



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA
EN LA EMPRESA INDUCE DEL ECUADOR.**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico
en Sistemas Eléctricos de Potencia.

Autores:

Merino Coca Bryan Alexander

Tarco Guamushig Gino Raúl

Tutor Académico:

Edgar Roberto Salazar Achig, Mg

LATACUNGA – ECUADOR

2023



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

DECLARACIÓN DE AUDITORÍA

Nosotros **MERINO COCA BRYAN ALEXANDER** y **TARCO GUAMUSHIG GINO RAÚL** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “**EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA EMPRESA INDUCE DEL ECUADOR**”, siendo el Edgar Roberto Salazar Achig, Mgs el tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Merino Coca Bryan Alexander

C.C. 185013552-4

Tarco Guamushig Gino Raúl

C.C. 050373954-2

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA EMPRESA INDUCE DEL ECUADOR”, de **MERINO COCA BRYAN ALEXANDER** y **TARCO GUAMUSHIG GINO RAÚL**. De la carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aporte científico-técnico suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyectos que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de la Ingeniería y Aplicada de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, febrero 2023

El Tutor



Edgar Roberto Salazar Achig, Mg

C.C. 0502847619

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencias de la ingeniería y Aplicadas.; cuanto, los postulantes Merino Coca Bryan Alexander, con cedula de ciudadanía N° 185013552-4, y Tarco Guamushig Gino Raúl, con cedula de ciudadanía N° 050373954-2 con el título de Proyecto de titulación: **“EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA EMPRESA INDUCE DEL ECUADOR”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

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

Latacunga, febrero 2023

Para constancia firman:



.....

Ing. Franklin Vásquez Teneda

C.C. 1710434497



.....

Ing. Gabriel Pesantez Palacios

C.C. 0301893889



.....

Ing. Byron Corrales Bastidas

C.C. 0502347768

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, les agradecemos a dios y a nuestros padres que siempre nos han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos nuestros objetivos personales y académicos. Ellos son los que con su cariño nos han impulsado siempre a perseguir nuestras metas, brindando el soporte material y económico para poder concentrarnos en nuestros estudios y nunca abandonarlos.

De igual manera le agradecemos muy profundamente a nuestro tutor a al Ing. Roberto Salazar por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiésemos podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos, los cuales tendremos siempre presente en nuestra memoria y vida profesional.

Finalmente, agradecemos a la Universidad Técnica de Cotopaxi, quien nos abrió la puerta para emprender nuestros estudios, a los docentes de la carrera de Ingeniería Eléctrica, que nos han compartido sus conocimientos, para así poder obtener nuestro anhelado título. Además, agradecemos a la empresa “INDUCE DEL ECUADOR” por brindarnos la oportunidad de realizar el presente proyecto de investigación.

Merino Bryan y Tarco Gino

DEDICATORIA

A mis padres y seres queridos, quienes con su amor, apoyo y paciencia incondicional me han guiado y ayudado a lo largo de toda mi vida y especialmente en este logro académico. Sus consejos y enseñanzas me han sido fundamentales para llegar hasta aquí.

A todas las personas que de alguna manera han sido parte de mi vida y me han ayudado a llegar hasta aquí, les doy las gracias de todo corazón.

“Esta tesis es un homenaje a todos ellos”.

Merino Bryan

DEDICATORIA

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

Muchas gracias Madre y Padre por todo.

Tarco Gino

INDICE GENERAL

1.INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÒN.....	2
2.1 EL PROBLEMA	2
2.1.1 Situación Problémica.....	2
2.1.2 Formulaciòn del problema.....	3
2.2 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÒN.....	3
2.3 BENEFICIARIOS	3
2.4 JUSTIFICACIÒN.....	3
2.5 HIPOTESIS	4
2.6 OBJETIVOS.....	5
2.6.1 General.....	5
2.6.2 Específicos.....	5
2.7 SISTEMA DE TAREAS	6
3. FUNDAMENTACIÒN TEÒRICA	8
3.1 ANTECEDENTES	8
3.2 CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA	9
3.3 PROBLEMA E IMPORTANCIA DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	9
3.4 CARACTERÍSTICAS Y ASPECTOS IMPORTANTES DE CALIDAD ENERGÉTICA.....	10
3.4.1 Nivel de tensiòn.....	11
3.4.2 Perturbaciones rápidas de tensiòn	12
3.4.3 Distorsiòn armónica de voltaje	13
3.4.4 Desequilibrio de voltaje.....	14
3.5 VARIACIONES DE VOLTAJE (NORMATIVA IEEE 1159)	15
3.5.1 Variaciones de voltaje de corta duraciòn.....	15
3.5.2 Caídas de tensiòn (Sags).....	15
3.5.3 Aumento en el voltaje o corriente Rms (Swell)	16
3.6 TIPOS DE POTENCIAS.....	17
3.6.1 Factor de potencia.....	18
3.6.2 Penalizaciòn por bajo factor de potencia.....	19
3.7 TIPOS DE CARGAS	20

3.7.1 Cargas lineales.....	20
3.7.2 Cargas no lineales.....	20
3.8 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	21
3.8.1 Medidas de resistividad	21
3.8.2 Cálculo de la resistencia del sistema de puesta a tierra en sistemas industriales	22
3.9 RESONANCIA	23
3.9.1 Frecuencia de resonancia.....	24
3.10 CORRIENTES DE FUGA	25
3.11 ARMÓNICOS	25
3.11.1 Orden de armónicos.....	27
3.11.2 NORMATIVA IEEE 519-2014.....	27
3.12 FILTROS DE ARMONICOS.....	30
3.12.1 Filtros pasivos para mitigar armónicos.....	30
3.12.2 Filtro en serie	30
3.12.3 Filtro en paralelo.....	31
3.12.4 Dimensionamiento de un filtro pasivo de armónicos	31
3.12.5 Dimensionamiento de un filtro activo para mitigar armónicos	34
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
4.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	35
4.1.1 Método Inductivo – Deductivo.....	35
4.1.2 Método Analítico – Sintético.....	35
4.2 TIPOS DE INVESTIGACIÓN.....	36
4.2.1 Investigación Teórica	36
4.2.2 Investigación de Campo	36
4.2.3 Investigación Descriptiva	36
4.3 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	36
4.3.1 Observación Directa y Participativa.....	36
4.3.2 Instrumentos de Investigación.....	37
4.4 METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS	37
4.5 OBTENCIÓN DE DATOS	39
4.5.1 Paso 1: Reconocimiento de las áreas de la empresa.....	39

4.5.2 Paso 2: Levantamiento de cargas, registro de equipos y maquinas eléctricas existentes	39
4.5.3 Paso 3: Diseño del diagrama unifilar de cargas.....	40
4.5.4 Paso 4: Evaluación del consumo eléctrico y egresos económicos	41
4.5.5 Paso 5: Condición para el análisis de carga.....	41
4.5.6 Paso 6: Características del equipo	41
4.5.7 Paso 7: Determinación del analizador de redes	41
4.5.8 Paso 8: Conexión del equipo a la red trifásica.....	44
4.5.9 Paso 9: Verificación del funcionamiento del analizador de redes	46
4.5.10 Paso 10: Obtención y descarga de datos medidos por el analizador de redes	47
4.5.11 Paso 11: Condiciones de diseño para la simulación	48
4.5.12 Paso 12: Análisis del sistema de puesta a tierra de la empresa	50
5. ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	52
5.1 ANÁLISIS DE LA EMPRESA.....	52
5.2 ANÁLISIS DE FACTURACIÓN ENERGÍA ELÉCTRICA.....	53
5.2.1 Análisis eléctrico del consumo del medidor 206 de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR”.....	54
5.3 ANÁLISIS DE RECOPIACIÓN DE DATOS MEDIANTE EL ANALIZADOR DE REDES.....	57
5.3.1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS.....	57
5.3.2 Análisis de la corriente de fase (Línea)	61
5.3.3 Análisis del Factor de Potencia	63
5.3.4 Potencia Activa del Transformador 100 KVA	64
5.3.5 Potencia Reactiva del Transformador 100 KVA	65
5.3.6 Potencia Aparente del Transformador 100 KVA	66
5.3.7 Demanda eléctrica de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR”.....	67
5.3.8 Análisis del THD de Voltaje	67
5.3.9 Análisis de Armónicos Individuales de Voltaje	68
5.3.10 Análisis de Armónicos de Voltaje en el Neutro	70
5.3.11 Análisis de Armónicos Individuales de Voltaje en el Neutro	71
5.3.12 Análisis del TDD de Corriente	72
5.3.13 Análisis de Armónicos Individuales de Corriente.....	74
5.3.14 Análisis de Armónicos de Corriente en el Neutro.....	75

5.3.15 Armónicos individuales de corriente en el neutro	76
5.3.16 Análisis de Flickers	77
5.3.17 Análisis de Sags y Swells en el Transformador de 100 KVA	78
5.3.18 Estado actual del sistema eléctrico de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR”	79
5.4 SIMULACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN EL SOFTWARE ETAP 20.0.0	81
5.4.1 Procedimiento para la Simulación	81
5.4.2 Caso de Estudio 1	82
5.4.3 Caso de Estudio 2	85
5.4.4 Caso de Estudio 3	86
5.5 PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS ENCONTRADOS	87
5.5.1 Solución 1: Dimensionamiento de Nuevos Conductores y Balance de Cargas.....	87
5.5.2 Solución 2: Cálculo y Dimensionamiento del Filtro Pasivo para Mitigar Armónicos en el Transformador De 100 KVA.....	91
5.5.3 Solución 3: Cálculo para el diseño del sistema de puesta a tierra	93
5.6 IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)	96
5.6.1 Impacto Técnico	96
5.6.2 Factibilidad Económica	96
5.7 PROPUESTA PARA EL PROYECTO.....	96
5.8 AHORRO ENERGÉTICO AL IMPLMENTRA LAS SOLUCIONES.....	98
5.8.1 Cálculo De Perdidas Del Transformador De 100 KVA	98
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
6.1 CONCLUSIONES.....	101
6.2 RECOMENDACIONES	102
7. BIBLIOGRAFÍA	103
8. ANEXOS	107

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Caída de Tensión (Sags) [7].....	16
Figura 3.2 Aumento de Voltaje o Corriente RMS (Swell) [8].	16
Figura 3.3 Triángulo de Potencias.....	17
Figura 3.4 Carga Lineal [16].	20
Figura 3.5 Cargas no lineales [16].....	20
Figura 3.6 Método de Wenner [19].	22
Figura 3.7 Onda sinusoidal sin armónicos [22].....	26
Figura 3.8 Onda sinusoidal con armónicos [22].....	26
Figura 3.9 Modelo del filtro en serie [24].	31
Figura 3.10 Modelo de filtro en paralelo [24].	31
Figura 4.1 Método de selección del analizador de redes.....	38
Figura 4.2 Seguidor de circuitos Klein Tools ET-310.	40
Figura 4.3 Analizador de redes trifásico de energía y calidad de energía eléctrica FLUKE 435-II [23].....	42
Figura 4.4 Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico [24].....	45
Figura 4.5 Ubicación de monitoreo sugeridas en un sistema típico de bajo voltaje (las flechas apuntan a la ubicación sugerida de las sondas) [22].....	45
Figura 4.6 Conexión del analizador de redes en el tablero principal.	46
Figura 4.7 Diagrama fasorial de corrientes y voltaje.	47
Figura 4.8 Software Power Log FLUKE [24].	48
Figura 4.9 Diagrama de Flujo del procedimiento para la simulación del sistema eléctrico en ETAP 20.0.0.	49
Figura 4.10 Telurómetro BSIDE AER01.	51
Figura 4.11 Medición de la resistencia del terreno con el telurómetro BSIDE AER01.....	51
Figura 5.1 Sistema eléctrico alimentado por el transformador de 100 KVA.	53
Figura 5.2 Consumo de la energía del año 2019 al 2022 del transformador de 100 KVA.	54
Figura 5.3 Demanda anual de los años 2019 al 2022 del transformador de 100 KVA.....	55
Figura 5.4 Pago de penalización por la variación del FP de los años 2019 al 2022 del transformador de 100 KVA.	55

Figura 5.5 Pagos totales del consumo eléctrico del año 2019 al 2022 del transformador de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR”.....	56
Figura 5.6 Niveles de voltaje Fase-Neutro.....	58
Figura 5.7 Niveles de voltaje Fase-Fase.....	59
Figura 5.8 Nivel de voltaje en el neutro.....	60
Figura 5.9 Niveles de corriente.....	62
Figura 5.10 Niveles de Factor de Potencia.....	63
Figura 5.11 Niveles de la Potencia Activa.....	64
Figura 5.12 Niveles de Potencia Reactiva.....	65
Figura 5.13 Niveles de la Potencia Aparente.....	66
Figura 5.14 Niveles de Potencia Activa media semanal.....	67
Figura 5.15 Niveles de THD de voltaje.....	68
Figura 5.16 Niveles de armónicos de voltaje individuales.....	69
Figura 5.17 Niveles de armónicos de voltaje en el neutro.....	70
Figura 5.18 Niveles de armónicos individuales de voltaje en el neutro.....	71
Figura 5.19 TDD de corriente del transformador.....	74
Figura 5.20 Numero de armónicos de corriente.....	75
Figura 5.21 TDD de corriente en el neutro.....	76
Figura 5.22 Numero de armónicos de corriente en el neutro.....	77
Figura 5.23 Simulación a la carga máxima del sistema eléctrico de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR”.....	83
Figura 5.24 Resultado de armónicos sin el banco de condensadores.....	85
Figura 5.25 Resultado de armónicos con el banco de condensadores.....	86
Figura 5.26 Comparación del Factor de Potencia.....	92
Figura 5.27 Armónicos de corriente antes y después del filtro.....	93
Figura 5.28 Simulación de la malla del sistema con la malla de puesta a tierra.....	94

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Límites nivel de voltaje [2].....	11
Tabla 3.2 Límites máximos de armónicos de voltaje [2].	14
Tabla 3.3 Orden de armónicos.....	27
Tabla 3.4 Límites de distorsión de voltaje [9].	28
Tabla 3.5 Límites de distorsión de corriente para sistemas clasificados de 120 V- 69 kV [9].	29
Tabla 5.1 Características del transformador de 100 kVA.....	52
Tabla 5.2 Niveles de voltaje Fase-Neutro, variación de voltaje en el transformador.....	57
Tabla 5.3 Niveles de voltaje Fase-Fase, variación de tensión en el transformador.....	58
Tabla 5.4 Nivel de voltaje en el Neutro en el transformador.....	60
Tabla 5.5 Desequilibrio de voltaje.....	61
Tabla 5.6 Niveles de corriente en la fase (Línea) en el transformador.....	61
Tabla 5.7 Desequilibrio de Corriente.	62
Tabla 5.8 Factor de Potencia.	63
Tabla 5.9 Análisis de la Potencia Activa.	64
Tabla 5.10 Análisis de la potencia Reactiva.....	65
Tabla 5.11 Niveles de Potencia Aparente.....	66
Tabla 5.12 Taza de Distorsión Armónica de Voltaje.	68
Tabla 5.13 Armónicos individuales de voltaje.	69
Tabla 5.14 Armónicos de voltaje en el neutro.....	70
Tabla 5.15 Armónicos individuales de voltaje en el neutro.	71
Tabla 5.16 Corrientes del Transformador.....	73
Tabla 5.17 TDD de corriente del transformador.	73
Tabla 5.18 Armónicos individuales de corriente.....	74
Tabla 5.19 TDD de corriente en el neutro.	75
Tabla 5.20 Armónicos individuales de corriente en el neutro.....	76
Tabla 5.21 Análisis de Flickers en el transformador.	77
Tabla 5.22 Valores típicos de perturbaciones en Sags.	78
Tabla 5.23 Niveles de Sags en el transformador.	78
Tabla 5.24 Valores típicos de perturbaciones en Swells.	79

Tabla 5.25 Niveles de Swells en el transformador.	79
Tabla 5.26 Estado del sistema actual del transformador de 100 kVA.	80
Tabla 5.27 Parámetros correspondientes al transformador de 100 kVA.	84
Tabla 5.28 Cargabilidad del transformador de 100 kVA.	84
Tabla 5.29 Resultados de medición de la resistividad.	87
Tabla 5.30 Simulación inicial con el conductor con sobrecarga.	88
Tabla 5.31 Resultado del conductor con la incorporación de un filtro.	89
Tabla 5.32 Resultado con el conductor 2/0.	89
Tabla 5.33 Simulación final con dos conductores por fase.	90
Tabla 5.34 Resultados del cálculo del filtro pasivo dimensionado.	91
Tabla 5.35 Comparación del Factor de Potencia.	91
Tabla 5.36 Armónicos de corriente antes y después del filtro.	92
Tabla 5.37 Resultados obtenidos en Matlab.	93
Tabla 5.38 Resultados obtenidos mediante la simulación.	94
Tabla 5.39 Resultados obtenidos mediante la simulación.	94
Tabla 5.40 Comparación de resultados.	95
Tabla 5.41 Inversión para solución 1.	96
Tabla 5.42 Presupuesto del Filtro Pasivo del Transformador de 100 kVA.	97
Tabla 5.43 Presupuesto para el sistema de puesta a tierra.	97
Tabla 5.44 Pérdidas iniciales y finales del Transformador de 100 kVA.	98
Tabla 5.45 Penalización por el bajo factor de potencia anual.	99

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTADA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADA

TITULO: “EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA EMPRESA INDUCE DEL ECUADOR”.

Autores:

Merino Coca Bryan Alexander

Tarco Guamushig Gino Raúl

RESUMEN

El presente estudio fue realizado en la empresa “INDUCE DEL ECUADOR” ubicada en la ciudad de Latacunga, parroquia Aláquez, sector Tandalivi vía a Mulaló y dedicada a la fabricación y comercialización de productos acabados en hierro a nivel nacional. El propósito de este análisis es realizar el estudio de calidad de energía del sistema eléctrico de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR” que presenta perturbaciones en el sistema de bajo voltaje acoplado al secundario del transformador de 100 KVA, que alimenta a las diferentes áreas de la empresa. Mediante una revisión bibliográfica e investigación de campo se recopiló los datos de carga instalada, tipo de conductores, distancia de conductores, protecciones, entre otros. A través del analizador de redes FLUKE 435-II se obtuvo los parámetros eléctricos de potencia, voltaje, corriente, factor de potencia, porcentaje de armónicos totales e individuales de corriente y voltaje para la evaluación de los criterios de calidad de energía eléctrica. Posteriormente se analizaron las perturbaciones eléctricas obtenidas, mediante normativas nacionales e internacionales tales como: ARCERNNR 002/20 y IEEE std 1159, IEEE 519. En base a los datos obtenidos se realizó la simulación en el software ETAP 20.0.0, para determinar así los problemas eléctricos a ser corregidos. Finalmente se han planteado soluciones como el dimensionamiento de un nuevo conductor para reducir la caída de voltaje y pérdidas, el dimensionamiento de un filtro pasivo para mitigar los armónicos de corriente y elevar el factor de potencia, el diseño de un sistema de puesta a tierra.

Palabras claves: Calidad de energía, Armónicos, Factor de Potencia, Perturbaciones eléctricas, Puesta a tierra, Pérdidas, ETAP.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: “EVALUATION OF THE QUALITY CRITERIA OF ELECTRICAL ENERGY IN THE COMPANY INDUCE OF ECUADOR”

Authors:

Merino Coca Bryan Alexander

Tarco Guamushig Gino Raúl

ABSTRACT

This study was conducted in the company "INDUCE DEL ECUADOR" located in the city of Latacunga, Aláquez parish, Tandalivi sector via Mulaló and dedicated to the manufacture and marketing of finished iron products nationwide. The purpose of this analysis is to study the power quality of the electrical system of the company "INDUCE DEL ECUADOR" that presents disturbances in the low voltage system coupled to the secondary of the 100 KVA transformer, which feeds the different areas of the company. Through a bibliographic review and field research, data on installed load, type of conductors, distance of conductors, protections, among others, were collected. The FLUKE 435-II network analyzer was used to obtain the electrical parameters of power, voltage, current, power factor, percentage of total and individual harmonics of current and voltage for the evaluation of the electrical power quality criteria. Subsequently, the electrical disturbances obtained were analyzed by means of national and international standards such as: ARCERNR 002/20 and IEEE std 1159, IEEE 519. Based on the data obtained, the simulation was performed in the ETAP 20.0.0 software, in order to determine the electrical problems to be corrected. Finally, solutions have been proposed such as the sizing of a new conductor to reduce voltage drop and losses, the sizing of a passive filter to mitigate current harmonics and increase the power factor, and the design of a grounding system.

Keywords: Power Quality, Harmonics, Power Factor, Electrical Disturbances, Grounding, Losses, Watt-hourly Transformer Substation, ETAP

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA EMPRESA INDUCE DEL ECUADOR”** presentado por: **Merino Coca Bryan Alexander** y **Tarco Guamushig Gino Raúl** egresados de la Carrera de: **Ingeniería Eléctrica en Sistemas de Potencia** perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Febrero del 2023.

Atentamente,


 CENTRO
DE IDIOMAS

Mg. Marco Paul Beltrán Semblantes

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC

CC: 0502666514

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título: Evaluación de los criterios de calidad de energía eléctrica en la Empresa Induce del Ecuador.

Fecha de inicio: Octubre 2022

Fecha de finalización: Abril 2023

Lugar de ejecución: Cantón Latacunga.

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

Carrera que auspicia: Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Proyecto Macro Asociado: Desarrollo de sistemas eléctricos eficientes a nivel residencial, comercial e industrial.

Equipo de Trabajo:

Grupo de investigación de Sistemas Eléctricos de Potencia

Tutor de Titulación:

Edgar Roberto Salazar Achig, Mgs

Estudiante/s:

Merino Coca Bryan Alexander

Tarco Guamushig Gino Raúl

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.

Sublíneas de investigación de la Carrera:

Sublínea 1: Conversión y uso racional de la energía eléctrica.

Grupos Temáticos:

1. Calidad de energía.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 EL PROBLEMA

2.1.1 Situación Problemática

En la actualidad el desarrollo tecnológico en las industrias metalmecánicas enfocadas principalmente a la fabricación de productos acabados en hierro, debido a sus procesos productivos en donde se involucran una gran demanda de maquinaria con dispositivos electrónicos, controles y cargas industriales, que llegan a producir variaciones de onda sinusoidal de voltaje y corriente, originando perturbaciones eléctricas que se reflejan en el consumo de energía eléctrica, la alteración del factor de potencia, calentamiento y deterioro de conductores, ocasionando múltiples riegos en el sistema eléctrico, y por ende en la producción y pérdidas económicas.

La empresa “Induce del Ecuador”, es una industria metalmecánica enfocada a la fabricación de puertas metálicas, paneles decorativos, forjados y troquelados, contenedores de desechos sólidos, entre otros, que ha ido evolucionando desde su creación en el año 2000. Actualmente en su infraestructura cuenta con maquinarias industriales las cuales están alimentadas por un transformador trifásico de 100 kVA, el cual alimenta al tablero principal el mismo que alimenta a los diferentes tableros y subtableros de distribución en determinadas áreas.

Debido a que la empresa “Induce del Ecuador”, no cuenta con un análisis óptimo de calidad de energía en el sistema eléctrico, es posible que exista una variedad de perturbaciones las cuales son: armónicos de voltaje y corriente, fugas de corriente en la red de tierra, variación de voltaje, bajo factor de potencia, flickers, entre otras variables, que tienen la posibilidad de ocasionar interrupciones en la producción o averías tanto del elemento eléctrico como de la maquinaria. Con el objetivo de evitar dichos inconvenientes es necesario la evaluación de los criterios de calidad de energía del sistema eléctrico de la empresa “Induce del Ecuador”, el cual identifique los inconvenientes existentes y poder plantear soluciones a las perturbaciones más notables del sistema eléctrico mediante un analizador de redes, con el fin de verificar el cumplimiento de los rangos permisibles establecidos por la normativa nacional ARCERNR 002/20 y las normativas internacionales IEEE 1159 e IEEE 519, para mejorar la seguridad, calidad del sistema eléctrico y los efectos económicos producidos en los procesos industriales.

2.1.2 Formulación del problema

En base al análisis de los criterios de calidad de energía eléctrica que inciden en la empresa “Induce del Ecuador” se conseguirá establecer soluciones que permitan mantener las características y condiciones del funcionamiento adecuado del sistema eléctrico.

2.2 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

El campo de acción para el proyecto:

330000 Ciencias Tecnológicas / 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas / 3306.99 Eficiencia de la energía eléctrica.

2.3 BENEFICIARIOS

2.3.1. Beneficiarios Directos

Los beneficiarios directos son los propietarios de la empresa “Induce” y los investigadores.

2.3.2. Beneficiarios Indirectos

Los beneficiarios indirectos es la Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A. y los clientes de la empresa y organizaciones asociadas.

2.4 JUSTIFICACIÓN

Una de las principales razones por la cual se evalúa los criterios de calidad de energía eléctrica en la empresa “Induce del Ecuador”, es que cumpla con los parámetros establecidos por las normativas nacionales e internacionales, para que la empresa se encuentre dentro de un rango de calidad de energía aceptable, se debe realizar un análisis y evaluación de los criterios a las perturbaciones más relevantes del sistema eléctrico.

El estudio de los criterios de calidad de energía eléctrica propuesta en este documento de investigación es asegurar el cumplimiento adecuado del funcionamiento de los índices de calidad de energía eléctrica, elementos eléctricos y el sistema de alimentación de energía en general, por lo que no solo es necesario un control óptimo de los métodos de operación y mantenimiento industrial, sino también la identificación de fluctuaciones eléctricas que puedan afectar el sistema eléctrico de la industria.

Con esto, se va a realizar un estudio general de calidad de energía eléctrica dentro de la empresa “Induce del Ecuador”, para poder identificar las áreas que no cumplan con los rangos establecidos por las normativas nacionales e internacionales, partiendo de la obtención de los registros de los valores reales de las variaciones de magnitudes de distorsión armónica, voltaje, corriente, flickers y factor de potencia obtenidos por el equipo de medición (analizador de redes), para poder estudiar este comportamiento del sistema eléctrico y proponer correcciones (filtros, regulación de factor de potencia, equilibrio de cargas, etc.) que reduzcan dichas perturbaciones.

Es importante destacar que por medio de este análisis se logrará beneficiar directamente a la empresa “Induce del Ecuador”, ya que, por medio de este plan correctivo de calidad de energía al servicio eléctrico, permitirá lograr un sistema eléctrico estable y seguro, en donde se podrá mejorar la situación económica dentro y fuera de la empresa para así poder evitar penalizaciones al incumplimiento de las normativas a futuro, a la vez de reducir los riesgos relevantes a la que estos están sometidos.

2.5 HIPOTESIS

El realizar el análisis de calidad de energía en el sistema eléctrico de la empresa “Induce del Ecuador” permitirá determinar las perturbaciones más relevantes que inciden en la industria para plantear soluciones que mitiguen los problemas energéticos encontrados.

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 General

Evaluar los criterios de calidad de energía del sistema eléctrico de la empresa “Induce del Ecuador”, para el planteamiento de soluciones a los problemas encontrados aplicando normativas nacionales e internacionales.

2.6.2 Específicos

- Revisar el estado del arte referente al estudio de la calidad de energía.
- Evaluar el estado actual del sistema eléctrico mediante las normativas de calidad de energía eléctrica nacionales e internacionales, por medio del levantamiento de cargas, planos y mediciones eléctricas registradas por el analizador de redes.
- Simular en el software ETAP el sistema eléctrico con los puntos críticos en base a los datos obtenidos por el analizador de redes.
- Plantear soluciones para atenuar las perturbaciones más relevantes encontradas en el sistema eléctrico mediante un estudio técnico y económico para mejorar la calidad de energía eléctrica en la empresa “Induce del Ecuador”.

2.7 SISTEMA DE TAREAS

Objetivo específico	Actividad (tareas)	Resultados Esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
<p>Revisar el estado del arte referente al estudio de la calidad de energía en la industria.</p>	<p>-Recopilación de datos mediante una investigación bibliográfica referente al estudio de calidad de energía de un sistema eléctrico.</p> <p>-Investigación de las normativas nacionales e internacionales de la calidad de energía.</p>	<p>-Obtener información referente a la calidad de energía.</p> <p>-Base de datos compuestos por Documentos, Papers sobre las normativas de calidad de energía.</p>	<p>Investigación Bibliográfica o Documental</p> <p>Normativas, Papers, Sitios Webs, Tesis y Libros.</p>
<p>Evaluar el estado actual del sistema eléctrico mediante las normativas de calidad de energía nacionales e internacionales por medio del levantamiento de cargas, planos y mediciones eléctricas registradas por el analizador de redes.</p>	<p>-Obtención de datos y cálculos de los parámetros eléctricos.</p> <p>-Análisis los parámetros de calidad de energía obtenidos por el analizador de redes y comparar con las normativas Nacionales e Internacionales</p>	<p>-Base de datos con las tablas correspondientes a los parámetros eléctricos de las maquinarias eléctricas instaladas en la empresa.</p> <p>- Información de los parámetros de calidad de energía medidos por el analizador de redes y comparados con las normativas correspondientes.</p>	<p>Observación directa e investigación de campo.</p> <p>Investigación cuantitativa, Estudios comparativos.</p> <p>Analizador de redes, Documentos de registros, Fotografías.</p> <p>Software, Normativas.</p>

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

<p>Simular en el software ETAP el sistema eléctrico con los puntos críticos en base a los datos obtenidos por el analizador de redes</p>	<p>-Modelamiento del sistema eléctrico de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR”. -Actualización del diagrama unifilar</p>	<p>- Obtención de gráficos y parámetros eléctricos del estado real del sistema para poder plantear soluciones a los problemas. -Plano unifilar actualizado</p>	<p>Software ETAP, Normativa Eléctrica Nacional e Internacional</p>
<p>Plantear soluciones necesarias para atenuar las perturbaciones relevantes encontradas en el sistema eléctrico mediante un estudio técnico y económico para mejorar la calidad de energía eléctrica en la empresa “Induce del Ecuador”.</p>	<p>- Elaboración de un análisis contemplando la parte técnica y económica, dando soluciones viables mediante cálculos y simulaciones con los cambios efectuados. -Incorporación de un filtro al sistema eléctrico.</p>	<p>-Prevención a las sanciones por incumplimiento de normativas y el adecuado funcionamiento del sistema. -Aumento de la calidad del sistema y factor de potencia.</p>	<p>Investigación cuantitativa, Estudios. Software ETAP, Normativas de Diseño, Catálogos</p>

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 ANTECEDENTES

En el año de 2000 se crea la empresa “Induce del Ecuador.” en la ciudad de Latacunga, parroquia Aláquez, sector Tandalivi vía Mulaló, provincia de Cotopaxi-Ecuador, ésta se enfoca en fabricar y comercializar productos acabados en hierro, troquelados, forjados, puertas económicas, canaletas de agua lluvia, decorativos para puertas tipo U y paneles de tol en material galvanizado y negro en diferentes modelos y medidas según la necesidad y requerimiento del cliente, en su inicio la maquinaria con la que contaba era de baja potencia por lo cual su demanda era inferior, con el pasar de los años se ha ido incrementando las cargas debido a la evolución de la empresa; por lo que las instalaciones eléctricas sufren cambios como la ampliación, el deterioro de los conductores y demás elementos eléctricos de sistema.

En base a las normativas de calidad de energía eléctrica, podemos decir que un sistema se encuentra funcionando en un rango normal o que presenta ciertos inconvenientes que a pesar de no ser una avería presentan problemas de funcionamiento estos pueden ser: desviación de la tensión (voltaje), la corriente o la frecuencia, que provoque el mal funcionamiento de los equipos eléctricos y el deterioro paulatinamente. El consumo de la energía eléctrica se ha ido incrementando en la actualidad, por el desarrollo de nuevas tecnologías, debido al desarrollo de estas tecnologías y la implementación de las mismas, las empresas requieren optimizar el proceso productivo mediante la utilización de equipos de alta eficiencia como los motores eléctricos y automatización con dispositivos electrónicos, los cuales generan perturbaciones que son factores inevitables [1].

Un estudio realizado por los Gómez, Antamba sobre calidad de energía eléctrica en la empresa de Aluminio Cedal S.A. en el año 2021 con el tema “ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA CORPORACIÓN ECUATORIANA DE ALUMINIO CEDAL S.A.”, menciona que en la empresa existe varias perturbaciones como el bajo factor de potencia, armónicos de voltaje y corriente, variación de voltaje, los cuales se los puede mitigar mediante normas: la regulación ARCERNR 002/20 permite establecer los niveles de voltaje, la regulación IEEE – 519 indica los niveles permitidos en los armónicos de voltaje y corriente [2].

La regulación ARCERNN-002/20 es la principal norma Ecuatoriana la cual es tomada en cuenta para el análisis de calidad de energía, la misma que establece los indicadores, índices y límites de calidad de servicio de distribución y comercialización de la energía eléctrica, en donde se puede definir los procedimientos de medición, registro y evaluación a ser cumplidos por las empresas eléctricas de distribución y consumidores [3].

3.2 CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Se entiende por calidad de energía, cuando la energía eléctrica es suministrada a los diferentes equipos y dispositivos eléctricos con las características y condiciones adecuadas que les permita al mismo, mantener su continuidad sin que se afecte su desempeño ni provoque fallas a todos sus componentes.

Esto permite la normalización del suministro eléctrico mediante reglas que establecen los niveles, parámetros básicos, forma de onda, armónicos, niveles de distorsión armónica, interrupciones [4].

3.3 PROBLEMA E IMPORTANCIA DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Se puede decir que se tiene o existe un problema de calidad de la energía eléctrica cuando ocurre cualquier tipo de desviación de la tensión (voltaje), la corriente o la frecuencia que provoque la mala operación de los equipos eléctricos de uso final y deteriore paulatinamente la economía o el bienestar de los usuarios o también cuando ocurre algún tipo de interrupción del flujo de energía eléctrica.

Algunos de los efectos asociados a problemas de calidad de la energía son:

- Daños a la producción, a la economía y la competitividad empresarial.
- Incremento del costo, deterioro de la confiabilidad, de la disponibilidad y del confort.
- Incremento en las pérdidas de energía.

Actualmente, el estudio de la calidad de la energía eléctrica ha tomado mucha preponderancia y tal vez la razón más importante es la búsqueda del aumento de productividad, efectividad y competitividad de las empresas [5].

3.4 CARACTERÍSTICAS Y ASPECTOS IMPORTANTES DE CALIDAD ENERGÉTICA

Las características físicas dentro de la calidad de energía, son la continuidad del servicio durante las 24 horas del día y los 365 días del año, la amplitud, frecuencia, forma de onda de la señal de tensión y corriente, las cuales están definidas por valores o índices en resoluciones, guías o normas nacionales e internacionales, dentro de rangos que son técnica y económicamente aceptables [6].

La regulación ARCERNNR 002/20 anteriormente denominada ARCONEL 005/18 es la principal regulación tomada en cuenta para el análisis de calidad y energía dentro del Ecuador, misma que establece los indicadores, índices, límites permisibles de calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica, además que esta regulación está basada en las normativas internacionales como la IEEE, y la IEC [3].

Por lo tanto, por medio de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (Regulación No. ARCERNNR - 002/20) en el Ecuador, tiene como objetivo disponer de la calidad del servicio de energía eléctrica será evaluada considerando los siguientes índices e indicadores:

- **Calidad de Servicio Comercial**

Se encarga de la regulación o control de las solicitudes y reclamaciones de facturación y medición que se puedan presentar.

- **Calidad de Servicio Técnico**

Permite coordinar la continuidad de los servicios eléctricos y se caracteriza por la frecuencia y duración de los cortes de energía.

- **Calidad del Producto**

Está relacionada con la forma de onda de voltaje proporcionada por el distribuidor y tiene las características de niveles de tensión, variaciones rápidas de tensión y armónicos.

En el presente estudio se tomará como referencia únicamente a la calidad de producto de esta regulación, por motivo se hace referencia a cada punto establecido referente a la Calidad de Energía Eléctrica en la Industria. La regulación ARCERNNR 002/20 hace referencia que la calidad de producto abarca los siguientes puntos:

- Niveles de tensión.
- Perturbaciones rápidas de tensión.
- Distorsión armónica de voltaje.
- Desequilibrio de voltaje.

3.4.1 Nivel de tensión

La tensión de fase nominal (440 V) y la de fase neutro (254 V) se utilizan como referencias en el análisis del nivel de voltaje. La calidad de nivel de voltaje en un punto del sistema de distribución se determinará con el siguiente índice [3].

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} * 100[\%] \quad (3.1)$$

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 : Tensión nominal en el punto k.

Tabla 3.1 Límites nivel de voltaje [2].

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

- **Medición y control de niveles de tensión.**

La calidad de voltaje se determina como las variaciones de los valores eficaces (rms) medidos cada 10 minutos, con relación al voltaje nominal en los diferentes niveles [7].

El Distribuidor deberá realizar mensualmente lo siguiente:

1. Un registro de voltaje en cada uno de los siguientes puntos de medición:
 - a) 20% de las barras de salida de subestaciones de distribución AV/MV, no menos de 3.
 - b) 0,15% de los transformadores de distribución, no menos de 5.
 - c) 0,01 % de los Consumidores de Bajo Voltaje del área de concesión, no menos de 10.
2. Para la selección de los puntos se considerarán los niveles de voltaje, el tipo de zona (urbana, rural), y la topología de la red, a fin de que las mediciones sean representativas de todo el sistema.
3. Simultáneamente con el registro del voltaje se deberá medir la energía entregada a efectos de conocer la que resulta suministrada en malas condiciones de calidad.
4. Para cada mes, el registro en cada punto de medición se efectuará durante un período no inferior a 7 días continuos, en intervalos de medición de 10 minutos.

3.4.2 Perturbaciones rápidas de tensión

Para efectos de la evaluación de la calidad, en cuanto al flicker, se considerará el Índice de Severidad por Flicker de Corta Duración (Pst), en intervalos de medición de 10 minutos, definido de acuerdo a las normas IEC 61000 – 4 - 15; mismo que es determinado mediante la siguiente expresión:

$$Pst = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}} \quad (3.2)$$

Donde:

Pst: Índice de severidad de flicker de corta duración.

P0.1, P1, P3, P10, P50: Niveles de efecto "flicker" que se sobrepasan durante el 0.1 %, 1 %, 3%, 10%, 50% del tiempo total del periodo de observación [3].

- **Mediciones y límites de perturbaciones rápidas de tensión.**

Las mediciones se deben realizar con un medidor de efecto "Flicker" para intervalos de 10 minutos y de acuerdo a los procedimientos especificados en la norma IEC 60868. El índice de severidad del Flicker Pst en el punto de medición respectivo, no debe superar la unidad. Se considera el límite Pst = 1 como el tope de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede soportar sin molestia el ojo humano en una muestra específica de población.

3.4.3 Distorsión armónica de voltaje

Según la regulación No. ARCERNNR - 002/20, se evaluará la distorsión armónica individual de voltaje y la distorsión armónica total de voltaje, conforme las siguientes expresiones:

$$V_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (V_{h,i})^2} \quad (3.3)$$

$$DV_{h,k} = \frac{V_{h,k}}{V_{h,1}} * 100[\%] \quad (3.4)$$

$$THD_k = \left[\frac{1}{V_{h,1}} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (V_{h,i})^2} \right] * 100[\%] \quad (3.5)$$

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,...,50), medido cada 3 segundos (i=1,2,..,200).

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

THD_k : factor de distorsión armónica total de voltaje.

$V_{h,1}$: valor eficaz (rms) de la componente fundamental de voltaje en el punto de medición.

- **Mediciones y límites de distorsión armónica de voltaje**

Las mediciones se deben realizar con un medidor de distorsiones armónicas de voltaje de acuerdo a los procedimientos especificados en la norma IEC 61000-4-7.

Tabla 3.2 Límites máximos de armónicos de voltaje [2].

Niveles de voltaje	Factor de Distorsión Armónica Individual (%)	THD (%)
Bajo Voltaje	5.0	8.0
Medio Voltaje	3.0	5.0
Alto Voltaje (Grupo 1)	1.5	2.5
Alto Voltaje (Grupo 2)	1.0	1.5

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 [3].

3.4.4 Desequilibrio de voltaje

Según la regulación No. ARCERNNR - 002/20, el desequilibrio de voltaje en un punto del sistema de distribución de podrá determinar por medio del siguiente índice:

$$Desequilibrio\ de\ Voltaje = \left| \frac{V^-}{V^+} \right| * 100[\%] \quad (3.6)$$

Donde:

-V: Componente de secuencia negativa de voltaje, estableciendo el promedio de registro de datos (cada 3 segundos) en un periodo de 10 minutos.

+V: Componente de secuencia positiva de voltaje, estableciendo el promedio de registro de datos (cada 3 segundos) en un periodo de 10 minutos.

Por lo tanto, el valor límite para el desequilibrio de voltaje en un punto de medición será de 2% para todos los niveles de voltaje [3].

- **Mediciones y límites del desequilibrio de voltaje**

El valor límite para el índice de desequilibrio de voltaje en un punto de medición será de 2% para todos los niveles de voltaje. La distribuidora cumple con el índice de desequilibrio de voltaje en un punto de medición cuando el 95% o más de los valores registrados, en el periodo de evaluación no inferior a siete (7) días continuos, es menor al límite máximo establecido [3].

3.5 VARIACIONES DE VOLTAJE (NORMATIVA IEEE 1159)

3.5.1 Variaciones de voltaje de corta duración

Las variaciones de voltaje de corta duración casi siempre son causadas por condiciones de falla, la activación de grandes cargas que requieren altas corrientes de arranque o conexiones sueltas intermitentes en el cableado de alimentación. Dependiendo de la ubicación de la falla y las condiciones del sistema eléctrico se pueden presentar problemas como Sags, Swells e interrupciones [10].

3.5.2 Caídas de tensión (Sags)

Reducción temporal del voltaje RMS por debajo de un umbral específico en un punto de línea de suministro eléctrico.

El SAG comienza cuando el voltaje es inferior al 90% del valor nominal y finaliza cuando los voltajes se vuelven superiores al 90%. La duración del voltaje SAG se considera dentro de 10 ms hasta 1 minuto. Una gran cantidad de SAG de voltaje tienen una duración inferior a 1 segundo y un voltaje residual superior al 40% del valor nominal.

Los SAG de voltaje generalmente son causados por fallas en la red pública o en las instalaciones de los usuarios de la red, en algunos casos por sobrecargas transitorias debido a la adaptación de motores grandes o al encendido de grandes cargas [11].

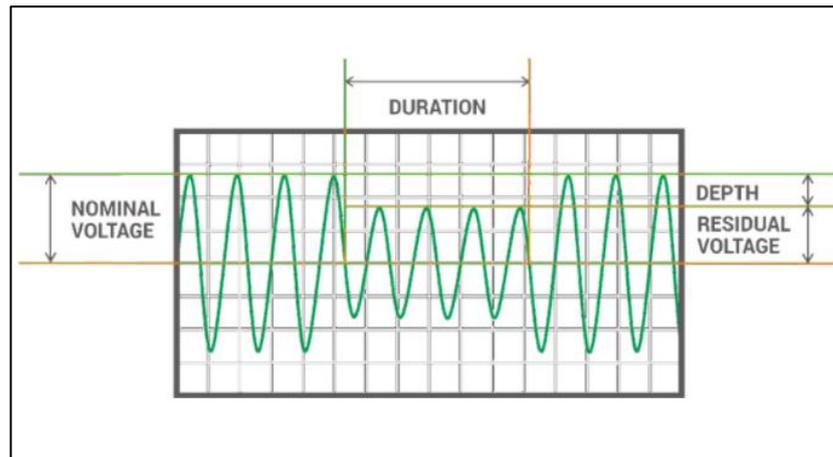


Figura 3.1 Caída de Tensión (Sags) [7].

