



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE ELECTRICIDAD

**ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL
INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO TUNGURAHUA**

PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO

AUTORES:

Alex Fernando Chonata Camacho

Christian Omar Yaguar Lalaleo

TUTOR:

Ing. Mauricio Eduardo Mullo Pallo, Mgtr

LATACUNGA, AGOSTO, 2025

Latacunga, julio, 25,2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Alex Fernando Chonata Camacho declaro ser autor del proyecto de titulación” **ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO TUNGURAHUA**”, siendo el Ing. Mauricio Eduardo Mullo Pallo tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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



Alex Fernando Chonata Camacho
CC. 060516735-2

Latacunga, julio, 25,2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Christian Omar Yaguar Lalaleo declaro ser autor (a) del proyecto de titulación” **ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO TUNGURAHUA**”, siendo el Ing. Mauricio Eduardo Mullo Pallo tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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



Christian Omar Yaguar Lalaleo
CC. 180531300-2

Latacunga, julio, 25,2025

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: “ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO TUNGURAHUA”, propuesto por los estudiantes Alex Fernando Chonata Camacho, Christian Omar Yaguar Lalaleo de la Carrera de Electricidad, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



Ing, Mauricio Eduardo Mullo Pallo Mgtr.
C.C. 050375518-3

Latacunga, julio, 30,2025

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título "ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO TUNGURAHUA", propuesto por los estudiantes Alex Fernando Chonata Camacho, Christian Omar Jaguar Lalaleo de la Carrera de Ingeniería en Electricidad, me permito indicar que los estudiantes han concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, además de validar el funcionamiento de la propuesta, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad propuesta de investigación en virtud de lo cual el o la postulante puede presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

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

Atentamente,



Ing. Vázquez Teneda Franklin Hernán Mgtr.
Mgtr. C.C. 1710434497



Ing. Ortiz Gonzalez Yadyra Monserrath
C.C 1722464110



Ing. Freire Freire Armando Salvador-Mgtr.
C.C 0503842833

AGRADECIMIENTO

A mi madre Martha Cecilia Camacho es el principal motivo por el que he llegado tan lejos y mi apoyo incondicional, tu forma de haberme criado fue la mejor y si tuviera otra oportunidad quisiera que tu fueras mi madre de nuevo, pido a Dios me permita tener tu compañía mucho más tiempo.

A mi hermano Bladimir por a pesar de ser serio en todo momento puede ayudarme con un consejo y ayuda en todo sentido, nunca olvidare cuando casi dejo todo y tú me diste la mano y me impulsaste a terminar lo que empecé.

A mi tutor de tesis Ing. Mauricio Mullo por sus enseñanzas y apoyo educativo y moral.

A todos ustedes, a la vida y a Dios, por darme la oportunidad de vivir este logro.

Chonata Camacho Alex Fernando

Agradezco primeramente a Dios por haberme permitido culminar este proyecto de titulación, dándome la sabiduría y fortaleza necesarias en cada etapa del proceso.

A mi padre, a quien extraño profundamente, gracias por tus enseñanzas y por ser el pilar en mi formación como persona. Este triunfo es una forma de honrar tu memoria.

A mi madre y familia, por su constante apoyo, sacrificio y comprensión durante los momentos más difíciles de esta carrera.

A mi tutor de tesis Ing. Mauricio Mullo por sus enseñanzas y apoyo educativo y moral.

Yaguar Lalaleo Christian Omar

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre Luis Chonata a quien la vida no me permitió conocer, pero tu recuerdo vive en las acciones que realizaste en vida y hasta ahora me recuerdan de vez en cuando porque siempre me dicen que fuiste un gran hombre, espero ser como tú algún día. Este logro es para ti espero que puedas verlo desde el cielo.

A mi abuelo Manuel Camacho el hombre que inculco la religión ya que la fé mueve montañas como tú decías, fuiste mi mejor amigo no lo olvides. Gracias por enseñarme los valores con los que vivo mi vida día a día. Fuiste ejemplo de humildad y perseverancia. Espero puedan verme junto con mi padre y descansen tranquilos.

Chonata Camacho Alex Fernando

A Dios, por darme la fuerza, la salud y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa de mi vida.

A mi amado padre, quien, aunque ya no está físicamente conmigo, vive en mi corazón y en cada uno de mis logros. Gracias por tu ejemplo de trabajo, esfuerzo y honestidad, este logro también es tuyo.

A mi madre, por su amor incondicional, por ser mi soporte emocional y por enseñarme que con fe y esfuerzo todo es posible.

A mi familia y seres queridos, que con su cariño y palabras de aliento fueron parte fundamental en este camino.

Yaguar Lalaleo Christian Omar

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

TITULO:” ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO TUNGURAHUA.”

Autor/es:

Chonata Camacho Alex Fernando

Yaguar Lalaleo Christian Omar

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo evaluar la calidad de la energía eléctrica en el sistema eléctrico del Instituto Superior Tecnológico Tungurahua mediante un análisis detallado de sus parámetros eléctricos basados en normativas nacionales e internacionales vigentes. Para ello, se llevó a cabo un levantamiento de cargas, valoración del sistema eléctrico y simulaciones con el software DigSilent Power Factory, con el fin de identificar problemas en el sistema eléctrico y proponer soluciones que optimicen el desempeño energético de la institución. Se verificó el cumplimiento de los límites normativos establecidos por la regulación ARCONEL 009/24. Se constató que los niveles de voltaje se encuentran dentro del rango permitido. De igual manera, el levantamiento de cargas y el análisis de calidad realizado reveló que existía un desbalance de cargas, conductores en mal estado y bajo factor de potencia lo que reduce la eficiencia del sistema. Además, el análisis de la calidad de energía permitió identificar que el factor de potencia presentó un bajo coeficiente de rendimiento. Para mitigar este problema, se recomienda la implementación de un banco de capacitores diseñado particularmente para este tipo de sistema de acuerdo a la potencia reactiva necesaria para llegar a un factor de potencia óptimo de 0,96. Además, se sugiere establecer un monitoreo periódico de la calidad de la energía y capacitar al personal sobre el uso eficiente y mantenimiento de los equipos eléctricos.

Palabras claves: Calidad de energía, ARCONEL 009/24, factor de potencia, sistema eléctrico, banco de capacitores.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES.

THEME: "ANALYSIS OF POWER QUALITY IN THE ELECTRICAL SYSTEM AT THE INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO TUNGURAHUA".

Authors:

Chonata Camacho Alex Fernando

Yaguar Lalaleo Christian Omar

ABSTRACT

The objective of this thesis is to evaluate the quality of electrical energy in the electrical system of the Instituto Superior Tecnológico Tungurahua through a detailed analysis of its electrical parameters based on current national and international regulations. To this end, a load survey, electrical system assessment, and simulations were carried out using DigSilent Power Factory software in order to identify problems in the electrical system and propose solutions to optimize the institution's energy performance. Compliance with the regulatory limits established by ARCONEL 009/24 was verified. It was found that voltage levels are within the permitted range. Similarly, the load survey and quality analysis revealed that there was a load imbalance, conductors in poor condition, and a low power factor, which reduces the efficiency of the system. In addition, the power quality analysis identified that the power factor had a low performance coefficient. To mitigate this problem, it is recommended to implement a capacitor bank designed specifically for this type of system according to the reactive power required to achieve an optimal power factor of 0.96. In addition, it is suggested to establish periodic monitoring of power quality and to train personnel on the efficient use and maintenance of electrical equipment.

Keywords: Power quality, ARCONEL 009/24, power factor, electrical system, capacitor bank.

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

Alex Fernando Chonata Camacho – Christian Omar Yaguar Lalaleo

AVAL DE TRADUCCIÓN - Profesional Externo

Conie Masiel Nieto Toapanta con cédula de identidad número 1723245450 Licenciada en Ciencias de la Educación. Mención Inglés con número de registro de la SENESCYT: 1020-2023-2744825; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: **“ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO TUNGURAHUA “de: Alex Fernando Chonata Camacho y Christian Omar Yaguar Lalaleo, egresados de la carrera de Electricidad, perteneciente a la Facultad de Ciencias De La Ingeniería Y Aplicadas.**

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

Latacunga, Julio 2025.



.....
Lic. Conie Masiel Nieto Toapanta.
CI: 1723245450.

ÍNDICE GENERAL

1	INFORMACIÓN GENERAL	1
2	INTRODUCCIÓN	2
2.1	Situación problemática	3
2.2	Formulación del problema	3
2.3	OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	3
2.3.1	Objeto de investigación: Análisis de calidad de energía.	3
2.3.2	Campo de Acción: 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctrica	3
2.4	BENEFICIARIOS	4
2.4.1	Beneficiarios directos:	4
2.4.2	Beneficiarios indirectos:	4
2.5	Justificación	4
2.6	Objetivos	5
2.6.1	Objetivo general	5
2.6.2	Objetivos específicos	5
2.7	Sistema de tareas	5
3	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
3.1	Introducción a la calidad de la energía eléctrica	7
3.1.1	Origen de la mala calidad de energía eléctrica.....	7
3.1.2	Problema de calidad de energía eléctrica.....	7
3.1.3	Conceptos de calidad de la energía eléctrica	8
3.2	Tipos de cargas en los sistemas eléctricos	8
3.2.1	Cargas lineales.....	9
3.2.2	Corrientes lineales	9
3.2.3	Cargas no lineales.....	9
3.3	Normativas aplicables a la calidad de energía eléctrica	10
3.3.1	Norma IEEE 519.	10
3.3.2	Norma IEEE 1159.	10
3.3.3	Regulación ARCONEL-009/24	12
3.3.4	CALIDAD DE PRODUCTO	12
3.3.5	Nivel de voltaje	12
3.3.6	Límites de voltaje	13
3.4	Causas de sobrevoltajes del nivel de voltaje	13

3.4.1	Cumplimiento del índice de nivel de voltaje en el punto de medición.....	13
3.5	PERTURBACIÓN RÁPIDA DE VOLTAJE	14
3.5.1	PERTURBACIONES PERIÓDICAS	14
3.5.2	Flicker (Parpadeo)	14
3.5.3	Límite.....	14
3.5.4	Cumplimiento del índice de flicker en el punto de medición.	14
3.6	DESEQUILIBRIO DE VOLTAJE.....	15
3.6.1	Límite.....	15
3.7	MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE PRODUCTO	15
3.7.1	Implementación.....	15
3.7.2	Periodicidad	16
3.7.3	Selección de puntos.....	16
3.7.4	Puntos de medición.....	17
3.7.5	Informe de resultados	18
3.8	Factor k	18
3.9	DISTORSIÓN ARMÓNICA DE VOLTAJE	19
3.9.1	Límites	19
3.10	ORIGEN DE LOS ARMÓNICOS	20
3.10.1	Definición de los armónicos	20
3.10.2	Efectos de los armónicos	21
3.10.3	Equipos que generan armónicos.....	21
3.10.4	Orden de los armónicos	22
3.10.5	La frecuencia.....	22
3.10.6	La secuencia	22
4	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.....	23
4.1	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	23
4.1.1	Método analítico – diagnóstico.....	23
4.1.2	Método inductivo – deductivo.....	23
4.1.3	Investigación de campo.	24
4.2	PROCEDIMIENTO.....	24
4.2.1	Diagrama de flujo	24
4.2.2	Paso 1: Reconocimiento de las áreas del ISTT.	25

4.2.3	Paso 2: Diagnóstico de las instalaciones y levantamiento de cargas, registro de equipos y máquinas eléctricas existentes.	26
4.2.4	Paso 3: Diseño del diagrama unifilar de cargas.	29
4.2.5	Paso 4: Condición para el análisis de carga.	29
4.2.6	Paso 5: Características del equipo.	30
4.2.7	Paso 6: Conexión del equipo a la red trifásica.	30
4.2.8	Paso 7: Verificación del funcionamiento del analizador de redes.....	31
4.2.9	Condiciones para la medición del analizador de redes.	32
4.2.10	Paso 8: Obtención y descarga de datos medidos por el analizador de redes.	32
5	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	32
5.1	ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS OBTENIDOS MEDIANTE EL ANALIZADOR DE REDES.	32
5.1.1	Análisis de nivel de voltaje de las tres fases del transformador de 500 kVA.	32
5.1.2	Voltaje nominal fase – neutro 127 V del transformador de 500 kVA.....	33
5.1.2.1	Voltaje nominal fase – fase 220 V del transformador de 500 kVA.	34
5.1.2.2	Voltaje en el neutro en el transformador de 500 kVA.	35
5.1.3	Flicker - Perturbación rápida de voltaje del transformador de 500 kVA.	36
5.1.4	Distorsión armónica total de voltaje del transformador de 500 kVA.....	37
5.1.5	Armónicos individuales de voltaje del transformador de 500 kVA.	38
5.1.6	Desbalance de voltaje.	39
5.1.7	Curva de demanda del transformador de 500 kVA.	39
5.1.8	Factor de potencia del transformador de 500 kVA.	41
5.1.9	TDD de corriente del transformador.	42
5.1.10	TDD individuales de corriente del transformador.....	45
6	PROPUESTAS	45
6.1	Arreglo del factor de potencia.	45
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	49
8	REFERENCIAS	50

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Carga lineal consistente en una combinación de un resistor y un condensador .	9
Figura 2. Curva del comportamiento de una carga no lineal	10
Figura 3. Espectro armónico de un puente de seis pulsos	22
Figura 4. Metodología para análisis de calidad de energía.	24
Figura 5. Bloques del ISTT [20]	25
Figura 6. Transformador de 500 kVA.	26
Figura 7. Tableros principales de distribución.	26
Figura 8. Diagrama unifilar	29
Figura 9. Conexión del analizador a un transformador trifásico.	31
Figura 10. Analizador de red.	31
Figura 11. Nivel de Voltaje fase – neutro 127 V. del transformador de 500 kVA.	33
Figura 12. Nivel de Voltaje fase-fase 220 V del transformador 500 kVA.	35
Figura 13. Nivel de Voltaje en el Neutro en el transformador de 500 kVA.	36
Figura 14. Índice de flicker.	37
Figura 15. Nivel de THD de voltaje del transformador de 500 kVA.	38
Figura 16. Nivel de distorsión armónica individual del transformador de 500 kVA.	39
Figura 17. Curva de demanda de potencia activa mínima, promedio y máxima en 24 horas.	40
Figura 18. Curva de potencia reactiva mínima, promedio y máxima en 24 horas.	40
Figura 19. Curva de potencia reactiva mínima, promedio y máxima en 24 horas.	41
Figura 20. Factor de potencia general del transformador	42
Figura 21. Corriente promedio	43
Figura 22. Corriente promedio por fase	44
Figura 23. Armónicos individuales	45
Figura 24. Simulación del sistema del ISTT en Power Factory.	46
Figura 25. Simulación con el banco de capacitores en Power Factory.	47
Figura 26. Banco de condensadores agregados al sistema	47

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Definición de las variaciones de corta y larga duración	11
Tabla 2. Límites para el índice de nivel de voltaje	13
Tabla 3. Selección de puntos para evaluar la calidad de producto	16
Tabla 4. Puntos de medición para calidad de producto	17
Tabla 5. Límites máximos de armónicos de voltaje (% del voltaje nominal)	19
Tabla 6. Secuencia de armónicos	23
Tabla 7. Bloque Beta.....	27
Tabla 8.....	27
Tabla 9. Bloque Delta	28
Tabla 10. Bloque Lambda	28
Tabla 11. Bloque Alpha	28
Tabla 12. Bloque Kappa.....	28
Tabla 13. Niveles de voltaje fase-neutro: 127 V del transformador de 500 kVA.	33
Tabla 14. Variación de voltaje 127 V del transformador de 500 kVA.	34
Tabla 15. Niveles de voltaje fase-fase 220 V. del transformador de 500 kVA.....	34
Tabla 16. Variación de voltaje fase – fase 220 V. del transformador de 500 kVA.	34
Tabla 17. Nivel de Voltaje del Neutro del transformador de 500 kVA.	35
Tabla 18. Flickers del transformador de 500 kVA.	36
Tabla 19. Distorsión armónica total del transformador de 550 kVA.....	37
Tabla 20. Nivel de distorsión armónica individual del transformador de 500 kVA.....	38
Tabla 21. Desbalance de voltaje.	39
Tabla 22. Distorsión total de la demanda TDD del transformador de 500 kVA	44
Tabla 23. Costo del banco	48

1 INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: Análisis de calidad de energía en el sistema eléctrico del Instituto Superior Tecnológico Tungurahua.

Modalidad de titulación:

MODALIDAD DE TITULACIÓN	HOMOLOGACIONES PARA INFORME FINAL DE TITULACIÓN	SELECCIÓN
Propuesta tecnológica	Informe de propuesta tecnológica	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
	Artículo científico	
Proyecto de investigación	Informe de Proyecto de investigación	X
	Artículo científico	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
Exámen de indicadores de RDA		

Trabajo de titulación vinculado al proyecto: Estrategias de planeación de sistemas eléctricos en el contexto de la transición energética.

Equipo de Trabajo:

Estudiantes: Chonata Camacho Alex Fernando

Yaguar Lalaleo Christian Omar

Tutor: Ing. Mauricio Eduardo Mullo Pallo, Mgtr

Área de Conocimiento:

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

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

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

2 INTRODUCCIÓN

El Instituto Superior Tecnológico Tungurahua (ISTT), a través de la investigación, la innovación tecnológica, los programas de difusión y la educación, crea tecnólogos con un enfoque intercultural y humanista que está preparado para manejar los desafíos globales del trabajo y promover el desarrollo tecnológico, social, económico y sostenible del país [1].

En 2017, el ISTT se había convertido en el instituto tecnológico líder en la zona centro del país, reconocido nacional e internacionalmente por sus programas de estudio vanguardista, un entorno educativo estimulante y construido con las últimas tendencias para mejorar el avance tecnológico y la solución de problemas actuales y futuros [1].

El ISTT Campus Matriz oferta varias carreras las cuales son: electricidad, electrónica, mecánica automotriz, mecánica industrial, el Campus Guayaquil oferta: desarrollo infantil integral, el Campus Oriente: gastronomía, procesamiento de alimentos y el Campus Palahua: producción pecuaria. El estudio se decidió realizar en el campus sede matriz debido a que aquí se encuentran ubicados los talleres de las diferentes carreras [1].

En los últimos años, ha aumentado la preocupación por la calidad de los productos, especialmente en lo que respecta a su eficiencia energética. Por eso, grupos que se centran en este ámbito, como el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC) y la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA), han elaborado normas, recomendaciones, pautas y métodos para la medición y creación de herramientas de medición de la calidad de la energía, y perfeccionándolos a lo largo del tiempo [2].

Ecuador ha dado pocos años de comienzo al procedimiento de ordenar a las compañías de distribución de energía eléctrica. Esta demora le ha provisto el privilegio de haber reunido la experiencia de naciones vecinas, con el fin de regir sus compañías de distribución con mayor severidad.

2.1 Situación problemática

La calidad de la energía es uno de los factores más importantes para la viabilidad y eficiencia de los sistemas eléctricos, más aún en entornos con equipos sensibles o altamente exigentes, como es el caso de los sistemas educativos, industriales y de servicios. Esto se refiere a la estabilidad del voltaje, la frecuencia y un servicio sin perturbaciones, como armónicos, fluctuaciones o interrupciones, que pueden afectar el rendimiento de las máquinas. Una energía de mala calidad conduce a un mal funcionamiento de los equipos, mayores costos operativos, maquinarias costosas e interrumpe la continuidad de las actividades.

El ISTT actualmente en sus instalaciones presenta varios talleres y laboratorios que cuentan con maquinaria especializada, incluyendo motores eléctricos, prensas, y sistemas automatizados, que requieren un suministro eléctrico estable para operar eficientemente. Debido a esto la falta de un estudio de calidad de energía disponible en la institución genera problemas técnicos en el sistema eléctrico, Esto incluye una baja eficiencia de la energía, que pone más carga en el transformador y demanda fallas en las horas pico, así como perturbaciones presentes en el sistema eléctrico. Por lo tanto, para abordar estos problemas, es necesario promover la revisión y el aseguramiento de un suministro de energía confiable para lograr procesos óptimos con un impacto económico y operativo mínimo.

2.2 Formulación del problema

La ausencia de un análisis del consumo energético en las instalaciones del Instituto Superior Tecnológico Tungurahua es el factor fundamental que origina riesgos a equipos, personal yafección importante a las actividades académicas, es necesario un estudio profundo que permita identificar sus causas reales y proponer soluciones aplicables.

2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1 Objeto de investigación: Análisis de calidad de energía.

2.3.2 Campo de Acción: 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctrica

3306.02 Aplicaciones Eléctricas.

3306.03 Motores Eléctricos.

3306.04 Iluminación Eléctrica.

3306.07 Maquinaria Rotatoria

2.4 BENEFICIARIOS

2.4.1 Beneficiarios directos:

Instituto Superior Tecnológico Tungurahua.
Estudiantes del instituto.
Personal del instituto.

