



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE POTENCIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA
EMPRESA “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”**

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

Autores:

Gallo Pérez Marco Danilo

Roto Tenesaca Jhony German

Tutor Académico:

Ing. Cabrera Celi Gabriela Cristina MSc.

LATACUNGA – ECUADOR

Marzo 2022



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **GALLO PÉREZ MARCO DANILO** y **ROTO TENESACA JHONY GERMAN** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “**ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA EMPRESA EMBUTIDOS LA MADRILEÑA**”, siendo la Ing. **CABRERA CELI GABRIELA CRISTINA** 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.



Gallo Pérez Marco Danilo

C.C. 0550059604



Roto Tenesaca Jhony German

C.C. 1750345892



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

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

“ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA EMPRESA EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”, de **GALLO PÉREZ MARCO DANILO** y **ROTO TENESACA JHONY GERMAN**, de la carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, marzo 2022

El Tutor

.....
Ing. Cabrera Celi Gabriela Cristina

C.I: 1104683873



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes **GALLO PÉREZ MARCO DANILO** y **ROTO TENESACA JHONY GERMAN** con el título de Proyecto de titulación “**ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA EMPRESA EMBUTIDOS LA MADRILEÑA**”, 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, marzo 2022

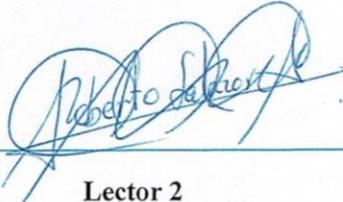
Para constancia firman:



Lector 1 (Presidente)

Ing. Carlos Pacheco

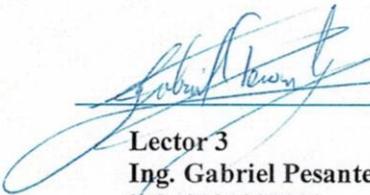
C.C. 0503072902



Lector 2

Ing. Roberto Salazar

C.C. 0502847619



Lector 3

Ing. Gabriel Pesantez

C.C. 0301893889

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradecemos a Dios, al Niño de Insinche por permitirnos tener una buena experiencia dentro de la universidad y convertirnos en profesionales en lo que nos apasiona. A nuestros padres y hermanos por el apoyo incondicional, que con su esfuerzo y aliento nos han permitido culminar nuestros estudios universitarios.

De igual manera agradecemos a la Universidad Técnica de Cotopaxi que nos abrió las puertas para emprender nuestros estudios, un sentimiento de gratitud a la Carrera de Ingeniería Eléctrica y los docentes que nos han formado profesionalmente. Además agradecemos a la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” por darnos la oportunidad de realizar el presente proyecto de investigación.

Finalmente queremos agradecer a la Ing. Gabriela Cabrera, tutor de esta investigación y a los Lectores por su apoyo y guía para concluir este trabajo de investigación.

Marco Gallo, Jhony Roto.

DEDICATORIA

“Nunca debes dejar que un comentario te complique, porque aun mejorando el mundo alguien habrá que te critique”

Tirone Gonzáles (Canserbero).

A nuestros padres y hermanos.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1. EL PROBLEMA	2
2.1.1. Situación Problemática	2
2.1.3. Formulación del problema.....	3
2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	3
2.3. BENEFICIARIOS	3
2.3.1. Beneficiarios directos	3
2.3.2. Beneficiarios indirectos	3
2.4. JUSTIFICACIÓN	3
2.5. HIPÓTESIS	4
2.6. OBJETIVOS	4
2.6.1. General.....	4
2.6.2. Específicos.....	4
2.7. SISTEMA DE TAREAS	5
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
3.1. ANTECEDENTES	7
3.2. CALIDAD ENERGÉTICA	7
3.3. POTENCIA ELÉCTRICA Y FACTOR DE POTENCIA.....	8
3.3.1. Tipos de potencias	8
3.3.2. Factor de potencia.....	10
3.4. ARMÓNICOS	11
3.4.1. Influencia armónica en la medición de energía eléctrica	11
3.4.2. Orden de armónicos y secuencia de fase	11
3.5. DEFINICIÓN DE NIVEL DE VOLTAJE	13
3.6. DEFINICIÓN DE ESTABILIDAD DE TENSIÓN	13
3.6.1. Definición de variación de tensión Largas	13
3.6.2. Definición variaciones en la tensión de corta duración	14
3.7. DEFINICIÓN DE FLICKER	14
3.8. TIPOS DE CARGAS ELÉCTRICAS	15
3.8.1. Definición carga lineal	15

3.8.2. Definición carga no lineal.....	15
3.9. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	16
3.9.1. Medidas de resistividad	17
3.9.2. Cálculo de la resistencia de la puesta a tierra en sistemas industriales	18
3.10. NORMATIVAS DE CALIDAD DE ENERGÍA	18
3.10.1. Regulación ARCERNNR-002/20.....	18
3.10.1. Límite de nivel de voltaje	18
3.10.1.2. Perturbación rápida de voltaje (flicker)	19
3.10.1.3. Índices de distorsión armónica	19
3.10.2 Normativa IEEE 519-2014	21
3.10.2.1. Límites de armónicos recomendados	21
3.10.3. IEEE Std 1159	23
3.10.3.1. Variaciones de voltaje de corta duración.....	24
3.10.3.2. Desequilibrio de Voltaje.....	24
3.10.4. Codificación de Reglamentos de Tarifas (ARCONEL 035/19)	25
3.11. TIPOS DE FILTROS	25
3.11.1. Filtros pasivos para mitigar armónicos.....	25
3.11.2. Filtros activos para mitigar armónicos	29
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
4.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	30
4.1.1. Método inductivo - deductivo.....	30
4.1.2. Método analítico - Sintético	30
4.2. TIPOS DE INVESTIGACIÓN.....	30
4.2.1. Investigación Teórica	30
4.2.2. Investigación de campo	31
4.2.3. Investigación Cuantitativa	31
4.3. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	31
4.3.1. Observación directa y participativa	31
4.3.2. Instrumentos de investigación	31
4.4. OBTENCIÓN DE DATOS	31
4.4.1. Fase 1: Levantamiento de cargas y diseño de esquemas	31

4.4.2. Fase 2: Evaluación del consumo y egresos económicos por concepto de energía eléctrica	32
4.4.3. Fase 3: Obtención de parámetros eléctricos mediante el analizador de redes.....	32
4.4.4. Fase 4. Comparación de los resultados con los límites normativos.	36
4.4.4. Fase 5. Simulación del Sistema Eléctrico en ETAP 19.0.1	37
4.4.5. Fase 6. Verificación del sistema de puesta a tierra de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”	38
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	41
5.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	41
5.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO ACTUAL DE LA EMPRESA.....	41
5.2.1. Levantamiento de cargas en la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”	43
5.2.1.1. Potencia instalada	43
5.3. ANÁLISIS DE FACTURACIÓN POR CONCEPTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	46
5.3.1. Análisis eléctrico de consumo de los medidores 448 y 451 de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”	46
5.4. ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS OBTENIDOS MEDIANTE EL ANALIZADOR DE REDES	50
5.4.1. Análisis de Nivel de Voltaje del TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA	50
5.4.1.1. Voltaje nominal Fase – Fase 220 V del TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA	51
5.4.1.2. Voltaje en el Neutro en el TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA	53
5.4.1.3. Desequilibrio de voltaje de los TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA.....	54
5.4.2. Análisis de corrientes de Línea del TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA.....	54
5.4.2.1. Desequilibrio de corriente TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA.....	56
5.4.3. Demanda Eléctrica TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA.....	57
5.4.4. Potencia Activa TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA.....	59
5.4.5. Potencia reactiva del TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA.....	61
5.4.6. Potencia Aparente TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA.....	62
5.4.7. Análisis de Factor de potencia del TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA	64
5.4.8. Distorsión Armónica Total de Voltaje del TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA	65
5.4.9. Armónicos Individual de voltaje del TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA.....	66
5.4.10. Armónicos Individuales de Voltaje en el Neutro del TRAF0_125 kVA y 500 kVA..	68
5.4.11. TDD de Corriente del TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA	69

5.4.12. Distorsión Individual de Corriente del TRAFO_125 kVA y 500 kVA.....	71
5.4.13. Armónico Total de corriente en el Neutro del TRAFO_125 kVA y TRAFO_500 kVA	72
5.4.14. Presencia de flickers en el TRAFO_125 kVA y TRAFO_500 kVA.....	73
5.4.15. Sags y Swellss en el TRAFO_125 kVA y 500 kVA	74
5.4.16. Estado actual del sistema eléctrico de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”	75
5.5. SIMULACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ETAP 19.0.1.....	77
5.5.1. Procedimiento para la simulación.....	77
5.5.2. Primer caso de estudio.....	78
5.5.2.1. Comparación de resultados entre el analizador de redes y el software ETAP 19.0.1 .	78
5.5.3. Segundo caso de estudio.....	83
5.5.3.1. Sistemas eléctricos funcionando a plena carga “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”	83
5.5.4. Tercer caso de estudio	84
5.5.4.1. Resultado de armónicos sin el banco de capacitores TRAFO_125 kVA.....	84
5.5.4.2. Resultado de armónicos con la incorporación de un banco de capacitores.....	85
5.6. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS ENCONTRADOS	86
5.6.1. Solución 1: Balance de cargas y dimensionamiento de nuevos conductores	86
5.6.1.1. Resultados de la simulación solución 1: TRAFO_125 kVA.....	88
5.6.1.2. Resultados de la simulación solución 1: TRAFO_500 kVA	89
5.6.2. Solución 2: Dimensionamiento del filtro pasivo para mitigar armónicos en el transformador de 125 kVA	89
5.6.2.1. Resultados de la simulación solución 2 TRAFO_125 kVA.....	89
5.6.3. Solución 3: Traslado de cargas del TRAFO_125 kVA al TRAFO_500 kVA	91
5.7. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	92
5.7.1. Solución 4: Mejoramiento del sistema de puesta a tierra en la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”	92
5.8. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)	95
5.8.1. Impacto técnico.....	95
5.8.2. Factibilidad económica.....	95
5.9. PRESUPUESTOS PARA EL PROYECTO.....	95
5.10. CÁLCULO DEL TIR Y VAN	98

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	99
7. BIBLIOGRAFÍA	101
8. ANEXOS	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Triángulo de potencias	8
Figura 3.2. Onda Distorsionada	11
Figura 3.3. (a) Componente Fundamental (b) Tercer armónico (c) Quinto armónico (d) Séptimo armónico.....	12
Figura 3.4. Corriente armónica producida por una carga no lineal	12
Figura 3.5. Relación corriente vs tensión de una carga lineal	15
Figura 3.6. Relación corriente vs tensión de una carga no lineal	16
Figura 3.7. Método de los cuatro electrodos o de Wenner	17
Figura 3.8. Filtro en serie	26
Figura 3.9. Filtro en derivación	27
Figura 4.1. Proceso de levantamiento de planos eléctricos	32
Figura 4.2. Proceso de obtención de datos mediante el analizador de redes	33
Figura 4.3. Ubicaciones de monitoreo sugeridas en un sistema típico de bajo voltaje (las flechas apuntan a la ubicación sugerida de las sondas)	34
Figura 4.4. Fluke 435-II.....	34
Figura 4.5. Conexión del analizador FLUKE 435-II en un sistema trifásico en estrella.....	35
Figura 4.6. Conexión del analizador de redes FLUKE 435-II realizada	36
Figura 4.7. Procedimiento para la simulación del sistema eléctrico en ETAP.....	37
Figura 4.8. Procedimiento para la verificación del sistema de puesta a tierra.	38
Figura 4.9. Medición con el Probador de resistencia AECM 3037.....	39
Figura 4.10. Telurómetro FLUKE 1625-2.	40
Figura 4.11. Medición de la resistencia del terreno con el Telurómetro FLUKE 1625-2.....	40
Figura 5.1. Ubicación de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA	41
Figura 5.2. Sistema alimentado por el transformador de 125 kVA.....	42
Figura 5.3. Sistema eléctrico del transformador de 500 kVA	43
Figura 5.4. Consumo de energía del 2019 al 2021 del transformador de 125 KVA.....	47

Figura 5.5. Consumo de energía del 2019 al 2020 del TRAF0_500 kVA	47
Figura 5.6. Demandas picos en el intervalo 2019 al 2021 del TRAF0_125 kVA	48
Figura 5.7. Demandas pico del 2019 al 2021 en el medidor 451 del TRAF0_500 kVA	48
Figura 5.8. Pago por penalización de variación de Fp de los años 2019 al 2021 de TRAF0_125 kVA	49
Figura 5.9. Pago por penalización y variación del Fp de los años 2019 al 2021 TRAF0_500 kVA	49
Figura 5.10. Pagos totales realizados en el intervalo 2019-2021 en los transformadores de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”	50
Figura 5.11. Nivel de Voltaje fase-fase 220 V del TRAF0_125 kVA	52
Figura 5.12. Nivel de voltaje en el neutro del TRAF0_125 kVA.....	53
Figura 5.13. Nivel de corrientes de fase del TRAF0_125 kVA	55
Figura 5.14. Demanda semanal de lunes a viernes del TRAF0_125 kVA.....	57
Figura 5.15. Demanda de sábado y domingo del TRAF0_125 kVA	58
Figura 5.16. Demanda de lunes a viernes del TRAF0_500 kVA	58
Figura 5.17. Demanda sábado y domingo del TRAF0_500 kVA	59
Figura 5.18. Nivel de potencias activas en las tres fases y total del sistema.....	60
Figura 5.19. Nivel de potencias reactiva en las tres fases y la total del sistema	62
Figura 5.20. Potencia aparente del TRAF0_125 kVA.....	63
Figura 5.21. Estado del factor de potencia en el TRAF0_125 kVA.....	65
Figura 5.22. Armónicos individuales de voltaje del TRAF0_125 kVA.....	67
Figura 5.23. Armónicos individuales de voltaje del TRAF0_500 kVA.....	68
Figura 5.24. Simulación a la carga máxima registradas por el analizador de redes en el TRAF0_125 kVA.	79
Figura 5.25. Simulación del sistema a la carga máxima registrada por el analizador de redes en el TRAF0_500 kVA.....	81
Figura 5.26. Resultados de armónicos sin el banco capacitor	85
Figura 5.27. Resultados de armónicos con el banco capacitores.....	85
Figura 5.28. Resultados de armónicos con la implementación del filtro pasivo.....	90
Figura 5.29. Sistema de 8 puntas longitud del brazo L y profundidad s/2	93
Figura 5.30. Tratamiento de gel para el sistema de puesta a tierra actual	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Límites para el índice de nivel de voltaje.....	19
Tabla 3.2. Límites de distorsión de voltaje.....	22
Tabla 3.3. Límites de distorsión de corriente para sistemas clasificados de 120 V- 69 kV	23
Tabla 5.1. Características del transformador de 125 kVA	41
Tabla 5.2. Características del transformador de 500 kVA	43
Tabla 5.3. Cargas conectadas al transformador de 125 kVA	44
Tabla 5.4. Estudio de cargas conectados al transformador de 500 kVA.....	46
Tabla 5.5. Niveles de voltaje Fase - Fase: 220 V del TRAF0_125 kVA	51
Tabla 5.6. Variación de voltaje 220 V del TRAF0_125 kVA	51
Tabla 5.7. Niveles de voltaje fase-fase 220 V del TRAF0_500 kVA	52
Tabla 5.8. Porcentajes de variación del voltaje fase-fase 220 V del TRAF0_500 kVA	53
Tabla 5.9. Nivel de Voltaje Neutro del TRAF0_500 kVA.....	54
Tabla 5.10. Desequilibrio de voltaje del TRAF0_125 kVA.....	54
Tabla 5.11. Desequilibrio de voltaje del TRAF0_500 kVA.....	54
Tabla 5.12. Niveles de corriente del TRAF0_125 kVA	55
Tabla 5.13. Corrientes de fase del TRAF0_500 kVA	56
Tabla 5.14. Desequilibrio de corriente en el TRAF0_125 kVA.....	56
Tabla 5.15. Niveles de desequilibrio de corriente del TRAF0_500 kVA	56
Tabla 5.16. Potencia activa en las tres fases del TRAF0_125 kVA	59
Tabla 5.17. Nivel de potencia activas del TRAF0_500 kVA.....	61
Tabla 5.18. Niveles de potencias reactivas TRAF0_125 kVA.....	61
Tabla 5.19. Nivel de potencia Reactiva TRAF0_500 kVA	62
Tabla 5.20. Niveles de potencias aparentes del TRAF0_125 kVA	63
Tabla 5.21. Nivel de potencia aparente transformador de 500 kVA	64
Tabla 5.22. Niveles de factor de la potencia TRAF0_125 kVA.....	64
Tabla 5.23. Nivel de factor de potencia TRAF0_500 kVA	65
Tabla 5.24. Distorsión Armónica Total TRAF0_125 kVA	65
Tabla 5.25. Distorsión Armónica Total TRAF0_500 kVA	66
Tabla 5. 26. Nivel de Distorsión Armónica Individual del TRAF0_125 kVA.....	66
Tabla 5.27. Nivel de Distorsión Armónica Voltaje Individual del TRAF0_500 kVA.....	67
Tabla 5.28. Armónicos de Individuales de Voltaje al Neutro del TRAF0_125 kVA	68

Tabla 5.29. Armónicos de Individuales de Voltaje al Neutro del TRAF0_500 kVA	69
Tabla 5.30. Relación de la corriente de cortocircuito y la corriente de línea en pu del TRAF0_125 kVA	70
Tabla 5.31. Distorsión Total de la Demanda (TDD) del TRAF0_125 kVA	70
Tabla 5.32. Relación de la corriente de cortocircuito y la corriente de línea en pu TRAF0_500 kVA	70
Tabla 5.33. Distorsión Total de la Demanda (TDD) TRAF0_500 kVA	71
Tabla 5.34. Distorsión Individual de corriente del TRAF0_125 kVA	71
Tabla 5.35. Distorsión Individual de corriente del TRAF0_500 kVA	72
Tabla 5.36. Armónico Total en el neutro del TRAF0_125 kVA.....	72
Tabla 5.37. Armónico Total en el neutro del TRAF0_500 kVA.....	72
Tabla 5.38. Niveles de Flickers del TRAF0_ 125 kVA	73
Tabla 5.39. Nivel de flickers del TRAF0_500 kVA.....	73
Tabla 5.40. Nivel de sags en el TRAF0_125 kVA.....	74
Tabla 5.41. Nivel de swells en el TRAF0_125 kVA.....	74
Tabla 5.42. Nivel de sags en el TRAF0_500 kVA.....	75
Tabla 5.43. Nivel de swells en el TRAF0_500 kVA.....	75
Tabla 5.44. Estado del sistema actual del transformador de 125 kVA y 500 kVA.....	76
Tabla 5.45. Parámetros correspondientes al transformador de 125 kVA.....	80
Tabla 5.46. Parámetros correspondientes al TRAF0_ 500 kVA	82
Tabla 5.47. Cargabilidad de los transformadores de 125 kVA Y 500 kVA.....	83
Tabla 5.48 Resultados de la simulación del TRAF0_125 kVA a plena carga	83
Tabla 5.49. Resultados de la simulación del TRAF0_500 kVA a plena carga	84
Tabla 5.50. Dimensionamiento de nuevos conductores del transformador de 125 kVA	86
Tabla 5.51. Reducción de pérdidas con los nuevos conductores.....	88
Tabla 5.52. Dimensionamiento de nuevos conductores del transformador de 500 kVA	88
Tabla 5.53. Reducción de pérdidas con los nuevos conductores.....	89
Tabla 5.54. Resultados del filtro pasivo dimensionado.....	89
Tabla 5.55. Comparación de parámetros antes y después del filtro transformador 125 kVA..	90
Tabla 5.56. Comparación de nuevos valores con el traslado de cargas a pleno carga al TRAF0_500 kVA	91
Tabla 5.57. Resultados de medición de la resistividad.....	92

Tabla 5.58. Inversión para la solución 1 del TRAF0_125 kVA.....	95
Tabla 5.59. Inversión de nuevos conductores del TRAF0_125 kVA.....	96
Tabla 5.60. Presupuesto del filtro pasivo del TRAF0_125 kVA.....	96
Tabla 5.61. Presupuesto del sistema de puesta a tierra.....	97
Tabla 5.62. Presupuesto para el mejoramiento de la puesta a tierra.....	97

TITULO: “ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA EMPRESA “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”.

Autores:

Gallo Pérez Marco Danilo

Roto Tenesaca Jhony German

RESUMEN

La calidad de energía de un sistema eléctrico industrial se ve afectado por las diversas cargas lineales y no lineales existentes dentro del mismo, provocando perturbaciones que afectan el funcionamiento de las maquinarias, la producción y la economía. En este proyecto se realiza el estudio de calidad de energía del sistema eléctrico de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” que presenta perturbaciones en el sistema de bajo voltaje acoplado al secundario de los transformadores de 125 kVA y 500 kVA respectivamente, que alimentan las diferentes áreas de la empresa. Mediante la investigación de campo se recolectó los datos de la carga instalada, tipo de conductores, distancia de conductores, protecciones, entre otros. Por medio del analizador de redes FLUKE 435-II se obtuvieron los parámetros eléctricos de potencia, voltaje, factor de potencia, porcentaje de armónicos totales e individuales tanto para voltaje y corriente para el estudio de calidad de energía. Posteriormente se analizó las perturbaciones eléctricas obtenidas, se comparó con los límites establecidos por las normativas: IEEE 519, IEEE 1159, ARCERNR 002/20 y ARCONEL 035/19. Con los datos obtenidos se realizó la simulación en el software ETAP 19.0.1, determinando así los problemas eléctricos a ser corregidos. Finalmente se planteó soluciones de dimensionamiento de nuevos conductores para reducir las pérdidas y caída de voltaje, el diseño de un filtro pasivo para mitigar los armónicos y elevar el factor de potencia, un mejoramiento en el sistema de puesta a tierra, además se propuso una solución de traslado de cargas del transformador de 125 kVA al 500 kVA.