3.5.3 Aumento en el voltaje o corriente Rms (Swell)

Un swell es un aumento en el voltaje o corriente rms a la frecuencia de potencia durante períodos de 0,5 ciclos a 1 min. Las magnitudes típicas se encuentran entre 1,1 y 1,8 p.u. La magnitud del swell también se describe por su voltaje restante, en este caso, siempre mayor que 1,0. Un aumento puede ocurrir debido a una sola falla de línea a tierra en el sistema, lo que resulta en un aumento temporal de voltaje en las fases sin falla. Las subidas de tensión también se pueden producir al apagar una carga grande o al encender un banco de condensadores grande [12].

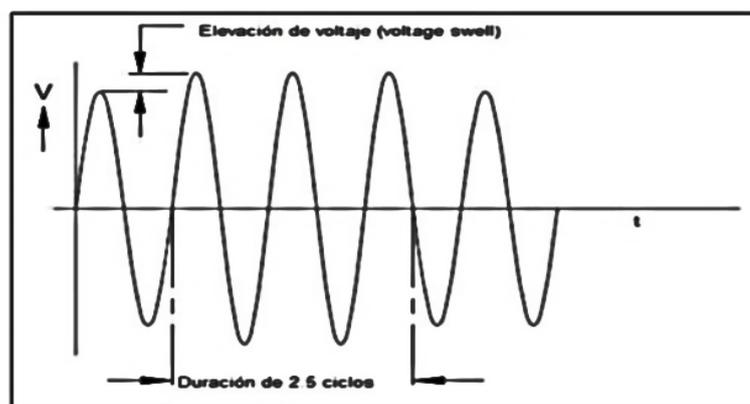


Figura 3.2 Aumento de Voltaje o Corriente RMS (Swell) [8].

3.5.4 Desequilibrio de voltaje

El desequilibrio se puede estimar como la desviación máxima del promedio de las tensiones o corrientes trifásicas, dividida por la media de las tensiones o corrientes trifásicas, expresada en porcentaje como se puede observar en la ecuación 3.11.

$$\text{Desequilibrio voltaje} = \frac{v_{max} - v_{med}}{v_{med}} \times 100\% \quad (3.11)$$

El desequilibrio de voltaje puede ser el resultado de anomalías en el banco de capacitores, como un fusible quemado en una fase de un banco trifásico. Un desequilibrio de voltaje severo (superior al 5 %) puede resultar de condiciones de fase única [9]. Según la norma IEEE std 1159 define un rango de 0.5 % – 2 % para el desequilibrio de voltajes en estado estable como se puede apreciar en el Anexo A tabla 1, cabe recalcar que tiene una relación con la establecida en la regulación ARCERNR 002/20 que también establece un límite de desequilibrio máximo del 2 %.

3.6 TIPOS DE POTENCIAS

- **Potencia activa y reactiva.**

El ángulo formado en el triángulo de potencias por P y S equivale al desfase entre la corriente y la tensión, y es el mismo ángulo de la impedancia; por lo tanto, el "cos φ " depende directamente del desfase, como se muestra en la Figura 3.3.

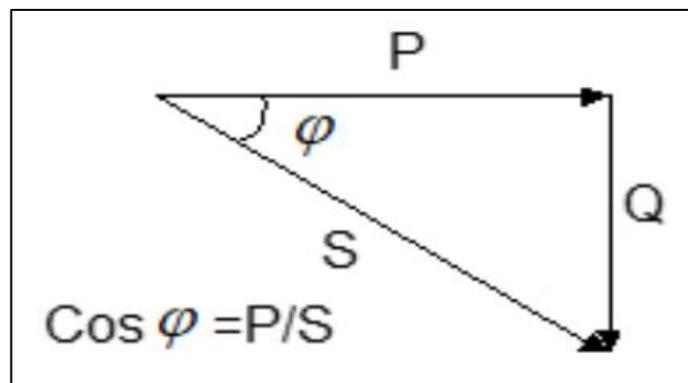


Figura 3.3 Triángulo de Potencias.

En la técnica de la energía eléctrica se utiliza el factor de potencia para expresar un desfase que sería negativo cuando la carga sea inductiva, o positivo cuando la carga es capacitiva [13].

Las fórmulas para la obtención de las potencias se detallan a continuación:

- **Potencia activa.**

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos(\varphi) \quad (3.12)$$

Donde:

P: Potencia activa (W).

U: Tensión de la red (V).

I: Corriente de fase (A).

φ : Ángulo de desfase entre la tensión y corriente.

- **Potencia reactiva.**

$$Q = \sqrt{3} * U * I * \text{sen}(\varphi) \quad (3.13)$$

Donde:

Q: Potencia reactiva (VAR).

U: Tensión de la red (V).

I: Corriente de fase (A).

Sen φ : Valor del seno del ángulo.

- **Potencia aparente.**

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.14)$$

$$S = U * I \quad (3.15)$$

$$S = \sqrt{3} * U * I \quad (3.16)$$

Donde:

S: Potencia total (VA)

U: Fasor de tensión de la red (V)

I: Fasor de corriente de fase (A)

3.6.1 Factor de potencia

La proporción existente entre la potencia activa y la potencia aparente se le denomina factor de potencia. La potencia activa jamás será mayor que la aparente, lo que desea mencionar que una vez que estas son semejantes, el FP es igual a 1, esto quiere decir que las cargas son resistivas, o bien, hay capacitancias e inductancias compensando el FP entre sí. Una vez que S

es mayor a P, nace la potencia reactiva, esto es indeseable ya que el FP disminuye acorde se incrementa Q debido a la reactancia de las cargas [14].

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}} \quad (3.17)$$

Causas de un bajo factor de potencia.

- Motores de inducción de pequeña y gran capacidad
- Motores sobre dimensionados
- Transformadores operando en vacío o con pequeñas cargas
- Transformadores sobredimensionados.
- Niveles de tensión superior al nominal.
- Iluminación de descarga o arco.

3.6.2 Penalización por bajo factor de potencia.

Se aplica para aquellos consumidores de categoría general con medida de potencia reactiva que registren un factor de potencia promedio mensual menor a 0.92, el distribuidor calculará los cargos establecidos en el pliego tarifario y las tarifas ecuatorianas como cargos de factor de potencia bajo [15].

$$P_{BFP} = \{P_{BFP} = 0 \quad \text{si } FP_r \geq 0.92 \quad (3.18)$$

$$P_{BFP} = \{P_{BFP} = B_{FP} * FSPEE_i \quad \text{si } FP_r < 0.92 \rightarrow B_{FP} = \frac{0.92}{FP_r} - 1 \quad (3.19)$$

Donde:

P_{BFP}: Penalización por bajo factor de potencia.

FP_r: Factor de potencia registrado o calculado.

B_{FP}: Factor de penalización.

FSPEE_i: Factura por servicio público de energía eléctrica inicial.

3.7 TIPOS DE CARGAS

3.7.1 Cargas lineales

Las cargas lineales son aquellas que no cambian su magnitud de impedancia durante el ciclo de voltaje, esto significa que, si tenemos una onda sinusoidal de corriente y voltaje, y realizamos el cálculo en cualquier punto de onda obtendremos el mismo valor de resistencia durante todo el periodo de tiempo medido [16].

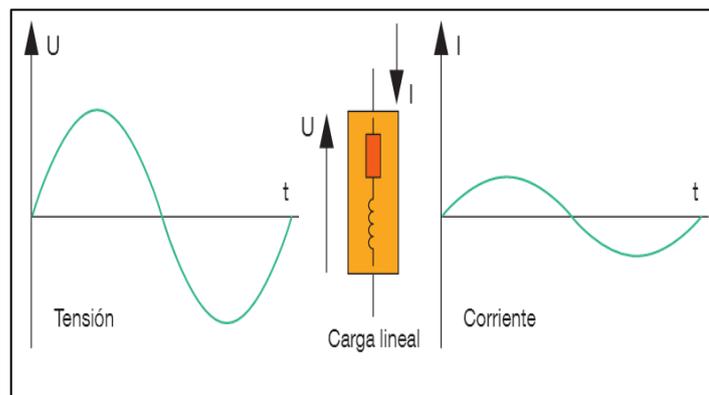


Figura 3.4 Carga Lineal [16].

3.7.2 Cargas no lineales

Son aquellas que su impedancia varía durante el ciclo de voltaje, es decir, la onda sinusoidal de corriente no es de igual tamaño que la onda de voltaje sinusoidal durante el periodo de tiempo medido [16]

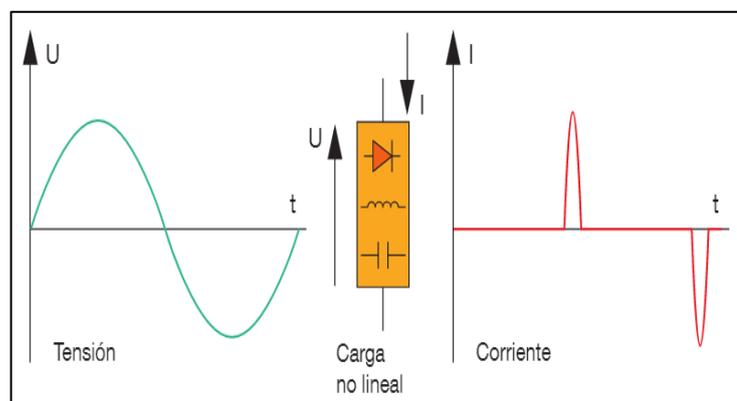


Figura 3.5 Cargas no lineales [16].

3.8 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Uno de los mayores problemas eléctricos en una instalación es la puesta a tierra, cuando la tierra está en mal estado hay todas las variaciones: variaciones de voltaje, flickers, transitorios, etc. Entonces uno de los primeros aspectos a revisar y medir es la puesta a tierra para ello se utiliza el instrumento denominado Telurómetro para medir la resistividad y otros parámetros. La intención primordial de un sistema de puesta a tierra es la protección de las personas, los equipos e instalaciones y brindar confiabilidad y continuidad al servicio eléctrico [17].

El sistema de puesta a tierra está conformado principalmente por tres elementos los cuales se detallan a continuación:

- **Conductores:** El principal conductor que se utiliza en los sistemas de puestas a tierra es el conductor de cobre, al proporcionar mayor conductividad eléctrica y térmica, además de ser relativamente resistente a la corrosión.
- **Electrodos:** Comprende varillas, conductores, placas o la unión entre estos materiales. Al tener suelos húmedos se tiene una menor resistividad. Por este motivo se pueden utilizar electrodos verticales mejorando la resistividad del sistema.
- **Conectores y accesorios:** Fundamentalmente constan de los elementos que nos sirven para la unión de los electrodos, conductores y el sistema eléctrico al cual se esté protegiendo.

3.8.1 Medidas de resistividad

El número de medidas tomadas debe ser más grande donde las variaciones son mayores, especialmente si algunas lecturas son tan altas como para sugerir un posible problema de seguridad. Si la resistividad varía apreciablemente con la profundidad, es deseable usar un rango incrementado de espaciamientos de prueba para obtener un estimativo de la resistividad de capas más profundas [18]. El método de Wenner es la técnica más usada la cual se observa la Figura 3.6.

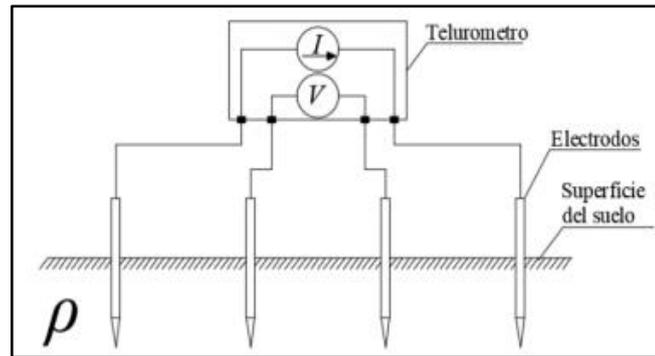


Figura 3.6 Método de Wenner [19].

Los cuatro electrodos son clavados en la tierra en línea recta a una profundidad “b”, separados a una distancia “a”. La tensión entre los dos terminales interiores es luego medido y dividido por la corriente entre los dos terminales exteriores para dar el valor de la resistencia R, que aparece indicada en el telurómetro. Las ecuaciones 3.20 y 3.21 se aplica para el cálculo de la resistividad del suelo [18].

$$\rho_a = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad (3.20)$$

Donde: ρ_a : Resistividad aparente del suelo (Ω -m)

R: Resistencia medida en Ω

a: Distancia entre electrodos

b: Profundidad de los electrodos en m

si $b \ll a$ como es el caso común:

$$\rho_a = 2\pi a R \quad (3.21)$$

3.8.2 Cálculo de la resistencia del sistema de puesta a tierra en sistemas industriales

La resistencia a tierra se puede calcular y medir. El cálculo ha sido simplificado en gran medida por las fórmulas desarrolladas y presentadas en la normativa IEEE 80. Debe señalarse que estas fórmulas son solo aproximaciones, dado el estado actual de las capacidades con respecto a los modelos de sistemas de tierra y diseño de puesta a tierra derivados de computadoras, se debe considerar seriamente el uso de esas herramientas [19].

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} \quad (3.22)$$

$$C_s = 1 - \frac{0,091(1-\frac{\rho}{\rho_s})}{2*hs+0,09} \quad (3.23)$$

$$E_p = \frac{(1000+6*C_s*P_s)0,116}{\sqrt{ts}} \quad (3.24)$$

$$E_t = \frac{(1000+1,5*C_s*P_s)0,116}{\sqrt{ts}} \quad (3.25)$$

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_t} + \frac{1}{\sqrt{20*A}} \left(1 + \frac{1}{1+h*\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \quad (3.26)$$

Donde:

C_s =Factor de reducción de la capa superficial.

ρ =Resistividad del terreno [ohm*m].

ρ_s =Resistividad de la capa superficial [ohm*m].

h_s =Espesor de la capa superficial [m].

t_s =Tiempo de duración de la falla [sg].

L_t = Longitud efectiva total del conductor del sistema de puesta a tierra [m].

A = Área total encerrada por rejilla de tierra [m^2].

h = profundidad de los conductores de rejilla [m]

Múltiples electrodos en paralelo producen una menor resistencia a tierra que un solo electrodo. Las varillas múltiples se usan comúnmente para proporcionar la baja resistencia a tierra requerida por las instalaciones de alta capacidad. Sin embargo, agregar una segunda varilla no proporciona una resistencia total de la mitad de la de una sola varilla, a menos que las dos estén separadas por varias longitudes de varilla [19].

3.9 RESONANCIA

La resonancia armónica es la conexión accidental de una señal de voltaje a una frecuencia armónica, se refiere a la condición en la que la magnitud de la variable obtiene el valor máximo posible, cuando el sistema recibe una señal de excitación cuya frecuencia es igual a la frecuencia natural del sistema físico, esto expone al equipo a sobrevoltajes o sobrecorrientes elevadas.

Este suceso trae como consecuencia un aumento en el esfuerzo eléctrico de los equipos. Este fenómeno se produce en el circuito que tiene elementos reactivos (bobinas y condensadores), y se producen cuando es recorrido por una corriente, a una frecuencia tal que se hace que la reactancia se anule. En el caso que estén L y C en serie, o se haga infinita si L y C están en paralelo [20].

$$X_C = X_L \quad (3.27)$$

Donde:

X_C : Reactancia Capacitiva

X_L : Reactancia Inductiva

3.9.1 Frecuencia de resonancia

Para determinar la frecuencia de resonancia es de gran importancia comprender como será el correcto funcionamiento del modelo, por lo cual primero debemos basarnos en un plano fasorial.

$$X_L = L \times \omega_0 \quad (3.28)$$

$$X_C = \frac{1}{C \times \omega_0} \quad (3.29)$$

Donde:

X_C : Reactancia Capacitiva en ohm

X_L : Reactancia Inductiva en ohm

ω_0 : Frecuencia Angular de resonancia (rad/sg)

$$\omega_0 = 2\pi \times f_0 \quad (3.30)$$

La resonancia es un fenómeno que ocurre cuando (5) es igualado a (6). Será el punto máximo donde la tensión en el inductor aumentará mientras que la corriente que por el circula disminuye. Gracias a ello es posible aumentar la distancia entre emisor y receptor con la mayor eficiencia posible. Luego de igualar (5) con (6), sustituyendo en esa igualdad a (7) y realizando el acomodo pertinente puede ser deducida la siguiente expresión matemática [2].

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \times \sqrt{L \times C}} \quad (3.31)$$

Donde:

f_0 : Frecuencia de resonancia (Hz)

L: Inductor (F)

C: Condensador (H)

3.10 CORRIENTES DE FUGA

Se define como corriente de fuga aquella que, en ausencia de fallos en una instalación, se transfiere a la tierra o a los elementos conductores del circuito. En cualquier instalación eléctrica, por el conductor de protección circula cierta corriente a tierra, conocida también como corriente de fuga. Estas fugas de corriente se producen normalmente a través del aislamiento que rodea a los conductores y por los filtros que protegen los equipos electrónicos [21].

Las corrientes de fuga son habituales en muchos receptores en condiciones normales de funcionamiento derivan una cierta corriente desde los conductores de alimentación hacia el conductor de protección (PE). Esto se produce normalmente en los filtros que estos receptores utilizan para cumplir con la normativa de compatibilidad electromagnética y evitar interferencias. Estos filtros están formados por condensadores conectados a tierra.

Dependiendo del número de receptores, la suma de estas corrientes de fuga puede provocar el disparo de los diferenciales, por tanto, se debe tratar de repartir los receptores que provocan fugas en distintos diferenciales, y verificar que la intensidad de fuga (I_f) total de los circuitos agrupados aguas abajo a cada diferencial no superan los valores indicados en la norma UNE-HD 60364-5-53 cumpliéndose que $I_f \leq I\Delta * 0.3$, o lo que es lo mismo, que la (I_f) no supere nunca, el 30% del valor de la intensidad de sensibilidad corriente (I_A) del diferencial [21].

3.11 ARMÓNICOS

Los armónicos pueden aparecer en voltajes o corrientes y tener una forma de onda sinusoidal con frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia de línea (referida como frecuencia fundamental; típicamente 50 Hz o 60 Hz). Los armónicos se combinan con el voltaje o la corriente fundamental y crean una distorsión de la forma de onda. Las distorsiones armónicas se generan debido a las características de carga no lineal de los dispositivos. Estos dispositivos

generalmente se pueden modelar como fuentes de corriente que inyectan corrientes armónicas en el sistema de potencia.

La distorsión de voltaje ocurre porque estas corrientes causan caídas de voltaje no lineales en la impedancia del sistema. La distorsión armónica es una preocupación creciente para muchos clientes y para el sistema eléctrico en general debido a la creciente aplicación de dispositivos electrónicos de potencia [9].

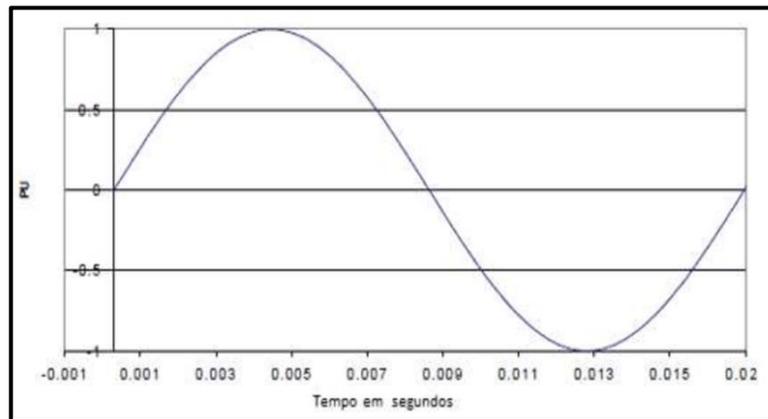


Figura 3.7 Onda sinusoidal sin armónicos [22].

Los niveles de distorsión armónica se pueden caracterizar por el espectro armónico completo con magnitudes y ángulos de fase de cada componente armónico. También es común usar una sola cantidad, Distorsión armónica total, como medida de la cantidad de distorsión armónica. Las corrientes armónicas resultan del funcionamiento normal de los dispositivos no lineales en el sistema de potencia [9].

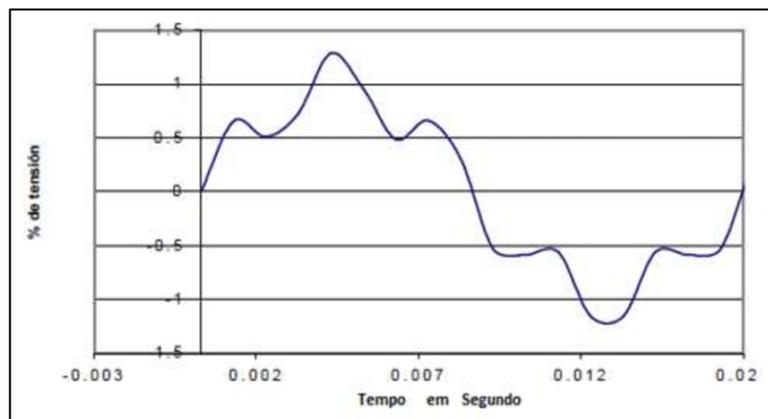


Figura 3.8 Onda sinusoidal con armónicos [22].

3.11.1 Orden de armónicos

Es la relación de la frecuencia del armónico y la fundamental.

Tabla 3.3 Orden de armónicos.

Orden de armónico	Frecuencia	
	50 Hz	60 Hz
3	150	180
5	250	300
7	350	420
11	550	660

3.11.2 NORMATIVA IEEE 519-2014

La normativa Internacional IEEE 519-2014 está enfocada principalmente en los armónicos generados por cargas no lineales, con la intención de que los problemas de calidad eléctrica puedan ser previstos. De igual manera esta norma toma en cuenta la distorsión total e individual de voltaje y corriente [8].

- **Límites de armónicos recomendados**

Los valores recomendados en la normativa IEEE 519-2014 se basan en el hecho de que un cierto grado de distorsión de voltaje es generalmente aceptable, y tanto los propietarios u operadores del sistema como los usuarios deben trabajar juntos para mantener la distorsión de voltaje real por debajo de los niveles aceptables.

- **Límites de voltaje armónico recomendados**

En el punto de conexión común (PCC), los propietarios u operadores del sistema deben limitar los armónicos de voltaje de línea a neutro de la siguiente manera [9]:

1. Los valores diarios del percentil 99 th por muy poco tiempo (3 s) deben ser menos de 1,5 veces los valores dados en la Tabla 3.3.
2. Los valores semanales del percentil 95 de tiempo corto (10 min) deben ser menores que los valores dados en la Tabla 3.3.

Tabla 3.4 Límites de distorsión de voltaje [9].

Voltaje de bus V en PCC	Armónico individual	Distorsión Armónica Total THD
$V \leq 1.0 \text{ KV}$	5,0%	8,0%
$1 \text{ KV} < V \leq 69 \text{ KV}$	3,0%	5,0%
$69 \text{ KV} < V \leq 161 \text{ KV}$	1,5%	2,5%
$161 \text{ KV} < V$	1,0%	1,5%

3.11.2.1 Distorsión armónica de corriente

Se evaluará la distorsión armónica individual de corriente y la distorsión de demanda total, se usan las siguientes ecuaciones:

$$I_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (I_{h,i})^2} \quad (3.32)$$

$$DI_{h,k} = \frac{I_{h,k}}{I_{h,1}} * 100[\%] \quad (3.33)$$

$$TDD_k = \left[\frac{1}{I_{h,1}} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (I_{h,i})^2} \right] * 100[\%] \quad (3.34)$$

Donde:

$I_{h,k}$: Armónica de corriente h en el intervalo k de 10 minutos.

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

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

TDD_k : Factor de distorsión de demanda total (armónicos de corriente).

$I_{h,1}$: Valor eficaz(rms) de la componente fundamental de corriente (60 Hz).

- **Límites de distorsión de corriente recomendados para sistemas con clasificación nominal de 120 V a 69 KV.**

Los límites se aplican a los usuarios conectados a sistemas donde el voltaje nominal en el PCC es de 120 V a 69 kV. En el PCC, los usuarios deben limitar sus corrientes armónicas de la siguiente manera:

1. Las corrientes armónicas diarias del percentil 99 th de muy corto tiempo (3 s) deben ser menos de 2.0 veces los valores dados en la Tabla 3.4.
2. Las corrientes armónicas semanales del percentil 99 th de corto tiempo (10 min) deben ser menos de 1,5 veces los valores dados en la Tabla 3.4.
3. Las corrientes armónicas semanales del percentil 95 de corto tiempo (10 min) deben ser menores que los valores dados en la Tabla 3.4.

Todos los valores deben expresarse en porcentaje de la corriente de demanda máxima, I_L . Este valor de corriente se establece en el PCC y debe tomarse como la suma de las corrientes correspondientes a la demanda máxima durante cada uno de los doce meses anteriores dividida por 12 [9].

Tabla 3.5 Límites de distorsión de corriente para sistemas clasificados de 120 V- 69 kV [9].

Distorsión máxima de corriente armónica en porcentaje de I_L						
Orden armónico individual (armónicos impares)^{a,b}						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	TDD
< 20 ^c	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20<50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50<100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100<1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
>1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

- Los armónicos pares están limitados al 25 % de los armónicos impares anteriores.
- Las presentes distorsiones dan como resultado una compensación de cd, por ejemplo, convertidores de media onda, no están permitidas.

Todos los sistemas de sistemas de generación de energía tienen como límite estos valores de distorsión actuales independientemente de:

$$\alpha = \frac{I_{cc}}{I_{Lpu}} \quad (3.35)$$

Donde:

I_{cc} = corriente máxima de cortocircuito en PCC.

I_L pu= corriente de carga de demanda máxima (componente de frecuencia fundamental) en el PCC en condiciones normales de funcionamiento de carga.

Según la Regulación ARCERNR 002/20 sobre la distorsión armónica de corriente, el consumidor cumple con el factor de distorsión armónica individual de corriente y con el factor de distorsión de demanda total en el punto de medición, cuando el 95 % o más de los valores registrados, en el periodo de evaluación de al menos siete días continuos, se encuentran dentro de los límites definidos en la Tabla 3.4.

3.12 FILTROS DE ARMONICOS

3.12.1 Filtros pasivos para mitigar armónicos

Las configuraciones que tiene un filtro pasivo están conformadas por distintos elementos que tienen como propósito reducir el flujo tensión o corriente armónica en una o varias barras de carga, equipos específicos en un sistema de potencia. Estos filtros tienen una combinación de inductores, condensadores y resistencias, las cuales son seleccionadas mediante cálculos, de tal manera que presenten una impedancia máxima o mínima en relación a las frecuencias específicas.

Los filtros pasivos no son adaptables ante cambios topológicos del sistema o condiciones de operación, situación en la cual no se encuentran sintonizados y pueden producir un incremento de la distorsión [23].

3.12.2 Filtro en serie

El filtro en serie es un dispositivo que se conecta a un sistema de potencia, este filtro está formado por un inductor y un capacitor en paralelo, sintonizados a una frecuencia de resonancia en específico. A la frecuencia fundamental pueden ser diseñados para brindar una baja impedancia y permitir el flujo fundamental con menores pérdidas. Los filtros en serie son un tipo de filtro que pueden bloquear una corriente armónica específica. Además, este tipo de filtro puede reducir corrientes elevadas de armónicos múltiplos de tres, lo que evita sobrecorrientes en el neutro del sistema eléctrico [23].

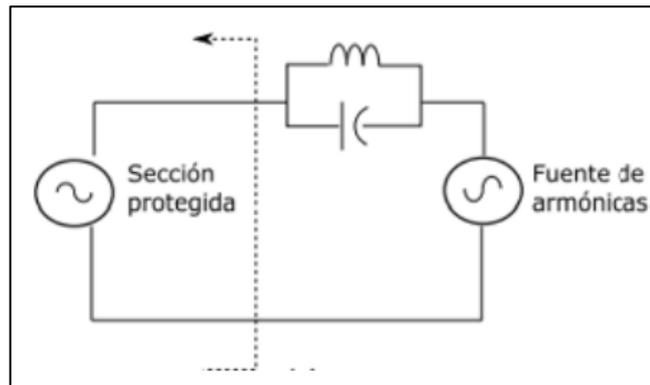


Figura 3.9 Modelo del filtro en serie [24].

3.12.3 Filtro en paralelo

Los filtros en conectados en paralelo son un tipo de filtro que proporciona una ruta de baja resistencia para las frecuencias armónicas. Están compuestos por una rama resonante con componentes resistivos, capacitivos e inductivos que conforman un circuito RLC conectado en paralelo al sistema de energía o al equipo necesario. Los filtros en derivación tienen mayores beneficios que los filtros en serie, ya que son más económicos, transportan las corrientes armónicas para las que fueron diseñados y aportan potencia reactiva al sistema, lo que ayuda a estabilizar el factor de potencia [23].

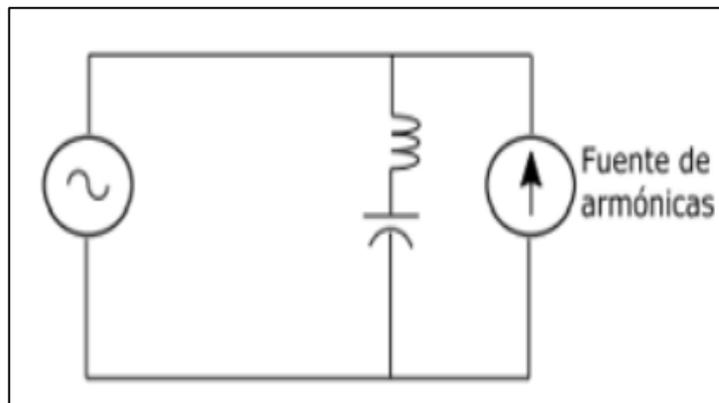


Figura 3.10 Modelo de filtro en paralelo [24].

3.12.4 Dimensionamiento de un filtro pasivo de armónicos

Una de las estrategias con mayor uso en el sector industrial es la implementación de filtros pasivos sintonizados para la mitigación de armónicos, debido a que presenta características

capacitivas, estos filtros permiten a su vez mejorar el factor de potencia, teniendo en cuenta las características eléctricas y los puntos de resonancia presentes en la red [24].

Para el dimensionamiento de un filtro pasivo se toma en cuenta las normativas IEEE 1131-2003 y la IEEE18. Un filtro normalmente se debe sintonizar a una frecuencia más baja de los armónicos más significativos, estos filtros se sintonizarán entre un 3 % y un 15 % por debajo de la frecuencia sintonizada [25].

Para la selección del condensador de contemplar las características comerciales que se exponen en la normativa IEEE 18-2002 tomando en cuenta la potencia reactiva efectiva y la impedancia efectiva del filtro como se muestra en las ecuaciones.

$$Q_{eff} = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \quad (3.36)$$

$$X_{eff} = \frac{(V_{LL\ sit})^2}{Q_{eff}} \quad (3.37)$$

Donde:

Q_{eff} =Potencia reactiva efectiva

X_{eff} = Reactancia efectiva

Se calcula la impedancia de la red a la frecuencia fundamental al igual que la impedancia capacitiva, inductiva, la capacitancia y la impedancia, aplicando las ecuaciones.

$$X_C = \frac{h^2}{h^2 - 1} x X_{eff} \quad (3.38)$$

$$C = \frac{1}{2 x \pi x f x X_c} \quad (3.39)$$

$$X_L = \frac{X_c}{h^2} \quad (3.40)$$

$$L = \frac{X_L}{2 x \pi x f} \quad (3.41)$$

Donde

X_L = Reactancia inductiva

X_c = Reactancia capacitiva

L = Inductancia

R = Resistencia

C = Capacitancia

Para el tipo el tipo de filtro se recomienda que el factor de calidad tenga un valor entre 20 y 30

$$R = \frac{XL (f_{Reson})}{Qf} \quad (3.42)$$

Para que el filtro presente un camino de baja impedancia a la frecuencia requerida se debe cumplir con la ecuación

$$XL = XC \quad (3.43)$$

La normativa IEEE 18-2002 para verificar que el filtro no sufra daños por posibles sobre corrientes debido a las corrientes armónicas, se debe corroborar que no exceda el 135 % a la corriente fundamental.

$$Ifund (1) = \frac{\frac{VLLsis}{\sqrt{3}}}{XC - XL} \quad (3.44)$$

$$\%margen\ de\ corriente = \frac{Itotal\ RMS}{total\ fund\ (1)} \times 100 \quad (3.45)$$

El voltaje pico del sistema no debe exceder el voltaje de diseño del banco de capacitor, es decir este no debe exceder el 120% del voltaje pico del sistema como se establece en la IEEE-18-2002.

$$\%margen\ de\ voltaje\ pico = \frac{VCL-N\ sist\ pico}{tVL-N\ sist\ picootal\ fund\ (1)} \times 100\% \quad (3.46)$$

Se verifica que el valor RMS no exceda el voltaje de diseño del banco de capacitores más del 110 % al voltaje de fase RMS del sistema.

$$\%margen\ de\ voltaje\ RMS = \frac{VCL-N\ RMS}{VL-N\ RMS} \times 100\% \quad (3.47)$$

Se corrobora la potencia reactiva con base en la norma IEEE 18 con las siguientes ecuaciones

$$Q3\emptyset\ recalada = \frac{(VCL-N\ RMS)^2}{XC} \quad (3.48)$$

$$\%margen\ de\ KVar = \frac{Q_{3\phi}\ recalcada}{Q_{eff}} \times 100\% \quad (3.49)$$

Finalmente se verifica que el calentamiento del dieléctrico del capacitor sea aceptable con base a la norma IEEE-18-2002. Este se evalúa por la desigualdad:

$$\sum_h [VC(h) I(h)] \leq 1,35 Q_{3\phi}\ recalcada \quad (3.50)$$

3.12.5 Dimensionamiento de un filtro activo para mitigar armónicos

Los filtros activos son dispositivos avanzados basados en electrónica de potencia que son mucho más costosos que los filtros pasivos. Sin embargo, tienen la ventaja de no tener problemas de resonancia con el sistema. El objetivo es corregir la forma distorsionada de la onda para convertirla en una onda sinusoidal mediante la inyección de distorsión armónica opuesta a la distorsión causada por cargas no lineales en el sistema.

Los filtros activos tienen características de compensación similares a las de los filtros pasivos, que son influenciadas por la impedancia del sistema y la carga. Sin embargo, tienen una mejor compensación armónica frente a variaciones en la impedancia de las corrientes armónicas, son capaces de absorber más de una armónica al mismo tiempo, ayudan a solucionar problemas de calidad de energía, corrigen el flicker y mejoran el factor de potencia. La aplicación de filtros activos está limitada por costos iniciales altos y no constituyen una solución efectiva ante cargas sobre los 500 kW [23].

4. MATERIALES Y MÉTODOS.

En este punto se describe la metodología, las técnicas de investigación, el sistema de procedimientos, equipos y materiales que fueron usados para el presente análisis. Se detallan los modelos metodológicos proponen un sistema de procedimientos técnicos y métodos para la interpretación de datos con el propósito de determinar parámetros importantes para una correcta investigación.

4.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1.1 Método Inductivo – Deductivo

Este método permitió determinar las condiciones del sistema eléctrico existente de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR”, en la cual se estableció los inconvenientes y causas de esta, con el fin de proponer soluciones adecuadas para mitigar las mismas. Por lo tanto, se realizó la recopilación de datos de cargas lineales y no lineales, elaboración del esquema unifilar correspondiente, el registro de datos de las perturbaciones por medio del analizador de redes Fluke 435-II, posterior a ello se efectúa el estudio de los parámetros de calidad de energía eléctrica. Por último, se realiza las debidas simulaciones utilizando el software ETAP con los datos obtenidos previamente, para solucionar las principales anomalías que afectan al sistema eléctrico.

4.1.2 Método Analítico – Sintético

Este método se usó para el estudio de la información relacionado al tema de estudio, por medio de la fundamentación teórica obtenida de diferentes fuentes bibliográficas como: libros, revistas científicas, entre otros sitios de investigación, estas facilitan el análisis de los diferentes inconvenientes y causas referentes a calidad de energía eléctrica, además de los procesos para la elaboración de simulaciones y por medio de ello plantear resoluciones a los fenómenos de más grande incidencia dentro del sistema eléctrico.

4.2 TIPOS DE INVESTIGACIÓN

4.2.1 Investigación Teórica

La investigación se llevó a cabo por medio de una recopilación bibliográfica en libros, revistas y artículos científicos, páginas webs y repositorios de universidades, obteniendo de esta forma información de fuentes fiables que dieron un fundamento teórico conciso a cerca de la calidad de energía eléctrica, para la comprensión de las normativas, IEEE, ARCERNNR 002/20 y su aplicabilidad en bajo voltaje.

4.2.2 Investigación de Campo

En esta investigación se realizó las visitas correspondientes a las instalaciones de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR” en el cantón Latacunga, en donde se realizó el levantamiento de cargas lineales y no lineales e identificar la distribución y conexión del sistema eléctrico general, mediante las mediciones se pudo obtener una recopilación de datos y características para el desarrollo del diagrama unifilar eléctrico de la empresa.

4.2.3 Investigación Descriptiva

Esta investigación permite detallar la información sobre las perturbaciones eléctricas presentes en la empresa, de igual manera los procedimientos necesarios para mitigar las mismas. Por lo tanto, la investigación descriptiva permite plantear posibles alternativas para mejorar el consumo energético en base al estudio de calidad de energía eléctrica.

4.3 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

4.3.1 Observación Directa y Participativa

Mediante la aplicación de esta técnica permitió tener un contacto directo con la empresa Induce, de igual manera con el personal administrativo y técnico del área de mantenimiento eléctrico, quien proporciono información para la identificación de las maquinarias, equipos y demás elementos eléctricos instalados.

4.3.2 Instrumentos de Investigación

Los instrumentos de investigación utilizados en este tema de estudio fueron las fotografías de las cargas, maquinaria, elementos eléctricos y electromecánicos de la empresa INDUCE DEL ECUADOR que puedan tener alguna relación con las perturbaciones en el sistema eléctrico, además las fichas de registro en donde se anotó las características y datos de los conductores, maquinarias y demás elementos eléctricos.

4.4 METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS

Para la determinación de los parámetros eléctricos se utilizará la metodología mostrada en la Figura 4.1, la cual empieza por la inspección de los equipos y máquinas eléctricas existentes en la empresa, lo cual se realiza mediante el levantamiento de cargas y la recopilación de datos de placa de cada máquina, conductores y tableros de distribución, esto permitirá la elaboración del diagrama eléctrico unifilar mediante el uso del software AutoCAD, posterior a eso se aplica la normativa nacional ARCERNN 002/20 la cual establece los parámetros eléctricos a ser analizados y la normativa internacional IEEE std 1159 que permite seleccionar el equipo a utilizar “analizador de redes FLUKE 435 II” , el cual se ubica en la salida del tablero principal, el registro de los datos se lo realiza en el periodo de siete días a un intervalo de diez minutos.

Luego del tiempo transcurrido de medición se procede a la descarga de los datos del analizador mediante el software PowerLog de FLUKER que permite transferir los datos al computador y se procede al análisis de los mismos, con la información obtenida se procede a realizar la simulación en el software ETAP 20.0.0, para posteriormente realizar diferentes escenarios para encontrar posibles soluciones.

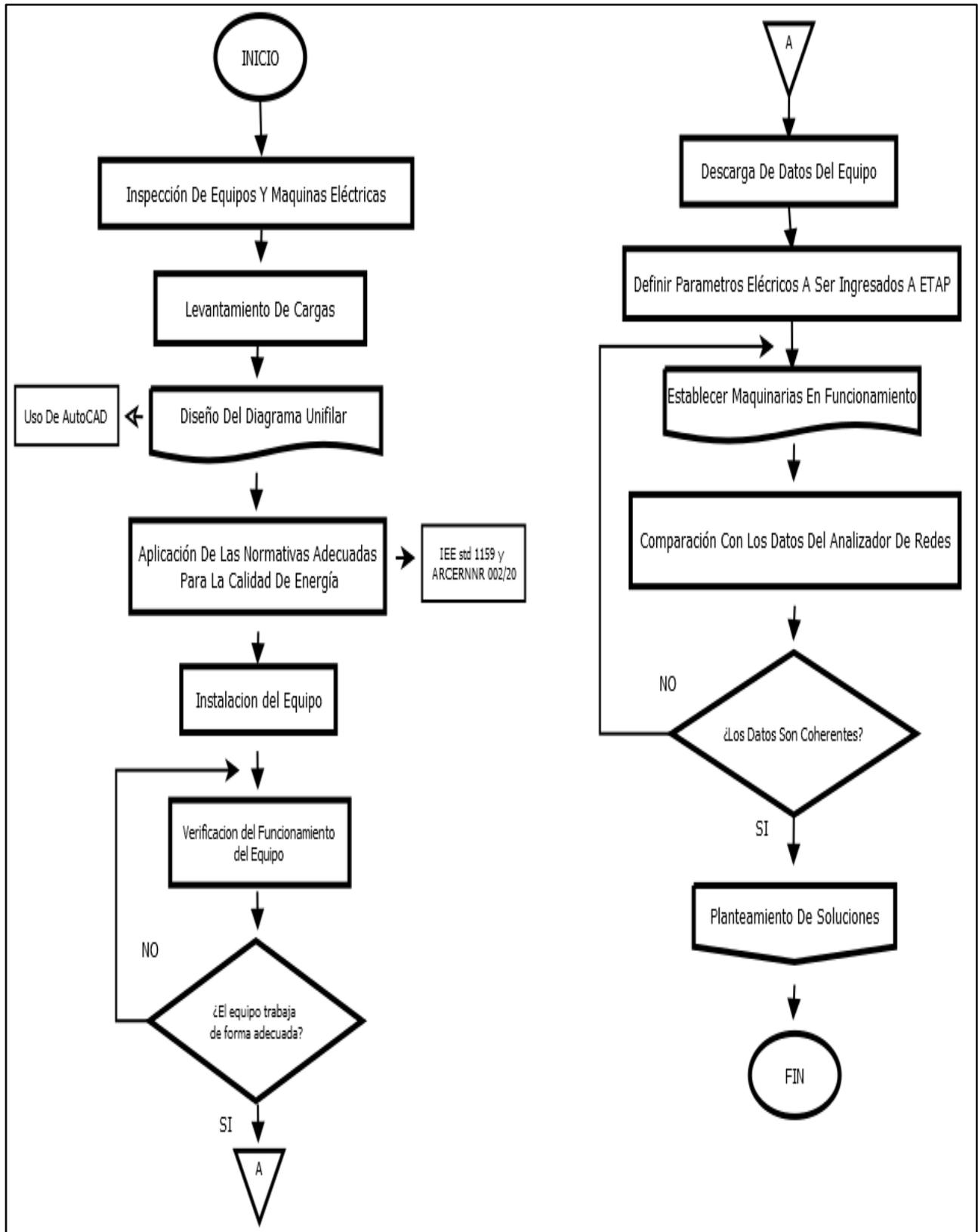


Figura 4.1 Método de selección del analizador de redes.

