad de la energía utilizada en la planta.

Asimismo, se utilizarán diversas técnicas avanzadas de modelado y simulación que permitirán analizar en profundidad el comportamiento del sistema eléctrico en una variedad de escenarios y condiciones operativas. Esto no solo ayudará en la evaluación de su rendimiento, sino que también facilitará la identificación de soluciones efectivas que contribuyan significativamente a mejorar la calidad de la energía suministrada. En consecuencia, el análisis exhaustivo de datos se convertirá en un elemento esencial para lograr la obtención de insights relevantes y significativos. Además, jugará un papel crucial en el proceso de tomar decisiones bien fundamentadas, así como en la formulación de estrategias efectivas que permitan mejorar la calidad de la energía en la planta de Guayaquil, perteneciente a la empresa Chaide y Chaide S.A.

## CAPITULO IV

### 4. Datos técnicos de la fábrica Chaide y Chaide S.A.

En el ANEXO (1) se observa el diagrama unifilar el cual esta, presentando los elementos que intervienen en todo el sistema eléctrico de la fábrica en mención, tales elementos se los detalla a continuación:

- 1 banco de transformadores sumergidos en aceite Potencia: 2x167 kVA + 1x250 kVA trifásico con conexión Delta/Y con voltajes (7620/13200Y – 120/240V)
- 1 medidor de energía con sus respectivos elementos de reducción tanto de voltaje y corriente.
- 1 breaker trifásico principal de 2000 AMP.
- 1 gabinete de Transferencia de Otesa.
- 1 generador trifásico de 125KW.

#### 4.1. Datos de fabricante del banco de transformadores

En la **Tabla No.1** se muestra los datos de placa del transformador de 167KVA.

MARCA	GENERAL ELECTRIC	No. SERIE	M309063TLNA
KVA	167 65°C RISE		
V	7820/13200Y - 120/240	CLASS	0A
%IMP	2.10	WT LB	1195
	% RATED VOLTS	TAP CHANGUER POSITION	
	105	1	
	102 ½	2	
	100	3	
	97 ½	4	
	95	5	

**Tabla No. 1.** Características del transformador instalado.



### **4.3. Datos de Tablero Eléctrico de Producción**

En el ANEXO (2), se puede observar cómo continua la distribución de cargas a partir del breaker de 800 AMP tomando energía de las barras del tablero principal, con su respectivo medidor de energía para control y monitoreo del sistema, su operación y distribución de las diferentes cargas y elementos conectados, que se detallan a continuación:

- 1 breaker 3P-400 AMP.
- 1 breaker 2P-100 AMP.
- 1 breaker 2P-60 AMP.
- 1 breaker 2P-30 AMP.
- 1 breaker 1P-20 AMP.
- 1 breaker 2P-60 AMP.
- 1 breaker 1P-30 AMP.
- 1 breaker 2P-30 AMP.
- 1 breaker 3P-40 AMP.
- 1 breaker 2P-40 AMP.

### **4.4. Datos de Tablero Eléctrico Sección Paneles**

En el ANEXO (3), se puede observar cómo continua la distribución de cargas a partir del breaker de 400 AMP tomando energía de las barras del tablero eléctrico de producción, con su respectivo medidor de energía para control y monitoreo del sistema, su operación y distribución de las diferentes cargas y elementos conectados, que se detallan a continuación:

- 2 breaker 3P-100 AMP.
- 4 breaker 3P-125 AMP.
- 1 breaker 3P-50 AMP.
- 1 breaker 1P-16 AMP.
- 1 breaker 3P-160 AMP.
- 1 breaker 2P-100 AMP.
- 1 breaker 1P-32 AMP.
- 1 breaker 2P-40 AMP.
- 1 breaker 3P-40 AMP.
- 2 breaker 1P-10 AMP.
- 3 breaker 3P-20 AMP.
- 1 breaker 3P-32 AMP.

#### 4.5. Registro de parámetros y determinación de la cargabilidad en el banco de transformadores

A continuación, se muestran los resultados del analizador de redes **FLUKE 438-II**, en cuanto a las mediciones de voltajes, corrientes y potencia demanda se refiere. Dichos valores se tomaron en el periodo de 1 día, resultando del análisis los valores mostrados a continuación.

POTENCIA	P(KW)	Q(KVAR)	S(KVA)	FP
PROMEDIO	25,67	6,07	48,67	0,87
MUESTRAS	2015	2015	2015	2015

**Tabla No. 3.** Demanda Promedio de 2015 datos.

VL-L	V1-2(V)	V2-3(V)	V3-1(V)	DESBALANCE
PROMEDIO	210,53	210,53	211	0,06%
MUESTRAS	2015	2015	2015	2015

**Tabla No. 4.** Voltaje Línea – Línea promedio de 2015 datos.

VL-N	V1-N(V)	V2-N(V)	V3-N(V)	DESBALANCE
PROMEDIO	121,55	121,57	207,35	0,06%
MUESTRAS	2015	2015	2015	2015

**Tabla No. 5.** Voltaje Línea – Neutro promedio de 2015 datos.

CORRIENTES	I1(A)	I2(A)	I3(A)	DESBALANCE
PROMEDIO	176,96	219,65	138,37	0,08%
MUESTRAS	2015	2015	2015	2015

**Tabla No. 6.** Corriente de Línea promedio de 2015 datos.

Fuente: Los autores.

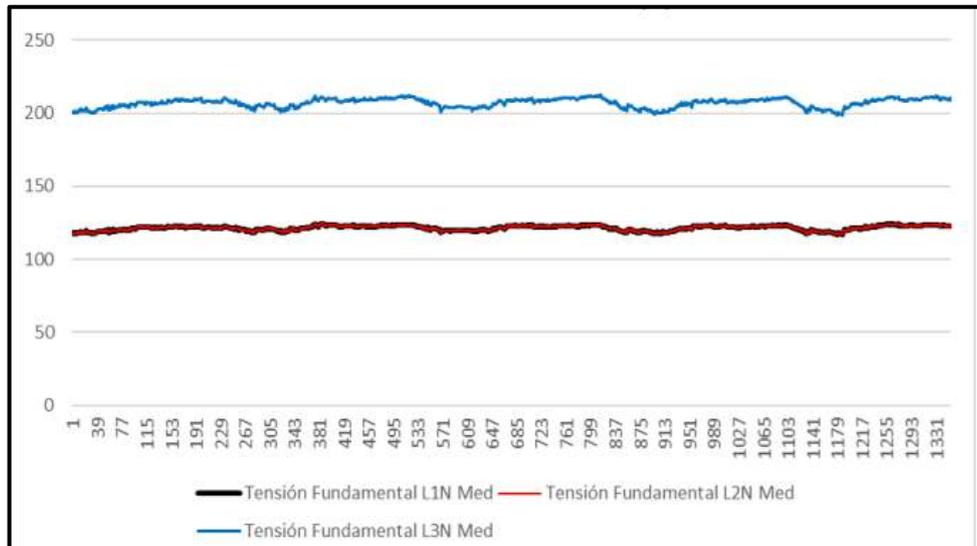


Figura No. 12. Voltajes L-N.

En la **Tabla No. 4** el desbalance de voltaje presente entre las líneas debe estar entre  $\pm 2\%$ , se tiene un desbalance promedio de 0,06% el cual se encuentra dentro de los rangos normales de operación.

El Banco de transformadores, de acuerdo con el análisis realizado mostrado en el **Figura No.13** no posee indicios de presencia de armónicos de voltaje elevados que afecten al sistema eléctrico de potencia de la red. La distorsión individual de cada armónico debe ser menor al 5% y el %THD de voltaje debe ser máximo del 8%, de acuerdo con la norma IEEE 519-2014.

Fuente: los autores.

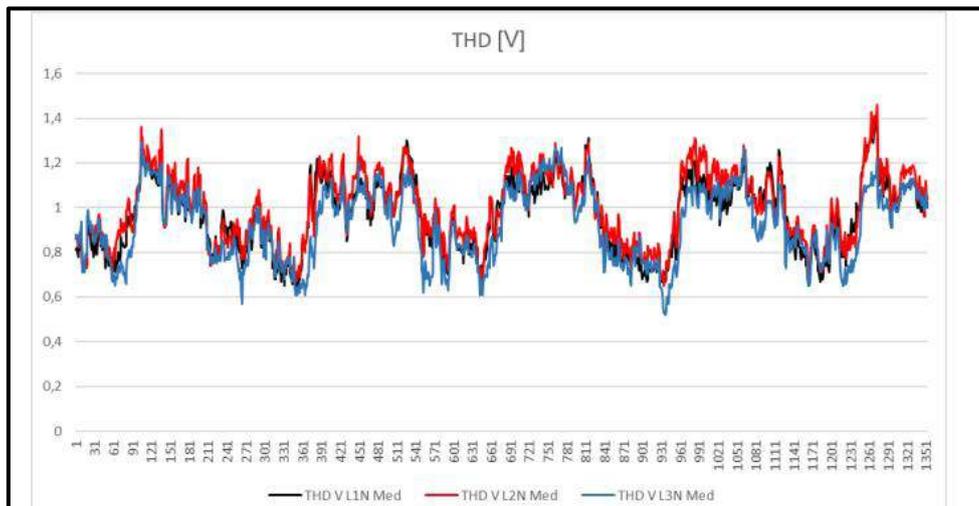


Figura No. 13. Armónicos de voltaje líneas 1,2,3.

El valor promedio del desbalance de corriente existente en el Banco de transformadores es del 0,8% el cual está dentro del rango normal de operación para equipos sensibles, ya que debe estar en  $\pm 10\%$ .

El Banco de transformadores, de acuerdo con el análisis realizado posee indicios de presencia de armónicos de corriente que afectan al sistema eléctrico de potencia de la red, las distorsiones de los armónicos menores al onceavo deben ser  $11:4\% \leq h$  del total (THD) y la distorsión de los armónicos menores al diecisieteavo hasta el onceavo deben ser menores  $17:2\% \leq h$  del total (THD), en resumen  $11:4\% \leq h \leq 17:2\% \leq$  según la norma IEEE 519- 2014.

A continuación, se indican los valores promedios de armónicos encontrados durante todo el tiempo de análisis, donde se muestra que el armónico de orden 3, 5, 7, 9 y 11 en las diferentes fases, se encuentra un tanto elevado, excediendo el límite permitido. El TDD está fuera de los límites permitidos con un valor de 6,83%, ya que como máximo debe ser 5%.

Componente armónica	Corriente F1 (%)	Corriente F1 (A)	Corriente F2 (%)	Corriente F2 (A)	Corriente F3 (%)	Corriente F3 (A)	PERMITIDO ISC/IL
							LIMITE
H3	6.68	11.82	5.94	13.05	4.14	5.73	4
H5	6.11	10.81	3.76	8.26	6.43	8.90	
H7	6.54	11.57	5.73	12.59	7.17	9.92	
H9	2.40	4.25	1.25	2.75	1.63	2.26	
H11	4.31	7.63	2.97	6.52	5.76	7.97	2
H13	1.61	2.85	1.64	3.60	1.76	2.44	
H15	0.81	1.43	0.75	1.65	0.97	1.34	
H17	1.56	2.76	0.82	1.80	1.73	2.39	1.5
H19	0.74	1.31	0.92	2.02	0.93	1.29	
H21	0	0.00	0	0.00	0	0.00	
H23	0	0.00	0	0.00	0	0.00	
H25	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0.6
H27	0	0.00	0	0.00	0	0.00	
H29	0	0.00	0	0.00	0	0.00	
H31	0	0.00	0	0.00	0	0.00	
TDD (%)		7.75		5.98		6.76	5

**Tabla No. 7.** Corrientes armónicas en % de IL.

Fuente: Los autores.

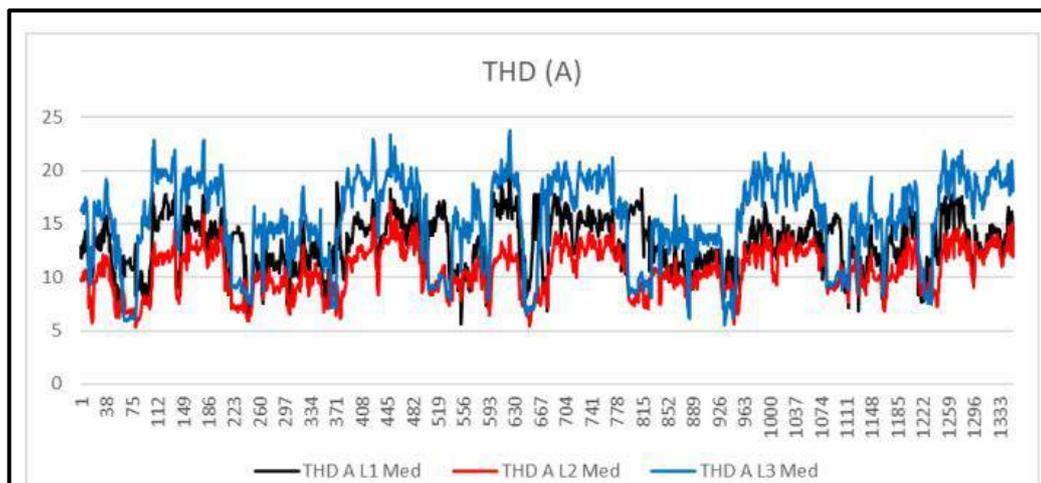


Figura No. 14. Corrientes armónicas en líneas 1,2, 3.

A continuación, se muestra que, durante todo el período de registro de datos de carga del Banco de transformadores, se establece que la demanda promedio y el porcentaje promedio de cada equipo, detallada en la **Tabla No. 8**. Se tiene como recomendación principal que cada transformador debe trabajar al 80% de su capacidad para evitar en lo posible deteriorar la vida útil.

ID	KVA	% DE CARGA
T1	27,69	17
T2	33,89	20
T3	36,45	15
<b>TOTAL</b>	98,45	

Tabla No. 8. Promedio de carga en cada Transformador.

#### 4.6. Descripción de medición de energía

En este contexto, se emplearon analizadores de calidad de energía avanzados que permiten realizar mediciones precisas de corriente, tensión y otros parámetros eléctricos relevantes. Estos analizadores están equipados con sondas y sensores especializados que garantizan una captura precisa de las formas de onda, incluso en entornos industriales exigentes. Además, se utilizaron registradores de datos para recopilar mediciones a lo largo de períodos prolongados, lo que proporcionó una visión detallada de las fluctuaciones de la calidad de energía a lo largo del tiempo. Estos registradores están diseñados para ser robustos y

confiables, capaces de soportar condiciones adversas y almacenar grandes volúmenes de datos de manera segura. Además, se implementaron sistemas de monitoreo remoto para facilitar la supervisión continua de los parámetros eléctricos clave, lo que permitió detectar y responder rápidamente a eventos anómalos.

MEDICION	
<b>HORA DE INICIO</b>	23/02/2024 - 13:42:00
<b>HORA DE PARADA</b>	01/03/2024 - 13:42:00
<b>DURACION</b>	7d 0h 0 min 0s
<b>INTERVALO</b>	2 minutos
<b>CONEXIÓN</b>	3 FASES 3 HILOS
<b>TENSION NOMINAL</b>	220 V
<b>FRECUENCIA NOMINAL</b>	60 Hz
<b>TIPO DE SISTEMA</b>	Sistemas con conexión sincrona
<b>PERIODO DE MEDICION EFECTIVO</b>	61,79%
<b>LIMITES DE EN50160</b>	BT
<b>CONDICIONES DE OPERACIÓN</b>	Normal

**Tabla No 9.** Datos sobre la medición de los equipos.

La medición de energía se realizó durante 7 días, desde el 23 de febrero de 2024 a las 13:42 hasta el 1 de marzo de 2024 a las 13:42, con un intervalo de registro cada 2 minutos. El sistema analizado es de 3 fases y 3 hilos, con una tensión nominal de 220 V y frecuencia nominal de 60 Hz, bajo condiciones de operación normales. Sin embargo, el período de medición efectiva fue del 61,79 %, lo que indica que solo se registraron datos durante ese porcentaje del tiempo total programado. Este nivel de efectividad puede influir en la representatividad de los resultados. La evaluación de la medición fue llevada a cabo de acuerdo con las directrices y límites específicos que están establecidos por la norma EN50160, la cual se aplica a los sistemas de baja tensión (BT). Con el fin de llevar a cabo una evaluación que sea realmente precisa y efectiva, es fundamental realizar una comparación detallada y exhaustiva de los datos que han sido registrados con respecto a los estándares establecidos en la norma EN50160. Esto incluye un análisis minucioso de diversos parámetros, tales como las variaciones en la tensión, el fenómeno conocido como 'flicker' y la presencia de armónicos en la señal. Asimismo, es importante indagar y comprender las razones que pueden estar detrás de la efectividad parcial de la medición realizada. Todo esto es crucial para garantizar que se mantenga un adecuado nivel de calidad en el suministro eléctrico en el área donde se lleva a cabo la medición.

## CAPITULO V

### 5.1. Resultados del análisis de calidad de energía tablero eléctrico sección Paneles

En la presente sección se exhiben de manera detallada los resultados obtenidos del estudio la eficiencia energética realizado en el Tablero principal que se encuentra en el Área de Producción. Este análisis se llevó a cabo utilizando el instrumento especializado **FLUKE 438 – II**. Los datos que se han recopilado a lo largo del estudio proporcionan una visión exhaustiva y minuciosa acerca de las diversas distorsiones armónicas que se encuentran presentes dentro del sistema eléctrico de la planta. A partir de los resultados obtenidos de esta evaluación, es posible llevar a cabo una identificación detallada de las fuentes más significativas de perturbaciones que pueden afectar este sistema, así como también evaluar exhaustivamente su impacto sobre la calidad de la energía eléctrica suministrada. Este proceso de evaluación y análisis facilitará el desarrollo de estrategias específicas y adaptadas que busquen mejorar el rendimiento y la estabilidad del sistema eléctrico de la instalación.

#### 5.1.1. Análisis de Sobretensiones

**Fuente:** Los autores.

	L12	L23	L31	
Recuento	19	9893	939	
Valor Máximo [V]	257,29	273,58	252,04	
Duración Máxima	4 h 14 min 47 s 472 ms	10 h 1 min 28 s 471 ms	15 h 31 min 35 s 741 ms	
<b>Huecos</b>				
	L12	L23	L31	
Recuento	6	7	7	
Valor mínimo [V]	0,02	0,00	0,02	
Duración Máxima	15 s 070 ms	15 s 070 ms	15 s 115 ms	
<b>Transitorios</b>				
	L12	L23	L31	LN
Recuento	0	0	0	0

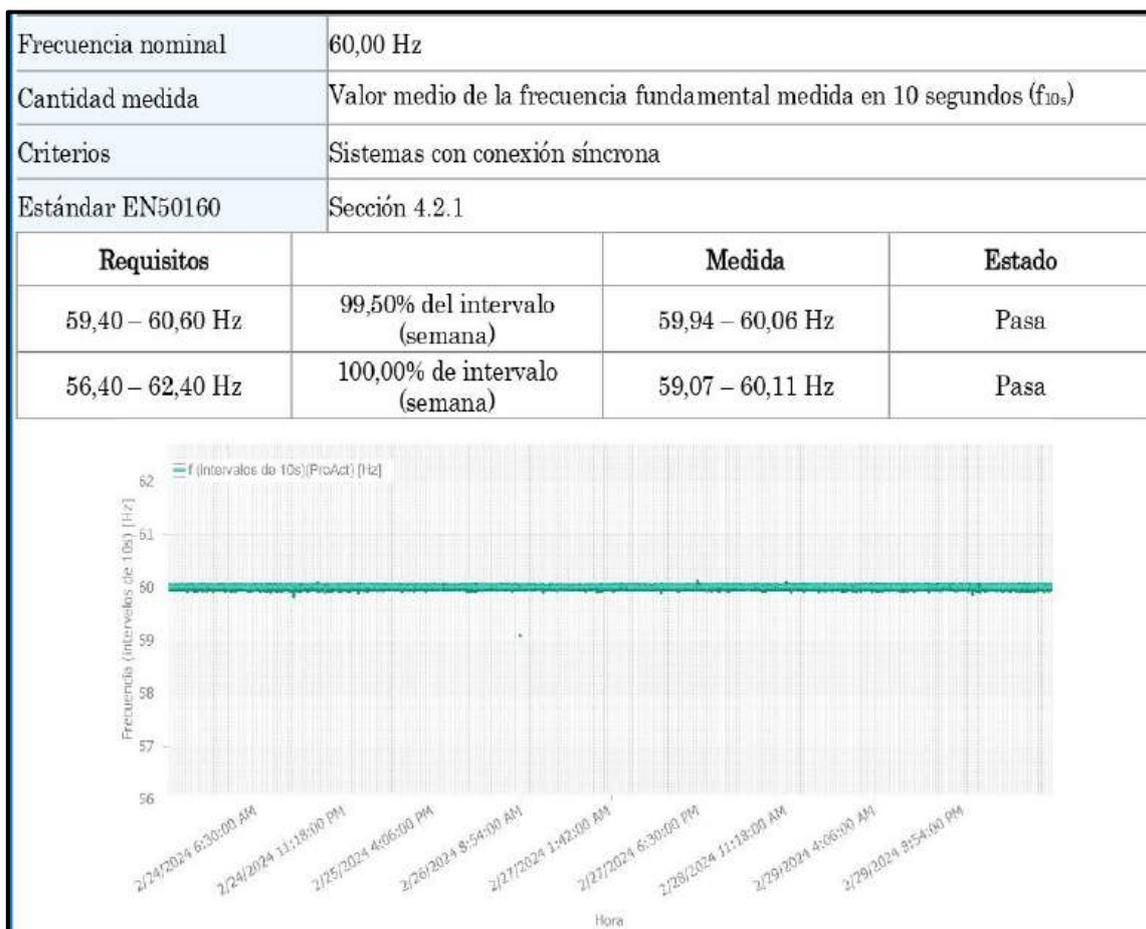
**Figura No. 12.** Análisis de sobretensiones.

El análisis de los datos de sobretensiones, huecos y transitorios en la fábrica Chaide y Chaide S.A., Planta Guayaquil, revela varias observaciones clave. En cuanto a las sobretensiones,

se registraron 19 eventos en L12, 9893 en L23 y 939 en L31, con valores máximos de 257,29 V, 273,58 V y 252,04 V, respectivamente. La duración máxima de estas sobretensiones fue de 4 horas, 14 minutos y 47,472 ms en L12, 10 horas, 1 minuto y 28,471 ms en L23, y 15 horas, 31 minutos y 35,741 ms en L31. Para los huecos, se observaron 6 eventos en L12, 7 en L23 y 7 en L31, con valores mínimos de 0,02 V en L12 y L31, y 0,00 V en L23, y una duración máxima de 15 segundos y 70 ms en L12 y L23, y 15 segundos y 115 ms en L31. No se registraron transitorios en ninguna de las líneas (L12, L23, L31, LN). Estos datos indican problemas significativos de calidad de energía, especialmente en L23 con un alto número de sobretensiones, y sugieren la necesidad de medidas correctivas para mitigar estos eventos y mejorar la estabilidad del suministro eléctrico en la planta.

### 5.1.2. Frecuencia del Sistema

**Fuente:** los autores.



**Figura No. 16.** Frecuencia del sistema.

El análisis de la frecuencia del sistema eléctrico demuestra de manera clara y contundente que satisface todos los requisitos que han sido establecidos por la norma técnica conocida como EN50160. La frecuencia nominal de 60,00 Hz se mide mediante el valor medio de la frecuencia fundamental medida en 10 segundos (f10s). De acuerdo con los estándares, se espera que la frecuencia se encuentre dentro del rango de 59,40 a 60,60 Hz el 99,50% del tiempo, lo cual se cumple con un rango de 59,94 a 60,06 Hz. Además, se verifica que, durante el intervalo de una semana, la frecuencia esté entre 56,40 y 62,40 Hz el 100,00% del tiempo, lo cual se cumple con un rango de 59,07 a 60,11 Hz. Estos resultados indican que la frecuencia del sistema se mantiene dentro de los límites aceptables, asegurando un funcionamiento estable y confiable de la red eléctrica.