2.4.2 Beneficiarios indirectos:

Comunidad estudiantil
Entidades del estado

2.5 Justificación

El objetivo de realizar el análisis de calidad de energía es el poder estudiar los resultados que dicho estudio entregue, y poder definir si las instalaciones del ISTT han estado trabajando en óptimas condiciones y no hay daños en equipo o instalaciones académicas del instituto.

Además, se podría detectar los daños, fugas o perturbaciones de voltaje existentes en la mencionada institución. Y por consiguiente, con los deterioros ya detectados en dichos equipos, dispositivos y aparatos electrónicos se podría implementar medidas correctivas para poder efectuar un mejoramiento en las fluctuaciones que se hallaron en las instalaciones del instituto, así el mismo podría evitar gastos excesivos no necesarios en gastos de los pagos de la energía eléctrica, y ese dinero se podría utilizar en otras índoles como infraestructura o equipos para los laboratorios del ISTT.

Al identificar estos problemas, se podrán implementar medidas correctivas para optimizar el consumo energético y mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico. Esto no solo contribuirá a la reducción de costos en la facturación eléctrica, sino que también garantizará la continuidad operativa de los talleres y laboratorios, evitando interrupciones inesperadas en las actividades académicas. De este modo, la institución podrá destinar recursos económicos a otros ámbitos prioritarios, como la adquisición de nuevos equipos y la mejora de infraestructura.

Adicionalmente, este estudio servirá como una referencia técnica para futuras investigaciones sobre eficiencia energética y calidad del suministro eléctrico en instituciones educativas. La información recopilada permitirá establecer una base de datos confiable sobre los parámetros eléctricos del instituto.

2.6 Objetivos

2.6.1 Objetivo general

Analizar la calidad de energía eléctrica en el sistema del Instituto Superior Tecnológico Tungurahua, a fin de identificar perturbaciones y proponer recomendaciones para mejorar la eficiencia y confiabilidad del suministro eléctrico.

2.6.2 Objetivos específicos

- Investigar la información bibliográfica relacionada con la calidad de energía, enfocándose en normativas y parámetros necesarios para el desarrollo del respectivo análisis de calidad.
- Diagnosticar el estado actual del sistema eléctrico en las instalaciones del ISTT, mediante la medición de parámetros eléctricos.
- Analizar los resultados obtenidos a partir de las mediciones de calidad de energía en función de las normativas nacionales e internacionales vigentes, como la regulación ARCONEL 009/24 y la IEEE 519, con el fin de proponer soluciones técnicas y operativas que contribuyan a la calidad del suministro eléctrico en el ISTT.

2.7 Sistema de tareas

Tabla.1 Sistema de tareas

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, medios e instrumentos
Investigar la información bibliográfica relacionada con la calidad de energía, enfocándose en normativas y parámetros necesarios para el desarrollo del respectivo análisis de calidad.	Revisión bibliográfica referente a la calidad de energía.	Información relacionada con calidad de energía.	Investigación relacionada al tema basada en artículos científicos, normativas, libros y tesis de pregrado y posgrado.
	Investigación de normativas y parámetros relacionadas con calidad de energía.	Papers, tesis y documentos relacionados con normativa de calidad de energía	Información aplicada por Normativas, Papers y Tesis.
	Investigación de normativas y parámetros relacionadas para el levantamiento de cargas.	Papers, tesis y documentos relacionados con normativa de calidad de energía	Información aplicada por Normativas, Papers y Tesis.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, medios e instrumentos
Diagnosticar el estado actual del sistema eléctrico en las instalaciones del Instituto, mediante la medición de parámetros eléctricos.	Levantamiento de cargas de talleres.	Diagrama unifilar	AutoCAD 2020
	Instalación de un analizador de red en los talleres de la institución, para identificar el estado general.	Archivo ejecutable en el programa especializado en el análisis de los parámetros eléctricos.	Registro de mediciones.
	Análisis de calidad de energía con los datos obtenidos por el analizador de red.	Informe de los parámetros obtenidos del analizador de red.	Software especializado.
Analizar los resultados obtenidos a partir de las mediciones de calidad de energía en función de las normativas nacionales e internacionales vigentes, como la regulación ARCONEL 009/24 y la IEEE 519, con el fin de proponer soluciones técnicas y operativas que contribuyan a la calidad del suministro eléctrico en el ISTT.	Comparativa de los datos obtenidos en el informe con la respectiva normativa ARCONEL 009/24.	Archivo de Excel con promedios de índices de calidad según la normativa propuesta.	Software especializado.
	Elaboración de un análisis identificando las problemáticas del sistema.	Informe que determine si los parámetros cumplen o no los rangos permitidos por la normativa.	Normativa Eléctrica Nacional. Software especializado.
	Investigación de posibles soluciones ante los problemas de calidad de energía encontrados.	Propuesta de soluciones técnicas viables para mitigar los problemas de calidad de energía localizados en el sistema eléctrico del ISTT.	Artículos científicos, normativas, libros y tesis de pregrado y posgrado. Software especializado.

3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 Introducción a la calidad de la energía eléctrica

3.1.1 Origen de la mala calidad de energía eléctrica

En un mercado eléctrico liberalizado, los conceptos de ser económicamente viable y técnicamente estable se aplican a cualquier sistema con responsabilidades claramente definidas relacionadas con cómo se ven afectados los usuarios o sus vecinos. Las interacciones electromagnéticas y la forma en que afectan a los usuarios o a las redes se pueden entender a través del término calidad de servicio [3].

La calidad no es unilateral, se encuentra relacionada al tipo de equipo del usuario y su funcionamiento. Dos usuarios de la misma red pueden tener una recepción muy diferente sobre la calidad del servicio que reciben. De igual manera, las percepciones de los usuarios sobre la calidad pueden cambiar con el tiempo a medida que se compran dispositivos cada vez más sensibles [3].

La condición de la forma de onda se remite a la forma de onda de voltaje proporcionada y la interferencia asociada con ella. Cubre prácticamente todas las fuentes tecnológicas de interrupción, excepto las interrupciones del suministro a largo plazo que se incluyen en el componente de continuidad o fiabilidad que se ha mencionado anteriormente [4].

3.1.2 Problema de calidad de energía eléctrica

El organismo regulador para la calidad del servicio eléctrico es generalmente una empresa propiedad del estado, mientras que el organismo regulador es una empresa de distribución, y esta puede ser pública o privada. Debido a que las empresas distribuidoras son responsables de la calidad del servicio, las leyes o normativas disponen que las empresas distribuidoras deben monitorear y corregir los problemas de calidad de la energía en beneficio de sus clientes [2].

La pésima calidad de energía se define por la presencia de perturbaciones en los sistemas eléctricos como: alteraciones de voltaje, interrupciones, armónicos y eventos transitorios. Se ha demostrado que la mayoría de los problemas relacionados con la calidad de energía se deben a defectos directos en las instalaciones eléctricas y no al suministro de energía.

Los problemas de calidad de la energía se consideran de dos tipos básicos:

- Aquellas sustancias que provocan la interrupción de la carga o la finalización de un circuito eléctrico.
- Provocando fallas en los sistemas que suministran la energía y en el funcionamiento de los equipos eléctricos [5].

Para reducir los problemas que se presentan en la calidad de energía, la energía suministrada debe ser constante, mantenerse dentro de los rangos de frecuencia y tensión, además debe tener una forma de onda sinusoidal que no contenga contenido armónico. Por lo tanto, las variaciones de voltaje, la distorsión armónica y los transitorios eléctricos suelen ser las causas principales de los problemas de calidad de energía [5].

Los problemas de calidad de energía son eventos de alta velocidad, como pulsos transitorios, cambios de frecuencia, fallas en las ondas, cambios de voltaje y cortes completos de energía [5].

3.1.3 Conceptos de calidad de la energía eléctrica

Según la norma IEEE 1100 – 2005:

El concepto suministro de energía y conexión a tierra en equipos electrónicos lo hace aceptable para el correcto desempeño del equipo y conciliable con el alambrado local y otros equipos de conexión. Esta descripción es limitada en términos de tipos de dispositivos para cubrirla, debido a que sólo incluye equipos electrónicos. Todos los equipos eléctricos pueden llegar a presentar fallas cuando suelen aparecer uno o más problemas de calidad de energía. Los dispositivos pueden ser motores eléctricos, generadores, computadoras, impresoras, equipos de comunicación o cualquier dispositivo casero [6].

Enríquez Harper define la calidad de la energía como: “No existen interrupciones, fluctuaciones, deformaciones causadas por armónicos en la red y cambios en el voltaje rms suministrada al usuario. El objetivo de la calidad de la energía es encontrar formas efectivas de corregir interferencias y variaciones de voltaje del lado del usuario y proponer soluciones para corregir las fallas que se encuentren en los sistemas del lado de las compañías suministradoras de energía eléctrica”.

3.2 Tipos de cargas en los sistemas eléctricos

La distorsión armónica de los sistemas eléctricos se provoca por cargas no lineales y puede contaminar el sistema y también afectar a usuarios que solo tienen cargas lineales. La curva entre corriente y voltaje de una carga establece si su comportamiento es lineal o no, y no se debe suponer que los demás dispositivos con semiconductores sean no lineales. En algunos servicios, al utilizar SCR conectados en paralelo con mando de cruce por cero, no hay distorsión porque son lineales, mientras que las resistencias con control de fase, por otro lado, son cargas no lineales [7].

3.2.1 Cargas lineales

Es una carga que consume una corriente instantánea proporcional al voltaje aplicado, es decir, su impedancia permanece constante durante todo el ciclo de CA. En el caso de una red pública con una tensión sinusoidal de 50 o 60 Hz, esto representa una corriente puramente sinusoidal [8].

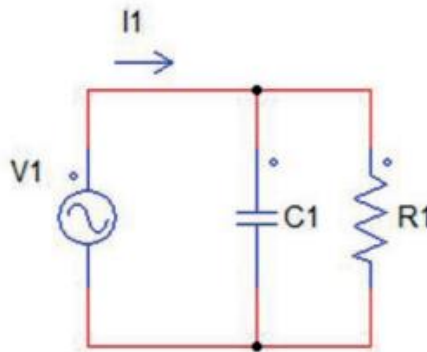


Figura 1. Carga lineal consistente en una combinación de un resistor y un condensador [8].

3.2.2 Corrientes lineales

- IR: corriente pura de circuito resistivo.
- IL: corriente de circuito inductiva (atrasada).
- IC: corriente de circuito capacitiva (adelantada).

Se entiende que una resistencia pura, inductancia y capacitancia son lineales. Esto indica que la onda senoidal de tensión de cualquier magnitud contiene una resistencia pura. Por ejemplo, la corriente del circuito se somete a la ley de Ohm, la relación entre los voltios y los amperios es una línea recta [8].

La influencia entre la tensión y la corriente con respecto a una carga línea tienden a ser proporcionales y lineales, estas cargas no indican un problema en la distorsión de la forma de onda por el simple hecho de regirse de una manera lineal [9].

3.2.3 Cargas no lineales

En 1970, la degradación armónica presente en los sistemas eléctricos se llegó a convertir en un problema que sigue presente en la actualidad a causa del incremento de las cargas no lineales. En vista del aumento de este tipo de cargas (especialmente dispositivos semiconductores y equipos electrónicos de potencia), la distorsión armónica de voltaje y corriente es cada vez

mayor, lo que puede producir una serie de efectos adversos, afectando el normal funcionamiento y calidad del servicio de los equipos eléctricos. sistema. Entre otras cosas, estos efectos son [10]:

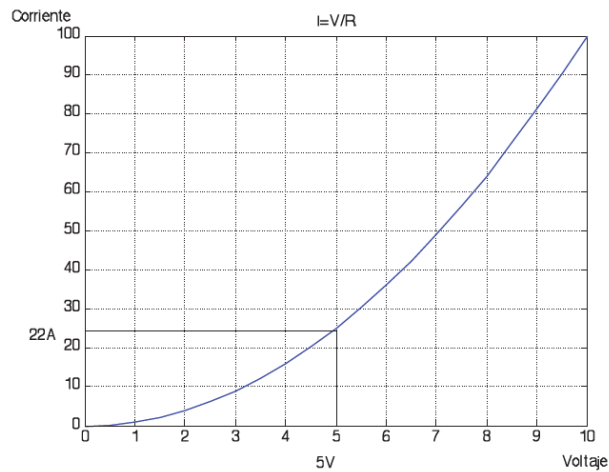


Figura 2. Curva del comportamiento de una carga no lineal [2].

Las principales causas de las cargas no lineales presentes en los sistemas son:

- Distorsión de voltaje
- Niveles altos de voltaje presentes de neutro a tierra
- Sobrecalentamientos en los transformadores

3.3 Normativas aplicables a la calidad de energía eléctrica

3.3.1 Norma IEEE 519.

Existe una preocupación significativa en relación con las cargas no lineales y su impacto en los armónicos de corriente. Todos los encargados de las redes de consumo se comprometen a mantener unos niveles de tensión adecuados. La norma IEEE 519 aborda la amplitud de las corrientes armónicas en función de la red suministradora. En cualquier lugar donde se presenten problemas debido al exceso de corriente armónica o variación de tensión, tanto el proveedor como el receptor de la energía deben abordar y resolver estas situaciones de manera obligatoria [11].

3.3.2 Norma IEEE 1159.

La normativa se encargar de identificar las distintas categorías que se presentan en los fenómenos electromagnéticos expuestos en el sistema eléctrico. Estas categorías son: transitorios, variaciones de corta y larga duración, desequilibrio del voltaje, distorsión de la

forma de onda, fluctuaciones de voltaje y variaciones de la frecuencia. En la categoría de variaciones de corta duración se incluyen los vacíos de voltaje y las interrupciones. Cada tipo de variación se clasifica como instantáneo, momentáneo o temporal, dependiendo de su duración [12]. Estos conceptos se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Definición de las variaciones de corta y larga duración [11].

Categorías	Duración típica	Magnitud típica del voltaje
2.0 Variaciones de corta duración		
2.1 Instantánea		
2.1.1 Hueco	0.5 – 30 ciclos	0.1 – 0.9 p.u.
2.1.2 Swell	0.5 – 30 ciclos	1.1 – 1.8 p.u.
2.2 Momentánea		
2.2.1 Interrupción	0.5 ciclos – 3 s	< 0.1 p.u
2.2.2 Hueco	30 ciclos – 3 s	0.1 – 0.9 p.u.
2.2.3 Swell	30 ciclos – 3 s	1.1 – 1.4 p.u.
2.3 Temporal		
2.3.1 Interrupción	3 s – 1 min	< 0.1 p.u
2.3.2 Hueco	3 s – 1 min	0.1 – 0.9 p.u.
2.3.3 Swell	3 s – 1 min	1.1 – 1.2 p.u
3.0 Variaciones de larga duración		
3.1 Interrupción sostenida	> 1 min	0.0 p.u.
3.2 Bajada de voltaje	> 1 min	0.8 – 0.9 p.u.
3.3 Sobrevoltaje	> 1 min	1.1 – 1.2 p.u.

Los cambios a corto plazo suelen estar provocados por situaciones de fallo, como la conexión de grandes cargas que requieren corrientes iniciales elevadas. Las sobretensiones, las caídas de

tensión o las interrupciones transitorias pueden producirse como resultado de la naturaleza del fallo, su ubicación en el sistema y el estado general del sistema.. Ya sea que el fallo ocurra en proximidad al punto de interés o más distante, su repercusión en la voltaje resultará en una variación de corta duración [11].

3.3.3 Regulación ARCONEL-009/24

La Regulación No. ARCONEL-009/24 denominada “Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica” [13].

- **Aspecto general.**

Establecer los indicadores, índices y límites de calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica; y, definir los procedimientos de medición, registro y evaluación a ser cumplidos por las empresas eléctricas de distribución y consumidores, según corresponda [13].

- **Atributos de calidad.**

1. Calidad de producto.
 - a) Nivel de voltaje.
 - b) Perturbaciones rápidas de voltaje (Flicker).
 - c) Distorsión armónica de voltaje.
 - d) Desequilibrio de voltaje.

3.3.4 CALIDAD DE PRODUCTO.

3.3.5 Nivel de voltaje

La calidad de nivel de voltaje en un punto del sistema de distribución se determinará con el siguiente índice [13]:

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

Donde:

ΔV_k = Variación del voltaje de suministro respecto al voltaje nominal en el punto k .

V_k = Voltaje de suministro en el punto k , determinado como el promedio de las medidas registradas (al menos cada 3 segundos) en un intervalo de 10 minutos.

V_N = Voltaje nominal en el punto k .

3.3.6 Límites de voltaje

Los rangos de voltaje admitidas son las siguientes [13]:

Tabla 2. Límites para el índice de nivel de voltaje

Nivel de Voltaje	Rango admisible
Alto Voltaje (Grupo 1 y Grupo 2)	$\pm 5.0 \%$
Medio Voltaje	$\pm 6.0 \%$
Bajo Voltaje	$\pm 8.0 \%$

3.4 Causas de sobrevoltajes del nivel de voltaje

Los sobrevoltajes transitorios se producen cuando se registra un aumento repentino y significativo del voltaje en una red eléctrica, que suele durar generalmente en medida en microsegundos y alcanzar varios niveles de kilovoltios. Este fenómeno se debe principalmente a descargas atmosféricas, aunque también pueden contribuir alteraciones repentinas de la red eléctrica. La presencia de sobrevoltajes transitorias conlleva riesgos considerables, ya que pueden provocar daños importantes o la destrucción total de los equipos conectados, fallos operativos generalizados, reducción de la vida útil de los dispositivos e interrupciones del servicio para los usuarios [14].

En la mayoría de los casos, las descargas atmosféricas, como los rayos, representan la fuente principal de estos sobrevoltajes transitorios. Sin embargo, los impulsos de voltaje no deseados también pueden iniciarse por conmutaciones dentro de la red eléctrica, variaciones bruscas de carga o incluso fenómenos externos como fallas en las líneas de transmisión [14].

3.4.1 Cumplimiento del índice de nivel de voltaje en el punto de medición

La distribuidora cumple con el nivel de voltaje en un punto de medición cuando el 95% o más de los registros de las variaciones de voltaje, en todas y cada una de las fases, en el período de evaluación de al menos siete (7) días continuos, se encuentran dentro del rango admisible [13].

3.5 PERTURBACIÓN RÁPIDA DE VOLTAJE

3.5.1 PERTURBACIONES PERIÓDICAS

3.5.2 Flicker (Parpadeo)

Se trata de una sensación visual inestable causada por la exposición a una fuente de luz en el que la distribución fotométrica o espectral tienen a sufrir cambios a lo largo del tiempo. Esta percepción intermitente, conocida como parpadeo, suele estar provocada por variaciones en el voltaje y puede observarse en frecuencias que oscilan entre 0,5 y 25 Hz. La medida del parpadeo se denomina perceptibilidad, siendo PST el parámetro para períodos cortos (10 minutos) y PLT para períodos más extensos (2 horas) [11].

Se evaluará mediante el índice de severidad por flicker de corta duración (P_{st}), conforme la norma IEC 61000-4-15(1), el cual mide la severidad de las variaciones periódicas de amplitud de voltaje a corto plazo, con intervalos de medición de 10 minutos [11]:

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}} \quad (2)$$

Donde:

P_{st} = Índice de severidad de flicker de corta duración.

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

3.5.3 Límite

El valor límite para el índice de severidad del flicker de corta duración P_{st} en el punto de medición respectivo no debe superar la unidad [13].

3.5.4 Cumplimiento del índice de flicker en el punto de medición.

La distribuidora cumple con el índice de severidad por flicker de corta duración P_{st} en un punto de medición cuando el 95% o más de los valores registrados, en todas y cada una de las fases, en el período de evaluación no inferior a siete (7) días continuos, es menor al límite establecido [13].

3.6 DESEQUILIBRIO DE VOLTAJE

En un sistema de tres fases, este es el caso donde la situación en la que los niveles eficaces de voltaje de las tres fases no son los mismos o los ángulos entre fases consecutivas son diferentes entre sí [11].

El desequilibrio de voltaje en un punto del sistema de distribución se determinará con el siguiente índice:

$$\text{Desequilibrio de Voltaje} = \left| \frac{V^-}{V^+} \right| * 100[\%] \quad (3)$$

Donde:

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

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

3.6.1 Límite

El valor límite para el índice de desequilibrio de voltaje en un punto de medición será de 2% para todos los niveles de voltaje [13].

3.7 MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE PRODUCTO

3.7.1 Implementación.

Para la implementación de las campañas de medición, las distribuidoras deberán realizar las siguientes acciones [13]:

- a) Establecer un plan anual para las campañas de medición, que determine la cantidad y los puntos de la red donde se realizarán las mediciones;
- b) Disponer e instalar los equipos de medida y/o analizadores de red necesarios que permitan evaluar la calidad de producto;
- c) Medir (en todas las fases), registrar y almacenar los datos medidos;
- d) Retirar el equipamiento de medición;
- e) Calcular los índices relacionados con la calidad de producto; y,
- f) Verificar el cumplimiento de los límites establecidos.