4.5 OBTENCIÓN DE DATOS

Para la determinación de los datos de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR” se estableció 12 pasos los cuales se describen a continuación:

4.5.1 Paso 1: Reconocimiento de las áreas de la empresa

Se realizó una inspección visual de la empresa en general, con la colaboración del personal encargado del sector eléctrico, el cual permitió identificar la ubicación desde una vista exterior de cada galpón en las instalaciones de la empresa, así como la distribución física interior de las maquinarias y los equipos eléctricos en cada área ver el Anexo A.

4.5.2 Paso 2: Levantamiento de cargas, registro de equipos y maquinas eléctricas existentes

Se procedió a la recopilación de la información correspondiente a los datos de placa de todas las maquinarias, equipos eléctricos y conductores de la empresa. Uno de los principales problemas que se presentó fue que algunos de los datos de placa en los motores trifásicos y maquinas no eran legibles e inaccesibles, para esto se obtuvo mediante mediciones y la colaboración del técnico del área de mantenimiento eléctrico.

En la Tabla B.1 del Anexo B se presenta un listado de cargas lineales y no lineales registradas de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR”, destacando las cargas más importantes del área industrializada las prensas, CNC, dobladora, cortadora y flejadora de zinc con una potencia activa de 155 Kw de consumo. La potencia total instalada en el transformador de 100 KVA es de 395,80 Kw.

- **Verificación de los tableros de distribución eléctrica**

Para la verificación de los tableros de distribución se realizó una inspección general de los tableros principales, para tener los puntos de partida y así seguir el cableado hacia los subtableros, para lo cual se requiere de un equipo Seguidor de circuitos, en donde se pudo constatar de dos marcas: MASTECH MS5902 y Klein Tools modelo ET-310 (figura 4.2), en donde se realizó una comparación entre las dos marcas mencionadas, la marca MASTECH está

destinada más a la parte de instalaciones domiciliarias ya que su alcance de recepción es limitada.

Por otro lado la marca Klein Tools está destinada tanto para instalaciones domiciliarias como industriales con una distancia mayor, siendo esta una marca más reconocida; para ello se optó por la marca Klein Tools, en donde este nos permite identificar dos puntos entre un tablero y otro, ya que no se tenía constancia ni el registro de un diagrama eléctrico y conexión de la instalación eléctrica en la empresa, además de la falta de cumplimiento a las normas con respecto a instalaciones industriales.



Figura 4.2 Seguidor de circuitos Klein Tools ET-310.

Para el registro de los datos se realizó mediante apuntes del número de tablero de distribución, previamente enumerados e identificados, el valor de los amperes de cada breaker y por último la respectiva conexión hacia los puntos de carga existentes.

4.5.3 Paso 3: Diseño del diagrama unifilar de cargas

Se realizó el diseño del diagrama unifilar del sistema eléctrico de la empresa, donde este permite tener un panorama de la estructura de las instalaciones eléctricas y el funcionamiento del sistema de distribución eléctrica en la empresa, para la elaboración del diagrama unifilar se tomó en cuenta la norma IEC 60617, debido a que los elementos eléctricos instalados en la empresa se encuentran bajo la norma mencionada. Con los datos obtenidos en el paso 2 se procedió al diseño del diagrama unifilar mediante el software AutoCAD 2020, el cual nos servirá como punto base para el estudio (Ver Anexo C).

4.5.4 Paso 4: Evaluación del consumo eléctrico y egresos económicos

Se realiza la evaluación del consumo eléctrico a través de las planillas emitidas por la Empresa Eléctrica ELEPCO S.A. desde el año 2019 al 2022, el registro de los datos se llevó por medio del software Excel en el cual se calcula los egresos económicos por penalizaciones, la energía total consumida en los años mencionados y las respectivas tabulaciones, para conocer a profundidad el estado de la empresa con respecto a la energía eléctrica.

4.5.5 Paso 5: Condición para el análisis de carga

Se tomó en consideración la normativa internacional IEEE std 1159, la cual menciona que el periodo de evaluación del equipo no debe ser menor a siete días continuos y su registro de datos deben estar en un intervalo de 10 minutos.

4.5.6 Paso 6: Características del equipo

Mediante la regulación IEEE std 1159, los parámetros del equipo analizador deben medir y dar registro de las siguientes variables:

- Voltaje
- Potencia de carga
- Armónicos de voltaje y corriente
- Flickers
- Sags y Swells
- Desbalance de voltaje

Este a la vez permitirá registrar estos parámetros en una red trifásica de 4 hilos, ya que esa es la conexión presente en el transformador de la empresa Induce [24].

4.5.7 Paso 7: Determinación del analizador de redes

Para la evaluación de la energía y parámetros eléctricos presentes en la empresa Induce del Ecuador se utilizó el equipo analizador de redes trifásico de energía y calidad de energía eléctrica, el modelo del equipo es FLUKE 435 – II, el cual se muestra en la Figura 4.3.

El equipo fue instalado en todas las fases de los bornes de las entradas al tablero principal, las mediciones se efectuó en el transformador de 100 KVA correspondiente a toda la empresa. Los parámetros que se obtuvieron fueron: Potencia Activa (P), Potencia Reactiva (Q), Potencia Aparente (S), Voltaje (V), Corriente (I), Frecuencia (f) y Factor de Potencia (FP) de la red pertenecientes a la empresa Induce del Ecuador en la cual se realizó el análisis.



Figura 4.3 Analizador de redes trifásico de energía y calidad de energía eléctrica FLUKE 435-II [23].

Características

- Estudio avanzado del estado de la calidad eléctrica.
- Calculadora de pérdidas de energía.
- Máxima categoría de seguridad.
- Registro de la energía eléctrica y de los parámetros establecidos de hasta un mes y medio.
- Control de la demanda máxima con relación a la potencia en periodos medios definidos en base a las necesidades del usuario.
- Verificación de consumo de energía para evidenciar las ventajas aportadas por las mejoras realizadas.
- Captura de fluctuaciones de tensión debido a la conexión y desconexión de una gran carga.
- Fácil configuración del instrumento mediante la visualización en color de las formas de los fasores de corriente y voltaje.
- Medida de las tres fases y el neutro con las sondas flexibles incluidas.

- Generación de informes y visualización de gráficos mediante el software PowerLog 430-II.

Para la elección del instrumento de medida (Analizador de Redes) para el estudio de este proyecto, se consideró los siguientes criterios:

- **Calidad:** El analizador fue creado y verificado conforme a la norma EN61010 – 2ª edición “2001”, para instrumentos con requisitos de seguridad para equipos eléctricos de medida, control de las medidas y uso de laboratorio, Clase III, Grado 2 de contaminación.
- **Memoria:** El analizador cuenta con una tarjeta de memoria SD de 8 GB para el almacenamiento de datos de medida.
- **Interfaz:** El analizador está equipado con una interfaz USB aislada para establecer comunicación con una PC u ordenador personal. Para la conexión con el puerto USB de una PC u ordenador personal, se suministra un cable de interfaz tipo “USB-A a mini – USB”, el cual permite tener un enlace de comunicación con un ordenador personal con la comunicación RS – 232 con la opción GPS430.
- **Velocidad de muestreo:** La velocidad de muestreo para la detección de transitorios es de 200 Ks/s, a de más que se puede capturar un máximo de 9.999 eventos.
- **Frecuencia nominal:** 50Hz/60Hz, conforme la norma IEC 61000-4-30 y a demás seleccionable por el usuario, con una sincronización automática.
- **Alimentación eléctrica:** El analizador consta con una batería de iones de litio de 28Wh, el cual se lo puede alimentar durante más de 7 horas.

Los criterios mencionados anteriormente se los tomo en consideración al manual del usuario FLUKE 434-II, 435-II,437-II Analizador trifásico de energía y calidad de la energía eléctrica el cual proporciona la información necesaria del equipo [25].

Adquisición de datos

Mediante la norma IEEE Std 1159, debido a la ocurrencia de la alteración de la calidad de la energía eléctrica es altamente impredecible, el control de la calidad de la energía debe ser registrada y procesado los datos continuamente para así poder mejorar su tiempo de registro.

Para las señales transitorias de alta frecuencia se las puede capturar mediante detectores de pico doble los cuales son de respuesta rápida, ventana estrecha, reiniciables o, por lo general, convertidores analógicos de alta velocidad. A partir de los datos de muestra sin procesar y valores RMS, se calculan varios parámetros adicionales en cada ciclo o en cada X ms ventana, dependiendo del parámetro.

Como ejemplo, el voltaje por lo general se mide ciclo por ciclo, donde X sería 16.66 ms para 60 Hz. Para la medición de armónicos, esta ventana suele ser de 200 ms, en donde estos parámetros incluyen los parámetros de potencia y energía, además de parámetros armónicos. La velocidad de muestreo para la detección de transitorios del analizador trifásico de energía y calidad de la energía eléctrica FLUKE 435-II es de 200 Ks/s a una frecuencia de 60 Hz, lo que cumple con los criterios para la adquisición de datos [24].

4.5.8 Paso 8: Conexión del equipo a la red trifásica

El analizador posee 4 entradas BNC las cuales corresponden a las pinzas amperimétricas y 5 entradas tipo banana adicionales para la tensión. La conexión en un sistema trifásico se la realiza como se muestra en la Figura 4.4.

Como primer paso para la conexión del analizador de redes al sistema trifásico, se iniciará con la colocación de las pinzas amperimétricas alrededor de los conductores de fase A (L1), B(L2), C (L3) Y N (Neutro). Las pinzas se encuentran marcadas con una flecha la cual indica la polaridad correcta. Como segundo paso se tiene la conexión de tensión, que para ello se comienza por la conexión a tierra y, después, en sucesión N, A (L1), B (L2) y C (L3).

Como tercer paso y último se debe siempre comprobar dos veces las conexiones, que las pinzas amperimétricas están firmemente fijadas y completamente cerradas alrededor de los conductores [25].

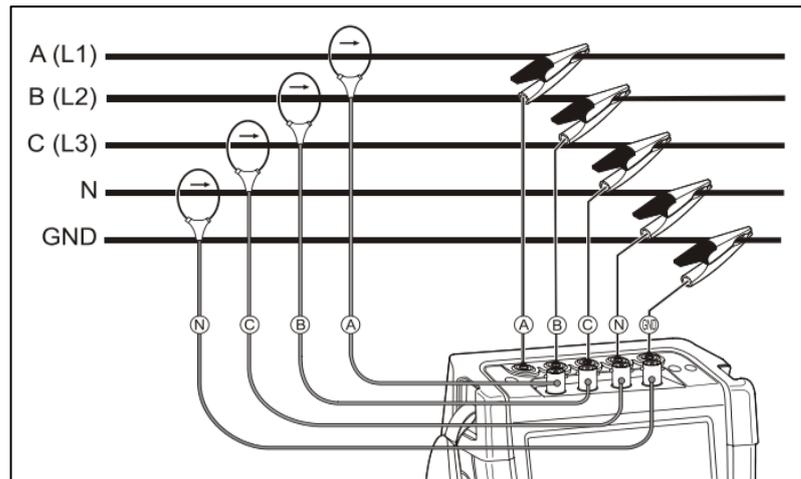


Figura 4.4 Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico [24].

Lugar de instalación del analizador de redes

Para el análisis de calidad de energía eléctrica general del suministro a una instalación, el equipo se debe colocar en el secundario del transformador de entrada del servicio principal. El equipo registrara la calidad de energía suministrada a la instalación, así como el efecto de las principales cargas dentro de la instalación [24].

Para el análisis de calidad de energía eléctrica general del suministro a una instalación, el equipo se debe colocar en el secundario del transformador de entrada del servicio principal. El equipo registrara la calidad de energía suministrada a la instalación, así como el efecto de las principales cargas dentro de la instalación [24].

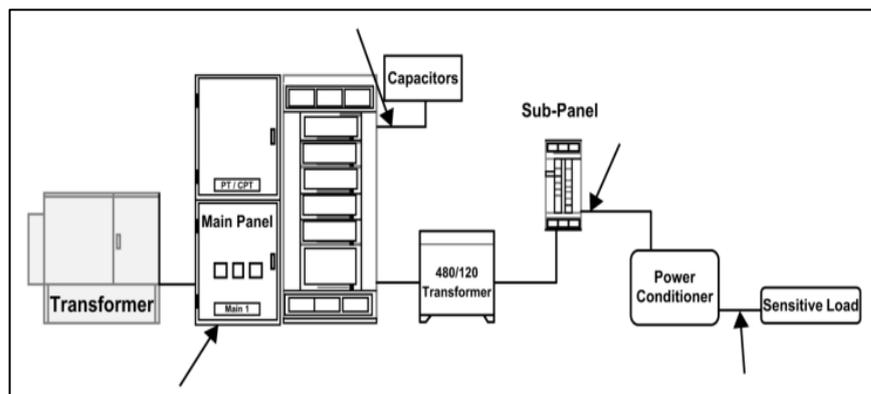


Figura 4.5 Ubicación de monitoreo sugeridas en un sistema típico de bajo voltaje (las flechas apuntan a la ubicación sugerida de las sondas) [22].

Para la obtención de los valores mínimos, máximos y promedio de los principales parámetros eléctricos en los días de medición, se procedió a la conexión del analizador de redes en el lado secundario del transformador de entrada principal de servicio al tablero principal de distribución, como dispone la normativa IEEE std 1159. La conexión fue realizada para un sistema trifásico de un transformador de 100 kVA de la empresa INDUCE DEL ECUADOR, como se muestra en la Figura 4.6.

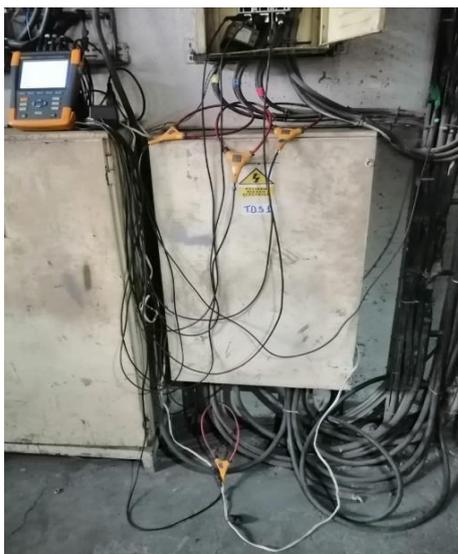


Figura 4.6 Conexión del analizador de redes en el tablero principal.

Se debe colocar de forma segura al analizador de redes para poder evitar cualquier movimiento que ocasione la desconexión del equipo, este no debe instalarse cerca de lugares de alta temperatura, humedad y polvo que puedan averiar al equipo u ocasionar un fallo en el proceso de recopilación de datos [24]

4.5.9 Paso 9: Verificación del funcionamiento del analizador de redes

Para el registro correcto de datos es preciso contar con un analizador de redes previamente calibrado por un instituto de calibración y ensayo, antes de iniciar con la recopilación de datos, se debe comprobar la pantalla del osciloscopio, su diagrama fasorial el cual se puede verificar si los cables de voltaje y las sondas amperimétricas están conectadas correctamente. En el diagrama vectorial, las corrientes y los voltajes de fase A (L1), B (L2) y C (L3), deben aparecer sucesivamente cuando se observan en el sentido de las agujas del reloj como se indica en la Figura 4.7.

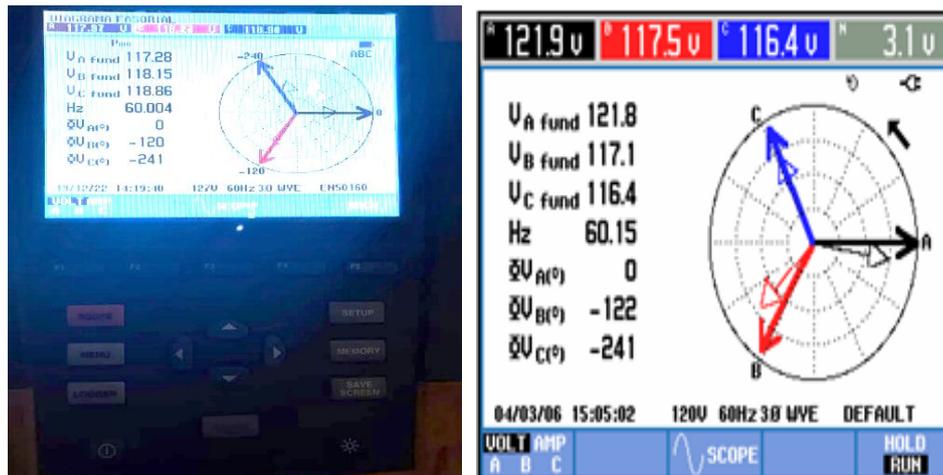


Figura 4.7 Diagrama fasorial de corrientes y voltaje.

Condiciones para la medición del analizador de redes

En la paso 5 la normativa internacional IEEE std 1159 menciona las condiciones de análisis, parámetros eléctricos, medición, registro y almacenamiento de los datos obtenidos en cada punto seleccionado, la cual establece que el periodo de evaluación del equipo no debe ser menor a siete días continuos y su registro de datos debes estar en un intervalo de 10 minutos, en donde el analizador de calidad de energía eléctrica realizará el registro de los datos por una semana.

El periodo de análisis del transformador de capacidad de 100 kVA correspondiente a la empresa INDUCE DEL ECUADOR va desde las 15:00 pm del 19 de diciembre hasta las 12:00 pm del 26 de diciembre del 2022, con un total de 168 horas tomando datos cada 10 minutos, según lo mencionado anteriormente.

4.5.10 Paso 10: Obtención y descarga de datos medidos por el analizador de redes

Una vez finalizado el registro de las mediciones a través del analizador trifásico de energía y calidad de la energía eléctrica FLUKE 435-II, mediante el software Power Log de FLUKE o mediante la tarjeta SD del equipo permite transferir los datos al computador. Los resultados de los parámetros eléctricos o sabana de datos, se puede obtener durante cualquier día y hora del periodo total de medición y se puede exportar en formato (.csv) el cual es una extensión del programa de cálculo Excel [26].

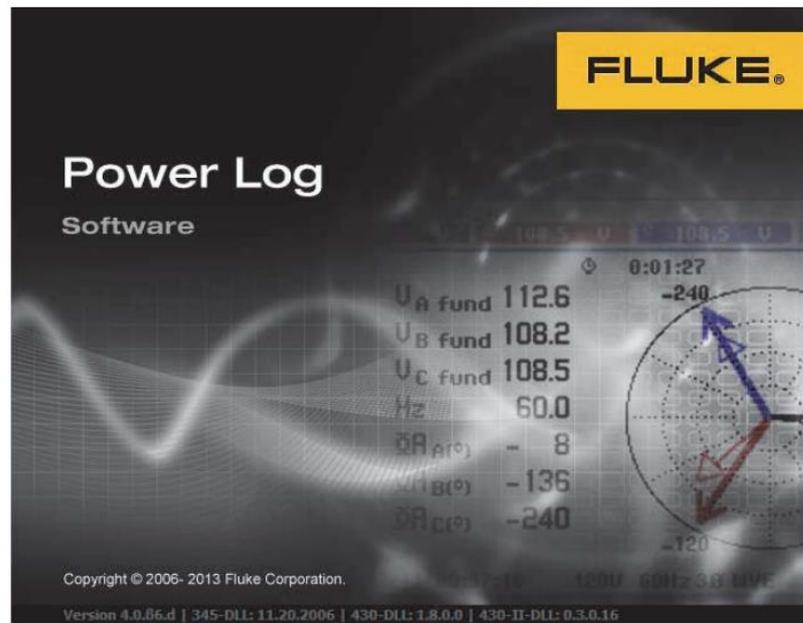


Figura 4.8 Software Power Log FLUKE [24].

4.5.11 Paso 11: Condiciones de diseño para la simulación

Los parámetros fundamentales que debe cumplir el software para el diseño de la simulación son:

- Consta con un modelamiento preciso de un sistema eléctrico de potencia trifásica, monofásico con una diversidad de elementos eléctricos.
- Modelamiento de elementos de instrumentación con análisis y coordinación de protecciones.
- Control interactivo gráfico con diagramas unifilares inteligentes y manejo de múltiples niveles de tensión.
- Visualización gráfica de los resultados directamente en el diagrama unifilar con formatos configurables.
- Cálculo de ampacidad y capacidad de carga con dimensionado de conductores de fase.
- Análisis de parámetros y perturbaciones eléctricas.

En base a los parámetros requeridos para el diseño de la simulación, el software ETAP es el indicado.

Software ETAP

ETAP es un software de ingeniería completo para el desarrollo de análisis, diseño, simulación y evaluación de sistemas de potencia contemplando la generación, transmisión, distribución y disposición final de la energía eléctrica. Cuenta con un número importante de librerías con amplia información de conductores, protecciones y paneles solares, los cuales son validados directamente con los fabricantes, proporcionando una representación más real del sistema eléctrico bajo estudio [27].

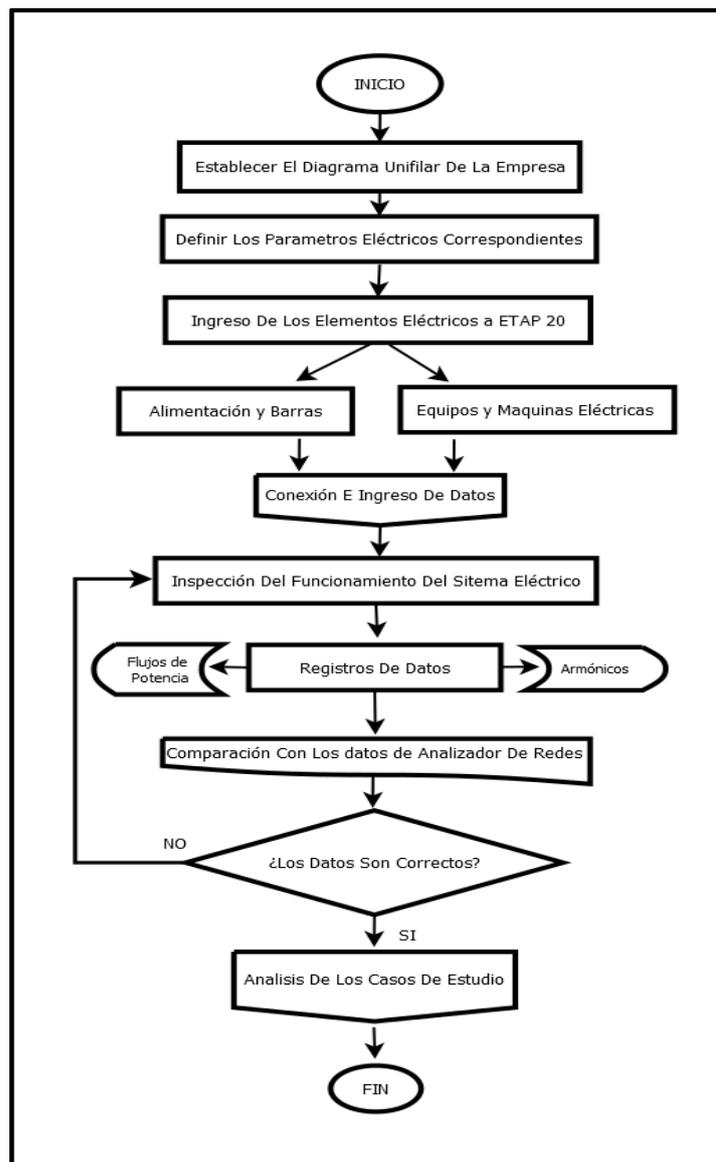


Figura 4.9 Diagrama de Flujo del procedimiento para la simulación del sistema eléctrico en ETAP 20.0.0.

Selección de los parámetros eléctricos y simulación del sistema eléctrico en ETAP 20.0.0

Mediante los datos obtenidos del sistema eléctrico de la empresa, se procede al ingreso de los valores al software seleccionado. Los parámetros considerados para el diseño son:

- Transformador trifásico de potencia.
- Cargas lineales y no lineales.
- Tipo y calibre de conductores.
- Distancia de distribución de conductores.

Para la simulación del sistema en el programa ETAP 20.0.0 se toma como referencia el procedimiento mostrado en la Figura 4.9. Se inicia con la identificación de los distintos elementos a ser simulados, además de los puntos de conexión común de cada rama, esto se realiza a través de los planos unifilares y el levantamiento de cargas. Sucesivamente se definen magnitudes de potencia, voltaje, corriente, factor de potencia a ser ingresados en el programa.

Estos datos se ingresan en el software de simulación para identificar cuáles son las perturbaciones en el sistema eléctrico y plantear soluciones adecuadas para mejorar la calidad de energía en la empresa.

4.5.12 Paso 12: Análisis del sistema de puesta a tierra de la empresa

En este paso se realizó la respectiva revisión del sistema de puesta a tierra en la empresa, en la cual no cuenta con un sistema de puesta a tierra, mediante la normativa IEEE 80-2013 se determinará la resistencia de la puesta a tierra mediante el uso del telurómetro BSIDE AER01, a causa de la obtención de una resistencia muy alta se procedió a la realización de la medición de la resistividad del suelo mediante el método de Wenner y telurómetro.

- **Telurómetro BSIDE AER01**

El telurómetro es un equipo que permite realizar mediciones en el sistema de puesta a tierra en parámetros de voltaje y resistencia, aplicando el método de Wenner para comprobar su correcto funcionamiento. Para ello se insertó 3 electrodos en el suelo en línea recta en sentido horizontal y vertical a una misma distancia y profundidad, la resistividad dependerá de las

mediciones de la distancia entre los electrodos y la resistividad el terreno. La Figura 4.10 se puede observar el modelo del telurómetro usado.



Figura 4.10 Telurómetro BSIDE AER01.

Se realizo varias mediciones a diferentes distancias y profundidades para poder determinar la resistencia del terreno de la puesta a tierra de la empresa en la Figura 4.11 se puede observar el proceso de la medición.

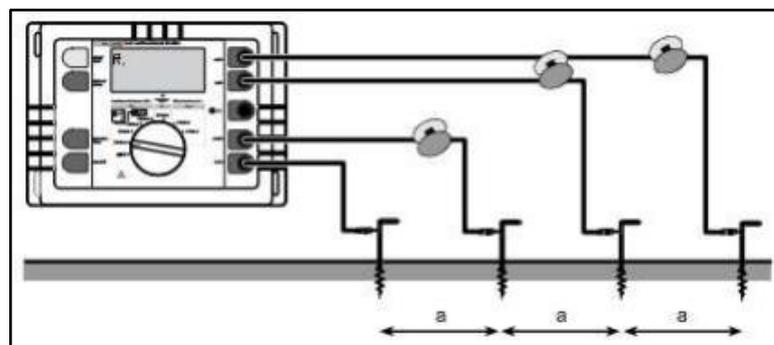


Figura 4.11 Medición de la resistencia del terreno con el telurómetro BSIDE AER01.

5. ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DE LA EMPRESA

Actualmente el sistema de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR” cuenta con un transformador de potencia de 100 KVA con un nivel de voltaje de 220 V y 120 V, el transformador abastece a toda la empresa. La alimentación dispone de tres conductores por fase, cada fase cuenta con 2 cables del tipo TW 500 MCM para 600 V, y el neutro con un cable TW de 400 MCM. Los datos de placa del transformador se muestran a continuación en la siguiente Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Características del transformador de 100 kVA.

Norma	NTE INEN 2120
Marca	INATRA
Potencia	100 KVA
Voltaje Primario	13,8 V
Voltaje Secundario	220 V
Conexión	Dyn5
Impedancia	3 %
Frecuencia	60 Hz

El transformador de 100 KVA se conecta al tablero principal con una tensión de 220 V con cuatro conductores de aluminio tipo THHN calibre 2/0 AWG, estos se conectan a una protección de 320 A, que está encargado del suministro eléctrico total de la empresa como se muestra en la figura 5.1.

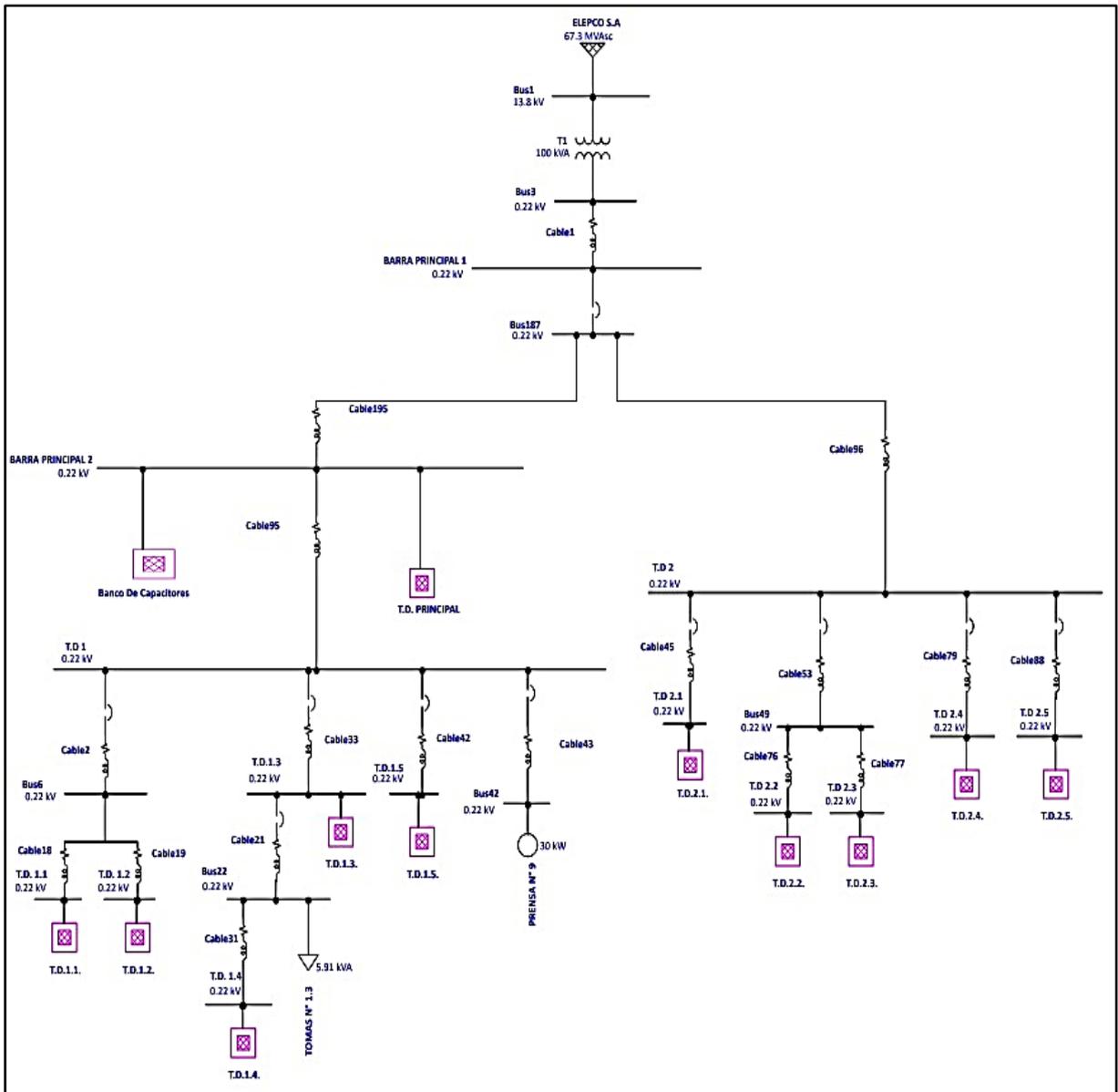


Figura 5.1 Sistema eléctrico alimentado por el transformador de 100 KVA.

5.2 ANÁLISIS DE FACTURACIÓN ENERGÍA ELÉCTRICA

Para analizar el consumo eléctrico, los egresos y el factor de potencia se tomó la información de las planillas emitidas por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi ELEPCO S.A. Se define que la empresa “INDUCE DEL ECUADOR” es un consumidor regulado a media tensión con una demanda horaria diferenciada para el sector industrial con demanda pico según el pliego tarifario de la Regulación Nro.ARCERNNR-009/2022.

El consumo de la energía eléctrica de la empresa se registra mediante el medidor de número 206 que se encuentra conectado en el lado de baja tensión del transformador de 100 KVA. Las tablas relacionadas con las facturas se detallan en el Anexo D.

5.2.1 Análisis eléctrico del consumo del medidor 206 de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR”

- **Consumo de energía kWh.**

El consumo de energía eléctrica del medidor 206 del transformador de 100 KVA presenta una reducción del consumo desde el año 2019 debido a que la empresa no se encontraba trabajando normalmente por motivo de la pandemia del COVID-19. Motivo por el cual la reducción del consumo anual a variado en el año 2020 un 6,42 %, en el año 2021 el consumo anual se redujo a un 9,31 % y en el año 2022 el consumo se incrementa a un 0,84 % con referencia al año 2019. En la figura 5.2 se puede evidenciar el comportamiento del consumo.

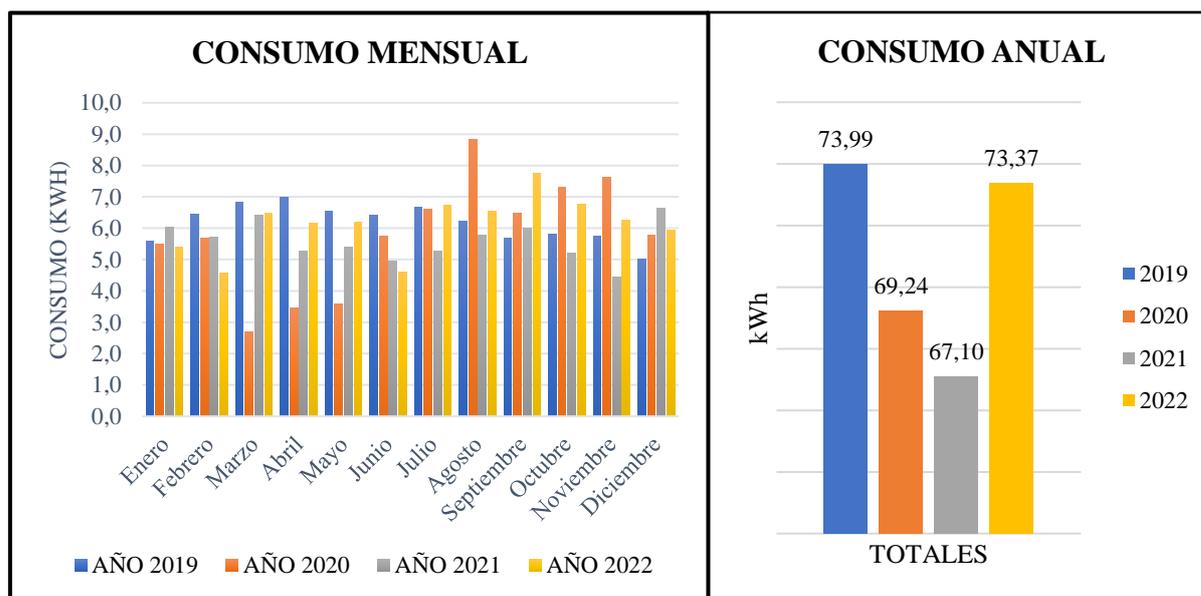


Figura 5.2 Consumo de la energía del año 2019 al 2022 del transformador de 100 KVA.

- **Demanda anual.**

La demanda anual en el transformador se toma en intervalo de 10 a 15 minutos durante el periodo de medición, la misma que es un pago adicional y no está vinculado al consumo, ya que el precio que excede la factura de la demanda base es de 4,576 (USD/Kw-mes), además de

que la demanda base varía en función del registro de la demanda mensual durante doce periodos incluido el actual.

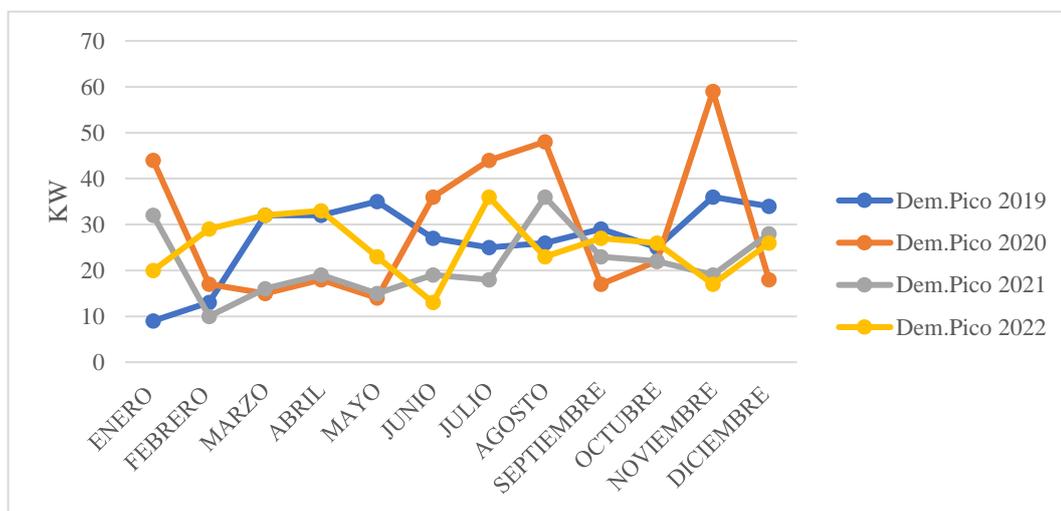


Figura 5.3 Demanda anual de los años 2019 al 2022 del transformador de 100 KVA.

En la figura 5.3 se puede observar la variación que existe de la demanda pico mensual en cada año siendo la más representativa la del año 2020 sufriendo un incremento en el intervalo noviembre – diciembre, presumiblemente este incremento se deba al incremento de producción.

• **Comportamiento del Factor de Potencia y Penalización.**

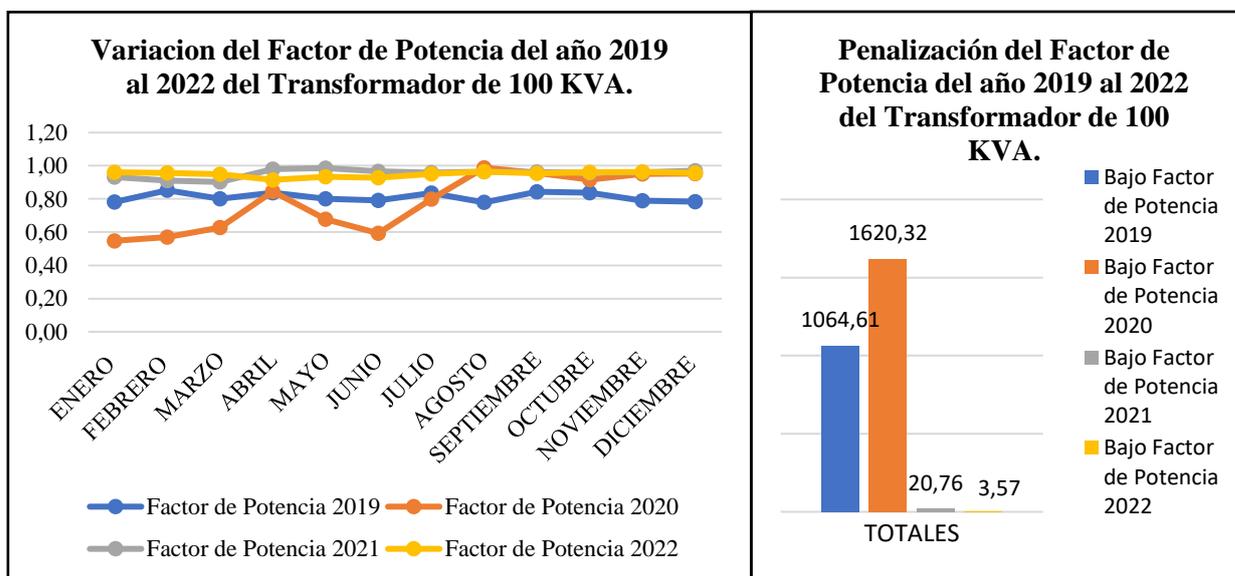


Figura 5.4 Pago de penalización por la variación del FP de los años 2019 al 2022 del transformador de 100 KVA.

La penalización del bajo factor de potencia que se observa en la Figura 5.4 del Transformador de 100 KVA, se ha ido incrementando según el registro de las planillas, llegando a elevarse las penalizaciones en el año 2020 a un 52,19 %, en el año 2021 presento un decremento del 98,05 % y en el año 2022 del 99,66 % con respecto al año 2019. Esto se debe a que en el año 2019 al 2020 la empresa no contaba con un sistema de compensación por el cual la penalización del bajo factor de potencia en el año 2020 es elevada, en el año 2021 la empresa instala un sistema de compensación el cual eleva el factor de potencia y así la penalización es muy baja.

- **Pagos realizados por el consumo eléctrico.**

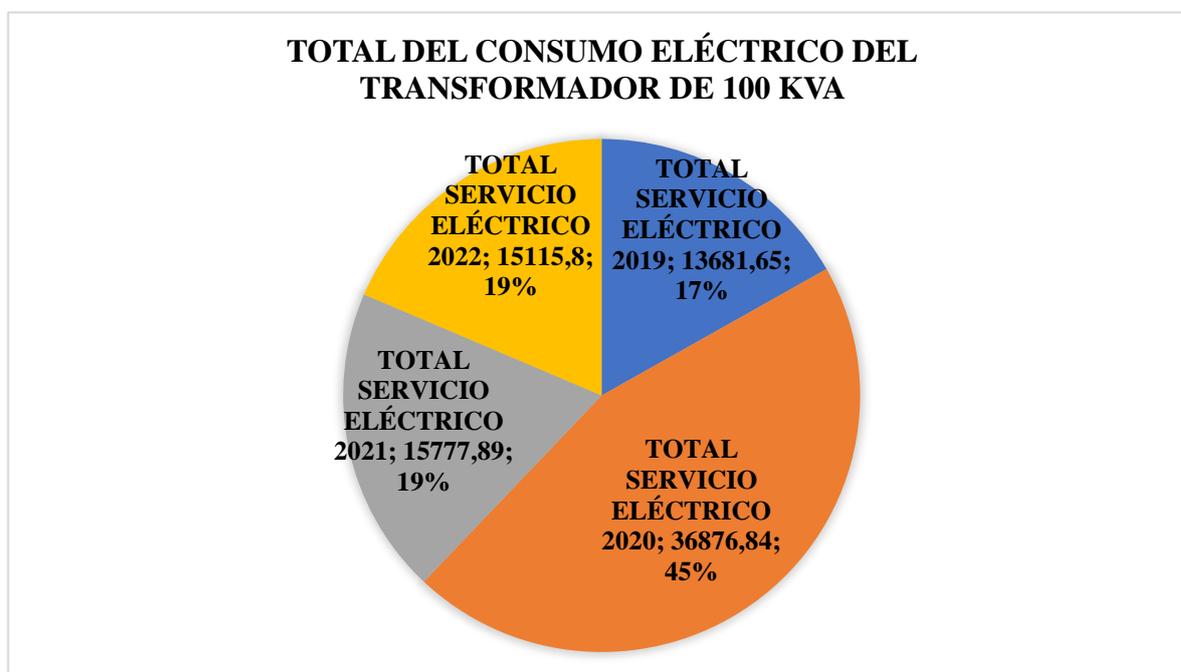


Figura 5.5 Pagos totales del consumo eléctrico del año 2019 al 2022 del transformador de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR”.