Palabras clave: Perturbaciones eléctricas, factor de potencia, armónicos, puesta a tierra, pérdidas, ETAP.

TOPIC: “ELECTRICAL SYSTEM ENERGY QUALITY STUDY FROM "EMBUTIDOS LA MADRILEÑA" ENTERPRISE”.

Authors:

Gallo Pérez Marco Danilo

Roto Tenesaca Jhony German

ABSTRACT

The industrial electrical a system power quality is affected by the several linear and non-linear loads that there are within it, by causing disturbances, what affect to the machinery operation, the production and the economy. This project was performed the electrical system energy quality study from "EMBUTIDOS LA MADRILEÑA" enterprise, which presents disturbances into low voltage system coupled to 125 kVA and 500 kVA transformers secondary, respectively, what feed the enterprise different areas. Through field research was collected data onto the installed load, conductors type, conductors distance, protections, among others. Through the FLUKE 435-II network analyzer was got the power electrical parameters, voltage, power factor, total percentage and individual harmonics, both voltage and current for power quality study. Subsequently, they were analyzed the got electrical disturbances and compared with the set limits by the IEEE 519, IEEE 1159, ARCERNNR 002/20 and ARCONEL 035/19 regulations. With the got data were performed the simulation into ETAP 19.0.1 software, thus, determining the electrical problems to be corrected. Finally, it was proposed new conductors dimensioning solutions to reduce losses and voltage drop, the passive filter design for mitigating harmonics and raise the power factor, an improvement into grounding system, and was proposed a solution loads transfer from 125 kVA to 500 kVA transformer.

Keywords: Electrical disturbances, power factor, harmonics, grounding, losses, 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 trabajo de titulación cuyo título versa: **“ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA EMPRESA “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”**, presentado por: **Gallo Pérez Marco Danilo y Roto Tenesaca Jhony German**, estudiantes de la Carrera de **Ingeniería Eléctrica** 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, 23 marzo del 2022

Atentamente,



CENTRO
DE IDIOMAS

Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 0502666514

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título:

Estudio de la calidad de energía del sistema eléctrico de la empresa “Embutidos la Madrileña”.

Fecha de inicio:

Octubre 2021

Fecha de finalización:

Marzo 2022

Lugar de ejecución:

Sector Tiobamba kilómetro tres y medio – panamericana sur - Cantón Latacunga- Provincia de Cotopaxi - Ecuador

Facultad que auspicia:

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia:

Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Proyecto Macro Asociado:

Desarrollo de sistemas para el abastecimiento y uso del servicio de energía eléctrica a nivel local, regional y nacional.

Equipo de Trabajo:

Tutor: Ing. Cabrera Celi Gabriela Cristina MSc.

Estudiantes: Gallo Pérez Marco Danilo

Roto Tenesaca Jhony German

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 2: Conversión y uso racional de la energía eléctrica

Grupos Temáticos:

1. Eficiencia energética y desarrollo sostenible.
2. Calidad de energía.
3. Optimización de Sistemas Eléctricos.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. EL PROBLEMA

2.1.1. Situación Problemática

En la actualidad el desarrollo tecnológico entorno a la industria de producción de alimentos derivados de la carne implica una alta demanda de maquinaria con controles y dispositivos electrónicos que generan la deformación de la onda sinusoidal de corriente y voltaje. Estas perturbaciones eléctricas se ven reflejadas en consumos energía eléctrica, variación del factor de potencia, calentamiento y deterioro de conductores, causando pérdidas económicas al usuario.

La empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” es una industria dedicada a la producción de cárnicos que ha ido evolucionando desde su creación en el año 1995, actualmente en su infraestructura cuenta con alrededor de setenta maquinarias las cuales están alimentadas por los transformadores trifásicos de 125 kVA y 500 kVA, estos dan servicio a las siguientes áreas de la planta de producción: el área de calderos y compresores, el área de mantenimiento, el área de almacenamiento de materia prima y el área de bombas.

En un estudio previo se describe a breves rasgos el sistema energético de la planta de producción y los inconvenientes presentes en el mismo, sin embargo, el proyecto no se enfoca a profundidad en la perturbación eléctrica y no da una solución viable a los problemas encontrados, ya que se ha propuesto soluciones que ayudan a reducir el consumo y no a corregir los problemas eléctricos presentes en el sistema, en el mismo que no se ha contemplado las normativas, IEEE y la ARCERNNR-002/20.

En la empresa existe una serie de problemas que se deben a una deficiencia en el plan de mantenimiento, al no contar con un análisis óptimo del sistema eléctrico debido a que no dispone de un equipo analizador de redes, es posible que actualmente persistan una serie de perturbaciones tales como: armónicos de corriente y voltaje, fugas de corriente, bajo factor de potencia, variaciones de voltaje, flickers, sistema de puesta a tierra inadecuada, etc.

Estos inconvenientes hacen necesario un estudio del sistema eléctrico en la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” para analizar los problemas, lo que conlleva a plantear soluciones a las perturbaciones más relevantes existentes en la planta de producción, para mejorar la eficiencia eléctrica y con ello los efectos económicos ocasionados en los procesos industriales. Se propone una evaluación de calidad de energía eléctrica mediante un equipo

analizador con el fin de comprobar el cumplimiento de los índices permisibles establecidos por las normativas nacionales e internacionales.

2.1.3. Formulación del problema

¿El estudio de la calidad de energía eléctrica permitirá determinar las perturbaciones que inciden en la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” y establecer soluciones a los problemas más relevantes en el sistema eléctrico?

2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

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 “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” y empleados de la misma.

2.3.2. Beneficiarios indirectos

Los beneficiarios indirectos son los clientes de la empresa y la Empresa Eléctrica Cotopaxi.

2.4. JUSTIFICACIÓN

Los motivos que llevaron a realizar este proyecto, es investigar si la calidad del sistema eléctrico en la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” está dentro de los parámetros establecidos por las normativas IEEE 519, IEEE 1159 y la ARCERNNR-002/20. Se propone un plan que reduzca y mitigue las perturbaciones más relevantes, siguiendo un marco referencial propuesto por normas de regulación nacionales e internacionales mencionadas anteriormente, que exponen un límite, un periodo de medición y una etapa de análisis de cumplimiento. Además, se realiza un modelamiento del sistema eléctrico de la empresa, donde se ve y analiza los posibles escenarios antes y después de la evaluación de calidad de energía.

Con los resultados de la evaluación de calidad de energía, se consigue obtener datos que permiten proponer un plan correctivo para lograr un servicio eléctrico, confiable y seguro, para con ello mejorar la situación económica dentro de la empresa y evitar penalización por incumplimiento a las normativas a futuro, con lo cual los beneficiarios principales de este proyecto son los propietarios y empleados de la Empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” y de manera indirecta la Empresa Eléctrica Cotopaxi.

Mediante el desarrollo de la evaluación de eficiencia energética, se pretende encontrar oportunidades para un mejor aprovechamiento de la energía eléctrica en cada uno de los centros de carga y además de ello obtener conocimientos adecuados del perfil de consumo existente en los diferentes puntos de carga.

La metodología utilizada en la elaboración de este proyecto, se inicia con el levantamiento de información sobre la planta de producción entorno a las instalaciones eléctricas y a las maquinarias; mediante esta información se ubica el equipo (analizador de redes), con la cual se registrarán los valores de las variaciones de magnitudes de distorsión armónica, voltaje, corriente, flicker, desbalance de voltaje, Interrupciones y factor de potencia para estudiar el comportamiento del sistema en operación, todo esto para determinar los problemas presentes en la instalación y recomendar las soluciones prácticas pertinentes a los mismos, fundamentadas en un análisis técnico.

2.5. HIPÓTESIS

El estudio de la calidad de energía en el sistema eléctrico de la empresa “Embutidos La Madrileña” permitirá conocer las perturbaciones notables que inciden en la industria para plantear las soluciones que mitiguen estas problemáticas.

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. General

Estudiar la calidad de energía del sistema eléctrico de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”.

2.6.2. Específicos

- Revisar el estado del arte y datos técnicos en temas relacionados con calidad de energía.
- Evaluar el estado actual del sistema eléctrico mediante las normativas de calidad de energía nacionales e internacionales a través del levantamiento de cargas, planos y mediciones registradas por el analizador de redes.
- Identificar los puntos críticos en base a los datos obtenidos por el analizador de redes y ETAP.
- Establecer soluciones a los problemas relevantes encontrados en el sistema eléctrico mediante un estudio técnico y económico para mejorar la calidad de energía eléctrica en la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”.

2.7. SISTEMA DE TAREAS

Objetivos específicos	Actividades(tareas)	Resultados esperados	Técnicas, medios e instrumentos
Revisar el estado del arte y datos técnicos en temas relacionados con calidad de energía.	Recolección y comprensión del material bibliográfico para el estudio de calidad de energía del sistema eléctrico.	Comprender las normativas principales de calidad de energía	Técnica- Investigación Bibliográfica Instrumento- Normativas, Libros, paper, sitios webs, tesis.
Evaluar el estado actual del sistema eléctrico mediante las normativas de calidad de energía nacional e internacional a través del levantamiento de cargas, planos y mediciones registradas por el analizador de redes.	Obtención de datos y cálculos de los parámetros eléctricos.	Conocer los problemas de armónicos, flickers, Factor de potencia, sobrevoltajes y sobrecorrientes de la red.	Técnica- Observación directa e investigación de campo. Instrumentos- Documentos de registro, fotografías, analizador de redes, telurómetro, pinza teluométrica.
	Analizar los parámetros de calidad de energía registrados por el analizador de redes, telurómetro, pinza teluro métrica y comparar con las normativas Nacionales e Internacionales.	Interpretar si los parámetros cumplen con las normativas de calidad de energía	Técnica: Investigación cuantitativa- Estudios causales comparativos Instrumentos- Software computacional, Normativas
Identificar los puntos críticos en base a los datos obtenidos por el	Modelado del sistema eléctrico de la planta de producción	Obtener graficas de tendencias del estado real del sistema para	Técnica- Investigación Cuantitativa, estudios causales

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

<p>anализador de redes y ETAP.</p>	<p>“Embutidos La Madrileña”.</p>	<p>plantear soluciones a los problemas.</p>	<p>comparativa, estudios experimentales Instrumentos- software computacional, sistema de registro.</p>
<p>Establecer soluciones a los problemas relevantes encontrados en el sistema eléctrico mediante un estudio técnico y económico para mejorar la calidad de energía eléctrica en la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”.</p>	<p>Realizar un análisis contemplando la parte técnica y económica, dar soluciones viables mediante cálculos matemáticos y simulaciones con los cambios realizados.</p>	<p>Evitar sanciones por incumplimiento de normativas y obtener un adecuado funcionamiento del sistema.</p>	<p>Técnica- Investigación Cuantitativa, estudios experimentales Instrumentos- software computacional, sistema de registro y normativas.</p>

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. ANTECEDENTES

En el año 1995 se crea la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” en la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi- Ecuador, esta se enfoca en la elaboración de productos cárnicos, en su inicio la maquinaria con la que contaba era de baja potencia por lo cual su demanda era muy inferior a la actual, con el pasar del tiempo se ha ido incrementando las cargas debido a la evolución económica que ha sufrido la empresa; por ende las instalaciones eléctricas han sufrido cambios tanto como la ampliación, el deterioro de los conductores y demás elementos del sistema.

Al igual que se evidencia que desde la creación de la empresa hasta el año 2017 no ha existido un estudio sobre la calidad de energía en el sistema eléctrico, en el 2018 se realiza un estudio denominado “Evaluación del sistema energético en las instalaciones de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” para generar una propuesta de implementación de gestión energética basada en la ISO 50001”. En la que se da conocer problemas como el bajo factor de potencia, inadecuado dimensionamiento de elementos, caídas de voltaje; pero dicho estudio no se enfoca a profundidad en el sistema eléctrico, así como el estudio fue enfocado en los transformadores de 125 kVA y 75 Kva [1].

En el 2019 el transformador INATRA de 75 kVA fue remplazado por un MORETRAN 500 kVA, por ende, hubo una reubicación e ingresos de nuevas cargas. Además de que el sistema de puesta a tierra nunca fue analizado y las soluciones planteadas en su momento no fueron aplicadas debido a una propuesta deficiente.

3.2. CALIDAD ENERGÉTICA

En la literatura, las variaciones y distorsiones de las formas de onda de voltaje y corriente se han considerado en el marco de la calidad de la energía. Con la penetración masiva de la energía renovable en los sistemas de energía, las variaciones, incluidas las fluctuaciones e intermitencias de la potencia de salida de estas fuentes renovables, son motivo de gran preocupación [2].

Del mismo modo la calidad de energía toma en cuenta cada uno de los aspectos que influyen en el sistema eléctrico provocando cambios o perturbaciones en los equipos de los consumidores finales debido a problemas en el sistema de distribución ya sea por maniobra o

por eventos repentinos, por otra parte, la que se refiere a disturbios ocasionados por otro consumidor afectan a los demás usuarios del sistema.

Entonces la calidad de la energía eléctrica puede definirse como una ausencia de interrupciones, sobre tensiones y deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje rms suministrado al usuario[3] .

3.3. POTENCIA ELÉCTRICA Y FACTOR DE POTENCIA

3.3.1. Tipos de potencias

En los circuitos de corriente alterna en estado permanente, en los que los voltajes y corrientes son sinusoidales existen tres tipos de potencia eléctrica: Potencia Activa (P), Potencia Reactiva(Q), Potencia Aparente(S). Estas potencias se pueden relacionar mediante un triángulo de potencias donde el ángulo “ φ ” está formado por la potencia aparente y la potencia activa que define el desfase entre la tensión (V) y la intensidad (I) y su coseno es igual al factor de potencia (FP) como se presenta en la figura 3.1.

- **Triángulo de potencia**

La potencia instantánea suministrada a un dispositivo es el producto del voltaje instantáneo por la corriente instantánea. Siempre se expresa en watts, y puede ser positiva o negativa, siendo positiva cuando la potencia fluye hacia el dispositivo, y negativa cuando sale de éste [4].

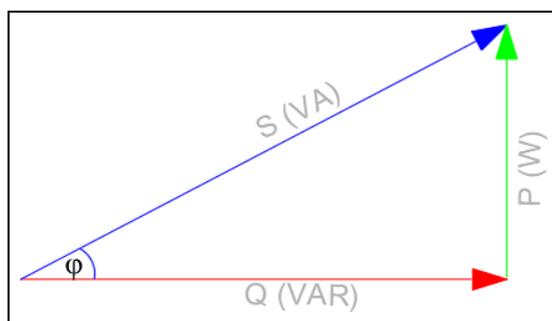


Figura 3.1. Triángulo de potencias

- **Potencia Activa (P)**

La potencia activa representa en a la potencia útil medida en watts (W), es decir, la energía que realmente se aprovecha cuando se pone a funcionar un equipo eléctrico y realiza un trabajo. En esta potencia la corriente se encuentra en fase con la tensión [4].

En las ecuaciones (3.1) y (3,2) se expresa matemáticamente se muestra los cálculos para sistemas monofásicos y trifásicos respectivamente:

$$P = V_f I_f \cos\varphi \rightarrow \text{monofásico} \quad (3.1)$$

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos\varphi \rightarrow \text{Trifásico} \quad (3.2)$$

Donde:

P = Potencia activa

V_L = Voltaje de línea

I_L = Corriente de línea

V_f = Voltaje de fase

I_f = Corriente de fase

$\cos\varphi$ = Factor de potencia

- **Potencia Reactiva (Q)**

La potencia reactiva es la consumida por todos los equipos eléctricos que poseen algún tipo de bobina para crear un campo electromagnético. Esta potencia reactiva no produce ningún trabajo útil y perjudica la transmisión de la energía a través de las líneas de distribución eléctrica. La unidad de medida de la potencia reactiva es el VAR [4]. Esta potencia se calcula según las ecuaciones (3.3) y (3,4).

$$Q = V_f I_f \sin\varphi \rightarrow \text{monofásico} \quad (3.3)$$

$$Q = \sqrt{3} V_L I_L \sin\varphi \rightarrow \text{Trifásico} \quad (3.4)$$

- **Potencia Aparente (S)**

También llamada potencia compleja, es la suma fasorial de la potencia activa y reactiva. Su unidad de medida es el Voltamperio VA, y se calcula de la siguiente forma.

$$S = V_f I_f \rightarrow \text{monofásico} \quad (3.5)$$

$$S = \sqrt{3} V_L I_L \rightarrow \text{Trifásico} \quad (3.6)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.7)$$

3.3.2. Factor de potencia

El factor de potencia define la relación entre la energía que se convierte en trabajo útil y la energía eléctrica consumida por un circuito o dispositivo. Se representa con las siglas FP, es un valor adimensional, solo puede tomar valores entre 0 y 1 (ya sea inductivo o capacitivo) y viene determinado por el tipo de cargas conectadas en una instalación eléctrica. Cuando el factor de potencia está cercano a la unidad, se dice que su componente reactivo es muy bajo, caso contrario cuando está cercano a ser nulo, allí se tiene una gran componente reactiva, lo que hace que se tengan mayores pérdidas [5].

- **Cálculo del factor de potencia**

Potencia: los valores demandados de potencia activa (kW) y de potencia aparente (kVA) en un periodo de tiempo, se utiliza la relación observada en la ecuación 3.8 para obtener el valor del factor de potencia.

$$F_p = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (3.8)$$

Energía: los valores demandados de energía activa (kWh) y de energía reactiva (kVArh) en un periodo de tiempo, se utiliza la relación observada en la ecuación 3.9 para obtener el valor del factor de potencia (Fp) ([5]).

$$FP = \frac{kWh}{\sqrt{kWh^2 + kVArh^2}} \quad (3.9)$$

- **Causas de un bajo factor de potencia**

Las causas por la cual se produce un bajo factor de potencia son las siguientes:

- Iluminación de descarga o de arco
- Motores de inducción de pequeña y gran capacidad
- Motores sobredimensionados
- Transformadores operando en vacío o con pequeñas cargas
- Transformadores sobredimensionados
- Nivel de tensión por encima del nominal
- Hornos eléctricos de arco voltaico

3.4. ARMÓNICOS

Uno de los factores de mayor influencia en las instalaciones eléctricas son los armónicos estos afectan la forma de onda de corriente y voltaje dado que estas distorsiones provocan una deformación de la onda sinusoidal ideal, gracias a perturbaciones producidas por las cargas no lineales, estas generan pérdidas de potencia activa, reducción de la vida útil de los equipos, sobretensiones, degradamiento de aislamientos, reducción del factor de potencia, etc. En la figura 3.2 se observa un ejemplo de una onda con distorsión armónica.

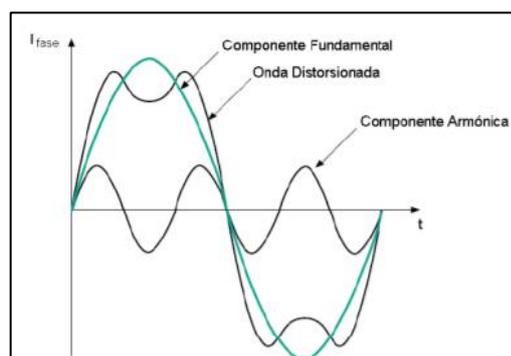


Figura 3.2. Onda Distorsionada [6]

3.4.1. Influencia armónica en la medición de energía eléctrica

Actualmente, en muchas empresas industriales, la parte principal del costo de producción proviene de los costos de consumo de electricidad. Esto es especialmente cierto para las empresas de las industrias cárnicas y de aluminio que consumen mucha energía. Cuando se trata de medición de energía, una lectura precisa es importante ya que una fracción de un porcentaje puede terminar siendo igual a miles de dólares.

Un problema adicional es la presencia de altos armónicos que se generan tanto en la red como en el lado del cliente. Varias publicaciones señalan que la potencia activa de los armónicos puede alcanzar decenas de kilovatios para algunos consumidores. En este contexto, las cuestiones de la medición de la electricidad en presencia de distorsiones, el cálculo de los parámetros de consumo de energía, así como las relaciones contractuales entre consumidores y proveedores de electricidad, son de suma importancia [7].

3.4.2. Orden de armónicos y secuencia de fase

Un sistema trifásico en balance está representado por ondas de voltaje y corriente de igual magnitud y frecuencia, pero desfasadas 120° entre fases, así como en un sistema trifásico que presenta distorsión armónica, la frecuencia de la misma determina la secuencia del fasor. La

Figura 3.3 presenta las secuencias de las fases en relación a la fundamental, así como las secuencias de tercer, quinto y séptimo orden.

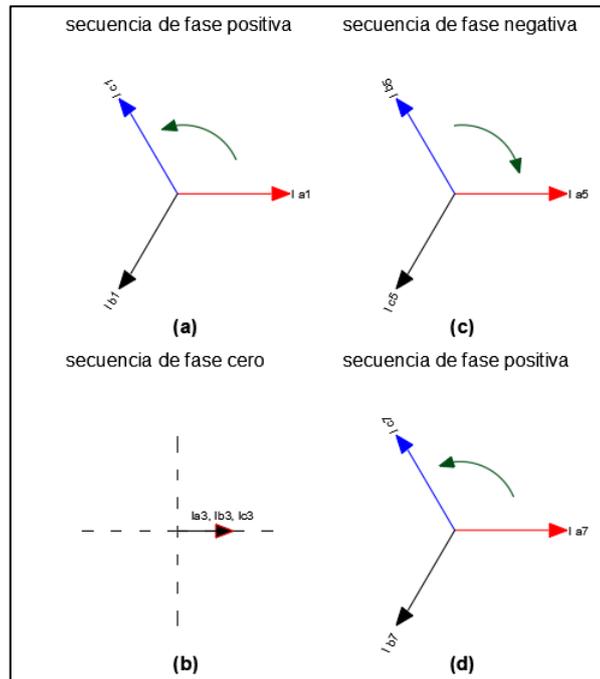


Figura 3.3. (a) Componente Fundamental (b) Tercer armónico (c) Quinto armónico (d) Séptimo armónico [8]

- **Distorsión armónica de corriente y tensión**

Las cargas no lineales se pueden modelar como fuentes de corriente que inyectan señales de corriente armónica en el punto de conexión con la red. Las corrientes armónicas circulan a través de las impedancias del sistema, ocasionando caídas de tensión distorsionadas en los equipos de transporte y conversión de energía como líneas de transmisión y distribución, cables, transformadores [6]. En la Figura 3.4 se visualiza un sistema de potencia el cual contempla una carga no lineal.