### 5.1.3. Variaciones de tensión de alimentación

Fuente: Los autores.

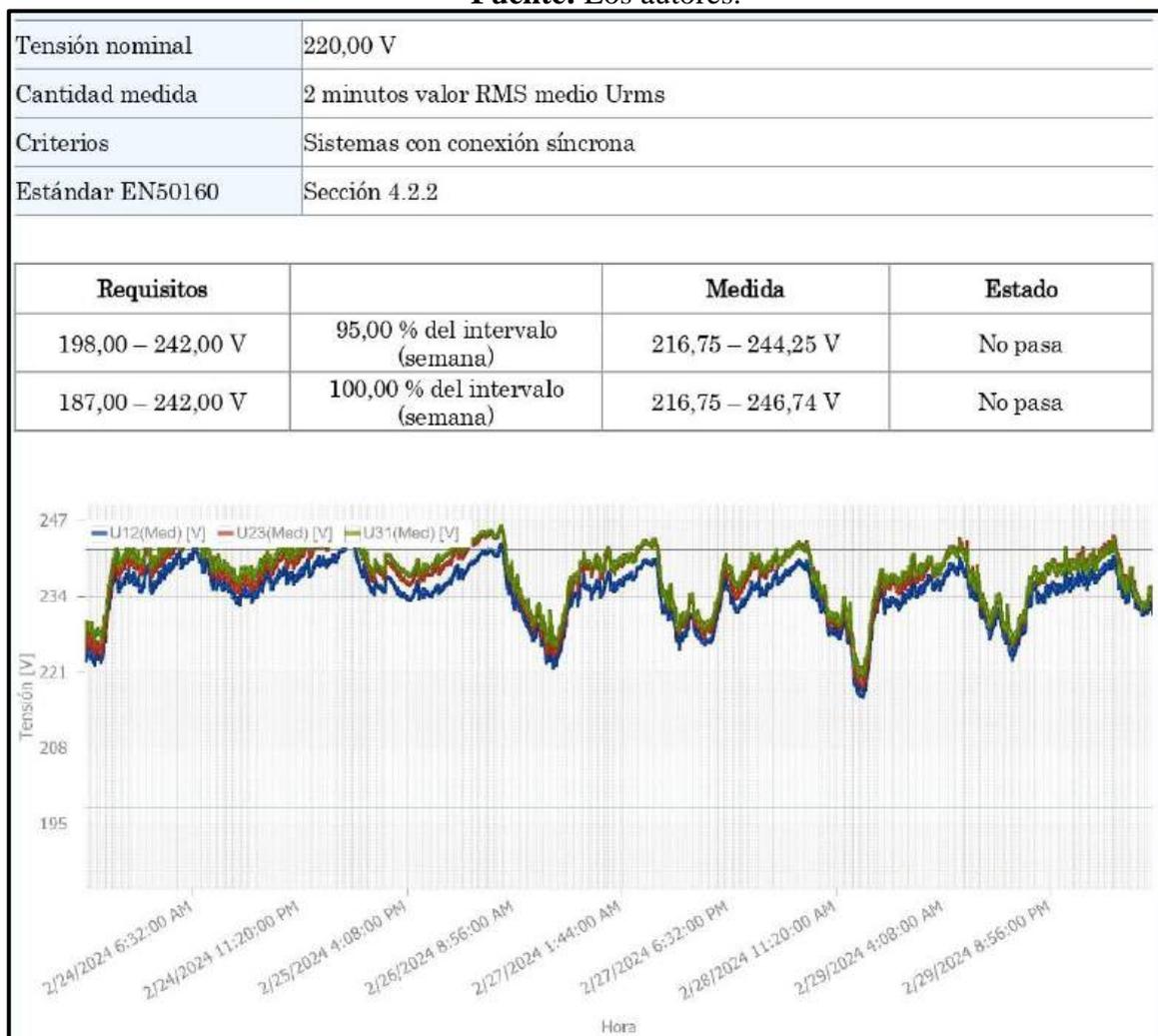
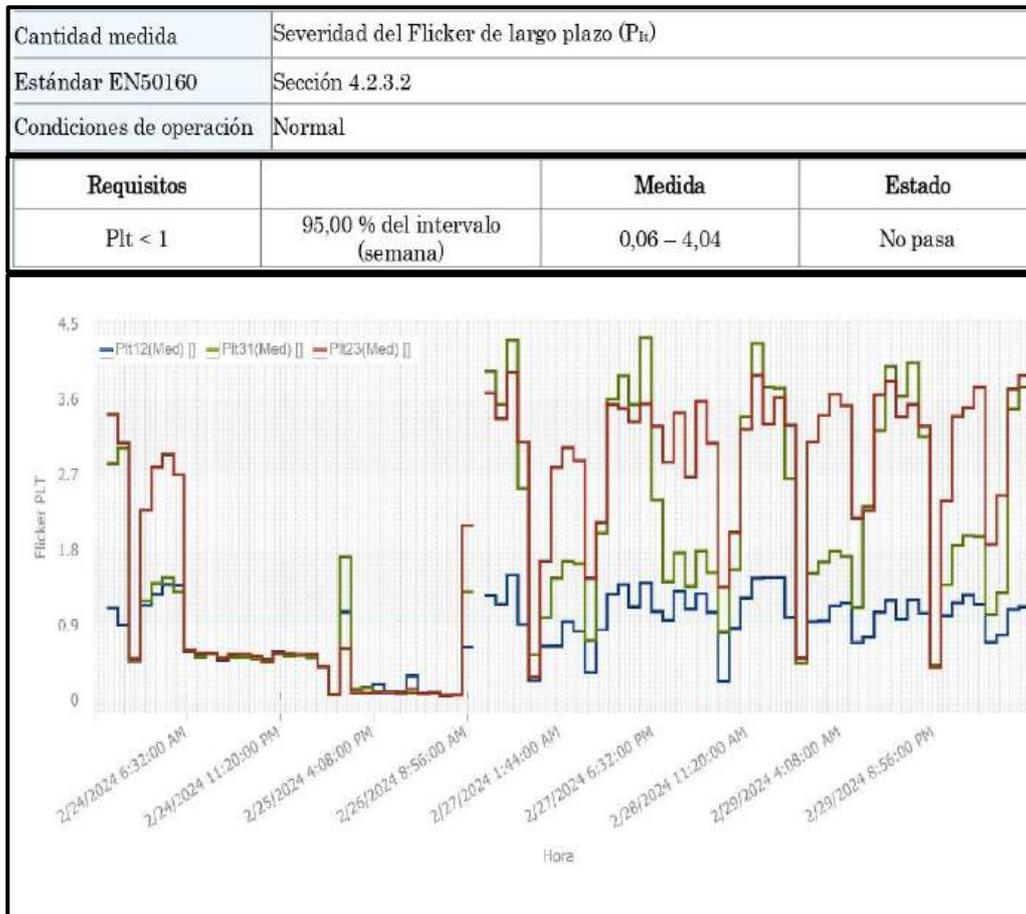


Figura No. 17. Variaciones de tensión de alimentación.

Al realizar un análisis detallado de las diferentes fluctuaciones de la tensión de suministro eléctrico en la planta de la empresa Chaide y Chaide S.A., ubicada en Guayaquil, se ha podido concluir que estas variaciones no cumplen con los estándares y requisitos que están claramente especificados por la normativa EN50160. Aunque la tensión nominal es de 220,00 V, las mediciones realizadas cada 2 minutos muestran que durante el 95,00 % del intervalo semanal, la tensión debería estar entre 198,00 V y 242,00 V. Sin embargo, los resultados arrojan un rango de 216,75 V a 244,25 V, lo que indica que no se cumple con el estándar. Además, para garantizar un suministro eléctrico estable, se espera que durante el 100,00 % del intervalo semanal, la tensión esté entre 187,00 V y 242,00 V. Sin embargo, las mediciones revelan un rango de 216,75 V a 246,74 V, lo que también incumple con los requisitos establecidos. Al llevar a cabo un exhaustivo análisis de las fluctuaciones en la tensión de alimentación en la fábrica Chaide y Chaide S.A, se ha obtenido la conclusión de que, después de una cuidadosa revisión y análisis, los resultados obtenidos no satisfacen los criterios y requisitos que fueron previamente establecidos. Los descubrimientos realizados ponen de relieve de manera clara y evidente la apremiante necesidad de llevar a cabo medidas correctivas que permitan mejorar la estabilidad de la tensión de alimentación. Además, es fundamental asegurar que se cumplan estrictamente los estándares de calidad de energía que son requeridos.

### 5.1.4. Severidad del Flicker

Fuente: Los autores.



**Figura No. 18.** Severidad del Flicker.

Al evaluar la severidad del flicker en la fábrica Chaide y Chaide S.A., Planta Guayaquil, se detecta un incumplimiento con los estándares establecidos por la norma EN50160. La medición de la severidad del flicker de largo plazo (P<sub>It</sub>) se realiza bajo condiciones de operación normales. Según los requisitos, se espera que el valor de P<sub>It</sub> sea menor que 1 para el 95,00 % del intervalo semanal. Sin embargo, los resultados obtenidos muestran un rango de 0,06 a 4,04, indicando que no se cumple con el estándar establecido. Esta notable discrepancia indica la existencia de perturbaciones que afectan negativamente. Es de suma importancia abordar de manera proactiva estas irregularidades que han sido identificadas, así como implementar las medidas correctivas necesarias para mitigar la severidad del fenómeno conocido como flicker. De esta manera, se podrá optimizar y mejorar considerablemente la calidad del suministro eléctrico en la planta, asegurando un funcionamiento más eficiente y fiable.

### 5.1.5. Desequilibrio de tensión

Fuente: Los autores.



**Figura No. 19.** Desequilibrio de tensión.

Al llevar a cabo un análisis detallado del desequilibrio de tensión presente, se ha podido observar que esta instalación se ajusta a los estándares y requisitos que han sido determinados por la normativa EN50160. La evaluación del desbalance en la tensión eléctrica, que se presenta en términos del valor cuadrático medio (RMS) del cociente correspondiente a la secuencia negativa (denotada como  $u^-$ ), se realiza mientras se encuentran en funcionamiento los equipos bajo condiciones consideradas normales y típicas de operación. Según los requisitos, se espera que el valor de  $u^-$  sea menor que 2,00 % para el 95,00 % del intervalo semanal. Los resultados obtenidos muestran un rango de 0,38 % a 1,17 %, lo que indica que se cumple con el estándar establecido. Este cumplimiento sugiere que el sistema eléctrico de la planta exhibe un nivel aceptable de equilibrio entre las fases, contribuyendo así a la estabilidad y confiabilidad del suministro eléctrico en la instalación.

### 5.1.6. Armónicos de tensión

Fuente: Los autores.

Cantidad medida		2 minutos valores RMS medios de la distorsión armónica y armónica total					
Estándar EN50160		Sección 4.2.5					
Condiciones de operación		Normal					
		L12		L23		L31	
Armónicos	Requisito	Medida	Estado	Medida	Estado	Medida	Estado
THD	< 8,00 %	2,39 %	Pasa	2,40 %	Pasa	2,59 %	Pasa
2	< 2,00 %	0,17 %	Pasa	0,21 %	Pasa	0,30 %	Pasa
3	< 5,00 %	0,55 %	Pasa	0,41 %	Pasa	0,46 %	Pasa
4	< 1,00 %	0,06 %	Pasa	0,07 %	Pasa	0,09 %	Pasa
5	< 6,00 %	1,73 %	Pasa	1,61 %	Pasa	1,85 %	Pasa
6	< 0,50 %	0,05 %	Pasa	0,06 %	Pasa	0,07 %	Pasa
7	< 5,00 %	1,12 %	Pasa	1,32 %	Pasa	1,38 %	Pasa
8	< 0,50 %	0,05 %	Pasa	0,05 %	Pasa	0,05 %	Pasa
9	< 1,50 %	0,28 %	Pasa	0,26 %	Pasa	0,29 %	Pasa
10	< 0,50 %	0,04 %	Pasa	0,04 %	Pasa	0,04 %	Pasa
11	< 3,50 %	1,21 %	Pasa	0,96 %	Pasa	1,08 %	Pasa
12	< 0,50 %	0,05 %	Pasa	0,05 %	Pasa	0,04 %	Pasa
13	< 3,00 %	0,54 %	Pasa	0,81 %	Pasa	0,97 %	Pasa
14	< 0,50 %	0,06 %	Pasa	0,05 %	Pasa	0,04 %	Pasa
15	< 1,00 %	0,25 %	Pasa	0,19 %	Pasa	0,22 %	Pasa
16	< 0,50 %	0,06 %	Pasa	0,05 %	Pasa	0,04 %	Pasa
17	< 2,00 %	0,41 %	Pasa	0,27 %	Pasa	0,34 %	Pasa
18	< 0,50 %	0,07 %	Pasa	0,06 %	Pasa	0,04 %	Pasa
19	< 1,50 %	0,30 %	Pasa	0,49 %	Pasa	0,46 %	Pasa
20	< 0,50 %	0,08 %	Pasa	0,07 %	Pasa	0,04 %	Pasa
21	< 0,75 %	0,21 %	Pasa	0,21 %	Pasa	0,25 %	Pasa
22	< 0,50 %	0,08 %	Pasa	0,07 %	Pasa	0,03 %	Pasa
23	< 1,50 %	0,33 %	Pasa	0,19 %	Pasa	0,26 %	Pasa
24	< 0,50 %	0,09 %	Pasa	0,08 %	Pasa	0,03 %	Pasa
25	< 1,50 %	0,23 %	Pasa	0,39 %	Pasa	0,30 %	Pasa

Figura No. 20. Armónicos de tensión.

Al llevar a cabo una exhaustiva evaluación de los armónicos de tensión en la fábrica Chaide y Chaide S.A., Planta Guayaquil, se ha podido constatar que se cumple de manera satisfactoria con los estándares y requisitos que han sido establecidos por la norma

EN50160. Las mediciones correspondientes a los valores promedio de RMS de la distorsión armónica, así como de la distorsión armónica total, se llevaron a cabo cada 2 minutos, y esto se realizó bajo condiciones de funcionamiento que se consideran normales. Para cada fase (L12, L23, L31), se compararon los resultados con los requisitos especificados por la norma. Se esperaba que el Total Harmonic Distortion (THD) fuera inferior al 8,00 % y que cada armónico individual estuviera dentro de sus límites. Los resultados muestran que el THD es del 2,39 % en L12, 2,40 % en L23 y 2,59 % en L31, cumpliendo con el estándar. Además, cada armónico individual (del 2 al 25) está por debajo de sus respectivos límites. Estos resultados indican una calidad aceptable en cuanto a la distorsión armónica en las tres fases, lo que contribuye a la estabilidad y eficiencia del suministro eléctrico en la planta.

### 5.1.7. Inter armónicos de tensión

Fuente: Los autores.

Cantidad medida		2 minutos valores RMS medios de la distorsión de cada interarmónico y la distorsión armónica total		
Estándar EN50160		Sección 4.2.6 - Informativa		
Condiciones de operación		Normal		
Interarmónicos	Requisito	L12 Medida	L23 Medida	L31 Medida
2	---	0,22 %	0,22 %	0,22 %
3	---	0,18 %	0,19 %	0,19 %
4	---	0,13 %	0,14 %	0,14 %
5	---	0,17 %	0,17 %	0,17 %
6	---	0,10 %	0,11 %	0,11 %
7	---	0,15 %	0,16 %	0,16 %
8	---	0,07 %	0,08 %	0,08 %
9	---	0,14 %	0,13 %	0,13 %
10	---	0,09 %	0,08 %	0,08 %
11	---	0,14 %	0,13 %	0,13 %
12	---	0,08 %	0,09 %	0,09 %
13	---	0,35 %	0,28 %	0,28 %
14	---	0,08 %	0,08 %	0,08 %
15	---	0,19 %	0,19 %	0,19 %
16	---	0,10 %	0,08 %	0,08 %
17	---	0,13 %	0,11 %	0,11 %
18	---	0,08 %	0,09 %	0,09 %
19	---	0,11 %	0,11 %	0,11 %
20	---	0,09 %	0,08 %	0,08 %
21	---	0,11 %	0,09 %	0,09 %
22	---	0,09 %	0,07 %	0,07 %
23	---	0,11 %	0,09 %	0,09 %
24	---	0,08 %	0,09 %	0,09 %
25	---	0,11 %	0,11 %	0,11 %

Figura No. 21. Interarmónicos de tensión.

El análisis de los interarmónicos de tensión en la fábrica Chaide y Chaide S.A., Planta Guayaquil, se realizó midiendo los valores RMS medios de la distorsión de cada interarmónico y la distorsión armónica total cada 2 minutos bajo condiciones de operación normales. Según la sección 4.2.6 de la norma EN50160, que es informativa y no establece límites específicos para los interarmónicos, los valores medidos para las fases L12, L23 y L31 fueron consistentes. Los interarmónicos individuales mostraron valores bajos, sugiriendo que la calidad de la energía respecto a los interarmónicos es aceptable y no contribuye significativamente a la distorsión total del sistema eléctrico de la planta. Estos resultados indican que, aunque no existen requisitos específicos en la norma para los interarmónicos, los niveles medidos están dentro de lo esperado para mantener una operación estable y eficiente.

### 5.1.8. Señalización

**Fuente:** Los autores.

Cantidad medida	Valor principal de 3sg de las tensiones de las señales a 316,00 y 1.060,00 Hz						
Estándar EN50160	Sección 4.2.7						
Condiciones de operación	Normal						
<b>Señal de tensión a 316,00 Hz (% del tiempo inferior a 19,80 V)</b>							
		L12		L23		L31	
<b>Hora de inicio</b>	<b>Hora de parada</b>	<b>Medida</b>	<b>Estado</b>	<b>Medida</b>	<b>Estado</b>	<b>Medida</b>	<b>Estado</b>
23/2/2024 13:42:00	24/2/2024 0:00:00	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa
24/2/2024 0:00:00	25/2/2024 0:00:00	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa
25/2/2024 0:00:00	26/2/2024 0:00:00	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa
26/2/2024 0:00:00	27/2/2024 0:00:00	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa
27/2/2024 0:00:00	28/2/2024 0:00:00	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa
28/2/2024 0:00:00	29/2/2024 0:00:00	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa
29/2/2024 0:00:00	1/3/2024 0:00:00	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa
1/3/2024 0:00:00	1/3/2024 13:42:00	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa
<b>Señal de tensión a 1.060,00 Hz (% del tiempo inferior a 11,00 V)</b>							
		L12		L23		L31	
<b>Hora de inicio</b>	<b>Hora de parada</b>	<b>Medida</b>	<b>Estado</b>	<b>Medida</b>	<b>Estado</b>	<b>Medida</b>	<b>Estado</b>
23/2/2024 13:42:00	24/2/2024 0:00:00	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa
24/2/2024 0:00:00	25/2/2024 0:00:00	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa
25/2/2024 0:00:00	26/2/2024 0:00:00	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa
26/2/2024 0:00:00	27/2/2024 0:00:00	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa
27/2/2024 0:00:00	28/2/2024 0:00:00	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa
28/2/2024 0:00:00	29/2/2024 0:00:00	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa
29/2/2024 0:00:00	1/3/2024 0:00:00	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa
1/3/2024 0:00:00	1/3/2024 13:42:00	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa	100,00 %	Pasa

**Figura No 22.** Señalización.

El análisis de las señales de tensión en la fábrica Chaide y Chaide S.A., Planta Guayaquil, según la sección 4.2.7 de la norma EN50160, revela un cumplimiento total con los requisitos establecidos. Las mediciones realizadas bajo condiciones de operación normales evaluaron el valor principal de 3 segundos de las tensiones de las señales a 316,00 Hz y 1.060,00 Hz. Para la señal a 316,00 Hz, se comprobó que, en cada intervalo de medición, las tensiones permanecieron por debajo de 19,80 V el 100 % del tiempo en todas las fases (L12, L23, L31). De igual manera, para la señal a 1.060,00 Hz, las tensiones se mantuvieron por debajo de 11,00 V el 100 % del tiempo en todas las fases. Estos resultados confirman que las señales de tensión se encuentran dentro de los estándares de señalización establecidos por la norma EN50160, asegurando que la planta trabaja con normalidad durante el período de medición del 23 de febrero al 1 de marzo de 2024.

### 5.1.9. Sobretensiones

**Fuente:** Los autores.

Tensión nominal	220,00 V		
Cantidad medida	Número de sobretensiones en los rangos de tensión y duración predefinidos		
Método de medición	RMS de un ciclo actualizado cada medio ciclo $U_{rms}(1/2)$ . La sobretensión comienza cuando la tensión de uno o más canales están por encima del umbral de sobretensión y termina cuando la tensión en todos los canales medidos es igual o está por debajo del umbral de sobretensión menos la histéresis de tensión.		
Condiciones de operación	Normal		
Estándar EN50160	Sección 4.3.2.6		
Tensión de la sobretensión (% de la nominal)	Duración (ms)		
	$10 \leq t \leq 500$	$500 < t \leq 5000$	$5000 < t \leq 60000$
$120 > U > 110$	1323	1595	304
$U \geq 120$	0	0	1

**Figura No 23.** Sobretensiones.

El análisis de las sobretensiones en la fábrica Chaide y Chaide S.A., Planta Guayaquil, basado en la sección 4.3.2.6 de la norma EN50160, se realizó midiendo el número de sobretensiones en rangos de tensión y duración predefinidos, utilizando el método RMS de un período restablecido cada medio ciclo ( $U_{rms}(1/2)$ ). Las mediciones, efectuadas bajo condiciones de operación normales, mostraron lo siguiente: para sobretensiones donde la tensión es superior al 110 % pero inferior al 120 % de la tensión nominal (220 V), se

registraron 1323 eventos con una duración entre 10 y 500 ms, 1595 eventos con una duración entre 500 y 5000 ms, y 304 eventos con una duración entre 5000 y 60000 ms. Para sobretensiones donde la tensión es igual o superior al 120 % de la nominal, se detectó solo un evento con una duración entre 5000 y 60000 ms, y ningún evento en los otros intervalos de duración. Estos datos indican la presencia frecuente de sobretensiones de menor magnitud, lo que podría afectar la calidad del suministro eléctrico en la planta, sugiriendo la necesidad de implementar medidas correctivas para mitigar estos eventos y asegurar un funcionamiento más estable del sistema eléctrico.

#### 5.1.10. Sumario de cumplimiento según EN50160

<b>FRECUENCIA DEL SISTEMA</b>	PASA
<b>VARIACIONES DE TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN</b>	NO PASA
<b>SEVERIDAD DEL FLICKER</b>	NO PASA
<b>DESEQUILIBRIO DE TENSIÓN</b>	PASA
<b>TENSIONES DE ARMÓNICOS</b>	PASA
<b>TENSIONES DE INTERARMÓNICOS</b>	MEDIDA
<b>SEÑALIZACIÓN</b>	PASA
<b>HUECOS</b>	9
<b>INTERRUPCIONES</b>	3
<b>SOBRETENSIONES</b>	3223

**Tabla No. 10.** Sumario de cumplimiento según EN50160.

El sumario de cumplimiento según la norma EN50160 muestra que la fábrica Chaide y Chaide S.A., Planta Guayaquil, presenta varios problemas de calidad de energía. La frecuencia del sistema y el desequilibrio de tensión cumplen con los estándares, al igual que las tensiones de armónicos y la señalización. Sin embargo, las variaciones de tensión de alimentación y la severidad del flicker no cumplen con los requisitos. En términos de eventos específicos, se registraron 9 huecos, 3 interrupciones y 3223 sobretensiones. Las tensiones de interarmónicos fueron medidas, pero no se menciona si cumplen o no con la norma. Estos resultados indican que, aunque algunos parámetros están dentro de los límites aceptables,

hay áreas críticas, como las variaciones de tensión y el flicker, que necesitan atención inmediata para perfeccionar la eficacia de la energía y asegurar el cumplimiento total con la EN50160.