En la Figura 5.5 se observa los pagos efectuados por el consumo de energía eléctrica anual del transformador de 100 KVA en el año 2020, llega a pagar el 45 % del monto desembolsado debido a la penalización por el bajo factor de potencia, además una elevación de demanda pico superando la demanda referencial.

5.3 ANÁLISIS DE RECOPIACIÓN DE DATOS MEDIANTE EL ANALIZADOR DE REDES

5.3.1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS

5.3.1.1 Análisis de voltaje nominal Fase-Neutro (127 V)

De acuerdo a la Tabla 5.2, se puede verificar que el sistema eléctrico SI presenta variaciones de voltaje en el nivel de 127 V, estas se encuentran fuera de las tolerancias permisibles esto significa que la maquinaria existente en la Industria no está operando al voltaje ideal para los cuales fueron diseñados, este problema se presenta en mayor incidencia en la FASE A.

Tabla 5.2 Niveles de voltaje Fase-Neutro, variación de voltaje en el transformador.

FECHA	HORA	NIVEL DE VOLTAJE	Vrms ph-ph AN	Vrms ph-ph BN	Vrms ph-ph CN	Vrms ph-ph Promedio
25/12/2022	6:43	Mínimo	116,67	118,79	119,49	118,32
		Media	121,44	123,69	124,55	123,23
22/12/2022	14:23	Máximo	126,00	128,00	129,00	127,67

	% DE VARIACIÓN		ARCERNN 002/20
	Mínimo	Máximo	
V_{A-N}	0,79%	8,13%	No Cumple
V_{B-N}	0,79%	6,46%	Cumple
V_{C-N}	1,57%	5,91%	Cumple

En el porcentaje de variación de voltaje, la Fase AN excede los límites establecidos por la regulación Nacional ARCERNN 002/20 que la tolerancia permisible es del ($\pm 8\%$), lo cual la Fase AN no cumple con el límite establecido por la regulación mientras que las Fases BN y CN se encuentran dentro de los límites establecidos.

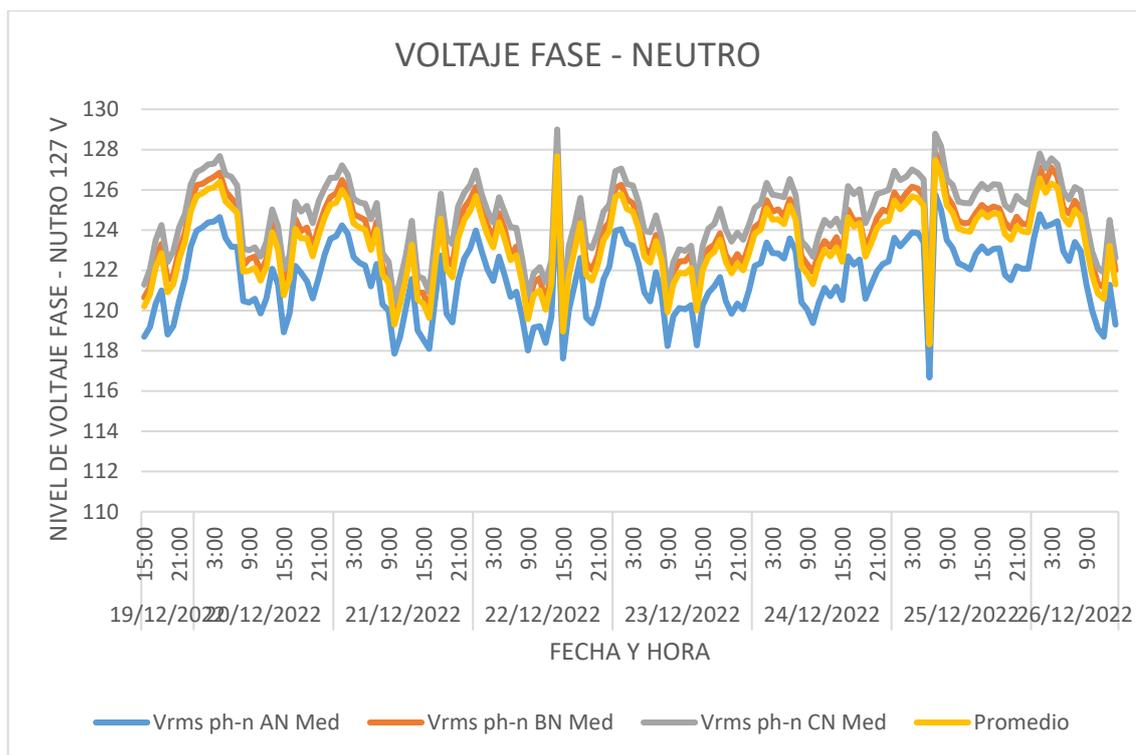


Figura 5.6 Niveles de voltaje Fase-Neutro.

En la Figura 5.6 se puede observar el comportamiento de los niveles de voltaje fase-neutro promedio de las tres fases de la Tabla 5.2, en donde se puede identificar que el promedio máximo es de 127,67 V, registrado el día 22 de diciembre del 2022 a las 14:23 pm y el promedio mínimo es de 118,32 V registrado el día 25 de diciembre a las 6:43 am.

5.3.1.2 Análisis del voltaje nominal Fase-Fase (220 V)

De acuerdo a la Tabla 5.3, se puede verificar que el sistema eléctrico si presenta variaciones de voltaje en el nivel de 220 V, estas se encuentran fuera de las tolerancias ($\pm 8\%$) en voltajes fase – fase.

Tabla 5.3 Niveles de voltaje Fase-Fase, variación de tensión en el transformador.

FECHA	HORA	NIVEL DE VOLTAJE	Vrms ph-ph AB	Vrms ph-ph BC	Vrms ph-ph CA	Vrms ph-ph Promedio
25/12/2022	6:43	Mínimo	204,02	208,77	204,64	205,81
		Media	212,25	217,54	213,10	214,30
22/12/2022	14.23	Máximo	220,00	225,00	221,00	222,00

	% DE VARIACIÓN		ARCERNN 002/20
	Mínimo	Máximo	
V_{A-B}	0,79%	8,13%	No Cumple
V_{B-C}	0,79%	6,46%	Cumple
V_{C-A}	1,57%	5,91%	Cumple

Se debe considerar que las variaciones de Voltaje en un Sistema Eléctrico pueden provocar daños parciales o totales a la maquinaria y equipos electrónicos que son susceptibles a estas variaciones, debido a que estos no pueden operar a un voltaje mayor o menor para los cuales fueron diseñados. En la Industria las variaciones de voltaje no presentan valores que sobrepasan a la normativa.

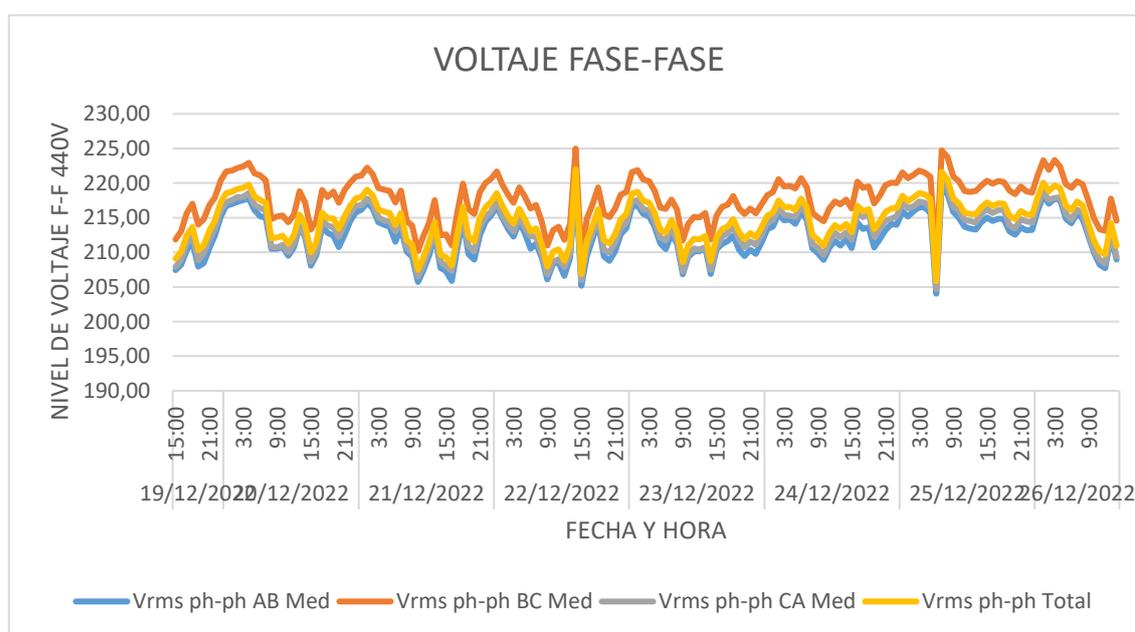


Figura 5.7 Niveles de voltaje Fase-Fase.

En la Figura 5.7 se puede observar el comportamiento de los niveles de voltaje fase-fase promedio de las tres fases de la Tabla 5.3, en donde se puede identificar que el promedio máximo es de 222 V, registrado el día 22 de diciembre del 2022 a las 14:23 pm y el promedio mínimo es de 205,81 V registrado el día 25 de diciembre a las 6:43 am.

5.3.1.3 Análisis del voltaje en el neutro

Tabla 5.4 Nivel de voltaje en el Neutro en el transformador.

FECHA	HORA	NIVEL DE VOLTAJE NEUTRO	Vrms ph-n NG
25/12/2022	6:43	Mínimo	1,23
		Promedio	1,37
22/12/2022	14:23	Máximo	2,68

En la Tabla 5.4 se muestra la variación de voltaje en el neutro, donde el pico más alto es de 2,68 Voltios. Tomando en cuenta que el nivel de voltaje en la línea del neutro debe ser cero o menor de 1 Voltio, se puede determinar que estos voltajes parásitos pueden ser producidos por la presencia de armónicas o se requiera un mantenimiento en la puesta a tierra.

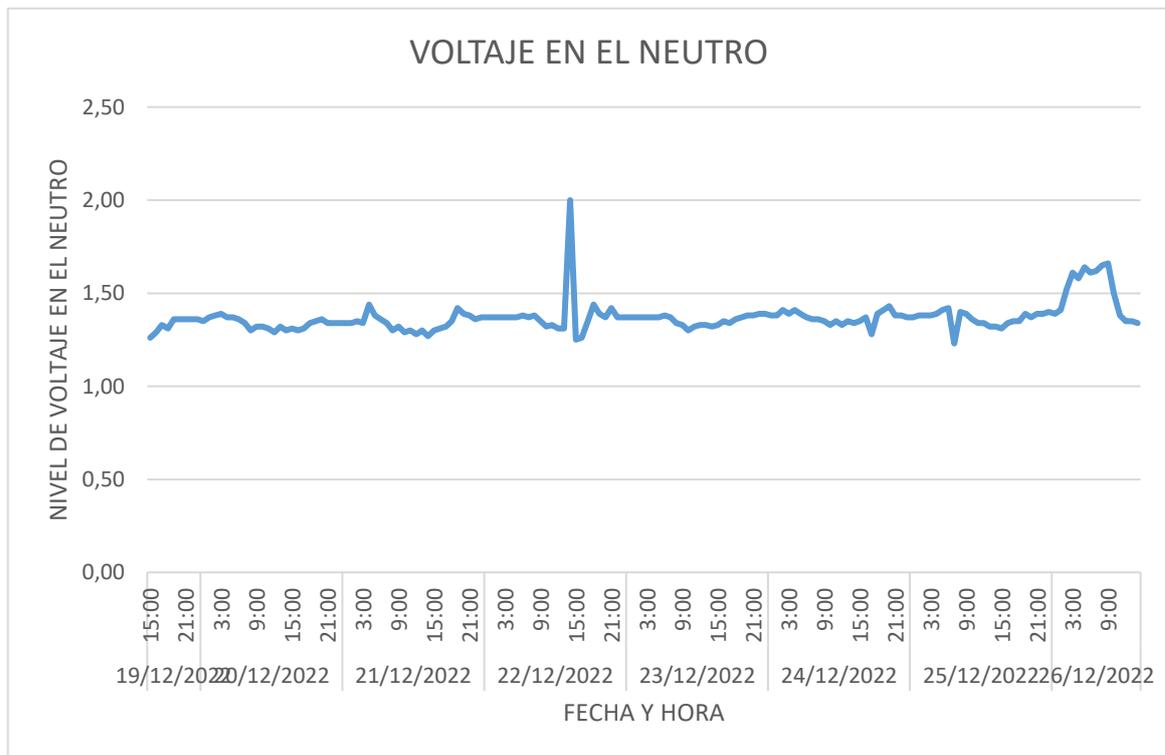


Figura 5.8 Nivel de voltaje en el neutro.

5.3.1.4 Análisis de desequilibrio de voltaje

El desequilibrio de voltaje se calcula obteniendo el valor máximo de voltaje y el valor promedio, durante el tiempo que se realizó el estudio. Para el cálculo del desequilibrio de voltaje se utilizó la ecuación 3.11 del apartado 3. Al aplicar la anterior fórmula se obtiene los siguientes resultados que se indica en la tabla de a continuación:

Tabla 5.5 Desequilibrio de voltaje.

V1	V2	V3	Vmax	Vmed	%D	Observaciones
220,00	225,00	221,00	225,00	222,00	1,35	Cumple

De acuerdo a la normativa IEEE Std 1159, el rango permitido que se puede obtener en el desequilibrio de Voltaje es de 0,5 – 5,0%. De acuerdo con la tabla anterior el desequilibrio de Voltaje está en el 1,35% por lo tanto está dentro de la normativa, concluyendo que no se encuentra desequilibrado el voltaje.

5.3.2 Análisis de la corriente de fase (Línea)

Las Corrientes de las fases eléctricas presentan un valor promedio aproximado de 16,66 Amperios en los periodos de trabajo normal. La figura 5.6 muestra picos de corriente máxima de hasta 145,33 Amperios los cuales se producen a las 10:03 de la mañana que pueden ser causados por el arranque de maquinaria o equipos, estas corrientes altas pueden provocar sobrecalentamiento en los equipos y causar sus fallos operacionales. Existe una corriente mínima de 1,33 Amperios a partir de las 09:13, la misma que se estabiliza a partir de las 10:00 de la mañana.

Tabla 5.6 Niveles de corriente en la fase (Línea) en el transformador.

FECHA	HORA	NIVEL DE CORRIENTE	Corriente ph-n AN	Corriente ph-n BN	Corriente Ph-n CN	Corriente ph-n Promedio	Corriente Neutro
25/12/2022	9:13	Mínimo	1,00	1,20	1,80	1,33	2,06
		Media	14,38	17,88	17,73	16,66	2,42
21/12/2022	10:03	Máximo	129,40	162,80	143,80	145,33	2,96

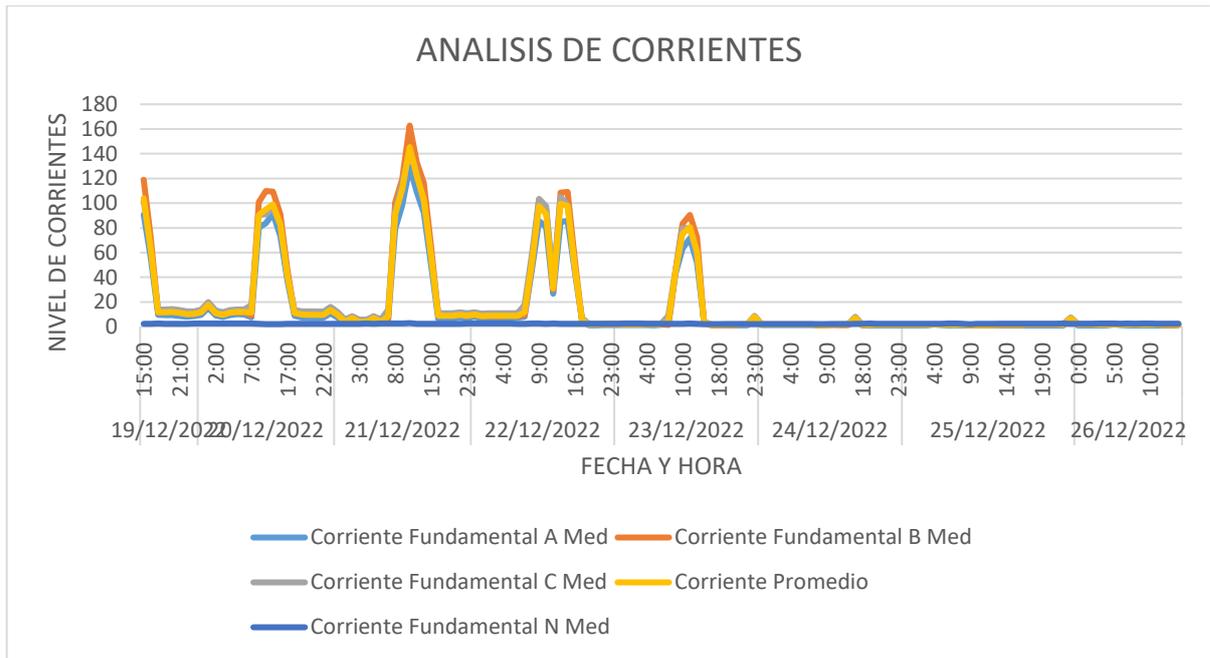


Figura 5.9 Niveles de corriente.

5.3.2.1 Análisis del desequilibrio de corriente

El desequilibrio de corriente se calcula obteniendo el valor máximo de corriente y el valor promedio, durante el tiempo que se realizó el estudio. Para el cálculo del desequilibrio de voltaje se utiliza la siguiente ecuación:

$$D \% = \frac{I_{max} - I_{med}}{I_{med}} \times 100\% \tag{5.1}$$

Al aplicar la ecuación 5.1 se obtiene los siguientes resultados que se indica en la siguiente tabla.

Tabla 5.7 Desequilibrio de Corriente.

I1	I2	I3	I _{max}	I _{med}	%D	Observaciones
129,40	162,80	143,80	143,80	136,60	5,27%	No Cumple

Según las normas de calidad de la energía eléctrica para evitar problemas el desequilibrio en la corriente no debe superar el rango de 1,0-3,0%. De acuerdo con la tabla anterior el desequilibrio de Corriente está en el 5,27% por lo tanto está FUERA de la normativa. Los desequilibrios de corriente pueden degradar el rendimiento y reducir la vida útil de los equipos y motores presentes.

5.3.3 Análisis del Factor de Potencia

De acuerdo al Pliego Tarifario indica que aquellos clientes que registren un factor de potencia promedio mensual inferior al 0,92 recibirán una penalización. La industria en estudio cuenta con un factor de potencia promedio de 0,81 por lo que no cumple con el 0,92 impuesto por el reglamento y por lo que con penalización parte de la Empresa Distribuidora de Cotopaxi. Los datos obtenidos en el periodo de medición son los que se indican en la tabla 5.8.

Tabla 5.8 Factor de Potencia.

FECHA	HORA	FACTOR DE POTENCIA	Cos Phi AN	Cos Phi BN	Cos Phi CN	Cos Phi TOTAL	Observaciones
21/12/2022	1:13	Mínimo	0,33	0,53	0,85	0,57	No Cumple
		Promedio	0,65	0,83	0,94	0,81	No Cumple
21/12/2022	12:43	Máximo	1,00	1,00	1,00	1,00	Cumple

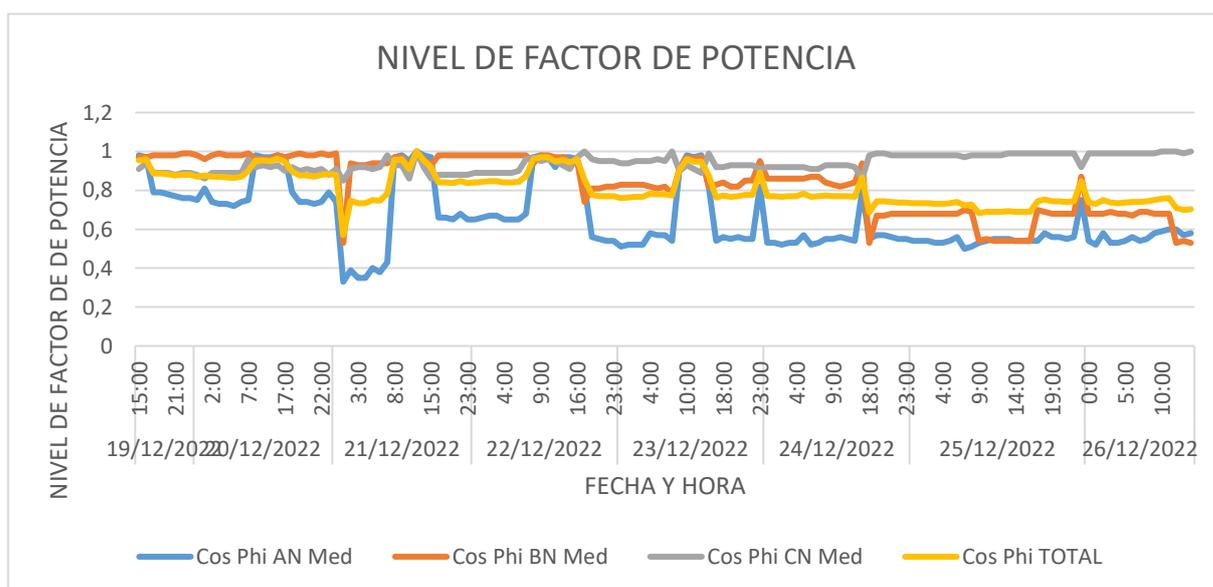


Figura 5.10 Niveles de Factor de Potencia.

En la Figura 5.10, se puede observar que el factor de potencia es más bajo en la franja nocturna y de la madrugada, debido a las cargas semiconductoras que prevalecen en este horario, sin embargo, al no ser significativas no generan un consumo relevante de energía reactiva.

5.3.4 Potencia Activa del Transformador 100 KVA

Mediante la curva de potencia activa se puede ver el comportamiento del transformador de la Industria, donde de la mayor actividad se da el 21 de diciembre del 2022 a partir de las 10:03 de la mañana con una potencia máxima total de 44,47 kW y existe una potencia mínima total de 0,42 kW a las 09:43 el 25 de diciembre del 2022, la potencia de trabajo se normaliza a partir de las 8:00 en un promedio total de 9,55 kW. Se debe considerar que el día 24 y 25 de diciembre por fechas festivas, la industria no trabaja normalmente y existe un consumo mínimo en estos días.

Tabla 5.9 Análisis de la Potencia Activa.

POTENCIA	Máximo	Promedio	Mínimo
FECHA	21/12/2022		25/12/2022
HORA	10:03		9:43
KW _A	13,64	2,71	0,11
KW _B	16,87	3,52	0,09
KW _C	13,96	3,32	0,22
TOTAL	44,47	9,55	0,42

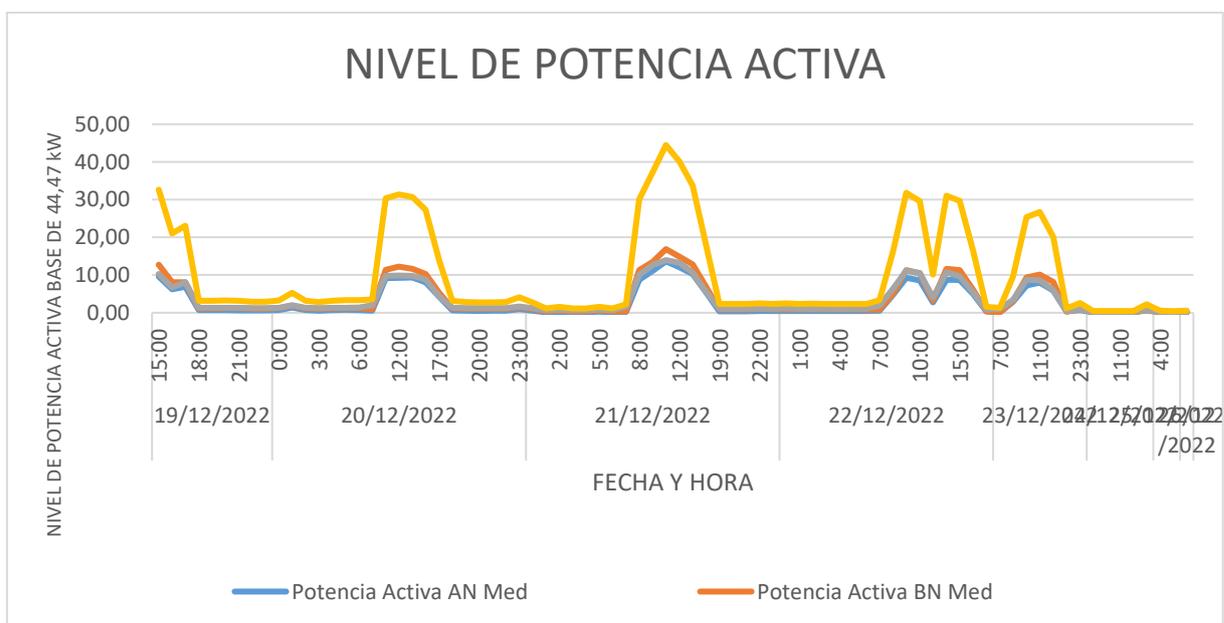


Figura 5.11 Niveles de la Potencia Activa.

5.3.5 Potencia Reactiva del Transformador 100 KVA

Se registra una potencia reactiva máxima total de 19,36 kVAR a partir de las 10:03 de la mañana el 21 de diciembre del 2022 y existe una potencia mínima total de 0,26 kVAR a las 9:43 de la mañana el 25 de diciembre del 2022, a partir de las 08:00 de la mañana la potencia de trabajo se normaliza en un promedio total de 2,25 kVAR.

Tabla 5.10 Análisis de la potencia Reactiva.

POTENCIA	Máximo	Promedio	Mínimo
FECHA	21/12/2022		25/12/2022
HORA	10:03		9:43
kVAR _A	4,30	0,52	0,10
kVAR _B	6,95	0,77	0,13
KVAR _C	8,11	0,96	0,03
TOTAL	19,36	2,25	0,26

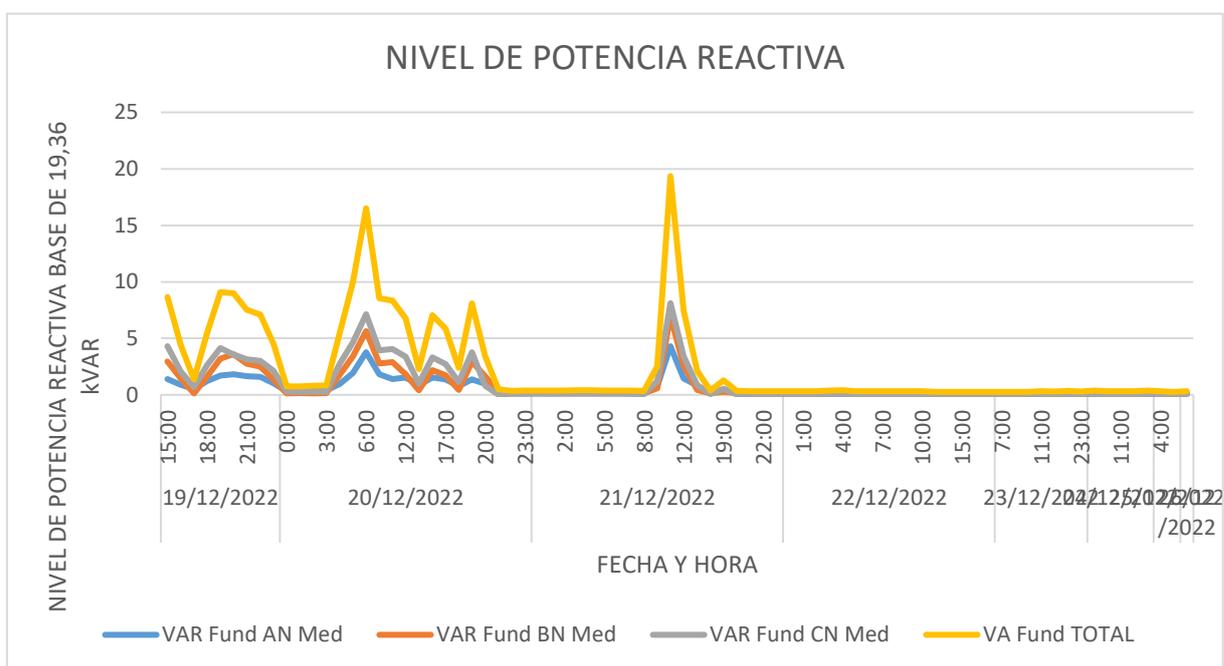


Figura 5.12 Niveles de Potencia Reactiva.

5.3.6 Potencia Aparente del Transformador 100 KVA

Se registra una potencia aparente máxima total de 48,84 kVA a partir de las 10:03 de la mañana el 21 de diciembre del 2022 y existe una potencia mínima total de 0,50 kVA a las 09:43 de la mañana el 25 de diciembre del 2022, a partir de las 8:00 de la mañana la potencia de trabajo se normaliza en un promedio total de 6,25 kVA a partir de las 08:00.

El transformador de la Industria tiene una capacidad de 100 kVA, de acuerdo a los datos que se tabularon el consumo de carga total es de 48,84 kVA, se llega a la conclusión de que el transformador no se encuentra sobrecargado consta de una potencia sobrante de 51,16 kVA para el crecimiento de carga futura.

Tabla 5.11 Niveles de Potencia Aparente.

POTENCIA	Máximo	Promedio	Mínimo
FECHA	21/12/2022		25/12/2022
HORA	10:03		9:43
kVA _A	14,33	1,76	0,12
kVA _B	18,29	2,26	0,16
KVA _C	16,22	2,23	0,22
TOTAL	48,84	6,25	0,50

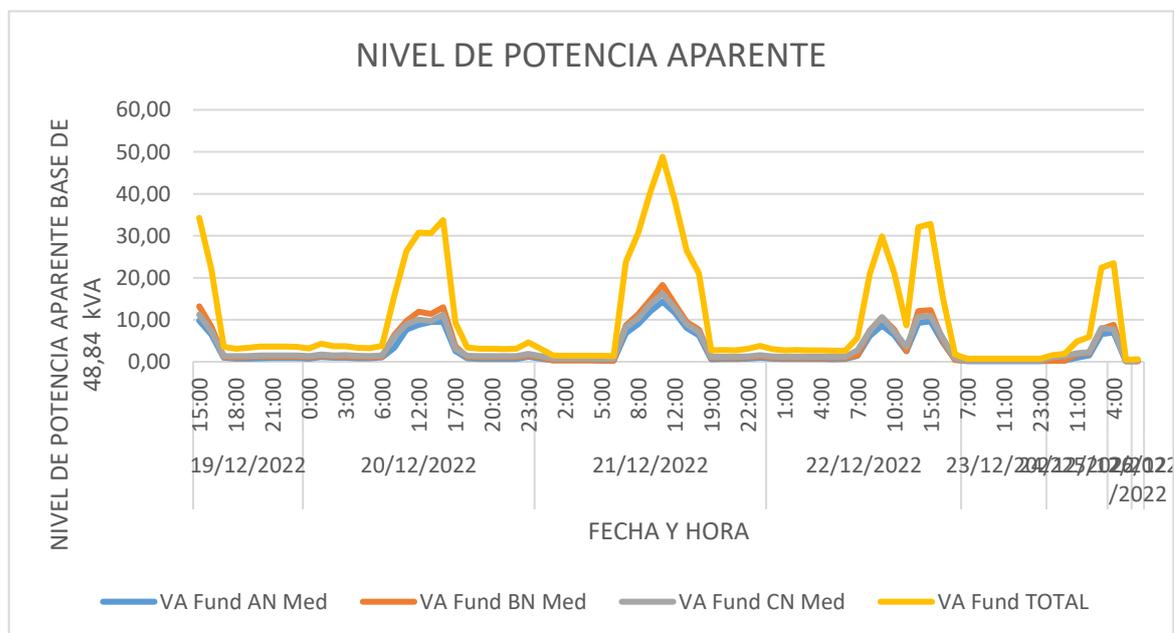


Figura 5.13 Niveles de la Potencia Aparente.

5.3.7 Demanda eléctrica de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR”

Las mediciones de potencia de la Industria se las efectuó cada 10 minutos con el Analizador de redes Fluke 435 series II desde el 19/12/2022 hasta el 25/12/2022, de acuerdo al procedimiento descrito en la Regulación No. ARCERNN 002/20, los datos obtenidos se muestran en la Tabla E.1 del Anexo E.

De acuerdo a la figura 5.14 se puede observar el comportamiento de la demanda del transformador, donde el día miércoles 21 de diciembre del 2022 tiene mayor actividad de producción, con una potencia máxima de 44,47 kW a las 10:00 de la mañana y mientras que el día con menor consumo es el domingo 25 de diciembre del 2022, con una potencia mínima de 3,77 kW, debido a que el día 24 y 25 fueron días festivos y la industria no trabajo con normalidad, por ende, el consumo es mínimo.

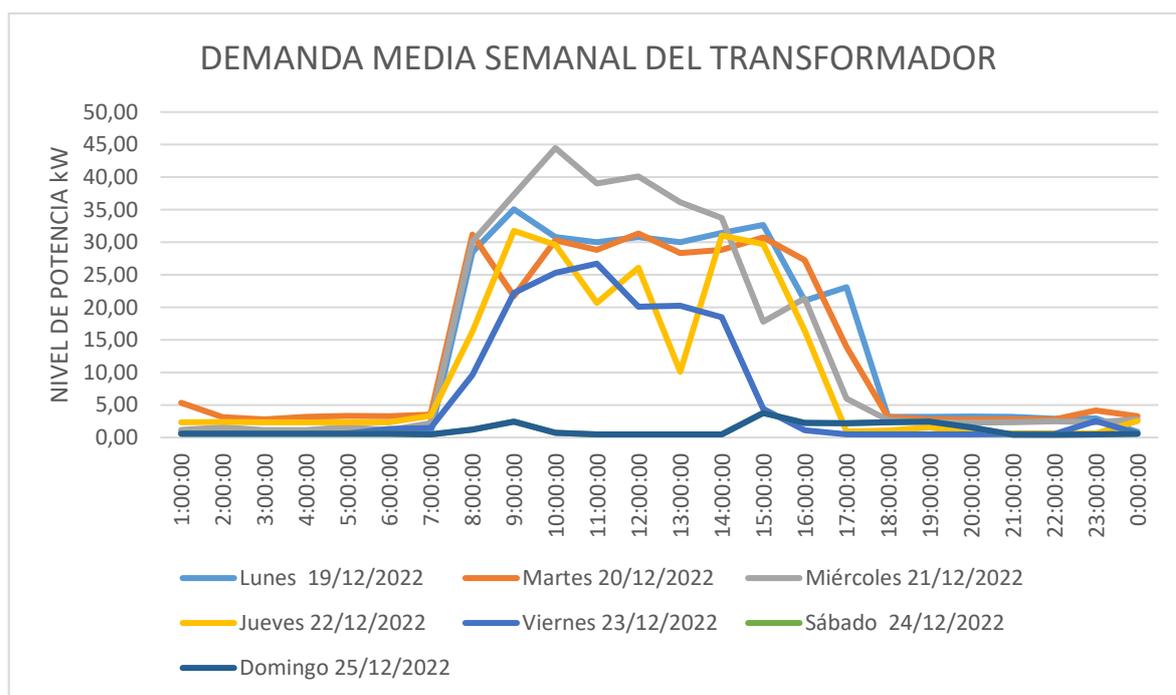


Figura 5.14 Niveles de Potencia Activa media semanal.

5.3.8 Análisis del THD de Voltaje

Para determinar si la industria tiene presencia de armónicos de voltaje, hay que analizar el nivel de THD de Voltaje que tiene la industria. De acuerdo a la regulación IEEE-519, el nivel del Voltaje de la Industria corresponde a $V \leq 1.0$ kV, por lo tanto, el valor establecido del THD

de voltaje está por debajo del 8%. Según los datos registrados por el analizador de energía, se obtiene los siguientes resultados que se detallan en la siguiente tabla 5.12.

Tabla 5.12 Taza de Distorsión Armónica de Voltaje.

FECHA	HORA	THD VOLTAJE	THD LA	THD LB	THD LC	THD PROMEDIO	IEEE - 519
20/12/2022	00:53	Mínimo	0,50	0,44	0,64	0,53	Cumple
		Promedio	1,22	1,22	1,32	1,25	Cumple
22/12/2022	14:23	Máximo	2,52	3,17	2,78	2,82	Cumple

Como se puede visualizar en la tabla anterior que el sistema eléctrico presenta un límite de THD de voltaje de las tres líneas que es de 2,82%, el mismo que dentro de los rangos dictados por la norma que es del 8%. De acuerdo a los datos obtenidos se puede concluir que no presentan Armónicos de Voltaje.

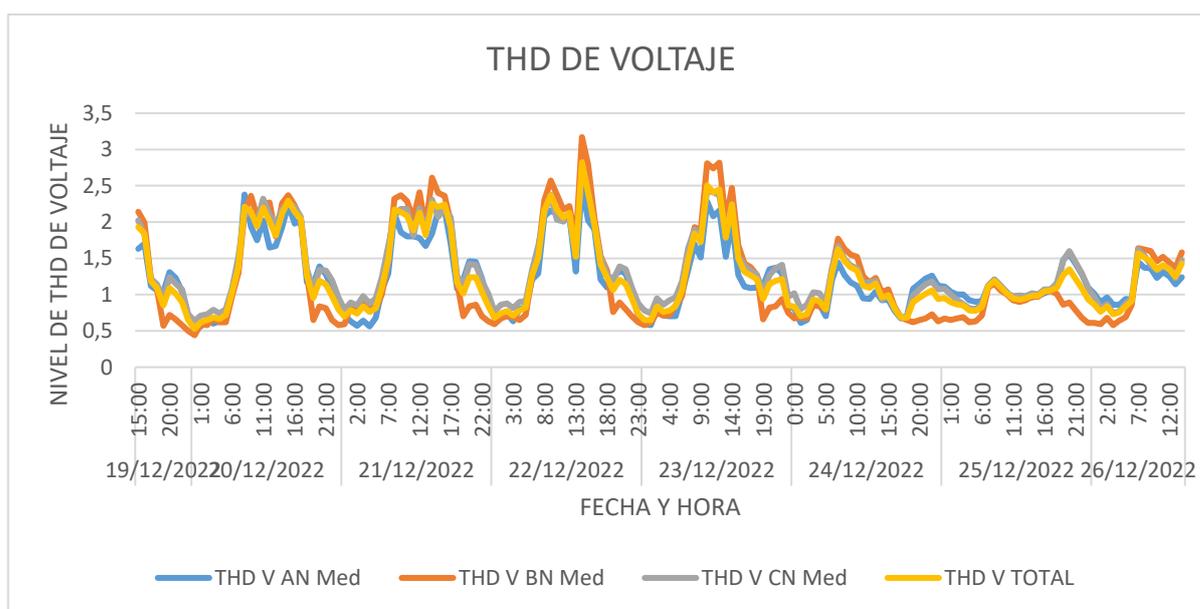


Figura 5.15 Niveles de THD de voltaje.

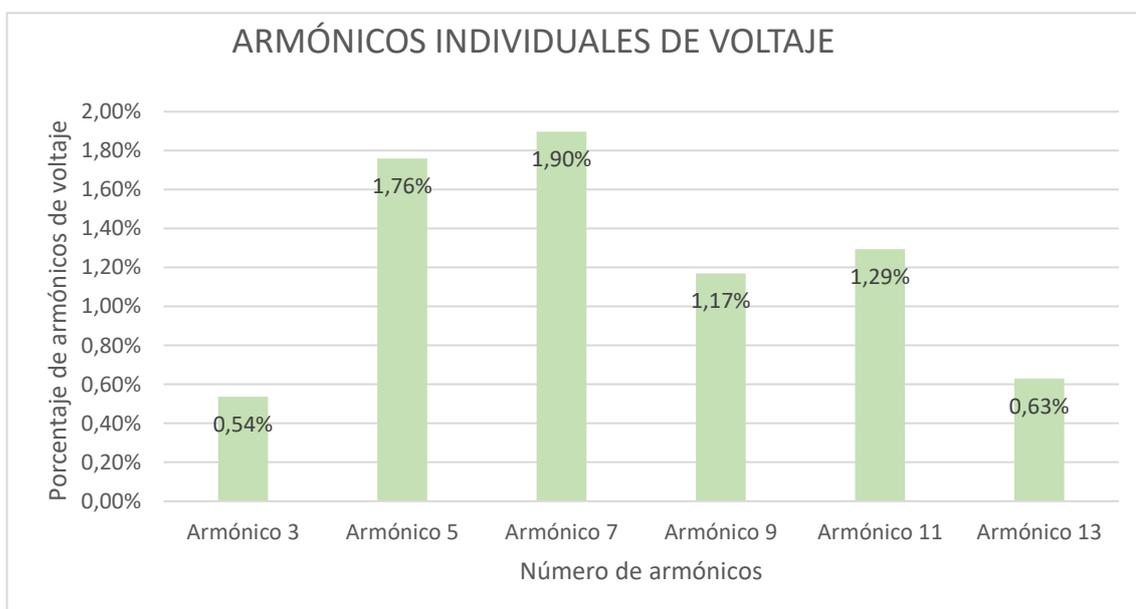
5.3.9 Análisis de Armónicos Individuales de Voltaje

Se analiza si el sistema eléctrico presenta armónicos de voltaje, basándose la regulación IEEE – 519 y se determina si estos valores cumplen con lo establecido por la regulación. De acuerdo a la regulación internacional los armónicos individuales de Voltaje deben estar por debajo del 5%.

Tabla 5.13 Armónicos individuales de voltaje.

Nivel Armónico	Total, de Armónico	IEEE 519 Rango establecido	Observaciones
Armónico 3	0,54%	5%	Cumple
Armónico 5	1,76%	5%	Cumple
Armónico 7	1,90%	5%	Cumple
Armónico 9	1,17%	5%	Cumple
Armónico 11	1,29%	5%	Cumple
Armónico 13	0,63%	5%	Cumple

De acuerdo a la tabla 5.13, se puede observar que no existe la presencia de armónicos individuales de voltaje en el transformado cuyos valores se encuentran en los rangos dispuestos por la normativa.

**Figura 5.16** Niveles de armónicos de voltaje individuales.

De acuerdo con la Figura 5.16, se puede observar los armónicos de voltaje: el de tercer orden con un valor del 0,54%, el de quinto orden con un valor de 1,76%, el de séptimo orden con un valor del 1,90%, el de noveno orden con un valor del 1,17%, el de onceavo orden con un valor del 1,29% y el de treceavo orden con un valor del 0,63%.

De acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el sistema es el séptimo armónico de voltaje con 1,90%, el mismo que está por debajo del 5% impuesto por la norma.

5.3.10 Análisis de Armónicos de Voltaje en el Neutro

A continuación, se analiza los niveles de armónicos de voltajes en el neutro. Por lo general el neutro presenta la sumatoria total de los armónicos de voltaje de acuerdo a lo mencionado, los valores de los armónicos de voltaje en el neutro van a ser elevados. Para esto se compara con los valores establecidos por la regulación IEEE – 519.

Tabla 5.14 Armónicos de voltaje en el neutro.