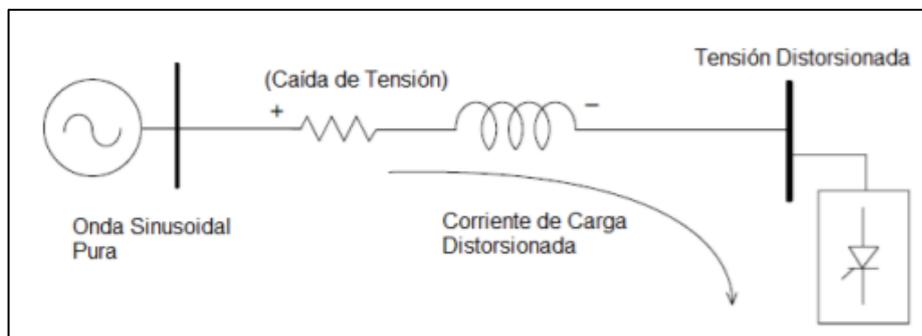


Figura 3.4. Corriente armónica producida por una carga no lineal [6]

3.5. DEFINICIÓN DE NIVEL DE VOLTAJE

Los equipos eléctricos que se encuentran conectados a un sistema de distribución están diseñados a una tensión referencial, pero no se puede entregar a todos la misma tensión nominal debido a las caídas de tensión y a que en un sistema real no existen condiciones ideales, dado que existen variaciones desde la generación, el transporte y la distribución. Sin embargo, los equipos tienen un rango de tolerancia.

En un sistema eléctrico de potencia existen varias fluctuaciones o variaciones en el suministro que durante la operación del sistema de potencia desencadenan desviaciones rms nominal debidas fundamentalmente a: caídas de tensión en transformadores y alimentadores, cambios de generación y carga, operación de pararrayos, operación de elementos de interrupción, etc.; efectos que producen elevaciones permanentes, fluctuaciones de tensión y principalmente caídas [9].

3.6. DEFINICIÓN DE ESTABILIDAD DE TENSIÓN

La estabilidad de un sistema de potencia es la capacidad que el sistema tiene de mantener un punto de equilibrio sobre condiciones normales de operación y permanecer en un estado aceptable de operación después de haber sufrido una perturbación, en pocas palabras se puede decir que la estabilidad es una condición de equilibrio entre fuerzas opuestas que permanecen activas en el sistema. Es conveniente resaltar que el problema de inestabilidad en los SEP es muy concreto y excluyente; por lo que se dice que el sistema es estable o inestable. Para analizar un problema de inestabilidad particular, es necesario identificar los factores clave que la causan y para ejecutar una solución óptima de estabilidad de voltaje se hace casi indispensable clasificar primero los problemas [3].

3.6.1. Definición de variación de tensión Largas

Son variaciones de la tensión en su valor rms (raíz media cuadrática), a la frecuencia del sistema. Estas variaciones pueden ser sobretensiones, bajas-tensiones y son causados por conmutación en las cargas u operaciones de mantenimiento en el sistema [3].

- **Overvoltages**

Es el incremento de la tensión a un nivel superior al 110 % del valor nominal por una duración mayor de un minuto. Las sobretensiones son usualmente el resultado de la desconexión de grandes cargas o debido a la conexión de bancos de capacitores. Generalmente se observa

cuando el sistema es muy débil para mantener la regulación de la tensión o cuando el control de la tensión es inadecuado [3].

- **Undervoltages**

Es la reducción en el valor rms de la tensión a menos del 90 % del valor nominal por una duración mayor de un minuto. La conexión de una carga o la desconexión de un banco de capacitores pueden causar una baja tensión hasta que los equipos de regulación actúen correctamente para restablecerlo[3].

- **Interrupción sostenida**

Es la ausencia de tensión, se manifiesta por un período superior a un minuto. Este tipo de interrupciones frecuentemente son permanentes y requieren la intervención del hombre para restablecer el sistema.

3.6.2. Definición variaciones en la tensión de corta duración

Son variaciones en el valor rms de la tensión nominal, por un tiempo mayor a medio ciclo (segundos) de la frecuencia del sistema sin llegar a exceder un minuto, son generalmente causados por fallas, energización de cargas grandes con corrientes de arranque muy elevadas o conexiones intermitentes en los cableados de potencia. Dependiendo la localización de la falla y las condiciones del sistema se pueden causar temporalmente, caídas de tensión (sags), elevaciones de tensión (swells) o una completa pérdida de tensión (interrupciones cortas).

3.7. DEFINICIÓN DE FLICKER

El Flicker es considerado como un sinónimo de parpadeo de luz, o parpadeo de voltaje según la IEC 61000-3-3, este fenómeno se define como la impresión subjetiva de las fluctuaciones de luz en el ojo debido al cambio de voltaje, este parpadeo ocurre en la salida de luz es producido por las fluctuaciones de voltaje en el sistema eléctrico donde la frecuencia de variabilidad está dentro del rango de 2 a 10 Hz, este parpadeo es provocado por principalmente por la conexión de cargas con la red, desviaciones en el consumo eléctrico en especial el desequilibrio de cargas reactivas y componentes armónicos[10].

La conexión o desconexión de grandes cargas o cargas con respuesta transitoria inherente provoca fluctuaciones de potencia en la red de distribución. Cargas como hornos de arco, máquinas de soldar, equipos de aire acondicionado, elevadores, bombas, ventiladores, grúas de minas, molinos, compresores de pistón, generadores de energía eólica, bancos de

condensadores y generadores fotovoltaicos provocan un cambio de voltaje rápido y continuo [11]. El flicker de corta duración es medida en un periodo de 10 minutos y permite obtener la severidad a largo plazo. Depende de la forma de la envolvente de la tensión: cuanto más profunda sea, más grave será el fenómeno del parpadeo. Pero también depende de la frecuencia de esta envolvente ya que tanto si es muy alta como si es muy baja, no habrá flicker debido a diversas posibles razones: la inercia de la lámpara, que el ojo se pueda acostumbrar [12] [13].

3.8. TIPOS DE CARGAS ELÉCTRICAS

La carga global de una red está formada por un gran número de cargas individuales de diferentes clases ya sea comerciales, residenciales e industriales. Cuando se habla de cargas se entiende como aquellos dispositivos o equipos donde finalmente se va a realizar el trabajo de la corriente eléctrica, estas cargas pueden ser de dos tipos las llamadas cargas lineales y las cargas no lineales mismas que se explica de forma minuciosa a continuación.

3.8.1. Definición carga lineal

Se llama carga lineal cuando son inductivas, resistivas y capacitivas (R, L, C) en las cuales siempre se va a tener una forma de onda sinusoidal en fase, adelantada o retrasada. Una carga lineal es la que tiene una relación constante entre el voltaje y la corriente, es decir cuando se le aplica una fuente de voltaje senoidal la carga lineal extrae de esa fuente una corriente que también es sinusoidal.

Esta carga es la que no genera distorsiones en la onda senoidal; cuando está es alimentada por una fuente de tensión senoidal. El circuito de esta carga son resistencias, inductancias y capacitancias puras [14]. Como se observa en la siguiente figura 3.5.

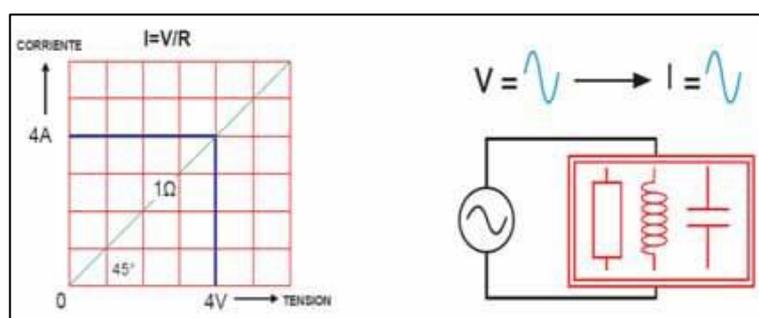


Figura 3.5. Relación corriente vs tensión de una carga lineal [14]

3.8.2. Definición carga no lineal

Las cargas no lineales son cuando se tiene elementos semiconductores (Triac, SCR, Leds, etc), estas se caracterizan porque distorsionan la forma de onda de la corriente y la forma de onda de

la tensión y producen elementos transitorios y componentes armónicos, es decir una carga no lineal extrae una corriente no senoidal cuando se conecta a un voltaje senoidal.

Estas cargas son fuentes que originan distorsiones o perturbaciones armónicas sobre todo al sistema de distribución eléctricas, dichas cargas están compuestas por dispositivos electrónicos de potencia, llamadas también cargas con impedancia no lineal [14]. La misma que se puede observar en la figura 3.6.

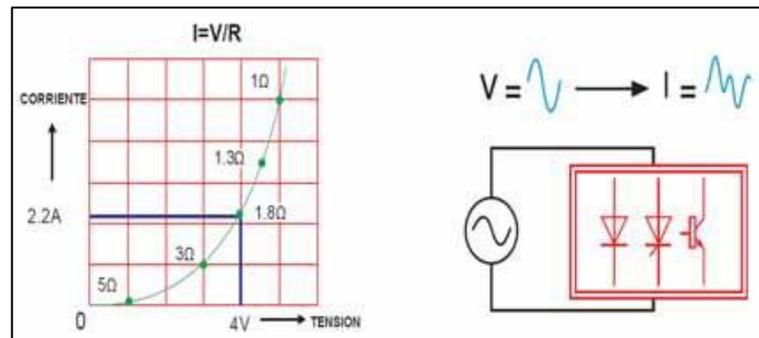


Figura 3.6. Relación corriente vs tensión de una carga no lineal [14]

3.9. 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.

El sistema de puesta a tierra está conformado principalmente por tres elementos los cuales se detallan a continuación [15]:

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.

3.9.1. 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 espaciamentos de prueba para obtener un estimativo de la resistividad de capas más profundas [16]. El método de Wenner es la técnica más usada la cual se observa la Figura 3.7.

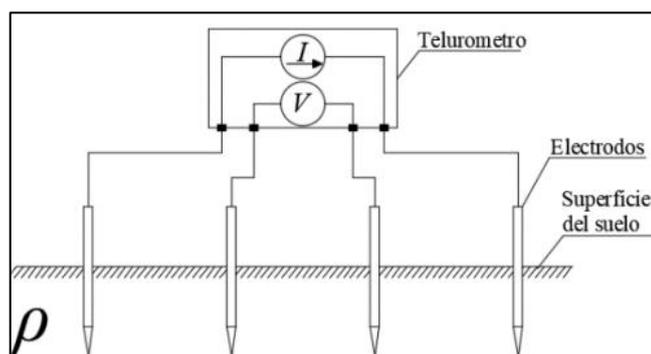


Figura 3.7. Método de los cuatro electrodos o de Wenner [17]

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 (3.10) y (3.11) se aplica para el cálculo de la resistividad [16]:

$$\rho_a = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad (3.10)$$

ρ_a → Resistividad aparente del suelo (Ω -m).

R → Resistencia medida en Ω .

a → Distancia entre electrodos adyacentes en m.

b → Profundidad de los electrodos en m.

sí $b \ll a$, como es el caso más común:

$$\rho_a = 2\pi a R \quad (3.11)$$

3.9.2. Cálculo de la resistencia de la 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 en Dwight y presentadas en la normativa IEEE 142 mismas que se encuentran anexo A. 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[18].

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 [18].

3.10. NORMATIVAS DE CALIDAD DE ENERGÍA

3.10.1. Regulación ARCERNNR-002/20

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.

3.10.1. Límite de nivel de voltaje

La ARCERNNR 002/20 emite que la calidad del nivel de tensión eléctrica en un punto determinado del sistema de distribución estará determinada por el índice de variación del voltaje de suministro al voltaje nominal en el punto K, mediante la siguiente ecuación.

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} \times 100 \text{ [%]} \quad (3.12)$$

Donde:

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

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

V_N = Voltaje nominal en el punto K.

En la tabla 3.1 se observa que según el nivel de voltaje y el rango admisible el cual debe cumplirse para que no exista un problema con las cargas conectadas al punto K, estos rangos debe ser garantizados por las empresas de distribución.

Tabla 3.1. Límites para el índice de nivel de voltaje [19].

Nivel de voltaje	Rango admisible
Alto Voltaje (Grupo 1 y Grupo 2)	±5,0 %
Medio Voltaje	±6,0 %
Bajo Voltaje	±8,0 %

Se cumple con el nivel de voltaje en un punto de medición cuando el 95 % o más de los registros de las variables de voltaje, en todas y cada una de las fases, en el periodo de evaluación de al menos siete días continuos, es menor al límite máximo establecido [19].

3.10.1.2. Perturbación rápida de voltaje (flicker)

La severidad es evaluada mediante las variaciones periódicas de amplitud de voltaje a corto plazo, con intervalos de medición de 10 minutos conforme la norma IEC 61000-4-15 la cual es contemplada en la ARCERNNR 002/20. Para el cálculo de este índice se usa la ecuación (3.13):

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}} \quad (3.13)$$

Donde:

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

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

El límite para el índice de severidad del flicker de corta duración P_{st} no debe superar la unidad debido a que es el máximo nivel de irritabilidad asociado a la fluctuación tolerable de luminancia que puede soportar sin molestia el ojo humano en una muestra específica de población [19].

3.10.1.3. Índices de distorsión armónica

Para la distorsión armónica se presentan límites permitidos según su nivel de voltaje al cual el usuario se ha conectado, esto dependerá del nivel de carga instalado y del orden de los armónicos.

- **Distorsión armónica de voltaje**

Según la Regulación ARCERNNR 002/20 se evalúa la distorsión individual de voltaje y la distorsión armónica total conforme a las ecuaciones (3.14), (3.15) y (3.16):

$$V_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (V_{h,i})^2} \quad (3.14)$$

$$DV_{h,k} = \frac{V_{h,k}}{V_{n,1}} \times 100 [\%] \quad (3.15)$$

$$THD_k = \left[\frac{1}{V_{h,1}} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (V_{h,k})^2} \right] \times 100 [\%] \quad (3.16)$$

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.

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

- **Distorsión armónica de corriente**

Se evaluará la distorsión armónica individual de corriente y la distorsión de demanda total, se usan las siguientes ecuaciones (3.17), (3.18) y (3.19) [19]:

$$I_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (I_{h,i})^2} \quad (3.17)$$

$$DI_{h,k} = \frac{I_{h,k}}{I_{n,1}} \times 100 [\%] \quad (3.18)$$

$$TDD_k = \left[\frac{1}{I_{h,1}} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (I_{h,k})^2} \right] \times 100 \text{ [%]} \quad (3.19)$$

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).

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

3.10.2 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.

3.10.2.1. Límites de armónicos recomendados

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

- **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 [20]:

- 1) Los valores diarios del percentil 99th por muy poco tiempo (3 s) deben ser menos de 1,5 veces los valores dados en la Tabla 3.2
- 2) Los valores semanales del percentil 95 de tiempo corto (10 min) deben ser menores que los valores dados en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Límites de distorsión de voltaje [20].

Voltaje de bus V en PCC	Armónica 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 %

- **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 [20]:

- 1) Las corrientes armónicas diarias del percentil 99th de muy corto tiempo (3 s) deben ser menos de 2.0 veces los valores dados en la Tabla 3.3.
- 2) Las corrientes armónicas semanales del percentil 99th de corto tiempo (10 min) deben ser menos de 1,5 veces los valores dados en la Tabla 3.3.
- 3) Las corrientes armónicas semanales del percentil 95 de corto tiempo (10 min) deben ser menores que los valores dados en la Tabla 3.3.

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 [20].

Tabla 3.3. Límites de distorsión de corriente para sistemas clasificados de 120 V- 69 kV [20].

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

Donde:

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

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

Según Regulación ARCERNNR 002/20 en cuanto a 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 3.3.

3.10.3. IEEE Std 1159

La normativa internacional IEEE 1159 hace referencia a la calidad de energía eléctrica como una amplia variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan la tensión y la corriente eléctrica, en un tiempo y ubicación dado en el sistema de potencia. Este estándar define siete categorías distintas de fenómenos electromagnéticos en las redes eléctricas: transitorios, variaciones de corta duración, variaciones de larga duración, desequilibrio de la tensión, distorsión de la forma de onda, fluctuaciones de tensión y variaciones de la frecuencia, como se observa en el anexo B. Es importante poder clasificar eventos y fenómenos electromagnéticos con fines de análisis. Se discuten los requisitos de medición para cada categoría de fenómeno electromagnético [21].

3.10.3.1. 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[21].

- **Definición sags**

El uso recomendado para describir la magnitud de una caída de voltaje es "una caída al 20 %", lo que significa que el voltaje de la línea se reduce al 20 % del valor normal. Las caídas de voltaje generalmente están asociadas con fallas del sistema, pero también pueden ser causadas por la conmutación de cargas pesadas o el arranque de motores grandes. Las duraciones de los hundimientos se subdividen en tres categorías: instantáneas, momentáneas y temporales, que coinciden con las tres categorías de interrupciones y swells. Estas duraciones están destinadas a correlacionarse con los tiempos de funcionamiento típicos de los dispositivos de protección, así como con las divisiones de duración recomendadas por las organizaciones técnicas internacionales [21].

- **Definición de 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[21].

3.10.3.2. 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 la ecuación la (3.20):

$$Desequilibrio\ voltaje = \frac{(desviación\ máxima\ del\ voltaje\ promedio)}{/voltaje\ promedio} \times 100\% \quad (3.20)$$

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 [21]. 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 ARCERNNR 002/20 que también establece un límite de desequilibrio máximo del 2 %.

3.10.4. Codificación de Reglamentos de Tarifas (ARCONEL 035/19)

Art. 27.- Cargos por bajo factor de potencia. - Para aquellos consumidores a los cuales el Sistema de Medición fijado por el Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC, considere la medición de energía reactiva, el distribuidor registrará mensualmente el factor de potencia.

Aquellos clientes que registren un factor de potencia medio mensual inferior a 0,92, la facturación total mensual será recargada en un factor igual a la relación por cociente entre 0,92 y el factor de potencia registrado[22]. Es decir, la penalización por bajo factor de potencia será igual a la facturación mensual correspondiente a: consumo de energía, demanda, pérdidas en transformadores y comercialización, multiplicada por el siguiente factor[22] :

$$Bfp = \left(\frac{0,92}{fpr} \right) - 1 \quad (3.21)$$

Donde:

Bfp = Factor de penalización por bajo factor de potencia.

fpr = Factor de potencia registrado.

Asimismo, cualquier sea el tipo de consumidor, cuando el valor medio del factor de potencia es inferior a 0,60; el distribuidor, previa notificación, podrá suspender el servicio eléctrico hasta tanto el consumidor adecue sus instalaciones a fin de superar dicho valor límite [22].

3.11. TIPOS DE FILTROS

3.11.1. 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].

- **Definición del filtro 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 como se presenta en la Figura 3.8, 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 pueden bloquear una corriente armónica es decir que para el bloqueo de múltiples corrientes armónicas es preciso la incorporación de un filtro serie para cada una de ellas, esto puede provocar pérdidas importantes a la frecuencia fundamental, además este tipo de filtro puede reducir corrientes elevadas de armónicos múltiplos de tres lo cual evita sobrecorrientes en el neutro del sistema eléctrico.

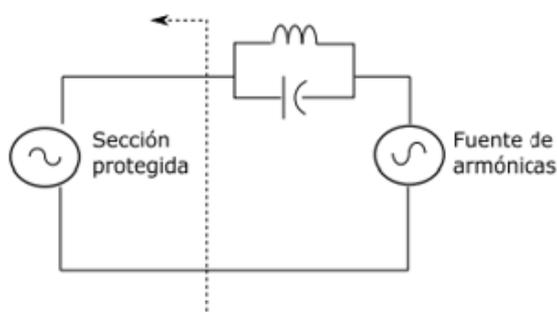


Figura 3.8. Filtro en serie [23]

- **Definición del filtro en derivación**

Los filtros en derivación, proveen un paso de baja impedancia para las frecuencias armónicas, están formados por una rama resonante con elementos resistivos, capacitivos e inductivos formando un circuito RLC conectado en paralelo al sistema de potencia o al equipo que lo requiera. El filtro en derivación presenta mayores ventajas que uno en serie debido a que este es más económico, transporta las corrientes armónicas para las cuales fueron diseñados, aporta potencia reactiva al sistema lo cual ayuda a estabilizar el factor de potencia.