### 5.1.11. Resumen de Cumplimiento IEEE 519

Fuente: Los autores.

Resumen de la grabación semanal. Tiempo corto 2 min							
23/2/2024 13:44:00 - 1/3/2024 13:42:00, 95 %							
Armónico de tensión	Pasa						
THD de tensión	Pasa						
Armónico de corriente	No pasa						
Distorsión de la demanda total	No pasa						
23/2/2024 13:44:00 - 1/3/2024 13:42:00, 99 %							
Armónico de corriente	No pasa						
Distorsión de la demanda total	No pasa						
Tiempo corto Armónicos de Tensión y THD - para 95 % del							
23/2/2024 13:42:00 - 1/3/2024 13:42:00							
Cantidad medida	2 minutos valores medios RMS de los armónicos y la Distorsión Armónica Total (THD). Todos los valores de los armónicos expresados en porcentaje (%) están en relación a la tensión del bus en PCC.						
Período de Medición efectivo	61,79 %						
Tensión del bus en PCC	220,00 VLL						
Tensión del bus en criterios PCC	$U_{BUS} \leq 1,00$ kV						
Límites	95 % de las mediciones de THD de tensión deberían ser inferiores al 8 %. 95 % de las mediciones de armónicos individuales de tensión deberían ser inferiores al 5 %.						
Normativa IEEE 519	Sección 5.1						
Armónico	Límite (%)	Armónicos de tensión -		Armónicos de tensión -		Armónicos de tensión -	
		Medido (%)	Estado	Medido (%)	Estado	Medido (%)	Estado
THD	8,00	2,47	Pasa	2,50	Pasa	2,71	Pasa
2	5,00	0,18	Pasa	0,22	Pasa	0,31	Pasa
3	5,00	0,57	Pasa	0,43	Pasa	0,47	Pasa
4	5,00	0,07	Pasa	0,08	Pasa	0,09	Pasa
5	5,00	1,79	Pasa	1,68	Pasa	1,93	Pasa
6	5,00	0,05	Pasa	0,06	Pasa	0,07	Pasa
7	5,00	1,16	Pasa	1,38	Pasa	1,44	Pasa
8	5,00	0,05	Pasa	0,05	Pasa	0,05	Pasa
9	5,00	0,28	Pasa	0,25	Pasa	0,29	Pasa
10	5,00	0,04	Pasa	0,04	Pasa	0,04	Pasa
11	5,00	0,93	Pasa	0,85	Pasa	0,86	Pasa
12	5,00	0,05	Pasa	0,05	Pasa	0,04	Pasa
13	5,00	0,51	Pasa	0,68	Pasa	0,78	Pasa
14	5,00	0,05	Pasa	0,05	Pasa	0,04	Pasa
15	5,00	0,26	Pasa	0,19	Pasa	0,23	Pasa
16	5,00	0,06	Pasa	0,06	Pasa	0,04	Pasa
17	5,00	0,42	Pasa	0,28	Pasa	0,36	Pasa
18	5,00	0,07	Pasa	0,07	Pasa	0,04	Pasa
19	5,00	0,31	Pasa	0,51	Pasa	0,49	Pasa
20	5,00	0,08	Pasa	0,07	Pasa	0,04	Pasa
21	5,00	0,22	Pasa	0,22	Pasa	0,26	Pasa
22	5,00	0,09	Pasa	0,08	Pasa	0,03	Pasa
23	5,00	0,34	Pasa	0,20	Pasa	0,27	Pasa
24	5,00	0,09	Pasa	0,08	Pasa	0,03	Pasa
25	5,00	0,24	Pasa	0,41	Pasa	0,32	Pasa
26	5,00	0,09	Pasa	0,08	Pasa	0,03	Pasa
27	5,00	0,17	Pasa	0,12	Pasa	0,16	Pasa
28	5,00	0,08	Pasa	0,07	Pasa	0,03	Pasa
29	5,00	0,22	Pasa	0,13	Pasa	0,17	Pasa
30	5,00	0,07	Pasa	0,06	Pasa	0,03	Pasa



**Figura No. 24.** Resumen de cumplimiento de la norma IEEE 519.

El informe que sintetiza el grado de conformidad con la norma IEEE 519, correspondiente a las operaciones de la fábrica, en el transcurso del período de medición semanal que abarca desde el 23 de febrero de 2024 hasta el 1 de marzo de 2024, pone de manifiesto los siguientes resultados significativos. En lo que respecta a los armónicos de tensión y a (THD, por sus siglas en inglés), las mediciones que se han efectuado cada dos minutos indican que durante el 95 % del tiempo se han cumplido satisfactoriamente con los límites que se habían establecido previamente.

En particular, se observó que la THD de tensión se mantuvo por debajo del 8 %, mientras que los armónicos individuales de tensión también permanecieron por debajo del 5 %. De este modo, se puede afirmar que se ha cumplido con la normativa vigente en esta materia. No obstante, se observó que los armónicos presentes en la corriente, así como la distorsión en la demanda total, no lograron cumplir con los límites que habían sido establecidos para el 95 % y el 99 % del periodo de medición.

Esto sugiere la existencia de problemas considerables en la calidad de la corriente eléctrica analizada. La medida de tensión del bus en el punto de acoplamiento común (PCC) se registró en un valor de 220,00 voltios en línea a línea (VL-L), lo cual se encuentra dentro de los parámetros y criterios establecidos por la normativa IEEE 519.

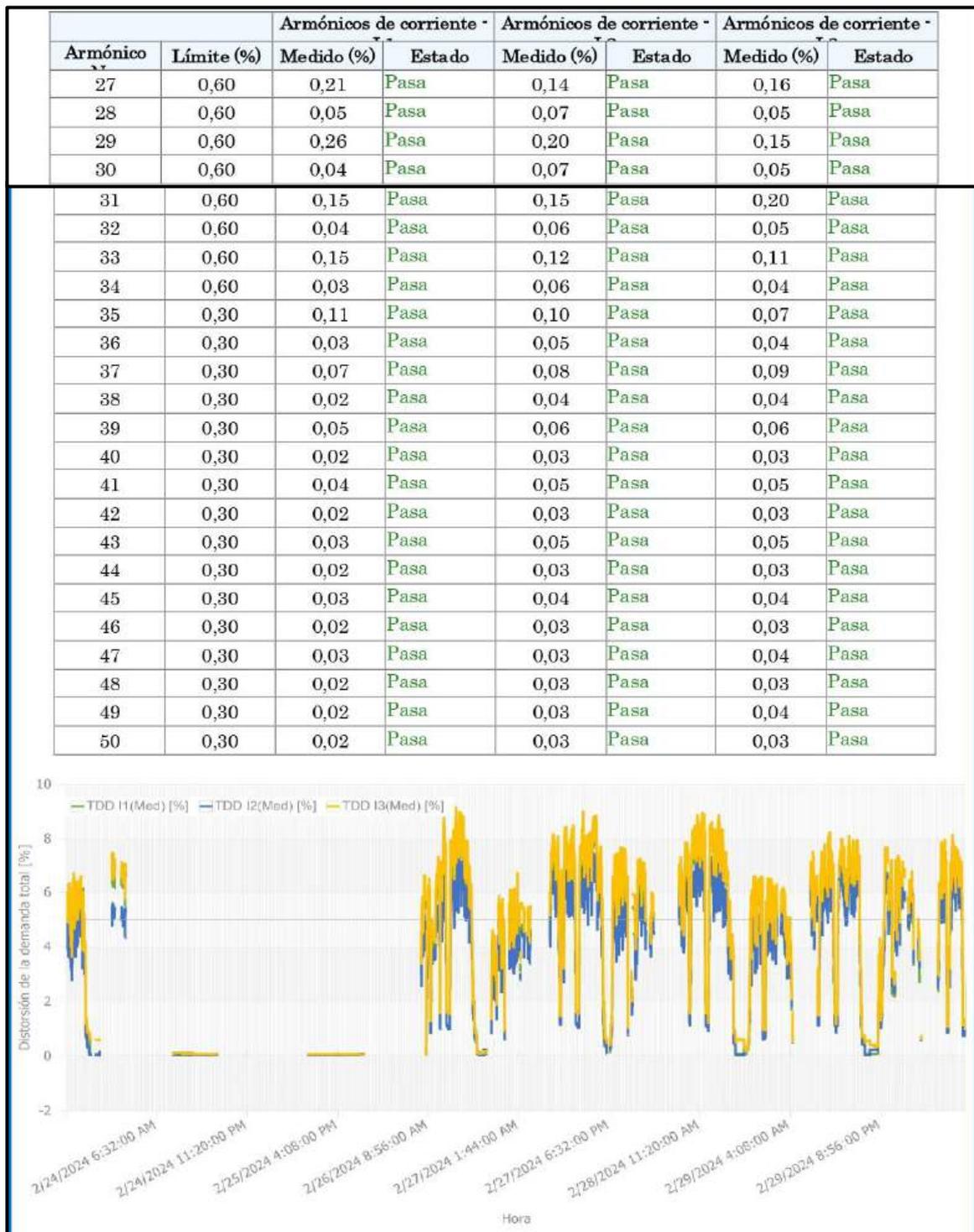
Esta normativa es aplicable a sistemas que operan con una tensión en el bus que no exceda 1,00 kilovoltio (kV). Con un período de medición que ha demostrado ser efectivo y que se sitúa en un notable 61,79 %, los resultados obtenidos resaltan de manera significativa la urgencia de llevar a cabo reformas y mejoras sustanciales en la gestión de la calidad de la corriente eléctrica.

Esto es crucial para poder cumplir de manera plena y efectiva con los estándares establecidos por IEEE 519, así como para asegurar un suministro de energía eléctrica que sea más estable y eficiente en la planta de producción.

### 5.1.12. Tiempo corto Armónicos de corriente y TDD – 95%

Fuente: Los autores.

Tiempo corto Armónicos de corriente y TDD - para 95 % del							
23/2/2024 13:42:00 - 1/3/2024 13:42:00							
Cantidad medida	2 minutos valores medios RMS de los armónicos y al Distorsión de Demanda Total (TDD). Todos los valores armónicos están expresados como porcentaje (%) de la corriente demandada máxima $I_L$						
Tensión del bus en PCC	220,00 $V_{LL}$						
Porcentaje de los intervalos no marcados	61,79 %						
Máxima corriente de carga demandada (fundamental)	352,59 A						
Máxima corriente de corto circuito $I_{sc}$	15,00 A						
Criterios	120,00 V < $U_{BUS}$ ≤ 69,00 kV $I_{sc}/I_L < 20$						
Límites	95 % de las mediciones de TDD deberían ser inferiores al 5 %. 95 % de las mediciones de armónicos individuales de corriente deberían ser inferiores a lo requerido en la tabla siguiente.						
Normativa IEEE 519	Sección 5.2						
Armónico	Límite (%)	Armónicos de corriente -		Armónicos de corriente -		Armónicos de corriente -	
		Medido (%)	Estado	Medido (%)	Estado	Medido (%)	Estado
TDD	5,00	7,83	No pasa	6,74	No pasa	8,02	No pasa
2	2,00	2,53	No pasa	1,72	Pasa	2,81	No pasa
3	4,00	3,12	Pasa	2,48	Pasa	2,30	Pasa
4	2,00	0,42	Pasa	0,39	Pasa	0,50	Pasa
5	4,00	5,78	No pasa	4,93	No pasa	5,84	No pasa
6	2,00	0,23	Pasa	0,23	Pasa	0,28	Pasa
7	4,00	3,61	Pasa	3,48	Pasa	4,18	No pasa
8	4,00	0,14	Pasa	0,17	Pasa	0,18	Pasa
9	4,00	0,63	Pasa	0,53	Pasa	0,57	Pasa
10	4,00	0,10	Pasa	0,12	Pasa	0,13	Pasa
11	2,00	1,07	Pasa	0,99	Pasa	0,78	Pasa
12	2,00	0,09	Pasa	0,11	Pasa	0,11	Pasa
13	2,00	0,59	Pasa	0,57	Pasa	0,85	Pasa
14	2,00	0,08	Pasa	0,09	Pasa	0,10	Pasa
15	2,00	0,44	Pasa	0,32	Pasa	0,29	Pasa
16	2,00	0,07	Pasa	0,08	Pasa	0,08	Pasa
17	1,50	0,64	Pasa	0,51	Pasa	0,51	Pasa
18	1,50	0,06	Pasa	0,07	Pasa	0,07	Pasa
19	1,50	0,30	Pasa	0,37	Pasa	0,50	Pasa
20	1,50	0,05	Pasa	0,07	Pasa	0,07	Pasa
21	1,50	0,24	Pasa	0,19	Pasa	0,21	Pasa
22	1,50	0,05	Pasa	0,07	Pasa	0,06	Pasa
23	0,60	0,33	Pasa	0,28	Pasa	0,26	Pasa
24	0,60	0,04	Pasa	0,07	Pasa	0,06	Pasa
25	0,60	0,20	Pasa	0,24	Pasa	0,31	Pasa
26	0,60	0,05	Pasa	0,07	Pasa	0,05	Pasa



**Figura No. 25.** Tiempo corto Armónicos de corriente y TDD.95%.

El resumen del cumplimiento de la norma IEEE 519 para los armónicos de corriente en la fábrica Chaide y Chaide S.A., Planta Guayaquil, revela que las mediciones no cumplen con los límites establecidos para la distorsión de la demanda total (TDD) y varios armónicos

individuales de corriente. Según la sección 5.2 de la normativa, para sistemas con una tensión de bus (UBUS) entre 120,00 V y 69,00 kV y una relación ISC/IL menor a 20, el 95 % de las mediciones de TDD deberían ser inferiores al 5 %, y los armónicos individuales de corriente deben estar dentro de los límites especificados. Durante el período de medición del 23 de febrero al 1 de marzo de 2024, los valores de TDD fueron 7,83 %, 6,74 % y 8,02 % para las fases L1, L2 y L3 respectivamente, todos superiores al límite del 5 %, lo que indica incumplimiento. Además, los armónicos de corriente en las fases L1, L2 y L3 también mostraron varios incumplimientos: el segundo armónico en L1 y L3, el quinto armónico en todas las fases, y el séptimo armónico en L3 no cumplieron con los límites requeridos. Los resultados obtenidos destacan de manera significativa la importancia de llevar a cabo la implementación de medidas correctivas que sean efectivas para disminuir los armónicos presentes en la corriente eléctrica. Además, es fundamental que se busque mejorar la calidad de la energía suministrada, garantizando así el estricto cumplimiento de los estándares establecidos por la IEEE 519. Esto es crucial para asegurar no solo la estabilidad, sino también la eficiencia del suministro eléctrico que se proporciona en la planta.

### 5.1.13. Tiempo corto Armónicos de corriente y TDD – 99%

Fuente: Los autores.

Tiempo corto Armónicos de corriente y TDD - para 99 % del							
23/2/2024 13:42:00 - 1/3/2024 13:42:00							
Cantidad medida	2 minutos valores medios RMS de los armónicos y al Distorsión de Demanda Total (TDD). Todos los valores armónicos están expresados como porcentaje (%) de la corriente demandada máxima $I_L$						
Tensión del bus en PCC	220,00 V <sub>LL</sub>						
Porcentaje de los intervalos no marcados	61,79 %						
Máxima corriente de carga demandada (fundamental)	352,59 A						
Máxima corriente de corto circuito $I_{SC}$	15,00 A						
Criterios	$120,00 \text{ V} < U_{BUS} \leq 69,00 \text{ kV}$ $I_{SC}/I_L < 20$						
Límites	99 % de las mediciones de TDD deberían ser inferiores al 7,5 %. 99 % de las mediciones de armónicos individuales de corriente deberían ser inferiores a lo requerido en la tabla siguiente.						
Normativa IEEE 519	Sección 5.2						
Armónico	Límite (%)	Armónicos de corriente -		Armónicos de corriente -		Armónicos de corriente -	
		Medido (%)	Estado	Medido (%)	Estado	Medido (%)	Estado
TDD	7,50	8,40	No pasa	7,23	Pasa	8,60	No pasa
2	3,00	2,76	Pasa	1,86	Pasa	3,02	No pasa
3	6,00	3,48	Pasa	2,87	Pasa	2,55	Pasa
4	3,00	0,47	Pasa	0,44	Pasa	0,55	Pasa
5	6,00	6,26	No pasa	5,42	Pasa	6,29	No pasa
6	3,00	0,25	Pasa	0,26	Pasa	0,32	Pasa
7	6,00	3,87	Pasa	3,72	Pasa	4,48	Pasa
8	6,00	0,17	Pasa	0,19	Pasa	0,20	Pasa
9	6,00	0,74	Pasa	0,57	Pasa	0,63	Pasa
10	6,00	0,12	Pasa	0,14	Pasa	0,15	Pasa
11	3,00	1,12	Pasa	1,04	Pasa	0,84	Pasa
12	3,00	0,10	Pasa	0,12	Pasa	0,13	Pasa
13	3,00	0,67	Pasa	0,65	Pasa	0,95	Pasa
14	3,00	0,09	Pasa	0,11	Pasa	0,11	Pasa
15	3,00	0,47	Pasa	0,37	Pasa	0,34	Pasa
16	3,00	0,08	Pasa	0,09	Pasa	0,09	Pasa
17	2,25	0,68	Pasa	0,55	Pasa	0,54	Pasa
18	2,25	0,07	Pasa	0,08	Pasa	0,08	Pasa
19	2,25	0,34	Pasa	0,42	Pasa	0,57	Pasa
20	2,25	0,06	Pasa	0,07	Pasa	0,08	Pasa
21	2,25	0,27	Pasa	0,21	Pasa	0,26	Pasa
22	2,25	0,05	Pasa	0,07	Pasa	0,07	Pasa



Figura No. 26. Tiempo corto Armónicos de corriente y TDD. 99%.

El resumen de cumplimiento de la normativa IEEE 519 para los armónicos de corriente en la planta Chaide y Chaide S.A., revela que varios parámetros no cumplen con los límites establecidos. Durante el período de medición del 23 de febrero al 1 de marzo de 2024, el análisis de 2 minutos de valores RMS medios mostró que el TDD (Distorsión de la Demanda Total) superó el límite del 5 % en todas las fases (L1: 7,83 %, L2: 6,74 %, L3: 8,02 %), incumpliendo así los requisitos. Adicionalmente, se observó que los armónicos individuales también presentaron incumplimientos: el segundo armónico en L1 y L3, el quinto armónico en todas las fases, y el séptimo armónico en L3 no cumplieron con los límites establecidos. Por otro lado, la mayoría de los armónicos de orden superior (del 23 al 50) cumplieron con los límites permitidos, manteniéndose dentro de los valores especificados por la normativa. Estos resultados indican la necesidad de implementar medidas correctivas para reducir los niveles de armónicos de corriente, optimizar la eficacia de energía y asegurar el cumplimiento con la normativa IEEE 519, lo cual es crucial para la estabilidad y eficiencia del suministro eléctrico en la planta.

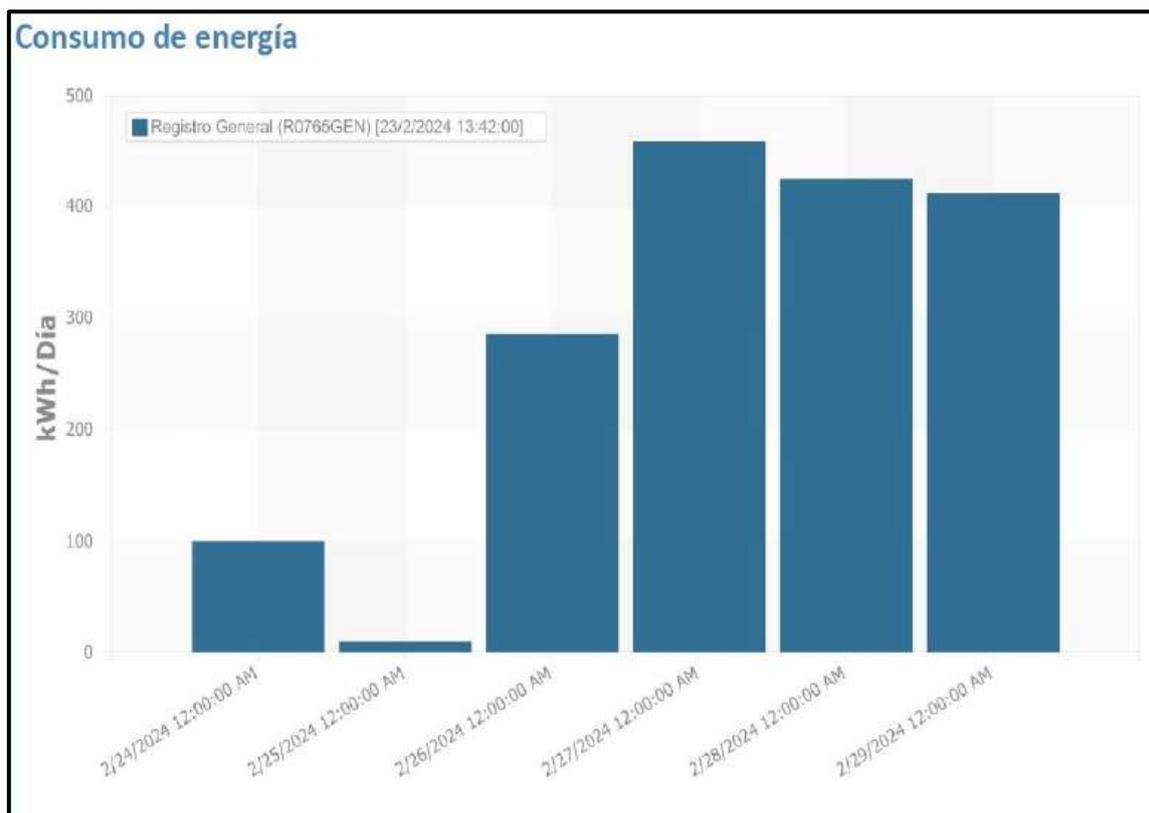
#### 5.1.14. Resumen de Energía

**Fuente:** Los autores.



**Figura No. 27.** Registro de energía.

Fuente: Los autores.



**Figura No. 28.** Gasto de Energía.

El análisis del consumo energético registrado en el periodo del 23 de febrero de 2024 a las 13:42 hasta el 1 de marzo de 2024 a las 13:42 muestra un consumo total de 1688,32 kWh, con un coste total de \$168,83, bajo una única tarifa denominada "Tarifa de prueba". Este consumo se distribuye uniformemente con un consumo promedio diario de 281,39 kWh y un coste promedio diario de \$28,14. A lo largo de los seis días, se observa una variación significativa en el consumo diario, destacando especialmente el día 27 de febrero con un pico de 457,79 kWh, lo cual representa un coste de \$45,78. En contraste, el día 25 de febrero muestra un consumo mínimo de 9,71 kWh con un coste de \$0,97, lo cual es inusualmente bajo en comparación con los otros días. Estos datos sugieren que existen variaciones notables en el patrón de uso energético que podrían deberse a cambios en las operaciones o a eventos específicos que incrementan el consumo en ciertos días. Además, todos los valores se encuentran bajo una única tarifa, simplificando el análisis, pero también limitando la capacidad de evaluar el impacto de diferentes tarifas en el coste total.