3.7.2 Periodicidad

Para cada mes, la medición, registro y almacenamiento de los valores en cada punto seleccionado se efectuará durante un período de evaluación no inferior a siete (7) días continuos, en intervalos de 10 minutos. Sin perjuicio de lo anterior, la distribuidora podrá utilizar los equipos de medida que registren mediciones en intervalos de 15 minutos, siempre y cuando estos equipos tengan la capacidad de registrar todas las variables necesarias para determinar los índices de calidad de producto [13].

3.7.3 Selección de puntos.

La selección de puntos a evaluarse considerará la siguiente tabla:

Tabla 3. Selección de puntos para evaluar la calidad de producto [13].

Grupo	Descripción	Cantidad	Tipo de selección
1	Barras de salida de subestaciones de distribución AV/MV	Todas las barras de salida de subestaciones de distribución AV/MV	Anual
2	Alto Voltaje (Grupo 1 y Grupo 2)	Todos los consumidores servidos en alto voltaje	Anual
3	Transformadores de Distribución	0,15% del total de transformadores de distribución (No menos de 5)	Mensual
4	Medio Voltaje	0,5% del total de consumidores servidos en medio voltaje (No menos de 5)	Mensual
5	Bajo Voltaje	0,01% del total de consumidores servidos en	Mensual

bajo voltaje (No menos de
7)

Para todos los grupos antes citados se evaluará el cumplimiento de lo establecido en el numeral 8 respecto del nivel de voltaje. Para el efecto, los equipos y procedimientos deberán cumplir con la norma IEC 61000-4-111 e IEC 61000-4-302, o sus reformas.

3.7.4 Puntos de medición

Las mediciones de los índices e indicadores se realizarán en los siguientes puntos [13]:

- Para los consumidores seleccionados en BV, las mediciones, registro y almacenamiento de datos deberán realizarse en los puntos más cercanos a los puntos de entrega.
- Para los consumidores seleccionados en MV, las mediciones, registro y almacenamiento de datos deberán realizarse en los puntos de entrega de MV, indistintamente si son medidos en MV o BV. Para este grupo de puntos, se podrá utilizar los TC y TP del sistema comercial para la obtención de la información.
- Para los consumidores seleccionados en AV, las mediciones, registro y almacenamiento de datos deberán realizarse en los puntos de entrega de AV.
- Para los transformadores de distribución seleccionados, las mediciones, registro y almacenamiento de datos se efectuarán en los bornes de BV [13].

Los puntos de medición para cada uno de los grupos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4. Puntos de medición para calidad de producto [13].

Grupo	Descripción	Punto de medición	Índices a medir
1	Barras de salida de subestaciones de distribución AV/MV	MV	Nivel de voltaje
2	Consumidores en alto Voltaje (Grupo 1 y Grupo 2)	AV	Nivel de voltaje Flicker Armónicas de voltaje Desbalance de voltaje
3	Transformadores de distribución	BV	Nivel de voltaje Flicker

			Armónicas de voltaje Desbalance de voltaje
4	Consumidores en medio Voltaje	MV	Nivel de voltaje Flicker Armónicas de voltaje Desbalance de voltaje
5	Consumidores en bajo Voltaje	BV	Nivel de voltaje

3.7.5 Informe de resultados

- Cálculo de los índices de la calidad de producto, conforme lo establecido.
- Identificación de los puntos en los cuales se obtuvo incumplimiento a los límites establecidos para la calidad de producto.

3.8 Factor k

Los transformadores con factor K están diseñados para resistir armónicos. Mientras mayor sea la presencia de los armónicos, el transformador será menos eficiente y manejará una menor cantidad de corriente debido a que los armónicos compiten por toda la potencia. Si sumamos toda la carga convencional y la carga armónica obtenemos un transformador sobrecargado [15]

El factor K establece una comparación entre las corrientes de distorsión en el transformador y los efectos de calentamiento causados por corrientes sinusoidales de amplitud constante (RMS), este nos indicará la capacidad del transformador para suministrar corriente a las cargas no líneas sin sobrepasar los límites [11].

$$k = \frac{\sum_{n=1}^h (I_h^2 \cdot I_h^2)}{\sum_{n=1}^h (I_h^2)} \quad (4)$$

Donde:

h: es el orden armónico e I_h es la intensidad RMS real del orden armónico h.

El factor K analiza los efectos de que provoca el calentamiento, en las cargas y las pérdidas del transformador (K=1) es el valor de referencia de un transformador. Si tenemos un valor de K=4 esto da a entender que es cuatro veces el calentamiento [15].

3.9 DISTORSIÓN ARMÓNICA DE VOLTAJE

Se evaluará la distorsión armónica individual de voltaje y la distorsión armónica total de voltaje, conforme las siguientes expresiones [13]:

$$V_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (V_{h,i})^2} \quad (5)$$

$$DV_{h,k} = \frac{V_{h,k}}{V_{h,1}} * 100 [\%] \quad (6)$$

$$THD_k = \left[\frac{1}{V_{h,1}} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (V_{h,k})^2} \right] * 100 [\%] \quad (7)$$

Donde:

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

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

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

THD_k = Valor eficaz (rms) de la componente fundamental de voltaje en el punto de medición.

3.9.1 Límites

Los límites máximos del factor de distorsión armónica individual de voltaje y del factor de distorsión armónica total de voltaje son los siguientes [13]:

Tabla 5. Límites máximos de armónicos de voltaje (% del voltaje nominal) [13].

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

Alto Voltaje	1.0	1.5
(Grupo 2)		

Cumplimiento de los índices de armónicos en el punto de medición

La distribuidora cumple con el factor de distorsión armónica individual de voltaje y con el factor de distorsión armónica total de voltaje en un punto de medición, cuando el 95% o más de los valores registrados, en todas y cada una de las fases, en el período de evaluación de al menos siete (7) días continuos, son menores a los límites máximos establecidos [13].

3.10 ORIGEN DE LOS ARMÓNICOS

Los equipos conectados a una red eléctrica, ya sean propiedad de la empresa o de sus usuarios, están diseñados para funcionar a 60 hz con tensión y corriente sinusoidales. Debido a diferentes motivos, llega a existir una corriente a frecuencias distintas de 50 o 60 hz, lo que se conoce como armónicos y se define normalmente como distorsiones armónicas de las formas de onda de tensión y corriente en los sistemas eléctricos [16].

Las cargas no lineales son el factor fundamental que genera los armónicos, dichas cargas no lineales, aunque la mayoría de veces llegan a generar una señal sinusoidal, devuelven una señal no sinusoidal a través del punto neutro y pueden considerarse una fuente de corriente que inyecta armónicos a la red. En la totalidad de los casos, los armónicos son una perturbación en estado estacionario [16].

- Lámparas led.
- Equipos de soldadura eléctrica.
- Equipos electrónicos en general.
- Variadores de frecuencia.

3.10.1 Definición de los armónicos

Los componentes armónicos son tensiones o corrientes que siguen patrones sinusoidales y se expresan en múltiplos enteros de la frecuencia fundamental del sistema eléctrico. La forma de onda modificada está compuesta por la señal de frecuencia fundamental y sus múltiplos. La distorsión armónica es causada por cargas no lineales en el sistema eléctrico. El índice de distorsión armónica es un número que se utiliza para determinar la cantidad de armónicos presentes (THD) [17].

3.10.2 Efectos de los armónicos

El principal efecto causado por los armónicos es la aparición de voltajes no sinusoidales en diferentes puntos del sistema. Estos se producen mediante bucles de corriente retorcidos en las líneas. La circulación de estas corrientes provoca caídas de voltaje, obligando a los nodos del sistema a evitar voltajes puramente sinusoidales. Cuanto mayor sea la corriente armónica que fluye a través de los alimentadores del sistema de energía, mayor será la distorsión de voltaje en los nodos del circuito y, por lo tanto, más graves serán los problemas que puedan ocurrir [18].

La influencia de los armónicos en los equipos viene determinada por su naturaleza, así como por su amplitud, frecuencia y fase. Los impactos que más se frecuentan en los sistemas son [18]:

- Los transformadores sufren pérdidas y calentamientos que acortan su vida útil.
- Los fusibles presentan calentamiento en condiciones normales de trabajo.
- Los conductores sufren fallos en su aislamiento y efecto corona.
- Los balastos que se encuentran presentes en las lámparas fluorescentes sufren calentamiento.
- Los relés de protección sufren disparos repentinos debido a las perturbaciones presentes en el sistema.

Parámetros de los armónicos

- orden, frecuencia y secuencia [18].

3.10.3 Equipos que generan armónicos.

Los variadores de velocidad, las unidades UPS y los convertidores de CC dependen todos de los puentes trifásicos. Este tipo de puente genera armónicos a frecuencias de $6n \pm 1$, o un armónico cada múltiplo de seis. En teoría, la amplitud de cada armónico es inversamente proporcional a su orden; por ejemplo, la amplitud del quinto armónico es del 20 %, mientras que la del undécimo armónico es del 9 % [11], y así sucesivamente como se muestra en la Figura 3.

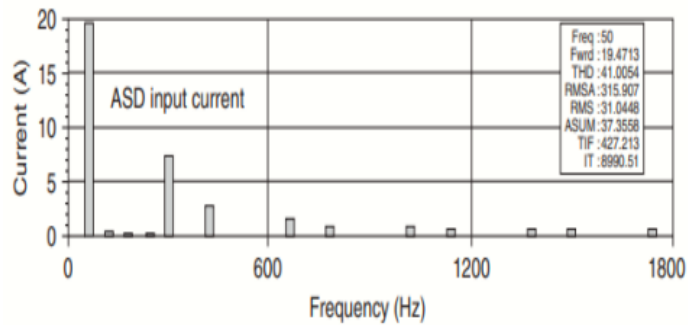


Figura 3. Espectro armónico de un puente de seis pulsos [11].

3.10.4 Orden de los armónicos

SI tenemos la frecuencia de 60 Hz, el orden se encargara de definir las veces que la frecuencia de dicho armónicos es mayor que la principal: 1,2,3,4,5,6,7... El orden natural de un número se define a veces como su frecuencia armónica dividida por su frecuencia fundamental [16].

$$n = \frac{f_n}{f_{60}} \quad (8)$$

3.10.5 La frecuencia

Se define como el orden armónico multiplicado por la frecuencia fundamental (60 Hz)

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

Los armónicos impares están presentes en redes eléctricas como la industria, la construcción y las explotaciones industriales. Las órdenes pares sólo ocurren cuando la señal es asimétrica [16].

3.10.6 La secuencia

La secuencia indica el giro del armónico con relación al principal [16].

Según su giro respecto al fundamental, estos presentan diferentes secuencias:

SECUENCIA (+): Rotación Directa.

SECUENCIA (-): Rotación Inversa.

SECUENCIA (0): No tiene sentido de rotación.

Tabla 6. Secuencia de armónicos [16].

Orden	Frecuencia (Hz)	Secuencia
1	60	+
2	120	-
3	180	0
4	240	+
5	300	-
6	360	0
7	420	+
8	480	-
9	540	+
n	60*n	...

4 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.

4.1 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.

4.1.1 Método analítico – diagnóstico.

A través de una exhaustiva revisión bibliográfica, se recopiló información de normativas y diferentes tesis de diversos autores con el fin de profundizar del tema en investigación. La revisión bibliografica es necesaria para comprender los problemas y las causas relacionados con la calidad de la energía eléctrica. Del mismo modo, se desarrollaron enfoques como el análisis de fallos y la minería de datos para dividir un problema complejo en partes específicas y manejables, con el fin de encontrar la causa principal del problema y proporcionar soluciones a las incidencias más comunes dentro del sistema eléctrico.

4.1.2 Método inductivo – deductivo.

Se llevó a cabo el método para establecer el análisis de la calidad de energía del Instituto Superior Tecnológico “Tungurahua”, con el objetivo de identificar y comprender los problemas existentes. Esta técnica combina la recopilación de datos para cargas lineales y no lineales, diagramas unifilares y el registro de mediciones a través del analizador de redes Sonel PQM - 702.

4.1.3 Investigación de campo.

Las visitas técnicas a las instalaciones del Instituto Superior Tecnológico “Tungurahua” en el cantón Ambato ubicada en la parroquia “Pishilata”, fueron parte integral y fundamental de esta investigación. Durante estas reuniones, se llevó a cabo el levantamiento de cargas lineales y no lineales, conexión del sistema de la cámara de transformación, información acerca de los talleres de máquinas donde se realizan las prácticas los estudiantes. Mediante mediciones se recopilaron los datos necesarios para elaborar el diagrama unifilar correspondiente del ISTT.Ç

4.2 PROCEDIMIENTO

4.2.1 Diagrama de flujo

En la Figura 4 se identifica el método implementado para el diagnóstico y la evaluación de las instalaciones eléctricas del ISTT. Este proceso abarca desde el estudio inicial de las áreas hasta la identificación y mitigación de fallas, siguiendo un enfoque sistemático basado en la norma ARCONEL 009/24.

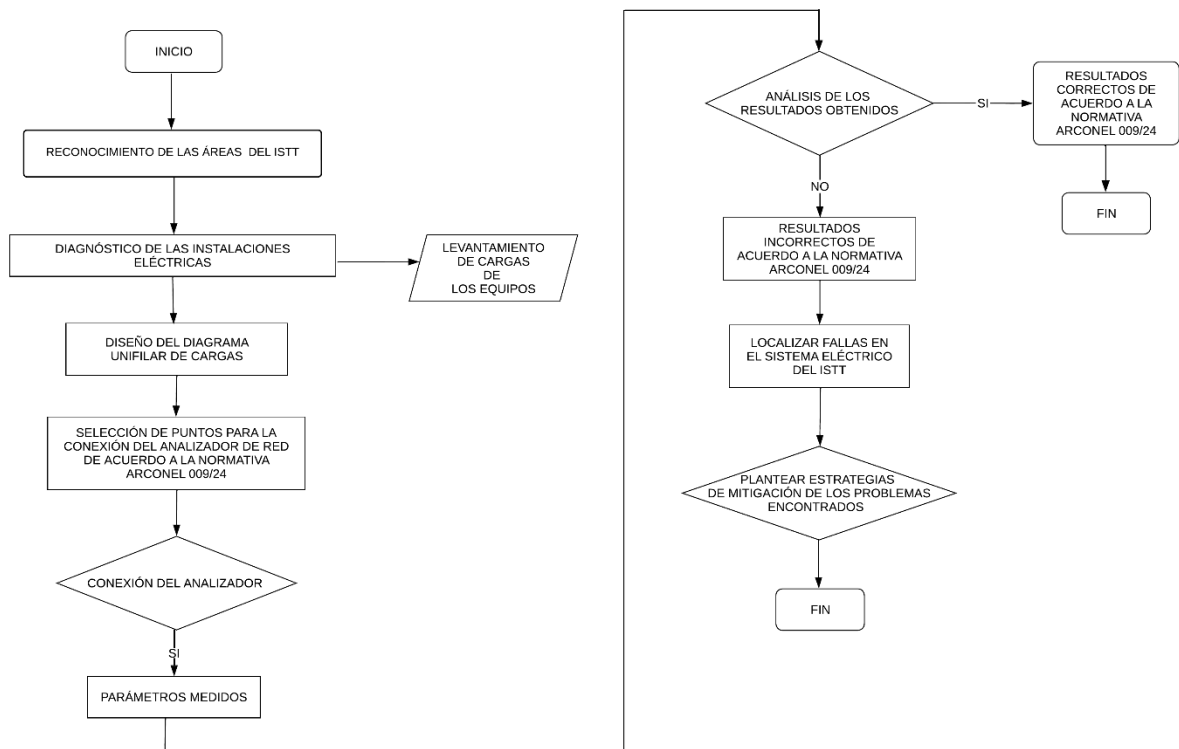


Figura 4. Metodología para análisis de calidad de energía.

4.2.2 Paso 1: Reconocimiento de las áreas del ISTT.

El ISTT tiene varias instalaciones, pero se concentró en el campus principal debido a que allí se encuentran las carreras técnicas que manejan equipos de gran potencia y de mayor impacto que dan a conocer a la institución.

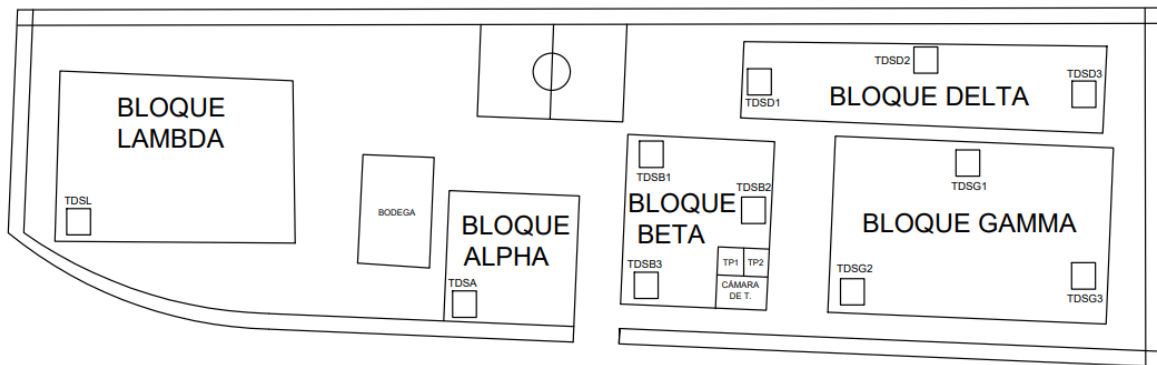


Figura 5. Bloques del ISTT [20] .

Comprende de 5 bloques principales que embarcan los siguientes bloques:

Bloque Beta. (Anexo 1,2)

- Taller máquina herramientas – ajuste.

Bloque Delta. (Anexo 3,4)

- Taller de soldadura.
- Taller de tornos CNC.

Bloque Gamma. (Anexo 5)

- Taller de mecánica automotriz.

Bloque Lambda. (Anexo 6)

- Laboratorio de computación.
- Sala de docentes.
- Laboratorio de electricidad.
- Laboratorio de electrónica.

Bloque Alpha (Anexo 7)

- Edificio administrativo.

4.2.3 Paso 2: Diagnóstico de las instalaciones y levantamiento de cargas, registro de equipos y máquinas eléctricas existentes.

Mediante una visita in situ, se observó el uso de tecnologías antiguas y obsoletas en los sistemas de iluminación, que pueden generar armónicos y una mala calidad de energía en el sistema eléctrico. También se observó que la mayoría del cableado ya ha cumplido su vida útil. Al igual se pudo identificar en la cámara de transformación el desgaste de las protecciones y los bushings del transformador que provee de energía al campus matriz.

- **Cámara de transformación**

En la cámara se puede observar que cuenta con un transformador de 500 [kVA] trifásico, con sus respectivas especificaciones como: 13,80[kV]/127[V], protegido con una acometida en medio y bajo voltaje de tipo soterrada.



Figura 6. Transformador de 500 kVA

- **Tableros principales**

EL TDP 1 contiene 9 interruptores termomagnéticos y el TDP 2 contienen 7 interruptores termomagnéticos, para cada caso controlan a su respectivo bloque principal, los mismos que se encuentran en estado de ambiente no vigentes.

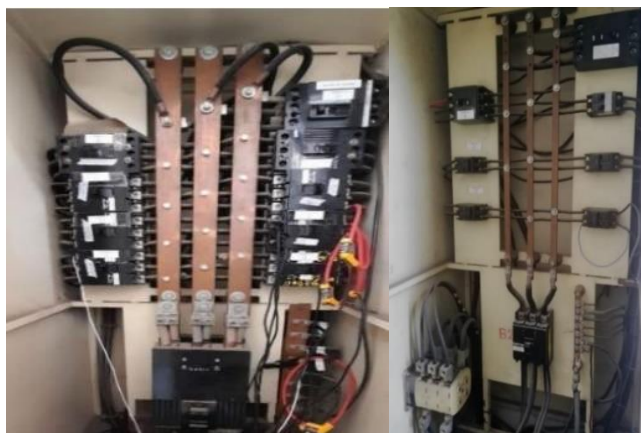


Figura 7. Tableros principales de distribución.

El estudio del sistema eléctrico incluye cinco zonas en las que se encuentran ambientes como: talleres, aulas y laboratorios. En estos ambientes, se investigan las cargas inductivas y resistivas para realizar las investigaciones adecuadas.