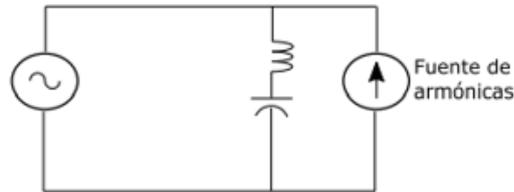


Figura 3.9. Filtro en derivación[23]

- **Proceso para dimensionar 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 debe 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 (3.22) y (3.23).

$$Q_{eff} = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \quad (3.22)$$

$$X_{eff} = \frac{(V_{LL\ sit})^2}{Q_{eff}} \quad (3.23)$$

Donde:

$V_{LL\ sit}$ = Voltaje línea a línea

Q_{eff} = Potencia reactiva efectiva

X_{eff} = Reactancia efectiva

Se calcula la impedancia de la red a la frecuencia fundamental al igual que la impedancia capacitiva, inductiva, la capacitancia y la impedancia, aplicando las ecuaciones (3.24), (3.25), (3,26) y (3,27).

$$X_c = \frac{h^2}{h^2 - 1} \times X_{eff} \quad (3.24)$$

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_c} \quad (3.25)$$

$$X_L = \frac{X_c}{h^2} \quad (3.26)$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (3.27)$$

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 [26].

$$R = \frac{X_L (f_{Reson})}{Q_f} \quad (3.28)$$

Para que el filtro presente un camino de baja impedancia a la frecuencia requerida se debe cumplir con la ecuacion (3.29)[26].

$$X_L = X_C \quad (3.29)$$

Según la normativa IEEE 18-2002 para verificar que el filtro no sufra daños por posibles sobre corrientes debido a las corrientes armonicas, se debe corroborar que no exceda el 135 % (3.31) a la corriente fundamental (3.30)[26].

$$I_{fund}(1) = \frac{\frac{VLLsis}{\sqrt{3}}}{X_C - X_L} \quad (3.30)$$

$$\%margin\ de\ corriente = \frac{I_{total\ RMS}}{I_{total\ fund}(1)} 100 \quad (3.31)$$

El voltaje pico del sistema no debe exceder el voltaje de diseño del banco de capacitor, es decir este no debe exceder el 120% (3.32) del voltaje pico del sistema como se establece en la IEEE-18-2002 [26].

$$\% \text{margen de voltaje pico} = \frac{V_{CL-N \text{ sist pico}}}{V_{L-N \text{ sist pico}}} * 100 \% \quad (3.32)$$

Se verifica que el valor RMS no exceda el voltaje de diseño del banco de capacitores más del 110 % (3,33) al voltaje de fase RMS del sistema.

$$\% \text{margen de voltaje RMS} = \frac{V_{CL-N \text{ RMS}}}{V_{L-N \text{ RMS}}} * 100 \% \quad (3.33)$$

Se corrobora la potencia reactiva con base en la norma IEEE 18 con las ecuaciones (3.34) y (3.35)

$$Q_{3\phi \text{ recalcada}} = \frac{(V_{CL-N \text{ RMS}})^2}{X_C} \quad (3.34)$$

$$\% \text{ margen de KVA}r = \frac{Q_{3\phi \text{ recalcada}}}{Q_{\text{eff}}} * 100 \% \quad (3.35)$$

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 según la ecuación (3.36) [26]:

$$\sum_h [V_C(h) I(h)] \leq 1,35 Q_{3\phi \text{ recalcada}} \quad (3.36)$$

3.11.2. Filtros activos para mitigar armónicos

Los filtros activos son dispositivos basados en sofisticada electrónica de potencia y mucho más costosos que los filtros pasivos, sin embargo, tienen la ventaja de no presentar problemas de resonancia con el sistema. La idea es corregir la forma distorsionada de la onda a una sinusoidal con la inyección al sistema de distorsión armónica opuesta a la distorsión causada por cargas no lineales.

Las características de compensación de los filtros activos son influenciadas por la impedancia del sistema y de la carga siendo muy parecidos a los filtros pasivos, sin embargo, tienen mejor compensación armónica frente a variaciones de impedancia de corrientes armónicas, absorber más de una armónica a la vez, combatir el problema de calidad de energía, corregir el flicker y mejorar 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 apartado se describe minuciosamente la metodología, técnicas de investigación, el sistema de procedimientos, herramientas y materiales que fueron usados para el presente estudio. El modelo metodológico formula un sistema de procedimiento técnicas y métodos para el tratamiento de datos y conocimientos con el fin de conseguir parámetros válidos para el desarrollo de la investigación.

4.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

4.1.1. Método inductivo - deductivo

Este método se utilizó para determinar el estado del sistema eléctrico de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”, en la cual se determinó los problemas y causas de esta, además de plantear posibles soluciones para mitigar las mismas. Para ello se realizó la recolección de datos de cargas lineales, cargas no lineales, actualización del esquema unifilar, el registro de perturbaciones mediante el analizador de redes Fluke 435-II; verificación de la puesta a tierra por medio de un Telurómetro Fluke 1625-2 y la pinza telurómica AEMC 3730, posteriormente se analizan los parámetros de calidad de energía. Finalmente se efectúa las simulaciones correspondientes en el software ETAP 19.0.1 con los datos obtenidos anteriormente, para dar soluciones a los principales fenómenos que afectan al sistema eléctrico.

4.1.2. Método analítico - Sintético

Este método se utilizó para el análisis de la información referente al tema de estudio, a través de la fundamentación teórica obtenida de diferentes fuentes bibliográficas como: libros, revistas científicas, entre otros sitios verídicos, esta facilita el estudio de los diferentes problemas y causas concerniente a la calidad de energía eléctrica, además del procedimiento para la elaboración de simulaciones y mediante ello proponer soluciones a los fenómenos de mayor incidencia dentro del sistema eléctrico.

4.2. TIPOS DE INVESTIGACIÓN

4.2.1. Investigación Teórica

Para llevar a cabo la investigación teórica de este estudio se recolecto información de libros, repositorios de universidades, revistas, artículos científicos y sitios web de entidades de importancia para establecer un fundamento teórico conciso a cerca de la calidad de energía eléctrica, para la comprensión de las normativas, IEEE, ARCERNNR 002/02 y su aplicabilidad en bajo voltaje.

4.2.2. Investigación de campo

La investigación de campo se la ejecutó en las instalaciones de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” dentro de los horarios establecidos en el cronograma, con el propósito de obtener información de fuentes primarias sobre las maquinarias que comprenden las diferentes áreas de la empresa y los procesos a los cuales son sometidas en la elaboración de alimentos cárnicos.

4.2.3. Investigación Cuantitativa

Esta investigación se enfoca en la recolección de datos numéricos provenientes de los instrumentos de medición y la obtención de parámetros eléctricos que son de gran importancia en la tabulación, el análisis, la comparación con los estándares permisibles, para identificar problemas y plantear soluciones

4.3. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

4.3.1. Observación directa y participativa

Esta técnica ha permitido tener un trato directo con el jefe encargado del área de mantenimiento de la planta, quien facilito la identificación de las maquinarias, equipos y demás elementos instalados, además de proveer información sobre los transformadores de alimentación de 125 y 500 kVA.

4.3.2. Instrumentos de investigación

Los instrumentos de investigación que se utilizaron en este estudio fueron las fotografías y fichas de registro en donde se registró todo lo relacionado a conductores, cargas lineales, cargas no lineales, el sistema de puesta a tierra y el esquema unifilar del sistema eléctrico.

4.4. OBTENCIÓN DE DATOS

Para la obtención de datos de la industria cárnica “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA “se dividió en cuatro fases las cuales se detallan a continuación:

4.4.1. Fase 1: Levantamiento de cargas y diseño de esquemas

En esta fase por medio de la colaboración del personal de mantenimiento se procedió al reconocimiento de todas las áreas de la planta, se observó las máquinas y procesos, los cuales ponen en funcionamiento a la empresa. A partir de ello se identificó los circuitos que alimenta cada transformador para efectuar el levantamiento de cargas tomando en cuenta los datos de placa, calibre de los conductores y las protecciones de cada equipo. Finalmente se procedió al desarrollo de esquemas unificables. En la Figura 4.1 describe lo mencionado anteriormente.

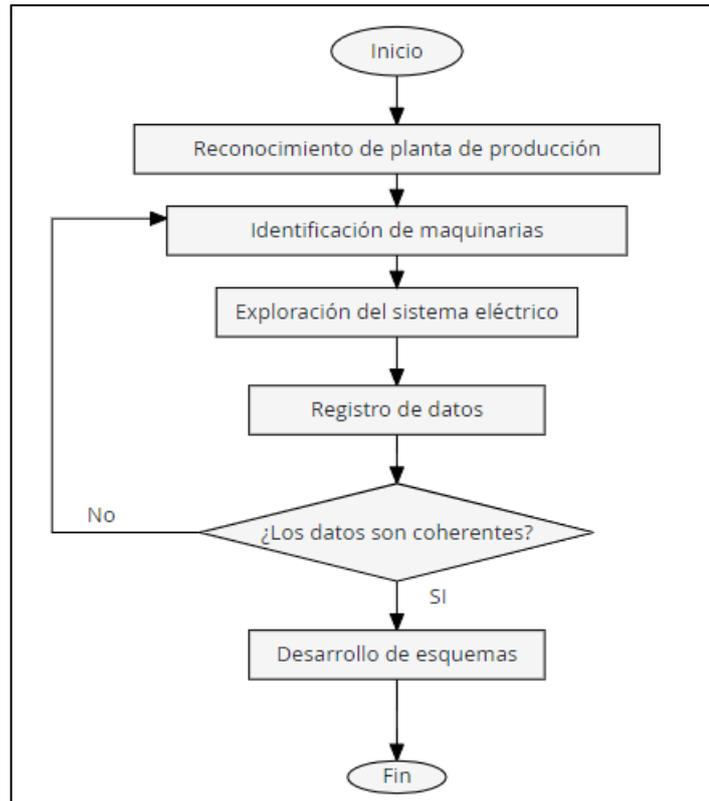


Figura 4.1. Proceso de levantamiento de planos eléctricos

4.4.2. Fase 2: Evaluación del consumo y egresos económicos por concepto de energía eléctrica

En esta fase se procedió a la evaluación de consumo eléctrico a través de las planillas emitidas desde el año 2019 al 2021 por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A), mediante el registro en el software computacional Excel se calcula los egresos económicos por penalizaciones, la energía total consumida en los años mencionados y las tabulaciones correspondientes, con el fin de conocer a fondo el estado de la empresa con respecto a la energía eléctrica.

4.4.3. Fase 3: Obtención de parámetros eléctricos mediante el analizador de redes

En la Figura 4.2, se ilustra el procedimiento a seguir para la obtención de magnitudes eléctricas para el análisis de calidad de energía en la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”.

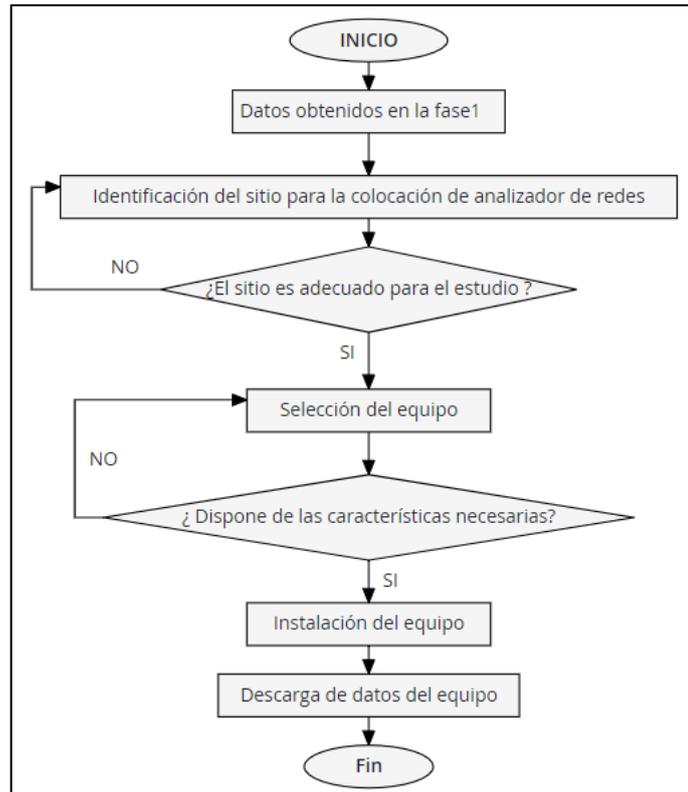


Figura 4.2. Proceso de obtención de datos mediante el analizador de redes

a) **Identificación del sitio para la colocación del analizador de redes**

Con los datos obtenidos en la fase 1 se procedió a la identificación del sitio para la colocación del analizador de redes, utilizando la normativa IEEE-1159-2019 y la ARCERNNR 002/20 que estipulan lo siguiente:

Si el propósito del monitoreo es investigar la calidad general de la energía de la instalación, el monitor debe colocarse en el secundario del transformador de entrada del servicio principal, que generalmente es un equipo de servicio de clase de 600 V. El monitor registra el efecto de la calidad de la energía suministrada en la instalación, así como el efecto de las principales cargas dentro de la instalación. Los monitores deben moverse aguas abajo en el sistema de distribución para registrar la calidad de la energía de los alimentadores individuales si este fuera el caso [27]. Como se ilustra en la Figura 4.3.

Tomando en consideración lo expuesto se optó por la instalación del analizador de redes en la parte secundaria de los transformadores, en el tablero principal de distribución para evaluar el sistema aguas abajo y así validar los datos a través de normativas nacionales e internacionales.

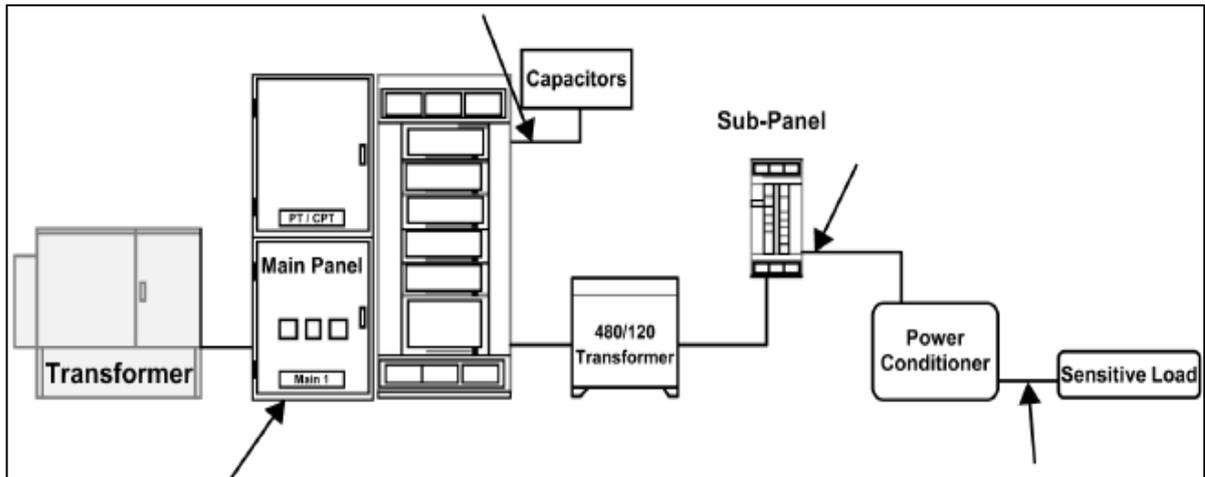


Figura 4.3. Ubicaciones de monitoreo sugeridas en un sistema típico de bajo voltaje (las flechas apuntan a la ubicación sugerida de las sondas) [27].

b) Selección del equipo

Para la selección del equipo analizador de red se toma en cuenta lo establecido en la ARCENNR 002/20 en el capítulo siete indica que los equipos necesarios para realizar las mediciones de perturbaciones del sistema eléctrico, deben cumplir con los requerimientos de las normativas IEC 61000-4-7 e IEC 61000-4-30 los cuales determinan que, para cada mes o periodo de medición, el registro de valores debe ser en un intervalo de 10 minutos y el tiempo de evaluación no debe ser inferior a siete días.

El equipo que cumple con estas características fue el analizador de redes FLUKE 435-II como se observa en la Figura 4.4, el cual se conectó a las tres fases, neutros y tierra de los transformadores de 125 kVA Y 500 kVA, para la obtención de parámetros de potencia, factor de potencia, armónicos de corriente y voltaje, flicker, sags y swells, etc.



Figura 4.4. Fluke 435-II [28].

• **Características principales [28]:**

- Captura de datos PowerWave: captura rápidamente datos RMS y muestra medios ciclos y formas de onda para caracterizar la dinámica de los sistemas eléctricos.
- Calculadora de pérdida de energía: las mediciones clásicas de potencia activa y reactiva, desequilibrios y armónicos.
- Visualización de graficas
- Mide las tres fases y el neutro: con cuatro puntas de prueba de corriente flexibles incluidas y un diseño delgado mejorado para adaptarse a los lugares más estrechos.
- Tendencia automática: todas las medidas se registran siempre automáticamente, sin necesidad de configuración alguna.
- Monitor del sistema: diez parámetros de calidad de potencia en una sola pantalla, de acuerdo con la norma de calidad de potencia eléctrica EN50160.
- Función de registrador: configure cualquier condición de prueba con memoria para hasta 600 parámetros en intervalos definidos por el usuario.

c) Instalación del equipo FLUKE 435-II

De acuerdo al apartado 4.4.3 inciso a y b se procedió a la instalación del equipo de medición en el lado secundario de los transformadores, antes de iniciar con la adquisición de datos se comprobó en la pantalla el diagrama fasorial, los parámetros de potencia, voltaje y corriente correspondientes a las tres líneas, verificando que los cables de voltaje y las sondas amperimétricas estén conectadas correctamente. La conexión del analizador de redes se visualiza en la Figura 4.5 y la Figura 4.6.

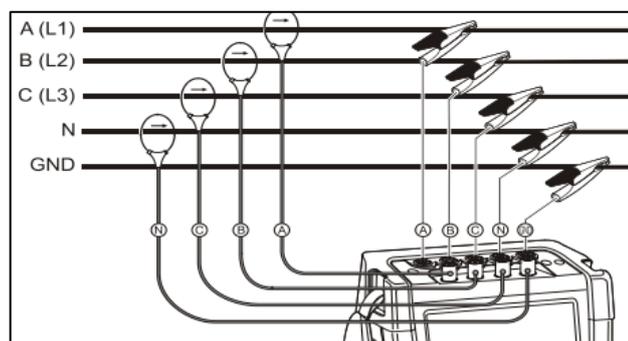


Figura 4.5. Conexión del analizador FLUKE 435-II en un sistema trifásico en estrella [9]

El periodo de registro de datos en el transformador de 125 kVA se realizó desde las 14:37 pm del 13 de diciembre 2021 hasta las 10:02 am del día 20 de diciembre del 2021. Para el transformador de 500 kVA se inició desde las 10:52 am del 20 de diciembre 2021 hasta las

10:27 am del día lunes 27 de diciembre del 2021, para obtener datos más precisos se realizó el registro en intervalos de 5 minutos.



a) Transformador de 125 kVA

b) Transformador de 500kVA

Figura 4.6. Conexión del analizador de redes FLUKE 435-II realizada

d) Descarga de datos del equipo

Para finalizar el proceso antes descrito se transfieren los datos del equipo analizador de carga al computador mediante una tarjeta SD de 8 GB para obtener los parámetros a ser tabulados y analizados, estos se pueden obtener en cualquier día y hora del intervalo de medición total. Se elige los datos de tensión, corrientes armónicas, potencia, factor de potencia, flicker, sags y swells del período de análisis y se exportan estos a una hoja de Excel.

4.4.4. Fase 4. Comparación de los resultados con los límites normativos.

Para la comparación de resultados se utilizó las siguientes normativas:

- ARCERNNR-002/20: Esta normativa se utilizó para determinar la calidad de producto en cuanto al nivel de voltaje y el desequilibrio de voltaje en la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”, en la Tabla 3.1 se establecen los límites para el índice de nivel de voltaje y la ecuación 3.20 para el cálculo del desequilibrio de voltaje.
- IEEE 519-2014: Esta normativa se utilizó para comparar los límites de distorsión armónica de tensión y corriente tanto individual como el total respectivamente, en la Tabla 3.2 y Tabla 3.3 se observa los límites de distorsión de tensión y corriente.
- IEEE 1159-2019: Esta normativa se usó para el estudio fenómenos electromagnéticos presentes en el sistema eléctrico como: sags, swells, sobretensiones, bajos voltajes, desequilibrio de voltaje, variación de frecuencia, etc. En el anexo B se observa la

clasificación de estos fenómenos electromagnéticos y los límites respectivos para los mismos.

- Reglamento del Pliego Tarifario (ARCONEL 035/19): este reglamento se utilizó para realizar el análisis del factor de potencia de la empresa. En el artículo 27 establece los límites sobre el factor de potencia como se explicó en la fundamentación teórica.

4.4.4. Fase 5. Simulación del Sistema Eléctrico en ETAP 19.0.1

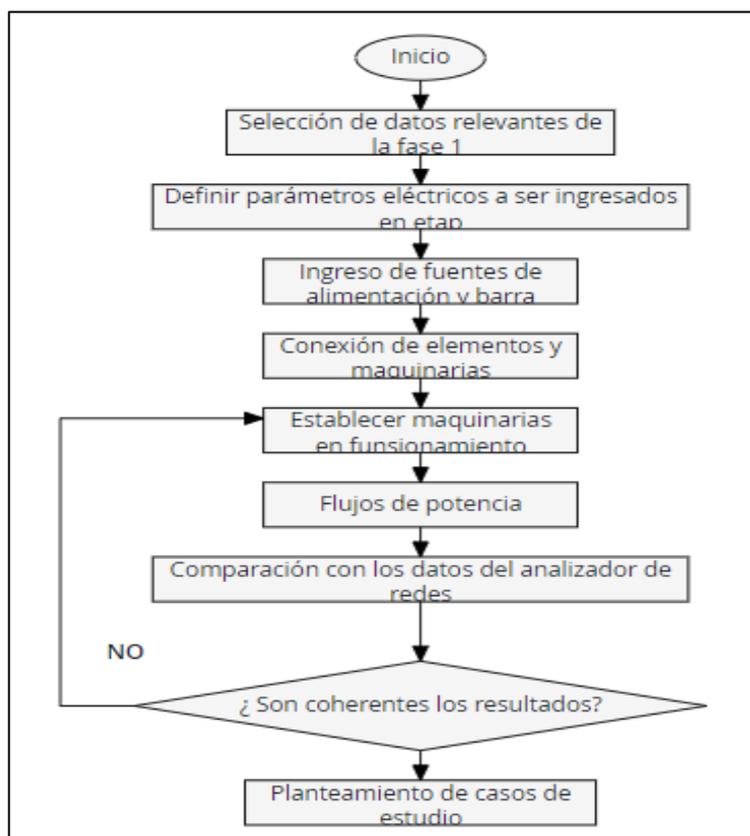


Figura 4.7. Procedimiento para la simulación del sistema eléctrico en ETAP

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 [29].