### 5.1.15. Demanda de Energía

Fuente: Los autores.

Descripción	Símbolo	Total	Por 1 Día
Energía activa consumida	$Ep^+$	1688316,88 Wh	281386,14 Wh
Energía activa generada	$Ep^-$	0,00 Wh	0,00 Wh
Energía reactiva consumida	$Eq^+$	356906,78 varh	59484,46 varh
Energía reactiva generada	$Eq^-$	10886,60 varh	1814,43 varh

**Figura No. 29.** Demanda de Energía.

La exploración de la instancia de energía para el periodo del 23 de febrero de 2024 a las 13:42 hasta el 1 de marzo de 2024 a las 13:42, muestra un consumo significativo de energía activa y reactiva. La energía activa consumida totalizó 1688316,88 Wh (1688,32 kWh), con un consumo promedio diario de 281386,14 Wh (281,39 kWh). No se registró energía activa generada durante este periodo ( $Ep^- = 0,00$  Wh).

En cuanto a la energía reactiva, se consumieron 356906,78 varh con un promedio diario de 59484,46 varh, mientras que la energía reactiva generada fue de 10886,60 varh, con un promedio diario de 1814,43 varh.

Este análisis del balance energético pone de manifiesto que existe un consumo considerable de energía reactiva, el cual es notablemente más elevado en comparación con la cantidad de energía que se está generando en la instalación. Esta discrepancia podría tener un impacto adverso en el factor de potencia, lo que a su vez podría comprometer la eficiencia operativa del sistema. La falta de energía activa que se produce internamente también sugiere una completa dependencia del suministro externo, lo que significa que no se están realizando contribuciones desde fuentes de generación propias. Esta situación podría ser considerada como un área significativa para investigar y analizar con el propósito de optimizar la eficiencia energética y, de esta manera, disminuir los costos asociados. Mejorar la eficacia en la administración de la energía reactiva, así como explorar y evaluar diferentes opciones para la generación de energía interna, podrían constituir estrategias fundamentales que contribuyan significativamente al aumento de la eficiencia operativa y a la disminución de los costos a largo plazo.

### 5.1.16. Demanda de Potencia Máxima ( $P_{tot}$ )

**Fuente:** Los autores.

	Hora de inicio	Hora de parada	Potencia total $P_{tot}$ (kW)
1	28/2/2024 11:40:00	28/2/2024 11:42:00	38,40
2	28/2/2024 10:52:00	28/2/2024 10:54:00	38,35
3	28/2/2024 12:04:00	28/2/2024 12:06:00	38,32

**Figura No. 30.** Demanda de Potencia Máxima.

Durante el periodo del 23 de febrero de 2024 a las 13:42 hasta el 1 de marzo de 2024 a las 13:42, la demanda de potencia máxima registrada alcanzó un valor notablemente alto. Los tres picos de potencia más elevados ocurrieron el 28 de febrero de 2024, destacando los siguientes intervalos:

- **Primer pico:** Desde las 11:40 hasta las 11:42, con una potencia total de 38,40 kW.
- **Segundo pico:** Desde las 10:52 hasta las 10:54, con una potencia total de 38,35 kW.
- **Tercer pico:** Desde las 12:04 hasta las 12:06, con una potencia total de 38,32 kW.

Estos datos indican que la demanda de potencia fue más alta alrededor del mediodía, lo cual puede estar relacionado con la operatividad máxima de los equipos y la actividad laboral en ese periodo del día. La cercanía de los valores de los picos sugiere una demanda constante y alta durante este intervalo de tiempo, lo que puede requerir una revisión de las cargas conectadas y su distribución para evitar posibles sobrecargas y optimizar el uso de energía. Administrar adecuadamente estos picos de demanda se vuelve absolutamente esencial para no solo incrementar la eficiencia energética, sino también para minimizar los gastos adicionales que pueden surgir a causa de un consumo excesivo de energía durante esos periodos de alta demanda.

### 5.1.17. Demanda promedio de potencia

Fuente: Los autores.

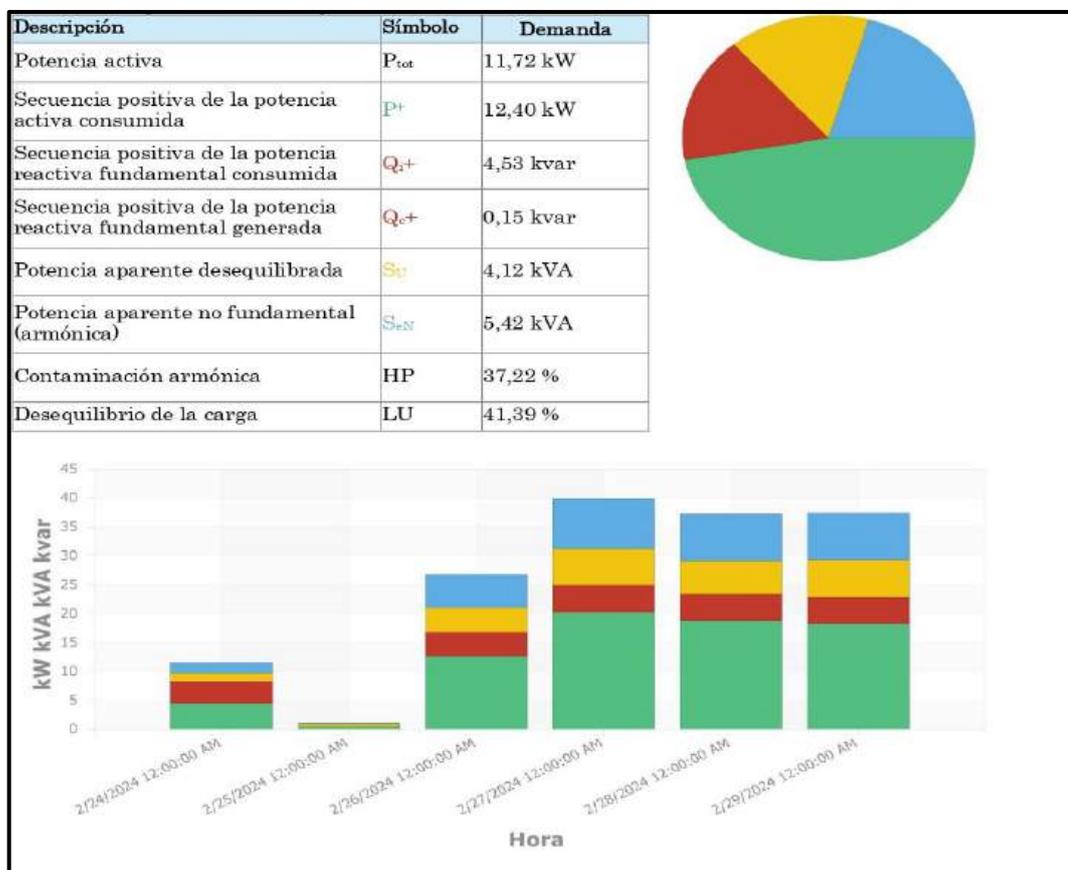


Figura No. 31. Demanda promedio de potencia.

La demanda promedio de potencia durante el período analizado fue significativa, con una potencia activa total ( $P_{tot}$ ) de 11,72 kW. Además, la secuencia positiva de la potencia activa consumida ( $P_+$ ) fue ligeramente mayor, alcanzando los 12,40 kW. En términos de potencia reactiva, se registró una demanda de 4,53 kvar en la secuencia positiva de la potencia reactiva fundamental consumida ( $Q_{i+}$ ), mientras que la potencia reactiva fundamental generada ( $Q_{c+}$ ) fue muy baja, registrando únicamente 0,15 kvar. Se observa también un desequilibrio en la potencia aparente, con una magnitud de 4,12 kVA, y una potencia aparente no fundamental (armónica) de 5,42 kVA. La contaminación armónica, representada por el porcentaje de distorsión armónica total (HP), fue del 37,22 %, lo que sugiere una presencia significativa de armónicos en el sistema eléctrico. Además, se detectó un desequilibrio de carga (LU) del 41,39 %, indicando una distribución desigual de la carga entre las fases del sistema. Los datos recopilados indican de manera clara y detallada diversas áreas en las que existe el potencial para aumentar la eficiencia y mejorar la calidad del suministro eléctrico.

## 5.2. Criterios para el Dimensionamiento del Filtro Activo para la empresa Chaide y Chaide S.A.

Para el dimensionamiento de un Filtro activo siempre será necesario conocer los siguientes datos de la instalación:

### A. Esquema unifilar de la instalación con:

- Punto donde se quiere instalar el filtro.
- Identificar los puntos donde se realizarán las mediciones de armónicos.

Puntos mínimos:

- ✓ En cabecera de la instalación (puntos 1 y 2 de la **Figura No.32.**)
- ✓ Líneas con cargas distorsionantes (puntos 4 y 5).

### B. Datos del transformador de potencia:

- Potencia:  $S_n$  (kVA).
- Tensión del secundario:  $U_2$  (V).
- Tensión de cortocircuito:  $U_{cc}$  (%).

### C. Medición de armónicos y parámetros eléctricos en los diferentes puntos identificados:

- Tasa de distorsión armónica de tensión THD (V) y de corriente THD (I), (total e individual).
- Corriente  $I_n$  a 50,60 Hz y corrientes armónicas.

### D. Si existe batería de condensadores:

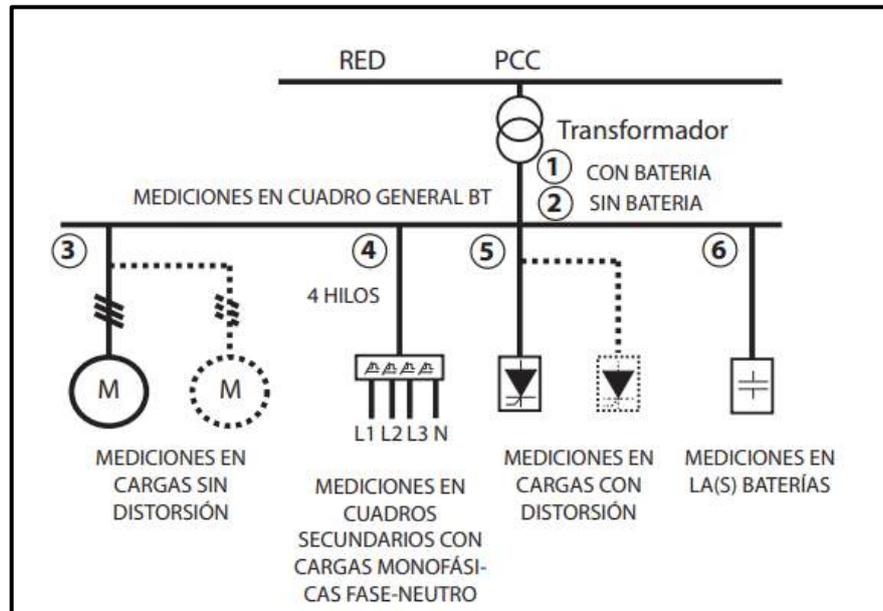
- Potencia de la batería,  $Q$  (kvar), con o sin inductancias de choque.
- Potencia activa de la instalación,  $P$  (kW).
- La medición en cabecera (puntos 1 y 2 de la **Figura No.32.**), con batería conectada y con batería desconectada.

Tener en cuenta el factor de servicio a aplicar en función del THD de tensión de la instalación, debido al incremento de la distorsión que provocan algunas cargas al mejorar su tensión de alimentación, tal y como se explica a continuación: El filtro activo adquirido debe estar dimensionado para las corrientes de armónicos que debe filtrar. La corriente nominal del AFQ debe ser como mínimo un 20% superior al nivel máximo de armónicos a filtrar. Este factor puede ser mayor según las características de la instalación [41].

Para el cálculo de este factor de seguridad deberemos conocer previamente el parámetro llamado relación de cortocircuito  $R_{SC}$ , en el punto de conexión de las cargas no lineales a compensar (no a la entrada de la instalación). La relación de cortocircuito se define como la

relación entre la corriente de cortocircuito de una red ( $I_{SC}$ ) y la corriente nominal del conjunto de convertidores no lineales ( $I_{CNL}$ ) que generan los armónicos que se pretenden filtrar [41].

**Fuente:** Guía de consideraciones para filtros activos, CIRCUTOR.



**Figura No. 32.** Esquema Modelo para cálculo de filtro.

Los filtros activos pueden presentar problemas de sobrecarga al intentar cancelar las corrientes armónicas en redes con alta impedancia de cortocircuito. El síntoma más claro para detectar estos casos suele ser que originalmente se parte de un  $THD(V)$  (en tensión) superior al 3%.

Para evitar este fenómeno conviene sobredimensionar el filtro activo multiplicando la corriente inicial de armónicos medida en la carga por un factor de seguridad ( $FSh$ ). [41]

Es decir:

$$I_{filtro}(AFQe) = [FSh * I_{carga} * THD(I)] \quad (1)$$

Formula Tomada de CIRCUTOR, donde:

**$I_{filtro}(AFQe)$ :** corriente nominal del filtro activo.

**$FSh$ :** factor de seguridad  $> 1.2$ .

**$I_{carga}$ :** corriente máxima de la carga.

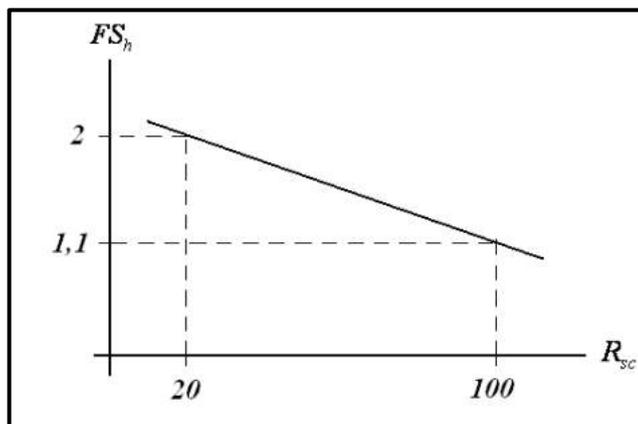
**$THD(I)$ :** distorsión armónica de la corriente de carga.

### 5.3. Cálculos para dimensionar el filtro activo

#### Paso 1: Factor de Seguridad

El Factor de seguridad ( $FS_h$ ) lo podemos obtener a partir de la gráfica:

**Fuente:** Guía de consideraciones para filtros activos, CIRCUTOR.



**Figura No. 33.** Gráfico aproximado para el cálculo de  $FS_h$ .

$$R_{sc} = \frac{I_{sc}}{I_{CNL}} (\%) \quad (2)$$

Formula Tomada de CIRCUTOR, donde:

**$R_{sc}$ :** Relación de cortocircuito.

**$I_{sc}$ :** Corriente de cortocircuito.

**$I_{CNL}$ :** Corriente de carga no lineal.

Para ello necesitamos valores obtenidos por el analizador de redes que se detallan a continuación:

#### Valores de total harmonic distortion de voltaje (THDv) (%)

A continuación, se presenta la **Tabla No. 11.** donde se indican valores obtenidos por el analizador de redes **FLUKE 438-II,** Ver **Figura no. 24.**

ITEM	Punto de Medición	Tensión de Operación (KV)	Distorsión armónica total (%)			tolerancia según NTCSE (%)
			Max.	Prom.	Min.	
1	T.E.S. PANELES	0.24	2.71	2.60	2.47	8.00

**Tabla No. 11.** Distorsión armónica de tensión.

Considerando que el **THD<sub>v</sub>**, registrado tiene valores máximos de 2.71. El factor de seguridad que se considerará es: 1.5. para sobredimensionar el filtro.

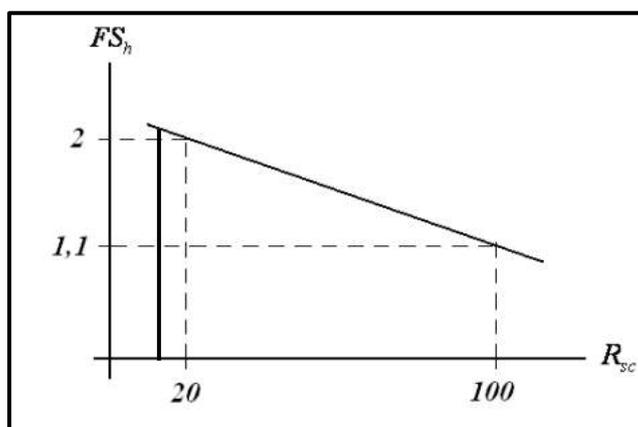
Por otro lado, también tenemos Valores de  $I_{SC}$  y  $I_{CNL}$ :

ITEM	Punto de Medición	Escenario de demanda	Tensión de operación (KV)	Corriente (A)		$I_{SC}/I_{CNL}$ (%)
				cortocircuito	Máxima registrada	
1	T.G.S. PANELES	Máxima	0.24	5539	326	16.99

**Tabla No. 12.** Resultados de corriente de obtenidos en DIGSILENT, Ver ANEXO 11.

Bajo ese criterio se procede a estimar el valor del factor de seguridad:

**Fuente:** Guía de consideraciones para filtros activos, CIRCUTOR.



**Figura No. 34.** Factor de seguridad calculado.

Con un valor de 16.99, se aproxima que el Factor de Seguridad tiene un valor de **2.0**.

### Paso 2: Corriente de Carga Máxima

Luego se procede a la elección de la corriente de carga máxima:

Fase	Punto de Medición	Tensión de operación (KV)	Corriente RMS (A)		
			Máxima	Promedio	Mínima
R	T.G.S. PANELES	0.38	728.91	287.03	80.27
S	T.G.S. PANELES	0.38	640.93	263.93	87.38
T	T.G.S. PANELES	0.38	601.10	240.99	78.73

**Tabla No. 13.** Resultados de las corrientes RMS por fases obtenidos por el analizador.

Se aprecia que una de las fases, la corriente llega a valores máximos de **728.9 Amperios**.

### Paso 3: Valor de total harmonic distortion de corriente (THDi) (%)

Luego se procede a la elección de la corriente de carga promedio en base a los valores obtenidos del analizador FLUKE 438-II, Ver **Figura No.26**.

ITEM	Punto de Medición	Tensión de Operación (KV)	Distorsión armónica total (%)			tolerancia según IEEE519 (%)
			Max.	Prom.	Min.	
1	T.E.S. PANELES	0.24	8.60	7.9	7.23	7.5

**Tabla No. 14.** Resultados de distorsión total.

Del cuadro se obtiene el total demand distortion de corriente TDDi a valores promedios de corriente de carga, es decir el indicador denominado **TDDi: 8%**.

### Paso 4: Dimensionamiento

$$I_{\text{filtro}}(AFQe) = [FSh * I_{\text{carga}} * TDDi] \quad (1)$$

$$I_{\text{filtro}}(AFQe) = [2 * 728.9 * 8\%]$$

$$I_{\text{filtro}}(AFQe) = \mathbf{116.624 A}$$

### Paso 5: Selección del Filtro

**CIRCUTOR** dispone de 10 modelos diferentes de filtros:

Modelos	AFQ-4W-25	AFQ-4W-50	AFQ-4W-100	AFQ-4W-150	AFQ-4W-200
Corriente de fase armónica	25 A <sub>RMS</sub>	50A <sub>RMS</sub>	100A <sub>RMS</sub>	150A <sub>RMS</sub>	200A <sub>RMS</sub>
Corriente de neutro armónica	75A <sub>RMS</sub>	150A <sub>RMS</sub>	300A <sub>RMS</sub>	450A <sub>RMS</sub>	600A <sub>RMS</sub>
Corriente de cresta armónica	50A <sub>PICO</sub>	100A <sub>PICO</sub>	200A <sub>PICO</sub>	300A <sub>PICO</sub>	400A <sub>PICO</sub>
<b>Tabla 1: Modelos del AFQ-4W</b>					
Modelos	AFQ-3W-25	AFQ-3W-50	AFQ-3W-100	AFQ-3W-150	AFQ-3W-200
Corriente de fase armónica	25 A <sub>RMS</sub>	50A <sub>RMS</sub>	100A <sub>RMS</sub>	150A <sub>RMS</sub>	200A <sub>RMS</sub>
Corriente de cresta armónica	50A <sub>PICO</sub>	100A <sub>PICO</sub>	200A <sub>PICO</sub>	300A <sub>PICO</sub>	400A <sub>PICO</sub>

**Tabla No. 15.** Modelo de filtros activos proporcionados por CIRCUTOR.

De acuerdo con el resultado de corriente de filtro calculado y al cuadro anterior, el equipo más adecuado es el modelo **AFQ-3W-150**. **VER ANEXO 9 y 10**.

#### 5.4. Resultados de simulación de flujo armónico de la planta Chaide & Chaide S.A. en software.

Utilizando el método computacional con el software PowerFactory DigSilent V21.0.4. Para el cálculo de los parámetros eléctricos, se considerará la resistencia de los conductores a una temperatura de 20 °C y se enfocará en el análisis de flujo de carga tomando en cuenta las cargas medidas en campo.

##### 5.4.1. Lista de Generador Asíncrono

Motores Asíncronos	Datos Técnicos					
	Potencia nominal	Nivel de tensión	Factor de Potencia	Torque	N.º de polos	Tipo de conexión
Generador Kohler	125 KW	0.24 kV	0.8	1800rpm	1	D

**Tabla No. 16.** Datos técnicos del generador.

El generador asíncrono de la marca Kohler se caracteriza por poseer una potencia nominal de 125 kilovatios (kW) y funciona a una tensión de 0.24 kilovoltios (kV). Además, cuenta con un factor de potencia de 0.8, lo cual indica su capacidad para operar de manera eficiente en la conversión de energía eléctrica, optimizando así su rendimiento en aplicaciones prácticas. Funciona a una velocidad de 1800 rpm con un número de polos de 1 y utiliza una conexión en delta (D). Estas características lo hacen adecuado para aplicaciones que requieren un suministro constante y eficiente de energía a bajo voltaje.