FECHA	HORA	Nivel de THD	THD VN	THD Promedio	IEEE - 519
26/12/2022	9:03	THD Mínima	6,14	5,84	Cumple
		THD Media	29,95	29,11	Cumple
20/12/2022	8:03	THD Máxima	49,64	42,76	Cumple

De acuerdo al análisis de la tabla, se puede concluir que el nivel de los armónicos en el neutro tiene un nivel promedio del 2,94% que se produce el día 20 de diciembre del 2022 a las 08:03 de la mañana, que se encuentra dentro del 8% establecido por la regulación internacional IEEE 519.

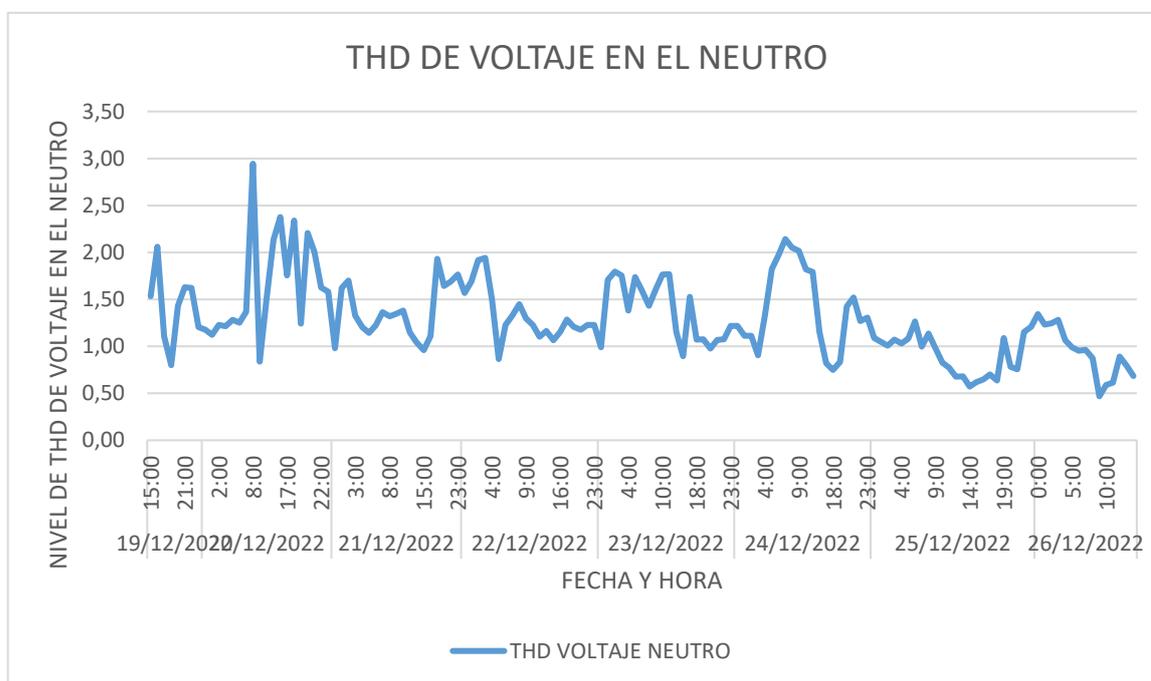


Figura 5.17 Niveles de armónicos de voltaje en el neutro.

5.3.11 Análisis de Armónicos Individuales de Voltaje en el Neutro

A continuación, se analiza los niveles de armónicos de voltaje individuales en el neutro. Hay que tomar en cuenta que por lo general el neutro presenta mayor porcentaje de armónicos individuales del tercer orden y múltiplos de tres. Para esto se compara con los valores establecidos por la regulación IEEE – 519.

Tabla 5.15 Armónicos individuales de voltaje en el neutro.

Nivel Armónico	Total, de Armónico	IEEE 519 Rango establecido	Observaciones
Armónico 3	0,71%	5%	Cumple
Armónico 5	0,38%	5%	Cumple
Armónico 7	1,00%	5%	Cumple
Armónico 9	0,96%	5%	Cumple
Armónico 11	1,31%	5%	Cumple
Armónico 13	0,66%	5%	Cumple

De acuerdo a la tabla 5.15, se puede observar que no existe la presencia de armónicos individuales de voltaje en el neutro en el transformado cuyos valores se encuentran en los rangos dispuestos por la normativa.

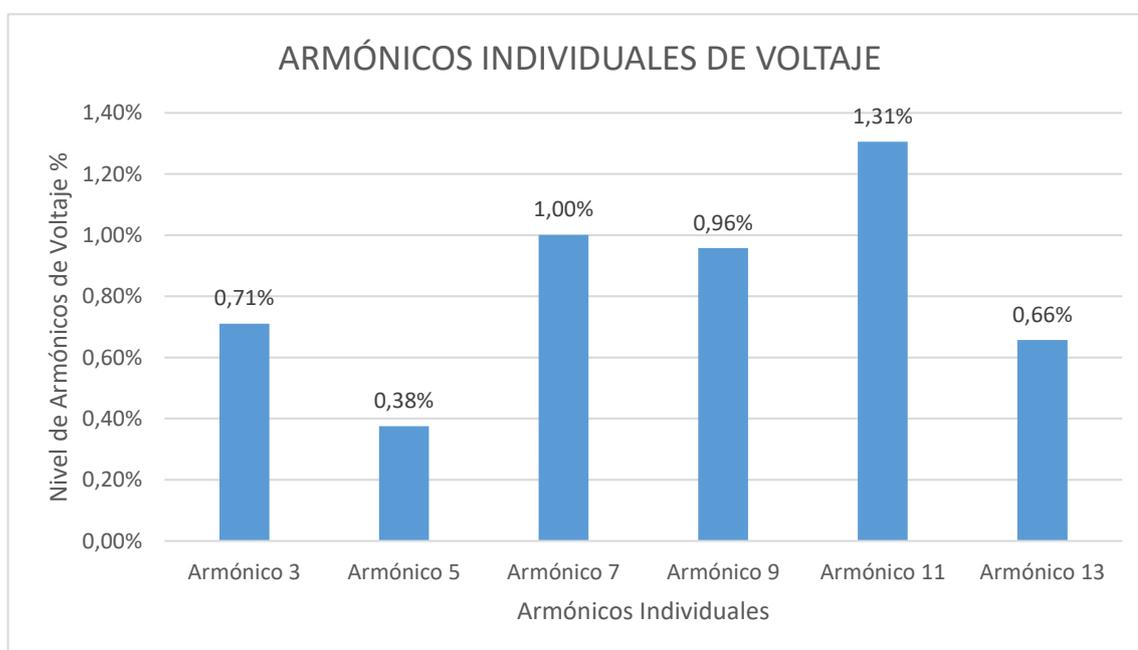


Figura 5.18 Niveles de armónicos individuales de voltaje en el neutro.

De acuerdo con la Figura 5.18, se observa los armónicos individuales de voltaje en el neutro: el tercer armónico de voltaje en el neutro con un valor del 0,71%, el quinto armónico de voltaje en el neutro con un valor de 0,38%, el séptimo armónico de voltaje en el neutro con un valor del 1,00%, el noveno armónico de voltaje en el neutro con un valor del 0,96%, el decimoprimer armónico de voltaje en el neutro con un valor del 1,31% y finalmente el decimotercer armónico de voltaje en el neutro con un valor de 0,66%.

De acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el sistema es el decimoprimer armónico de voltaje en el neutro con 1,31 %, el mismo que está por debajo del 5% impuesto por la norma.

5.3.12 Análisis del TDD de Corriente

La Distorsión Total de la Demanda TDD es la distorsión armónica basada en la máxima corriente de demanda (componente fundamental). Es una medida de la distorsión armónica total de la corriente en el PCC (punto de conexión común) para la carga total conectada. De acuerdo a la regulación IEEE-519, para determinar si la industria tiene presencia de armónicos de corriente, hay que analizar el nivel de TDD de Corriente que tiene la industria y el primer paso es calcular la relación entre la corriente de cortocircuito y la corriente de línea mediante la ecuación 3.10 de la sección 3.

Para el cálculo de la corriente de cortocircuito se necesita saber el valor de la reactancia en por unidad, dato que viene dado en la placa de datos que es igual a $X_{pu} = 3\%$. La corriente de cortocircuito viene dada por la ecuación 5.2:

$$I_{cc} = \frac{1}{x_{pu}} \quad (5.2)$$

$$I_{cc} = \frac{1}{0,03}$$

$$I_{cc} = 33,33 \text{ A}$$

Se debe calcular la corriente de línea para esto se utilizará la ecuación 5.3:

$$I_L = \frac{S}{V_{F-N} \sqrt{3}} \quad (5.3)$$

$$I_L = \frac{100000 \text{ VA}}{127 * \sqrt{3}}$$

$$I_L = 454,61 \text{ A}$$

Se debe calcular la Corriente de Línea por unidad para determinar la Taza de Distorsión de la Demanda y los armónicos individuales de Corriente.

$$I_{Lpu} = \frac{I_{fase}}{I_L} \tag{5.4}$$

Aplicando la ecuación 5.4 se obtiene la siguiente tabla de datos:

Tabla 5.16 Corrientes del Transformador.

FASES	Xpu	Icc	IL pu	Icc/IL pu
L1	0,03	33,33	0,28	117,11
L2	0,03	33,33	0,36	93,08
L3	0,03	33,33	0,32	105,38

La norma IEEE 519 establece los límites que se muestran en la Tabla 3.4 para este parámetro. De acuerdo a la relación entre la corriente de cortocircuito y la corriente de línea (Icc/ILpu) calculados en la Tabla 5.17 está dentro del rango $100 < 1000$, lo que corresponde un valor de TDD correspondiente al 15%. De acuerdo a los datos registrados por el analizador de energía, se obtiene los siguientes resultados de TDD que se detallan en la Tabla 5.17.

Tabla 5.17 TDD de corriente del transformador.

FECHA	HORA	Nivel de TDD	TDD LA	TDD LB	TDD LC	TDD Promedio	IEEE - 519
25/12/2022	9:13	Mínima	6,14	5,27	6,10	5,84	Cumple
		Media	29,95	32,82	24,57	29,11	No Cumple
21/12/2022	10:03	Máxima	49,64	44,95	33,69	42,76	No Cumple

El límite del TDD de Corriente máximo de las tres líneas es de 42,76% que se produce el día 21 de diciembre del 2022, el mismo que se encuentra fuera de los rangos dictados por la regulación que es el 15%, por lo tanto, existen problemas de armónicos de corriente.

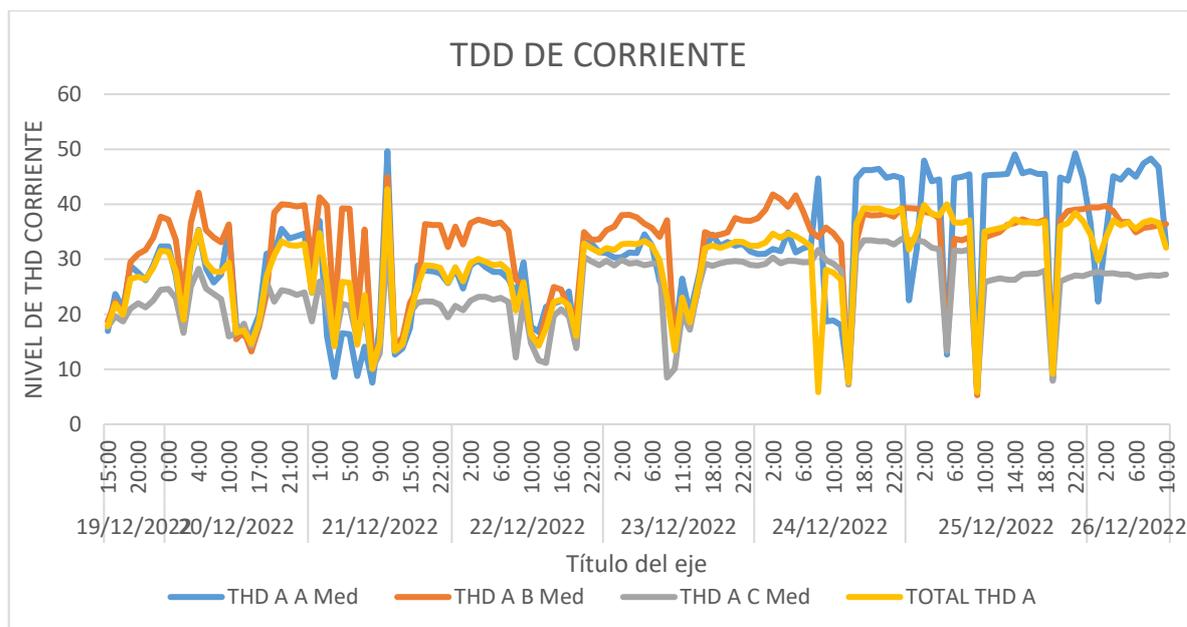


Figura 5.19 TDD de corriente del transformador.

5.3.13 Análisis de Armónicos Individuales de Corriente

De acuerdo a la regulación internacional los armónicos individuales de Corriente deben estar por debajo del 12% en los armónicos que sean menores al orden 11 y por debajo del 5,5% a partir del 11 armónico, en la Tabla 5.18, se puede observar los armónicos individuales de corriente.

Tabla 5.18 Armónicos individuales de corriente.

Nivel Armónico	Total, de Armónico	IEEE 519 Rango establecido	Observaciones
Armónico 3	12,28%	12%	No Cumple
Armónico 5	13,91%	12%	No Cumple
Armónico 7	9,22%	12%	Cumple
Armónico 9	5,27%	12%	Cumple
Armónico 11	5,76%	5,5%	No Cumple
Armónico 13	2,83%	5,5%	Cumple

El tercer armónico de corriente con un valor del 12,28%, el quinto armónico de corriente con un valor de 13,91%, el séptimo armónico con un valor del 9,22%, el noveno armónico con un valor del 5,27%, el decimoprimer armónico con un valor del 5,79%, el decimotercer armónico con un valor del 2,83%.

De acuerdo a este análisis se observa que el armónico más elevado que presenta el sistema es el armónico de orden quinto que están por encima de los valores impuestos por la norma y con valores demasiados significativos, por lo que es necesario corregir el valor. La presencia de armónicos de corriente puede ocasionar daños en el aislamiento de los conductores, o el daño permanente en equipos electrónicos y maquinarias.

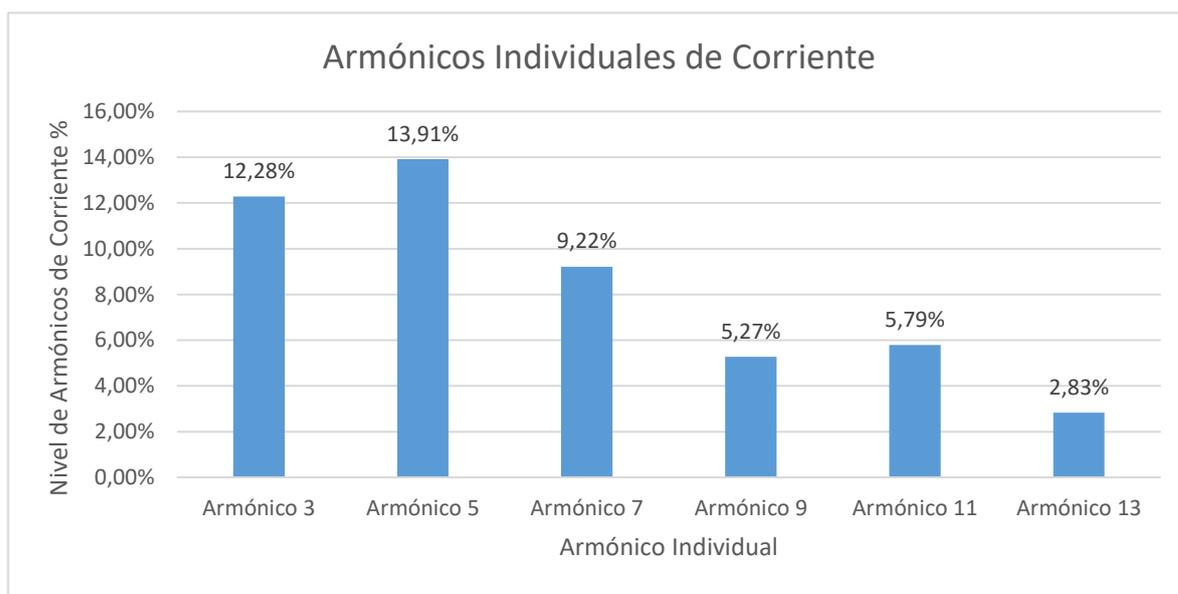


Figura 5.20 Numero de armónicos de corriente.

5.3.14 Análisis de Armónicos de Corriente en el Neutro

A continuación, se analiza los niveles de armónicos de corriente en el neutro. Por lo general la presencia de armónicos en el neutro se da en sistemas eléctricos desbalanceados. Para esto se compara con los valores establecidos por la regulación IEEE – 519.

Tabla 5.19 TDD de corriente en el neutro.

FECHA	HORA	Nivel de TDD	TDD Neutro	TDD Promedio	IEEE - 519
25/12/2022	9:13	Mínima	0,47	0,47	Cumple
		Media	1,19	1,19	Cumple
21/12/2022	10:03	Máxima	3,97	3,97	Cumple

De acuerdo al análisis de la tabla y el gráfico, se puede concluir que el nivel de los armónicos en el neutro tiene un nivel promedio del 3,97% que se encuentra dentro del 15% establecido por la regulación internacional IEEE 519.

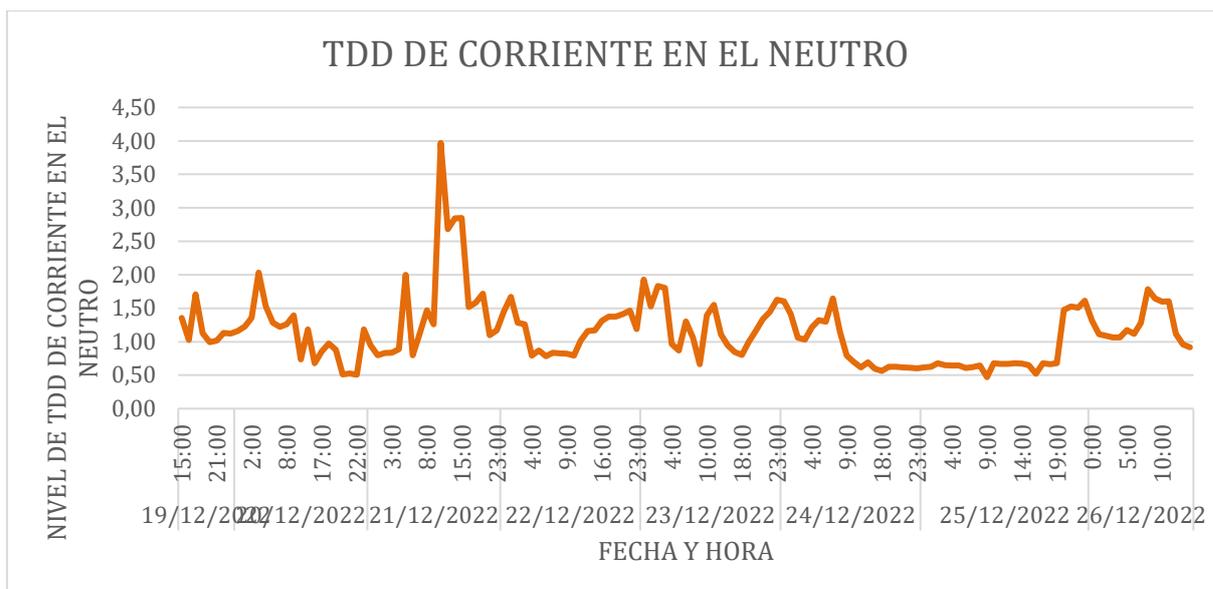


Figura 5.21 TDD de corriente en el neutro.

5.3.15 Armónicos individuales de corriente en el neutro

Se analiza si el sistema eléctrico presenta armónicos de corriente, basándose la regulación IEEE-519 y se determina si estos valores cumplen con lo establecido por la regulación. De acuerdo a la regulación internacional los armónicos individuales de Corriente deben estar por debajo del 12% en los armónicos que sean menores al orden 11 y por debajo del 5,5% a partir del armónico de orden 11.

Tabla 5.20 Armónicos individuales de corriente en el neutro.

Nivel Armónico	Total, de Armónico	IEEE 519 Rango establecido	Observaciones
Armónico 3	0,57%	12%	Cumple
Armónico 5	0,33%	12%	Cumple
Armónico 7	0,21%	12%	Cumple
Armónico 9	0,17%	12%	Cumple
Armónico 11	0,13%	5,5%	Cumple
Armónico 13	0,11%	5,5%	Cumple

En la Figura 5.22, se puede visualizar los armónicos individuales de corriente en el neutro: el tercer armónico de corriente con un valor del 0,57%, el quinto armónico de corriente con un valor de 0,33%, el séptimo armónico con un valor del 0,21%, el noveno armónico con un valor del 0,17%, el decimoprimer armónico un valor del 0,13% y el decimotercer armónico con un

valor de 0,11%. De acuerdo a este análisis se observa que el transformador no presenta armónicos en el neutro.

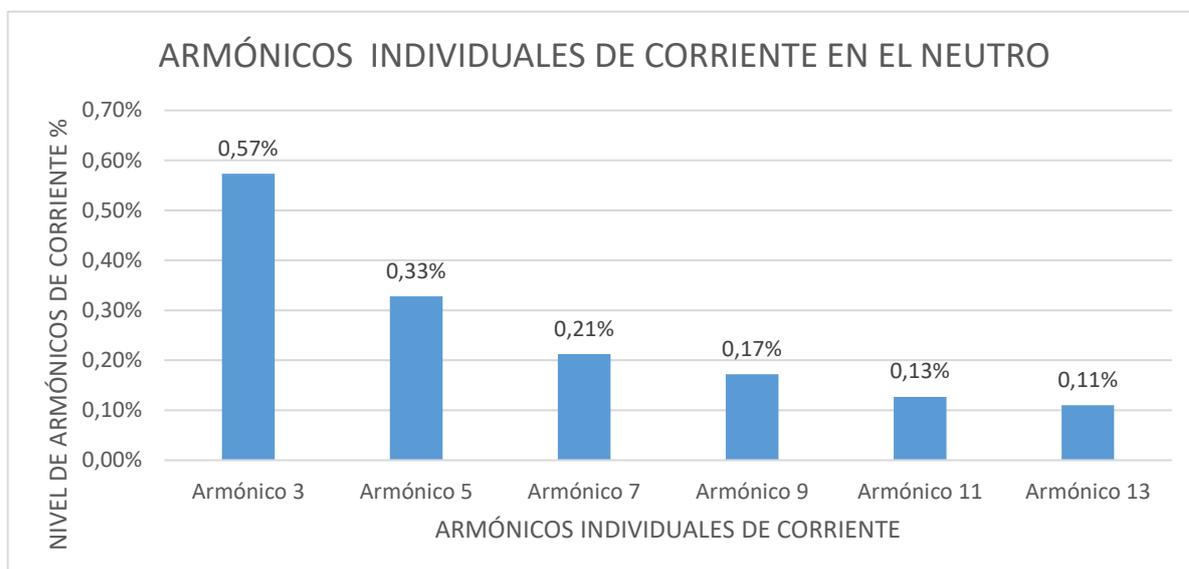


Figura 5.22 Numero de armónicos de corriente en el neutro.

5.3.16 Análisis de Flickers

De acuerdo con la regulación ARCERNN 002/20, indica que el valor límite de los flickers en el punto de medición no debe superar a la unidad. Se realiza el análisis respectivo para el transformador de 100 kVA, arrojando los siguientes resultados.

Tabla 5.21 Análisis de Flickers en el transformador.

FECHA	HORA	Flicker	Pst1	Pst2	Pst3	Pst Promedio	ARCERNN 002/20
25/12/2022	02:53	Mínima	0,075	0,077	0,100	0,08	Cumple
		Media	0,637	0,677	0,623	0,65	Cumple
24/12/2022	16:33	Máxima	5,581	5,520	5,571	5,56	No Cumple

El valor máximo de Flicker en el sistema es de 5,56 por lo cual sobrepasa la unidad que establece la norma mencionada, pero se obtiene un valor promedio de 0,65 que representa a más del 95 % de los valores registrados en la medición el cual se encuentra dentro del rango permitido.

5.3.17 Análisis de Sags y Swells en el Transformador de 100 KVA

- **Sags en el Transformador de 100 KVA**

Los SAGS son la reducción temporal del voltaje RMS del 10% o más por debajo de los rangos nominales específicos durante un período de 1/2 ciclo a 1 min. La normativa IEEE Std 1159 señala los índices que debe cumplir para prevenir la presencia de Sags en el sistema eléctrico de la industria, dicho límite se detalla en la siguiente Tabla 5.22.

Tabla 5.22 Valores típicos de perturbaciones en Sags.

Categoría	Duración Típica	Limites IEEE Std 1159
Sags	>3s – 1min	0.1 – 0.9 pu

Según los datos registrados por el analizador de energía, se obtiene los siguientes resultados que se detallan en la Tabla 5.23.

Tabla 5.23 Niveles de Sags en el transformador.

	Sags	Observaciones
Línea A-B	0,81	Cumple
Línea B-C	1,02	No Cumple
Línea C-A	1,83	No Cumple

De acuerdo a los datos presentes en la Tabla 5.23 se concluye que si existe la presencia de Sags. Una de las principales fuentes de huecos o Sags son los arranques de grandes motores de inducción los cuales pueden demandar corrientes de magnitudes considerables que a su vez provocan caídas de tensión en las líneas y consecuentemente el disparo indeseado de equipos sensibles, y, por último, pérdidas económicas para la industria a causa de la no producción de bienes en un determinado período de tiempo.

- **Swells en el Transformador de 100 KVA**

Se definen como un aumento momentáneo en la tensión RMS del 10% o más, por encima de la tensión (nominal) del equipo durante un período de 1/2 ciclo a 1 min. La normativa IEEE Std 1159 señala los índices que debe cumplir para prevenir la presencia de Swells en el sistema eléctrico de la industria, dicho límite se detalla en la siguiente tabla 5.24.

Tabla 5.24 Valores típicos de perturbaciones en Swells.

Categoría	Duración Típica	Limites IEEE Std 1159
Swell	>3s – 1min	1.1 – 1.2 pu

Para poder analizar si existe la presencia de Swell en el sistema eléctrico se obtiene los datos de Voltaje de medio ciclo RMS, el mismo que se realizó para los Swells, los resultados se indican en la Tabla 5.25.

Tabla 5.25 Niveles de Swells en el transformador.

	Sags	Observaciones
Línea A-B	0,77	Cumple
Línea B-C	0,82	Cumple
Línea C-A	1,59	No Cumple

Los resultados indican la presencia de Swells en la industria en el transformador de 100 kVA, que se puede dar debido al arranque de motores grandes y a las variaciones de voltaje presentes en la Industria.

5.3.18 Estado actual del sistema eléctrico de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR”

Se concluye que el sistema eléctrico de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR” presenta problemas de caída de tensión, pérdidas en los conductores, bajo factor de potencia, armónicos de corriente, desequilibrio de corriente, Sags y Swell en el transformador de 100 kVA. Esto se debe a que todos los parámetros superan los límites máximos permitidos por las normas: IEEE 519, IEEE Std 1159 y la regulación ARCERNNR 002/20. La siguiente tabla 5.26 se detalla el estado inicial del sistema actual a través del análisis realizado.

Tabla 5.26 Estado del sistema actual del transformador de 100 kVA.

PARÁMETROS	TRANSFORMADOR 100 kVA
Potencia nominal	100 kVA
Cargabilidad del sistema	48,84%
Reserva	51,16%
CAÍDA DE VOLTAJE	
VA-B	8,13%
VB-C	6,46%
VC-A	5,91%
VOLTAJE EN EL NEUTRO	
VN	2,68
DESEQUILIBRIO DE VOLTAJE	
%D	1,35%
DESEQUILIBRIO DE CORRIENTE	
%D	5,27%
POTENCIAS TOTALES	
Potencia Activa (kW)	44,47
Potencia Reactiva (kVAr)	19,36
Potencia Aparente (KVA)	48,84
FACTOR DE POTENCIA	
FP	0,81
ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE VOLTAJE	
Armónico 3	0,54%
Armónico 5	1,76%
Armónico 7	1,90%
Armónico 9	1,17%
Armónico 11	1,29%
Armónico 13	0,63%
ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE	
Armónico 3	12,28%
Armónico 5	13,91%
Armónico 7	9,22%
Armónico 9	5,27%
Armónico 11	5,76%
Armónico 13	2,83%
FLICKERS	
Flicker promedio	0,65

Continuación.

NIVELES DE SAGS	
Línea A-B	0,81
Línea B-C	1,02
Línea C-A	1,83
NIVELES DE SWELL	
Línea A-B	0,77
Línea B-C	0,82
Línea C-A	1,59

5.4 SIMULACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN EL SOFTWARE ETAP 20.0.0

Con la información recopilada del sistema eléctrico de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR”, se procedió a simular el sistema en el software ETAP 20.0.0 para comprobar el análisis efectuado por el analizador de redes, el cual ayudo a identificar los puntos más críticos en la instalación de la empresa, igualmente permitió plantear las correcciones respectivas para atenuar los problemas encontrados.

5.4.1 Procedimiento para la Simulación

- **Selección de datos**

Para la simulación del sistema del transformador de 100 kVA se utilizó los datos de placa de las cargas, transformador, protecciones, la distancia que se encuentran ubicadas las cargas, estos parámetros se encuentran en la Tabla B.1 del Anexo B y el plano eléctrico en el Anexo C. Las características del transformador se encuentran en la Tabla 5.1.

- **Descripción de los parámetros a ser ingresados en el software ETAP 20.0.0.**

Los parámetros que se considera en este caso es la potencia activa, reactiva, aparente, corriente, voltaje de línea y factor de potencia.

- **Ingreso de las fuentes de alimentación.**

En el caso de no disponer los parámetros de corto circuito de la red se tomará en cuenta un equivalente de red con características establecidas en el manual del software ETAP, además

con los datos del transformador descrito en la Tabla 5.1 se procede al ingreso de los datos de las barras con los voltajes de 13,8 kV y 0,22 kV.

- **Conexión de maquinaria y equipos eléctricos.**

En este punto se utiliza los datos de placa de la maquinaria, distancia, calibre del conductor y protecciones se procede a la conexión a las distintas barras de alimentación que proporcionan energía a cada área de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR”.

- **Determinar maquinarias en funcionamiento.**

En el caso del transformador de 100 kVA se tomó en cuenta la entrada del funcionamiento del área de producción con el uso de las cortadoras, prensas, dobladora, torno, soldas, iluminación de distintas áreas de la empresa, área administrativa, entre otros.

- **Flujo de potencia y armónicos.**

Una vez que se ingresa toda la información mencionada anteriormente se procede a ejecutar el programa y comprobar los datos de potencias, corrientes, voltajes y el porcentaje de armónicos.

5.4.2 Caso de Estudio 1

- **Comparación de resultados entre el analizador de redes y el software ETAP 20.0.0.**

En la siguiente Tabla 5.27 se describen los parámetros totales comparados entre el analizador de redes y el software ETAP 20.0.0 con el porcentaje de error correspondiente al transformador de 100 kVA. Para ello se tomó en cuenta los parámetros más representativos en el análisis de apartado 5.3. La simulación correspondiente del sistema del transformador se la puede observar en la Figura 5.23. Otros parámetros derivados por el software como cargabilidad y pérdidas en los conductores se presentan en las Tablas G1 y G2 del Anexo G.

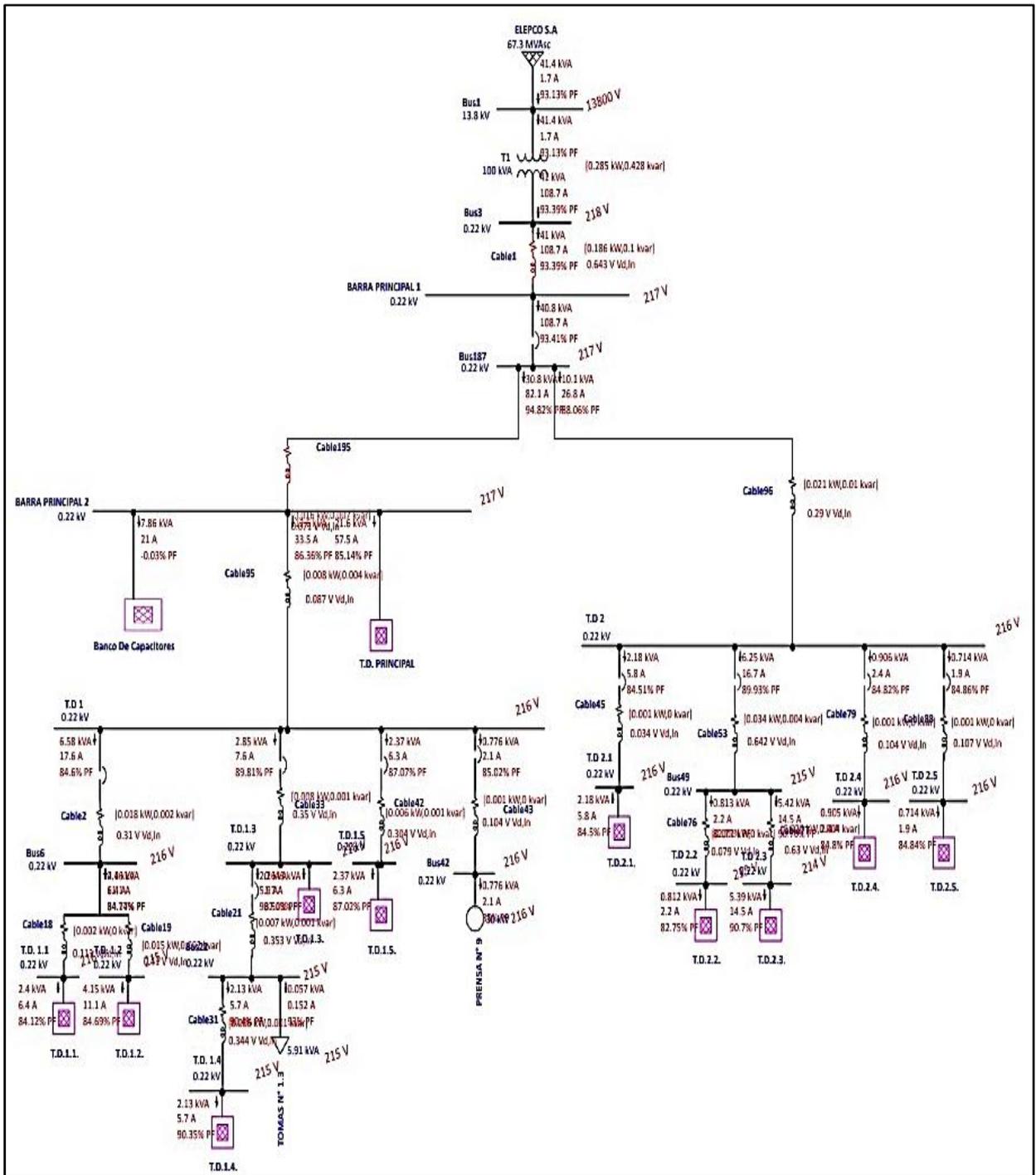


Figura 5.23 Simulación a la carga máxima del sistema eléctrico de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR”.

En la siguiente Tabla 5.27, se describe la variación que existe entre los datos reales registrados por el analizador de redes y el software ETAP 20.0.0, estas presentan un margen de error menor al 5 % debido a que los datos ingresados al software pueden variar por errores humanos de registro.

Tabla 5.27 Parámetros correspondientes al transformador de 100 kVA.

PARÁMETROS DEL SISTEMA			
PARÁMETROS	ANALIZADOR DE REDES	ETAP 20.0.0	%ERROR
Voltaje Máximo (V)	220	218	0,91%
Voltaje Mínimo (V)	204	213	4,41%
Potencia Activa total (Kw)	44,47	44,38	0,22%
Potencia Reactiva total (kVAr)	19,36	18,78	2,99%
Potencia Aparente total (kVA)	48,84	48,19	1,33%
Factor de Potencia	0,81	0,83	2,47%
ARMÓNICOS DE CORRIENTE			
Armónico 3	12,28%	12,27%	0,08%
Armónico 5	13,91%	13,88%	0,14%
Armónico 7	9,22%	8,88%	4,34%
Armónico 9	5,27%	5,20%	1,32%
Armónico 11	5,76%	5,70%	1,04%
Armónico 13	2,83%	2,77%	2,12%
ARMÓNICOS DE VOLTAJE			
Armónico 3	0,54%	0,52%	3,70%
Armónico 5	1,76%	1,69%	3,97%
Armónico 7	1,90%	1,81%	4,74%
Armónico 9	1,17%	1,15%	1,71%
Armónico 11	1,29%	1,26%	2,32%
Armónico 13	0,63%	0,61%	3,17%

- **Cargabilidad del transformador de 100 kVA.**

El cálculo de la cargabilidad del transformador de 100 kVA de la empresa se lo realizó con los datos de potencia máxima del sistema medida por el analizador de redes y posteriormente comparada con los datos de la simulación del software ETAP 20.0.0 como se muestra en la siguiente Tabla 5.28., el transformador de 100 kVA tiene una cargabilidad de 48,84% y una reserva del 51,16 %.

Tabla 5.28 Cargabilidad del transformador de 100 kVA.

TRANSFORMADOR	CALCULADO% CARGABILIDAD	ETAP 20.0.0 %CARGABILIDAD	%ERROR
100 KVA	48,84	47,1	3,56

5.4.3 Caso de Estudio 2

- **Resultados de armónicos sin el banco de capacitores del transformador de 100 kVA**

En la siguiente Figura 5.24, se puede evidenciar el comportamiento de los armónicos de corriente al momento de desactivar el banco de condensadores, el cual presenta una forma de onda con una menor distorsión debido a un menor porcentaje de armónicos presentes en el sistema eléctrico, pero presentan inconvenientes en el factor de potencia disminuyendo a un valor menor del límite establecido. La simulación correspondiente se presenta en la Figura F.2 del Anexo F.

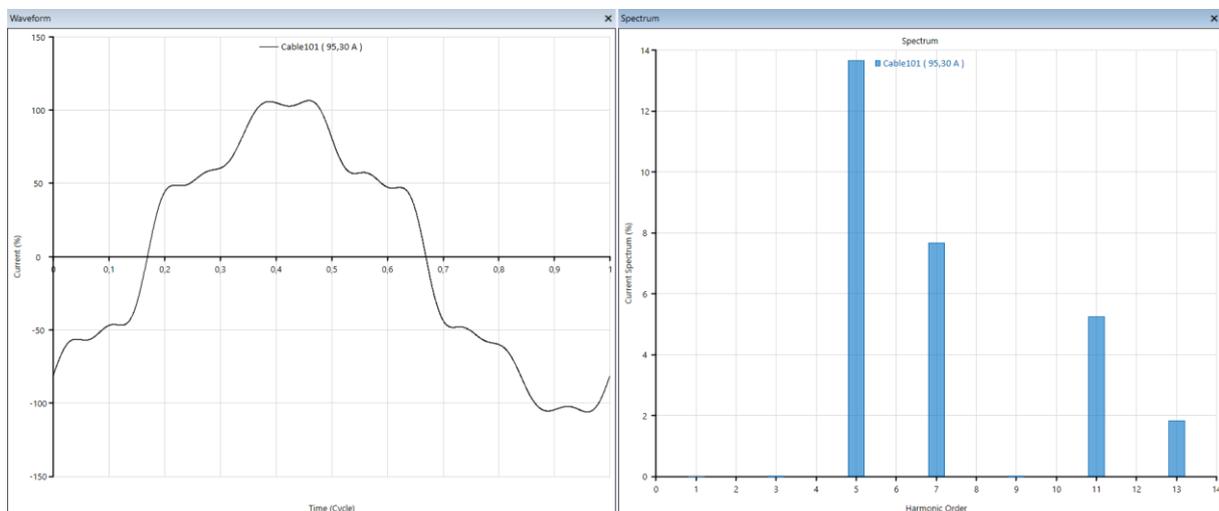


Figura 5.24 Resultado de armónicos sin el banco de condensadores.

- **Resultados de armónicos con el banco de condensadores del transformador de 100 kVA**

Al contar con un banco de condensadores de 67,5 kVAR en sistema eléctrico planteado en la Figura F.3 del Anexo F, se puede evidenciar que en la figura 5.25 el porcentaje de armónicos de corriente se eleva y presenta similitud a los valores obtenidos por el analizador de redes sobrepasando los límites establecidos por la normativa IEEE 519. A pesar que el banco de condensadores incrementa el valor del factor de potencia de la misma manera provoca una mayor distorsión de la onda como se muestra en la Figura 5.25.

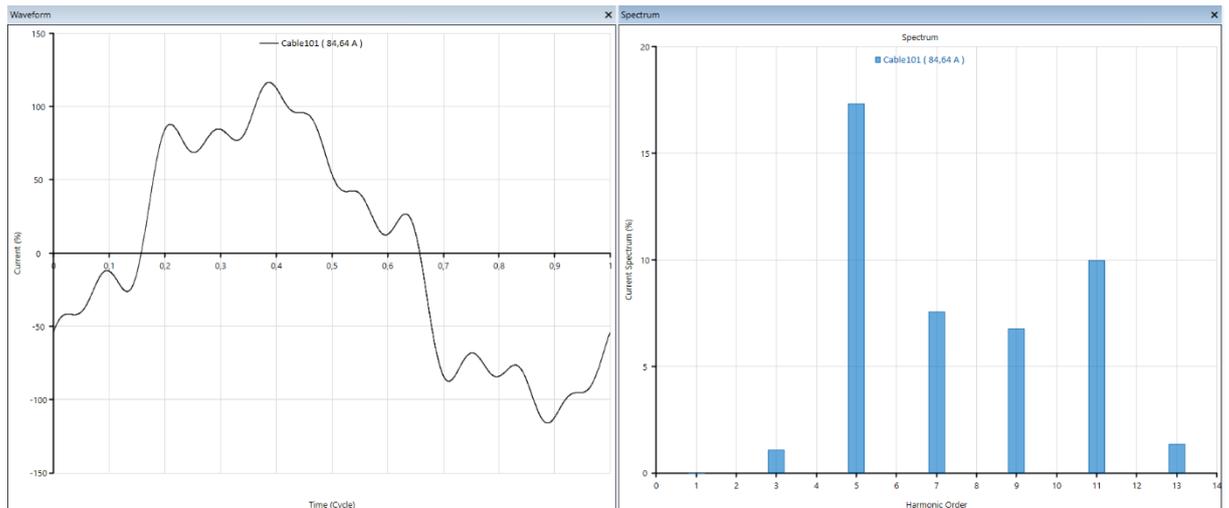


Figura 5.25 Resultado de armónicos con el banco de condensadores.

El sistema eléctrico de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR” cuenta con un banco de condensadores en cual presenta problemas en el factor de potencia y presencia de distorsión armónica de corriente. Para ello se propone un diseño e instalación de un filtro pasivo que ayude a mitigar los problemas mencionados.

5.4.4 Caso de Estudio 3

- **Sistema de puesta a tierra**

Mediante el Telurómetro de marca BSIDE AER01, se realizó la medición de la resistividad del terreno presente en la empresa a tres diferentes distancias tanto vertical como horizontal, los resultados obtenidos se los puede observar en la Tabla 5.29. La normativa IEEE 142 establece que el rango permitido de la resistencia de puesta a tierra debe ser menor a 25Ω en el sector industrial, para lo cual se tomó como referencia para el diseño de la malla del sistema de puesta a tierra, la misma que se realizara mediante la normativa IEEE 80 con el fin de garantizar una protección óptima de los equipos y del personal.