Para la simulación del sistema en el programa ETAP 19.0.1 se toma como referencia el procedimiento mostrado en la Figura 4.7. 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 explicado en la fase uno. Sucesivamente se definen magnitudes de potencia, voltaje, corriente, factor de potencia a ser ingresados en el programa.

Después de esto se procedió a la conexión de los elementos, maquinarias a los diferentes puntos de conexión común, se puso en servicio las máquinas tomando en cuenta el registro máximo de la demanda, la investigación de campo, experiencias personales y se procedió a comparar resultados con los datos reales registrados por el analizador de redes, para finalmente plantear casos de estudio y las soluciones pertinentes, este procedimiento se presenta en el Anexo M.

4.4.5. Fase 6. Verificación del sistema de puesta a tierra de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”

Para el estudio del sistema de puesta a tierra se contempla la metodología mostrada en la Figura 4.8 que explica las fases a considerar para el análisis y planteamiento de soluciones.

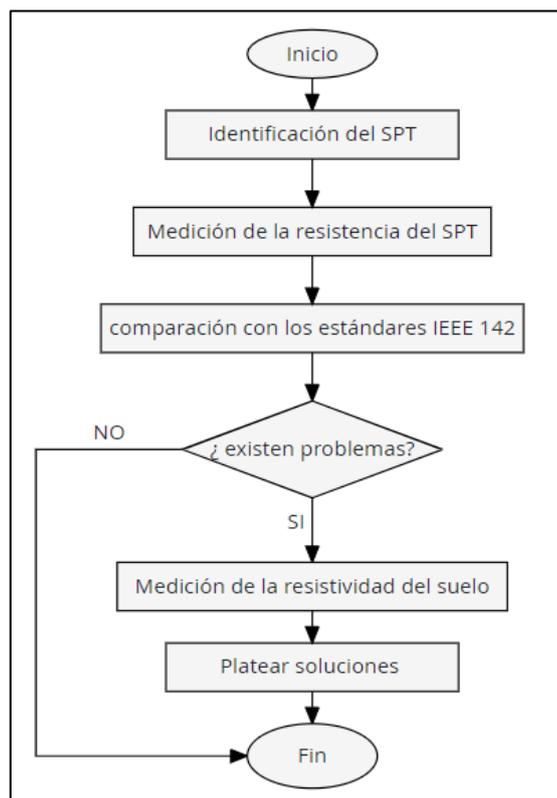


Figura 4.8. Procedimiento para la verificación del sistema de puesta a tierra.

En esta fase se realizó la revisión correspondiente del sistema de puesta a tierra al cual están conectados todos los elementos que comprenden el sistema de carga de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” mediante las normativas IEEE 142-2007 y IEEE 80-2013

donde se ve previsto el uso de una pinza telurómica AECM 3730 y un telurómetro FLUKE 1625-2 para determinar la resistencia de la puesta a tierra, a causa de la obtención de una resistencia muy alta se procedió a la medición de la resistividad del suelo mediante el telurómetro y el método de Wenner.

- **Probador de resistencia AECM 3037**

El probador de resistencia a tierra AECM 3730 mide resistencia de electrodos de tierra y mallas de tierra en cualquier condición atmosférica sin el uso de electrodos de tierra auxiliares. Este probador de resistencia de tierra de tipo mordaza se utiliza en sistemas de tierra múltiples sin tener que desconectar los electrodos de tierra durante el ensayo. La Figura 4.9 muestra este equipo utilizado.



Figura 4.9. Medición con el Probador de resistencia AECM 3037

- **Telurómetro FLUKE 1625-2**

Un telurómetro es un aparato que permite efectuar mediciones en sistemas de puesta a tierra en parámetros de voltaje y resistencia, empleando el método Wenner, para comprobar su correcto funcionamiento siendo así el principal indicador del estado del mismo. Para esto se insertó cuatro electrodos en el suelo en línea recta en sentido horizontal y vertical a una misma distancia y profundidad de penetración, las mediciones de resistividad dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno. Los parámetros mencionados son importantes al momento de hacer una puesta a tierra o verificar el funcionamiento del mismo, de esta manera el Telurómetro se convierte en el instrumento principal para este tipo de trabajos [30]. La Figura 4.10 muestra el modelo de telurómetro usado en este estudio.



Figura 4.10. Telurómetro FLUKE 1625-2.

Siguiendo el proceso mencionado en [30], [16] se realizó varias mediciones a diferentes distancias y profundidades para determinar las resistencias del terreno de la puesta a tierra de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”, en la Figura 4.11 se observa el proceso de medición.

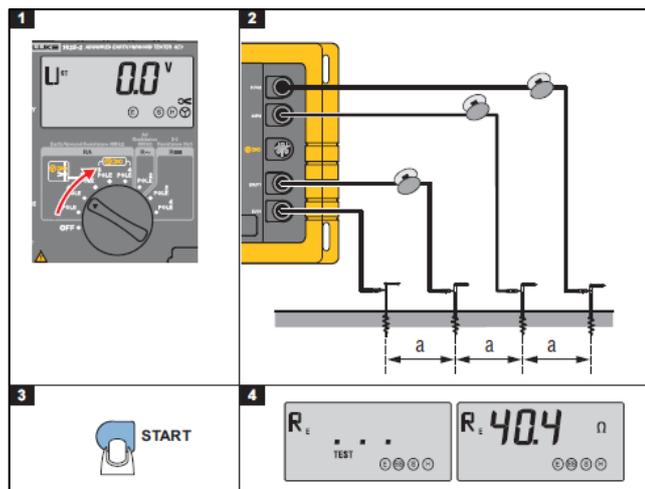


Figura 4.11. Medición de la resistencia del terreno con el Telurómetro FLUKE 1625-2 [31]

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

“EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” es una empresa ecuatoriana que se dedica a la producción cárnica para el consumo humano, la misma que está ubicada en la Provincia de Cotopaxi cantón Latacunga en la panamericana sur kilometro tres y medio en el barrio Tiobamba, las coordenadas se encuentran en la Figura 5.1, esta empresa a su vez cuenta con varias áreas como: la planta de producción, el área de calderos y compresores, mantenimiento, almacenamiento de materia prima, bombas-cisternas y el área administrativa.



Figura 5.1. Ubicación de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”

5.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO ACTUAL DE LA EMPRESA

El sistema actual de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” está constituido por dos alimentaciones trifásicas de 13,8 kV proveniente de la red de distribución de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, la cual sustenta a dos transformadores de 125 kVA y 500 kVA respectivamente y a su vez están distribuidos para las diversas cargas existentes con una tensión de 220 V. Las características de estos transformadores se muestran a continuación en las Tablas 5.1 y 5.2.

Tabla 5.1. Características del TRAFO_125 kVA

Descripción	Datos
Marca	INATRA
Potencia	125 kVA
Voltaje Primario	13,8 kV
Voltaje Secundario	220 V
Conexión	Dyn5
Impedancia	3 %
Frecuencia	60 Hz

El TRAF0_125 kVA se conecta al tablero principal a una tensión de 220 V con cuatro conductores de cobre tipo XLPE calibre 2/0 AWG, estos se acoplan a una protección de 350 A. Este es el encargado de dar suministro eléctrico a la mayor parte de la empresa como se muestra en la Figura 5.2, que comprende las áreas de procesos, cocción, mantenimiento, banco de hielo, planta de producción, planta de tratamiento de agua, compresores y calderos, Almacenamiento de materia prima y administración.

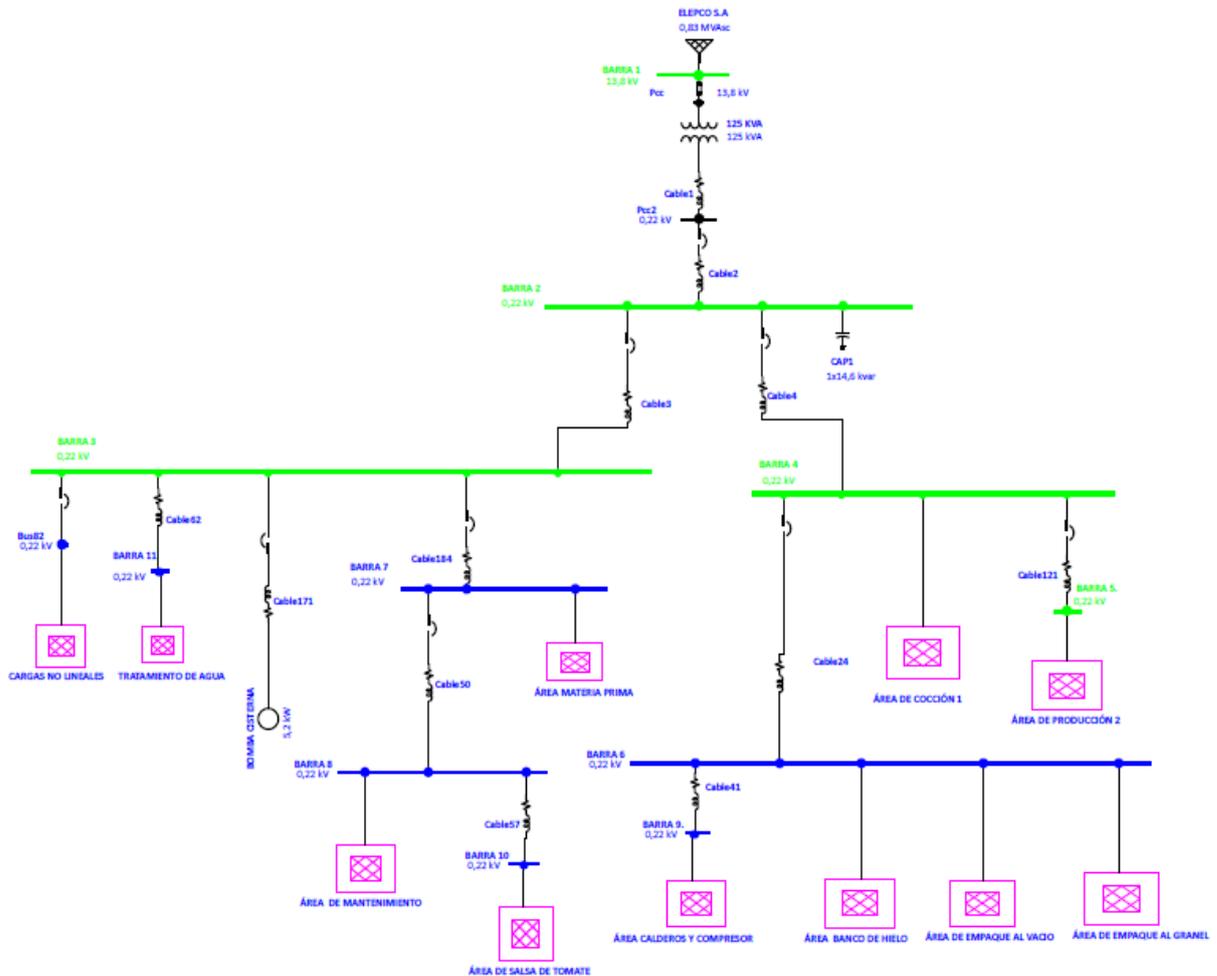


Figura 5.2. Sistema alimentado por el transformador de 125 kVA

El TRAF0_500 kVA se incorpora al tablero principal con una tensión de 220 V mediante cuatro conductores de cobre tipo XLPE calibre 500 MCM, cuyas fases se vinculan a una protección de 350 A. El transformador de 500 kVA brinda energía a determinadas áreas como: producción de masas, banco de hielo, y las cámaras frigoríficas como se observa en la Figura 5.3.

Tabla 5.2. Características del transformador de 500 kVA

Descripción	Datos
Marca	MORETRAN
Potencia	500 kVA
Voltaje Primario	13,8 kV
Voltaje Secundario	220 V
Conexión	Dyn5
Impedancia	2,53 %
Frecuencia	60 Hz

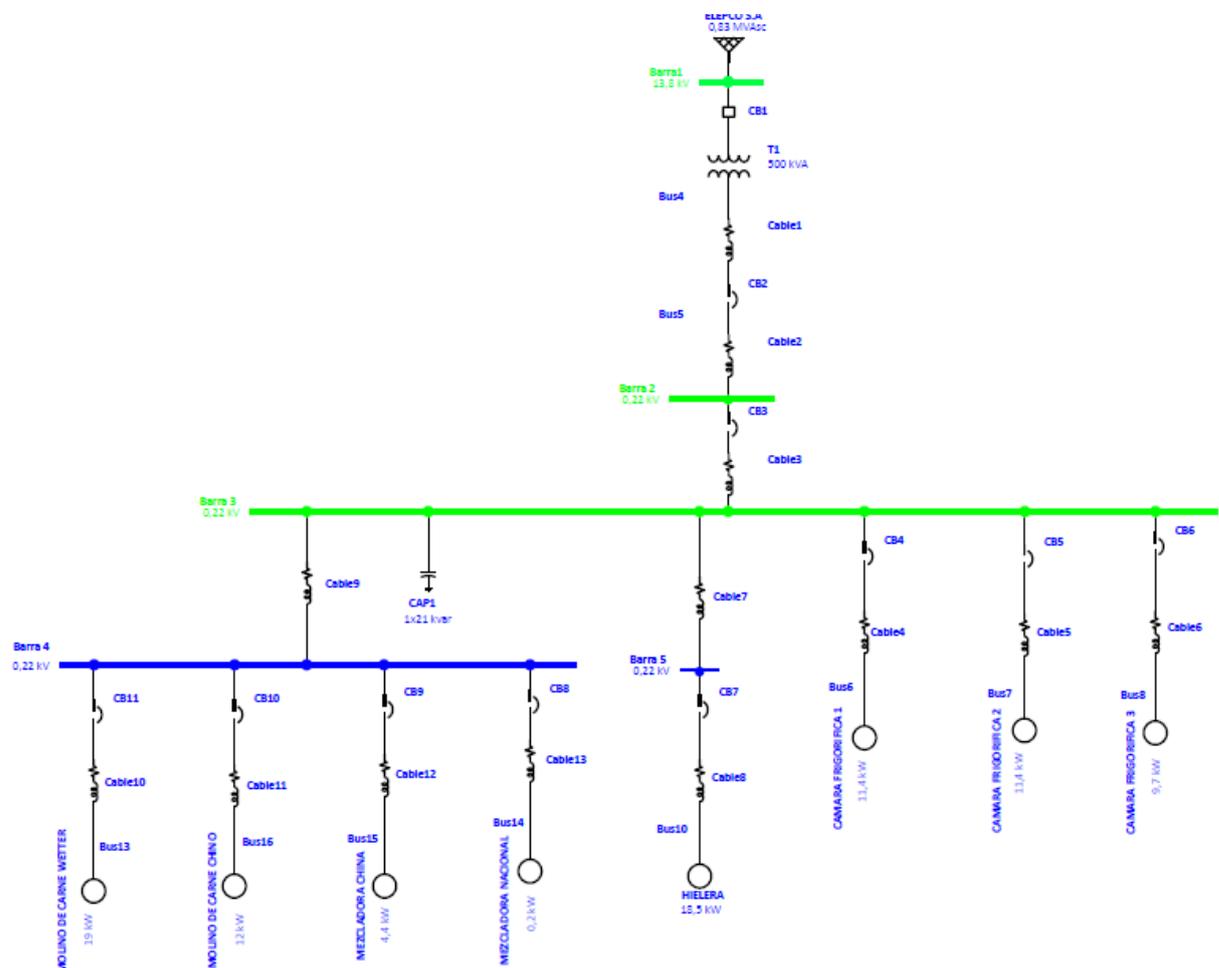


Figura 5.3. Sistema eléctrico del transformador de 500 kVA

5.2.1. Levantamiento de cargas en la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”

5.2.1.1. Potencia instalada

Para determinar la potencia instalada en la empresa se procedió a realizar el levantamiento de cargas mediante los datos de placa de cada maquinaria en las áreas mencionadas anteriormente,

tanto para el TRAF0_125 kVA y el TRAF0_500 kVA. Con el fin de identificar fácilmente las cargas se ha designado una codificación para cada área como se observa en el Anexo C.

- **Transformador de 125 kVA**

En la tabla 5.3 se presenta un listado de las cargas lineales y no lineales recopiladas en cada área de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”, siendo las cargas más importantes las embutidoras, emulsificadora, retorcedoras y el cutter sydelman que presenta un consumo de potencia activa de 109 kW. La potencia total instalada en el transformador de 125 kVA es de 395,118 kW.

Tabla 5.3. Cargas conectadas al transformador de 125 kVA

N°	MAQUINARIA	Potencia (kW)	Fp	Eficiencia	Longitud (m)	Conductor
1	Horno chino - ADC	13,88	0,87	0,70	15	3 x (10 AWG)
2	Horno de mesa - ADC	13,88	0,87	0,70	10	3 x (10 AWG)
3	Motor 1 - ADC	0,3	0,90	0,92	8	3 x (14 AWG)
4	Motor 2 - ADC	0,18	0,66	0,65	9	3 x (14 AWG)
5	Motor Vemag - ADC	1,77	0,82	0,84	8	3 x (10 AWG)
6	Iluminación ADC	0,3	0,90	1,00	18	2x (14 AWG)
7	Emulsificadora - AP	44	0,90	0,90	11	3x(1/0 AWG)
8	CUTTER - AP	33	0,90	0,88	14	3 x(6 AWG)
9	Cutter Sydelman - AP	109	0,92	0,90	20	3 x (1/0 AWG)
10	Embutidora Robby 1 -AP	11	0,79	0,80	15	3 x (8AWG)
11	Retorcedora 1 -AP	10	0,81	0,90	18	3 x (10AWG)
12	Embutidora - AP	4,25	0,80	0,92	16	3 x (10AWG)
13	Retorcedora LPG 208 - AP	4,5	0,82	0,92	20	3 x (10AWG)
14	Embutidora HP10L - AP	11	0,94	0,96	21	3x(8AWG)
15	Elevador T 200 - AP	1,1	0,79	0,84	22	3x(14 AWG)
16	Embutidora Robby 2 - AP	11	0,79	0,80	18	3 x (8 AWG)
17	Cutter pequeño - AP	3,5	0,80	0,79	16	3 x (12 AWG)
18	Iluminación AMP Y AP	0,68	0,90	0,88	18	2 x(14 AWG)
19	Inyectora - ABH	0,6	0,96	0,92	6	3x(14 AWG)
20	Cortadora de cubos - ABH	1,3	0,70	0,68	6	3 x (12 AWG)
21	Bomba de vacío - AEV	8	0,81	0,72	4	3 x (8 AWG)
22	Máquina termoformadora - AEV	13	0,81	0,70	5	3 x (8 AWG)
23	Máquina selladora al vacío - AEV	1,5	0,68	0,50	7	3 x (10 AWG)
24	Lochadora - AEV	0,27	0,87	0,94	10	3 x (14 AWG)
25	Cortadora de salchichas -AEG	3	0,96	0,94	15	3 x (10 AWG)
26	Selladora de funda 1 - AEG	2	0,80	0,70	18	3 x (14 AWG)
27	Selladora de funda 2 - AEG	1	0,82	0,78	5	3 x (14 AWG)
28	Codificadora 1 -AEG	0,5	0,90	0,94	10	3 x (14 AWG)
29	Codificadora 2 - AEG	0,5	0,90	0,94	10	3 x (14 AWG)
30	Codificadora 3 - AEG	0,5	0,90	0,94	10	3 x (14 AWG)
31	Máquina de cocer - AEG	0,9	0,90	0,94	9	3 x (14 AWG)
32	Iluminación - PP	2,24	0,90	1,00	10	3 x (14 AWG)
33	Compresor -ACC	7,5	0,85	0,90	10	3 x (10 AWG)
34	Caldero 1 - ACC	1,725	0,84	0,72	9	3 x (12 AWG)

Continuación

N°	MAQUINARIA	Potencia (kW)	Fp	Eficiencia	Longitud (m)	Conductor
35	Caldero 2 - ACC	0,84	0,80	0,90	8	3 x (12 AWG)
36	Motor 1 - ACC	9,2	0,75	0,89	9	3 x (8 AWG)
37	Motor 2 - ACC	3	0,75	0,89	8	3 x (12 AWG)
38	Motor 3 - ACC	3,5	0,80	0,90	10	3 x (10 AWG)
39	Iluminación - ACC	0,16	0,90	1,00	10	2 x (14 AWG)
40	Cámara de enfriamiento - MP	6	0,87	0,90	5	3 x (10 AWG)
41	Motor 1 bomba - PTA	1,5	0,74	0,62	20	3 x (12 AWG)
42	Motor 2 bomba - PTA	0,6	0,74	0,60	15	3 x (12 AWG)
43	Docificadora de cloro - PTA	0,098	0,96	0,92	10	3 x (12 AWG)
44	Docificadora de polímero - PTA	0,045	0,94	0,88	10	3 x (14 AWG)
45	Docificadora de floculante - PTA	0,045	0,94	0,88	10	3 x (14 AWG)
46	Compresor uso ocasional - AM	3,7	0,88	0,86	20	3 x (10 AWG)
47	Esmeril - AM	0,93	0,90	0,97	8	3 x (12 AWG)
48	Lavadora de Tinas (Rosser) - AM	3,7	0,86	0,88	15	3 x (10 AWG)
49	Cámara de congelación - AM	5,6	0,86	0,90	24	3 x (8 AWG)
50	Motor 1 - AST	1,5	0,74	0,90	6	3 x (10 AWG)
51	Motor 2 - AST	3	0,81	0,70	6	3 x (10 AWG)
52	Motor 3 - AST	3	0,80	0,95	7	3 x (10 AWG)
53	Motor 4 - AST	3	0,81	0,70	7	3 x (10 AWG)
54	Contenedor (cámara frigorífica)-MP	12,6	0,86	0,90	12	3 x (10 AWG)
55	Bombas y cisternas	5,2	0,87	0,74	40	3 x (8 AWG)
56	Iluminacion ADAMP y BS	1,24	0,90	1,00	10	2 x (14 AWG)
57	Iluminacion - PTA	0,08	0,90	1,00	12	2 x (14 AWG)
58	Computadoras y iluminacion ASC	0,38	0,90	1,00	14	2 x (12 AWG)
59	Computadoras y iluminacion -ADNP	0,34	0,90	1,00	12	2 x (12 AWG)
60	Electronicos e iluminacion - ADA	3,316	0,90	1,00	8	3 x (12 AWG)
61	Iluminacion y electrodomesticos -SC	1,793	0,90	1,00	12	3 x (12 AWG)
62	Iluminacion y otros - CM	0,34	0,90	1,00	15	2x (14 AWG)
63	Iluminacion y otros- C	1,314	0,90	1,00	14	2x (12 AWG)
64	Iluminacion y otros - CAF	0,312	0,90	1,00	14	2x (12 AWG)
65	Iluminación - SS.HH	0,48	0,90	1,00	10	2x (14 AWG)
66	Iluminación - PE	0,43	0,90	1,00	18	2x (14 AWG)
	CARGA TOTAL INSTALADA (kW)	395,118				

- **Transformador de 500 kVA**

El TRAF0_500 kVA presentó una potencia total instalada de 86,6 kW, en el mismo no existen cargas no lineales con potencias relevantes. Siendo las cargas de mayor importancia los molinos de carne que se muestran en la Tabla 5.4, al igual que las mezcladora china y nacional, además que este transformador se encuentra operando a un porcentaje del 20 % de la capacidad nominal.