A continuación, se detalla las áreas de cada bloque:

Tabla 7. Bloque Beta

Beta					
Tipo de máquina	Unidades	Voltaje	Corriente	Potencia unitaria W	Potencia total W
Tornos Lincoln	4	220/380	6	4000	16000
Torno Harrison	1	220/380	27	7460	7460
Fresadora Heckmodw	6	220/380	14	4120	24720
Taladros Pedestal	1	115	7	746	746
Limadora 20064	1	220/380	3	1000	1000
Cortadora HITACHI	1	220/380	4	2200	2200
Lámpara LED 2*T8-18 W.	35	110		18	630
				Potencia total	52756

Tabla 8.
Bloque Gamma

Gamma					
Taller de mecánica automotriz					
Tipo de máquina	Unidades	Voltaje	Corriente	Potencia unitaria W	Potencia total W
Lavador de inyectores	2	220/380	27	7500	15000
Elevador de autos	2	220	18	2200	4400
Rectificadora de cigüeñal	1	220/380	2	750	750
Lámpara 1000 W	7	110		1000	7000
Lámpara 40 W	29	110		40	1160
Luminaria led 18 W	4	110		18	72
				Potencia total	28382

Tabla 9. Bloque Delta

Delta
Taller de soldadura

Tipo de máquina	Unidades	Voltaje	Corriente	Potencia unitaria W	Potencia total W
Soldadora de arco manual	5	110	100	7700	38500
Soldadoras de Tig	3	220	16	2576	7728
Soldadoras Smaug	2	220	16	4000	8000
Lámparas LED T8 18 W.	23	110		18	4141
Taller de tornos CNC					
Tipo de máquina.	Unidades	Voltaje	Corriente	Potencia unitaria W	Potencia total W
Torno CNC A1	1	220	2	320	320
Torno CNC A2	1	220	2	160	160
Fresadora CNC	1	220	3,41	4120	4120
Lámparas LED T8-18 W.	47	110		18	846
				Potencia total	63815

Tabla 10. Bloque Lambda

Lambda				
Tipo de Maquina	Voltaje	Unidades	Potencia unitaria W	Potencia total W
Lampara led 34W	110	56	34	1904
Tomacorriente 127 V	127	24		

Tabla 11. Bloque Alpha

Alpha				
Tipo de Maquina	Voltaje	Unidades	Potencia unitaria W	Potencia total W
Lampara de balastro 40W	110	46	40	1840
Lampara led 34W	110	44	34	1496
Tomacorriente 127 V	127	40		

Tabla 12. Bloque Kappa

Kappa				
Tipo de Maquina	Voltaje	Unidades	Potencia unitaria W	Potencia total W
Lampara led 34W	110	4	34	136
Lampara led 18W	110	12	18	216
Tomacorriente 127 V	127	14		

Se realizó una observación detallada de la cámara de transformación y los talleres de máquinas donde se realizan las prácticas de estudio de los estudiantes. A partir de este análisis, se pudo extraer información crucial como los datos de placa. Como paso final, se procedió a la elaboración del esquema unifilar.

4.2.4 Paso 3: Diseño del diagrama unifilar de cargas.

Se ha desarrollado con éxito el diagrama unifilar del sistema de carga eléctrica del instituto, que ofrece una visión general de la disposición de las instalaciones eléctricas, así como del funcionamiento del sistema de distribución eléctrica. En el proceso de elaboración de este diagrama, se siguieron las directrices establecidas por la norma NEC (National Electrical Code), ya que los elementos eléctricos instalados en el instituto se adhieren a dicha normativa. Utilizando los datos recopilados en trabajos anteriores [19], se procedió a realizar una actualización de los mismos, y al diseño del diagrama unifilar empleando el software AutoCAD 2020. Este diagrama constituirá un punto de referencia esencial para el análisis detallado del sistema eléctrico el cual se encuentra en la sección de anexos. (ver anexos).

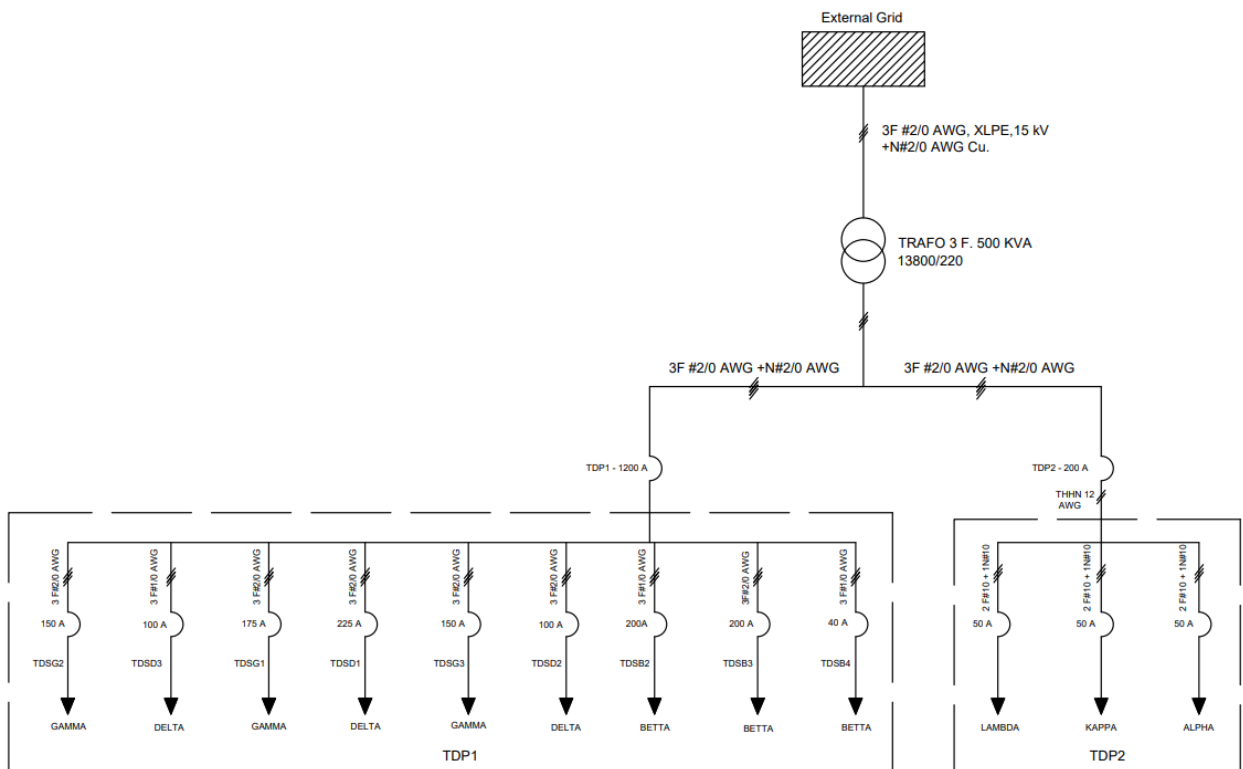


Figura 8. Diagrama unifilar

4.2.5 Paso 4: Condición para el análisis de carga.

De acuerdo a lo establecido en la normativa ARCONEL-009/24, indica que el tiempo de evaluación de los equipos no debe ser inferior a siete días consecutivos y que los datos deben

recopilarse a intervalos de 10 minutos. Este estándar proporciona directrices importantes para garantizar una evaluación exhaustiva y precisa, asegurando un monitoreo detallado del rendimiento durante un lapso significativo y con una frecuencia específica de registro de datos.

4.2.6 Paso 5: Características del equipo.

Según los parámetros establecidos en ARCONEL-009/24, el analizador de red debe ser capaz de medir y registrar diversas variables críticas que permitan evaluar eficazmente la calidad del servicio de suministro eléctrico, teniendo en cuenta los siguientes índices e indicadores.:

- Calidad del producto.

- a) Nivel de voltaje.
- b) Perturbaciones rápidas de voltaje (Flicker).
- c) Distorsión armónica de voltaje.
- d) Desequilibrio de voltaje.

4.2.7 Paso 6: Conexión del equipo a la red trifásica.

Con el respaldo que brinda la normativa ARCONEL-009/24 con el tema de la selección de puntos y puntos de medición donde se podrá realizar la adecuada conexión del analizador de red SONEL PQM – 702 indica que para los grupos pertenecientes a bajo voltaje las mediciones, registros y almacenamiento de datos deberán ser en los puntos cercanos a la entrega. El analizador dispone de 4 entradas BNC destinadas a las pinzas del tipo F - 1 (A), F – 2 (A), F – 3 (A) y 5 entradas de tipo banana adicionales para la medición del voltaje. Para nuestro caso de estudio la conexión se realizará de acuerdo a la Figura 7 en el lado de bajo voltaje del transformador.

Pasos para realizar la conexión:

- En el proceso inicial de conexión del analizador de redes al transformador trifásico, se procederá colocando las pinzas en los bushing del trafo según A (L1), B (L2), C (L3) y N (Neutro), en estas pinzas cuenta con indicadores de polaridad.
- Como segundo paso, se realiza la conexión del voltaje, comenzando con la conexión a tierra y siguiendo con N, A (L1), B (L2) y C (L3).
- En el tercer y último paso, se realizará la verificación de la conexión y cierre de las pinzas para evitar cualquier fallo. Este proceso garantiza una conexión segura y precisa del analizador al sistema trifásico.

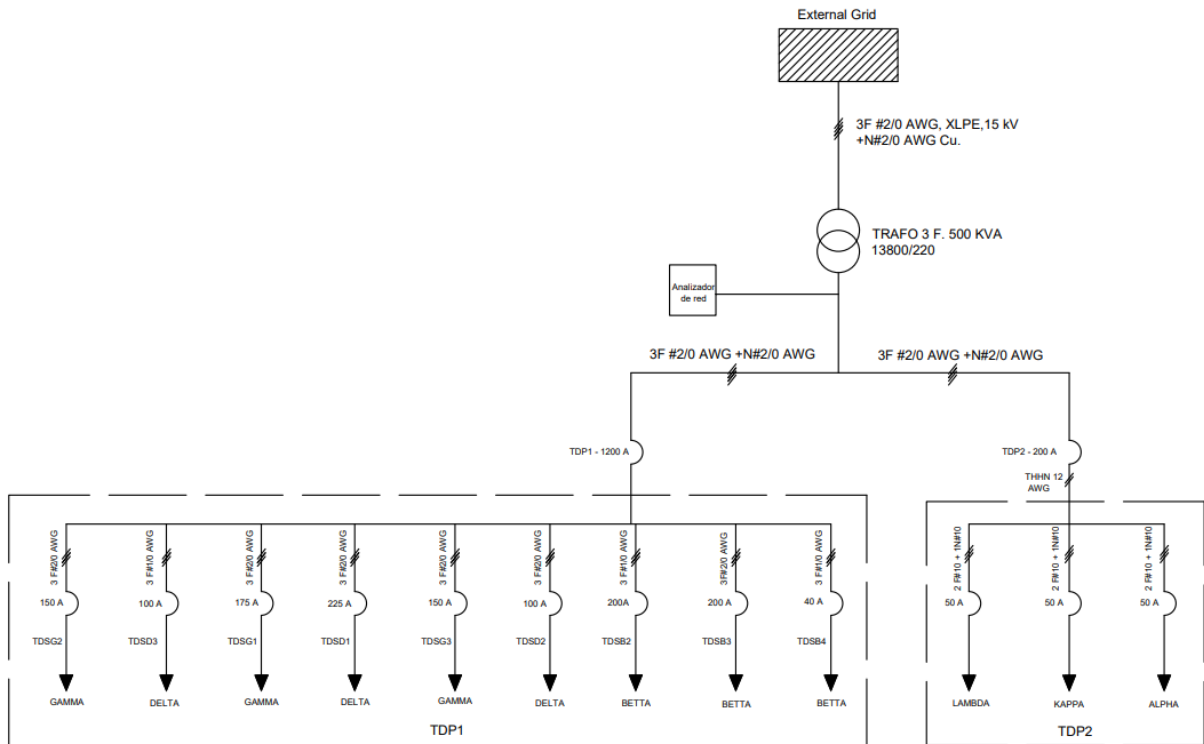


Figura 9. Conexión del analizador a un transformador trifásico.

4.2.8 Paso 7: Verificación del funcionamiento del analizador de redes.

Para establecer un registro fiable de los datos, utilice un analizador de redes que haya sido calibrado por una organización de calibración y pruebas. Antes de comenzar la recopilación de datos, compruebe la pantalla LED para asegurarse de que todos los índices se miden con precisión, así como el diagrama fasorial, que confirma la conexión correcta de los cables de tensión y las sondas de corriente. Al observar el diagrama vectorial en el sentido de las agujas del reloj, las corrientes y tensiones de las fases A (L1), B (L2) y C (L3) deben mostrarse consecutivamente, lo que indica que se ha establecido una secuencia positiva en la red.



Figura 10. Analizador de red.

4.2.9 Condiciones para la medición del analizador de redes.

Según dicta la normativa anteriormente mencionada, indica que el periodo para realizar las mediciones debe ser mínimo de 7 días con un lapso de 10 minutos. En este contexto, el analizador de calidad de energía eléctrica llevará a cabo el registro de los datos durante una semana.

El periodo de análisis para el transformador trifásico de 500 kVA del Instituto Superior Tecnológico “Tungurahua” abarca desde las 12:30 horas pasado el meridiano (pm.) del 12 de diciembre del 2024 hasta las 12:30 horas pasado el meridiano (pm.) del 19 de diciembre del 2024.

4.2.10 Paso 8: Obtención y descarga de datos medidos por el analizador de redes.

Una vez completado el procedimiento de registro de mediciones con el analizador de calidad de energía Sonel PQM-702, los datos pueden cargarse en un ordenador mediante el software Sonel Analysis 4.7.0. Los resultados de los parámetros eléctricos o de la hoja de datos pueden recopilarse cualquier día y a cualquier hora durante el periodo de medición y exportarse en formato (.csv), que es compatible con herramientas de cálculo como Excel.

5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS OBTENIDOS MEDIANTE EL ANALIZADOR DE REDES.

5.1.1 Análisis de nivel de voltaje de las tres fases del transformador de 500 kVA.

De acuerdo con ARCONEL 009/24, los voltajes nominales fase-fase (220 V) y fase-neutro (127 V) se utilizan como referencias para el análisis del nivel de voltaje. Se utilizará la siguiente ecuación para determinar la calidad del nivel de voltaje en cualquier punto del sistema de distribución:

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} * 100 [\%] \quad (9)$$

La Regulación ARCONEL 009/24 establece que los niveles de voltaje no se cumplen si los datos recolectados exceden el porcentaje especificado en un 5% o más. El instituto tiene conectada su carga al nivel de bajo voltaje, por lo consiguiente su nivel de voltaje no debe sobrepasar el $\pm 8\%$ del voltaje nominal (ver tabla 2).

5.1.2 Voltaje nominal fase – neutro 127 V del transformador de 500 kVA.

La Tabla 13 muestra los valores V_{rms} neutros de fase calculados por el analizador de redes utilizando las lecturas mínimas y máximas obtenidas a lo largo del periodo de registro de 7 días.

Tabla 13. Niveles de voltaje fase-neutro: 127 V del transformador de 500 kVA.

Nivel de voltaje	V. Mínimo	V, Máximo
V ph-n AN	123,793	128,131
V ph-n BN	123,586	127,834
V ph-n CN	123,936	128,246
Vrms ph-n Promedio	123,772	128,131

Para determinar si los valores de la tabla se encuentran dentro de los límites estipulados por las normas, se realizaron cálculos utilizando la ecuación (9) para obtener los números de la tabla 14. Según los datos mostrados anteriormente, el sistema eléctrico presenta fluctuaciones mínimas de 127 V.

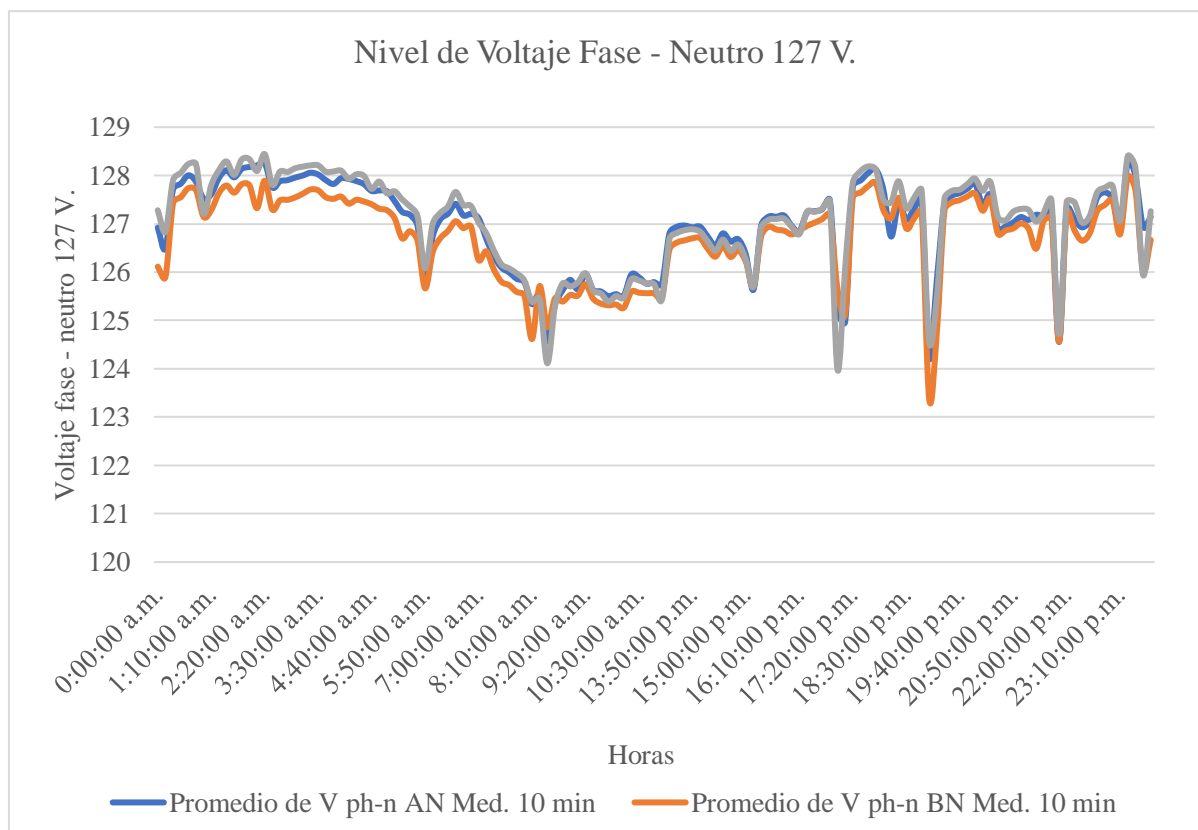


Figura 11. Nivel de Voltaje fase – neutro 127 V. del transformador de 500 kVA.

La Figura 10 muestra que los resultados se encuentran dentro de la tolerancia permitida de ± 8 % del voltaje nominal, lo que indica que la maquinaria actual de la industria está funcionando al voltaje óptimo para el que fue diseñada.

Tabla 14. Variación de voltaje 127 V del transformador de 500 kVA.

	% De Variación		Norma ARCONEL009/24
	Mínimo	Máximo	
V_{AN}	-0,16 %	0,90 %	Si cumple
V_{BN}	-0,32 %	0,64 %	Si cumple
V_{CN}	-0,05 %	0,98 %	Si cumple

Empleando la ecuación (9) podemos obtener el porcentaje de variación de voltaje de las 3 fases con respecto al neutro, las cuales cumplen con los rangos establecidos por la normativa.

5.1.2.1 Voltaje nominal fase – fase 220 V del transformador de 500 kVA.

La Tabla 15 muestra los valores de tensión entre fases, mientras que la tabla 16 demuestra que el sistema eléctrico no presenta cambios sustanciales de tensión en el nivel de 220 V. La figura 10 muestra que los valores se encuentran dentro de la tolerancia de ± 8 % para las tensiones entre fases.

Tabla 15. Niveles de voltaje fase-fase 220 V. del transformador de 500 kVA.

Nivel de Voltaje	V prom.
VAC	220,646
VBC	220,853
VCA	221,340

Tabla 16. Variación de voltaje fase – fase 220 V. del transformador de 500 kVA.

	% de Variación	Norma ARCONEL009/24
	Máximo	
V_{AB}	0,30 %	Si cumple

V_{BC}	0,39 %	Si cumple
V_{CA}	0,60 %	Si cumple

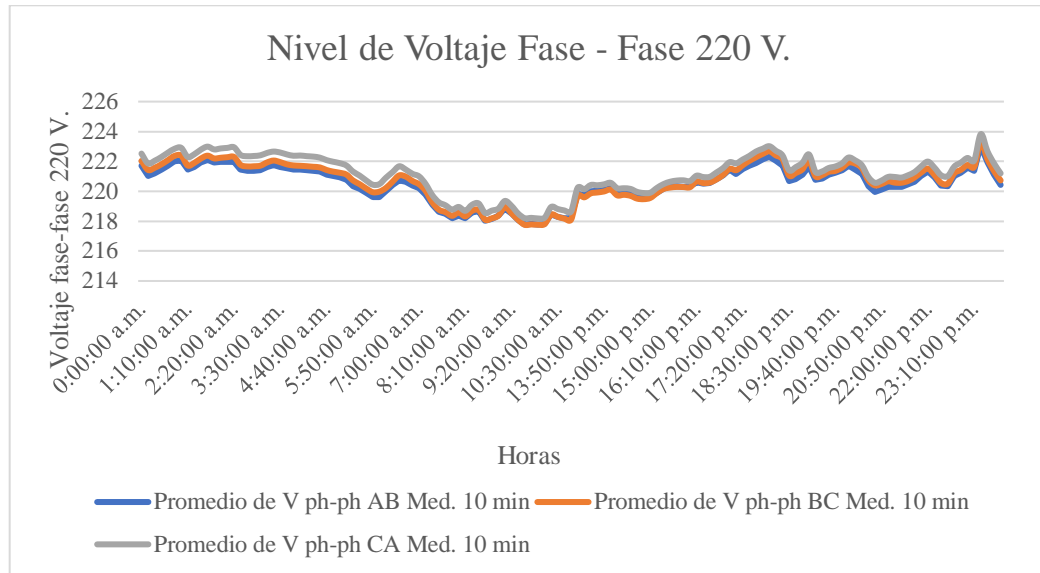


Figura 12. Nivel de Voltaje fase-fase 220 V del transformador 500 kVA.