Tabla 5.29 Resultados de medición de la resistividad.

	DISTANCIA (m)	PROFUNDIDAD (cm)	RESISTENCIA (Ω)	RESISTIVIDAD ($\Omega.m$)
Vertical	1	15	33,4	209,8583893
	2	15	20,7	260,1238717
	3	15	10,1	190,3805148
Horizontal	1	15	33,1	207,9734337
	2	15	19,83	249,1911293
	3	15	9,82	185,1026391
TOTAL				1302,629978
PROMEDIO ($\Omega.m$)				219,1049963

De acuerdo a la inspección realizada en la empresa “INDUCE DEL ECUADOR”, se pudo constatar que actualmente no cuenta con una malla general de puesta a tierra para la protección de los equipos en caso de alguna descarga o falla debido a las corrientes de fuga en el sistema eléctrico.

5.5 PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS ENCONTRADOS

5.5.1 Solución 1: Dimensionamiento de Nuevos Conductores y Balance de Cargas

Teniendo en cuenta que el sistema actual presenta un desbalance de potencias se procedió a equilibrar las cargas monofásicas y trifásicas en cada fase, las mismas que deben encontrarse dentro del límite del 5% los resultados se los puede observar en la Tabla H.1 del Anexo H. Para ello se tomó en cuenta los distintos calibres de conductores presentes en el sistema eléctrico de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR” en donde se procedió a la verificación de caídas de voltaje las cuales se encuentran dentro de los límites recomendado por la normativa NEC la cual establece que no deben de exceder del 3% en ramas y el 5% entre el circuito alimentador principal estos resultados se los puede evidenciar en la Tabla H.2 del Anexo H, que a su vez se puede observar los conductores que causan problemas en el sistema eléctrico debido a la sobre carga de la capacidad del conductor, por lo cual se realiza un nuevo dimensionamiento de conductor como se puede observar a continuación:

- **Análisis inicial del conductor**

Actualmente se encuentra instalado los conductores de calibre 3x1/0+1x1/0 por fase mismos que admiten una capacidad de corriente de 150 A. de acuerdo a la norma se determina que los conductores se calculan a 125% de la corriente consumida a plena carga.

- **Cálculo de la corriente inicial del sistema:**

$$I_1 = \frac{P}{\sqrt{3} * V * fp} = \frac{44,38 * 10^3}{\sqrt{3} * 220 * 0,84} = 138,65 A$$

$$I_1 = 138,65 A * 1,25 = \mathbf{173,31 A}$$

Tabla 5.30 Simulación inicial con el conductor con sobrecarga.

ID	BUS 1	Bus 2	Amo Loading	% Loading	%Overload
Cable 101	Bus 90	BARRA PRINCIPAL 2	123,9	128,1	28,1

La corriente inicial calculada en la simulación es de 123,9 A, el mismo que se encuentra sobrecargado en un 28,1%.

Para el calibre de 1/0 se tiene una sección de 53,48 mm², con estos datos se procede al cálculo de la caída de tensión para verificar si el conductor cumple con la norma establecida. Tiene una caída de voltaje de:

$$e\% = \frac{2\sqrt{3} * L * I}{V * mm^2} * 100\% \quad (5.5)$$

$$e\% = \frac{2\sqrt{3} * 2 * 138,65}{220 * 53,48mm^2} * 100\%$$

$$e\% = 8,16\%$$

Por medio del resultado se pudo evidenciar que la caída de voltaje supera el 5% establecido en las instalaciones industriales, por los que el conductor produce muchos inconvenientes en el sistema eléctrico.

- **Corrección del factor de potencia y análisis con el conductor mencionado.**

$$I_2 = \frac{P}{\sqrt{3} * V * fp} = \frac{44,38 * 10^3}{\sqrt{3} * 220 * 0,96} = 121,32 A$$

$$I_2 = 121,32A * 1,25 = \mathbf{151,65 A}$$

Tabla 5.31 Resultado del conductor con la incorporación de un filtro.

ID	BUS 1	Bus 2	Amo Loading	% Loading	%Overload
Cable 101	Bus 90	BARRA PRINCIPAL 2	130,4	139,1	39,1

La corriente inicial calculada en la simulación es de 130,4 A, el mismo que se encuentra sobrecargado en un 39,1%.

- **Análisis con el conductor nuevo y corregido el factor de potencia.**

En este caso la corriente sigue siendo la misma del anterior caso.

$$I_2 = \mathbf{151,65 A}$$

El conductor que soporta la corriente de 151,65 A es el conductor de calibre 2/0, este conductor tiene la capacidad máxima de 175 A. Los resultados del reporte la simulación con el conductor mencionado se muestra en la siguiente Tabla 5.31.

Tabla 5.32 Resultado con el conductor 2/0.

ID	BUS 1	Bus 2	Amo Loading	% Loading	%Overload
Cable 101	Bus 90	BARRA PRINCIPAL 2	130,4	58	-42

Con el conductor 2/0 se tiene una sobrecarga de -42%, por lo que supera al 25% de reserva que es recomendable. Para el calibre de 2/0 se tiene una sección de 67,43 mm², con estos datos se procede al cálculo de la caída de tensión para verificar si el conductor cumple con la norma establecida.

$$e\% = \frac{2\sqrt{3} * L * I}{V * mm^2} * 100\%$$

$$e\% = \frac{2\sqrt{3} * 2 * 121,32}{220 * 67,43mm^2} * 100\%$$

$$e\% = 5,67\%$$

El conductor seleccionado tiene una caída de voltaje menor al conductor instalado sin embargo este no cumple con el límite menor o igual al 5% que se establece en la norma. Con el fin de poder cumplir con el requerimiento de la normativa para la caída de tensión en el conductor, se ha seleccionado el conductor de calibre 3/0 el mismo que tiene una capacidad de corriente de 200 A.

$$e\% = \frac{2\sqrt{3} * 2 * 121,32}{220 * 85,01\text{mm}^2} * 100\%$$

$$e\% = 4,49\%$$

El conductor 3/0 cumple con el requerimiento del sistema, sin embargo, el costo del conductor es muy elevado y de difícil manipulación, para ello se calculó el equivalente de este conductor. El calibre 3/0 tiene una capacidad de 200 A, la cual se lo repartió para 2 conductores de menor calibre.

$$\frac{200\text{ A}}{2\text{ conductores}} = 100\text{ A que recorrerán por cada conductor}$$

El calibre con la capacidad de conducción de 115 A es el conductor N° 2 AWG. Por lo tanto, la corriente total que circulará en los dos conductores será de 230 A.

Por último, en la Tabla 5.32, se presenta el resultado final de la simulación con los dos conductores de calibre N° 2 AWG por fase.

Tabla 5.33 Simulación final con dos conductores por fase.

ID	BUS 1	Bus 2	Amo Loading	% Loading	%Overload
Cable 101	Bus 90	BARRA PRINCIPAL 2	130,4	48	-52

Los dos conductores de calibre N° 2 AWG por fase, tiene una reserva del 52% y es económicamente recomendable que el conductor anteriormente mencionado.

5.5.2 Solución 2: Cálculo y Dimensionamiento del Filtro Pasivo para Mitigar Armónicos en el Transformador De 100 KVA

Mediante los cálculos presentes en el Anexo J. se estableció los parámetros apropiados para la selección de un filtro pasivo capaz de mitigar el armónico de orden 5 y corregir el factor de potencia presente en el sistema eléctrico. Los resultados de los cálculos de los elementos que conforma el filtro se han detallado en la siguiente Tabla 5.34.

Tabla 5.34 Resultados del cálculo del filtro pasivo dimensionado.

PARÁMETROS	RESULTADOS
X_C	2,64 ohm
X_L	0,1195 ohm
C	1,005 mF
L	0,2918 mH
R	0,0259 ohm
Q_{eff}	19,22 kVAr

- **Resultados de la simulación para la solución 2**

En la Tabla 5.35 se realizó la comparación de los resultados obtenidos del diseño de un filtro pasivo implementado en el sistema eléctrico el cual permitirá corregir el factor de potencia a 0,96. Su respectiva simulación se presenta en la Figura J.2 del Anexo J.

Tabla 5.35 Comparación del Factor de Potencia.

	ANTES DEL FILTRO	DESPÚES DEL FILTRO
Factor de Potencia	0,84	0,96

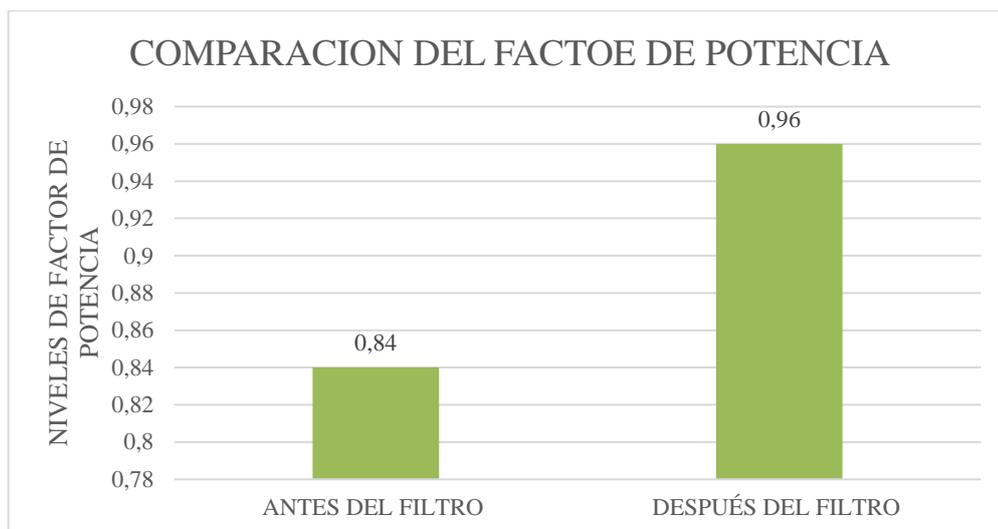


Figura 5.26 Comparación del Factor de Potencia.

En la Tabla 5.36 se realizó la comparación de los resultados obtenidos del diseño de un filtro pasivo implementado en el sistema eléctrico el cual permitirá mitigar el quinto armónico de 13,88% que es el más representativo a un 10,05% y a su vez la reducción de los armónicos de orden 7, 9, 11, 13.

Tabla 5.36 Armónicos de corriente antes y después del filtro.

ARMÓNICOS DE CORRIENTE	ANTES DEL FILTRO	DESPUÉS DEL FILTRO
3	12,27%	9,51%
5	13,88%	10,05%
7	8,80%	6,56%
9	5,27%	4,07%
11	5,76%	3,60%
13	2,77%	0,72%

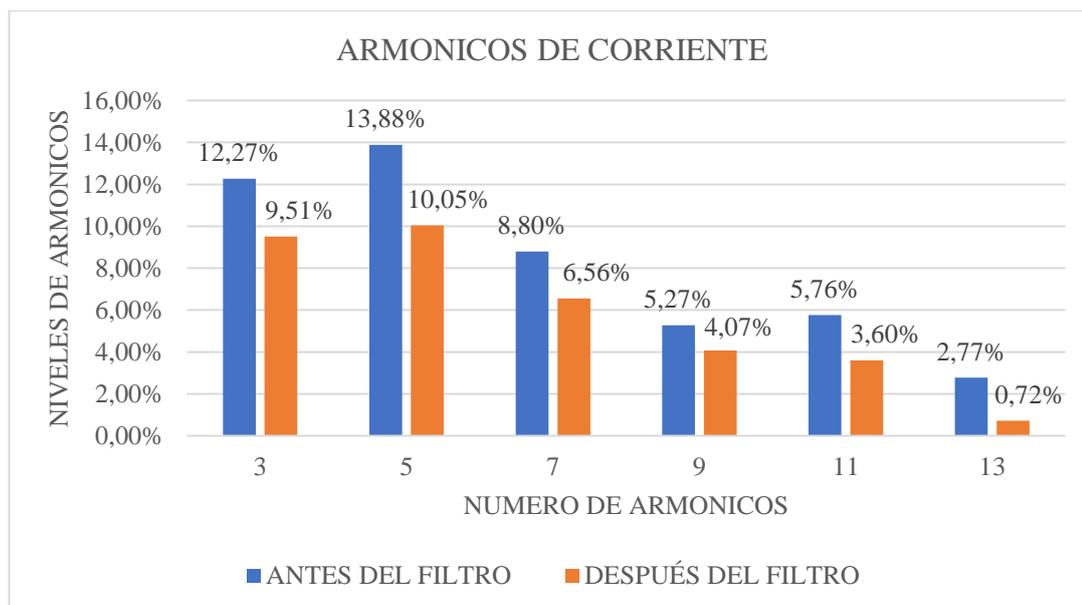


Figura 5.27 Armónicos de corriente antes y después del filtro.

5.5.3 Solución 3: Cálculo para el diseño del sistema de puesta a tierra

Para el cálculo del diseño del sistema de puesta a tierra se aplicó las ecuaciones 3.23, 3.24, 3.25 y 3.26 establecidas en la sección 3, el cálculo se lo realizó en el software Matlab (Ver en el Anexo L), tomando en consideración la normativa IEEE 80 la cual permite seleccionar, dimensionar el tipo de malla a colocarse y establecer el peso nominal de una persona. En este caso se diseñó una malla rectangular de longitud de 21 m x 12 m, la misma que está a una profundidad de 0,80 m, se tomó en consideración el peso máximo de una persona de 50 Kg, con el propósito de proteger a todo el sistema eléctrico de la empresa y al personal.

Tabla 5.37 Resultados obtenidos en Matlab.

PARÁMETROS	RESULTADOS
Et=	256,9
Ep=	222,07
Rg=	6,59

Para la comprobación del correcto dimensionamiento del sistema de puesta a tierra calculado se realizó la simulación respectiva en el software ETAP 20.0.0 como se puede observar en la Figura 5.27.

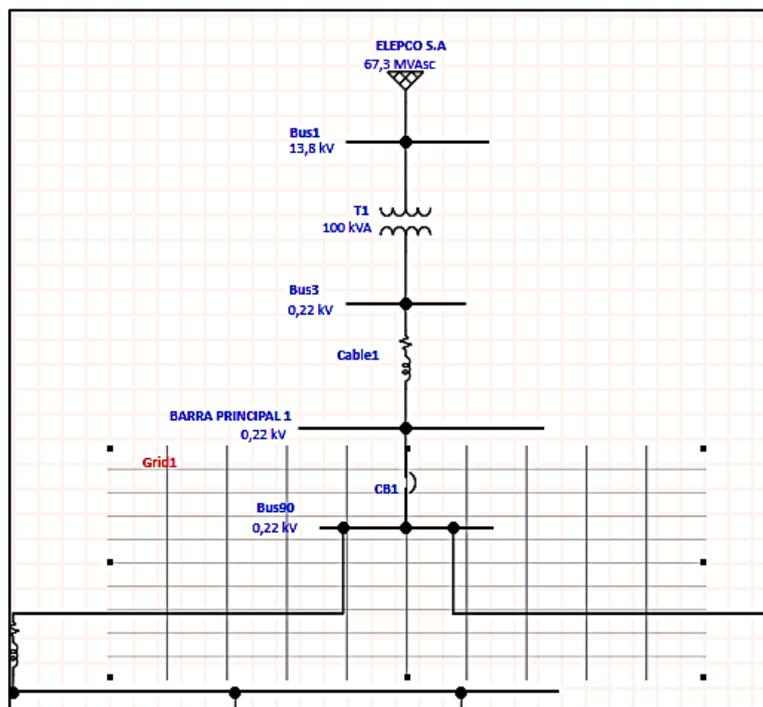


Figura 5.28 Simulación de la malla del sistema con la malla de puesta a tierra.

En la Tabla 5.38 se puede observar los resultados obtenidos a través de la simulación.

Tabla 5.38 Resultados obtenidos mediante la simulación.

PARÁMETROS	RESULTADOS ETAP
Et=	247
Ep=	229
Rg=	6,44

En la Tabla 5.39 se realiza la comparación de los resultados obtenidos del software Matlab y de la simulación en el software ETAP 20.0.0, en donde se puede evidenciar el porcentaje de error.

Tabla 5.39 Resultados obtenidos mediante la simulación.

PARÁMETROS	RESULTADOS ETAP 20.0.0	RESULTADOS MATLAB	%ERROR
Et=	247	256,9	3,85%
Ep=	229	222,07	3,03%
Rg=	6,44	6,59	2,28%

Se puede constatar que el porcentaje de error entre los dos softwares no supera el 5%.

5.5.4 Comparación de resultados de las soluciones

En la Tabla 5.40, se realiza la comparación de las tres soluciones planteadas para determinar cuál de ellas es primordial.

Tabla 5.40 Comparación de resultados.

Solución 1	Dimensionamiento del conductor.	Se realizó la simulación del sistema con el nuevo conductor sin tomar en cuenta las soluciones 2 y 3, en donde se pudo observar la disminución de sobrecarga que existía anteriormente, pero aun manteniendo la presencia de armónicos y bajo factor de potencia.
Solución 2	Diseño de un filtro pasivo para mitigar armónicos.	Con la implementación del filtro pasivo al sistema se pudo observar que este ayuda a mitigar los armónicos y corregir el factor de potencia, sin embargo, al no tomar en cuenta la solución 1 el conductor aún se encuentra sobrecargado.
Solución 3	Diseño de la malla de puesta a tierra.	Mediante el diseño de la malla de puesta a tierra se pudo constatar la protección de los equipos y máquinas eléctricas, pero al no contar con las soluciones 1 y 2 el sistema aun presenta los problemas descritos anteriormente.

Tomando en cuenta la comparación de las tres soluciones se puede deducir que la solución 2 es la más primordial ya que ayuda a reducir pérdidas económicas, sin embargo, las soluciones 1 y 3 también son importantes debido a que ayudan a mejorar el sistema eléctrico, la protección de los equipos eléctricos y resguardo al personal de la empresa.

5.6 IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMIC, OS)

5.6.1 Impacto Técnico

Desde el punto de vista técnico la realización de las soluciones anteriormente planteadas es viable debido a que ayudara a disminuir y a fortalecer el sistema eléctrico de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR” y principalmente mejorara el funcionamiento de sus procesos y evitar averías en la maquinaria.

5.6.2 Factibilidad Económica

La inversión económica en procedimientos de solución como la recalibración de conductores, la instalación del filtro y la solución de la puesta a tierra evitará daños en las maquinarias, pérdidas en los conductores, variaciones de tensión y penalizaciones por incumplimiento de normativas, esto ayudará a mejorar la confiabilidad del sistema al reducir costos económicos y evitando gastos por mantenimiento, daños de equipos, entre otros.

5.7 PROPUESTA PARA EL PROYECTO

- **Presupuesto Solución 1:** Cambio de conductor

En la Tabla 5.41 se presenta el presupuesto respectivo del conductor diseñado para la solución 1, a través de la cotización se determinó el precio unitario de \$7,59, y el costo total de inversión es de \$189,75.

Tabla 5.41 Inversión para solución 1.

Barra	Longitud	Conductor	Longitud	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
TP-TP1	5	Cobre 2 AWG	25	\$ 7,59	\$ 189,75
				Subtotal	\$ 189,75
				IVA	\$ 22,77
				TOTAL	\$ 212,52

- **Presupuesto Solución 2**

Tabla 5.42 Presupuesto del Filtro Pasivo del Transformador de 100 kVA.

Modelo	Tensión (V)	Pasos	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Filtro Pasivo VEMAC- 60 HZ	220/240	3	\$ 5.892,20	\$ 5.892,20
Costo de importación			\$ 2.835,56	\$ 2.835,56
Costo de transporte			\$ 500,00	\$ 500,00
Instalación			\$ 900,00	\$ 900,00
			IVA	\$ 675,45
			TOTAL	\$ 10.803,21

En la tabla 5.42 se expone el presupuesto respectivo del filtro pasivo diseñado para la solución 2, a través de la cotización se determinó el precio de \$ 5.892,20 del mismo, también se consideró el costo de importación, transporte y la instalación del mismo, del cual se obtiene un valor de inversión de \$ 10.803,21.

- **Presupuesto de la Solución del Diseño de la Malla Puesta a Tierra**

En la Tabla 5.43 se presenta el respectivo presupuesto del diseño de la malla puesta a tierra, mediante las cotizaciones de los materiales a utilizar para el diseño de la malla, se determinó el valor total de la inversión de \$ 2.433,49.

Tabla 5.43 Presupuesto para el sistema de puesta a tierra.

Materiales	Cantidad	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO 2/0 AWG	153	\$ 10,92	\$ 1.670,76
ELECTRODOS DE COBRE	8	\$ 9,50	\$ 76,00
SUELDAS EXOTERMICAS	10	\$ 8,00	\$ 80,00
CONECTOR PARALELO DE COBRE 3 PERNOS	8	\$ 24,50	\$ 196,00
MANO DE OBRA	1	\$ 150,00	\$ 150,00
		Subtotal	\$ 2.172,76
		IVA	\$ 260,73
		TOTAL	\$ 2.433,49

5.8 AHORRO ENERGÉTICO AL IMPLEMENTAR LAS SOLUCIONES

5.8.1 Cálculo De Pérdidas Del Transformador De 100 KVA

Tabla 5.44 Pérdidas iniciales y finales del Transformador de 100 kVA.

	Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kVAR)
Pérdidas Iniciales	1,2881	0,837
Pérdidas Finales	0,7851	0,2456

- Cálculo de las pérdidas totales

$$P_t = 1,2881 \text{ KW} - 0,7851 \text{ KW}$$

$$P_t = 0,503 \text{ KW}$$

- Cálculo de energía

$$(EH) = \frac{\text{Energía total consumida en un periodo (kWh)}}{\text{Carga máxima (kW)}}$$

Carga máxima = 44,47 kW

Energía total consumida en un periodo (kWh) = 1120,908

$$(EH) = \frac{1120,908 \text{ kWh}}{44,47 \text{ kW}}$$

$$(EH) = 25,21$$

- Cálculo de pérdidas de energía

$$P_{loss} = \text{Pérdidas totales} \times \text{Semanas} \times \text{Horas}$$

$$P_{loss} = 0,503 \text{ kWh} \times 4 \times 90,5 \text{ H}$$

$$P_{loss} = 182,086 \text{ kWh/mes}$$

- Cálculo de costo por pérdidas

$$\text{Costo por pérdidas} = 182,086 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \times 0,090 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} = 16,39 \frac{\text{USD}}{\text{mes}}$$

$$\text{Costo por pérdidas} = 16,39 \frac{\text{USD}}{\text{mes}} \times 12 \frac{\text{meses}}{1 \text{ año}} = 196,65 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

- **Penalización por bajo factor de potencia**

En la Tabla 5.45, se puede observar el valor que debe de pagar la empresa “INDUCE DEL ECUADOR” por el Bfp.

Tabla 5.45 Penalización por el bajo factor de potencia anual.

MES	VALOR CONSUMO CANCELADO	PENALIZACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA	CONSUMO SIN PENALIZACIÓN
ENERO	\$ 1077,06	\$ 108,55	\$ 968,51
FEBRERO	\$ 1222,52	\$ 53,56	\$ 1.168,96
MARZO	\$ 1334,04	\$ 106,27	\$ 1.227,77
ABRIL	\$ 1315,55	\$ 73,07	\$ 1.242,48
MAYO	\$ 1164,77	\$ 104,51	\$ 1.060,26
JUNIO	\$ 1135,79	\$ 108,69	\$ 1.027,10
JULIO	\$ 1117,32	\$ 68,91	\$ 1.048,41
AGOSTO	\$ 1149,72	\$ 121,12	\$ 1.028,60
SEPTIEMBRE	\$ 1021,59	\$ 56,03	\$ 965,56
OCTUBRE	\$ 1037,23	\$ 60,95	\$ 976,28
NOVIEMBRE	\$ 1099,47	\$ 105,17	\$ 994,30
DICIEMBRE	\$ 1006,59	\$ 97,78	\$ 908,81
TOTAL	\$ 13.681,65	\$ 1.064,61	\$ 12.617,04

- **Ahorro Económico**

Ahorro economico = Costo por perdidas anual + Multas anula por bajo factor de potencia

$$Ahorro\ economico = 196,65 \frac{USD}{años} + 1.064,61 \frac{USD}{años} = 1.261,26 \frac{USD}{año}$$

- **Cálculo del TIR y VAN**

Inversión del Proyecto = 13.449,22 USD

Ahorro económico por Bfp = 1.261,26 $\frac{USD}{año}$

Instalación de los Equipos = 1000 USD

Mantenimiento = 500,00 USD

Reparación = 200 USD

Tasa de inflación = 10 %

Atraves de las variables ya mencionadas se puede calcular el TIR Y VAN como parte del análisis económico (Ver el anexo K), los valores obtenidos son los siguientes:

TIR = 15 %

VAN = \$ 3.547,3

Tiempo de recuperación: 7 años

El proyecto es rentable puesto que el periodo de recuperación de la inversión del capital se da en un tiempo razonable de siete años ya que el tiempo de vida útil de los equipos es de diez años, además de esto se debe considerar los beneficios que generan como el ahorro de energía y el funcionamiento adecuado de la maquinaria.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Con la revisión del estado del arte y la investigación de campo mediante el levantamiento de cargas se identificó que la empresa "Induce del Ecuador" cuenta con cargas monofásicas, bifásicas y trifásicas con una potencia total instalada de 395,80 kW, estas están distribuidas en toda el área industrializada que es alimentada por un transformador de 100 kVA y a la vez mediante la identificación de los tableros de distribución se procedió al diseño del diagrama unifilar con el fin de evaluar el estado actual de la empresa e identificar perturbaciones en el sistema eléctrico.
- Para el análisis del sistema eléctrico conectado al transformador de 100 KVA, se realizó mediante la normativa nacional ARCERNNR 002/20 y normativas internacionales IEEE 519 y IEEE 1159, la cual mediante la identificación, instalación y adquisición de datos realizados por el analizador de redes, se manifiesta una serie de perturbaciones eléctricas, con un TDD promedio de 29,11 %, un bajo factor de potencia promedio aproximado de 0,81 durante las horas de trabajo normal y además de que presenta presencias de Sags y Swell que están fuera de las normativas establecidas.
- Por medio de la simulación en el software ETAP 20.0, se comprobó los resultados obtenidos por el analizador de redes y se pudo identificar que el conductor que abastece de energía eléctrica al tablero T.D.1 se encuentra sobrecargado con el 128.1% debido a que cuenta con la presencia de maquinarias que demandan gran cantidad de potencia, además de identificar la presencia de armónicos individuales de corriente que superan al 12% y 5.5% establecidos por la normativa y la falta del sistema de puesta a tierra, esto dio lugar a la implementación de medidas correctivas que contribuyan a mejorar el sistema eléctrico.
- Después de analizar el sistema eléctrico de la empresa y encontrar perturbaciones significativas, como armónicos de corriente, bajo factor de potencia y falta del sistema de puesta a tierra, se ha determinado que es necesario implementar un filtro pasivo de tercer orden con el fin de mitigar los armónicos de corriente, corregir el factor de potencia y a la vez diseñar un sistema de puesta a tierra para la protección de los elementos eléctricos y del personal, estas soluciones mejorarán el rendimiento del sistema eléctrico de la empresa y disminuirá las pérdidas económicas a futuro.

6.2 RECOMENDACIONES

- Una de las soluciones más coherentes para mejorar el sistema eléctrico es un análisis completo con una gran variedad de normativas que den soporte al personal técnico, donde aclaren diversos aspectos como la puesta a tierra, la selección de capacitores y reactores para el diseño de filtros pasivos o el dimensionamiento de filtros activos, además de que exista una guía para el desarrollo de análisis de calidad de energía como las normativas, IEEE 18, IEEE 519, IEEE 1159 y IEEE 1531.
- Para la obtención de datos, es importante utilizar herramientas de medición, como analizadores de redes, que estén calibrados correctamente, ya que los datos deben ser confiables para realizar un estudio adecuado de la calidad de la energía, es necesario verificar que la fecha de la última calibración del equipo no sea anterior a un año antes de su uso.
- Es crucial establecer todas las cargas, distancias y calibres de conductores durante la verificación de resultados mediante la simulación. Además, se recomienda que la diferencia entre los datos medidos por el analizador de redes y los simulados no sea mayor al 5% al momento de comparar los resultados. Esto permitirá representar el sistema de manera precisa y así obtener conclusiones confiables sobre los métodos para solucionar las perturbaciones y el estado actual del sistema eléctrico.
- Es indispensable tener en cuenta que al momento de instalar el filtro pasivo para mitigar los armónicos y corregir el factor de potencia se deberá retirar cualquier banco de condensadores presentes en el sistema eléctrico esto debido a que puedan entrar en resonancia con el supresor de armónicos pasivo provocando sobrevoltajes y daños en los equipos eléctricos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA CONTENIDO DE LA PRESENTACIÓN.” Accessed: Nov. 08, 2022. [Online]. Available: http://www.andi.hn/wp-content/uploads/2014/11/3-Calidad-de-la-Energ+ia_sn.pdf
- [2] Antamba Bryan and Gómez Angel, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico en,” Latacunga , 2021.
- [3] ARCERNNR, “Regulación ARCERNNR-002/20,” *El directorio de la agencia de regulacion y control de nergía y recursos naturales no renovables*, 2020.
- [4] IECOR, “CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA,” *CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA*, 2021. <https://www.iecor.com/calidad-de-energia-electrica/> (accessed Apr. 26, 2022).
- [5] Gal Electric, “Sobre La Calidad De Energía, Su Importancia Y Los Problemas Principales Asociados,” *Importancia de contar con buena calidad de voltaje*, Aug. 29, 2020. <https://www.galelectric.com.co/blog/calidad-de-energia-importancia-problemas/> (accessed Apr. 26, 2022).
- [6] P. U. I. de LA CFE, “CALIDAD DE LA ENERGÍA: CARACTERÍSTICAS Y LÍMITES DE LAS PERTURBACIONES DE LOS PARÁMETROS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.,” 2009.
- [7] el DIRECTORIO DEL CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD, “REGULACION No. CONELEC - 004/01,” *CALIDAD DEL SERVICIO ELECTRICO DE DISTRIBUCION*, 2016, Accessed: Nov. 15, 2022. [Online]. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/02/Regulacion-No.-CONELEC-004-01.pdf>

- [8] IEEE Power and Energy Society, “Practica y Requisitos para el Control de Armónicos en Sistemas de energía eléctrica,” *Transmission and Distribution Committee of the IEEE Power and Energy Society*, Apr. 2014.
- [9] *1159-2019 - IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*. IEEE, 2019.
- [10] IEEE Power and Energy, “Monitoreo la Calidad de la Energía Eléctrica,” *Práctica recomendada de IEEE para monitorear la calidad de la energía eléctrica*, Aug. 2019.
- [11] Técnica Fase SA, “Caídas de tensión (SAGs),” Sep. 21, 2018. <http://www.tecnicafase.com/blog/ortea/caidas-de-tension-sags-el-mas-importante-de-todos-los-problemas-de-calidad-de-energia/> (accessed Jun. 16, 2022).
- [12] Juan José Mora Flórez, “Perturbaciones en la Onda de Tensión,” Girona, Mar. 2023.
- [13] SENER, “FACTOR DE POTENCIA Y SUS IMPLICACIONES,” *Dirección de Eficiencia Energética en la Edificación*, 2020. Accessed: Nov. 29, 2022. [Online]. Available:
https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/APF/documentos/MATERIAL_EXAMEN%2001-2020-FP_VLMB.jlt.pdf
- [14] “Capítulo I.” Accessed: Nov. 29, 2022. [Online]. Available:
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_f_s/capitulo1.pdf
- [15] “Pliego-Tarifario-Servicio-Publico-de-Energia-Elctrica_-Ano-2022 (1),” 2022, Accessed: Nov. 29, 2022. [Online]. Available:
https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/05/Pliego-Tarifario-Servicio-Publico-de-Energia-Elctrica_-Ano-2022.pdf
- [16] S. Guayaquil, P. de Titulación, K. Luis, H. German, D. Bladimir, and L. Ortiz, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA INGENIERO ELÉCTRICO AUTORES,” 2018.

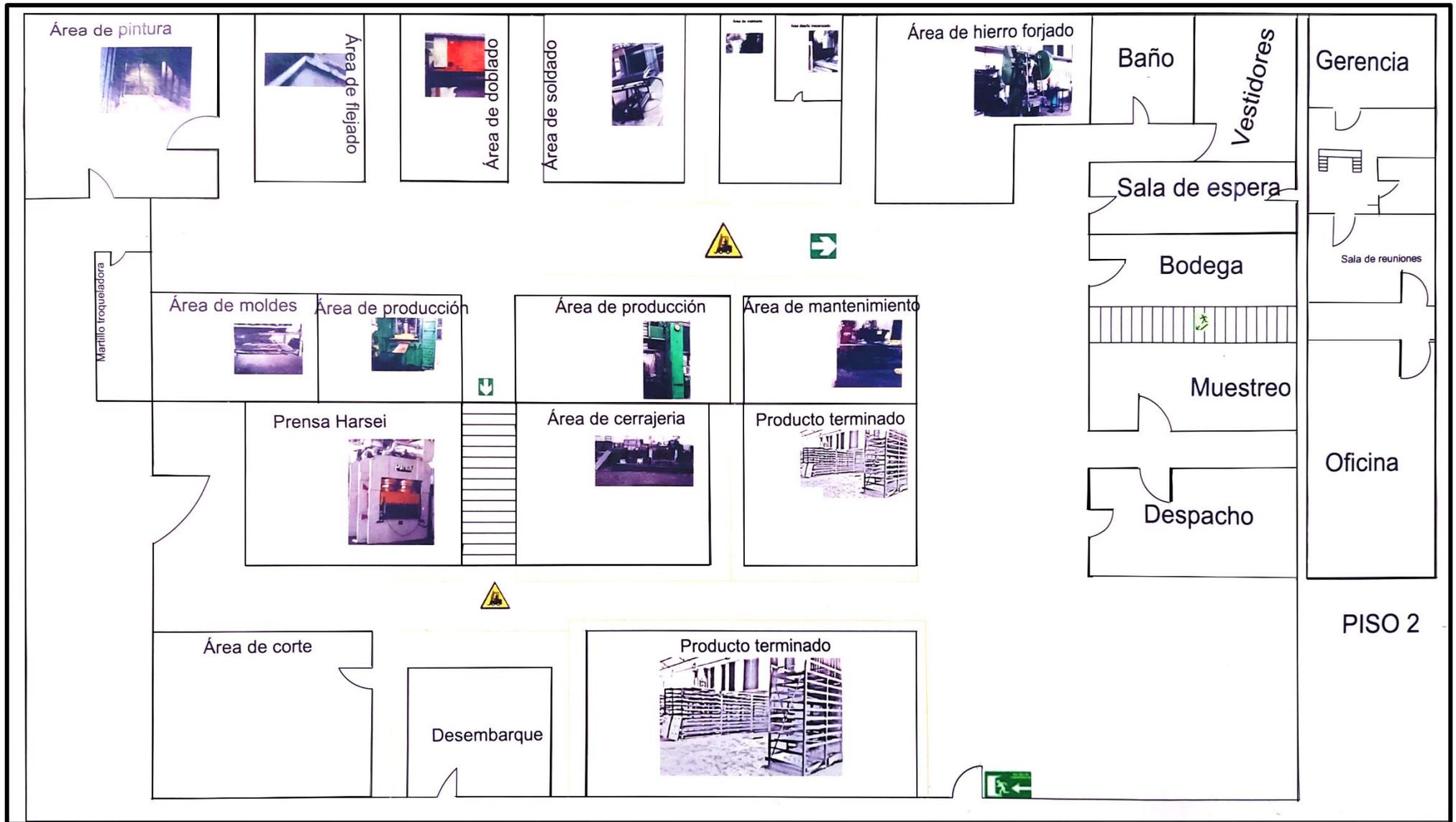
- [17] VIVIANA G. BASANTE G., “ANÁLISIS DE MODELOS DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA PARA DIFERENTES ELECTRODOS Y CONDICIONES DE SUELOS,” Quito, Nov. 2019. Accessed: Dec. 31, 2022. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18119/1/UPS%20-%20ST004379.pdf>
- [18] S. Committee of the IEEE Power and E. Society, “IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding Sponsored by the Substations Committee IEEE Power and Energy Society IEEE Std 80TM-2013 (Revision of IEEE Std 80-2000/ Incorporates IEEE Std 80-2013/Cor 1-2015),” Dec. 2015.
- [19] P. Systems Engineering Committee of the IEEE Industry Applications Society, “IEEE Std 142-2007 (Revision of IEEE Std 142-1991) IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems,” Jun. 2007.
- [20] JESSICA D. BASANTES V, “METODOLOGÍAS DE CÁLCULO PARA EL ANÁLISIS DE FENÓMENOS DE RESONANCIA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA,” Quito, Feb. 2021. Accessed: Jan. 25, 2023. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19831/1/UPS%20-%20TTS260.pdf>
- [21] José Moreno, “Comprobación de diferenciales y medición de corrientes de fuga,” Madrid, 2014. Accessed: Feb. 01, 2023. [Online]. Available: https://d1hbuu0ofon117.cloudfront.net/sites/www.voltimum.es/files/fields/attachment_file/comprobacion_de_diferenciales_y_medicion_de_fugas_de_corriente.pdf
- [22] Arcila, “Onda periódica sinusoidal sin contenido armónico,” 2010. https://www.researchgate.net/figure/Onda-periodica-sinusoidal-sin-contenido-armonico-Fuente-Arcila-2010_fig1_355089435 (accessed Jan. 29, 2023).
- [23] CHRISTOFER GONZÁLEZ, “Estudio de contaminacion armonica en sistemas electricos de potencia,” Feb. 2019, Accessed: Nov. 02, 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/47417/3560900259625UTFSM.pdf?s=equen>
- [24] *1159-2019 - IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*. IEEE, 2019.

- [25] “Fluke 434-II/435-II/437-II Analizador trifásico de energía y calidad de la energía eléctrica,” 2012. Accessed: Dec. 27, 2022. [Online]. Available: https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/F430-II_umspa0100.pdf
- [26] “Power Log PC Application Software Manual de uso,” 2007.
- [27] Solannlly Briced Mendieta Yepes, “MANUAL PARA EL USO DE LAS HERRAMIENTAS BÁSICAS DEL SOFTWARE ETAP SOLANNLLY BRICED MENDIETA YEPES UNIVERSIDAD DE LA SALLE FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA BOGOTÁ DC 2015,” Bogota, Jan. 2015. Accessed: Nov. 02, 2022. [Online]. Available: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1006&context=ing_electrica
- [28] “nVent ERICO GEM Material de Refuerzo de Tierra,” 2018. Accessed: Jan. 29, 2023. [Online]. Available: <https://www.nvent.com/sites/default/files/acquiadam/assets/E978B-LASP.pdf>
- [29] IEEE Power Engineering Society. Transmission and Distribution Committee., Institute of Electrical and Electronics Engineers., and IEEE-SA Standards Board., *IEEE guide for application and specification of harmonic filters*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2003.
- [30] *18-2002 IEEE Standard for Shunt Power Capacitors*. 2002.

8. ANEXOS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

ANEXO A: Reconocimiento de las áreas de la empresa.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

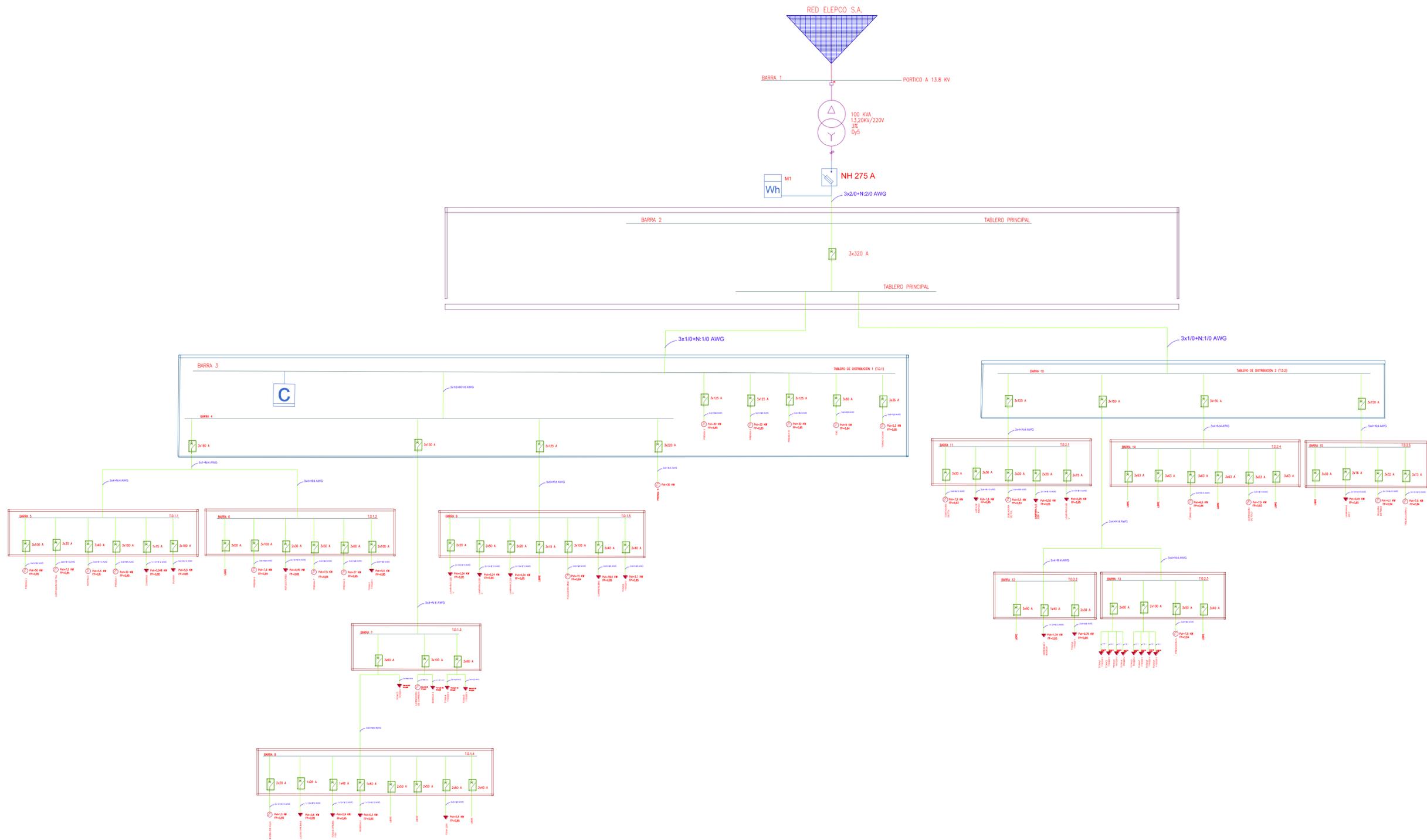
ANEXO B: Levantamiento de cargas lineales y no lineales de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR”

Tabla B.1 Carga instalada en el transformador 100 KVA.