Tabla 5.4. Estudio de cargas conectados al transformador de 500 kVA

N°	MAQUINARIA	Potencia (kW)	Fp	Eficiencia	Longitud (m)	Conductor
1	Cámara frigorífica 1	11,4	0,88	0,90	14	3 x (6 AWG)
2	Cámara frigorífica 2	11,4	0,87	0,90	4	3 x (6 AWG)
3	Cámara frigorífica 3	9,7	0,87	0,90	5	3 x (6 AWG)
4	Hielera	18,5	0,86	0,90	13	3 x (6 AWG)
5	Molino de carne Wetter	19	0,92	0,94	6	3 x (6 AWG)
6	Molino de carne Chino	12	0,90	0,94	7	3 x (8 AWG)
7	Mezcladora China	4,4	0,85	0,73	7	3 x (10 AWG)
8	Mezcladora Nacional	0,2	0,80	0,64	8	3 x (10 AWG)
CARGA TOTAL INSTALADA (kW)		86,6				

5.3. ANÁLISIS DE FACTURACIÓN POR CONCEPTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para realizar el análisis sobre el consumo, los egresos económicos y el factor de potencia se tomó la información de las planillas emitidas por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi ELEPCO S.A. Se determinó que la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” es un consumidor regulado de media tensión con demanda horaria diferencial para el sector industrial según el pliego tarifario de la Regulación ARCONEL 035/19.

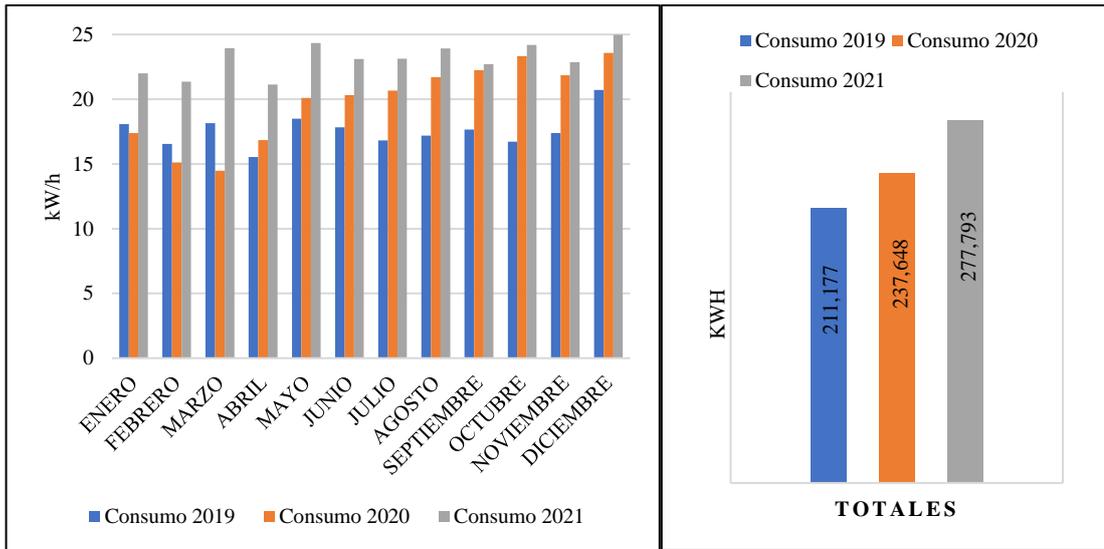
El consumo de la energía eléctrica de la empresa es registrado por dos medidores: el medidor 448 que se encuentra conectado a lado de baja del TRAF0_125 kVA y el medidor 451 conectado mediante un trafomix al TRAF0_500 kVA. Las tablas correspondientes a las facturas se evidencian en el Anexo D.

5.3.1. Análisis eléctrico de consumo de los medidores 448 y 451 de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”

El análisis de la facturación eléctrica para los dos medidores se tomó a partir del año 2019 fecha en la cual entró en funcionamiento el TRAF0_500 kVA hasta el año 2021.

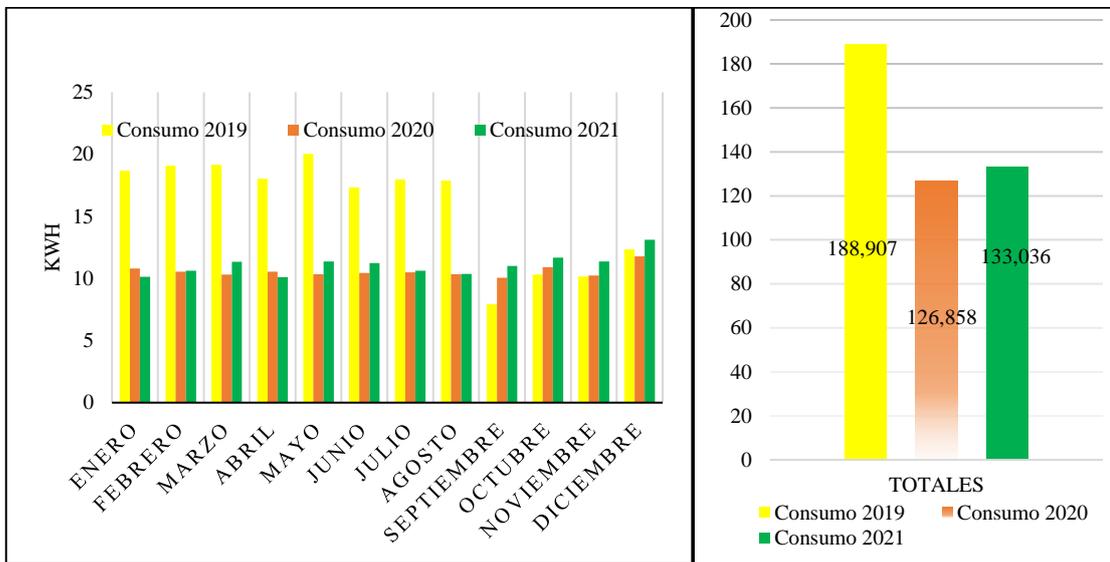
- **Consumo de energía kWh**

El consumo de la energía eléctrica en el medidor del TRAF0_125 kVA se ha incrementado anualmente desde el año 2019, debido al ingreso de nuevas cargas al sistema tales como: el cutter sydelman, mezcladoras de sal, maquinaria de uso ocasional; estos se contemplan en el estudio de cargas en las Tablas 5.3 y 5.4. Los picos de consumo se dan en las fechas festivas debido a que la empresa al dedicarse al área de la elaboración de productos cárnicos debe producir una mayor cantidad para satisfacer la demanda de sus clientes. Motivo por el cual el incremento de consumo anual a variado en el año 2020 un 12,21 % y en el 2021 se ha incrementado al 31,24 % en referencia al año 2019. Este comportamiento se evidencia en la Figura 5.4.



a) Consumo mensual b) Consumo Total
Figura 5.4. Consumo de energía del 2019 al 2021 del transformador de 125 KVA

Lo contrario sucedió con el TRAF0_500 kVA el cual presentó una reducción del consumo del 32,85 % en el año 2020 y un 29,58 % en el año 2021, esto debido a que en el año 2019 se trasladaron todas las cargas del transformador de 75 kVA a este, posteriormente fueron retirando cargas que cumplieron su vida útil. La Figura 5.5 ilustra este comportamiento.



a) Consumo mensual b) Consumo Total
Figura 5.5. Consumo de energía del 2019 al 2020 del TRAF0_500 kVA

• **Demandas picos**

La demanda pico de un transformador se toma en intervalos de 10 a 15 minutos durante el periodo de medición, misma que es un pago adicional y no está ligada al consumo, ya que el

precio de exceder la demanda base de facturación es de 4,576 (USD/kW-mes), además que la demanda base varía dependiendo del registro de las demandas mensuales durante doce periodos incluyendo el actual.

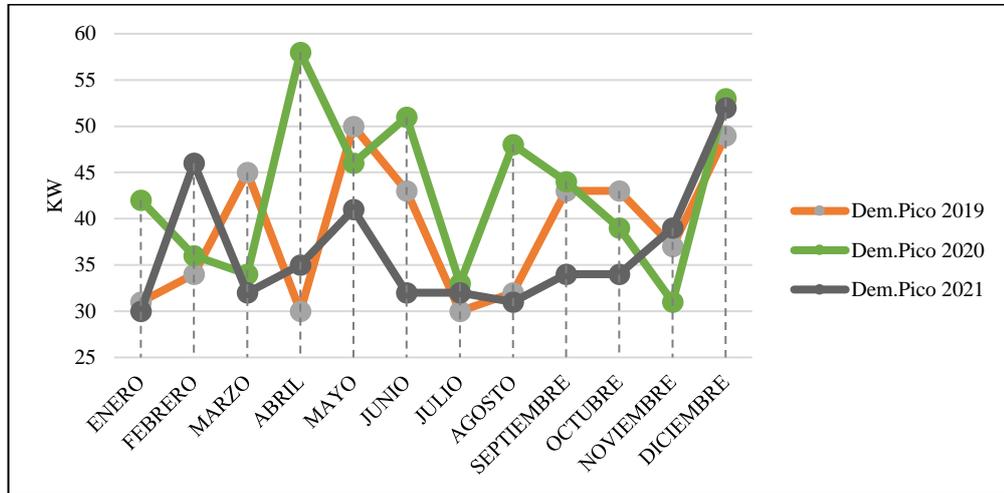


Figura 5.6. Demandas picos en el intervalo 2019 al 2021 del TRAF0_125 kVA

En la Figura 5.6. se ve la variación que existe en la demanda pico mensual en cada año siendo la más representativa la del año 2020 sufriendo un incremento en el intervalo abril – junio, presumiblemente este incremento se deba al inicio de la pandemia motivo por el cual la empresa se dedicó a incrementar la producción para aprovechar la situación.

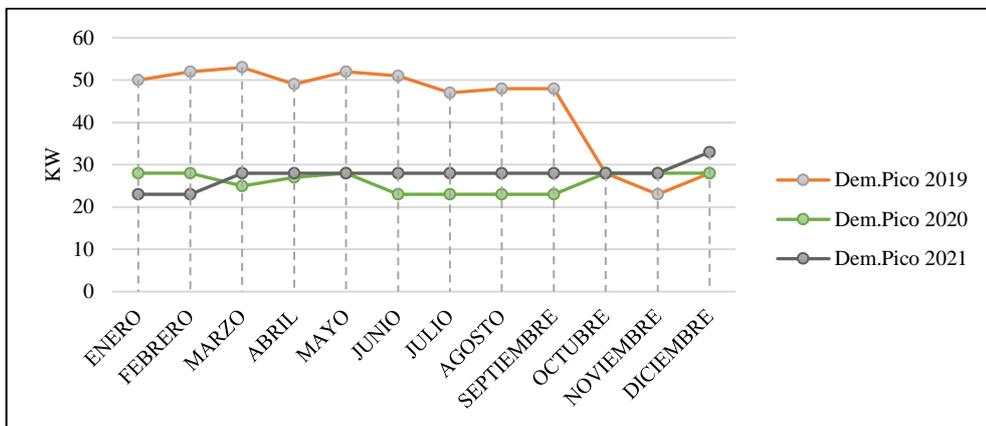


Figura 5.7. Demandas pico del 2019 al 2021 en el medidor 451 del TRAF0_500 kVA

A consecuencia de haber cambiado las maquinarias y no existir una carga representativa en el TRAF0_500 kVA como se muestra en el apartado 5.2.1, no se ha sobrepasado los valores de demanda pico referencial, según la Regulación ARCONEL 035/19, se ha facturado un factor de gestión de la demanda (FGDI) equivalente al 0,5, motivo por el cual en el año 2021 permanece casi constante la demanda como se muestra en la Figura 5.7.

• **Comportamiento del factor de Potencia y penalización**

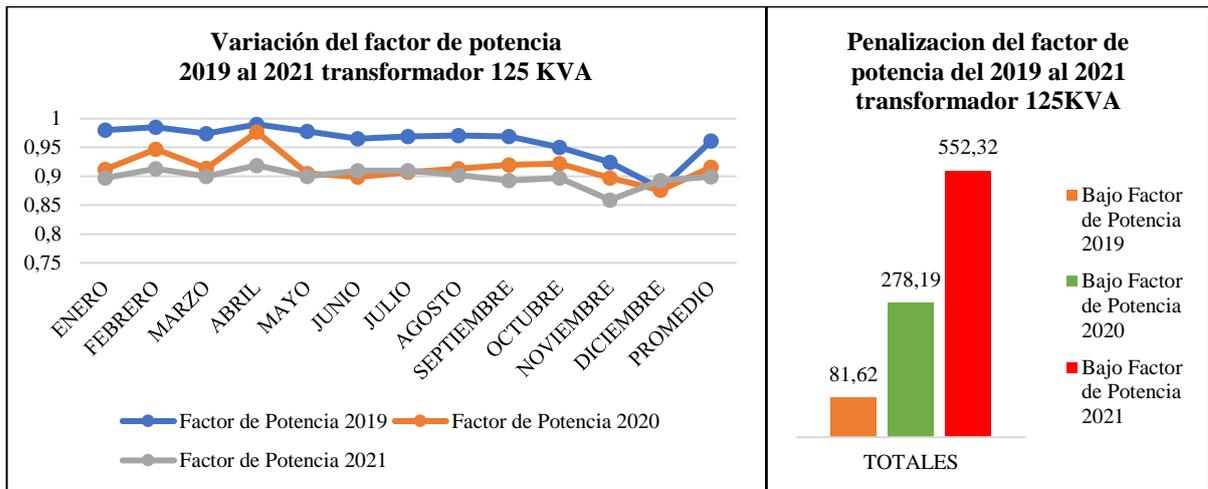


Figura 5.8. Pago por penalización de variación de Fp de los años 2019 al 2021 de TRAF0_125 kVA

La penalización del bajo factor de potencia que se mostró en la Figura 5.8 para el TRAF0_125 KVA, ha evolucionado según el registro de las planillas, llegando elevarse las penalizaciones en el año 2020 a un 240,84 % y en el año 2021 presento una elevación del 576,69 % con respecto al año 2019. Esto se debe a que el sistema de compensación no trabaja de forma adecuada, además que la potencia instalada en este transformador es elevada como se muestra en las tablas 5.3 y 5.4.

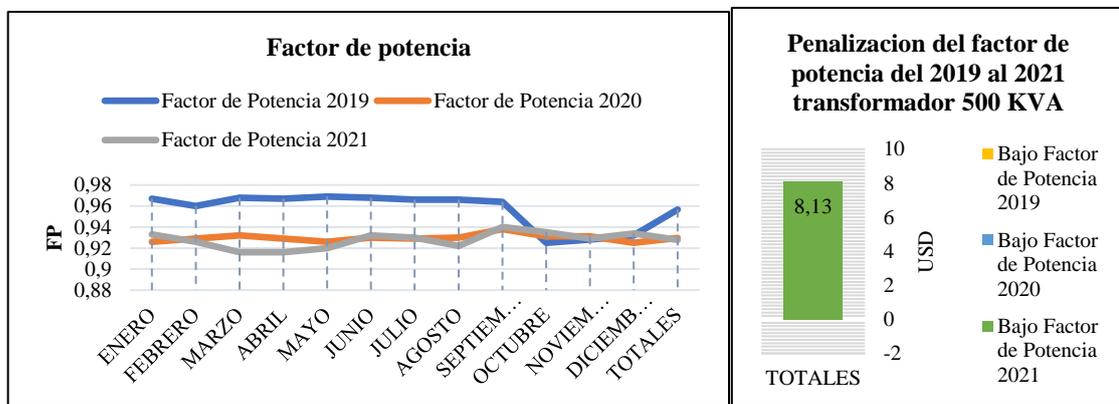


Figura 5.9. Pago por penalización y variación del Fp de los años 2019 al 2021 TRAF0_500 kVA

La Figura 5.9 presenta la variación del factor de potencia, así como las penalizaciones que el TRAF0_500 kVA ha presentado en un periodo de 3 años llegando a pagar 8,13 USD, lo cual es una cifra insignificante en comparación al TRAF0_125 kVA.

• **Pagos realizados por servicio eléctrico**

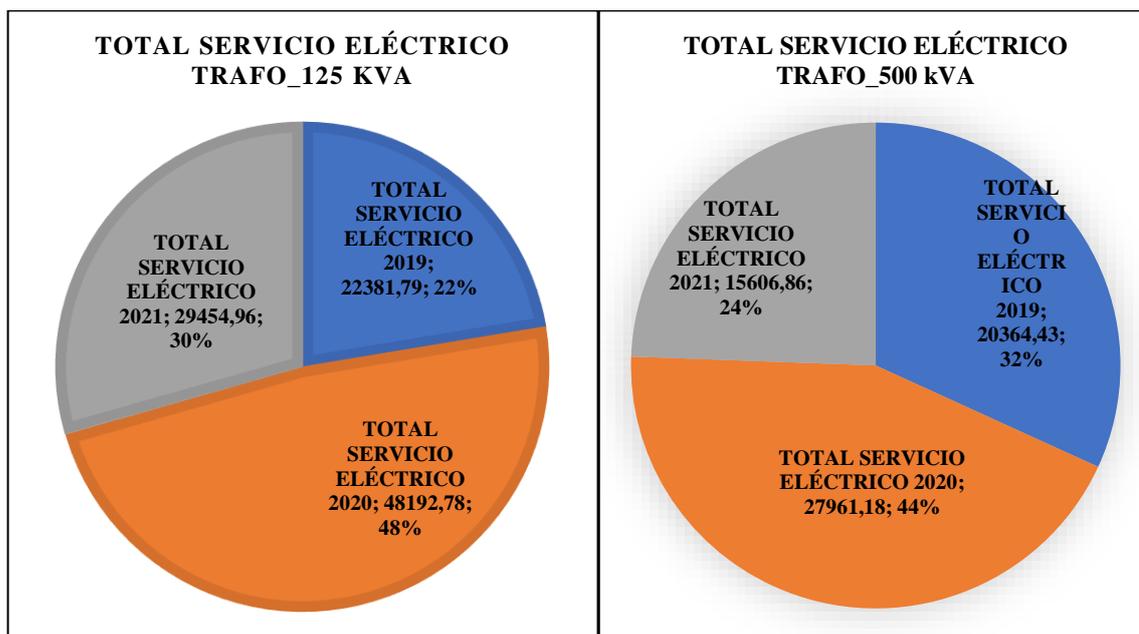


Figura 5.10. Pagos totales realizados en el intervalo 2019-2021 en los transformadores de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”

En la Figura 5.10 se representó los pagos realizados por el consumo de energía eléctrica anual, estos coincidieron en los dos transformadores en el año 2020, llegando a pagar el 48 % y el 44 % del monto desembolsado durante el intervalo de tres años para cada transformador. Sin embargo, en el año 2021 existe un mayor gasto por parte del TRAFO_125 kVA debido a que se le penalizó por el bajo factor de potencia, además una elevación de la demanda pico superando la demanda referencial.

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

5.4.1. Análisis de Nivel de Voltaje del TRAFO_125 kVA y TRAFO_500 kVA

La regulación ARCERNNR 002/20 establece que se cumple con el nivel de voltaje cuando el 95 % o más de los registros de las variaciones de voltaje, en todas las fases se encuentran dentro del rango establecidos como se muestra en la Tabla 3.1 de la fundamentación teórica. La empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” corresponde al nivel de Bajo Voltaje, por ende, su nivel de voltaje no debe sobrepasar el $\pm 8 \%$.