Por lo que se puede observar en la Figura 11 aplicando la ecuación (9) se puede concluir que no existe variaciones mínimas de voltaje entre las fases. Y basándose en la tabla 16 se corrobora que el porcentaje si cumple la normativa establecida.

5.1.2.2 Voltaje en el neutro en el transformador de 500 kVA.

La Tabla 17 y la Figura 13 muestran la fluctuación de tensión en el neutro de un transformador de 500 kVA, revelando valores con un pico de 0,033 voltios. Dado que el nivel de tensión en la línea neutra debe ser cero o inferior a un voltio, es posible que estas tensiones parásitas estén causadas por la existencia de armónicos o que el sistema de puesta a tierra requiera reparación. Estas teorías se mostrarán más adelante.

Tabla 17. Nivel de Voltaje del Neutro del transformador de 500 kVA.

Nivel de Voltaje	Fecha	Hora	VN
Valor mínimo	12-12-2024	12:30 pm.	0,019
Valor promedio			0,021
Valor máximo	19-12-2024	12:30 pm.	0,020

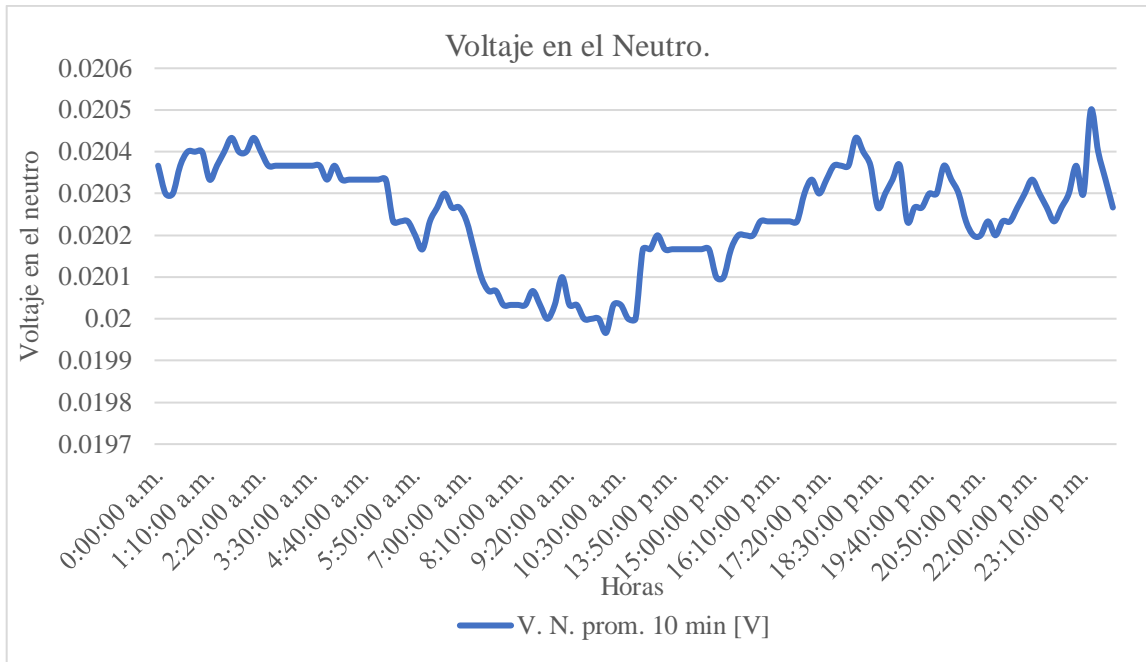


Figura 13. Nivel de Voltaje en el Neutro en el transformador de 500 kVA.

5.1.3 Flicker - Perturbación rápida de voltaje del transformador de 500 kVA.

La Tabla 18 indica el parpadeo creado por el transformador de 500 kVA. Se consideran y examinan los valores medios proporcionados por el analizador de redes para comprobar si los porcentajes obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos.

Tabla 18. Flickers del transformador de 500 kVA.

Línea	Pst Máximo	Rango permitido	Norma ARCONEL009/24
LA	0,46	1	Cumple
LB	0,46	1	Cumple
LC	0,46	1	Cumple

La Tabla 18 muestra que las tres líneas registran valores que no superan el límite Pst permitido, ya que la norma exige que el valor medio de todos los valores registrados no supere una unidad, lo que indica que no se infringe la norma y no es necesario ajustar el índice de parpadeo.

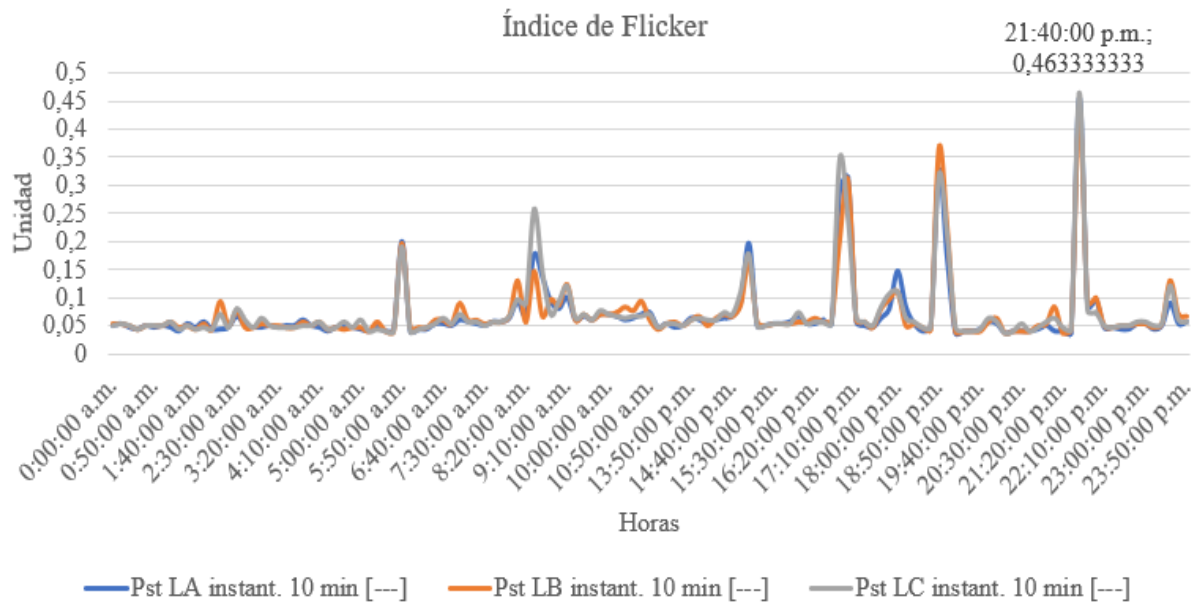


Figura 14. Índice de flicker.

La Figura 14 muestra un índice de parpadeo de 0,46 a las 9:40 p. m. Sin embargo, esto se debe a que, alrededor de las 5:00 p. m., se encienden todas las luces de la institución, lo que provoca un aumento del índice. Aun así, se estabiliza en la siguiente parte de las mediciones. Se determina que el índice de parpadeo cumple con la normativa.

5.1.4 Distorsión armónica total de voltaje del transformador de 500 kVA.

Para determinar si existen armónicos de tensión en el sistema eléctrico de un centro educativo con cargas trifásicas, es necesario realizar un análisis de los niveles de THD del sistema, según sea necesario. De acuerdo con la norma ARCONEL 009/24, no debe superar el 8 % en tensiones bajas (inferiores a 1,0 kV). Detalles sobre los resultados generados a partir de los datos adquiridos por el analizador de energía, se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19. Distorsión armónica total del transformador de 550 kVA.

THD Voltaje	THD Mínimo	THD Promedio	THD Máximo	Referencia ARCONEL009/24	Observación
THD LA %	1	1,07	1,14	8 %	Cumple
THD LB %	1,02	1,10	1,18	8 %	Cumple
THD LC %	1,10	1,18	1,26	8 %	Cumple

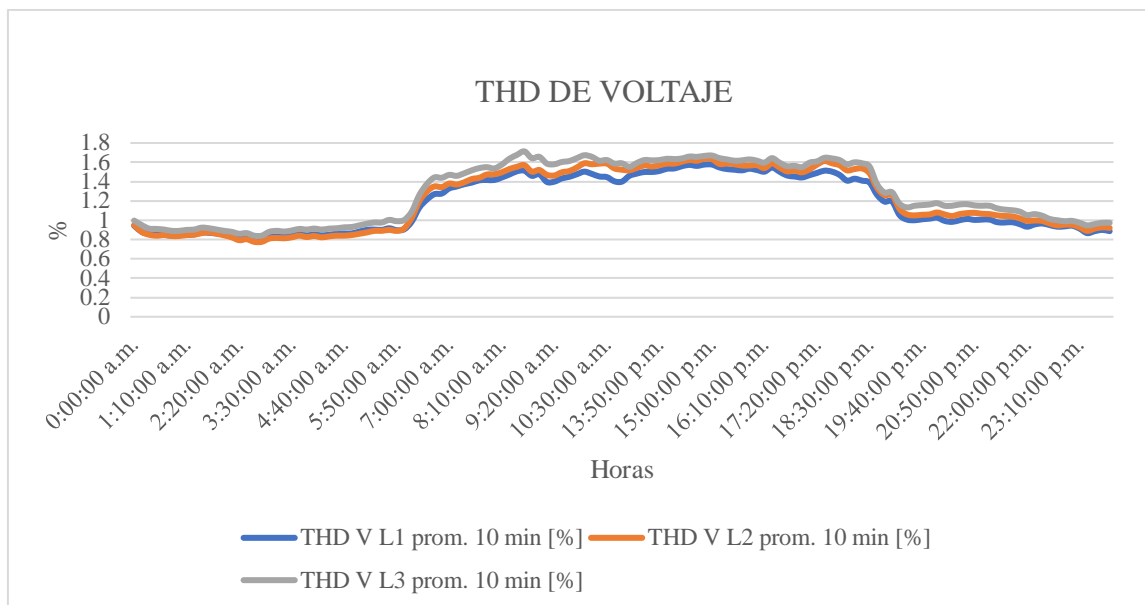


Figura 15. Nivel de THD de voltaje del transformador de 500 kVA.

En la Figura 15, se reconocer el límite de THD de voltaje máximo de las tres fases el cual es de 1,26 %, dicho valor se encuentra dentro del rango reglamentario del 8%.

De acuerdo a los datos obtenidos, se puede concluir que NO existen armónicos de voltaje.

5.1.5 Armónicos individuales de voltaje del transformador de 500 kVA.

Según la norma del ARCONEL 009/24, establece que cada nivel de armónico individual no debe superar el 5%. Los resultados de la Tabla 20, muestra que el armónico de voltaje #5 asociado con el transformador supera el 5 % especificado para voltajes inferiores a 1 kV.

Tabla 20. Nivel de distorsión armónica individual del transformador de 500 kVA.

Armónicos de voltaje		Referencia	Observación
Nivel de armónico	Total armónico en %	ARCONEL009/24	
3	5	5 %	Si cumple
5	6	5 %	No cumple
7	5	5 %	Si cumple
9	1,5	5 %	Si cumple
11	3,5	5 %	Si cumple
13	3	5 %	Si cumple



Figura 16. Nivel de distorsión armónica individual del transformador de 500 kVA.

En la Figura 16 al analizar los armónicos individuales de voltaje se puede concluir que todos los armónicos se encuentran estables, es decir si cumplen con la normativa.

5.1.6 Desbalance de voltaje.

Acorde a las directrices establecidas por la normativa ARCONEL 009/24, el intervalo aceptable para el desbalance de voltaje es máximo el 2 %. Según los datos de la tabla 22, el desequilibrio de tensión es del 0,37 %, lo que se encuentra dentro de los límites permitidos por la normativa. Por lo tanto, se puede concluir que no hay desequilibrios de tensión significativos.

Tabla 21. Desbalance de voltaje.

VLA	VLB	VLC	VL máx.	VL prom.	%Desequilibrio	ARCONEL009/24	Observaciones
221,92	221,40	222,125	222,125	221,81	0,37 %	2 %	Si cumple

5.1.7 Curva de demanda del transformador de 500 kVA.

Las curvas de carga se obtuvieron con el analizador SONAL PQM - 702. La investigación se llevó a cabo durante las 24 horas del día con el objetivo de obtener un modelo que pudiera utilizarse para analizar los cambios que experimenta el transformador durante un día de funcionamiento. La Figura 16 muestra los datos obtenidos.

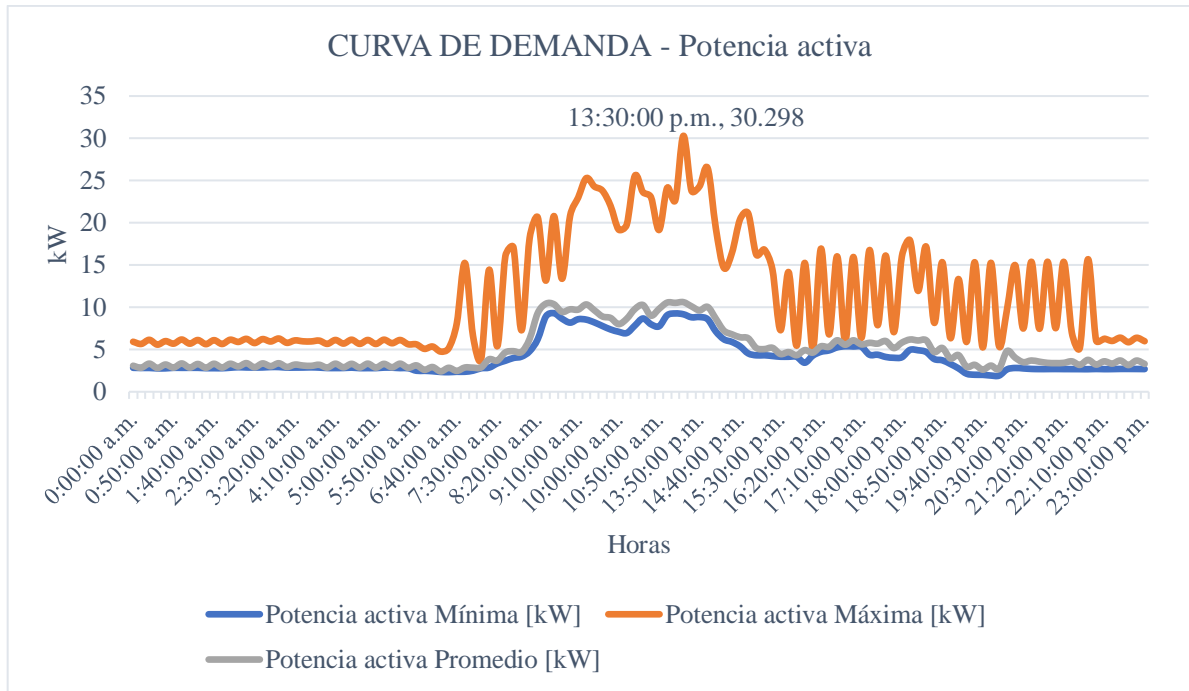


Figura 17. Curva de demanda de potencia activa mínima, promedio y máxima en 24 horas.

La Figura 17 indica la demanda máxima de potencia activa de 30,29 kW. Continuando con la investigación, podemos observar que la demanda media del transformador es de 10,60 kW, con un valor mínimo de 2,90 kW. Esto nos ayuda a comprender las características de carga del sistema en función de la jornada laboral.

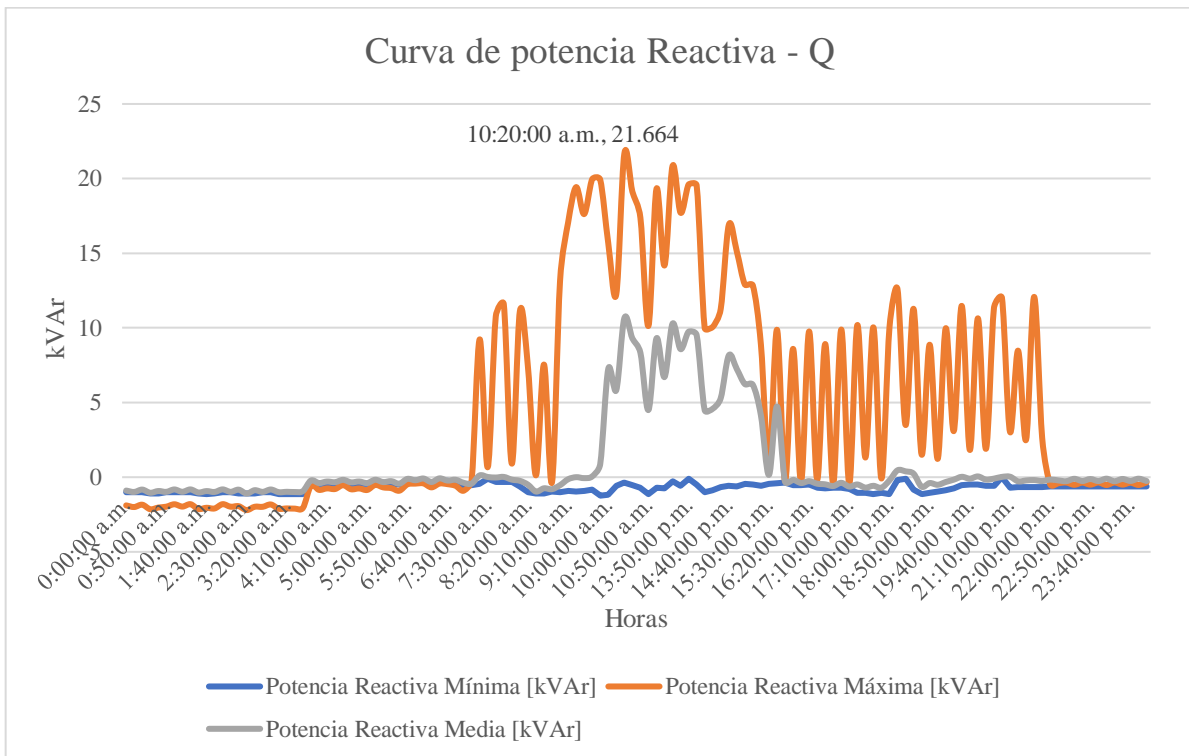


Figura 18. Curva de potencia reactiva mínima, promedio y máxima en 24 horas.

La Figura 18 indica que la potencia reactiva más alto es de 21,66 kVAr. Siguiendo con el análisis, podemos observar que la demanda media del transformador es de 10,64 kVAr, con un valor mínimo de 0,015 kVAr. Esto nos ayuda a comprender las características de carga del sistema en función de la jornada laboral.

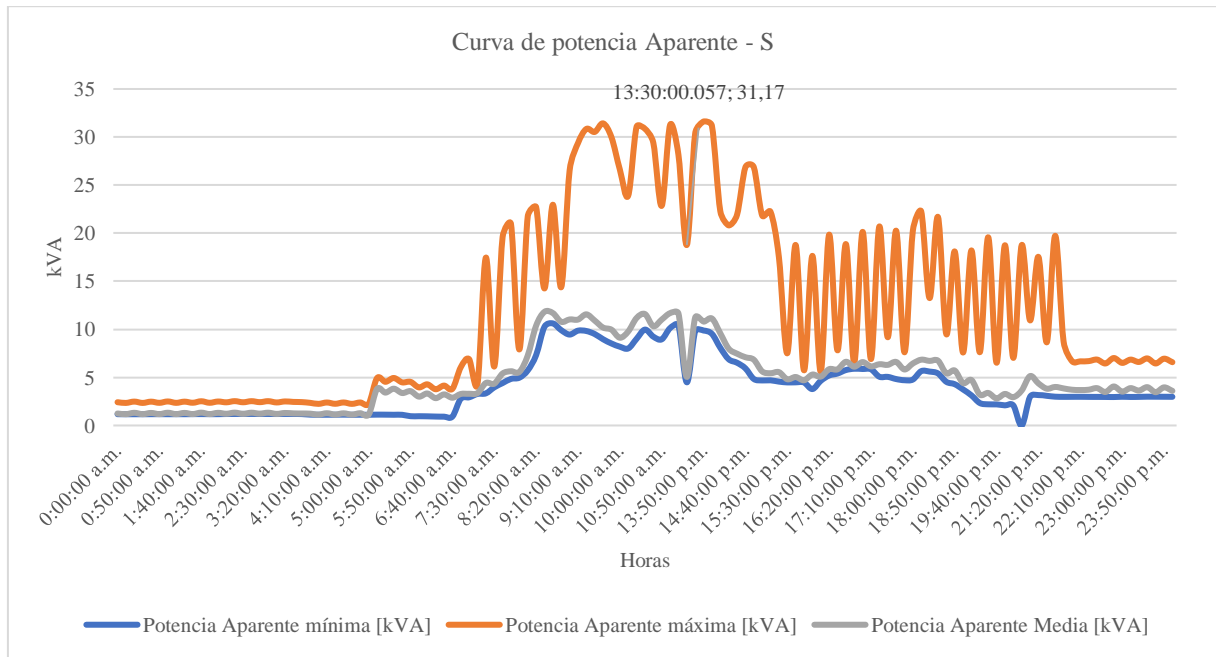


Figura 19. Curva de potencia reactiva mínima, promedio y máxima en 24 horas.