MAQUINARIA Y EQUIPOS ELÉCTRICOS INSTALADOS EN LA EMPRESA "INDUCE DEL ECUADOR".											
ÁREA	CONSUMIDOR ENERGÉTICO	POTENCIA (W)	Nº DE EQUIPOS	POTENCIA ACTIVA (kW)	F.P	EFICIENCIA	ANGULO RAD	ANGULO GRADOS	POTENCIA REACTIVA (KVAR)	POTENCIA APARENTE (KVA)	
ADMINISTRATIVA	Luminarias	15	6	0,09	0,9	93	0,45	25,84	0,04	0,10	
	Computadoras	400	6	2,4	0,64	91	0,88	50,21	2,88	3,75	
	Impresoras	300	2	0,6	0,9	91	0,45	25,84	0,29	0,67	
	Camaras de seguridad	2,9	4	0,0116	0,9	93	0,45	25,84	0,01	0,01	
	Modem	3,6	1	0,0036	0,9	93	0,45	25,84	1,74E-03	4,00E-03	
	TOTAL			3,11					3,22	4,53	
GERENCIA Y SALA DE REUNIONES	Luminarias	15	4	0,06	0,9	93	0,45	25,84	0,03	0,07	
	Computadora	400	1	0,4	0,64	91	0,88	50,21	0,48	0,63	
	Cafetera	800	1	0,8	0,9	97	0,45	25,84	0,39	0,89	
	Impresora	300	1	0,3	0,9	91	0,45	25,84	0,15	0,33	
		TOTAL			1,56				1,04	1,91	
INDUSTRIALIZADA	Luminarias	40	2	0,08	0,9	93	0,45	25,84	0,04	0,09	
	Lamparas colgantes	250	5	1,25	0,9	93	0,45	25,84	0,61	1,39	
	Reflectores	150	3	0,45	0,9	93	0,45	25,84	0,22	0,50	
	Prensa 1	30000	1	30	0,85	91	0,55	31,79	18,59	35,29	
	Prensa 2	30000	1	30	0,85	91,8	0,55	31,79	18,59	35,29	
	Prensa 3	30000	1	30	0,85	91	0,55	31,79	18,59	35,29	
	Prensa 5	7500	1	7,5	0,84	87	0,57	32,86	4,84	8,93	
	Prensa 6	7500	1	7,5	0,84	87	0,57	32,86	4,84	8,93	
	Prensa 7	7500	1	7,5	0,84	87	0,57	32,86	4,84	8,93	
	Prensa 8	22000	1	22	0,85	91	0,55	31,79	13,63	25,88	
	Prensa 9	30000	1	30	0,85	91	0,55	31,79	18,59	35,29	
	Prensa 10	30000	1	30	0,85	91,8	0,55	31,79	18,59	35,29	
	Troqueladora 1	7500	1	7,5	0,84	87	0,57	32,86	4,84	8,93	
	Troqueladora 2	7500	1	7,5	0,84	87	0,57	32,86	4,84	8,93	
	Torno 1	4100	1	4,1	0,84	86	0,57	32,86	2,65	4,88	
	Torno 2	4100	1	4,1	0,84	86	0,57	32,86	2,65	4,88	
	Torno 3	3700	1	3,7	0,79	87,5	0,66	37,81	2,87	4,68	
	Maquina de pinas	4100	1	4,1	0,84	87	0,57	32,86	2,65	4,88	
	Cortadora de tol 1	7500	1	7,5	0,83	88	0,59	33,90	5,04	9,04	
	Cortadora de tol 2	5500	1	5,5	0,83	88	0,59	33,90	3,70	6,63	
	Cortadora de tol 3	7500	1	7,5	0,84	87	0,57	32,86	4,84	8,93	
	Dobladora de tol	5500	1	5,5	0,83	88	0,59	33,90	3,70	6,63	
	Martillo	5500	1	5,5	0,8	87,5	0,64	36,87	4,13	6,88	
	Suelda de Plasma	5500	1	5,5	0,93	85	0,38	21,57	2,17	5,91	
	Sueldas	5500	8	44	0,93	85	0,38	21,57	17,39	47,31	
	Fresadora 5	5500	1	5,5	0,83	88	0,59	33,90	3,70	6,63	
	Flejadora Zinc	15000	1	15	0,84	88	0,57	32,86	9,69	17,86	
	Carrete de Zinc	18600	1	18,6	0,85	91	0,55	31,79	11,53	21,88	
	Laminadora de Correas	7500	1	7,5	0,83	87	0,59	33,90	5,04	9,04	
	CNC	9000	1	9	0,85	91	0,55	31,79	5,58	10,59	
	Torno CNC	6500	1	6,5	0,85	87,5	0,55	31,79	4,03	7,65	
	Torno ocuma	2300	1	2,3	0,85	88	0,55	31,79	1,43	2,71	
	Compresor CNC	3700	1	3,7	0,85	84,6	0,55	31,79	2,29	4,35	
	Moladora	1905	3	5,72	0,83	87,5	0,59	33,90	3,84	6,89	
	Esmeril	750	1	0,75	0,83	87,5	0,59	33,90	0,50	0,90	
		TOTAL			382,85					231,08	448,10
	ÁREA DE PINTURA	Lamparas colgantes	250	2	0,5	0,9	93	0,45	25,84	0,24	0,56
		Compresor 1	3700	1	3,7	0,85	84,6	0,55	31,79	2,29	4,35
		Compresor 2	3700	1	3,7	0,85	84,6	0,55	31,79	2,29	4,35
		TOTAL			7,90				4,83	9,26	
BAÑOS	Luminarias	15	1	0,015	0,95	93	0,32	18,19	4,93E-03	0,02	
	Bomba	370	1	0,37	0,98	65	0,20	11,48	0,08	0,38	
RESERVOIRIO DE AGUA	TOTAL			0,39					0,08	0,39	
POTENCIA TOTAL INSTALADA				395,80					240,26	464,21	

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

ANEXO C: Diagrama Unifilar de cargas de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR” en AutoCAD.



SIMBOLOGIA

- Transformador trifásico se describe numero de fases, capacidad en KVA, voltajes primarios y secundarios.
- Protecciones (fusibles térmicos) se indica capacidad.
- Sistema de medición (ELEPCO S.A.)
- Banco de capacitores de capacidad de 50 KVAR.
- Motores eléctricos se indica numero de fases y potencia en HPs.
- Carga eléctrica se indica numero de fases y potencia.
- Breaker trifásico de AC, y se indica la capacidad
- Breaker bifásico de AC, y se indica la capacidad
- Breaker monofásico de AC, y se indica la capacidad
- Conductor eléctrico que indican cantidad y calibre
- Tablero de distribución principal.
- Subtablero de distribución primario.
- Subtablero de distribución secundario.

DIBUJO:
B.MERINO
C.TARCO

REV:

FECHA:
-/-/2022

ESCALA:
S/N

**DIAGRAMA UNIFILAR DE CARGAS
DE LA EMPRESA
"INDUCE DEL ECUADOR"**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

ANEXO D: Facturas del consumo eléctrico y egreso económico del medidor 206 de la Empresa “INDUCE DEL ECUADOR “

Tabla D.1 Facturación del medidor 206 del transformador de 100 kVA del año 2019.

INFOEMACIÓN DEL CONSUMIDOR AÑO 2019												
CONSUMO DE ENERGÍA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Consumo (KWH)	5,596	6,435	6,831	7,002	6,536	6,429	6,654	6,228	5,687	5,826	5,757	5,013
Dem.Mes	60	58	66	61	49	51	51	58	52	53	56	45
Dem.Facturada	61	59	67	62	49	52	51	59	53	54	57	45
Dem.Pico	9	13	32	32	35	27	25	26	29	25	36	34
P.I.T	110	126	134	137	128	126	130	122	112	114	113	98
Factor de Potencia	0,782	0,852	0,8	0,837	0,8	0,791	0,836	0,779	0,843	0,838	0,79	0,784
FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO AÑO 2019												
CONCEPTO	Valor Total \$											
Consumo + PIT	20,43	45,73	42,62	89,29	60,56	47,7	66,37	28,21	58,07	65,75	61,49	56,41
Comercialización	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41
Consumo Activa Base	39,28	62,07	65,98	59,57	54,46	46,89	51,15	38,03	34,62	42,69	38,03	47,49
Consumo Act.Pico Fer	3,41	8,34	8,52	2,15	5,74	6,55	7	3,77	2,6	3,77	2,78	3,77
Consumo activa valle	410,56	418,16	449,22	442,04	430,65	444,91	440,88	462,4	395,31	385,53	392,35	312,07
Demanda	140,03	135,36	154,03	142,36	143,93	119,02	119,02	135,36	121,36	123,69	143,03	142,53
Bajo Factor de Potencia	108,55	53,56	106,27	73,07	104,51	108,69	68,91	121,12	56,03	60,95	105,17	97,78
Tasa de Alumorado Público	247,21	385,26	385,23	385,23	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21
Recargo por Recuperación de Cartera	1,57	0,76	0,29		1,08	2,13	1,57	0,58	0,6	0,62	0,28	
SUBTOTAL DEL SERVICIO ELÉCTRICO	972,45	1110,64	1215,57	1195,12	1049,55	1024,51	1003,52	1038,09	917,21	931,62	991,75	908,67
TOTAL.COBRO.TERCEROS	104,61	111,88	118,47	120,43	115,22	111,28	113,8	111,63	104,36	105,61	107,72	97,92
TOTAL SERVICIO ELÉCTRICO	1077,06	1222,52	1334,04	1315,55	1164,77	1135,79	1117,32	1149,72	1021,59	1037,23	1099,47	1006,59

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla D.2 Facturación del medidor 206 del transformador de 100 kVA del año 2020.

INFOEMACIÓN DEL CONSUMIDOR AÑO 2020												
CONSUMO DE ENERGÍA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Consumo (KWH)	5,478	5,672	2,694	3,458	3,58	5,74	6,61	8,839	6,467	7,31	7,615	5,769
Dem.Mes	50	63	25	24	41	53	54	52	73	64	52	62
Dem.Facturada	51	64	38	38	41	54	55	53	74	64	60	63
Dem.Pico	44	17	15	18	14	36	44	48	17	22	59	18
P.I.T	107	111	53	68	70	113	130	173	127	143	149	113
Factor de Potencia	0,548	0,571	0,627	0,846	0,678	0,594	0,799	0,988	0,957	0,916	0,95	0,952
FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO AÑO 2020												
CONCEPTO	Valor Total \$											
Consumo + PIT	40,55	31,42	21,57	34,74	16,38	24,99	43,24	105,88	29,76	34,78	125,17	30,7
Comercialización	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41
Consumo Activa Base	38,38	32,36	19,69	54,51	52,4	43,89	52,3	111,22	42,64	65,88	80,16	52,4
Consumo Act.Pico Fer	2,78	3,41	1,61	10,49	7,71	6,46	4,75	10,85	4,04	7,45	8,7	5,02
Consumo activa valle	384,81	420,24	186,13	172,04	205,41	409,03	457,11	491,29	473,97	499,36	422,58	392,08
Demanda	195,1	147,03	88,23	118,56	95,68	145,56	189,51	242,71	170,36	149,36	275,38	144,69
Bajo Factor de Potencia	450,09	388,65	148,9	34,27	135,27	346,49	113,33			3,32		
Tasa de Alumorado Público	247,21	247,21	37,92	37,92	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21
Recargo por Recuperación de Cartera	1,77	0,27		4,36							77,64	1,1
SUBTOTAL DEL SERVICIO ELÉCTRICO	1362,1	1272	1811,74	2274,8	3080,31	4339,63	5439,7	6684,55	6008,51	1009,77	1236,25	874,61
TOTAL.COBRO.TERCEROS	111,19	34,28	-5,24	44,04	34,28	34,28	34,28	34,28	34,28	354,99	354,99	354,99
TOTAL SERVICIO ELÉCTRICO	1473,29	1306,28	1806,5	2378,84	3114,59	4373,91	5473,98	6718,83	6042,79	1364,99	1593,24	1229,6

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla D.3 Facturación del medidor 206 del transformador de 100 kVA del año 2021.

INFOEMACIÓN DEL CONSUMIDOR AÑO 2021												
CONSUMO DE ENERGÍA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Consumo (KWH)	6,034	5,721	6,406	5,279	5,391	4,955	5,256	5,775	5,986	5,196	4,454	6,647
Dem.Mes	59	61	62	57	53	50	45	46	49	60	46	55
Dem.Facturada	60	62	63	58	54	51	45	46	49	61	46	56
Dem.Pico	32	10	16	19	15	19	18	36	23	22	19	28
P.I.T	118	112	126	104	106	97	103	113	117	102	87	130
Factor de Potencia	0.931	0.91	0.902	0.98	0.986	0.966	0.958	0.965	0.963	0.956	0.96	0.971
FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO AÑO 2021												
CONCEPTO	Valor Total \$											
Consumo + PIT	39,92	18,87	26,96	21,78	27,38	28,41	22,81	33,91	22,71	16,38	103,18	50,81
Comercialización	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41
Consumo Activa Base	56,31	32,36	41,83	37,73	42,89	36,62	35,67	41,53	30,21	27,1	44,34	65,93
Consumo Act.Pico Fer	7,8	4,22	5,2	4,22	5,92	1,88	3,59	6,28	7,09	2,6	4,22	6,64
Consumo activa valle	398,09	434,69	471,19	382,93	377,19	352,43	384,27	408,05	456,12	400,78	226,67	427,6
Demanda	137,69	142,36	144,69	133,02	123,69	116,69	105,02	152,8	114,35	140,03	107,35	128,36
Bajo Factor de Potencia		6,97	13,79									
Tasa de Alumorado Público	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21
Recargo por Recuperación de Cartera	0,86		0,36	1,36	3,05	1,38	2,41		1,68	1,09	0,36	
SUBTOTAL DEL SERVICIO ELÉCTRICO	889,29	888,09	952,64	829,66	828,74	786,03	802,39	891,19	880,78	836,6	1926,33	2006,27
TOTAL.COBRO.TERCEROS	354,99	354,99	354,99	354,99	354,99	354,99	354,99	354,99	354,99	354,99	354,99	354,99
TOTAL SERVICIO ELÉCTRICO	1244,28	1243,08	1307,63	1184,65	1183,73	141,02	1157,38	1246,18	1235,77	1191,59	2281,32	2361,26

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla D.4 Facturación del medidor 206 del transformador de 100 kVA del año 2022.

INFOEMACIÓN DEL CONSUMIDOR AÑO 2022												
CONSUMO DE ENERGÍA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Consumo (KWH)	5,412	4,574	6,482	6149	6,198	4,616	6,719	6,528	7,74	6,764	6,266	5,926
Dem.Mes	44	48	58	58	63	66	60	51	82	60	54	66
Dem.Facturada	44	48	59	59	64	67	63	52	83	61	55	67
Dem.Pico	20	29	32	33	23	13	36	23	27	26	17	26
P.I.T	106	90	127	121	122	91	132	128	152	133	123	116
Factor de Potencia	0,96	0,957	0,949	915	0,934	0,928	0,95	0,964	0,954	0,961	0,963	0,957
121												
CONCEPTO	Valor Total \$											
Consumo + PIT	30,59	13,69	49,98	25,61	31,32	29,24	23,64	35,57	36,19	36,19	30,9	25,93
Comercialización	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41
Consumo Activa Base	42,99	23,95	65,68	48,2	53,66	45,59	43,19	54,16	61,32	63,48	70,74	41,93
Consumo Act.Pico Fer	5,29	2,51	4,22	4,04	10,14	5,83	6,01	5,47	5,29	5,2	7,36	5,56
Consumo activa valle	376,74	353,06	416,39	439,08	422,67	301,3	498,91	452,36	547,89	456,57	401,32	428,5
Demanda	102,69	113,03	135,36	135,36	147,03	154,03	144,69	119,02	191,37	140,03	126,02	154,03
Bajo Factor de Potencia				3,57								
Tasa de Alumorado Público	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21	247,21
Recargo por Recuperación de Cartera	6,59	1	0,54	0,92	1,48	1,52		4,21		8,64	6,53	4,74
SUBTOTAL DEL SERVICIO ELÉCTRICO	813,51	755,86	920,79	905,51	914,92	786,13	965,06	1920	2046,51	958,73	891,49	1837,22
TOTAL.COBRO.TERCEROS	357,13	357,13	357,14	36,42								
TOTAL SERVICIO ELÉCTRICO	1170,64	1112,99	1277,93	941,93	951,34	822,55	1001,48	1957,31	2082,93	995,15	927,91	1873,64

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

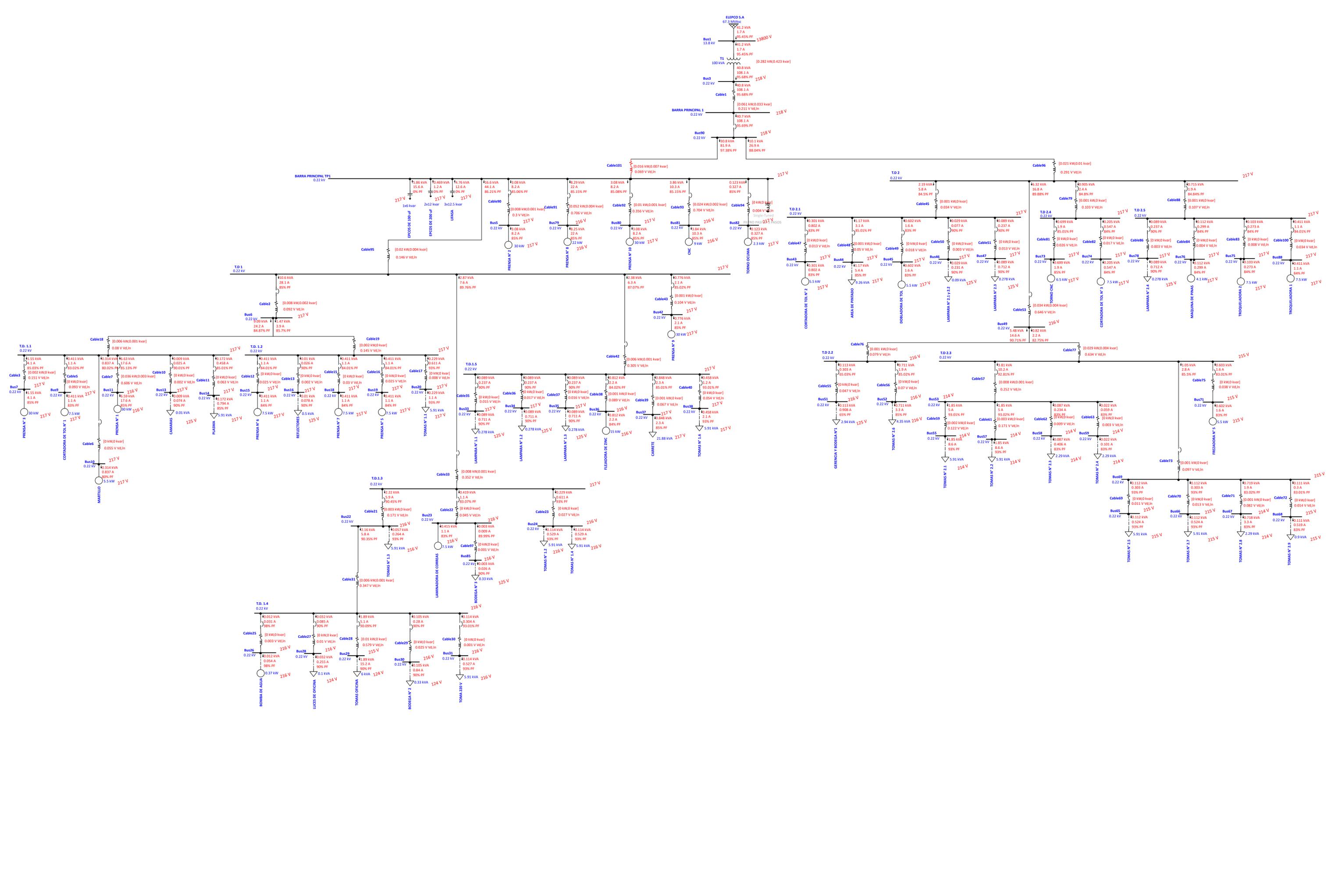
ANEXO E: Demanda del transformador de 100 kVA.

Tabla E.1 Demanda media semanal del Transformador de 100 KVA.

No	Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
		19/12/2022	20/12/2022	21/12/2022	22/12/2022	23/12/2022	24/12/2022	25/12/2022
1	1:00:00	7,89	26,33	22,16	23,35	21,63	21,59	21,59
2	2:00:00	7,86	24,14	22,58	23,37	21,64	21,59	21,59
3	3:00:00	7,90	23,81	22,14	23,34	21,61	21,57	21,57
4	4:00:00	7,92	24,20	22,14	23,35	21,63	21,59	21,59
5	5:00:00	7,87	24,33	22,59	23,35	21,61	21,58	21,58
6	6:00:00	7,64	24,30	22,14	23,36	22,30	21,57	21,57
7	7:00:00	7,64	24,51	23,20	24,34	22,44	21,49	21,49
8	8:00:00	35,47	52,16	51,08	37,27	30,60	22,24	22,24
9	9:00:00	42,06	42,70	58,31	52,75	43,21	21,75	21,75
10	10:00:00	37,80	51,32	65,47	50,60	46,32	21,47	21,47
11	11:00:00	37,01	49,83	60,01	41,69	47,71	21,47	21,47
12	12:00:00	37,80	52,34	61,10	47,06	41,12	21,50	21,50
13	13:00:00	37,01	49,35	57,15	31,09	41,24	21,50	21,50
14	14:00:00	38,42	49,85	54,71	52,02	39,46	21,50	21,50
15	15:00:00	53,63	51,72	38,80	50,70	25,42	24,77	24,77
16	16:00:00	42,03	48,27	42,37	37,40	22,12	23,23	23,23
17	17:00:00	44,07	34,91	26,96	21,91	21,49	23,21	23,21
18	18:00:00	24,17	24,14	23,68	22,09	21,50	23,35	23,35
19	19:00:00	24,18	23,81	23,34	22,57	21,49	23,42	23,42
20	20:00:00	24,23	23,76	23,32	21,64	21,49	22,56	22,56
21	21:00:00	24,16	23,79	23,35	21,63	21,55	21,44	21,44
22	22:00:00	23,89	23,81	23,49	21,63	21,55	21,45	21,45
23	23:00:00	23,92	25,14	23,35	21,64	23,55	21,50	21,50
24	24:00:00	7,88	24,28	23,79	23,52	21,64	21,57	21,57

ANEXO F: Simulación del sistema eléctrico inicial del transformador de 100 KVA de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR”

Figura F.1 Simulación del sistema eléctrico inicial.



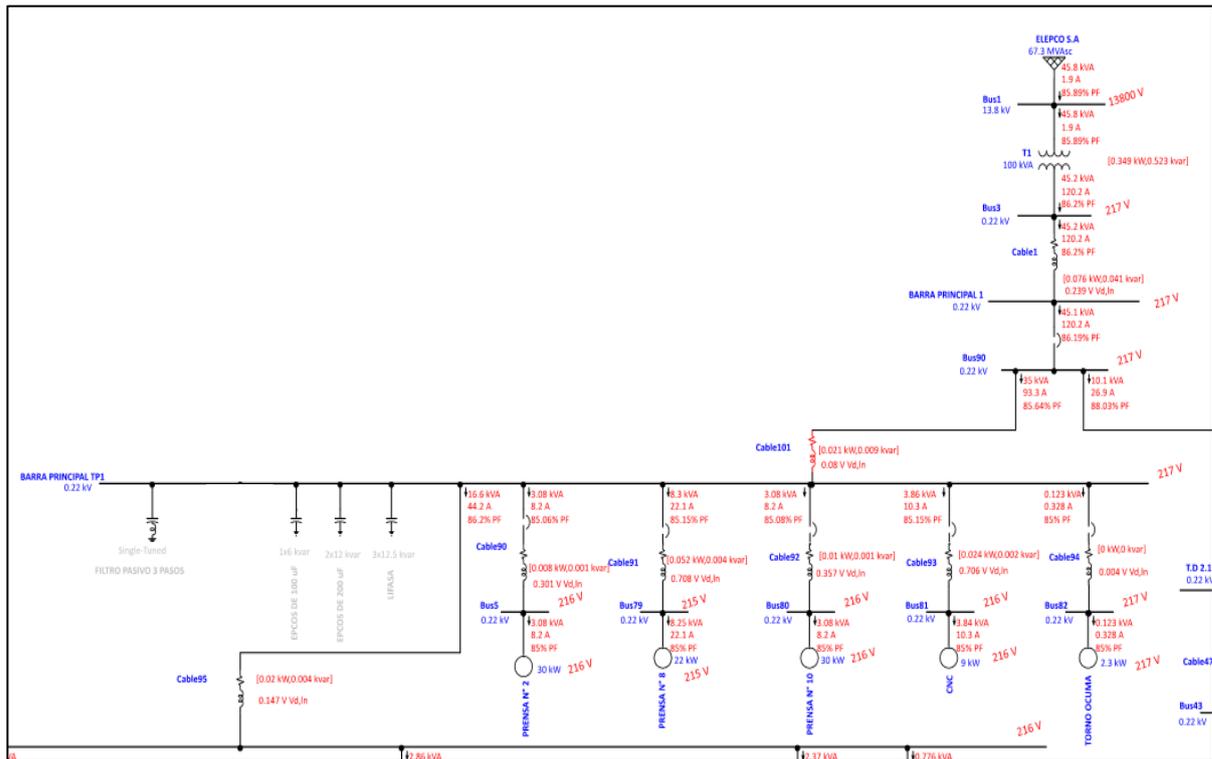


Figura F.2 Simulación de Armónicos sin banco de capacitores del Transformador de 100 KVA.

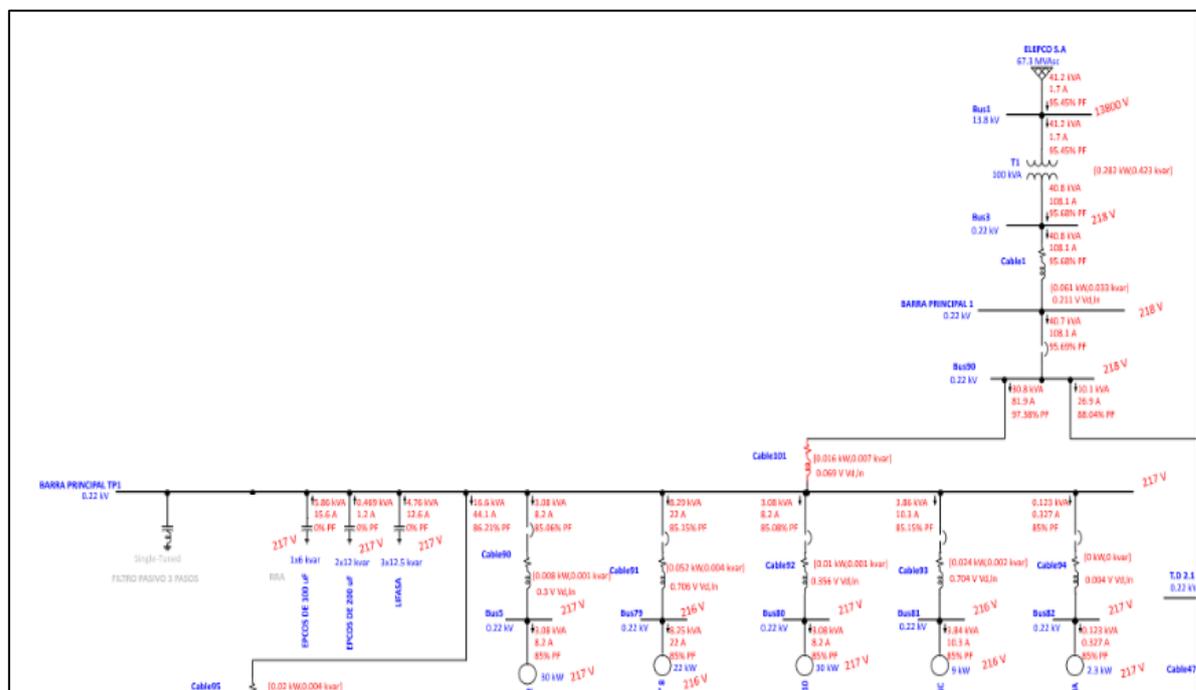


Figura F.3 Simulación de Armónicos con banco de capacitores del Transformador de 100 KVA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

ANEXO G: Resultados obtenidos de la simulación ETAP 20.0.0 en comparación con el analizador de redes del sistema inicial.

Tabla G.1 Resultados de cargabilidad, caídas de voltaje y pérdida en los conductores.

ID	kW Flow	kvar Flow	Amp Flow	% PF	% Loading	% Voltage Drop	kW Losses	kvar Losses
Cable1	43,55	14,92	123,5	94,6	68,3	1,06	0,455	0,214
Cable2	11,15	6,91	35,24	85		0,49	0,0719	0,0094
Cable3	1,32	0,817	4,21	85,04		0,12	0,0022	0,0002
Cable5	0,341	0,229	1,114	83,03		0,07	0,0004	0
Cable6	0,252	0,189	0,852	80,03		0,04	0,0002	0
Cable7	5,64	3,48	17,96	85,13		0,49	0,0372	0,0031
Cable10	0,008	0,0038	0,024	90,3		0	0	0
Cable11	0,141	0,0874	0,45	85,02		0,05	0,0001	0
Cable12	0,949	0,613	3,061	84,02		0,05	0,0007	0,0001
Cable13	0,0084	0,0041	0,025	90,09		0	0	0
Cable15	0,69	0,445	2,226	84,02		0,05	0,0005	0
Cable16	1,47	0,947	4,731	84,03		0,08	0,0017	0,0001
Cable17	0,206	0,0813	0,601	93,02		0,01	0	0
Cable18	7,74	4,81	24,61	84,95		0,34	0,035	0,0046
Cable19	3,33	2,09	10,63	84,71		0,31	0,0136	0,0018
Cable21	1,97	0,927	5,859	90,45		0,13	0,0032	0,0003
Cable22	0,348	0,233	1,128	83,07		0,04	0,0002	0
Cable23	0,208	0,0824	0,604	93		0,02	0,0001	0
Cable25	0,0114	0,0023	0,031	98,01		0	0	0
Cable27	0,0279	0,0135	0,084	90,01		0,01	0	0
Cable28	1,67	0,805	5,017	90,09		0,45	0,0094	0,0003
Cable29	0,0922	0,0446	0,277	90,01		0,02	0	0
Cable30	0,103	0,0407	0,3	93,03		0	0	0
Cable31	1,91	0,906	5,708	90,35		0,27	0,0063	0,0005
Cable33	2,53	1,24	7,578	89,75		0,27	0,0083	0,0011
Cable35	0,0784	0,0379	0,235	90,01		0,01	0	0
Cable36	0,0784	0,0379	0,235	90,01		0,01	0	0
Cable37	0,0784	0,0379	0,235	90,01		0,01	0	0
Cable38	0,682	0,44	2,188	84,02		0,07	0,0007	0
Cable39	0,706	0,437	2,236	85,02		0,05	0,0005	0
Cable40	0,417	0,165	1,208	93,01		0,04	0,0002	0
Cable42	2,05	1,16	6,318	87,05		0,24	0,0062	0,0008
Cable43	0,66	0,409	2,086	85,02		0,08	0,0007	0,0001
Cable45	1,83	1,16	5,82	84,49		0,03	0,0007	0,0001
Cable47	0,25	0,168	0,81	83		0,01	0	0
Cable48	0,974	0,603	3,081	85,01		0,04	0,0005	0

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

Continuación

Cable49	0,5	0,336	1,621	83		0,01	0,0001	0
Cable50	0,0254	0,0123	0,076	90		0	0	0
Cable51	0,0786	0,0381	0,235	90		0,01	0	0
Cable53	5,57	2,72	16,66	89,87		0,5	0,0335	0,0044
Cable55	0,072	0,0841	0,299	65,03		0,04	0,0001	0
Cable56	0,591	0,366	1,882	85,02		0,05	0,0004	0
Cable57	3,46	1,39	10,14	92,81		0,2	0,0079	0,0007
Cable59	1,68	0,665	4,929	93,01		0,1	0,0019	0,0002
Cable61	1,68	0,664	4,927	93,01		0,13	0,0026	0,0002
Cable62	0,0706	0,0475	0,232	83		0,01	0	0
Cable63	0,0177	0,0119	0,058	83		0	0	0
Cable69	0,102	0,0404	0,299	93,01		0,01	0	0
Cable70	0,102	0,0404	0,299	93,01		0,01	0	0
Cable71	0,584	0,392	1,913	83,02		0,06	0,0005	0
Cable72	0,0904	0,0607	0,296	83,01		0,01	0	0
Cable73	0,88	0,534	2,797	85,5		0,08	0,0009	0,0001
Cable75	0,5	0,336	1,637	83,01		0,03	0,0002	0
Cable76	0,664	0,45	2,169	82,75		0,06	0,0006	0,0001
Cable77	4,87	2,26	14,52	90,69		0,49	0,0285	0,0037
Cable79	0,768	0,48	2,435	84,8		0,08	0,0008	0,0001
Cable81	0,594	0,368	1,882	85,01		0,02	0,0002	0
Cable82	0,172	0,111	0,553	84,01		0,01	0	0
Cable83	0,0862	0,0557	0,276	84		0,01	0	0
Cable84	0,0943	0,0609	0,302	84		0	0	0
Cable86	0,0785	0,038	0,235	90,01		0	0	0
Cable88	0,605	0,377	1,917	84,83		0,08	0,0007	0,0001
Cable90	4,27	2,63	13,47	85,11		0,39	0,0223	0,0019
Cable91	8,05	4,95	25,36	85,17		0,64	0,0691	0,0058
Cable92	2,62	1,62	8,281	85,08		0,28	0,01	0,0008
Cable93	3,29	2,02	10,37	85,15		0,56	0,0248	0,0021
Cable94	0,105	0,0648	0,33	85,01	0,4	0	0	0
Cable95	16,4	9,73	51,19	86,01	67,2	0,1	0,0186	0,0085
Cable96	8,79	4,74	26,8	88,01	35,2	0,23	0,0212	0,0097
Cable97	0,0028	0,0014	0,008	89,97		0	0	0
Cable100	0,345	0,223	1,105	84,01		0,03	0,0001	0
Cable101	34,75	10,18	97,17	95,97	106,3	0,06	0,0186	0,01

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla G.2 Resultado de flujo de potencia, voltajes y corriente en las maquinarias Transformador de 100KVA.

ID	Rating/Limit	Rated kV	kW	kvar	Amp	% PF	% Loading	Vterminal
AREA DE PINTADO	9,26 kVA	0,22	0,973	0,603	5,336	85	12,7	97,52
BODEGA N° 2	0,33 kVA	0,127	0,0922	0,0446	0,831	90	32	96,97
BODEGA N° 3	0,33 kVA	0,127	0,0028	0,0014	0,025	90	1	97,35
BOMBA DE AGUA	0,37 kW	0,22	0,0114	0,0023	0,054	98	2,1	96,97
CAMARAS	0,01 kVA	0,127	0,008	0,0039	0,072	90	91,7	96,83
CARRETE	21,88 kVA	0,22	0,705	0,437	2,236	85	3,9	97,36
CNC	9 kW	0,22	3,26	2,02	10,37	85	34	97,19
ORTADORA DE TOL N°	7,5 kW	0,22	0,341	0,229	1,114	83	4,1	96,74
ORTADORA DE TOL N°	5,5 kW	0,22	0,25	0,168	0,81	83	4,1	97,55
ORTADORA DE TOL N°	7,5 kW	0,22	0,172	0,111	0,553	84	2,1	97,49
DOBLADORA DE TOL	5,5 kW	0,22	0,5	0,336	1,621	83	8,2	97,54
EPCOS DE 100 uF	-6 kvar	0,22	0	-5,73	15,39	0	97,8	97,75
EPCOS DE 200 uF	-0,48 kvar	0,22	0	-0,459	1,231	0	2	97,75
FLEJADORA DE ZINC	15 kW	0,22	0,682	0,44	2,188	84	4,1	97,34
FREZADORA N° 5	5,5 kW	0,22	0,5	0,336	1,637	83	8,3	96,55
ERENCIA Y BODEGA N°	2,94 kVA	0,127	0,0719	0,0841	0,898	65	3,9	96,99
MINADORA DE CORRE	7,5 kW	0,22	0,345	0,232	1,12	83	4,1	97,34
LAMPARA N° 1.1	0,278 kVA	0,127	0,0783	0,0379	0,704	90	32,1	97,41
LAMPARA N° 1.2	0,278 kVA	0,127	0,0783	0,0379	0,704	90	32,1	97,41
LAMPARA N° 1.3	0,278 kVA	0,127	0,0783	0,0379	0,704	90	32,1	97,41
LAMPARA N° 2.1 y 2.2	0,09 kVA	0,127	0,0254	0,0123	0,228	90	32,2	97,57
LAMPARA N° 2.3	0,278 kVA	0,127	0,0786	0,0381	0,705	90	32,2	97,56
LAMPARA N° 2.4	0,278 kVA	0,127	0,0785	0,038	0,704	90	32,2	97,51
LIFASA	-4,88 kvar	0,22	0	-4,66	12,51	0	12,9	97,75
LUCES DE OFICINA	0,1 kVA	0,127	0,0279	0,0135	0,252	90	32	96,98
MAQUINA DE PINAS	4,1 kW	0,22	0,0943	0,0609	0,302	84	2,1	97,5
MARTILLO	5,5 kW	0,22	0,251	0,189	0,852	80	4,1	96,77
PLASMA	5,91 kVA	0,22	0,141	0,0875	0,78	85	2,9	96,77
PRENSA N° 1	30 kW	0,22	5,6	3,47	17,96	85	17,6	96,33
PRENSA N° 2	30 kW	0,22	4,25	2,63	13,47	85	13,4	97,37
PRENSA N° 3	30 kW	0,22	1,32	0,817	4,211	85	4,1	96,69
PRENSA N° 5	7,5 kW	0,22	1,47	0,947	4,732	84	17,6	96,77
PRENSA N° 6	7,5 kW	0,22	0,948	0,613	3,061	84	11,4	96,8
PRENSA N° 7	7,5 kW	0,22	0,69	0,445	2,226	84	8,3	96,8
PRENSA N° 8	22 kW	0,22	7,98	4,94	25,36	85	34	97,11
PRENSA N° 9	30 kW	0,22	0,659	0,409	2,086	85	2	97,57
PRENSA N° 10	30 kW	0,22	2,61	1,62	8,281	85	8,2	97,47
REFLECTORES	0,5 kVA	0,127	0,0084	0,0041	0,076	90	1,9	96,86
TOMA 220 V	5,91 kVA	0,22	0,103	0,0409	0,521	93	1,9	96,97
TOMAS N° 1.1	5,91 kVA	0,22	0,206	0,0815	1,041	93	3,9	96,85
TOMAS N° 1.2	5,91 kVA	0,22	0,104	0,0412	0,523	93	1,9	97,35
TOMAS N° 1.3	5,91 kVA	0,22	0,052	0,0205	0,261	93	1	97,24
TOMAS N° 1.4	5,91 kVA	0,22	0,104	0,0412	0,523	93	1,9	97,35
TOMAS N° 1.6	5,91 kVA	0,22	0,417	0,165	2,093	93	7,8	97,37
TOMAS N° 2.1	5,91 kVA	0,22	1,68	0,665	8,536	93	31,8	96,29
TOMAS N° 2.2	5,91 kVA	0,22	1,68	0,664	8,533	93	31,8	96,25
TOMAS N° 2.3	2,29 kVA	0,22	0,0706	0,0475	0,401	83	3,9	96,38
TOMAS N° 2.4	2,29 kVA	0,22	0,0177	0,0119	0,1	83	1	96,39
TOMAS N° 2.5	5,91 kVA	0,22	0,102	0,0405	0,518	93	1,9	96,5
TOMAS N° 2.6	4,35 kVA	0,22	0,591	0,366	3,259	85	16,5	96,96
TOMAS N° 2.7	5,91 kVA	0,22	0,102	0,0405	0,518	93	1,9	96,5
TOMAS N° 2.8	2,29 kVA	0,22	0,583	0,392	3,313	83	31,8	96,44
TOMAS N° 2.9	0,9 kVA	0,22	0,0904	0,0608	0,513	83	12,5	96,5
TOMAS OFICINA	6 kVA	0,127	1,66	0,804	15,05	90	31,9	96,54
TORNO CNC	6,5 kW	0,22	0,594	0,368	1,882	85	8,2	97,48
TORNO OCUMA	2,3 kW	0,22	0,105	0,0648	0,33	85	4,1	97,75
TROQUELADORA 1	7,5 kW	0,22	0,345	0,223	1,105	84	4,1	97,47
TROQUELADORA 2	7,5 kW	0,22	0,0862	0,0557	0,276	84	1	97,49

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

ANEXO H: Balance de carga y cálculo de la caída de tensión de los conductores.

Tabla H.1 Balance de carga del transformador de 100 KVA.