A continuación, se analizó los niveles de voltaje de la Industria, para el voltaje fase-fase (220 V) para los dos transformadores y se comparó con los niveles establecidos por la regulación.

5.4.1.1. Voltaje nominal Fase – Fase 220 V del TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA

- **TRAF0_125 kVA**

La Tabla 5.5 presenta los valores RMS fase-fase que fueron obtenidos a través del analizador de redes tomando en cuenta las medidas, mínimas, medias, máximas obtenidas durante un periodo de 7 días de registro.

Tabla 5.5. Niveles de voltaje Fase - Fase: 220 V del TRAF0_125 kVA

Fecha	Hora	Nivel de voltaje	AB	BC	CA	Promedio
14/12/2021	00:12	Mínimo	201,26	201,98	200,97	201,40
		Medio	209,60	210,85	209,69	210,05
15/12/2021	11:47	Máxima	217,00	218,00	217,00	217,33

Para verificar si los valores de la Tabla 5.5 cumplen con los límites establecidos por la normativa, se procedió al cálculo mediante la ecuación (3.12) obteniendo los valores de la Tabla 5.6. Se verificó que el sistema eléctrico presenta variaciones de voltaje en el nivel de 220 V, mismas que se encuentran fuera del nivel de tolerancia ($\pm 8\%$), esto significa que la maquinaria existente en la industria no está operando al voltaje ideal para los cuales fueron diseñados.

Tabla 5.6. Variación de voltaje 220 V del TRAF0_125 kVA

Porcentaje de variación				
V nom	Mínimo	Máximo	Límite ARCERNR 002/20	Observación
V _{A-B}	1,36 %	8,52 %	8 %	No Cumple
V _{B-C}	0,91 %	8,19 %	8 %	No Cumple
V _{C-A}	1,36 %	8,65 %	8 %	No Cumple

En un sistema eléctrico se debe tomar en cuenta las variaciones de voltaje que pudieran existir debido a fenómenos internos o ajenos a la empresa, que afecta a la maquinaria y a elementos sensibles como equipos electrónicos que tienen un rango bajo de flexibilidad a variaciones de voltaje. Estas pueden suscitarse también por una mala instalación eléctrica es decir un dimensionamiento inadecuado de conductores, un desajuste en los contactos por lo cual es indispensable corregir estos problemas. En la Figura 5.11 se visualiza estas variaciones máximas y mínimas correspondientes al transformador de 125 kVA.

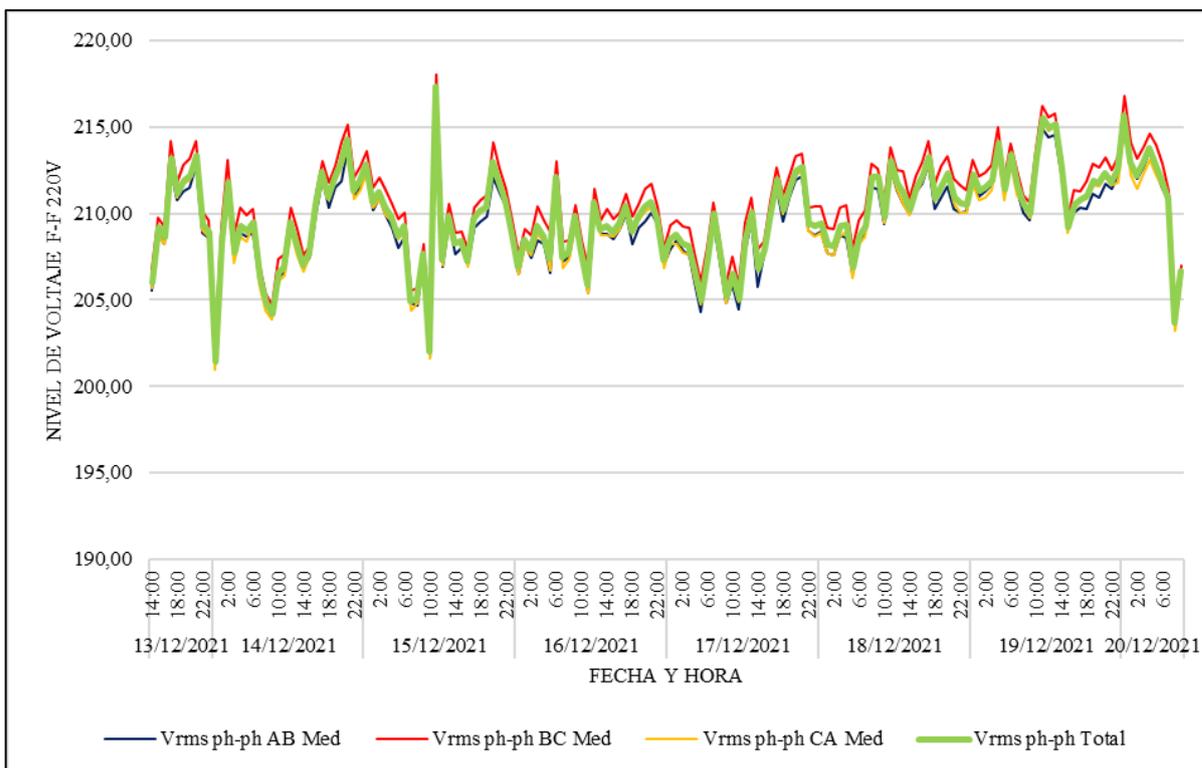


Figura 5.11. Nivel de Voltaje fase-fase 220 V del TRAF0_125 kVA

- **TRAF0_500 kVA**

De la misma manera se presenta los resultados de las mediciones de voltaje fase-fase mínimas, medias y máximas correspondiente al transformador de 500 kVA en la Tabla 5.7, para verificar su estado ante la normativa ARCERNNR 002/20.

Tabla 5.7. Niveles de voltaje fase-fase 220 V del TRAF0_500 kVA

Fecha	Hora	Nivel de voltaje	AB	BC	CA	Promedio
21/12/2021	05:52	Mínimo	199,31	198,17	197,08	198,19
		Medio	206,52	205,93	204,83	205,76
23/12/2021	09:47	Máxima	212	212	211	211,67

En la Tabla 5.8 se puede evidenciar los resultados de la Tabla 5.7 mismas que sobrepasan los 8 % del límite permitido, estas variaciones se dan de acuerdo al horario, tipo de carga, o condición de la instalación eléctrica.

Tabla 5.8. Porcentajes de variación del voltaje fase-fase 220 V del TRAF0_500 kVA

Porcentaje de variación				
V nom	Mínimo	Máximo	Límite ARCERNNR 002/20	Observación
V _{A-B}	3,64 %	9,40 %	8 %	No Cumple
V _{B-C}	3,64 %	9,92 %	8 %	No Cumple
V _{C-A}	4,09 %	10,42 %	8 %	No Cumple

5.4.1.2. Voltaje en el Neutro en el TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA

- TRAF0_125 kVA**

En la Figura 5.12 se observa la curva de variación de voltaje en el neutro donde el voltaje pico más alto es de 1,26 V. Tomando en cuenta que el nivel de voltaje en la línea del neutro debe ser cero o menor de 1 V, 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, dichas hipótesis se demostrarán posteriormente.

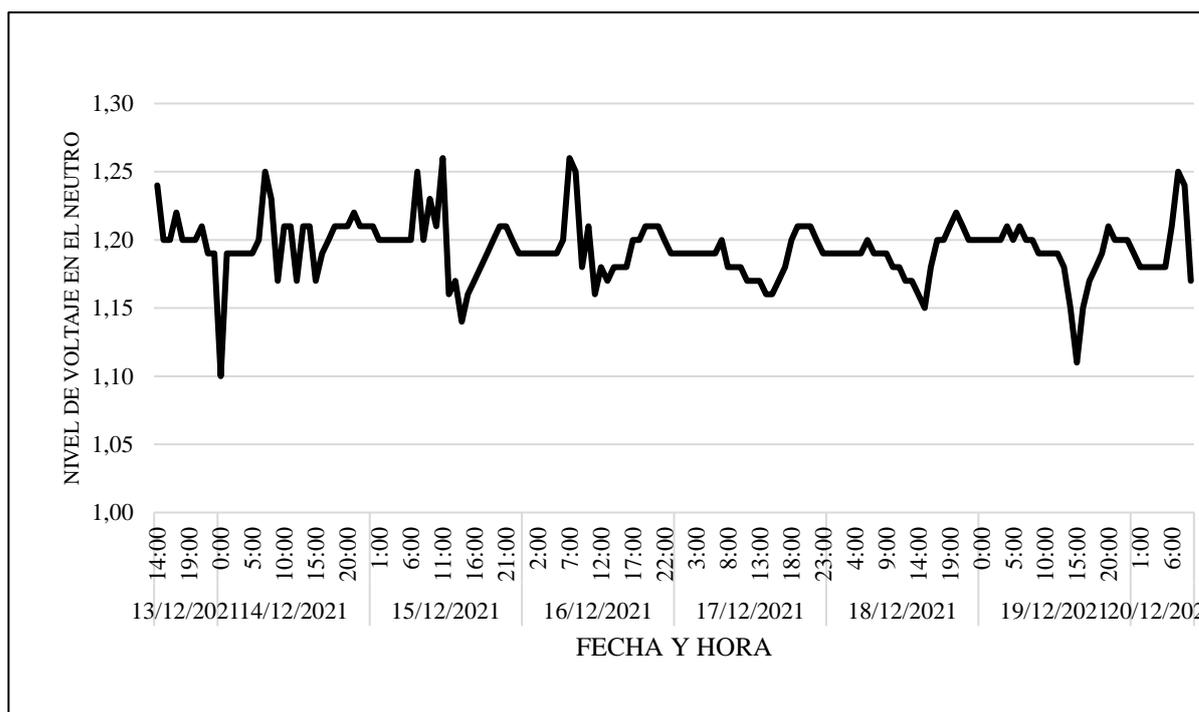


Figura 5.12. Nivel de voltaje en el neutro del TRAF0_125 kVA

- TRAF0_500 kVA**

En la Tabla 5.9 se observa los resultados de la variación de voltaje en el neutro del transformador de 500 kVA, donde se aprecia que el valor más alto es de 1,30 V registrado el

23/12/2021 a las 09:47 am, es decir no cumple con valor límite de 1, por ende, este transformador también presenta armónicos y una deficiencia en la puesta a tierra.

Tabla 5.9. Nivel de Voltaje Neutro del TRAFO_500 kVA

	Fecha	Hora	Vrms ph-n NG
Mínimo	21/12/2021	5:52	1,07
Promedio			1,19
Máxima	23/12/2021	9:47	1,30

5.4.1.3. Desequilibrio de voltaje de los TRAFO_125 kVA y TRAFO_500 kVA

- **TRAFO_125 kVA**

Según la normativa IEEE 1159 (Ver anexo B), el rango permitido que se puede obtener en el desequilibrio de Voltaje es de 0,5 – 2 %. De acuerdo con la Tabla 5.10 el desequilibrio de Voltaje está en el 0,31 % por lo tanto está dentro de la normativa, concluyendo que no se encuentra desequilibrado el voltaje.

Tabla 5.10. Desequilibrio de voltaje del TRAFO_125 kVA

V _L A	V _L B	V _L C	V _L max	V _L med	%Desequilibrio	IEEE 1159	Observaciones
217,00	218,00	217,00	218,00	217,33	0,31 %	0,5 %-2 %	cumple

- **TRAFO_500 kVA**

De acuerdo con la Tabla 5.11 el desequilibrio de Voltaje está en el 0,16 % por lo tanto cumple con los límites establecidos por la IEEE 1159, es decir el voltaje no se encuentra desequilibrado en este transformador.

Tabla 5.11. Desequilibrio de voltaje del TRAFO_500 kVA

V _L A	V _L B	V _L C	V _L max	V _L med	%Desequilibrio	IEEE 1159	Observaciones
212	212	211	212	211,67	0,16 %	0,5 % - 2 %	212

5.4.2. Análisis de corrientes de Línea del TRAFO_125 kVA y TRAFO_500 kVA

- **TRAFO_125 kVA**

La Tabla 5.12 presenta las corrientes de fase de un valor promedio de 87,04 amperios en los periodos de trabajo normal, la Figura 5.13 muestra los picos de corriente máxima de hasta 324

amperios que pueden ser causados por el arranque de maquinaria o equipos, estas corrientes de arranque son momentáneas, pero pueden ocasionar daños internos de la maquinaria.

Tabla 5.12. Niveles de corriente del TRAF0_125 kVA

Fecha	Hora	Nivel de Corriente	Corriente fase-neutro				Corriente Neutro
			AN	BN	CN	Promedio	
14/12/2021	00:12	Mínima	29,40	29,60	28,60	29,20	0,20
		Media	79,92	90,68	90,51	87,04	0,26
15/12/2021	11:47	Máxima	298,80	318,40	324,00	313,73	2,50

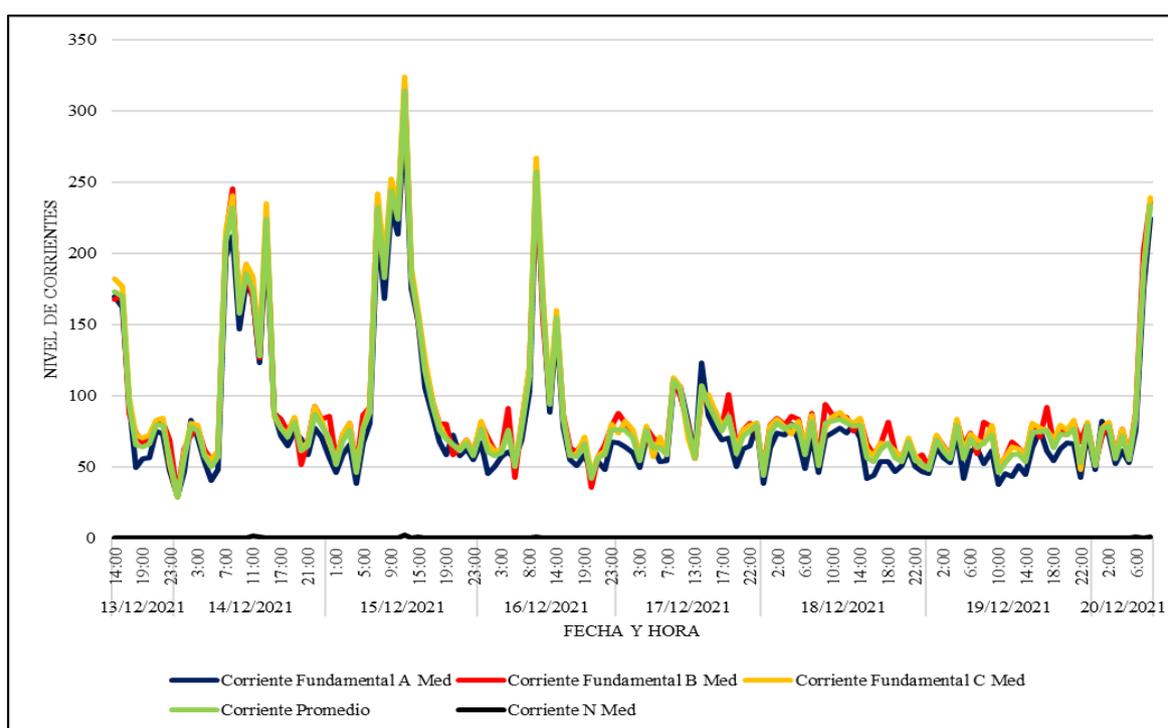


Figura 5.13. Nivel de corrientes de fase del TRAF0_125 kVA

- **TRAF0_500 kVA**

En la Tabla 5.13 se presentó valores de corriente de fase mínimas, media y máximas del TRAF0_500 kVA, obtenido durante un periodo de 7 días de medición. Estas Corrientes eléctricas presentan un valor promedio aproximado de 94,76 amperios en los periodos de trabajo normal, además presentan valores picos de corrientes máxima de 174,80 amperios que al igual que el TRAF0_125 kVA pueden ser causados por el arranque de maquinaria grandes como Molinos y Cámaras frigoríficas que operan a este horario.

Tabla 5.13. Corrientes de fase del TRAF0_500 kVA

Fecha	Hora	Nivel de Corriente	Corriente fase-neutro				Corriente Neutro
			AN	BN	CN	Promedio	
21/12/2021	5:52	Mínima	15,60	20,20	7,80	14,53	0,20
		Media	89,24	101,13	93,91	94,76	0,31
23/12/2021	9:47	Máxima	159,20	174,80	173,40	169,13	1,00

5.4.2.1. Desequilibrio de corriente TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA

- **TRAF0_125 kVA**

No hay una norma que establezca límites de desequilibrios en corrientes, pero según investigaciones anteriores para evitar problemas de desequilibrio en la corriente es conveniente tener un rango de variación entre 1 – 3 %. De acuerdo con la Tabla 5.14 el desequilibrio de corriente está en el 3,27 % por lo tanto está fuera de la normativa. Un desbalance de corriente genera pulsaciones de la torsión, un aumento de la vibración y del estrés mecánico, así como aumento progresivo de las pérdidas y un sobrecalentamiento en los motores.

Tabla 5.14. Desequilibrio de corriente en el TRAF0_125 kVA

I1	I2	I3	I _{max}	I _{med}	% D	Observaciones
298,80	318,40	324,00	324,00	313,73	3,27 %	Fuera de rango

Estos problemas pueden ser por conexiones sueltas, contactos desgastados y conductores en mal estado. Otra causa que genera el desequilibrio de corriente puede ser por la presencia de armónicos los mismos que deben ser mitigados. Los desequilibrios pueden producirse en cualquier momento en todo el sistema eléctrico adjunto, las cargas deben dividirse de manera equivalente en todas las fases de un tablero.

- **TRAF0_500 kVA**

Para el TRAF0_500 kVA de acuerdo a la Tabla 5.15 se observó que el porcentaje de desequilibrio es de 3,24 % por lo tanto supera los rangos de 1 - 3 % establecida por la normativa, al igual que en el caso anterior es importante mitigar este problema debido a que puede provocar pérdidas y sobrecalentamiento de motores, etc.

Tabla 5.15. Niveles de desequilibrio de corriente del TRAF0_500 kVA

I1	I2	I3	I _{max}	I _{med}	%D	Observaciones
159,20	174,80	173,40	174,80	169,13	3,24%	No cumple

5.4.3. Demanda Eléctrica TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA

• TRAF0_125 kVA

Las mediciones de potencia de la Industria alimenticia “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” se las efectuó en un intervalo de 5 minutos con el Analizador de redes FLUKE 435-II desde el 13/12/2021 hasta el 19/12/2021 de acuerdo al procedimiento descrito en la Regulación ARCERNR 002/20, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla E.1 del Anexo E.

En la Figura 5.14 se observa la curva de la demanda en el transformador durante una semana de producción de lunes a viernes, donde se puede evidenciar que el día miércoles 15 de diciembre del año 2021 tiene la mayor actividad a las 11:00 am con una potencia máxima de 94,07 kW, esto se debe que en ese día ingresan a trabajar las maquinarias más grandes en el área de procesos como: hornos, embutidoras, retorcedoras, bombas de vacío, termoformadora; mientras que la mínima se registra el 16/12/2021 a las 20:00 pm con una potencia de 13,21 kW debido al ingreso de una cámara de enfriamiento y a la iluminación externa de la empresa.

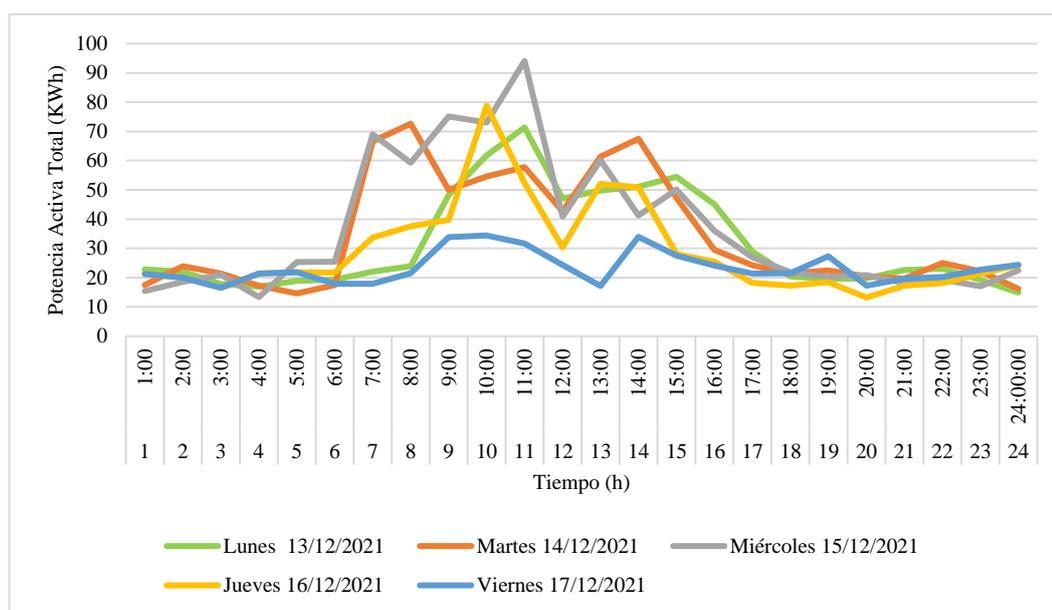


Figura 5.14. Demanda semanal de lunes a viernes del TRAF0_125 kVA

En la Figura 5.15 se observa la demanda de fin de semana donde el consumo máximo se dio el sábado 18/12/2021 a las 9:00 am con una potencia de 26,63 kW debido a que ingresan las cámaras de refrigeración y los cuartos fríos, mientras que la mínima se registra el mismo día a las 0:00 con una potencia de 12,78 kW a causa que trabaja solo una cámara de enfriamiento y sistemas de iluminación externa.