##### 5.4.2. Lista de Conductores

ítems	Designación	Tipo de conductor	Longitud
<b>Barra 13.8 kV</b>			
1	#2ACSR	8.7 /15 kV AAAC – 35 mm <sup>2</sup>	120 m
2	2XLPE	8.7/15 kV - XLPE - (2 x 3 x 1x 35 mm <sup>2</sup> )	120 m

3	6(3F500MCM) +3(N500MCM)	0.24/1 kV - THHN - (6 x 3 x1 x 500 MCM)	120 m
<b>Tablero Eléctrico de Producción</b>			
4	3F#4AWG	0.24/1 kV (3 x 4/0 AWG)	89 m
<b>Tablero Eléctrico Sección de Paneles</b>			
5	RESORTERA 3	0.24/ 1 kV -THHN- (3F 2AWG + 1F 4AWG)	35 m
6	RESORTERA 4	0.24/ 1 kV -THHN- (3F 2AWG + 1F 4AWG)	30 m
7	ALUMBRADO S. P	0.24/ 1 kV - THHN- (3F#8AWG+1F#6AWG)	20 m
8	T. Paneles	0.24/ 1 kV -THHN- (1F 12AWG + 1F 14AWG)	20 m
9	Enderezado AL	0.24/ 1 kV -THHN- (3F 2AWG + 1F 4AWG)	40 m
10	Soldadora M1	0.24/ 1 kV -THHN- (2F 2AWG + 1F 4AWG)	35 m
11	Resortera 5	0.24/ 1 kV -THHN- (3F 2AWG + 1F 4AWG)	25 m
12	Resortera 6	0.24/ 1 kV -THHN- (3F 2AWG + 1F 4AWG)	25 m
13	Resortera 8	0.24/ 1 kV -THHN- (3F 12AWG + 1F 14AWG)	40 m
14	Transfer imperial	0.24/ 1 kV -THHN- (3F 12AWG + 1F 14AWG)	20 m
15	Tomacorriente de Baterías	0.24/ 1 kV -THHN- (2F 12AWG + 1F 14AWG)	5 m
16	Soldadora de Marcos	0.24/ 1 kV -THHN- (2F 10AWG + 1F 14AWG)	35 m
17	Panelera 2	0.24/ 1 kV -THHN- (3F 10AWG + 1F 14AWG)	30 m
18	Panelera 4	0.24/ 1 kV -THHN- (3F 10AWG + 1F 14AWG)	25 m
19	Puente Grúa	0.24/ 1 kV -THHN- (3F 10AWG + 1F 12AWG)	40 m
20	Transfer Continental	0.24/ 1 kV -THHN- (3F 12AWG + 1F 14AWG)	20 m
21	Probador de Resortes	0.24/ 1 kV -THHN- (3F 10AWG + 1F 12AWG)	30 m

**Tabla No. 17.** Lista de conductores.

### 5.4.3. Lista del banco de Transformadores

Celda	Potencia Nominal (Kva)	Nivel De Tensión (Kv)	Tipo De Conexión	T.C.C	Frecuencia (Hz)	Posición De Taps
1	250	13.8/0.24	$\Delta / Y5$	3%	60 HZ	-

**Tabla No. 18.** Lista del banco de Transformadores.

La tabla describe al banco de transformadores que tiene una potencia nominal de 250 kVA y opera con un nivel de tensión de 13.8/0.24 kV. Su tipo de conexión es DY5, y tiene una Tasa de Corto Circuito (T.C.C) del 3%. Además, el transformador funciona a una frecuencia de 60 Hz. La tabla no especifica la posición de los taps ni la variación de los mismos. Estas características son esenciales para determinar la capacidad y el rendimiento del transformador en su aplicación dentro del sistema eléctrico.

A partir de estos listados se llevó a cabo el proceso de modelamiento del sistema eléctrico correspondiente a la planta Chaide y Chaide S.A., utilizando el software PowerFactory DigSilent en su versión V21.0.4. ver **ANEXO (4,5,6,7,8)**. Este modelamiento se realizó tomando como base la información detallada que fue proporcionada por el personal técnico de la planta, así como los datos obtenidos durante la campaña de mediciones que se llevó a cabo previamente. La investigación se fundamenta en el análisis de las redes eléctricas que actualmente se encuentran en funcionamiento dentro del sistema eléctrico, específicamente en el área que rodea a las barras operativas con niveles de tensión de 13.8 KV y 0.24 KV y el tablero eléctrico sección paneles.

En los anexos mencionados anteriormente se muestra un diagrama unifilar que representa la planta, el cual ha sido desarrollado utilizando el software PowerFactory DigSilent versión 21. Este diagrama no solo permite la visualización, sino también un análisis exhaustivo de la configuración del sistema eléctrico de la planta, así como de su comportamiento, proporcionando así una comprensión detallada y precisa de su funcionamiento.

#### 5.4.4. Parámetros de cortocircuito trifásico en la salida de la barra de 13.8 KV

Parámetros	Barra 13.8 kV	Und
Short CircuitPower	623	MVA
Short CircuitCurrent	26.0644	kA

**Tabla No. 19.** Parámetros de cortocircuito.

La potencia de cortocircuito en esta barra es de 623 MVA, mientras que la corriente de cortocircuito es de 26.0644 kA. Estos valores son cruciales para evaluar la capacidad del sistema eléctrico de manejar fallas y para diseñar protecciones adecuadas que garanticen la seguridad y la estabilidad del sistema en condiciones de cortocircuito.

**Fuente:** Los autores.

The screenshot shows the 'External Grid' software interface with the 'Power Quality/Harmonics' tab selected. The 'Use for calculation' dropdown is set to 'Max. Values'. The 'Max. Values' section contains the following parameters:

- Short-Circuit Power Sk' max: 623 MVA
- Short-Circuit Current Ik' max: 26.06444 kA
- c-Factor (max.): 1.1
- R/X Ratio (max.): 0.1
- Impedance Ratio: Z2/Z1 max. (1.), X0/X1 max. (1.), R0/X0 max. (0.1)

The 'Min. Values' section contains the following parameters:

- Short-Circuit Power Sk' min: 623 MVA
- Short-Circuit Current Ik' min: 26.06444 kA
- c-Factor (min.): 1.
- R/X Ratio (min.): 0.1
- Impedance Ratio: Z2/Z1 min. (1.), X0/X1 min. (1.), R0/X0 min. (0.1)

**Figura No. 14.** Parámetros de corto circuito en la salida de la Barra 13.8 KV.

### 5.5. Cálculo de Flujo de Carga

La esquematización de la planta con el uso del software PowerFactory DigSilent V21.0.4 se detalla a continuación, se aprecia que en la barra Tablero Eléctrico Sección Paneles, la tensión está fuera de límites de la Norma Arconel.

Fuente: Los autores.

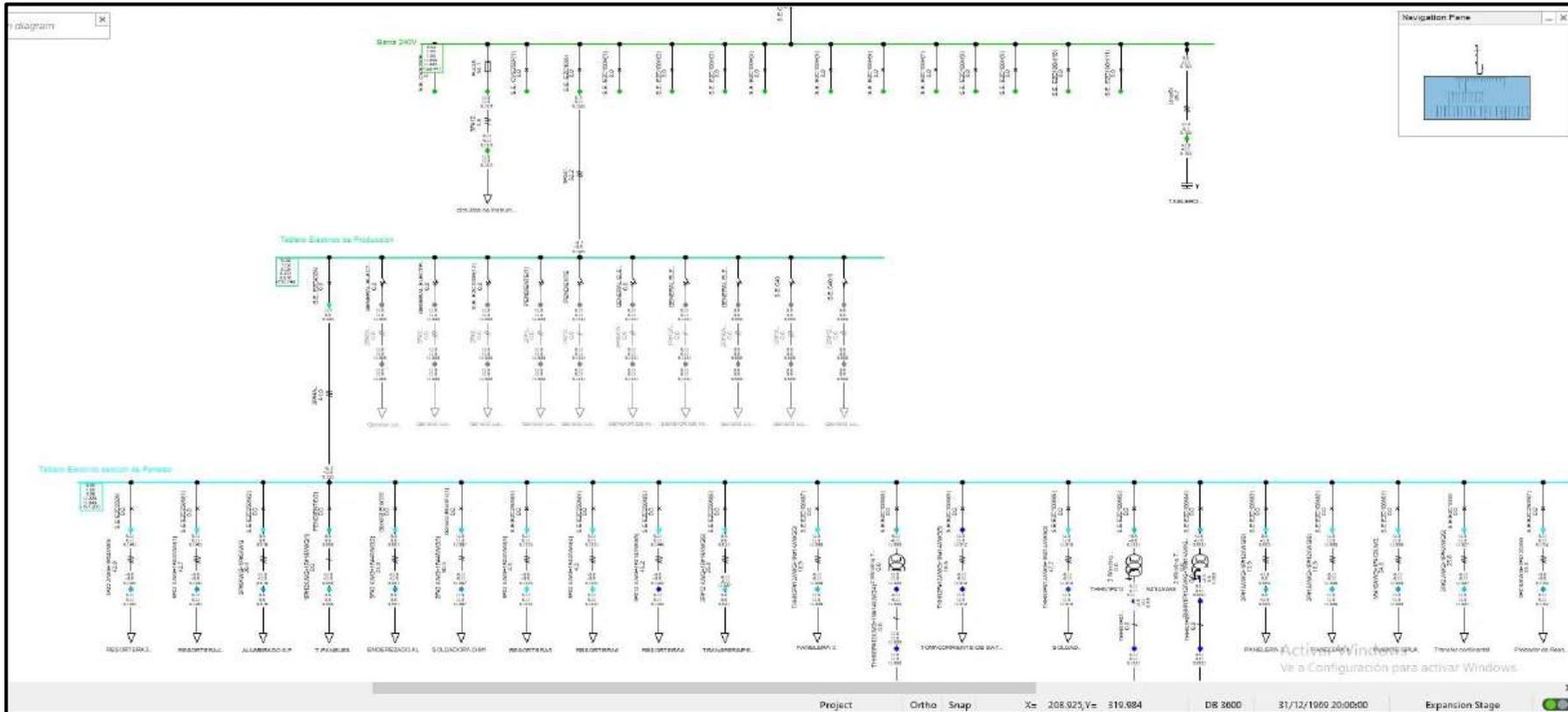


Figura No. 15. Esquematización y simulación de Flujo de Potencia de la Planta.

Fuente: Los autores.

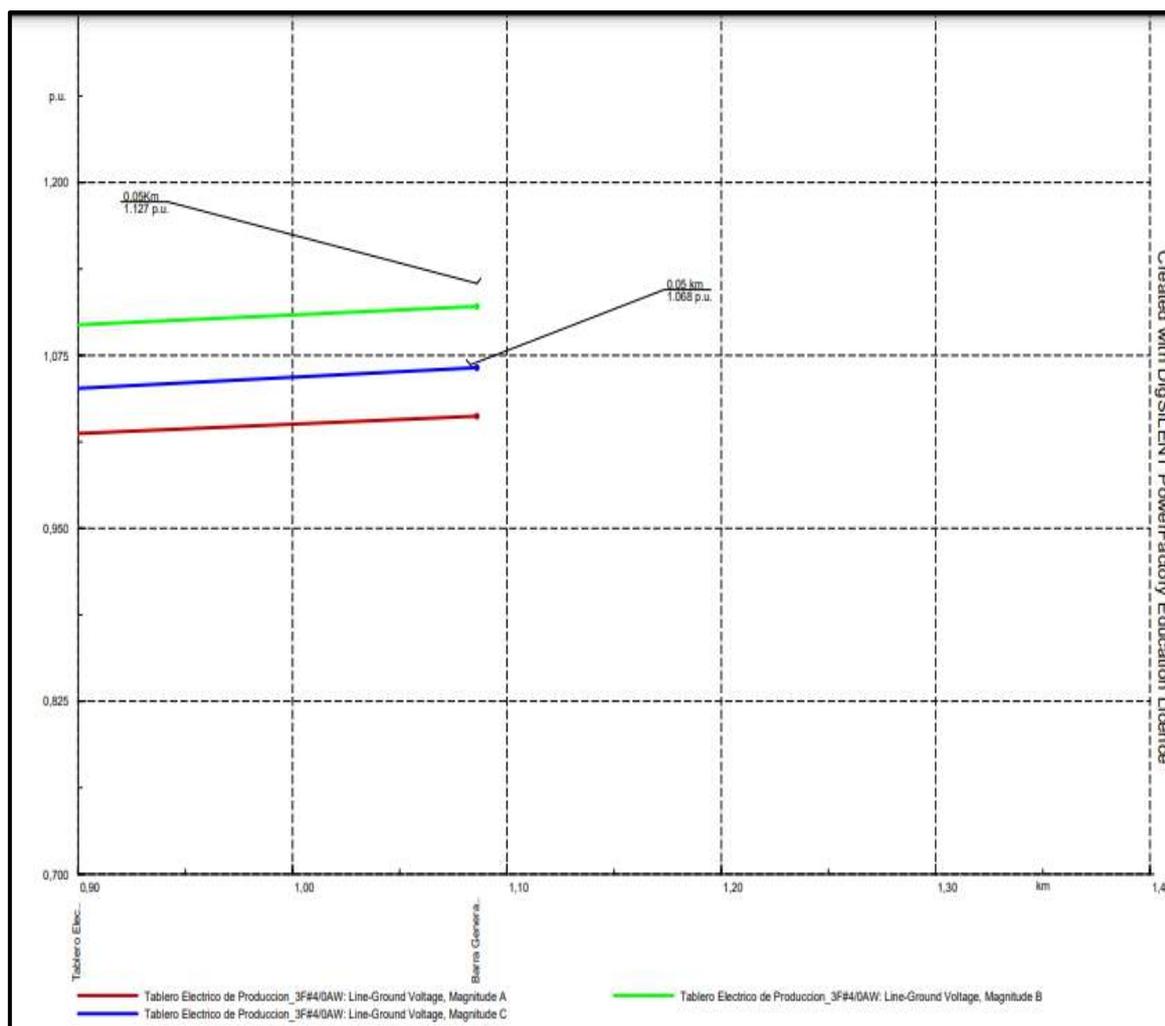


Figura No. 37. Niveles de Tensión.

La imagen muestra un gráfico que representa la variación de la tensión de línea a tierra (line-ground voltage) en diferentes magnitudes (A, B y C) para un Tablero Eléctrico de Producción con conductores de tipo 3F#4/0AWG. Las tres líneas de colores (azul, rojo y verde) corresponden a las tres magnitudes de tensión (A, B y C) y muestran cómo varía la tensión a lo largo de una distancia de aproximadamente 0,05 kilómetros.

### 1. Línea Azul (Magnitud A):

- Comienza con una tensión de aproximadamente 0,95 p.u. (por unidad) en el Tablero Eléctrico de Producción.
- A medida que la distancia aumenta hasta 0,05 km, la tensión aumenta ligeramente hasta alcanzar 1,014 p.u.

### 2. Línea Roja (Magnitud C):

- Inicia en aproximadamente 1.05 p.u. en el Tablero Eléctrico de Producción.
- La tensión aumenta de manera constante a medida que la distancia se incrementa, alcanzando 1.068 p.u. al final de la distancia de 0.05 km.

### **3. Línea Verde (Magnitud B):**

- Comienza en aproximadamente 1.075 p.u.
- A lo largo de la distancia, la tensión aumenta de manera más pronunciada que las otras dos magnitudes, alcanzando 1.127 p.u. a los 0.05 km.

### **5.6. Cálculo de Cortocircuito**

El cálculo de corto circuito ha sido realizado con el método completo disponible en el software PowerFactory DigSilent V21.0.4, el tipo de falla calculado es el trifásico.

Fuente: Los autores.

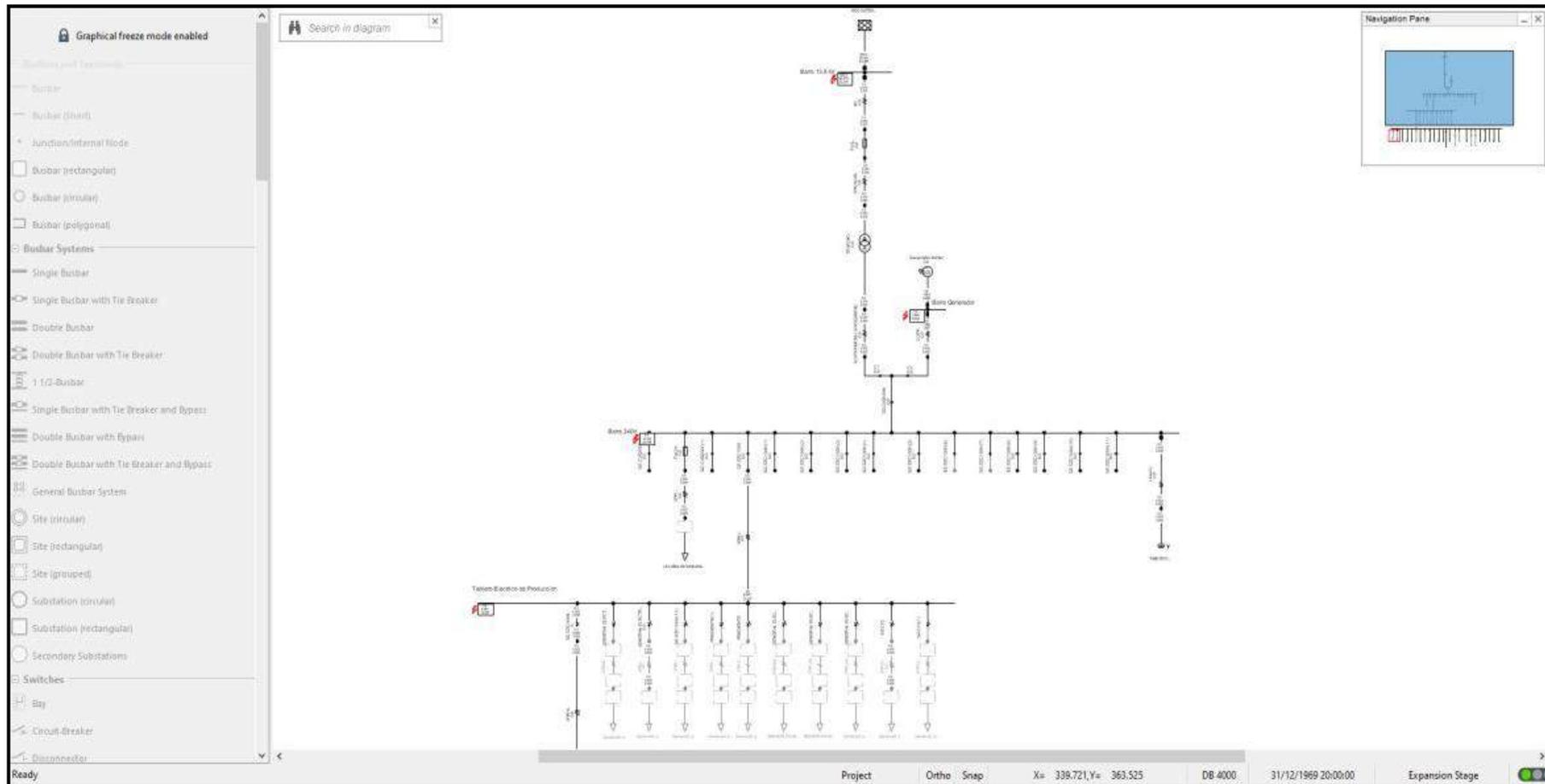


Figura No. 38. Esquemización y cálculo de la corriente de cortocircuito.

Se ha realizado un análisis exhaustivo del cálculo de cortocircuito empleando el método integral que brinda el software PowerFactory DigSilent, en su versión 21.0.4, con un enfoque particular en las fallas trifásicas que pueden ocurrir en los sistemas eléctricos. Este tipo de análisis resulta ser fundamental y de gran importancia para llevar a cabo una evaluación detallada de la capacidad del sistema eléctrico para reaccionar y adaptarse ante situaciones de falla. Además, es esencial para garantizar que se implementen las medidas de protección adecuadas y efectivas. En la **Figura No. 38**, se muestra de manera detallada la esquematización y el procedimiento de cálculo correspondiente a la corriente de cortocircuito que se produce en la barra de la Planta Chaide, así como en la subestación Chaide, operando a una tensión de 0.24 kV. Para llevar a cabo este análisis, se ha hecho uso del software PowerFactory DigSilent versión 21.0.4.

### 5.7. Resultados de cortocircuito trifásico en barras

Nombre	Corriente	Potencia	Corriente Pico
	$I_k''$	$S_k''$	$I_p$
	<b>Ka</b>	<b>MVA</b>	<b>kA</b>
Barra 13.8 KV	26.075	623.2	64.379
Barra Generador	2.965	1.2	5.246
Barra 240V	19.766	8.2	44.749
Barra Tablero Eléctrico de Producción	8.597	3.6	13.437
Tablero Eléctrico de Paneles	5.539	2.3	8.448

**Tabla No. 20.** Resultados de cortocircuito trifásico en barras.

Los resultados del cortocircuito trifásico en diversas barras son los siguientes: En la barra de 13.8 KV, se registró una corriente de cortocircuito ( $I_k''$ ) de 26.075 kA, una potencia de cortocircuito ( $S_k''$ ) de 623.2 MVA y un corriente pico ( $i_p$ ) de 64.379 kA. Para la barra del generador, la corriente de cortocircuito fue de 2.965 kA, la potencia de cortocircuito de 1.2 MVA y la corriente pico de 5.246 kA. En la barra de 240V, la corriente de cortocircuito alcanzó los 19.766 kA, la potencia de cortocircuito fue de 8.2 MVA y la corriente pico llegó a 44.749 kA. En la barra del tablero eléctrico de producción se observó una corriente de cortocircuito de 8.597 kA, con una potencia asociada de 3.6 MVA y un corriente pico de 13.437 kA. Finalmente, en el tablero eléctrico de paneles, la corriente de cortocircuito fue de 5.539 kA, la potencia fue de 2.3 MVA y la corriente pico alcanzó los 8.448 kA.

## 5.8. Análisis de armónicos

A continuación, procedemos a evaluar los niveles de armónicos individuales y totales en las condiciones de operación con y sin filtro activo, así como comparar los niveles de distorsión armónica individual cuando se utiliza el filtro activo propuesto. Para el análisis, se realizará un flujo armónico para determinar la cantidad de armónicos en el escenario de operación normal en la compañía Chaide y Chaide.S.A. Adicionalmente, mediante simulaciones de flujo armónico, se evaluará el impacto del filtro activo propuesto en la red, considerando un THDi objetivo de 5% como máximo.

## 5.9. Resultados de Flujo Armónico

### 5.9.1. Espectro Armónico Desbalanceado del Tablero Eléctrico de Distribución

Se ha tomado como base la magnitud de los espectros armónicos en base a los datos obtenidos por el analizador de redes FLUKE 438-II, para ingresarlos en el software PowerFactory DigSilent.

<b>Tablero Eléctrico Sección Paneles</b>			
<b>Armónico</b>	<b>Fase A (%)</b>	<b>Fase B (%)</b>	<b>Fase C (%)</b>
5	5.78	4.93	5.84
7	3.61	3.48	4.18
11	1.07	0.99	0.78
13	0.59	0.57	0.85
15	0.44	0.32	0.29
17	0.64	0.51	0.51
19	0.3	0.37	0.5
23	0.33	0.28	0.26
25	0.2	0.24	0.31
27	0.21	0.14	0.16
29	0.26	0.2	0.15
31	0.15	0.15	0.2
35	0.11	0.1	0.07
37	0.07	0.08	0.09
40	0.02	0.03	0.03
41	0.04	0.05	0.05
43	0.03	0.05	0.05
45	0.03	0.04	0.04
47	0.03	0.03	0.04

**Tabla No. 10.** Espectro Armónico Desbalanceado del Tablero E.S. Paneles.

### 5.9.2. Resultados en Operación Normal

En las siguientes tablas se muestra el resumen consolidado de los resultados de flujo armónico sin y con el filtro activo propuesto.

Fuente: Los autores

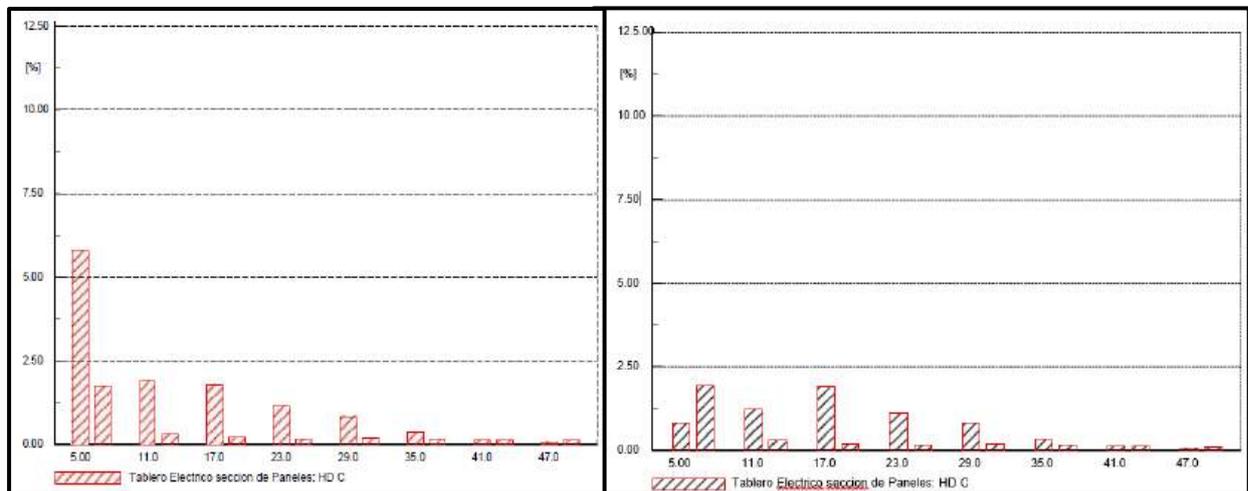


Figura No. 39. Filtro armónico  $L_c$  sin filtro vs con filtro activo respectivamente.