MAQUINARIA	DATOS						CONDUCTOR	FASES		
	TENSIÓN (v)	FASE	POTENCIA (KW)	FP	EFICIENCIA %	LONGITUD (m)	CALIBRE	A	B	C
Iluminación Oficinas y otros	127	1	0,9	0,9	1	10	2 x (12 AWG)	0,9		
Iluminación Gerencia y otros	127	1	0,6	0,9	1	15	2 x (12 AWG)			0,6
Iluminación SS.HH	127	1	0,15	0,95	1	9	2 x (14 AWG)			0,15
Iluminación Bodega 1	127	1	0,3	0,9	1	20	2 x (14 AWG)	0,3		
Iluminación Bodega 2	127	1	0,3	0,9	1	25	2 x (14 AWG)	0,3		
Iluminación Bodega 3	127	1	0,3	0,9	1	29	2 x (14 AWG)	0,3		
Iluminación Vestidores	127	1	0,34	0,9	1	10	2 x (14 AWG)	0,34		
Iluminación Sala de espera	127	1	0,43	0,9	1	15	2 x (14 AWG)	0,43		
Iluminación Área de pintura	127	1	1,24	0,9	1	10	2 x (14 AWG)		1,24	
Iluminación Área de flejado	127	1	0,65	0,9	1	18	2 x (14 AWG)	0,65		
Iluminación Área de corte	127	1	0,65	0,9	1	20	2 x (14 AWG)	0,65		
Computadoras Oficinas	127	1	2,4	0,64	0,91	10	2 x (12 AWG)			2,4
Computadora CNC e Iluminación	127	1	2,5	0	0,91	16	3 x (12 AWG)		2,5	
Impresora Oficina	127	1	0,6	0,9	0,91	8	2 x (12AWG)	0,6		
Cafetera	127	1	0,8	1	0,97	2	2 x (12 AWG)	0,8		
Prensa 1	220	3	30	0,85	0,91	10	3 x (6 AWG)	30	30	30
Prensa 2	220	3	30	0,85	0,918	18,2	3 x (6 AWG)	30	30	30
Prensa 3	220	3	30	0,85	0,91	27,1	3 x (6 AWG)	30	30	30
Prensa 5	220	3	7,5	0,84	0,87	14,3	3 x (6 AWG)	7,5	7,5	7,5
Prensa 6	220	3	7,5	0,84	0,87	16,1	3 x (6 AWG)	7,5	7,5	7,5
Prensa 7	220	3	7,5	0,84	0,87	15,8	3 x (6 AWG)	7,5	7,5	7,5
Prensa 8	220	3	22	0,85	0,91	33,4	3 x (6 AWG)	22	22	22
Prensa 9	220	3	30	0,85	0,91	29	3 x (6 AWG)	30	30	30
Prensa 10	220	3	30	0,85	0,918	32	3 x (6 AWG)	30	30	30
Troqueladora 1	220	2	7,5	0,84	0,87	15	2 x (6 AWG)		7,5	7,5
Troqueladora 2	220	2	7,5	0,84	0,87	19	2 x (6 AWG)		7,5	7,5
Torno 1	220	2	4,1	0,84	0,86	20	2 x (6 AWG)	4,1		4,1
Torno 2	220	2	4,1	0,84	0,86	18	2 x (6 AWG)	4,1		4,1
Torno 3	220	2	3,7	0,79	0,875	12	2 x (6 AWG)	3,7		3,7
Maquina de pinas	220	2	4,1	0,84	0,87	8	2 x (6 AWG)	4,1		4,1
Cortadora de tol 1	220	3	7,5	0,83	0,88	38	3 x (6 AWG)	7,5	7,5	7,5
Cortadora de tol 2	220	3	5,5	0,83	0,88	19	3 x (6 AWG)	5,5	5,5	5,5
Cortadora de tol 3	220	3	7,5	0,84	0,87	14	3 x (6 AWG)	7,5	7,5	7,5
Dobladora de tol	220	3	5,5	0,83	0,88	18	3 x (6 AWG)	5,5	5,5	5,5
Martillo	220	3	5,5	0,8	0,875	6,5	3 x (6 AWG)	5,5		5,5
Suelda de Plasma	220	2	5,5	0,93	0,85	39,5	2 x (6 AWG)	5,5	5,5	
Suelda	220	2	5,5	0,93	0,85	10	2 x (6 AWG)		5,5	5,5
Fresadora 5	220	3	5,5	0,83	0,88	14	3 x (6 AWG)	5,5	5,5	5
Flejadora Zinc	220	3	15	0,84	0,88	10	3 x (6 AWG)	15	15	15
Carrete de Zinc	220	3	18,6	0,85	0,91	10	3 x (6 AWG)	18,6	18,6	18,6
Laminadora de Correas	220	3	7,5	0,83	0,87	9	3 x (6 AWG)	7,5	7,5	7,5
CNC	220	3	9	0,85	0,91	15	3 x (6 AWG)	9	9	9
Torno CNC	220	2	6,5	0,85	0,875	18	2 x (6 AWG)		6,5	6,5
Torno ocuma	220	2	2,3	0,85	0,88	19	2 x (6 AWG)	2,3		
Compresor CNC	220	2	3,7	0,85	0,846	12	2 x (6 AWG)	3,7		3,7
Esmeril	127	1	0,65	0,9	1	9	2 x (12 AWG)	0,65		
Compresor 1	220	2	0,44	0,85	0,8	32	2 x (6 AWG)	0,44	0,44	
Compresor 2	220	2	0,44	0,85	0,846	29	3 x (12 AWG)	0,44	0,44	
Bomba de agua	127	1	0,12	0,98	0,65	50	3 x (12 AWG)	0,12	0,12	
TOTAL (KW)								316,02	321,14	325,45
DESBALANCE								3%		
POTENCIA TOTAL (KVA)								962,61		

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla H.2 Caída de tensión del sistema actual

MAQUINARIA	BALANCE DE CARGAS DEL TRANSFORMADOR DE 100 kVA "INDUCE DEL ECUADOR"									
	DATOS						CONDUCTOR	PROTECCIÓN	% Caída de Tensión	
	TENSIÓN (V)	FASE	POTENCIA (KW)	FP	EFICIENCIA %	LONGITUD (m)	CALIBRE	(A)	Parcial	Total
Tablero Principal	220	3	395,8	0,85	0,87	6	3 x(2/0 AWG)	320	1,15	
T.D.1	220	3	212,77	0,87	0,9	3,4	4 x (1/0 AWG)	320	0,44	1,59
T.D.1.1	220	3	78,51	0,84	0,85	5	4 x (4 AWG)	160	0,60	2,19
T.D.1.2	220	3	28,45	0,83	0,87	27	4 x (4 AWG)	160	1,18	3,37
T.D.1.3	220	3	24,3	0,84	0,85	28	4 x (4 AWG)	150	0,00	1,59
T.D.1.4	220	3	11,66	0,84	0,86	9	4 x (4 AWG)	60	0,16	1,75
T.D.1.5	220	3	39,85	0,83	0,86	7	4 x (4 AWG)	125	0,43	2,01
T.D.2	220	3	90,44	0,82	0,89	22	4 x (1/0 AWG)	320	1,21	2,80
T.D.2.1	220	3	19,14	0,79	0,78	5	4 x (4 AWG)	125	0,15	2,94
T.D.2.2	220	3	4	0,86	0,89	28	4 x (4 AWG)	150	0,17	2,97
T.D.2.3	220	3	33,95	0,85	0,9	2	4 x (4 AWG)	150	0,10	3,07
T.D.2.4	220	3	14	0,83	0,88	30	4 x (4 AWG)	150	0,65	3,44
T.D.2.5	220	3	19,35	0,87	0,87	35	4 x (4 AWG)	150	1,04	3,84
Illuminación Oficinas y otros	127	1	0,9	0,9	1	10	2 x (12 AWG)	25	0,27	0,43
Illuminación Gerencia y otros	127	1	0,6	0,9	1	15	2 x (12 AWG)	40	0,84	1,02
Illuminación SS.HH	127	1	0,15	0,95	1	9	2 x (14 AWG)	25	0,06	1,11
Illuminación Bodega 1	127	1	0,3	0,9	1	20	2 x (14 AWG)	40	0,28	1,32
Illuminación Bodega 2	127	1	0,3	0,9	1	25	2 x (14 AWG)	40	0,22	0,38
Illuminación Bodega 3	127	1	0,3	0,9	1	29	2 x (14 AWG)	100	0,41	0,41
Illuminación Vestidores	127	1	0,34	0,9	1	10	2 x (14 AWG)	25	0,16	0,32
Illuminación Sala de espera	127	1	0,43	0,9	1	15	2 x (14 AWG)	25	0,30	1,34
Illuminación Área de pintura	127	1	1,24	0,9	1	10	2 x (14 AWG)	15	0,58	0,73
Illuminación Área de flejado	127	1	0,65	0,9	1	18	2 x (14 AWG)	25	0,55	0,98
Illuminación Área de corte	127	1	0,65	0,9	1	20	2 x (14 AWG)		0,61	1,04
Computadoras Oficinas	127	1	2,4	0,64	0,91	10	2 x (12 AWG)		0,71	0,87
Computadora CNC e Iluminación	127	1	2,5	0	0,91	16	3 x (12 AWG)		1,18	1,83
Impresora Oficina	127	1	0,6	0,9	0,91	8	2 x (12AWG)	40	0,14	0,30
Cafetera	127	1	0,8	1	0,97	2	2 x (12 AWG)		0,08	0,24
Prensa 1	220	3	30	0,85	0,91	10	3 x (6 AWG)	100	0,73	1,34
Prensa 2	220	3	30	0,85	0,918	18,2	3 x (6 AWG)	125	1,34	2,48
Prensa 3	220	3	30	0,85	0,91	14	3 x (6 AWG)	100	1,03	1,63
Prensa 5	220	3	7,5	0,84	0,87	14,3	3 x (6 AWG)	60	0,26	1,44
Prensa 6	220	3	7,5	0,84	0,87	16,1	3 x (6 AWG)	100	0,30	1,48
Prensa 7	220	3	7,5	0,84	0,87	15,8	3 x (6 AWG)	50	0,29	1,47
Prensa 8	220	3	22	0,85	0,91	14	3 x (6 AWG)	125	0,75	1,90
Prensa 9	220	3	30	0,85	0,91	13,5	3 x (6 AWG)	220	0,99	1,43
Prensa 10	220	3	30	0,85	0,918	12	3 x (6 AWG)	125	0,88	2,03
Troqueladora 1	220	2	7,5	0,84	0,87	15	2 x (6 AWG)	73	0,32	1,36
Troqueladora 2	220	2	7,5	0,84	0,87	19	2 x (6 AWG)	73	0,40	1,44
Torno 1	220	2	4,1	0,84	0,86	20	2 x (6 AWG)		0,23	0,40
Torno 2	220	2	4,1	0,84	0,86	18	2 x (6 AWG)	30	0,21	1,25
Torno 3	220	2	3,7	0,79	0,875	12	2 x (6 AWG)		0,13	1,17
Maquina de pinas	220	2	4,1	0,84	0,87	8	2 x (6 AWG)	32	0,09	1,13
Cortadora de tol 1	220	3	7,5	0,83	0,88	38	3 x (6 AWG)	30	0,70	1,30
Cortadora de tol 2	220	3	5,5	0,83	0,88	19	3 x (6 AWG)	30	0,26	0,40
Cortadora de tol 3	220	3	7,5	0,84	0,87	14	3 x (6 AWG)	63	0,26	0,90
Dobladora de tol	220	3	5,5	0,83	0,88	18	3 x (6 AWG)	30	0,24	0,39
Martillo	220	3	5,5	0,8	0,875	6,5	3 x (6 AWG)	40	0,09	0,69
Suelda de Plasma	220	2	5,5	0,93	0,85	39,5	2 x (6 AWG)	100	0,53	1,14
Fresadora 5	220	3	5,5	0,83	0,88	14	3 x (6 AWG)	50	0,19	0,29
Flejadora Zinc	220	3	15	0,84	0,88	10	3 x (6 AWG)	100	0,23	0,66
Carrete de Zinc	220	3	18,6	0,85	0,91	10	3 x (6 AWG)	40	0,45	0,88
Laminadora de Correas	220	3	7,5	0,83	0,87	9	3 x (6 AWG)	100	0,17	0,59
CNC	220	3	9	0,85	0,91	15	3 x (6 AWG)	60	0,33	1,54
Torno CNC	220	2	6,5	0,85	0,875	18	2 x (6 AWG)	63	0,33	0,98
Torno ocuma	220	2	2,3	0,85	0,88	19	2 x (6 AWG)	36	0,12	1,33
Compresor CNC	220	2	3,7	0,85	0,846	12	2 x (6 AWG)	40	0,13	0,30
Compresor 1	220	2	0,44	0,85	0,8	25	2 x (6 AWG)	30	0,03	0,18
Compresor 2	220	2	0,44	0,85	0,846	32	2 x (6 AWG)	30	0,04	0,19
Bomba de agua	127	1	0,12	0,98	0,65	50	3 x (8 AWG)	20	0,07	0,23

ANEXO I: Cálculo y dimensionamiento del filtro pasivo para mitigar armónicos en el Transformador de 100 kVA.

Cálculo para el diseño del filtro armónico de todo el sistema eléctrico de la empresa “INDUCE DEL ECUADOR”.

Se desarrollo el cálculo del filtro pasivo para mitigar el quinto armónico sintonización realizada a un 6% menos de la frecuencia armónica de acuerdo a la norma IEEE-1531-2003 [29].

La Potencia consumida del sistema es de 44,47 kW y el factor de potencia del sistema es de 0,81, que fueron medidos por el analizador de redes, para realizar el diseño se plantea el elevar el factor de potencia el mismo llega a 0,96, por lo tanto, se realiza los siguientes cálculos:

- Lo primero que se procede a realizar es el cálculo de los ángulos.

$$F_{p1}=0.81 \qquad \theta_1 = \cos^{-1}(0.81) = 35.90$$

$$F_{p2}=0.96 \qquad \theta_2 = \cos^{-1}(0.96) = 16.26$$

- Con los datos de los ángulos se calcula los KVAR efectivos (Q_{eff})

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

$$Q_{eff} = 44,47 (\tan (35.90) - \tan (16.26))$$

$$Q_{eff} = 19.22 \text{ Kvar}$$

De acuerdo a la normativa IEEE-18-2002 el banco de capacitores estar formando por dos condensadores trifásicos de 10 kVAr [30].

- El siguiente paso es calcular la reactancia efectiva del filtro.

$$X_{eff} = \frac{(V_{ll \text{ sist}})^2}{Q_{eff}} = \frac{(220 \text{ v})^2}{19.22 \times 10^3}$$

$$X_{eff} = 2.52 \Omega \text{ x fase}$$

$$h = \frac{f \text{ armónico}}{f \text{ fundamental}}$$

$$h = \frac{300}{60} ; h=5 ; \quad 5*6\%=0.30 ; \quad 5-0.30=4.70$$

- Cálculo de la reactancia capacitiva.

$$X_c = \frac{(hx0.6)^2}{(hx0.6)-1} * X_{eff} = \frac{(4.70)^2}{(4.70)^2-1} * 2.52 \Omega = 2.64\Omega$$

$$C = \frac{1}{2*\pi*f*X_c} = \frac{1}{2*\pi*60*2.64} = 0,0001004 \text{ F} = 1.005 \times 10^{-3} \text{ F} = 1.005 \text{ mF}$$

- Cálculo de la reactancia inductiva.

$$X_l = \frac{X_c}{h^2} = \frac{2.64}{(4,7)^2} = 0.1195 \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2*\pi*f} = \frac{0.11\Omega}{2*\pi*60} = 0.2918 \times 10^{-3} \text{ H} = 0,2918 \text{ mH}$$

- Cálculo de la Resistencia del Filtro

$$R = \frac{X_l * h * 0.6}{Qf} = \frac{0.11 \Omega \times 4.70}{20} = 0.0259 \Omega$$

- Cálculo de la Impedancia del Filtro

$$Z = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)$$

$$Z = 0.0259 \Omega + j \left(2 * \pi * 60 * 0.2918 \times 10^{-3} - \frac{1}{2\pi * 60 * 1.005 \times 10^{-3}} \right)$$

$$Z = 0.0259 \Omega + j (0.11 - 2.64)$$

$$Z = 0.0259 - j 2.5294$$

$$Z = 2.5295 \angle 174.737 \Omega$$

- Cálculo de los kVAR del Filtro

$$Kvar_{\text{filtro}} = \frac{V_i^2 - 1}{X_c - X_l}$$

$$Kvar_{\text{filtro}} = \frac{(220)^2}{2.64 - 0.11}$$

$$Kvar_{\text{filtro}} = 19.13 \text{ kVA}$$

Para que el filtro tenga un camino de baja impedancia a la frecuencia que se requiere debe cumplir la siguiente condición:

$$X_c = X_l$$

$$X_L = X_C \cdot h$$

$$X_c = \frac{2.64}{4.70}$$

$$X_L = 0.1195 \times 4.70$$

$$X_c = 0.5617$$

$$X_L = 0.5617$$

$$0.5617 = 0.5617$$

La norma IEEE-18-2002 menciona que el valor eficaz de la corriente en el filtro no debe sobrepasar de 135% de la corriente fundamental [30].

- Corriente fundamental.

$$I_{\text{fund}} = \frac{V_{\text{ll sist}}}{\sqrt{3} \cdot (X_c - X_l)}$$

$$I_{\text{fund}} = \frac{220}{\sqrt{3} \cdot (2.64 - 0.1195)}$$

$$I_{\text{fund}} = 50.3936 \text{ A}$$

- Corrientes armónicas con respecto a la corriente fundamental.

$$I_h = \% \times I_{\text{fund}}$$

$$I_{3\%}=12,28=\frac{I_3}{I_{fund}} \times 100=\frac{12,28 \times 50,3936}{100} \quad I_3=6,1883 \text{ A}$$

$$I_{5\%}=13,91=\frac{I_5}{I_{fund}} \times 100=\frac{13,91 \times 50,3936}{100} \quad I_5=7,0097 \text{ A}$$

$$I_{7\%}=9,22=\frac{I_7}{I_{fund}} \times 100=\frac{9,22 \times 50,3936}{100} \quad I_7=4,6463 \text{ A}$$

$$I_{9\%}=5,27=\frac{I_9}{I_{fund}} \times 100=\frac{5,27 \times 50,3936}{100} \quad I_9=2.6557 \text{ A}$$

$$I_{11\%}=5,76=\frac{I_{11}}{I_{fund}} \times 100=\frac{5,76 \times 50,3936}{100} \quad I_{11}=2.9027 \text{ A}$$

$$I_{13\%}=2,83=\frac{I_{13}}{I_{fund}} \times 100=\frac{2,83 \times 50,3936}{100} \quad I_{13}=1.4261 \text{ A}$$

$$I_{total \text{ rms}} = \sqrt{I_f^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2}$$

$$I_{total \text{ rms}} = \sqrt{(50.3936)^2 + (6.1883)^2 + (7.0097)^2 + (4.6463)^2 + (2.6557)^2 + (2.9027)^2 + (1.4261)^2}$$

$$I_{total \text{ rms}} = 51.6338 \text{ A}$$

- Verificación de la norma.

$$\%_{\text{margen de corriente}} = \frac{I_{total \text{ rms}}}{I_{fundamental}} \times 100\% \leq 135\% I_{Fund} \text{ Se encuentra dentro de la norma}$$

$$\%_{\text{margen de corriente}} = \frac{51.6338}{50.3936} \times 100\% \leq 135\%$$

$$I_{total \text{ rms}} = 102,46\% \leq 135\% \text{ SE ENCUENTRA DENTRO DE LA NORMA}$$

- Cálculo de los voltajes producidos por los armónicos.

El valor de voltaje pico del filtro no debe sobrepasar el 120% del voltaje pico del sistema.

$$V_c = I_{fund} \times X_C$$

$$V_c = 50.3936 \times 2.64$$

$$V_c = 133.0391 \text{ V}$$

$$V_c = 0.1330 \text{ kV}$$

$$V_{c(h)} = \sum_h^n (v(h)) = \sum_h^n \left(I(h) * \frac{X_c}{n} \right)$$

$$V_{c(h)} = V_{(3)} + V_{(5)} + V_{(7)} + V_{(9)} + V_{(11)} + V_{(13)}$$

$$V_{c(h)} = \left(I_{(3)} \times \frac{2.64}{3} \right) + \left(I_{(5)} \times \frac{2.64}{5} \right) + \left(I_{(7)} \times \frac{2.64}{7} \right) + \left(I_{(9)} \times \frac{2.64}{9} \right) + \left(I_{(11)} \times \frac{2.64}{11} \right) + \left(I_{(13)} \times \frac{2.64}{11} \right)$$

$$V_{c(h)} = \left(6,1883 \times \frac{2.64}{3} \right) + \left(7,0097 \times \frac{2.64}{5} \right) + \left(4,6463 \times \frac{2.64}{7} \right) + \left(2,6557 \times \frac{2.64}{9} \right) + \left(2,9027 \times \frac{2.64}{11} \right) +$$

$$\left(1,4261 \times \frac{2.64}{13} \right)$$

$$V_{c(h)} = 5.4457 + 3.7011 + 1.7523 + 0.7790 + 0.6966 + 0.2896$$

$$V_{c(h)} = 12.6643 \text{ V}$$

$$V_{c(h)} = 0.01266 \text{ kV}$$

- Cálculo del voltaje pico por fase del conductor.

$$V_{c \text{ L-N total pico}} = \sqrt{2} (V_c + V_{c(h)})$$

$$V_{c \text{ L-N total pico}} = \sqrt{2} (0.1330 + 0.01266)$$

$$V_{c \text{ L-N total pico}} = 0,2060 \text{ kV}$$

- Cálculo del voltaje de fase.

$$V_{L-N \text{ SISTEMA}} = \frac{V_{L-L \text{ SISTEMA}}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{L-N \text{ SISTEMA}} = \frac{0,22 \text{ kV}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{L-N \text{ SISTEMA}} = 0.127 \text{ kV}$$

- Cálculo del voltaje de fase pico.

$$V_{L-N \text{ pico sistema}} = \sqrt{2} * V_{L-N \text{ SISTEMA}}$$

$$V_{L-N \text{ pico sistema}} = \sqrt{2} * 0.127 \text{ V}$$

$$V_{L-N \text{ pico sistema}} = 0.1796 \text{ kV}$$

Verificación de la norma.

$$\frac{V_{c \text{ L-N total pico}}}{V_{L-N \text{ pico sistema}}} \times 100\% \leq 120\%$$

$$\frac{0.2060 \text{ kV}}{0.1796 \text{ kV}} \times 100\% \leq 120\%$$

$$114.70\% \leq 120\% \quad \text{SI CUMPLE}$$

El valor eficaz del voltaje del filtro no debe sobrepasar el 110% del voltaje eficaz del sistema.

$$V_{c \text{ L-N total rms}} = \sqrt{(V_{c1})^2 + (V_{c3})^2 + (V_{c5})^2 + (V_{c7})^2 + (V_{c9})^2 + (V_{c11})^2}$$

$$V_{c \text{ L-N total rms}} = \sqrt{(133.0391)^2 + (0,54)^2 + (1.76)^2 + (1.90)^2 + (1.17)^2 + (1.09)^2 + (0.63)^2}$$

$$V_{c \text{ L-N total rms}} = 133.0783 \text{ V}$$

$$V_{c \text{ L-N total rms}} = 0.1331 \text{ kV}$$

$$V_{L-N \text{ rms SISTEMA}} = \frac{V_{L-N \text{ rms SISTEMA}}}{\sqrt{3}} = \frac{0.22 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 0.1270 \text{ V}$$

Verificación de la norma.

$$\%_{\text{margen de voltaje}} = \frac{V_{c \text{ L-N total rms}}}{V_{L-N \text{ rms SISTEMA}}} \times 100\% \leq 110\%$$

$$\%_{\text{margen de voltaje}} = \frac{0.1331 \text{ kV}}{0.1270} \times 100\% \leq 110\% V_{L-N \text{ rms SISTEMA}}$$

$$\%_{\text{margen de voltaje}} = 104.80\% \leq 110\% V_{L-N \text{ rms SISTEMA}}$$

SI CUMPLE ESTA DENTRO DE LA NORMA

El último factor evalúa el calentamiento del dieléctrico del filtro.

$$Q_{3\phi \text{ recalculado}} = \frac{(V_{c \text{ L-N total rms}})^2}{X_c} \times 3 = \frac{(0.1331)^2}{2.64} \times 3$$

$$Q_{3\phi \text{ recalculado}} = 20.1314 \text{ kVAR}$$

$$\%_{\text{margen de voltaje}} = \frac{Q_{3\phi \text{ recalculado}}}{Q_{3\phi}} \times 100\% \leq 135\%$$

$$\%_{\text{margen de voltaje}} = \frac{20.1314 \text{ kVAR}}{19.22 \text{ kVAR}} \times 100\% \leq 135\%$$

$$\%_{\text{margen de voltaje}} = 104,7419\% \leq 135\% \text{ **SI CUMPLE**}$$

Se pudo verificar que el calentamiento del dieléctrico del capacitor se encuentre en los rangos aceptables por la norma IEEE-18-2002 [30].

Evaluación por la desigualdad:

$$\sum \downarrow h = (V(h) \times I(h)) \leq 1.35 Q_{3\phi \text{ recalculado}}$$

$$\sum \downarrow h = 3((133.0391)(50.3936) + (0.54)(6.1883) + (1.76)(7.0097) + (1.90)(4.6463) + (1.17)(2.6557) +$$

$$(1.29)(2.9027)+(0.63)(1.4261)$$

$$\sum \downarrow h = 3(6736.5760)$$

$$\sum \downarrow h = 20209.7280 \text{ VAR}$$

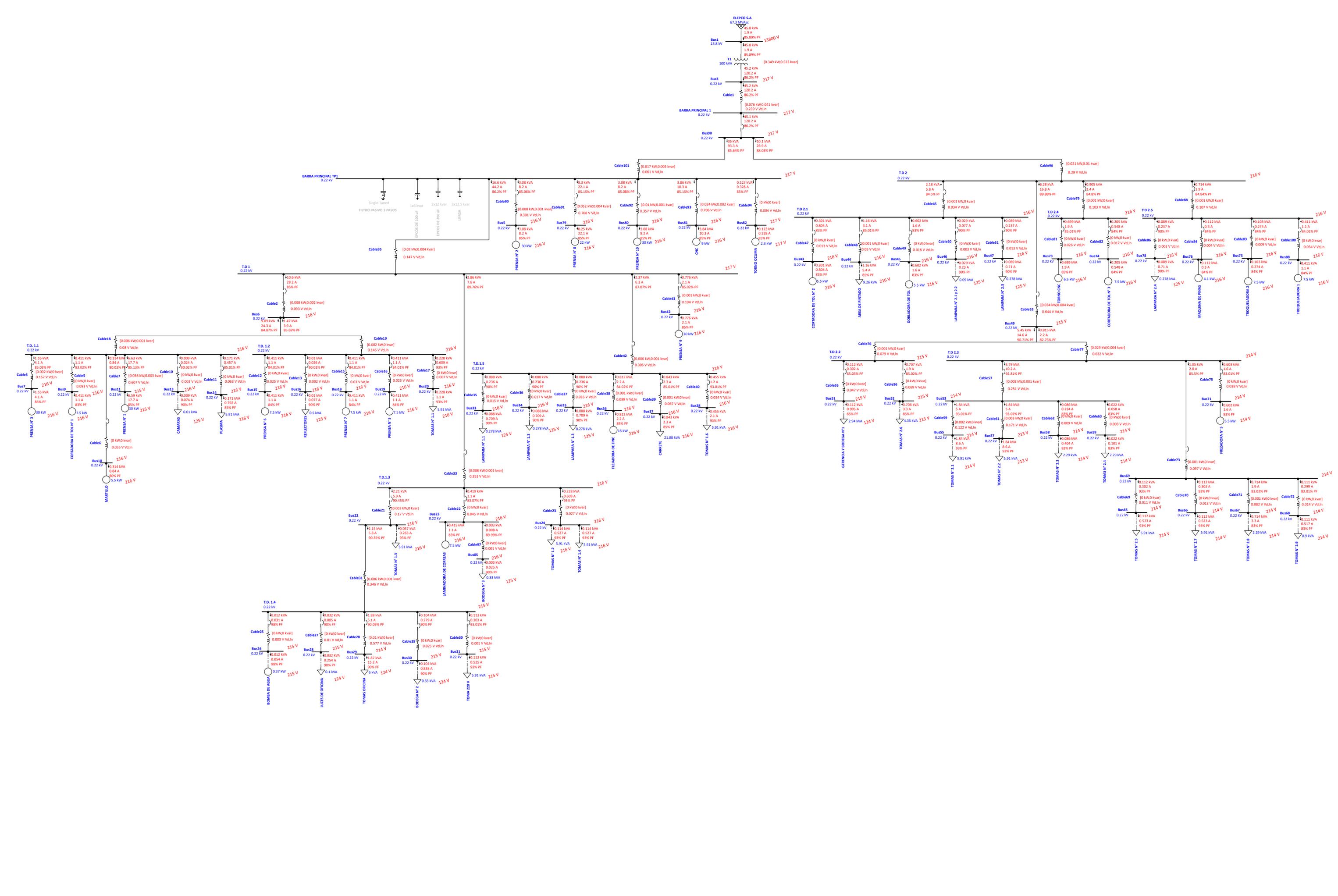
$$\sum \downarrow h = 20.2097 \text{ VAR}$$

$$20.2097 \leq 1.35 \times 20.1314$$

$$20.2097 \leq 27.1774 \quad \text{SI CUMPLE}$$

ANEXO J: Resultado de la simulación con las soluciones propuestas.

Figura J.1 Sistema a plena carga con el nuevo conductor a plena carga.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

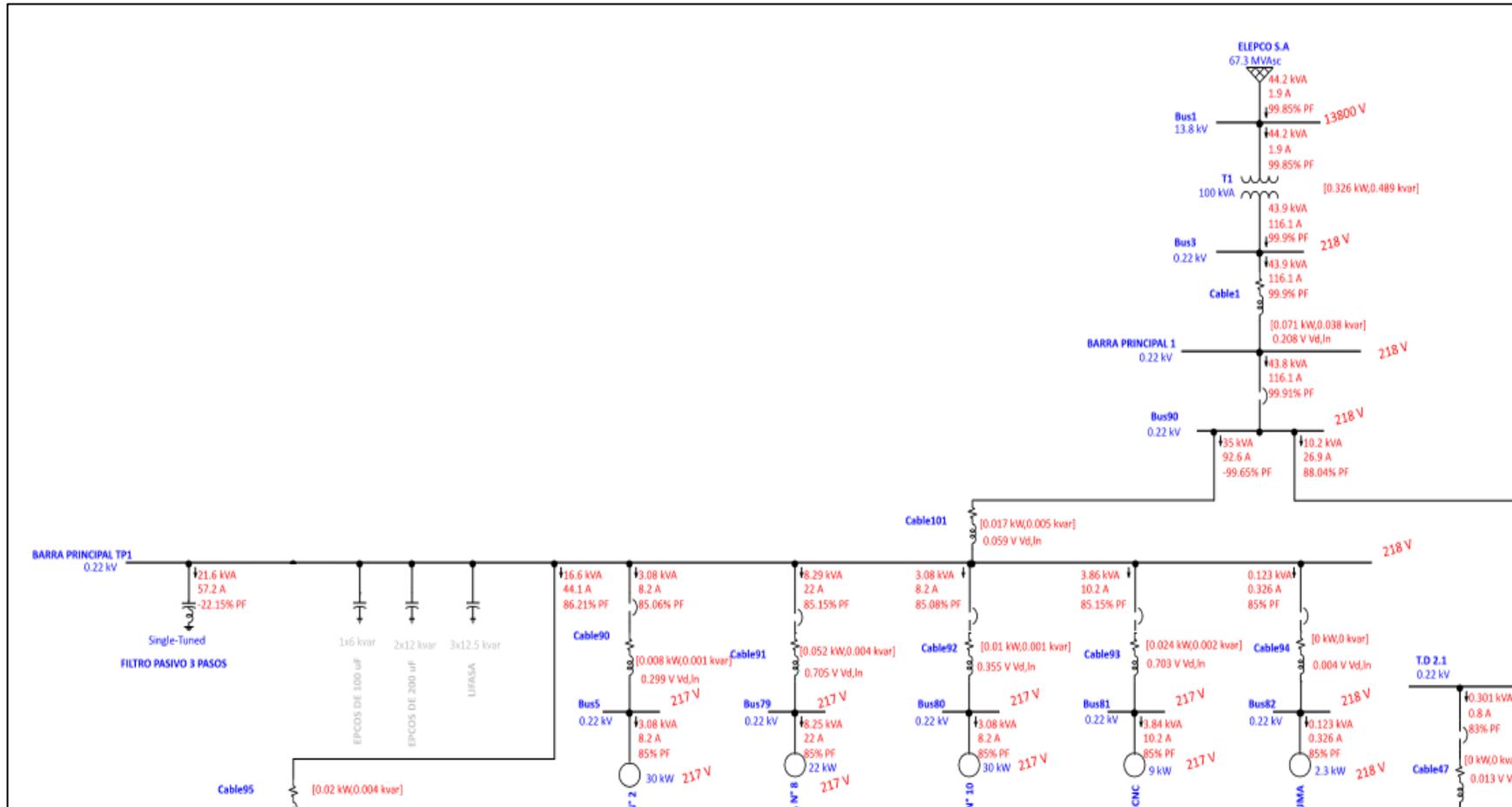


Figura J.2 Simulación de la mitigación de armónicos con el ingreso de un filtro pasivo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

ANEXO K: Calculo del TIR Y VAN

Tabla J.1 Calculo del TIR y VAN.

Mes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	-\$13.449,22										
Instalación	\$1.000,00										
Ingresos		\$1.261,26	\$1.285,10	\$1.309,39	\$1.334,13	\$1.359,35	\$1.385,04	\$1.411,22	\$1.437,89	\$1.465,07	\$1.492,76
Reparaciones		\$200	\$203,78	\$207,63	\$211,56	\$215,55	\$219,63	\$223,78	\$228,01	\$232,32	\$236,71
Mantenimiento		\$500,00	\$509,45	\$519,08	\$528,89	\$538,89	\$549,07	\$559,45	\$570,02	\$580,79	\$591,77
Flujo Neto	\$12.449,22	\$1.961,26	\$1.998,33	\$2.036,10	\$2.074,58	\$2.113,79	\$2.153,74	\$2.194,44	\$2.235,92	\$2.278,18	\$2.321,24
		\$14.532,23									

Inversionista A:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Inversión Inicial	-\$ 12.449,22	\$1.961,26	\$1.998,33	\$2.036,10	\$2.074,58	\$2.113,79	\$2.153,74	\$2.194,44	\$2.235,92	\$2.278,18

TASA	10%
VAN	\$ 3.457,3
TIR	15%
Tiempo de Recuperación	7 años

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

ANEXO L: Código de programación para el diseño de la malla puesta a tierra en el software Matlab.

```
format long
%% DATOS DE ENTRADA INICIALES DEL TERRENO

rt=str2double(get(handles.edit1,'string')); % Resistividad del terreno [ohm*m]
Lx=str2double(get(handles.edit2,'string')); % Dimension del lado menor de la
malla [m]
Ly=str2double(get(handles.edit3,'string')); % Dimension del lado mayor de la
malla [m]
rs=str2double(get(handles.edit4,'string')); % Resistividad de la capa
superficial [ohm*m]
hs=str2double(get(handles.edit5,'string')); % Espesor de la capa superficial
[m]
Ta=str2double(get(handles.edit6,'string')); % Temperatura ambiente [°C]

%%DATOS DE CORRIENTE DE FALLA
IfA=str2double(get(handles.edit7,'string')) % Corriente simetrica de falla en
ALTA RMS [A]
IfB=str2double(get(handles.edit44,'string')) % Corriente simetrica de falla en
BAJA RMS [A]
tf=str2double(get(handles.edit8,'string')); % Duracion de la falla [s]
Cp=str2double(get(handles.edit9,'string')); % Correccion del sistema futuro
Rel_SP=str2double(get(handles.edit10,'string')); % Relacion X/R del sistema de
potencia
Df=str2double(get(handles.edit43,'string')); % Factor de Decremento
Sf=str2double(get(handles.edit11,'string')); % Factor de division de la
corriente de falla

%%DATOS DE VARILLAS DE LAS MALLAS
nr=str2double(get(handles.edit13,'string')); % N° de las varillas

Lr=str2double(get(handles.edit15,'string')); % Longitud de las varillas [m]
h=str2double(get(handles.edit16,'string')); % Profundidad de los conductores a
tierra [m]
D=str2double(get(handles.edit17,'string')); % Distancia entre conductores de
la malla [m]
e=2.7183;
factord=get(handles.popupmenu2,'value'),
CV=get(handles.radiobutton5,'value'),
SV=get(handles.radiobutton6,'value'),
pC=get(handles.radiobutton3,'value'),
csp1=get(handles.radiobutton1,'value'),
csp2=get(handles.radiobutton2,'value'),
UOHM=get(handles.radiobutton7,'value'),
COHM=get(handles.radiobutton8,'value'),
cdelta1=get(handles.checkbox3,'value'),
cdelta2=get(handles.checkbox4,'value'),

pS=get(handles.radiobutton4,'value'),

if (IfA > IfB); %mayor corriente I0
    If=IfA
else
```

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

```
    If=IfB
end

if cdelta1==1;
xlswrite('valores',IfB,1,'A8');
end

if cdelta2==1;
xlswrite('valores',IfA,1,'A8');
end

%% PASO 1: CALCULO DE LA MALLA
A=Lx*Ly
%% PASO 2: SELECCION DEL CONDUCTOR
ts=tf %tiempo en segundos
% Constantes de los materiales
[num] = xlsread('TABLAS_AV','tipo_material');
global T1;
if T1==1
Kf=(num(1,1))
alpha_r=(num(1,2))
Ko=(num(1,3))
Tm=(num(1,4))
rc=(num(1,5))
TCAP=(num(1,6))
end

if T1==2
Kf=(num(2,1))
alpha_r=(num(2,2))
Ko=(num(2,3))
Tm=(num(2,4))
rc=(num(2,5))
TCAP=(num(2,6))
end

if T1==3
Kf=(num(3,1))
alpha_r=(num(2,2))
Ko=(num(3,3))
Tm=(num(3,4))
rc=(num(3,5))
TCAP=(num(3,6))
end

if T1==4
Kf=(num(4,1))
alpha_r=(num(4,2))
Ko=(num(4,3))
Tm=(num(4,4))
rc=(num(4,5))
TCAP=(num(4,6))
end

if T1==5
Kf=(num(5,1))
alpha_r=(num(5,2))
Ko=(num(5,3))
Tm=(num(5,4))
rc=(num(5,5))
```

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

```
TCAP=(num(5,6))
end
if T1==6
Kf=(num(6,1))
alpha_r=(num(6,2))
Ko=(num(6,3))
Tm=(num(6,4))
rc=(num(6,5))
TCAP=(num(6,6))
end
if T1==7
Kf=(num(7,1))
alpha_r=(num(7,2))
Ko=(num(7,3))
Tm=(num(7,4))
rc=(num(7,5))
TCAP=(num(7,6))
end
if T1==8
Kf=(num(8,1))
alpha_r=(num(8,2))
Ko=(num(8,3))
Tm=(num(8,4))
rc=(num(8,5))
TCAP=(num(8,6))
end
if T1==9
Kf=(num(9,1))
alpha_r=(num(9,2))
Ko=(num(9,3))
Tm=(num(9,4))
rc=(num(9,5))
TCAP=(num(9,6))
end
if T1==10
Kf=(num(10,1))
alpha_r=(num(10,2))
Ko=(num(10,3))
Tm=(num(10,4))
rc=(num(10,5))
TCAP=(num(10,6))
end
if T1==11
Kf=(num(11,1))
alpha_r=(num(11,2))
Ko=(num(11,3))
Tm=(num(11,4))
rc=(num(11,5))
TCAP=(num(11,6))
end
if T1==12
Kf=(num(12,1))
alpha_r=(num(12,2))
Ko=(num(12,3))
Tm=(num(12,4))
rc=(num(12,5))
TCAP=(num(12,6))
end
if T1==13
```

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

```

Kf=(num(13,1))
alpha_r=(num(13,2))
Ko=(num(13,3))
Tm=(num(13,4))
rc=(num(13,5))
TCAP=(num(13,6))
end

switch factord;
    case 1
        IF=If*Df
        Dato2=xlsread('valores',1,'A9');% pegar X/R
        set(handles.edit10,'string',Dato2);

        case 2

            set(handles.edit43,'string',Df);
            Tta=Rel_SP*(1/(2*pi*60));
            Df1=sqrt((1+(Tta/ts))*(1-e^((-2*ts)/Tta)));
            IF=If*Df1
            set(handles.edit43,'string',Df1);
        end
        %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
        %Area ecuacion larga
        AlargaMCM=(IF/1000)*(197.4/sqrt(((TCAP)/(ts*alpha_r*rc))*log((Ko+Tm)/(Ko+Ta))));
        DlargaMIL=(sqrt(AlargaMCM*1000));
        Alarga=(DlargaMIL*(0.001/1)*(2.54/1)*(10/1));
        set(handles.text48,'string', Alarga);

        %Area ecuacion corta
        AcortaMCM=((IF/1000)*Kf*(sqrt(ts)));
        DcortaMIL=(sqrt(AcortaMCM*1000));
        Acorta=(DcortaMIL*(0.001/1)*(2.54/1)*(10/1));
        set(handles.text47,'string', Acorta);

        if Alarga > Acorta;
            A_real=(Alarga/1000);
            A_rea2=Alarga;
        else
            A_real=(Acorta/1000);
            A_rea2=Acorta;
        end
        set(handles.text59,'string', A_rea2);

        %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
        %DIAMETRO DEL CONDUCTOR
        [num]=xlsread('TABLAS_AV','conductores_norm');
        Cali_Norm1='2/0_AWG'
        Cali_Norm2='3/0_AWG'
        Cali_Norm3='4/0_AWG'
        Cali_Norm4='250_AWG'
        Cali_Norm5='300_AWG'
        Cali_Norm6='350_AWG'

        if A_real<=(num(6,2))
            Cond_PAT=(num(1,:));
            Calibre=Cali_Norm1;

            set(handles.text60,'string', num(6,1));

```


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

```

switch pC;
    case 1      % Para un peso corporal de 50 kg
        Et=((1000+(1.5*Cs*rs))*(0.116/(sqrt(ts))))
        Ep=((1000+(6*Cs*rs))*(0.116/(sqrt(ts))))
        set(handles.text52, 'string', Et);
        set(handles.text53, 'string', Ep);
    end

        % Para un peso corporal de 70 kg
switch pS;
    case 1
        Et=((1000+1.5*Cs*rs)*0.157/(sqrt(ts)))
        Ep=((1000+6*Cs*rs)*(0.157/(sqrt(ts))))
        set(handles.text52, 'string', Et);
        set(handles.text53, 'string', Ep);
    end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
//
%% STEP 4: DISEÑO INICIAL
A=Lx*Ly;
        % Longitud total de los conductores de la malla [m]
LT=Lx*(Ly/D+1)+Ly*(Lx/D+1);

LC=LT;
        % Longitud del perimetro de la malla [m]
LP=2*Lx+2*Ly;

% Distancia nd con maxima entre 2 puntos cualesquiera de la malla [m]
Dm=sqrt(Lx^2+Ly^2);
nd=Dm/sqrt(Lx^2+Ly^2);

% NÂ° de conductores paralelos de la malla (n)
na=(2*LC)/LP;

nb=sqrt(LP/(4*sqrt(A)));
nc=1;
n=na*nb*nc*nd;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% STEP 5: RESISTENCIA DE MALLA
LR=nr*Lr; % Longitud total de todas las varillas [m]

switch SV;
    case 1 % Mallas sin varillas de puesta a tierra
        Rg1=rt*(1/LT+(1/sqrt(20*A))*(1+(1/(1+h*sqrt(20/A))))); %////////OK
    end
% Mallas con varillas de puesta a tierra
switch CV
    case 1
        LT2=LT+LR;
        Rg1=rt*(1/LT2+(1/sqrt(20*A))*(1+(1/(1+h*sqrt(20/A)))));
    end
end

```


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

```
Km=((1/(2*pi))*(log((D^2/(16*h*dc))+(((D+2*h)^2)/(8*D*dc))-
(h/(4*dc)))+(Kii/Kh)*(log(8/(pi*(2*n-1))))))

% Factor de espaciamento (Ks)
Ks=(1/pi)*(1/(2*h)+1/(D+h)+(1/D)*(1-((0.5)^(n-2))));

Ls=0.75*LC+0.85*LR;           % Longitud efectiva del conductor enterrado

if GPR>Et
    Em=((rt*Km*Ki*IG)/LM);           % Tension de toque peligroso en la periferia
    Es=((rt*Ks*Ki*IG)/Ls);           % Tension de paso peligroso en la periferia
end

if GPR<Et || (Em < Et) && (Es < Ep)
    Em=((rt*Km*Ki*IG)/LM);
    Es=((rt*Ks*Ki*IG)/Ls);
end

if GPR<Et || (Em < Et) && (Es < Ep)
    buena='RESULTADOS DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA ADECUADOS'
    set(handles.text46,'string', buena);

elseif GPR > Et || Em > Et || Es > Ep
    msgbox('MODIFIQUE ESPACIAMIENTO DE CONDUCTORES O AUMENTE BARRAS DE
TIERRA', 'DISEÑO INCORRECTO', 'error');
    mala='RESULTADOS DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA INCORRECTOS'
    set(handles.text46,'string', mala);
end

set(handles.text57,'string',Em);
set(handles.text58,'string',Es);
set(handles.text56,'string',GPR);
set(handles.text55,'string',Rg);
set(handles.text51,'string',IG);
set(handles.text54,'string',Cs);
```