La Figura 19 muestra la evolución de la potencia aparente, que tiene una capacidad máxima de 31,17 kVA, lo que indica que el transformador solo tiene una capacidad de carga del 8 %. Esto indica que el transformador es ineficiente, ya que el sobredimensionamiento provoca pérdidas económicas que se reflejan en el coste de facturación. Un transformador sobredimensionado puede operar de manera ineficiente, aumentar costos operativos y energéticos, y afectar la calidad del suministro eléctrico. Por eso, es recomendable seleccionar un transformador con un tamaño adecuado a la demanda real, considerando posibles expansiones futuras sin excederse en capacidad.

5.1.8 Factor de potencia del transformador de 500 kVA.

La normativa indica que si algún usuario presenta un factor de potencia inferior a 0,6 será suspendido.

El transformador de 500 kVA del instituto tiene un factor de potencia promedio de 0,90 incumpliendo con el valor mínimo que exige el reglamento el cual es 0,92, y, por ende, está sujeto a una penalización por parte de la Empresa Eléctrica de Ambato S.A. (EEASA)

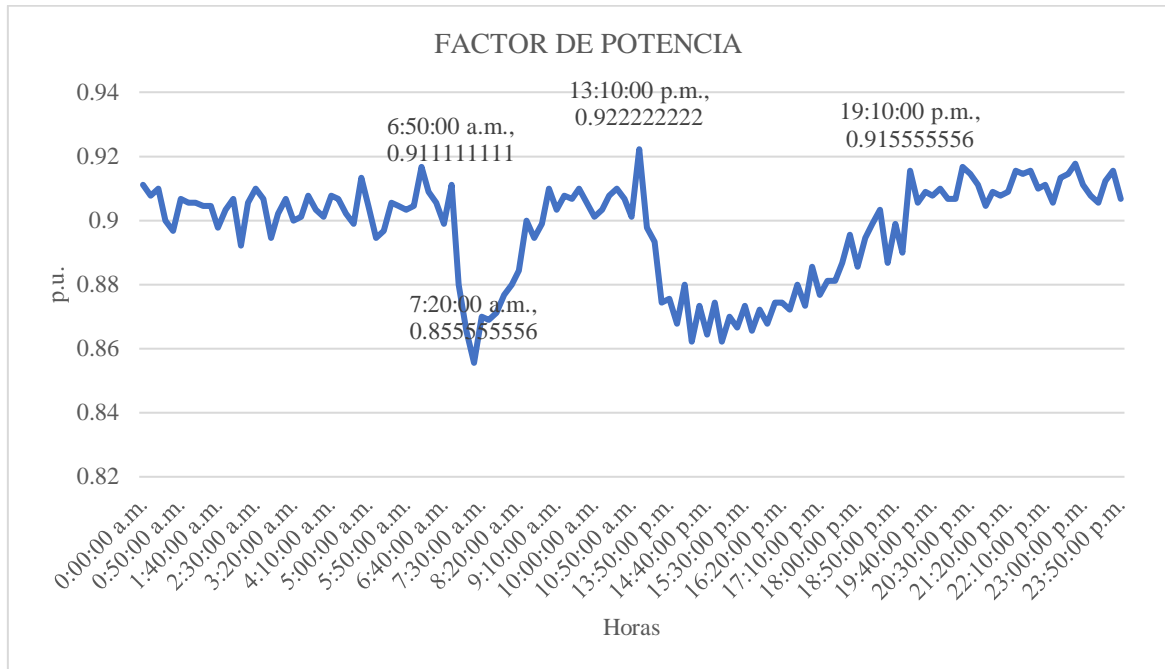


Figura 20. Factor de potencia general del transformador

En la Figura 20 se puede observar que a partir de las 7:00 am. que inicia la jornada el factor de potencia tiende a decaer debido a que empiezan a funcionar los equipos que se encuentran en los talleres, hasta cuando termina la jornada matutina, cuando empieza la siguiente jornada a la hora 13:10 pm. que decae nuevamente el factor de potencia y se vuelve a estabilizar cuando finaliza el día laboral.

5.1.9 TDD de corriente del transformador.

Para obtener el TDD del transformador se necesitan los siguientes cálculos:

La corriente de cortocircuito para el external grid como para el lado de bajo voltaje del transformador y así poder obtener los TDD por fase y el total del transformador y poder ubicar el porcentaje al que debe estar regido el sistema.

Entonces se procede a realizar los cálculos:

- Corriente de cortocircuito del external grid.

X/R = 4 % de acuerdo a la normativa

$$I_{ccT} = \frac{S}{\sqrt{3} * V_{LL} * Z \%} \quad (10)$$

$$I_{ccT} = \frac{500000 \text{ VA}}{\sqrt{3} * 13800 \text{ V} * 0,04}$$

$$I_{ccT} = 522,96 \text{ A}$$

- TDD del transformador.

$$T_{DDT} = \frac{31792,41 \text{ A}}{95,03 \text{ A}}$$

$$T_{DDT} = 334,55$$

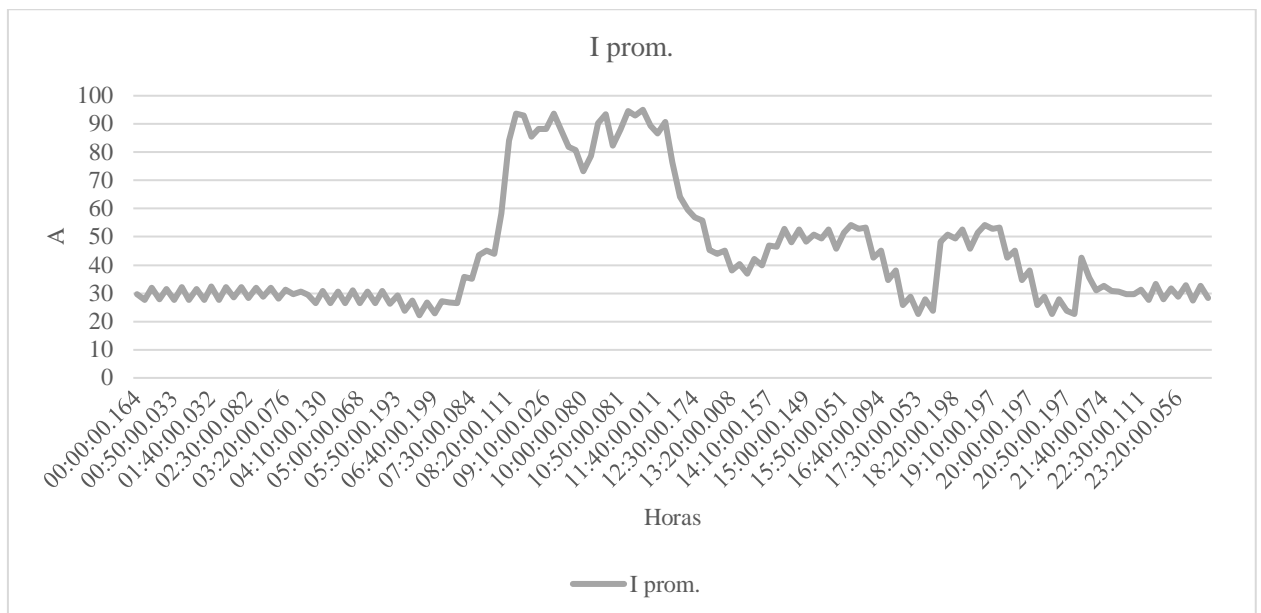


Figura 21. Corriente promedio

En la Figura 21 se detalla la corriente promedio para poder realizar el cálculo de las corrientes de cortocircuito.

- Corriente de cortocircuito del lado de bajo voltaje del transformador.

$$I_{ccT} = \frac{S}{\sqrt{3} * V_{LL} * Z \%}$$

$$I_{ccT} = \frac{500000 \text{ VA}}{\sqrt{3} * 227 \text{ V} * 0,04}$$

$$I_{ccT} = 31792,41 \text{ A}$$

- TDD por fase del transformador.

$$T_{DDFA} = \frac{31792,41 \text{ A}}{37,64 \text{ A}}$$

$$T_{DDFA} = 844$$

$$T_{DDFB} = \frac{31792,41 A}{37,64 A}$$

$$T_{DDFB} = 722,55$$

$$T_{DDFC} = \frac{31792,41 A}{44 A}$$

$$T_{DDFC} = 905,77$$

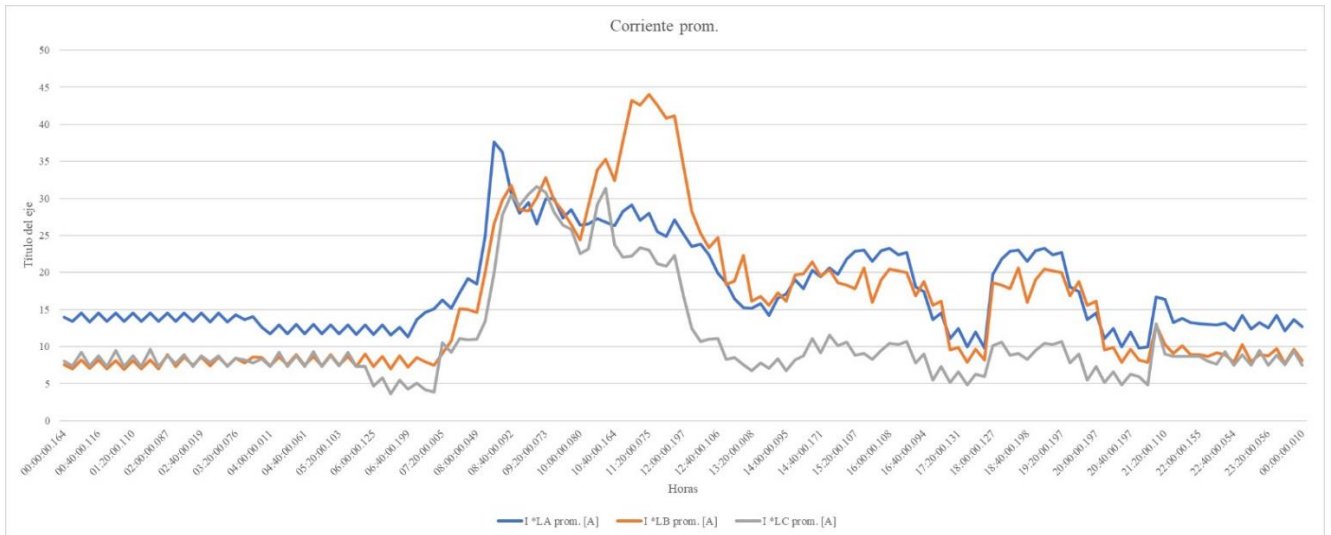


Figura 22. Corriente promedio por fase

En la Figura 22 se observa las corrientes máximas promedio por fase para poder examinar el TDD por fase del transformador.

La distorsión total de la demanda (TDD) es la distorsión armónica basada en la corriente de demanda máxima (el punto fundamental). Se trata de una medida de la distorsión armónica total de la corriente en el punto de conexión común de las cargas. Según la normativa IEEE-519, el límite especificado es del 15 %. Para evaluar si existen armónicos, se debe evaluar el nivel actual de TDD en el lugar donde se realizarán las mediciones.

Tabla 22. Distorsión total de la demanda TDD del transformador de 500 kVA

TDD	TDD Promedio	ARCONEL 009/24	Observación
LA	9,24 %	15 %	Si cumple
LB	11,62 %	15 %	Si cumple
LC	13,51 %	15 %	Si cumple

En la Tabla 21 se pueden apreciar los valores del TDD del transformador los cuales están dentro del rango que la norma ARCONEL 009/24 establece.

5.1.10 TDD individuales de corriente del transformador.

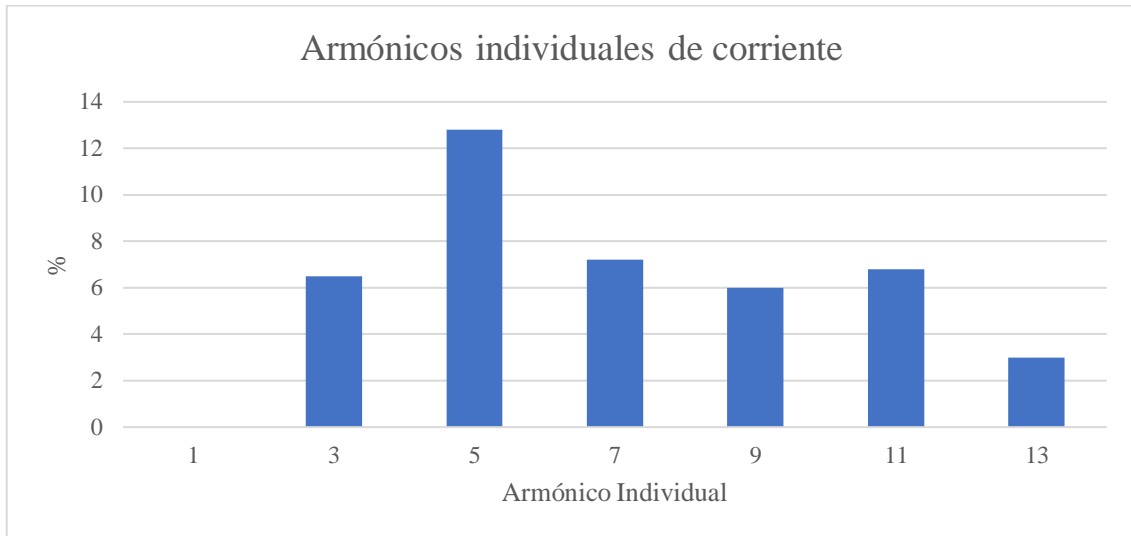


Figura 23. Armónicos individuales

En la Figura 23 se denotamos los armónicos individuales de corriente del transformador los cuales establecidos por la norma ARCONEL 009/24 deben estar por debajo del 15 %, en este caso los mismo cumplen con lo que la norma nos dice.

6 PROPUESTAS

6.1 Arreglo del factor de potencia.

Para corregir el factor de potencia se va necesitar la demanda máxima potencia activa y también el factor de potencia que el analizador de red midió y registro durante el tiempo estipulado por la normativa:

- Demanda máxima de potencia activa 30,29 kW

Para la compensación del factor es necesaria porque se ve afectado en todo momento.

El factor de potencia promedio entre las fases A, B y C es:

$$FP \text{ promedio actual medido} = 0,90 \text{ (Analizador de red)}$$

El cálculo del banco de condensadores se basa en el factor de potencia actual medido y al factor óptimo que se desea llegar, los cuales se realizan a continuación:

$$ACOS(0.9) = 25,84^\circ$$

$$ACOS(0.96) = 16,26^\circ$$

Para realizar el cálculo del banco de condensadores se utiliza la ecuación 10, se reemplazan los valores obtenidos, dando como resultado una compensación de 2 kVAr.

$$Q_C = Q_{Total} = P_{activa} * (\tan(\theta_1) - \tan(\theta_2)) \quad (10)$$

$$Q_C = Q_{Total} = 30290 * (\tan(25,84) - \tan(16,26))$$

$$Q_C = Q_{Total} = 5834,38 \text{ VAr} = 5,83 \text{ kVAr}$$

$$Q_C = Q_{Total} = 6 \text{ kVAr}$$

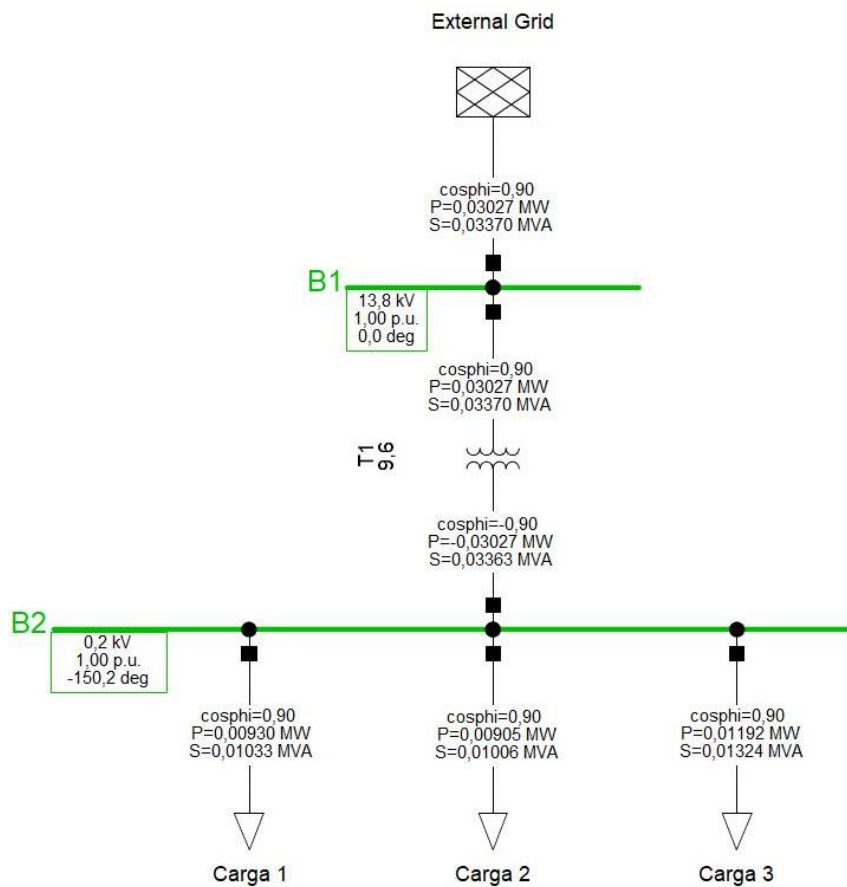


Figura 24. Simulación del sistema del ISTT en Power Factory.

Se puede notar que en la Figura 24 que el factor de potencia es de 0,90 p.u. sin el banco de capacitores, por ello se optó a diseñar por medio de un código en Python el cual dio como resultado un banco de capacitores de 6 kVAr.

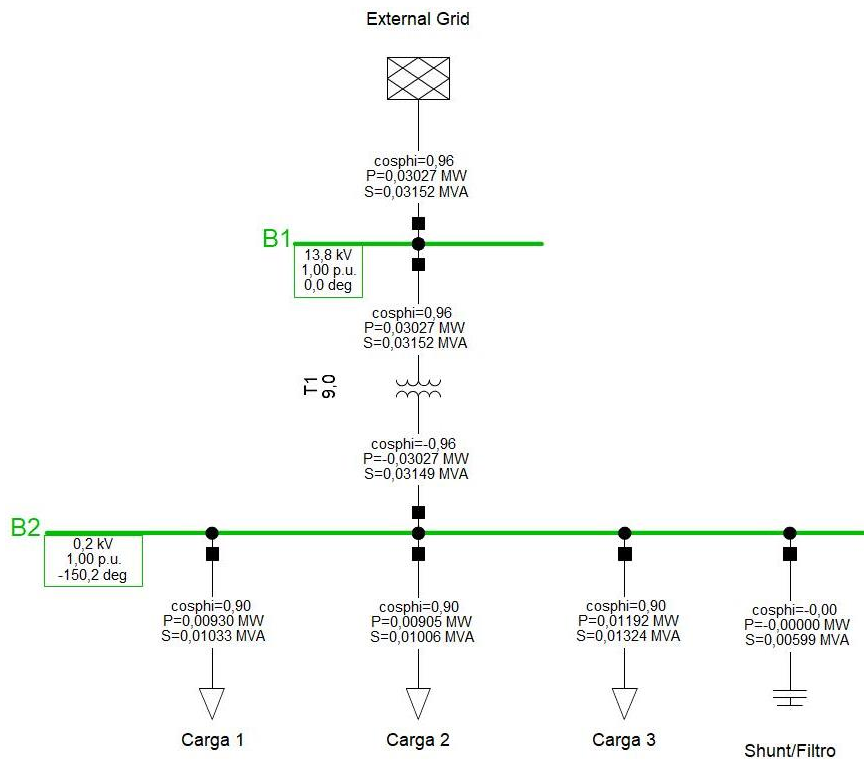


Figura 25. Simulación con el banco de capacitores en Power Factory.