Fuente: Los autores

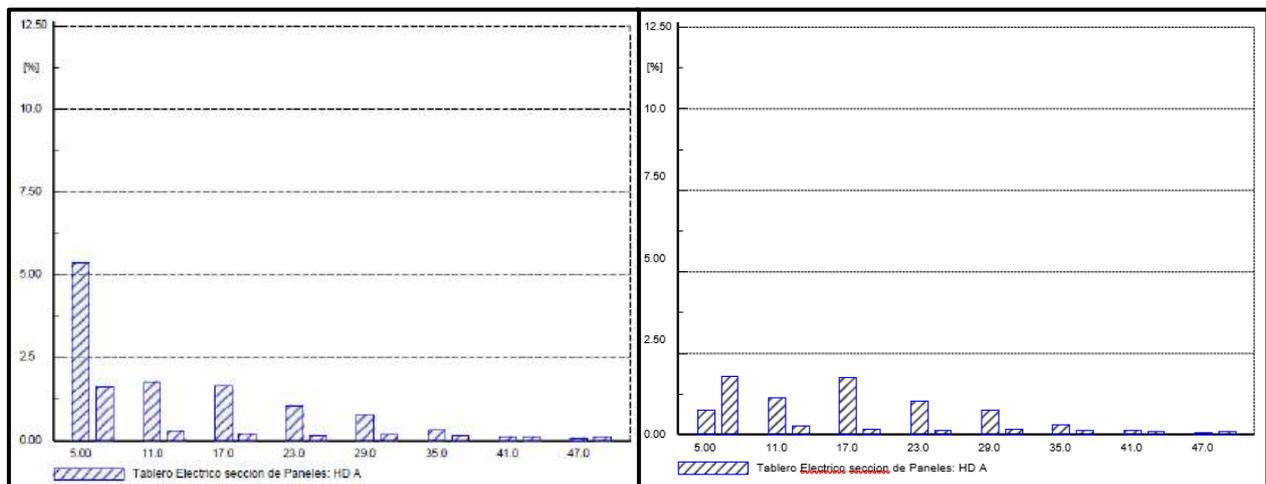


Figura No. 40. Filtro armónico  $L_a$  sin filtro vs con filtro activo respectivamente.

Fuente: Los autores

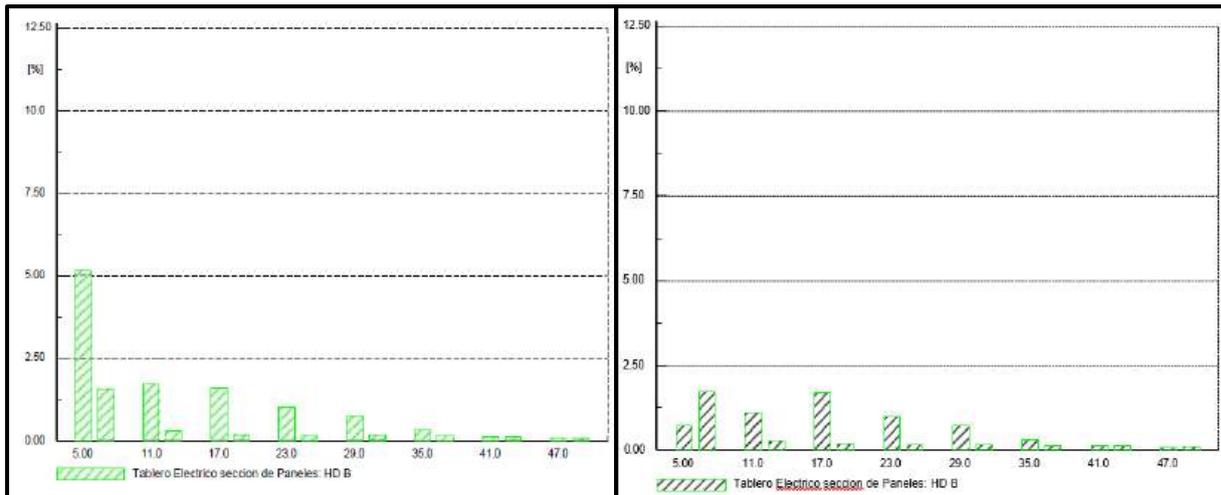


Figura No. 41. Filtro armonico  $L_b$  sin filtro vs con filtro activo respectivamente.

Con el ingreso del filtro se tiene valores de distorsión armónica por debajo del 5%.

El filtro activo propuesto inyecta una máxima corriente perteneciente al 5, 7 y 11 armónica en la barra del tablero sección de paneles teniendo en cuenta que el filtro activo tiene una capacidad de 150 A, esta capacidad tiene como finalidad de mitigar los armónicos de operación normal.

### 5.10. Inyección de corriente de los Filtros Activos

Fuente: Los autores

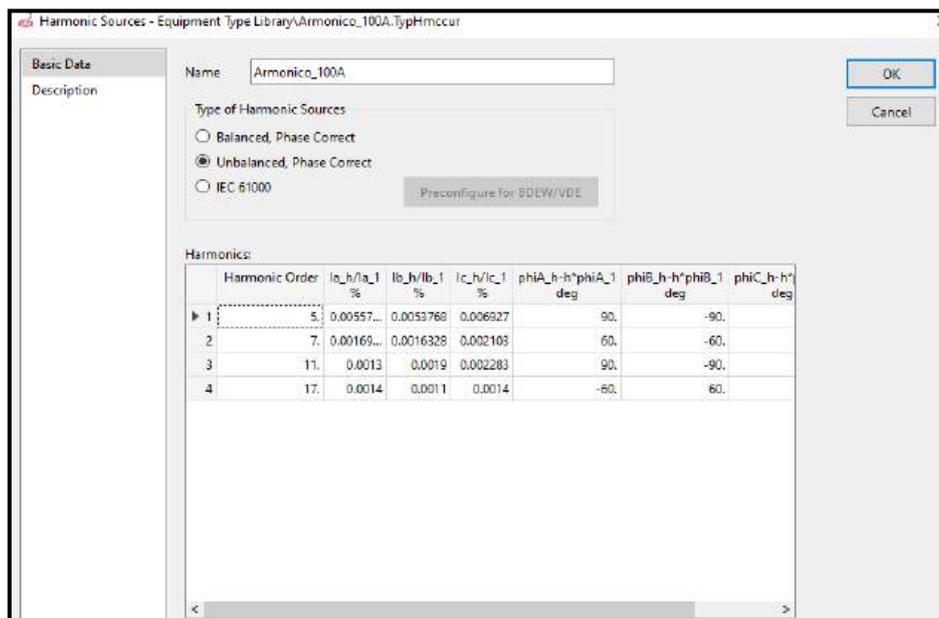


Figura No. 42. Inyección de corriente de Filtro activo propuesto.

Estos valores como se puede observar están en una regulación de armónicos por fase, se puede observar también que con el ingreso del filtro se tiene valores de distorsión armónica por debajo del 5%.

### 5.11. Cuadro comparativo de Flujo de carga

<b>CUADRO COMPARATIVO DE FLUJO DE CARGA</b>	
<b>SIN FILTRO ARMONICO</b>	<b>CON FILTRO ARMONICO</b>
El transformador de distribución no presenta sobrecargas y operan con una cargabilidad máxima de 31.8 % para la operación	con el filtro propuesto presenta una cargabilidad máxima de 39.9 %.
Los porcentajes de armónicos de corriente no se encuentran dentro de los parámetros normales de operación en base al estándar IEEE 519	Con el ingreso del filtro se tiene valores de distorsión armónica por debajo del 5% como establece la norma IEEE 519.
En operaciones normales las protecciones eléctricas no mitigan la distorsión armónica de corriente encontradas por el analizador de redes FLUKE 438 – II	El filtro activo propuesto inyecta una máxima corriente perteneciente al 3, 5, 7 y 11 armónica en la barra del tablero sección de paneles teniendo en cuenta que el filtro activo tiene una capacidad de 175 A, esta capacidad tiene como finalidad de mitigar los armónicos de operación normal.
Para ambos escenarios La frecuencia de operación se encuentra dentro de los rangos permisibles de trabajo.	
Para ambos escenarios se mantiene un factor de potencia promedio del cual no provoca una penalización por bajo factor de potencia en la empresa distribuidora	

**Tabla No. 22.** Cuadro comparativo sin filtro vs con filtro activo.

## CAPITULO VI

### **6.1. Propuesta de mejora**

La calidad y eficiencia del suministro eléctrico son aspectos críticos para el funcionamiento óptimo de cualquier instalación industrial, y la Fábrica Chaide y Chaide S.A. en Guayaquil no es una excepción. Basándose en un análisis exhaustivo de los datos proporcionados por los instrumentos de medición y las normativas pertinentes, se ha identificado áreas clave de mejora para afrontar los retos existentes y futuros.

Esta propuesta que se está presentando incluye una variedad de recomendaciones detalladas y acciones concretas que tienen como objetivo principal abordar y mejorar significativamente la eficiencia energética, así como también buscar la optimización del consumo energético en la planta. “La Fábrica Chaide y Chaide S.A.” es una empresa que opera bajo el nombre de Chaide y Chaide, la cual está estructurada como una entidad corporativa o corporación. La planta de Guayaquil se encuentra ante diversos retos y dificultades que están directamente relacionados con la calidad de la energía que recibe. Estos desafíos no solo impactan negativamente en la eficiencia operativa de sus procesos, sino que también ponen en riesgo la integridad y el buen funcionamiento de los equipos eléctricos que utilizan en sus operaciones.

Se sugiere un conjunto de soluciones integrales y bien estructuradas. Estas soluciones comprenden no solo la monitorización exhaustiva y el análisis detallado de la red eléctrica existente, sino que también incluyen la puesta en marcha de diversas medidas destinadas a la corrección de deficiencias y a la mejora continua de la eficiencia del sistema energético. En las siguientes líneas, se presentarán de manera detallada las diferentes soluciones que se han propuesto para abordar el problema en cuestión:

### **6.2. Evaluación Integral de la Calidad de Energía**

Se sugiere llevar a cabo un análisis exhaustivo y minucioso de la calidad de la energía en la planta, utilizando para ello dispositivos de medición de última generación que permitan obtener resultados precisos y confiables. Esto incluye la monitorización de parámetros como armónicos, sobretensiones, desequilibrios de tensión, flicker y otros indicadores relevantes. La recopilación de datos a largo plazo permitirá identificar patrones de comportamiento y áreas críticas que requieran atención.

### **6.2.1. Importancia de la Evaluación de la Calidad de Energía**

La evaluación es un aspecto crucial que desempeña un papel esencial en asegurar que las instalaciones eléctricas industriales operen de manera eficiente y segura, garantizando así un rendimiento óptimo y minimizando el riesgo de fallos o problemas la marcha de los equipos. Una calidad deficiente de la energía puede provocar una serie de problemas, incluyendo la degradación de equipos, interrupciones en la producción, aumento de costos operativos y riesgos para la seguridad del personal. Por lo tanto, realizar una evaluación exhaustiva de la calidad de energía es esencial para identificar y abordar cualquier problema potencial que pueda afectar la operación de la planta.

## **6.3. Parámetros Por Evaluar**

### **6.3.1. Armónicos**

Los armónicos se definen como elementos de frecuencia que no son deseados, los cuales tienen el potencial de alterar y deformar de manera significativa la forma de onda tanto de la corriente como de la tensión en el sistema eléctrico. Estos componentes pueden ocasionar distorsiones que afectan el rendimiento y la eficiencia de los equipos conectados a la red eléctrica. La existencia de armónicos en un sistema eléctrico puede resultar en un aumento significativo de la temperatura en los equipos, lo que a su vez puede llevar a una reducción notable en la eficiencia energética general.

Además, esta situación también puede provocar fallos o un rendimiento deficiente en dispositivos que son particularmente sensibles a estas irregularidades en la corriente. Por consiguiente, resulta de suma importancia llevar a cabo una medición y un análisis exhaustivo de los niveles de armónicos presentes en el sistema, con el fin de poder identificar la fuente de dichos armónicos y, de esta manera, implementar las medidas correctivas que sean apropiadas y necesarias para solucionar el problema.

### **6.3.2. Sobretensiones**

Las sobretensiones son aumentos repentinos y transitorios en el voltaje eléctrico que pueden dañar equipos sensibles y afectar la estabilidad del sistema. La evaluación de las sobretensiones implica medir su magnitud, duración y frecuencia para determinar su impacto en la planta y tomar medidas para mitigar su efecto.

### **6.3.3. Desequilibrios de Tensión**

Los desequilibrios de tensión se producen cuando las tensiones entre las fases de un sistema eléctrico no son iguales. Estos desequilibrios pueden provocar problemas en los motores eléctricos, pérdida de eficacia e incremento en las pérdidas de energía. Es importante evaluar y corregir los desequilibrios de tensión para garantizar un funcionamiento óptimo de los equipos y evitar daños futuros.

### **6.3.4. Flicker**

El flicker se refiere a variaciones rápidas y perceptibles en el brillo de la luz que pueden ocurrir debido a cambios en la carga eléctrica. Estas variaciones pueden ser molestas para los trabajadores y igualmente logran perturbar la calidad de los productos elaborados. La evaluación del flicker implica medir su nivel y duración para determinar si está dentro de los límites aceptables y tomar medidas para reducir su impacto.

## **6.4. Metodología de Evaluación**

La realización de una evaluación exhaustiva de la calidad de la energía eléctrica se efectúa mediante la utilización de dispositivos de medición altamente sofisticados, que incluyen instrumentos como analizadores de redes y registradores especializados. Estos equipos permiten obtener datos precisos y detallados sobre el rendimiento y la estabilidad del suministro eléctrico. Estos dispositivos registran datos en tiempo real sobre varios parámetros eléctricos, incluyendo voltaje, corriente, armónicos, sobretensiones y desequilibrios de tensión. La recopilación de datos se realiza durante un período prolongado para capturar diferentes condiciones operativas y patrones de carga.

### **6.4.1. Beneficios de la Evaluación Integral**

- **Identificación de problemas:** La evaluación detallada permite identificar problemas concretos concernientes con la calidad de energía, como niveles excesivos de armónicos, sobretensiones recurrentes o desequilibrios de tensión.
- **Optimización de equipos:** Al conocer las dificultades de calidad de energía, se pueden tomar medidas para optimizar la operación de los equipos eléctricos y evitar daños prematuros.
- **Cumplimiento normativo:** La evaluación ayuda a garantizar que la planta cumpla con los estándares y regulaciones de calidad de energía aplicables.

- Reducción de costos: Al corregir problemas de calidad de energía, se pueden reducir los costos operativos asociados con reparaciones, reemplazos de equipos y pérdidas de producción.

### **6.5. Implementación de Filtrado Activo**

Debido a la existencia de armónicos que afectan la calidad de la red eléctrica, se sugiere la implementación de dispositivos diseñados tanto para el filtrado activo como para el pasivo con el objetivo de reducir y controlar el impacto negativo que estos armónicos pueden generar en el sistema eléctrico. Los filtros activos tienen la capacidad de ajustar y compensar de forma dinámica los armónicos presentes en una red eléctrica, adaptándose a las variaciones en tiempo real. Por otro lado, los filtros pasivos son eficaces para eliminar armónicos específicos que afectan la calidad de la red, aunque su acción no es tan flexible como la de los filtros activos. Esta acción específica contribuirá de manera significativa a disminuir la distorsión armónica presente en el sistema, lo que a su vez favorecerá una mejora notable en la calidad de la tensión eléctrica.

### **6.6. Compensación de Energía Reactiva**

Con el fin de abordar y rectificar los desajustes asociados a la energía reactiva, así como para optimizar el factor de potencia de un sistema eléctrico, se propone la instalación de sistemas que compensen adecuadamente la energía reactiva. Estos sofisticados sistemas pueden incorporar bancos de condensadores automáticos, los cuales son dispositivos diseñados específicamente para suministrar la potencia reactiva que se requiere. Esto es fundamental para asegurar que el factor de potencia se mantenga dentro de los límites considerados aceptables. Al hacerlo, también contribuyen a disminuir las pérdidas de energía que pueden ocurrir dentro de la red eléctrica.

### **6.7. Protección contra Sobretensiones**

Debido a la existencia de sobretensiones en la red eléctrica, se sugiere encarecidamente la instalación de dispositivos diseñados específicamente para proteger contra tales sobretensiones en aquellos puntos que se consideran críticos dentro de la planta. Estos dispositivos electrónicos tienen la capacidad de incorporar tanto supresores de picos como descargadores de sobretensión, los cuales desempeñan un papel fundamental al limitar la intensidad de las sobretensiones. De este modo, proporcionan una protección eficaz a los

equipos delicados y sensibles, salvaguardándolos de posibles daños que podrían comprometer su funcionamiento adecuado y su vida útil.

### **6.8. Educación y Capacitación del Personal**

Es de suma importancia que el personal que trabaja en la planta reciba una capacitación adecuada y exhaustiva en todo lo relacionado con la calidad de la energía. Esto incluye no solo la comprensión de los conceptos fundamentales sobre la calidad de energía, sino también un profundo conocimiento acerca de cómo esos aspectos pueden afectar de manera significativa a los diversos procesos industriales. Además, es crucial que el personal esté informado sobre las diferentes medidas y estrategias de mitigación que se pueden implementar para minimizar cualquier impacto negativo que pudiera surgir en el funcionamiento de la planta debido a problemas de calidad de energía. Se sugiere la implementación de programas de capacitación que se realicen de manera regular con el objetivo de sensibilizar al personal laboral sobre las más efectivas y recomendadas prácticas en el consumo responsable de energía, así como sobre la operación segura y adecuada de los diversos equipos eléctricos que se utilizan en el trabajo.

### **6.9. Monitoreo Continuo y Mantenimiento Predictivo**

Una vez implementadas las soluciones propuestas, es importante establecer un procedimiento de monitoreo perenne para verificar la efectividad de las medidas y detectar cualquier problema potencial de calidad de energía de manera proactiva. Además, se recomienda implementar estrategias de mantenimiento predictivo para identificar y abordar cualquier anomalía en los equipos eléctricos.

### **6.10. Reducción de Armónicos**

Dado el porcentaje de distorsión armónica total (THD) registrado en el suministro eléctrico de la planta, es crucial implementar medidas para reducir la presencia de armónicos. Se sugiere encarecidamente la implementación de filtros activos de potencia como una medida efectiva para reducir y controlar la presencia de armónicos en el sistema eléctrico. Estos sofisticados dispositivos tienen la capacidad de identificar y ajustar los armónicos que son creados por cargas que no siguen un comportamiento lineal. De este modo, aseguran que la corriente de entrada mantenga una forma sinusoidal, lo que a su vez contribuye a disminuir la distorsión armónica total a niveles que son considerados aceptables.

### **6.11. Corrección de Desequilibrios de Tensión**

Se ha identificado un desequilibrio en la carga, que se ha medido en un porcentaje del 41,39%. Este problema puede afectar de manera adversa al rendimiento de los equipos eléctricos, así como reducir significativamente la vida útil de los diversos componentes que conforman el sistema. Se recomienda la implementación de dispositivos diseñados para la corrección del factor de potencia, así como también la instalación de balancers de carga, con el objetivo de lograr un equilibrio adecuado de las tensiones presentes en las distintas fases del sistema eléctrico. Estos innovadores dispositivos están diseñados para facilitar una mejor distribución de la carga entre las diferentes fases del sistema, lo que a su vez contribuirá a disminuir el desequilibrio de tensión presente y, como resultado, permitirá mejorar significativamente la eficiencia operativa general de la planta.

### **6.12. Monitoreo Continuo de la Calidad de Energía**

Se sugiere la introducción y puesta en marcha de un procedimiento que permita el monitoreo perenne y en tiempo real de la calidad de la energía, con el objetivo de identificar y diagnosticar de manera preventiva cualquier posible inconveniente o fallo que pudiera surgir en el suministro eléctrico. Este sistema utilizará equipos de monitoreo avanzados para registrar y analizar parámetros como armónicos, desequilibrios de tensión, sobretensiones y huecos de tensión. Los datos recopilados se utilizarán para identificar tendencias, prever posibles problemas y tomar medidas correctivas de manera oportuna.

### **6.13. Eficiencia Energética**

#### **6.13.1. Gestión Inteligente de la Demanda**

Con el fin de lograr una mejora en la eficiencia del consumo de energía y, al mismo tiempo, disminuir los gastos asociados a las operaciones, es aconsejable considerar la implementación de un sistema que gestione de manera inteligente la demanda energética. Este sistema utilizará tecnologías de control avanzadas y algoritmos de optimización para ajustar dinámicamente la carga eléctrica en función de la demanda y las condiciones del sistema. Además, se puede considerar la implementación de tarifas eléctricas dinámicas que incentiven el consumo de energía durante períodos de menor demanda y precios más bajos.

### **6.13.2. Actualización de Equipos y Tecnologías**

El reemplazo de dispositivos que han quedado obsoletos por modelos más modernos que son mucho más eficientes en términos energéticos puede ofrecer una contribución considerable a la disminución del consumo total de energía. Se recomienda realizar una evaluación detallada de todos los equipos eléctricos y sistemas de iluminación en la planta, identificando aquellos que presenten un bajo rendimiento energético y planificando su sustitución por equipos más eficientes y tecnologías de iluminación LED.

### **6.13.3. Implementación de Energías Renovables**

La incorporación de diversas fuentes de energía renovable, tales como los paneles solares fotovoltaicos y las instalaciones de sistemas de energía eólica, tiene el potencial significativo de disminuir la dependencia de la red eléctrica tradicional, al mismo tiempo que ayuda al descenso de la huella de carbono generada por la planta. Se recomienda llevar a cabo un estudio detallado de viabilidad que permita analizar y evaluar de manera exhaustiva el potencial existente para la generación de energía renovable en el lugar específico. Además, se plantea la necesidad de elaborar un plan estratégico que contemple una implementación gradual de estas innovadoras tecnologías energéticas, asegurando así un desarrollo sostenible y eficiente.

## **6.14. Gestión de la Energía y Formación del Personal**

### **6.14.1. Programa de Sensibilización y Formación**

Es de suma importancia y esencial que se incluya a todo el personal que trabaja en la planta en los esfuerzos destinados a mejorar tanto la eficiencia energética como la calidad del suministro eléctrico. Esto no solo promoverá un ambiente colaborativo, sino que también permitirá aprovechar el conocimiento y la experiencia de los empleados para alcanzar estos objetivos críticos. Se sugiere la creación e implementación de un programa integral de sensibilización y formación que tenga como objetivo principal educar al personal acerca de las mejores prácticas en eficiencia energética, la correcta utilización y manejo de equipos eléctricos, así como las normativas vigentes que regulan la calidad de la energía. Este programa busca fomentar una mayor conciencia y conocimiento en estos temas cruciales para optimizar el uso de recursos energéticos y garantizar un funcionamiento adecuado de los equipos eléctricos. Esto ayudará a crear una cultura de conciencia energética en la planta y a fomentar la adopción de comportamientos sostenibles.