Se puede notar que en la Figura 25 el factor de potencia es de 0,96 p.u. como dicta la normativa, esto se debe gracias a que se conectó el banco de capacitores, el mismo que ayuda a corregir de manera efectiva el mismo.

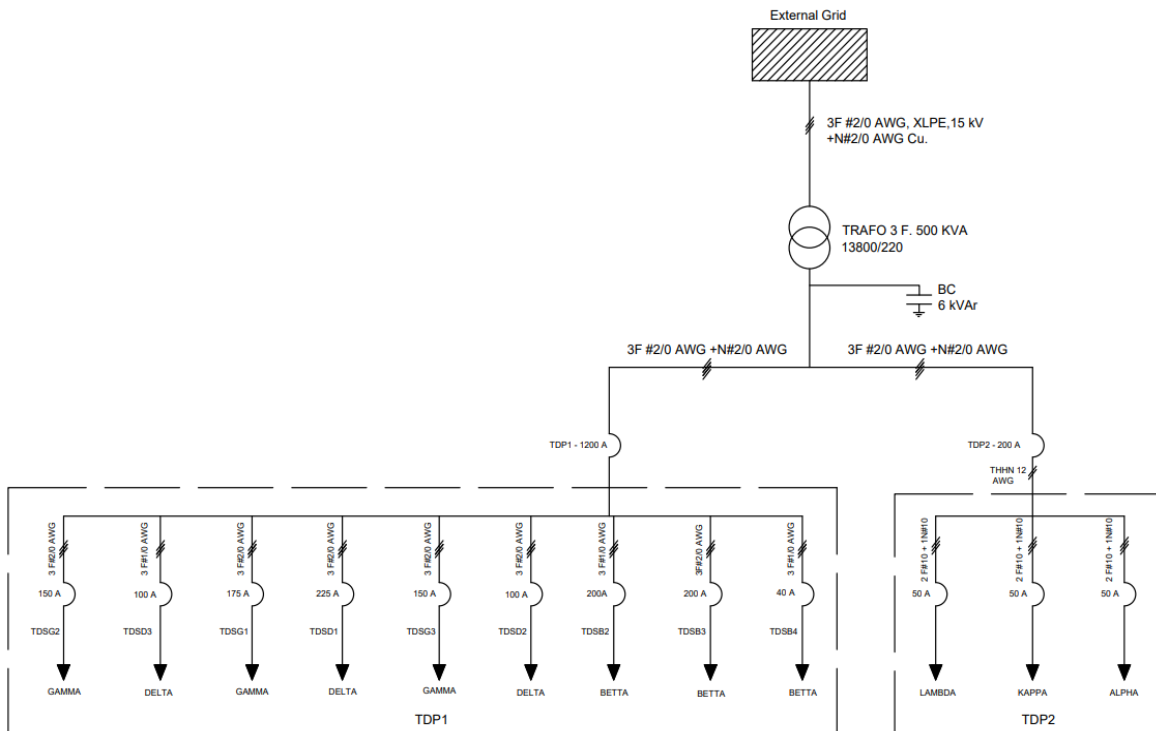


Figura 26. Banco de condensadores agregados al sistema

En la Figura 26 se puede observar en que ubicación se estaría aplicando el banco de condensadores al sistema que sería a la salida del transformador.

El banco de condensadores ayudara para el arranque de las maquinas que son las que causan el bajo factor de potencia por instantes que se debe debido al arranque de los motores.

Cuando un motor arranca:

La corriente de arranque es 6–8 veces la corriente nominal → alta demanda de reactiva.

El banco de capacitores de 6 kVAr instalado en el lado de baja tensión (220 V) ayuda a:

Disminuir el pico de corriente que ve el transformador.

Limitar la caída de tensión en el secundario.

- Se procede a dimensionar el costo aproximado del banco de condensadores:

Tabla 23. Costo del banco

Ítem	Costo
Banco de capacitores 6 kVAr – 220 V	350 – 500 USD
Contactador del banco	100 USD
Temporizador de desconexión (opcional, pero recomendado)	60 USD
Protección (fusibles o breaker)	60 USD
Tablero	120 USD
Cableado y accesorios	100 USD
Mano de obra de instalación	150 USD
TOTAL	990 USD

- Beneficios del banco de condensadores:

Mejora el arranque de los motores → menos caída de tensión en toda la instalación.

Evita sobrecarga momentánea del transformador → mayor vida útil.

Reducción de ruidos o parpadeos en luminarias conectadas al mismo trafo durante el arranque.

Instalación simple en el lado de 220 V, con bajo mantenimiento.

- Justificación Económica

En este caso, como no hay penalización por FP bajo debido a que solo son instantes en donde decae el FP, el beneficio económico directo viene de:

Evitar daños prematuros en el transformador por sobrecorriente frecuente.

Mejorar la confiabilidad de la red interna

Reducción de costos por paradas, fallos u operaciones de mantenimiento no programadas.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Mediante una revisión detallada de la bibliografía y de las normativas vigentes se encuentran los siguientes parámetros: un rango de tolerancia de $\pm 8\%$ para niveles de baja tensión, un límite de $\pm 8\%$ para el contenido armónico total (THD) de voltaje, un máximo de $\pm 5\%$ para armónicos individuales de voltaje, un valor límite de $\pm 15\%$ para la distorsión total de demanda (TDD), y un factor de potencia recomendable de 0,96 p.u.
- Por medio de una inspección visual del sistema eléctrico del Instituto Superior Tecnológico, mediante la cual se evidenció la presencia de tecnologías de iluminación obsoletas, de igual manera, se identificó un desgaste significativo en el aislamiento del cableado, lo cual representa un riesgo tanto operativo como de seguridad. En la cámara de transformación, se observaron signos de deterioro en los sistemas de protección y en los bushings del transformador principal que alimenta el campus matriz.
- La evaluación de los parámetros de calidad de energía en el sistema eléctrico del Instituto Superior Tecnológico Tungurahua ha demostrado que en su mayoría los índices cumplen con los requisitos establecidos por la norma ARCONEL 009/24. En concreto se pudo identificar las deficiencias que presenta el sistema eléctrico de la entidad las cuales fueron el bajo factor de potencia. A pesar de los índices de nivel de voltaje, desequilibrio de voltaje, índice de flicker, THD de voltaje, distorsión total de demanda TDD cumplen con las normativas. Para corregir el factor de potencia se diseñó un banco de capacitores de 6 kVAr. Esta solución permitirá a la institución cumplir con las normas vigentes, evitar penalizaciones y mejorar la calidad energética.
- Los resultados obtenidos en esta investigación son muy similares con trabajos anteriores como el [19], que la cargabilidad del transformador principal de 500 kVA fue de 52,3 kVA lo que representó que el transformador ocupa apenas el 10 % de su cargabilidad total, en cambio los resultados actuales acerca de la cargabilidad la cual

tiene una capacidad máxima de 31,17 kVA, lo que representa que el transformador solo cuenta con el 8 % de cargabilidad total del transformador, se puede notar la disminución de cargabilidad pero esta se debe a que el instituto dio de baja varios laboratorios que en el año 2022 funcionaban, debido a que la cargabilidad tiene una diferencia del 2 % se puede definir que en los dos casos la institución presenta problemas como que el transformador no es eficiente ya que el sobredimensionamiento crea pérdidas económicas y se evidencian en el costo de facturación.

8 REFERENCIAS

- [1] I. Pedi, “INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO TUNGURAHUA PLAN ESTRATÉGICO DE DESARROLLO,” pp. 2022–2027, 2022.
- [2] O. Castañeda and W. Castañeda, “Análisis de Calidad de Energía acerca de la Calidad del Producto e Influencia de Armónicos de Corriente dentro del Área de Concesión de CNEL-Milagro,” *Rev. Técnica “Energía,”* vol. 6, no. 1, pp. 76–85, 2010, doi: 10.37116/revistaenergia.v6.n1.2010.231.
- [3] S. Ramirez Castaño and E. A. Cano Plata, *Calidad del servicio de energia electrica.* 2006. [Online]. Available: <http://www.bdigital.unal.edu.co/5073/>
- [4] D. Álvarez, C. Castillo, and F. Valdez Galdos, “Análisis del Marco Regulatorio de la Calidad del Servicio en el Sector Eléctrico Peruano,” *LACCEI Int. Lat. Am. Caribb. Conf. Eng. Technol.,* vol. 7, pp. 1–10, 2009, [Online]. Available: https://laccei.org/LACCEI2009-Venezuela/Papers/Ene102_AlvarezFlores.pdf
- [5] V. Mercado Polo, J. Bernardo Peña, and L. Pacheco, “Calidad de la energía eléctrica bajo la perspectiva de puesta a tierra,” *Cienc. e Ing.,* vol. 38, no. 2, p. 17, 2017.
- [6] M. Angel and S. Cortés, “Instituto Tecnológico de Puebla Calidad de la Energía Eléctrica,” 2009.
- [7] E. Téllez, “Distorsión Armónica,” *Rev. Programa Ahorr. Energ.,* no. 222, p. 31, 2012, [Online]. Available: <https://agngroup.net/papers/Distorsion Armonica.pdf>
- [8] R. Pinyol, “Armónicos: Causas, Efectos Y Minimización,” *Salicru,* vol. 2, no. 2, pp. 1–32, 2016, [Online]. Available: https://www.salicru.com/files/pagina/72/278/jn004a00_whitepaper-armonics_.pdf

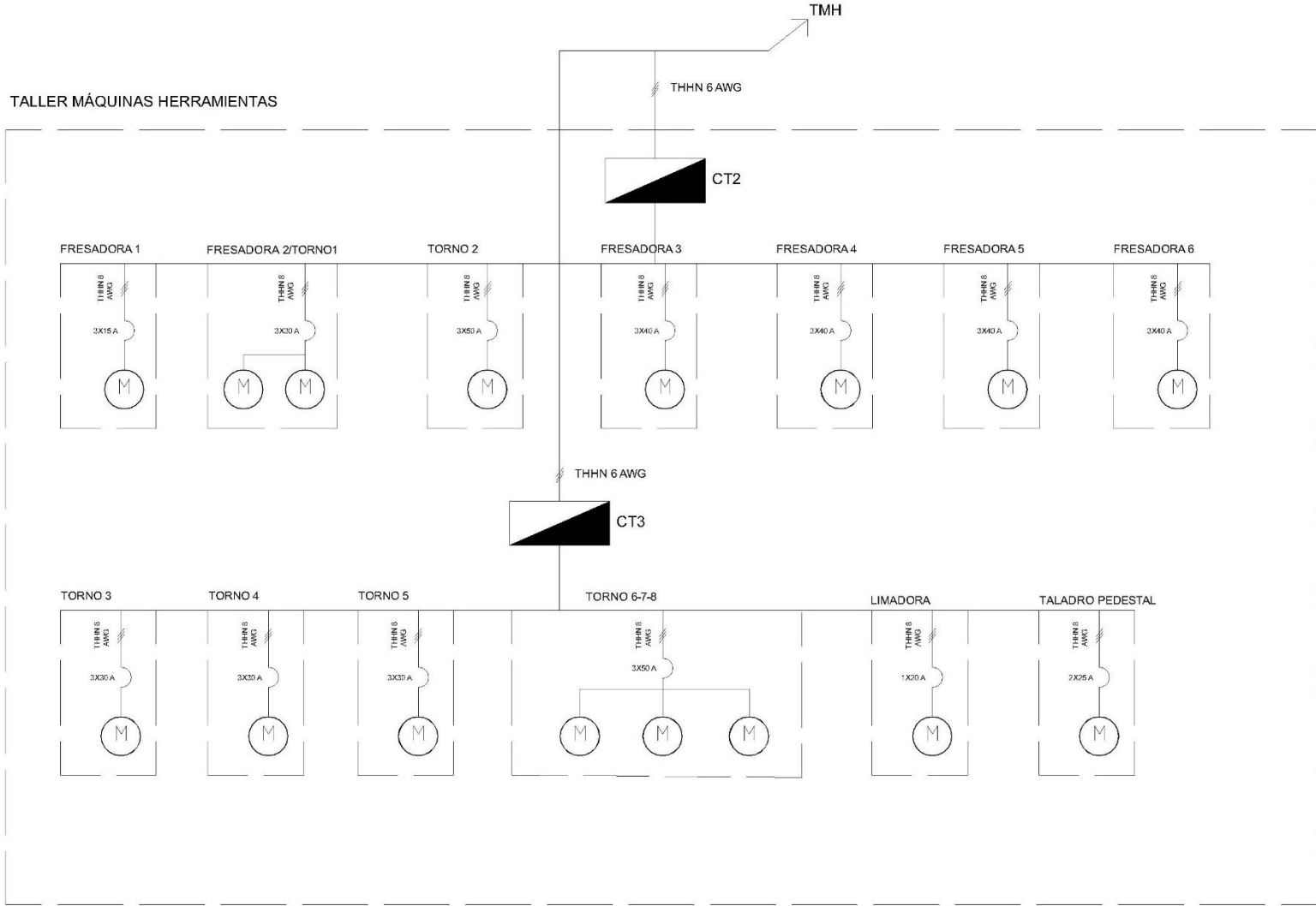
- [9] M. A. S. Masoum and E. F. Fuchs, "Power System Modeling under Nonsinusoidal Operating Conditions," *Power Qual. Power Syst. Electr. Mach.*, pp. 573–680, Jan. 2015, doi: 10.1016/B978-0-12-800782-2.00007-5.
- [10] J. Mesas, "Estudio y caracterización de cargas no lineales," *Sustain.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–14, 2019, [Online]. Available: http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBE_TUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
- [11] A. Centeno and J. Vásquez, "ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN LA EMPRESA TOPAC," *Repos. UTC*, p. 67, 2010, [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6265>
- [12] IEEE Std 1159, *Monitoring Electric Power Quality Developed by the Transmission and Distribution Committee IEEE Power and Energy Society*, vol. 2019. 2019. [Online]. Available: <http://www.ieee.org/web/aboutus/whatis/policies/p9-26.html>.
- [13] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, "Regulación Nro. ARCERNNR 002/20 (Codificada)," vol. 20, pp. 1–35, 2023, [Online]. Available: www.controlrecursosyenergia.gob.ec
- [14] A. Kusko and M. Thompson, *Power Quality in Electrical Systems*. 2015. [Online]. Available: <https://drive.google.com/file/d/1wty33tpCXXKJ7Pde1J85n560vMH7Gic8m/view?pli=1>
- [15] J. Mora and Y. Cevallo, "Estudio y análisis de calidad de energía enfocado en nivel de armónicos en el sistema eléctrico de la subestación enfriadora 1 de Holcim ecuador planta guayaquil," Universidad Politécnica Salesiana Sede – Guayaquil, 2014.
- [16] S. Carrasquilla, "ANÁLISIS DE ARMÓNICOS EN REDES RESIDENCIALES," UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, 2017.
- [17] A. Lastre, C. Augusto, M. Aviles, and C. Natahel, *Análisis de calidad de la energía orientado a distorsiones armónicas en el Bloque E de la Universidad Politécnica Salesiana*. 2024.
- [18] E. BRABO and J. CULCAY, "Análisis, normas y soluciones a las condiciones operativas aplicadas a la medida de armónicos en la subestación Limón," vol. II, p. 812, 2011,

[Online]. Available: <file:///C:/Users/Alumno/Downloads/UPS-CT002083.pdf>

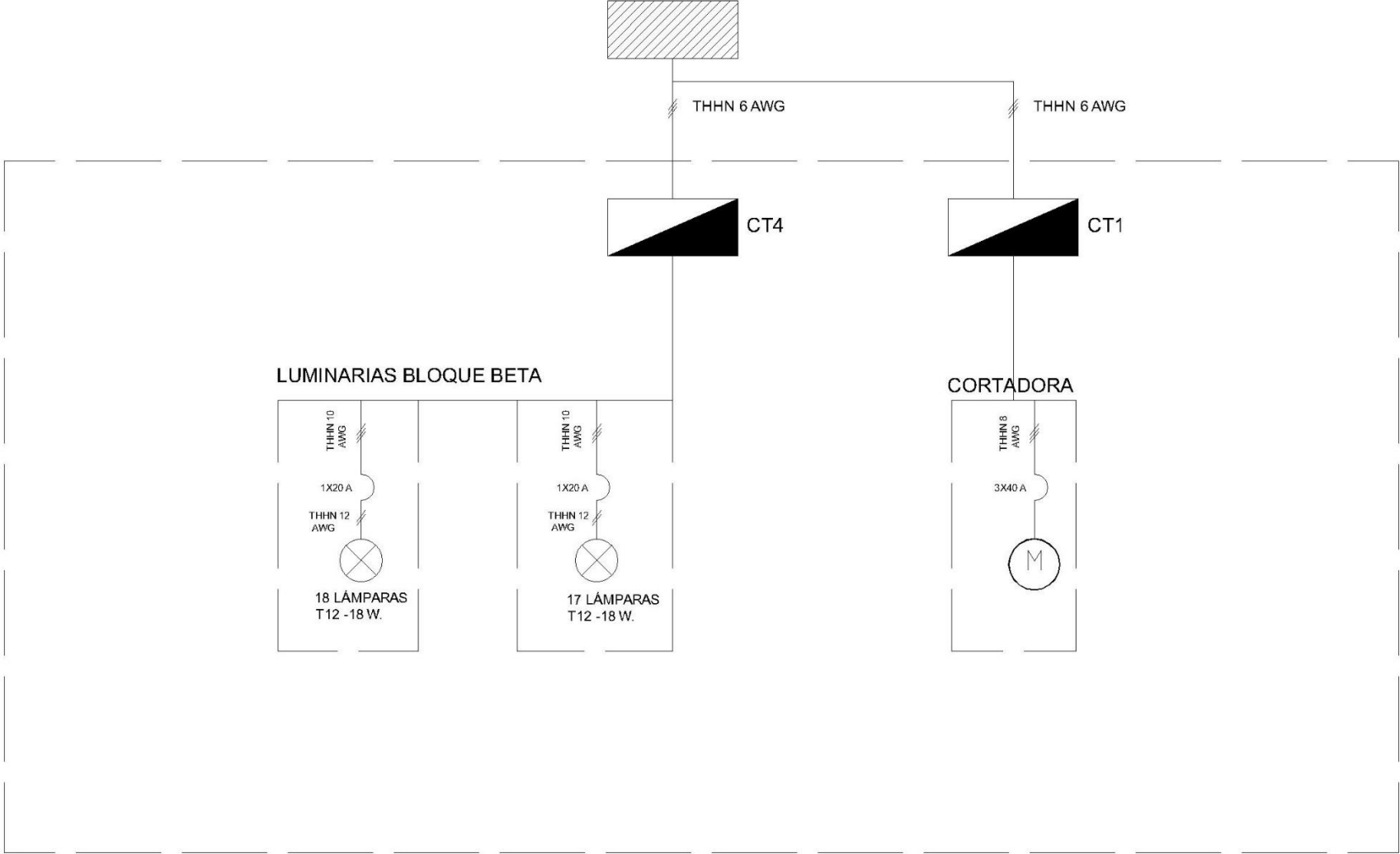
- [19] M. E. Mullo Pallo, “Desarrollo de un método para estimar las condiciones actuales de los sistemas eléctricos en los bloques beta, gamma, delta del Instituto Superior Tecnológico María Natalia Vaca - Sede Secap Zona 3 para el rediseño de las instalaciones eléctricas’ .,” *Https://Repositorio.Utc.Edu.Ec/Items/87B1370E-2C70-4Afc-9D8B-672F96Fbb750*, 2022.
- [20] C. Corrales, “Análisis de eficiencia energética en el sistema eléctrico del Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional SECAP-Ambato,” *Sist. Biodigestor*, 2019, [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6265>

ANEXOS

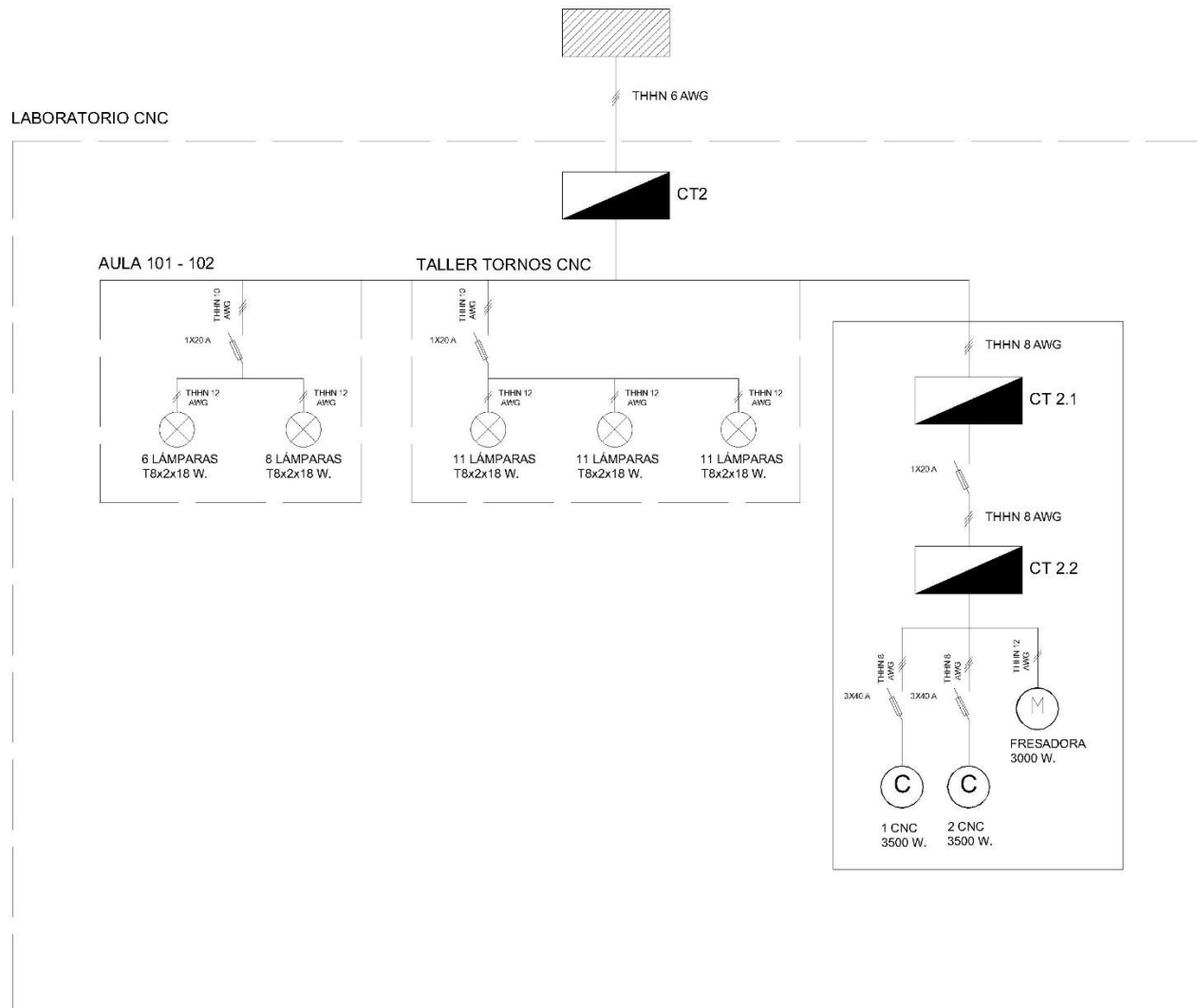
ANEXO 1. PLANO UNIFILAR BLOQUE BETA - TABLERO 2-3



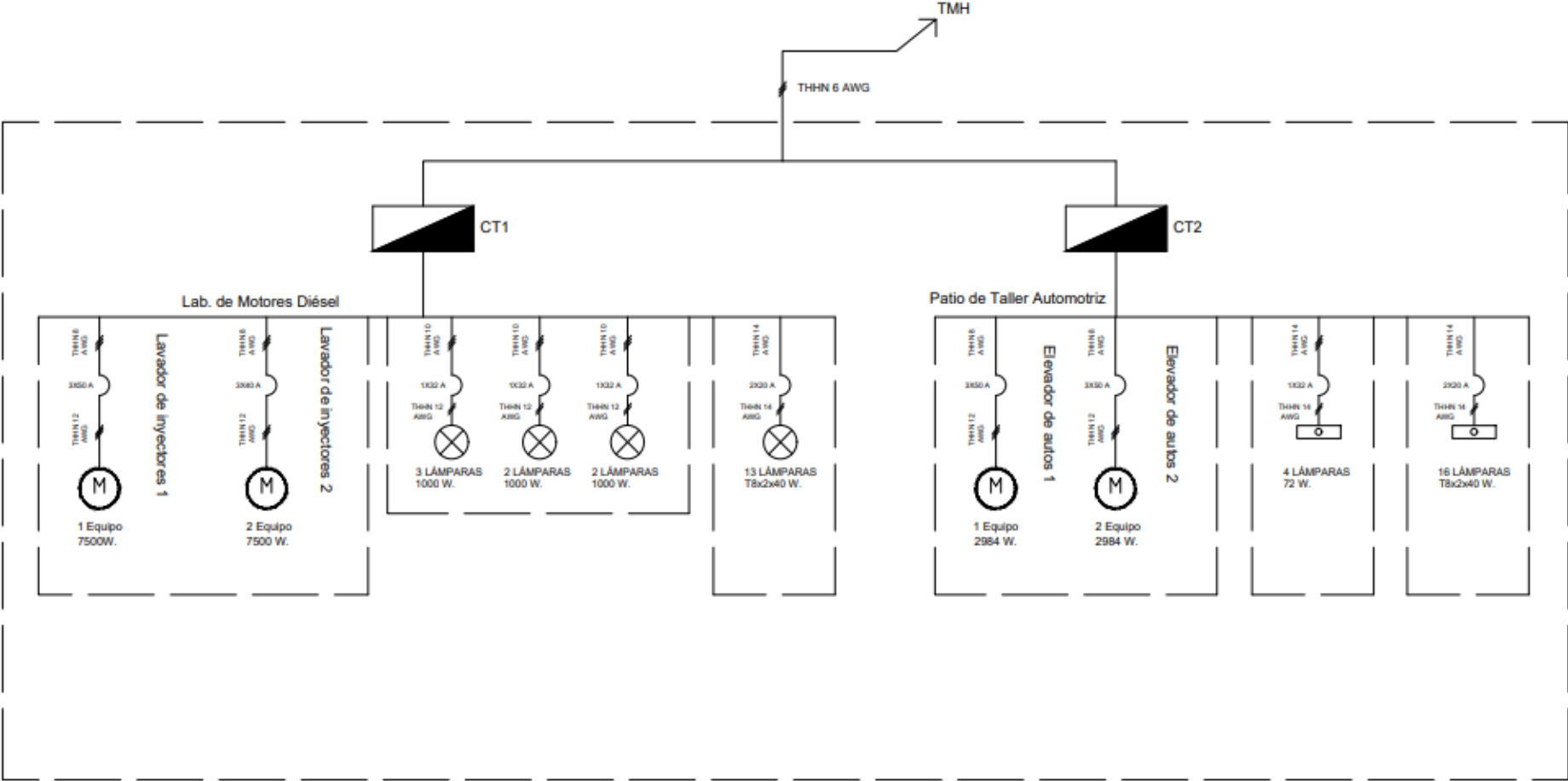
ANEXO 2. PLANO UNIFILAR BLOQUE BETA - TABLERO 1-4



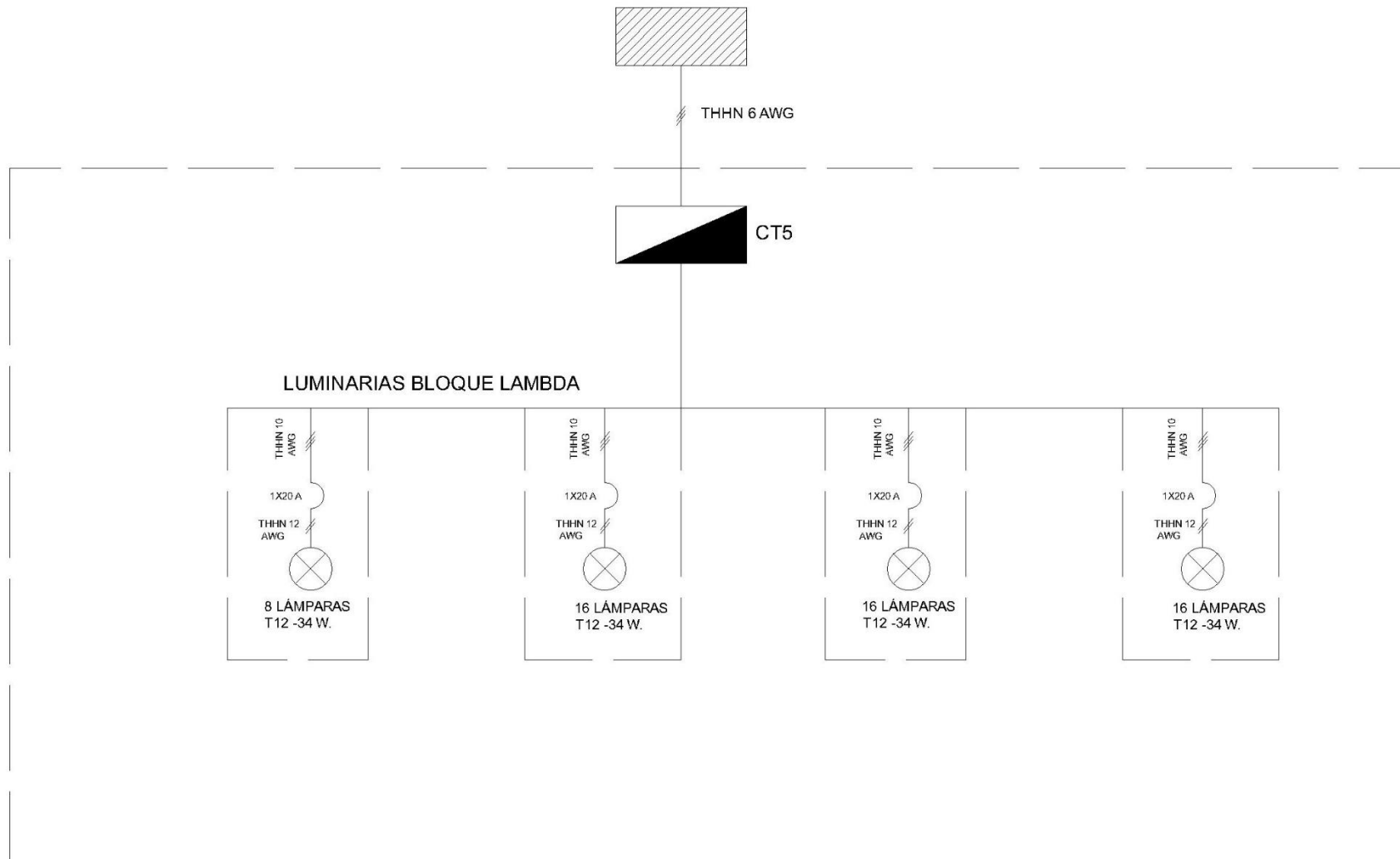
ANEXO 4. PLANO UNIFILAR BLOQUE DELTA - LAB.CNC



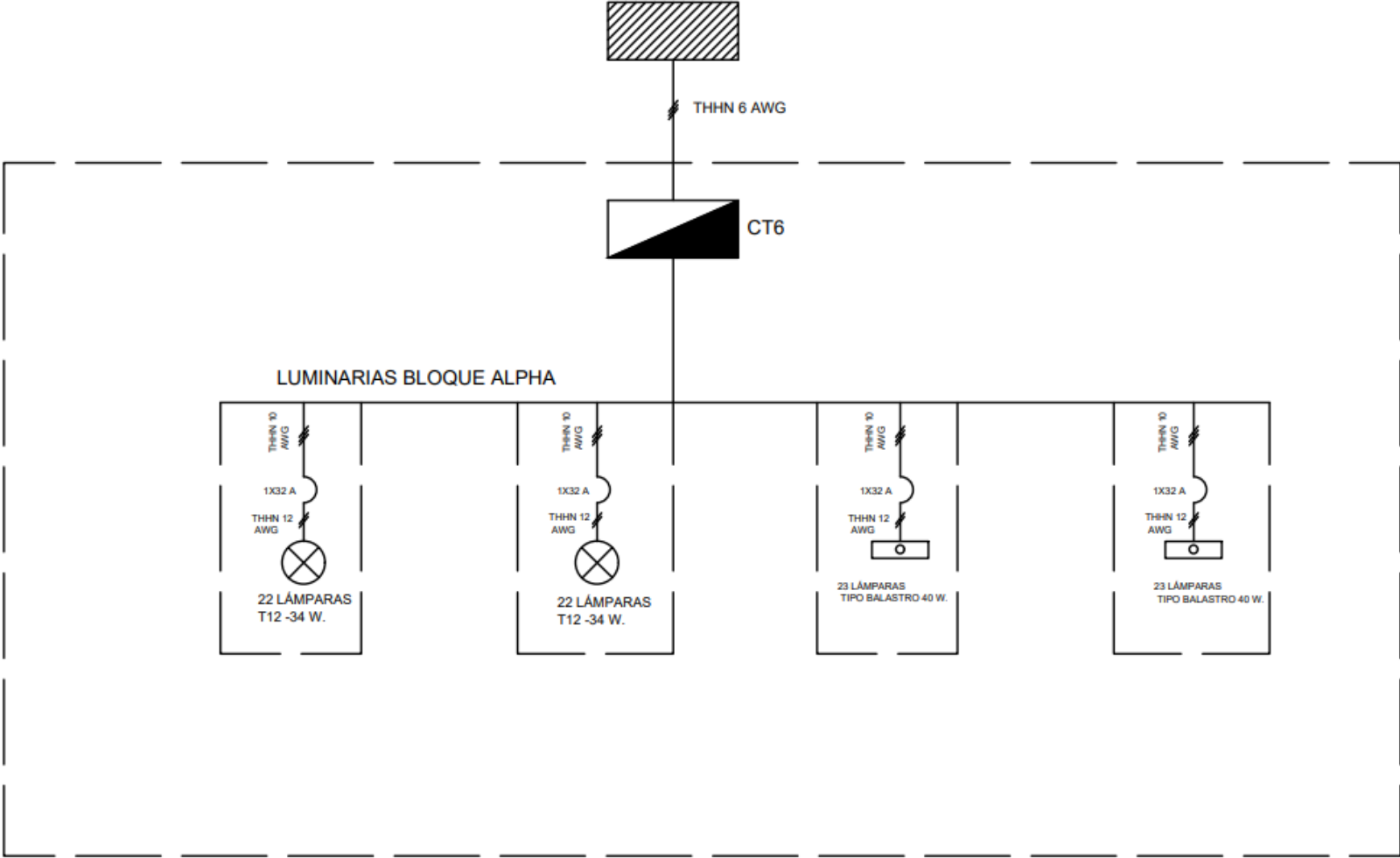
ANEXO 5. PLANO UNIFILAR BLOQUE GAMMA - TALLER DE MECÁNICA INDUSTRIAL



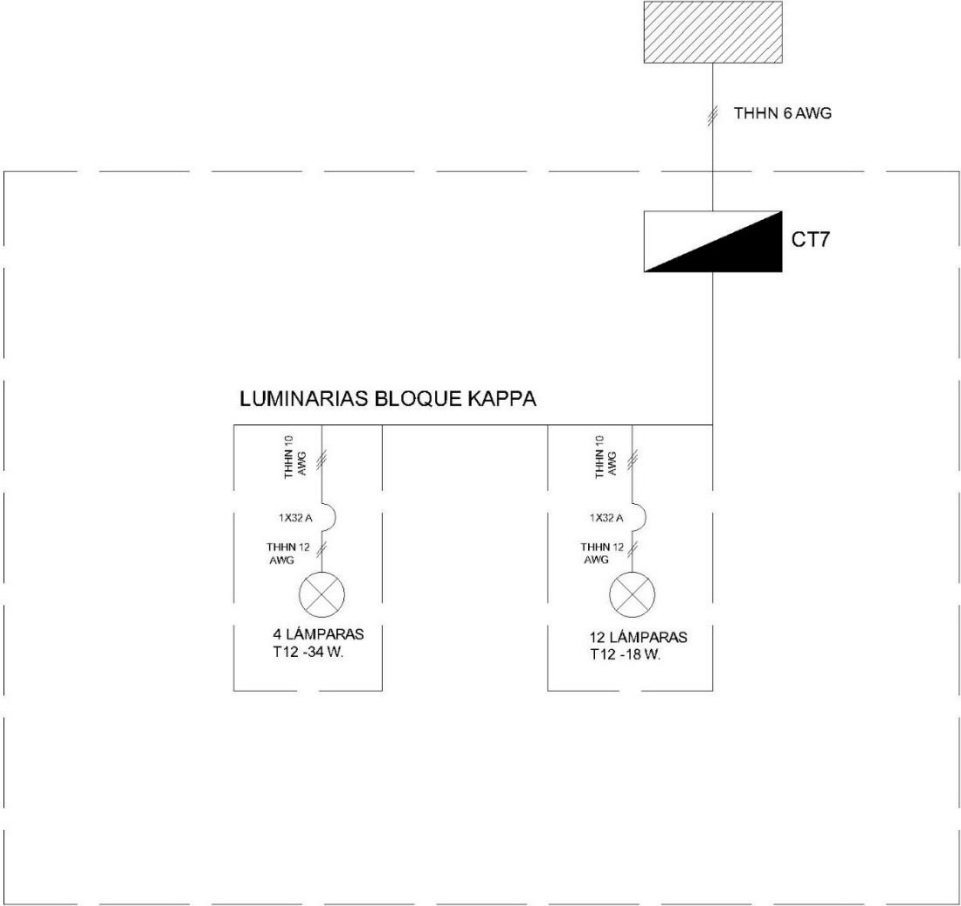
ANEXO 6. PLANO UNIFILAR BLOQUE LAMBDA



ANEXO 7. PLANO UNIFILAR BLOQUE ALPHA



ANEXO 8. PLANO UNIFILAR BLOQUE KAPPA



ANEXO 9. CERTIFICADO ANALIZADOR SONEL



SONEL S.A.
Testing and Calibration Laboratory
Wokulskiego 11
58-100 ŚWIDNICA
phone: +48 74 85 838 00, e-mail: laboratorium@sonel.pl

CALIBRATION CERTIFICATE

Date of issue: 02 June 2024 Certificate No: 227960/24 Page 1/7

OBJECT OF CALIBRATION Power quality analyzer
type: PQM-702 , serial No: AZ1125 , manufacturer: SONEL S.A.

APPLICANT SONEL S.A.
Wokulskiego 11, 58-100 Świdnica

CALIBRATION METHOD According to IW01 "Calibration of digital meters", issue 2.2, date 25.01.2021, IW10
"Calibration of frequency meters" issue 2.0 date 08.11.2019 - measurement form
FP200/IW01/S08 date of issue 26.03.2020.

ENVIRONMENTAL CONDITIONS Ambient temperature: (25 + 25,5) °C
Relative humidity: (40,2 + 42,6) %.

DATE OF CALIBRATION 02 June 2024

TRACEABILITY This certificate provides traceability of measurement results to the International
System of Units (SI).

CALIBRATION RESULTS The results of calibration have been presented on page 2/7 to 7/7 including
uncertainty of measurement. Presented results relate only to the items calibrated.

UNCERTAINTY OF MEASUREMENTS Uncertainty of measurement has been evaluated in compliance with EA-4/02
M:2013. The expanded uncertainty assigned corresponds to a coverage probability
of 95 % and the coverage factor $k = 2$.

SONEL S.A.
Testing and Calibration Laboratory
Laboratory Manager
Edyta Grabacka

This certificate without approval Laboratory shall not be reproduced except in full.

ANEXO 10. LAMPARA LED

Toledo / Lámparas

SYLVANIA

LED TUBE

IP20

G13



NO MERCURIO

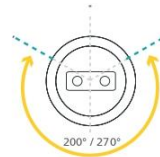


Características

- Tubo T8 LED en vidrio, eficiencia de hasta 89 lm/W, ahorro de energía de hasta 60%, fácil instalación, reduce costos de mantenimiento, libre de mercurio.
- Diseño de tubo tradicional.
- Cuerpo con acabado opalizado.
- Tecnología de chip LED SMD y driver integrado en el tubo.
- Tipo de distribución: Directo Asimétrico.
- Conexión estándar (Línea y neutro en un extremo).



Watt	Ø (mm)	H (mm)
9W	26	600
18W	26	1212



CÓDIGO	POTENCIA (W)	TENSIÓN DE OPERACIÓN (V)	FLUJO LUMINOSO (lm)	FACTOR DE POTENCIA	EFICACIA (Lm/W)	TEMPERATURA DE COLOR (k)	IRC	ÁNGULO °	VIDA ÚTIL (h)
P24994	9	100-240	800	0.5	89	6500	80	180	20000
P24993	9	100-240	800	0.5	89	4000	80	180	20000
P26594	9	100-240	800	0.5	89	3000	80	180	20000
P27900	18	100-240	1600	0.5	89	6500	80	180	20000
P27899	18	100-240	1600	0.5	89	4000	80	180	20000
P26597	18	100-240	1600	0.5	89	3000	80	180	20000
P23533	18	100-240	1800	0.9	100	6500	80	180	30000

* Vida útil estimada, con mantenimiento del flujo luminoso al 70% (L70), sobre luminaria completa.



La información contenida corresponde a valores nominales registrados bajo condiciones controladas de tensión y temperatura. Imagen de referencia, Sylvania se reserva el derecho de modificar y/o cambiar este producto o sus especificaciones técnicas sin notificación previa por evolución de la tecnología LED.

ANEXO 11. VOLTAJE MEDIDO CADA 10 MINUTOS.