### **6.14.2. Equipamiento de Herramientas de Gestión de Energía**

Se recomienda considerar la compra y posterior implementación de diversas herramientas destinadas a la gestión eficiente de la energía, tales como los sistemas de supervisión y control energético (EMS por sus siglas en inglés). Estas herramientas son fundamentales, ya que facilitan la monitorización en tiempo real del consumo de electricidad dentro de la planta. Además, permiten identificar las áreas que requieren mejoras y optimizar de manera efectiva el rendimiento energético a lo largo de todas las operaciones. Estos sofisticados sistemas brindarán un análisis exhaustivo y en profundidad acerca de los patrones de consumo, las tendencias emergentes en la demanda y los puntos críticos donde se concentra el uso de energía. De este modo, se facilitará la toma de decisiones bien fundamentadas que contribuirán a una mejora significativa en la eficiencia energética, así como a una reducción notable de los costos asociados a las operaciones.

## **6.15. Inversión y Planificación a Largo Plazo**

### **6.15.1. Presupuesto para Implementación de Mejoras**

Se sugiere encarecidamente la asignación de un presupuesto que sea apropiado y suficiente para llevar a cabo de manera efectiva la implementación de las mejoras que han sido propuestas en este documento. Este presupuesto que estamos elaborando debe contemplar de manera detallada todos los costos relacionados con la adquisición de equipos necesarios, así como los gastos para la instalación de dichos equipos. Además, es fundamental incluir los costos asociados con la capacitación del personal que operará estos equipos. Por otro lado, se deben considerar cualquier otro gasto que esté relacionado con la optimización de la calidad de la energía y la mejora de la eficiencia energética dentro de la planta. Es importante considerar el retorno de la inversión (ROI) esperado para cada medida propuesta y priorizar aquellas que ofrezcan el mayor beneficio económico a largo plazo.

### **6.15.2. Planificación a Largo Plazo**

Es fundamental entender que la elevación de la calidad de la energía y la optimización de la eficiencia energética no deben considerarse como un esfuerzo aislado o un proyecto puntual. En cambio, deben ser percibidos como un proceso que se desarrolla de manera continua y que exige una cuidadosa planificación integral a largo plazo para lograr resultados sostenibles y efectivos. Se recomienda la elaboración de un plan estratégico relacionado con el sector energético que no solo defina metas y objetivos a corto, medio y largo plazo, sino

que también incluya un cronograma detallado que contemple la implementación de cada una de las medidas que se propongan. Esta estrategia debe ser integral y adaptarse a las necesidades específicas del contexto energético actual. Es fundamental que este plan sea lo suficientemente flexible para poder ajustarse y adaptarse de manera efectiva a las diversas necesidades cambiantes que puedan surgir en la planta, así como a las condiciones variables que se presenten en el mercado energético.

#### 6.16. Presupuesto

<b>ESTUDIO DEL CONTENIDO DE ARMÓNICOS EN LA FÁBRICA CHAIDE Y CHAIDE S.A. PLANTA GUAYAQUIL PARA PROPONER SOLUCIONES DE MEJORA DE LA CALIDAD DE ENERGÍA</b>				
<b>Presupuesto referencial</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Total</b>
1	Alimentación	120	\$3,50	\$420,00
2	Alquiler de equipos de medición	1	\$600,0	\$600,00
3	Impresiones	5	\$20,00	\$100,00
4	transporte	50	\$10,00	\$500,00
			<b>TOTAL</b>	\$1620,00

**Tabla No. 23.** Valores detallados del presupuesto.

## CONCLUSIONES

- La evaluación detallada de la calidad de la energía es de suma importancia, ya que es fundamental para asegurar que la planta eléctrica funcione de una manera eficaz y segura en todo momento. Los diferentes parámetros que fueron objeto de evaluación, tales como los armónicos, las sobretensiones, los desequilibrios en la tensión y el fenómeno conocido como flicker, ejercen una influencia directa y significativa en el funcionamiento de los equipos, así como en la calidad de los productos que se fabrican en el proceso industrial.
- Mediante el proceso de evaluación minuciosa, se lograron identificar problemas que inciden negativamente en la calidad de la energía de la planta, entre estos se encuentran los niveles de armónicos fuera de las normas establecidas, la ocurrencia de sobretensiones y los desequilibrios en la tensión. Todas estas situaciones pueden provocar daños significativos en los equipos, así como pérdidas sustanciales en la producción.
- Los resultados obtenidos a partir de la evaluación realizada pusieron de manifiesto la necesidad de implementar medidas correctivas con el fin de abordar de manera efectiva los problemas que fueron identificados durante el proceso de evaluación. Las medidas que se pueden tomar en este contexto pueden abarcar, entre otras cosas, la colocación de filtros diseñados para la reducción de armónicos, la adopción de dispositivos que ofrezcan protección frente a sobretensiones eléctricas, así como también la corrección de desequilibrios en los niveles de tensión que puedan presentarse dentro del sistema eléctrico.
- Es de suma importancia garantizar que la planta opere conforme a los estándares y regulaciones de calidad energética según la norma IEEE 1159. La evaluación, como proceso sistemático, entrega una gran cantidad de información valiosa y relevante que es esencial para asegurar que se cumplan todas las normativas y regulaciones vigentes, lo que a su vez ayuda a prevenir la posibilidad de enfrentarse a sanciones, multas o penalizaciones que podrían ser impuestas en caso de incumplimiento.

- Sí se llevan a cabo las recomendaciones pertinentes y apropiadas de manera adecuada, es muy probable que la planta experimente una serie de beneficios sustanciales y significativos en el transcurso del tiempo, especialmente a largo plazo. Esto abarca una mejora significativa en la eficiencia de las operaciones, una disminución notable en los gastos asociados al mantenimiento, así como un aumento considerable en la fiabilidad y el beneficio de los equipos eléctricos utilizados.
- La evaluación de la calidad de la energía no debe considerarse como un evento aislado que sucede una sola vez, sino que debe ser entendida y practicada como un proceso que se lleva a cabo de manera continua y constante a lo largo del tiempo.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda llevar a cabo la implementación de diversas medidas correctivas que permitan abordar de manera efectiva los problemas que han sido identificados durante el proceso de evaluación realizado. Esto puede abarcar diversas acciones, tales como la implementación de sistemas destinados a la filtración de armónicos, la modernización y mejora de los dispositivos diseñados para proteger contra sobretensiones, así como también la rectificación de cualquier desequilibrio que pueda presentarse en los niveles de tensión dentro del sistema eléctrico.
- Es fundamental asegurar que se brinde una formación adecuada y completa al personal que trabaja en la planta, de manera que puedan comprender claramente la relevancia de la calidad de la energía. Además, es esencial enseñarles cómo pueden identificar posibles problemas que puedan surgir y las maneras más efectivas de abordarlos para asegurar un funcionamiento óptimo. Este enfoque contribuirá de manera significativa a mejorar la conciencia sobre la importancia de la calidad de energía, así como también a incrementar la efectividad en la gestión de la misma dentro de la planta.
- Se recomienda la implementación de un programa que lleve a cabo un monitoreo constante y sistemático de la calidad de la energía, el cual debería emplear dispositivos de medición altamente avanzados y precisos para garantizar resultados óptimos. Esta acción facilitará la identificación de cualquier variación que ocurra en los parámetros eléctricos, lo que permitirá implementar medidas preventivas con anticipación, antes de que esas variaciones se transformen en problemas más serios o graves.
- Se recomienda implementar mantenimientos predictivos en todos los equipos eléctricos para asegurar que operen de manera óptima, este tipo de mantenimiento no solo ayuda a garantizar un funcionamiento eficiente, sino que también evita la aparición de potenciales problemas que puedan surgir en relación con la eficiencia energética suministrada a dichos equipos.

- Se recomienda realizar una actualización a la infraestructura eléctrica existente de la planta con el fin de elevar la calidad del suministro de energía. Esto puede abarcar una serie de acciones, tales como la instalación de transformadores y motores eficientes, la incorporación de sistemas de control de energía que sean más sofisticados y avanzados para mejorar el rendimiento general.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] J. D. Arcila, «Armónicos en Sistemas Eléctricos».
- [2] A. Tejada y A. Llamas Terrés, «Efectos de las Armónicas en los Sistemas Eléctricos», ene. 2010.
- [3] «94403211.pdf». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/944/94403211.pdf>
- [4] «Distorsion Armonica.pdf». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://agngroup.net/papers/Distorsion%20Armonica.pdf>
- [5] «jn004a00\_whitepaper-armonics\_.pdf». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://www.salicru.com/files/pagina/72/278/jn004a00\\_whitepaper-armonics\\_.pdf](https://www.salicru.com/files/pagina/72/278/jn004a00_whitepaper-armonics_.pdf)
- [6] «UPS-KT00100.pdf». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dSPACE.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5157/6/UPS-KT00100.pdf>
- [7] W. D. S. Montalvo y C. A. R. Jara, «Ingeniero Eléctrico Especialidad Electrónica Y Automatización Industrial».
- [8] Proaño, «Estudio De Efectos Y Métodos De Minimización De Distorsiones Armónicas En Equipos De Distribución Eléctrica, Comercial E Industrial».
- [9] «v1n1a05.pdf». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://scielo.iics.una.py/pdf/uicsa/v1n1/v1n1a05.pdf>
- [10] D. F. M. Céspedes, «Mitigación Del Nivel De Armónicos En Un Sistema Eléctrico Industrial Mediante Un Filtro De Armónico Pasivo».
- [11] «Calidad de la energía eléctrica bajo la perspectiva de los sistemas de puesta a tierra». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5075/507555007009/html/>
- [12] L. A. R. Litz, «Estudio Y Aplicación De La Norma IEEE 519 - 1992 En La Medición, Análisis Y Eliminación De Armónicos En Sistemas Industriales. Caso: Cuao - Campus Valle Del Lili», 2001.
- [13] C. Génova, «Las Observaciones A Este Documento Han De Dirigirse A»:.
- [14] V. M. López, «Compatibilidad Electromagnética (EMC) Y Normalización».
- [15] G. Celi y W. Javier, «Análisis de la interconexión de generación distribuida, aplicando el estándar IEEE 1547 para determinar la afectación de la transferencia de energía renovable en las redes de baja tensión.», masterThesis, Universidad Nacional de Loja, 2022. Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dSPACE.unl.edu.ec/handle/123456789/25506>
- [16] «430101.pdf». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/20263/430101.pdf?sequence=1>
- [17] C. Barrera y A. Valenzuela, «Harmonic Simulation Methods in Power Systems», *ITECKNE*, vol. 17, n.º 2, nov. 2020, doi: 10.15332/iteckne.v17i2.2466.
- [18] B. M. Briones Morante, B. E. Pincay Quimi, y H. Cevallos Ulloa, «Análisis de sistemas eléctricos de potencia empleando el software DigSILENT Power Factory», Thesis, ESPOL. FIEC, 2020. Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.dSPACE.espol.edu.ec/handle/123456789/57198>
- [19] «Corrientes armónicas: causas, consecuencias y mitigación de impactos». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en:

<https://www.dielco.co/articulos/corrientes-armonicas-causas-consecuencias-y-mitigacion-de-impactos>

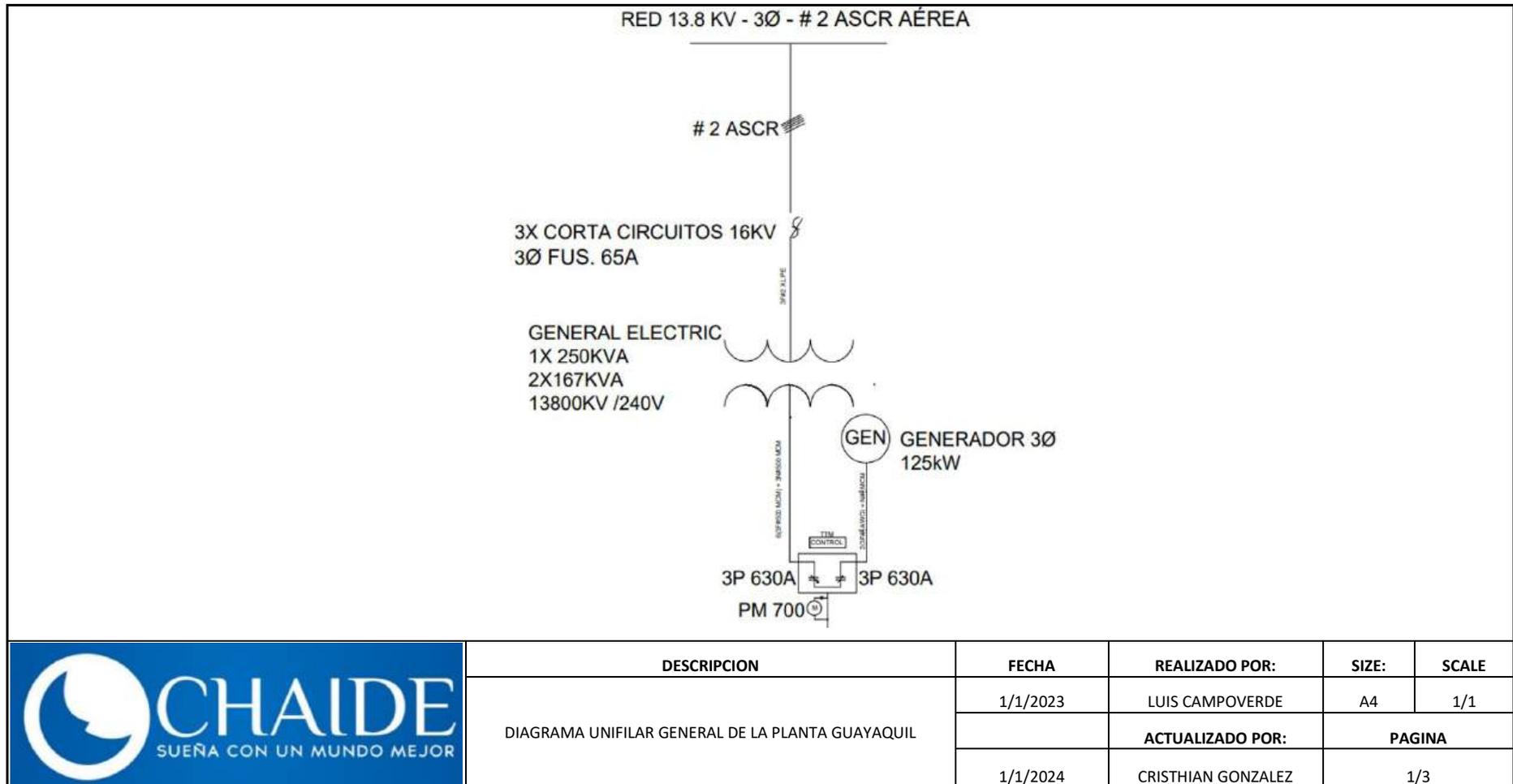
- [20] H. E. Rojas Cubides, E. Rivas Trujillo, y A. A. Jaramillo Matta, «Aspectos técnicos y normativos para el monitoreo y medición de armónicos», *Ingeniería*, vol. 19, n.º 2, oct. 2014, doi: 10.14483/udistrital.jour.reving.2014.2.a07.
- [21] «Implementación de un filtro pasivo para compensación armónica y corrección del factor de potencia». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/614/61447568001/html/>
- [22] T. Orozco y M. Antonio, «Análisis y propuestas para la mitigación de la contaminación armónica en las subestaciones de la Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A.».
- [23] «(PDF) Active Filters: A Review». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/353270997\\_Active\\_Filters\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/353270997_Active_Filters_A_Review)
- [24] J. Kaiwart y U. P. B. Raju, «Harmonic Mitigation Techniques: A Review», vol. 5, n.º 11.
- [25] «(PDF) Trends in Power Quality, Harmonic Mitigation and Standards for Light and Heavy Industries: A Review». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/346734347\\_Trends\\_in\\_Power\\_Quality\\_Harmonic\\_Mitigation\\_and\\_Standards\\_for\\_Light\\_and\\_Heavy\\_Industries\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/346734347_Trends_in_Power_Quality_Harmonic_Mitigation_and_Standards_for_Light_and_Heavy_Industries_A_Review)
- [26] «¿Qué es la tensión? | Fluke». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.fluke.com/es-ec/informacion/blog/electrica/que-es-la-tension>
- [27] «¿Qué es la frecuencia? | Fluke». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.fluke.com/es-ec/informacion/blog/electrica/que-es-la-frecuencia>
- [28] «Estudio de análisis de la calidad de la energía industrial». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ultatek.com/estudio-de-analisis-de-la-calidad-de-la-energia-para-plantas-industriales/>
- [29] E. Plasencio y R. Omar, «Análisis de calidad de energía y rediseño del sistema eléctrico en la planta industrial corporación de proyectos múltiples multiproyectos S.A.».
- [30] T. Muñoz y J. Pablo, «Manual de operación y mantenimiento eléctrico del generador síncrono de una unidad de generación de la Central Hidroeléctrica Paute Sopladora».
- [31] A. Lastre y C. Augusto, «Análisis de calidad de la energía orientado a distorsiones armónicas en el Bloque E de la Universidad Politécnica Salesiana».
- [32] M. F. P. Paladines, «Especialización Electrónica Y Automatización Industrial».
- [33] «Calidad de la energía | Schneider Electric México». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.se.com/mx/es/work/solutions/power-management/power-quality/>
- [34] D. Messina, R. C. Lisperguer, y R. S. Pavez, «Tendencias en materia de digitalización del sector eléctrico».
- [35] «Impacto ambiental de la energía eléctrica: secuelas y medio ambiente». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://blog.structuralia.com/impacto-ambiental-de-la-energia-electrica>

- [36] «Sistemas de almacenamiento de energía - Energía para el Futuro». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://blogs.iadb.org/energia/es/sistemas-de-almacenamiento-de-energia-descarbonizacion/>
- [37] «Planificación y diseño del sistema de distribución de energía». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.e3seriescenters.com/es/blog-de-ingenieria-electrica-moderna/planificacion-y-diseno-del-sistema-de-distribucion-de-energia>
- [38] U. Gómez y R. Adrián, «Planificación óptima de sistemas eléctricos de distribución en zonas rurales mediante la integración de micro-redes».
- [39] «Fluke-438-II datasheet.pdf». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.adler-instrumentos.es/wp-content/uploads/wpallimport/files/Fluke-438-II%20datasheet.pdf>
- [40] «8.+Capítulo+3.pdf». Accedido: 1 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/5101/fichero/8.+Cap%C3%ADtulo+3.pdf>
- [41] <https://docs.circuitor.com/docs/M217E0201-01.pdf>

**ANEXOS**

ANEXO 1. Diagrama Unifilar de la Fabrica, primera sección

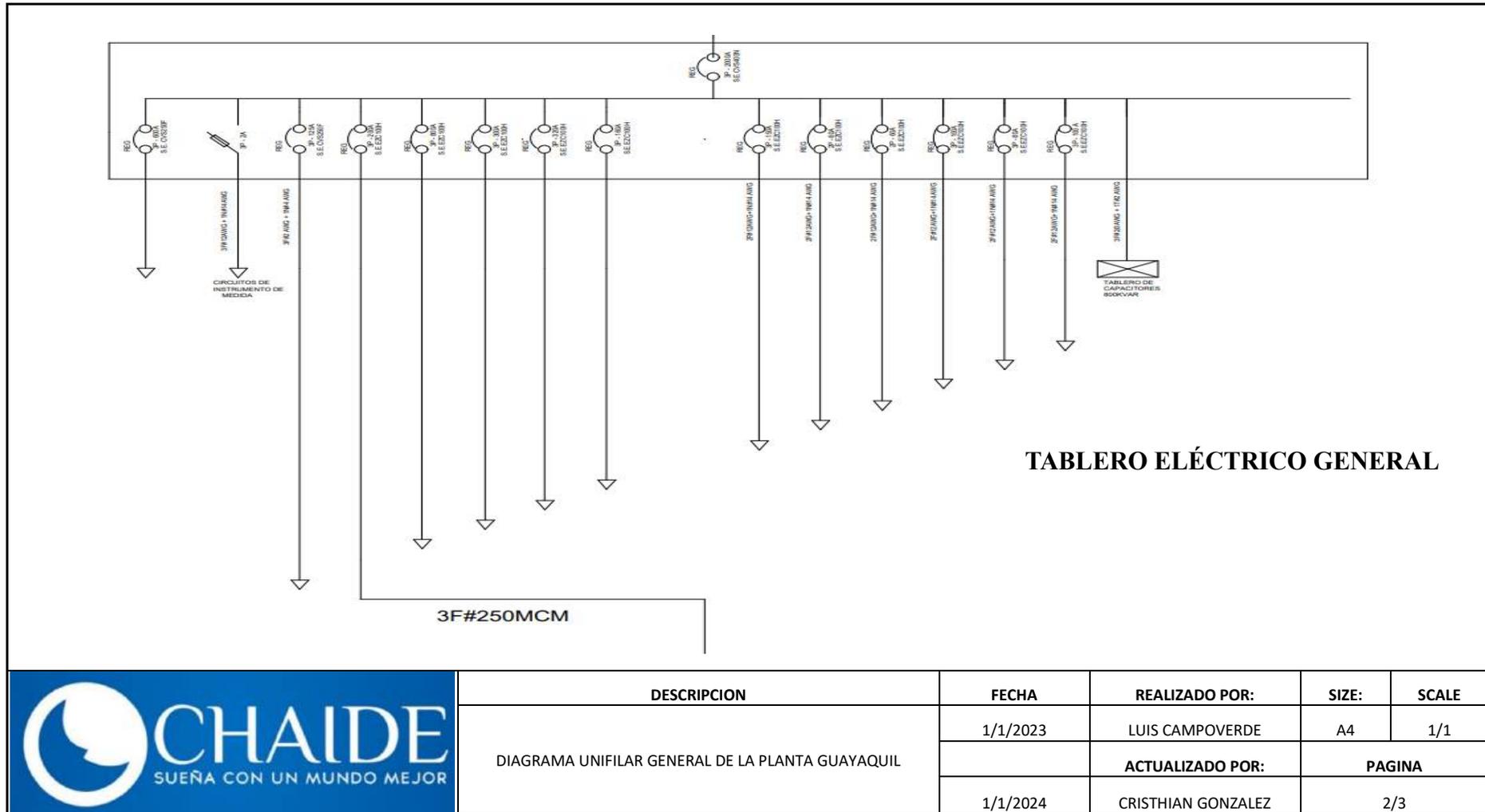
**Fuente:** Dpto. Mantenimiento Chaide y Chaide S.A.



**Figura No. 43.** Primera sección del diagrama unifilar de la planta.

ANEXO 2. Diagrama Unifilar de la Fabrica, segunda sección

Fuente: Dpto. Mantenimiento Chaide y Chaide S.A.



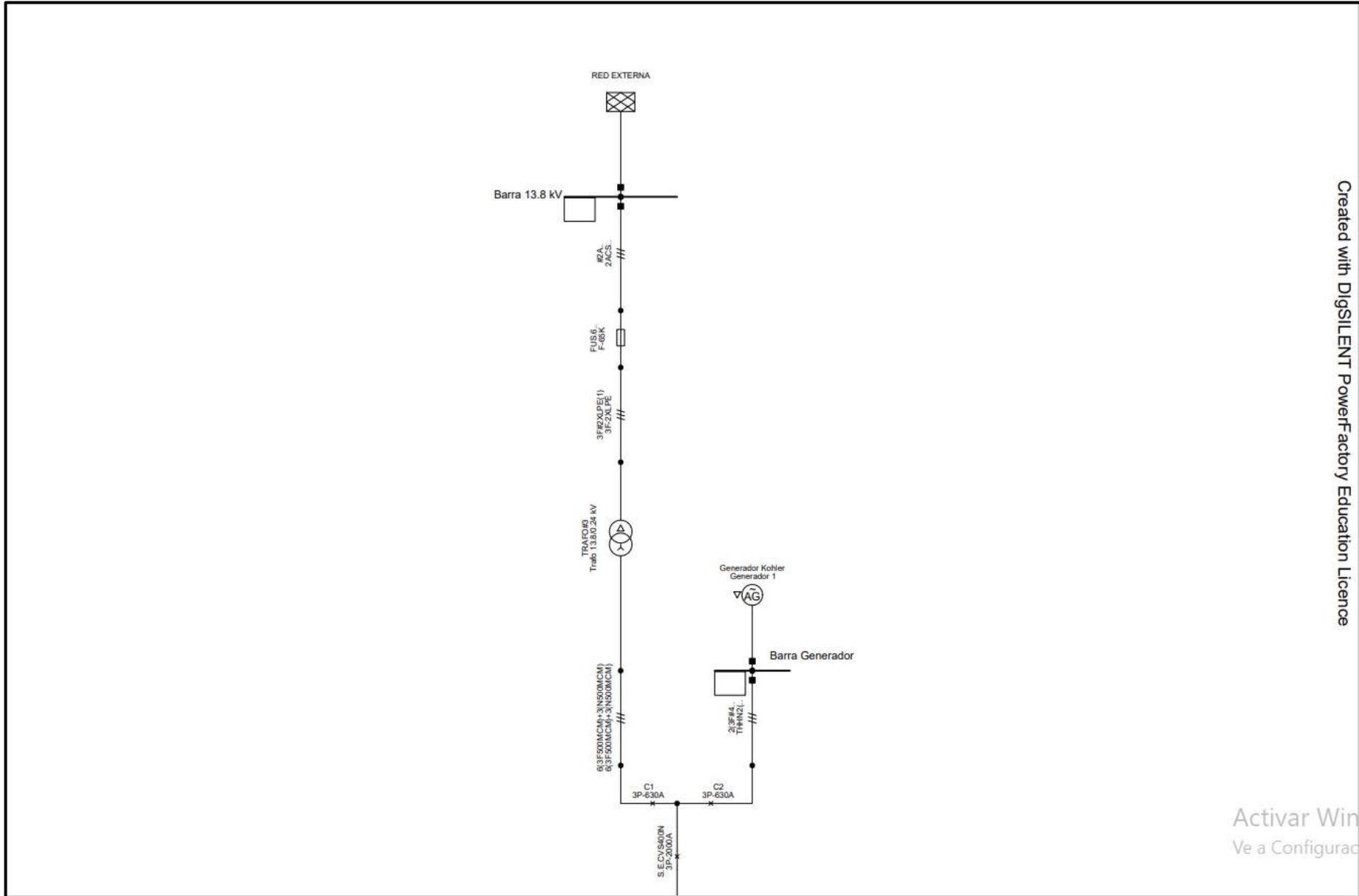
DESCRIPCION	FECHA	REALIZADO POR:	SIZE:	SCALE
DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL DE LA PLANTA GUAYAQUIL	1/1/2023	LUIS CAMPOVERDE	A4	1/1
		ACTUALIZADO POR:	PAGINA	
	1/1/2024	CRISTHIAN GONZALEZ	2/3	

Figura No. 44. Segunda sección del diagrama unifilar de la planta.



ANEXO 4. Diagrama Unifilar modelado en Digsilent

Fuente: Los autores.



Created with Digsilent PowerFactory Education Licence

Activar Win  
Ve a Configurac

Figura No. 46. Diagrama unifilar de Banco de la barra 13.8Kv y banco de transformadores.

ANEXO 5. Diagrama Unifilar modelado en Digsilent

Fuente: Los autores

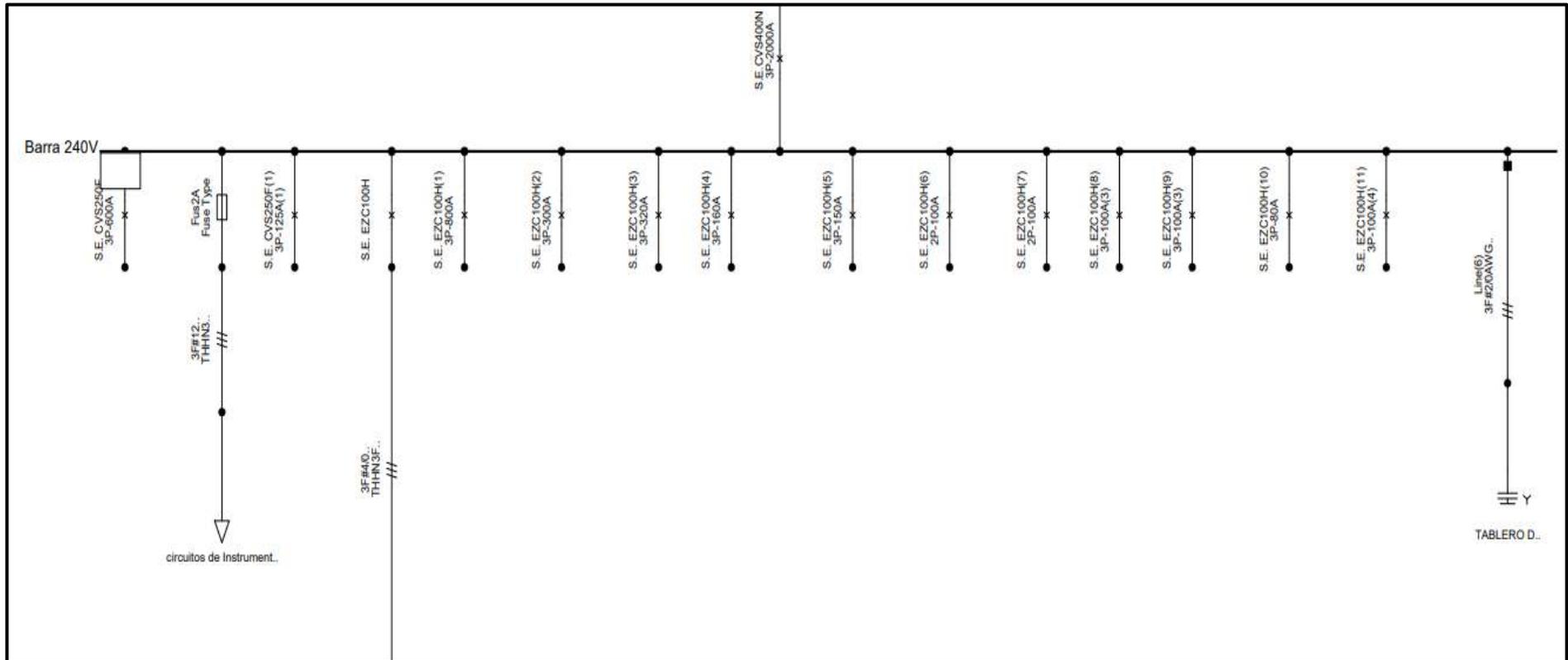


Figura No. 47. Diagrama unifilar de la Barra Principal de 0.24Kv.

ANEXO 6. Diagrama Unifilar modelado en Digsilent

Fuente: Los autores

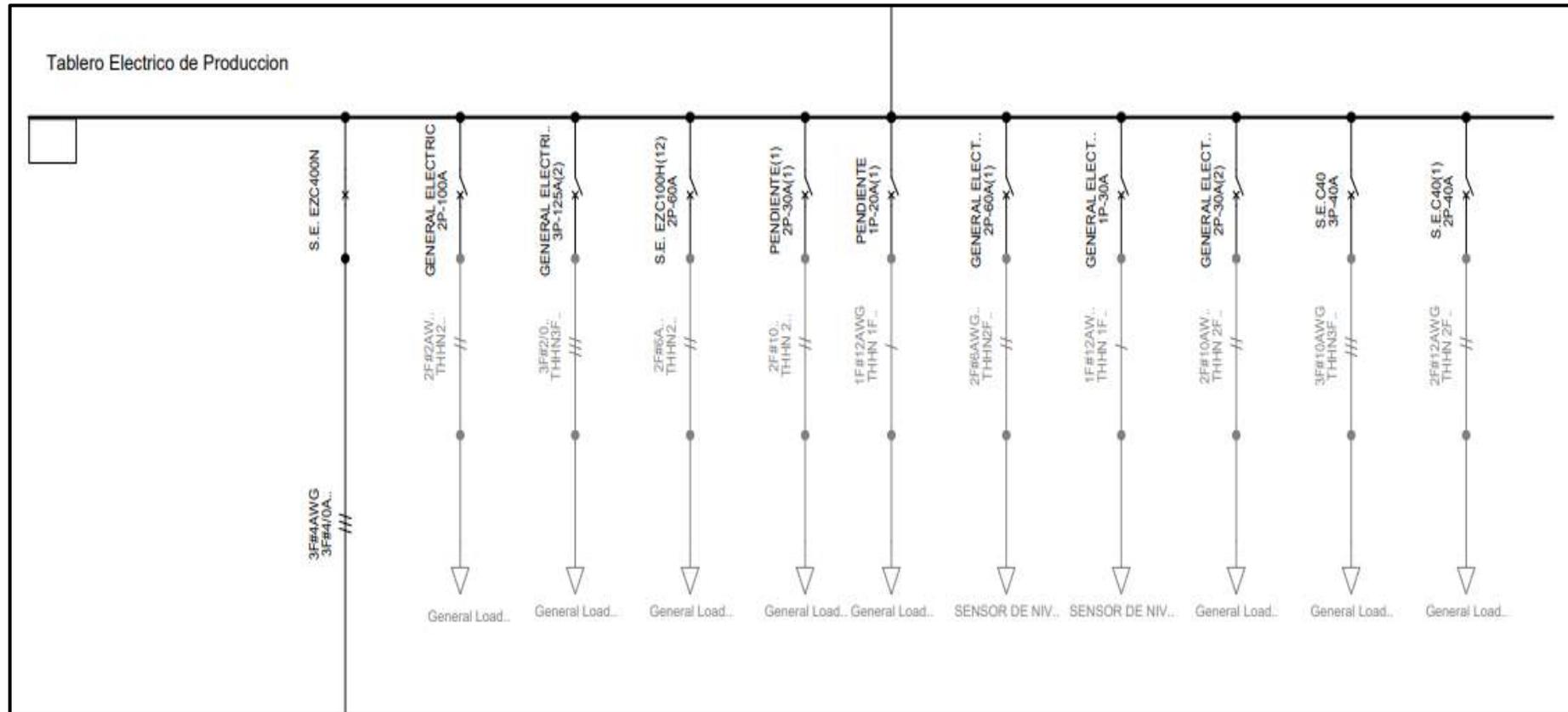


Figura No. 48. Diagrama unifilar de Tablero Eléctrico de Producción.

ANEXO 7. Diagrama Unifilar modelado en Digsilent

Fuente: Los autores.

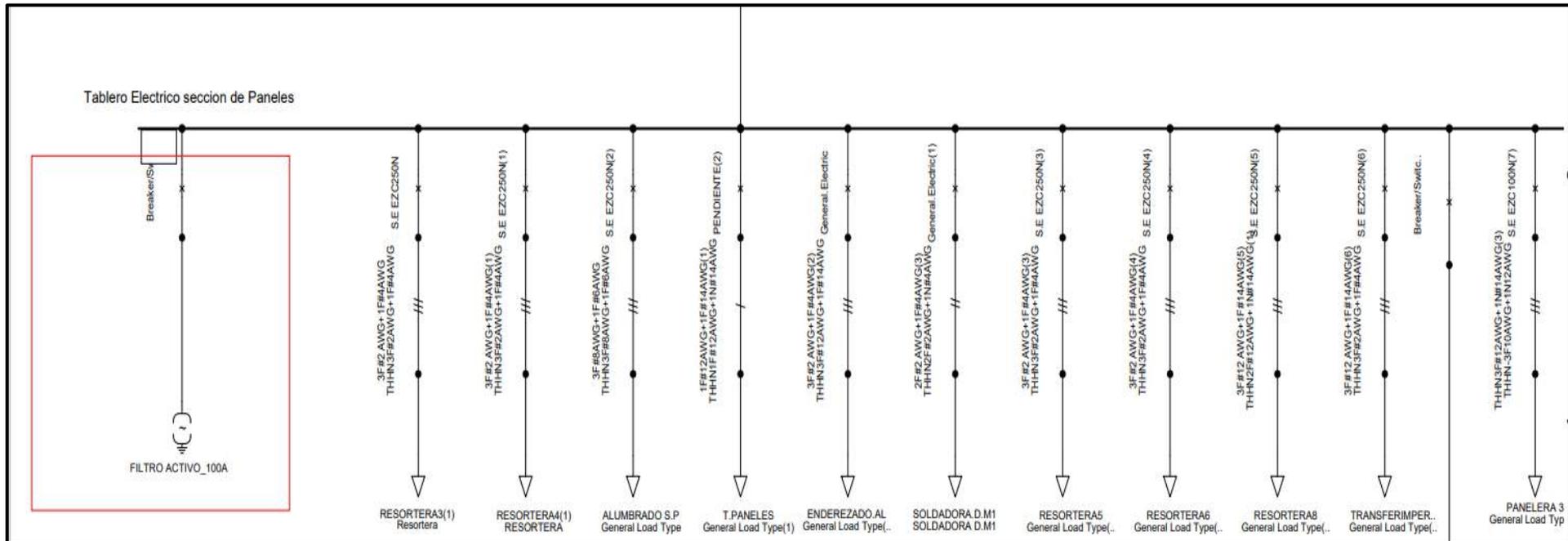


Figura No. 49. Diagrama unifilar de Tablero Eléctrico Sección Paneles (P1) con Filtro Activo.

ANEXO 8. Diagrama Unifilar modelado en Digsilent

Fuente: Los autores

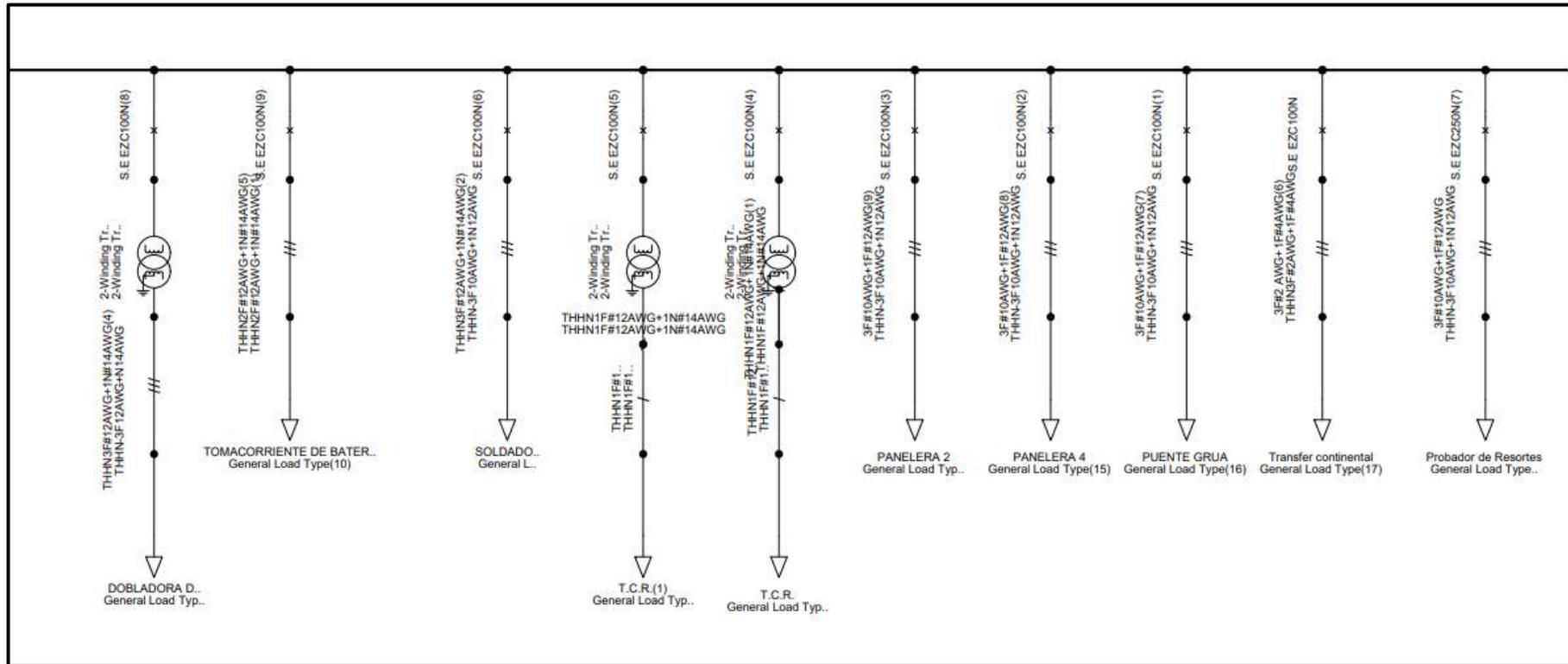


Figura No. 50. Diagrama unifilar de Tablero Eléctrico Sección Paneles (P2).

## ANEXO 9. Vista Frontal del Filtro Activo Modelado

Fuente: Proveedor Circutor.

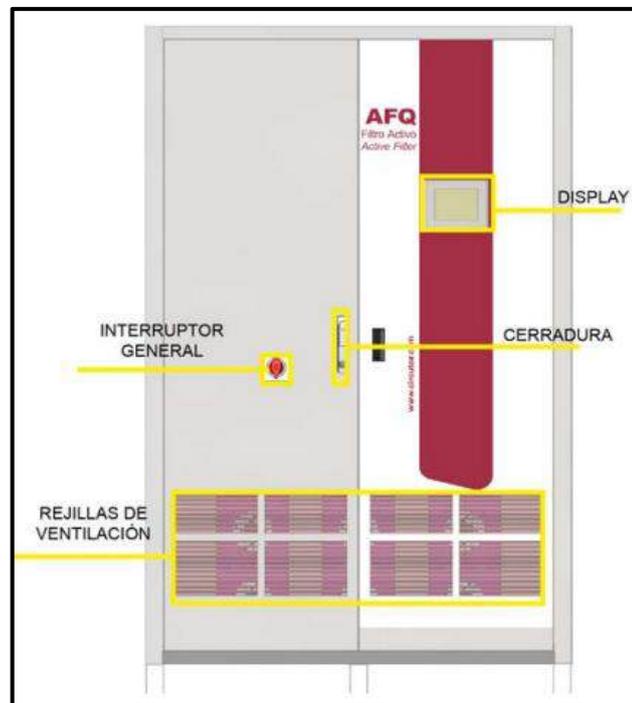


Figura No. 51. Vista frontal del filtro propuesto.

## ANEXO 10. Componentes interiores del Filtro Activo Modelado

Fuente: Proveedor Circutor.

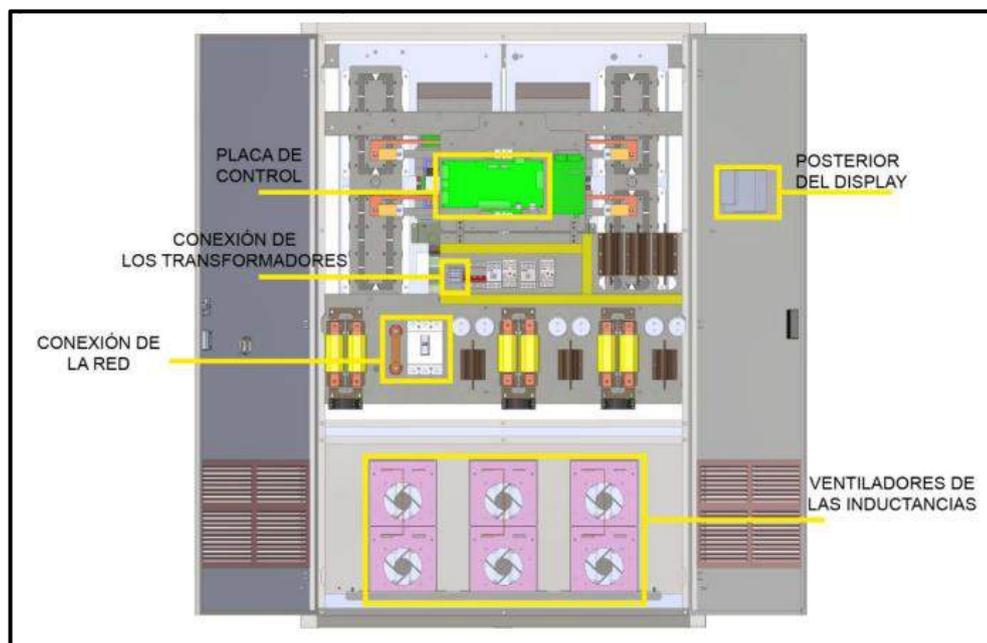


Figura No.52. Interior del Filtro Activo propuesto.

## ANEXO 11. Corriente de cortocircuito de Tablero Sección Paneles modelado en Digsilent

Fuente: Los autores

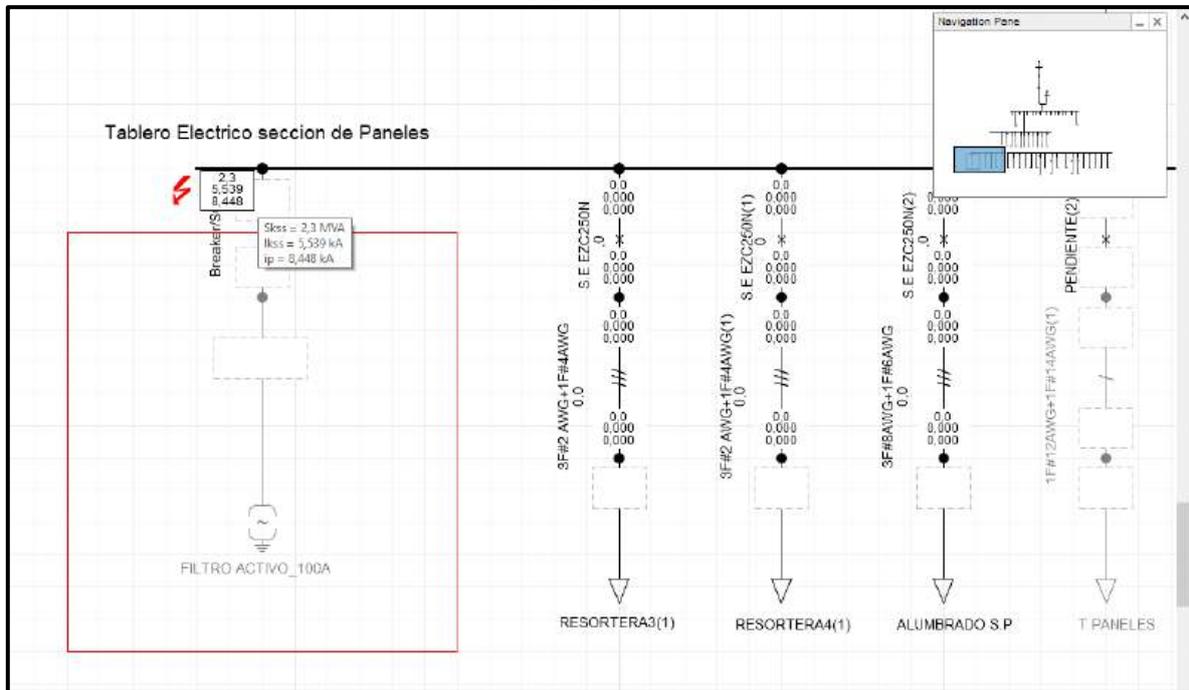


Figura No.53. Corriente CC modelado en Digsilent.