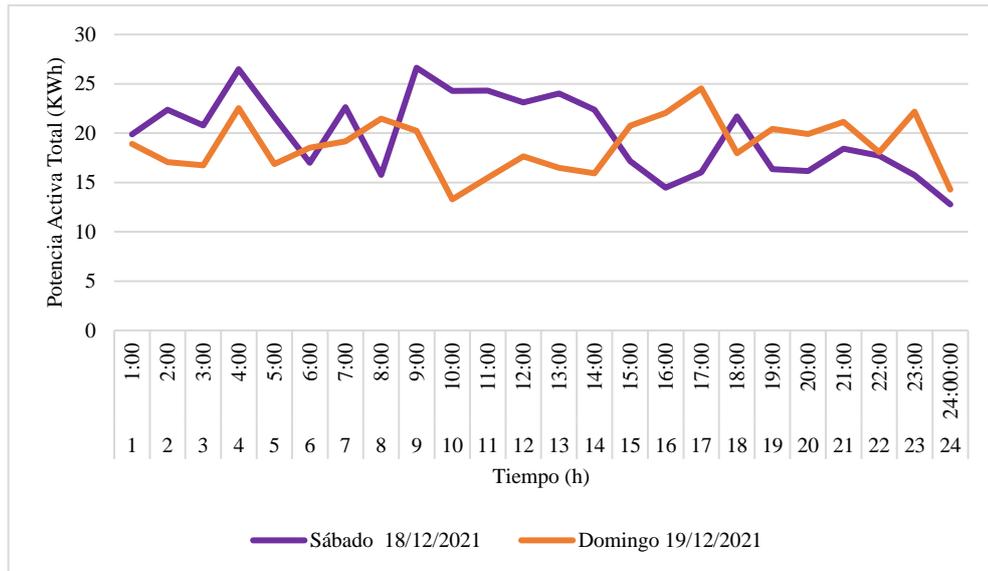


Figura 5.15. Demanda de sábado y domingo del TRAFO_125 kVA

• **TRAFO_500 kVA**

Para las mediciones de potencia del TRAFO_500 kVA se las efectuó en un intervalo de 5 minutos desde el 20/12/2021 hasta el 27/12/2021, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla E.2 del Anexo E. En la Figura 5.16 se observa la curva de carga en el transformador de lunes a viernes de producción donde se puede evidenciar que el día jueves 23 de diciembre del 2021 tiene la mayor actividad a las 9:00 am con una potencia máxima de 56,60 kW debido a que este día funcionan los molinos de carne, mezcladoras y las cámaras frigoríficas que son de mayor potencia en este transformador, mientras que la mínima se registra el martes 21 de diciembre del 2021 a las 5 am con una potencia de 4.49 kW.

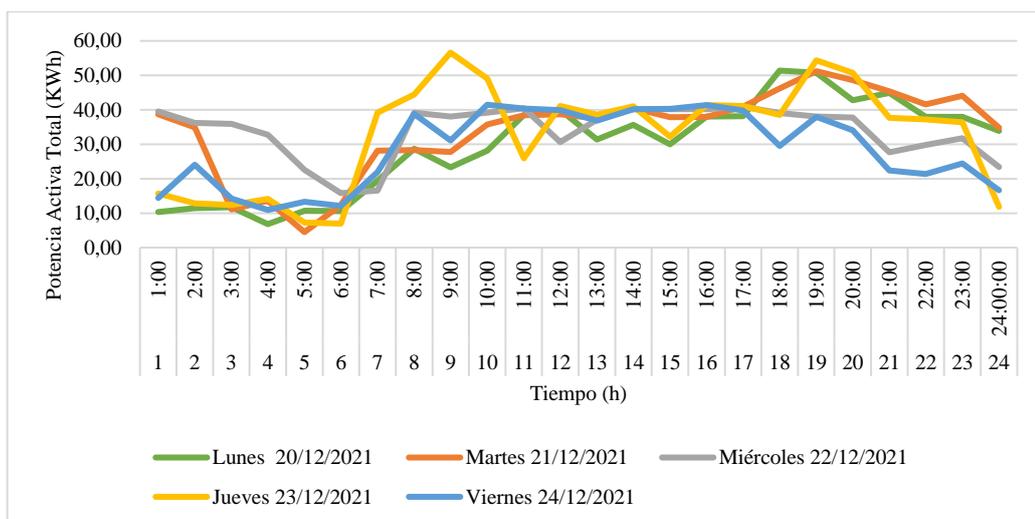


Figura 5.16. Demanda de lunes a viernes del TRAFO_500 kVA

En la Figura 5.17 se observa la demanda de fin de semana correspondiente al TRAF0_500 kVA, el consumo más representativo se dio el día sábado 25/12/21 a las 14:00 pm con una potencia de 41,66 kW debido a l funcionamiento de la hielera y las dos cámaras frigoríficas, mientras que la mínima se registró el mismo día a las 03:00 am con una potencia de 12,79 kW correspondiente a una cámara frigorífica.

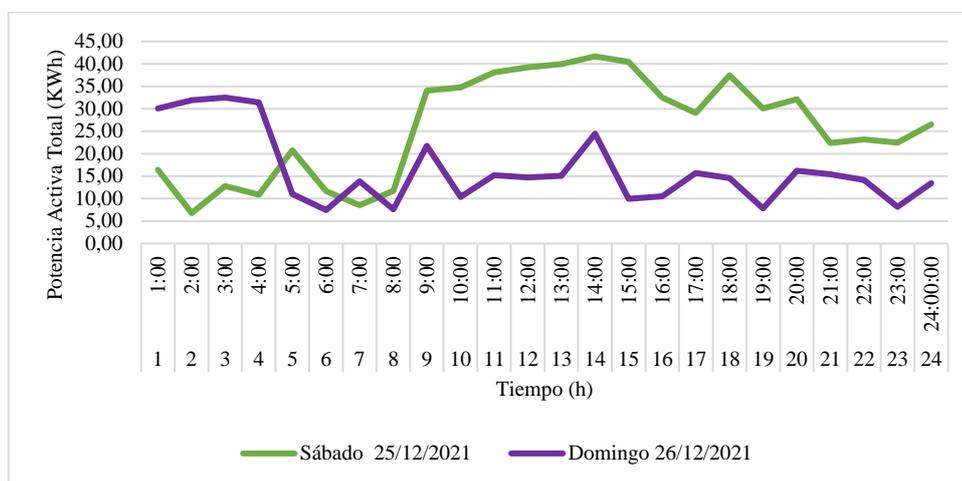


Figura 5.17. Demanda sábado y domingo del TRAF0_500 kVA

5.4.4. Potencia Activa TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA

- **TRAF0_125 kVA**

En la Tabla 5.16 se detallan las potencias mínimas, medias, y máximas de cada fase, donde se constató que la potencia activa varía en las tres fases siendo la fase B la de mayor valor con una potencia máxima de 32,60 kW, esto se presentó el día miércoles 15/12/2021 a las 11:47 am y la mínima se registró en la fase A a las 00:12 am con un valor de 2.41 kW, además en la tabla mencionada se muestra los porcentajes de desbalance de las fases BA de 9,51 %, mismas que superan el 5 %.

Tabla 5.16. Potencia activa en las tres fases del TRAF0_125 kVA

Potencia	Máximo	Promedio	Mínimo
FECHA	15/12/2021	-	14/12/2021
HORA	11:47	-	00:12
KW _A	29,50	8,02	2,41
KW _B	32,60	9,57	3,05
KW _C	31,97	8,72	3,10
TOTAL	94,07	26,31	8,56
Desbalances A-B	9,51 %	16,17 %	20,98 %
ARCENNR 002-20	No cumple	No cumple	No cumple

En la Figura 5.18 se observa la curva de potencia Activa para cada una las fase así como la total del sistema donde se puede ver el comportamiento del transformador de la Industria, la mayor actividad se registra el 15 de diciembre del 2021 a partir de las 11:47 de la mañana con una potencia máxima total de 94,07 kW y existe una potencia mínima total de 8,56 kW a las 00:12 el 14 de junio del 2021, a partir de las 06:00 de la mañana, la potencia de trabajo se normaliza en un promedio total de 26,31 kW.

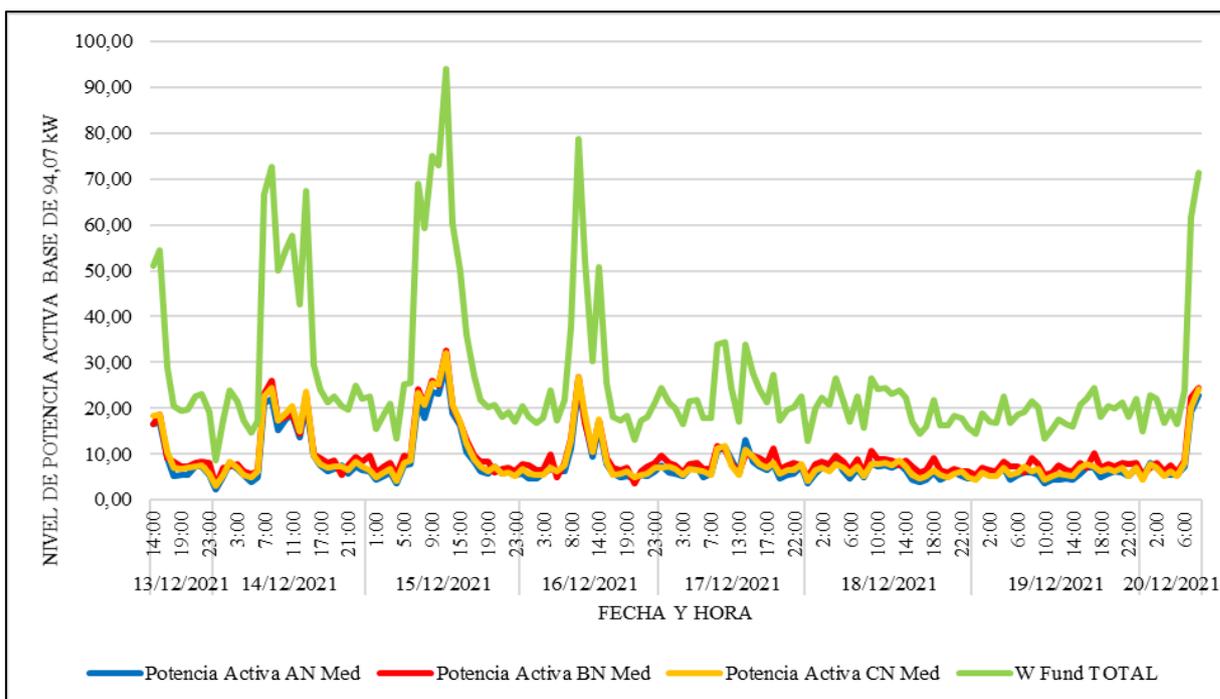


Figura 5.18. Nivel de potencias activas en las tres fases y total del sistema

- **TRAFO_500 kVA**

En la Tabla 5.17 se observó que la potencia activa varía en las tres fases siendo la fase B la de mayor valor con una potencia máxima de 19,38 kW, la cual se presentó el jueves 23/12/2021 a las 9:47 am y la mínima se dio en la fase C el 21/12/2021 a las 5:52 am con un valor de 0.71 kW. La potencia total del sistema se registra un valor máximo de 56,50 kW esto se debe por el tema de navidad y fin de año, además se presenta una potencia mínima total de 4,49 kW a las 5:52 am el 21 de diciembre del 2021.

Tabla 5.17. Nivel de potencia activas del TRAF0_500 kVA

Potencia	Máximo	Promedio	Mínimo
FECHA	23/12/2021	-	21/12/2021
HORA	09:47	-	05:52
KW _A	17,94	10,01	1,61
KW _B	19,38	11,15	2,17
KW _C	19,28	10,28	0,71
TOTAL	56,60	31,44	4,49

5.4.5. Potencia reactiva del TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA

- **TRAF0_125 kVA**

En la Tabla 5.18 se presentó los valores de la potencia reactiva tomando en cuenta los valores máximos mínimos y promedios de cada fase para determinar si cumplen con el porcentaje de desbalance 5 %, así como la potencia reactiva total del sistema ligado al TRAF0_125 kVA. También se observa que el desbalance de potencia reactiva entre las fases C y B es de 29,18 % superando el límite permitido por la normativa ARCERNR 002/20.

Tabla 5.18. Niveles de potencias reactivas TRAF0_125 kVA

Potencia	Máximo	Promedio	Mínimo
FECHA	15/12/2021	-	14/12/2021
HORA	11:47	-	0:12
kVAr _A	12,62	4,27	0,13
kVAr _B	10,41	3,89	0,75
kVAr _C	14,7	5,66	1,14
TOTAL	37,73	13,81	2,02
Desbalances C-B	29,18 %	31,30 %	34,21 %
ARCENNR 002-20	No cumple	No cumple	No cumple

En la Figura 5.19 se observa que la potencia máxima total de 37,73 kVAr se da a partir de las 11:47 de la mañana el 15 de diciembre del 2021 y existe una potencia mínima total de 2,02 kVAr a las 00:12 el 14 de diciembre del 2021, a partir de las 06:00 de la mañana, la potencia de trabajo se normaliza en un promedio total de 13,81 kVAr.

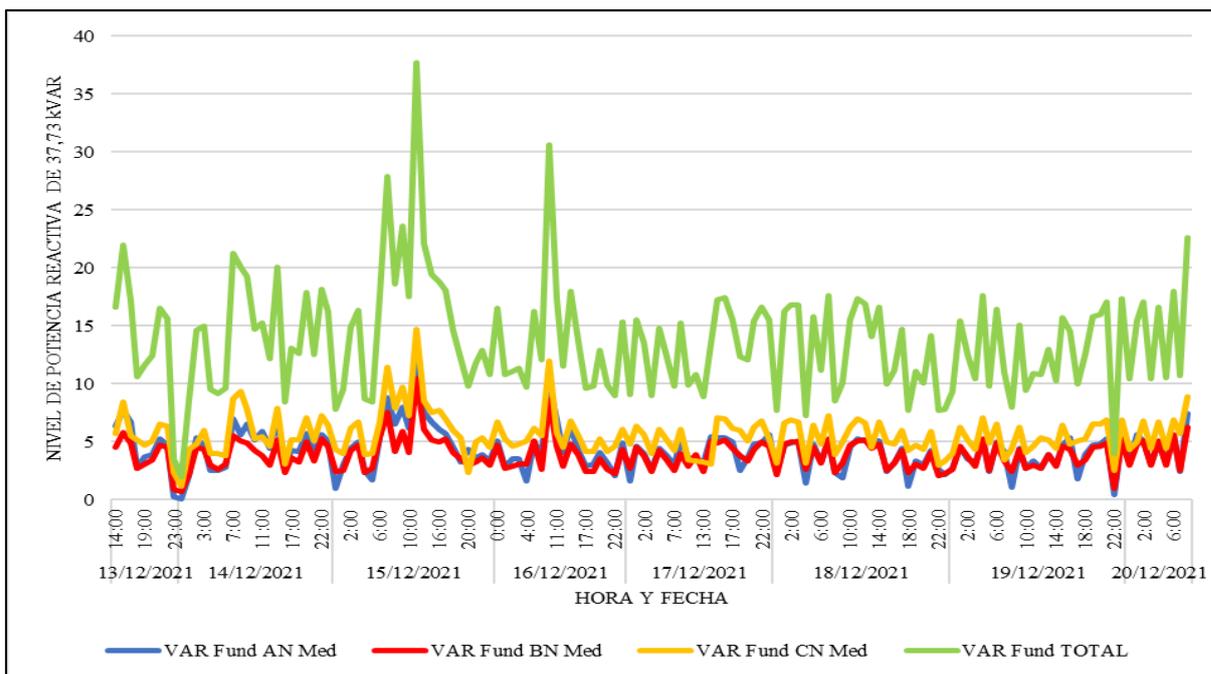


Figura 5.19. Nivel de potencias reactiva en las tres fases y la total del sistema

- **TRAFO_500 kVA**

En el TRAFO_500 kVA se registró la potencia reactiva máxima total de 13,67 kVAr, la cual se da a partir de las 09:47 de la mañana el 23 de diciembre del 2021 y existe una potencia mínima total de 1,65 kVAr a las 5:52 am el 21 de diciembre del 2021 como se evidencia en la Tabla 5.19.

Tabla 5.19. Nivel de potencia Reactiva TRAFO_500 kVA

Potencia	Máximo	Promedio	Mínimo
Fecha	23/12/2021	-	21/12/2021
Hora	09:47	-	05:52
kVAr _A	3,92	2,05	0,11
kVAr _B	4,7	2,68	1,03
kVAr _C	5,05	3,24	0,51
TOTAL	13,67	7,97	1,65

5.4.6. Potencia Aparente TRAFO_125 kVA y TRAFO_500 kVA

- **TRAFO_125 kVA**

Se registra una potencia máxima total de 101,19 kVA a partir de las 11:47 de la mañana el 15 de diciembre del 2021 y registra una potencia mínima total de 8,78 kVA a las 00:12 am el 14

de diciembre del 2021, a partir de las 06:00 de la mañana, la potencia de trabajo se normaliza en un promedio total de 30,10 kVA, como se muestra en la Tabla 5.20.

Tabla 5.20. Niveles de potencias aparentes del TRAF0_125 kVA

Potencia	Máximo	Promedio	Mínimo
Fecha	15/12/2021	-	14/12/2021
Hora	11:47	-	00:12
kVA _A	31,75	9,19	2,65
kVA _B	34,25	10,40	2,77
kVA _C	35,19	10,52	3,36
TOTAL	101,19	30,10	8,78
Desbalances C-A	9,78 %	12,64 %	21,13 %
ARCENNR 002-20	No cumple	No cumple	No cumple

El transformador de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” tiene una capacidad de 125 kVA, de acuerdo a los datos que se tabularon el consumo de carga máxima total fue de 101,19 kVA como se muestra en la Figura 5.20, por lo tanto, el transformador no se sobrecarga trabajando en estas condiciones, pero no abastece para el crecimiento de carga futura ya que consta de una potencia sobrante de 23,81 kVA y si funcionará con todas las cargas el transformador se sobrecargaría.

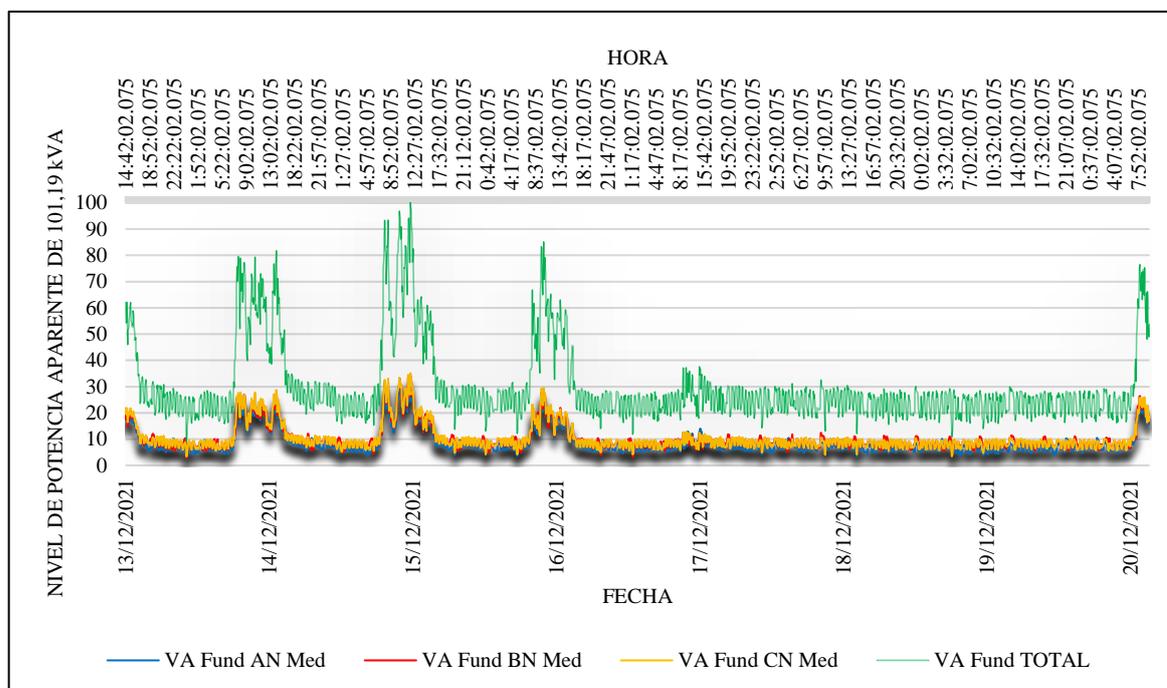


Figura 5.20. Potencia aparente del TRAF0_125 kVA

- **TRAFO_500 kVA**

Los valores de potencia aparente del transformador de 500 kVA obtenidos a partir del analizador de redes se pueden observar en la Tabla 5.21, donde se tiene una potencia aparente total máxima del sistema de 58,19 kVA y una mínima de 4,88 kVA. El consumo de carga total es de 58,19 kVA, por lo tanto, el transformador no se encuentra sobrecargado debido a que dispone de una reserva de 441,81 kVA y puede abastecer para el crecimiento de cargas futuras, esto se debe a que el transformador se ingresó en el año 2019 en reemplazo del transformador de 75 kVA y no se han conectados nuevas cargas.

Tabla 5.21. Nivel de potencia aparente transformador de 500 kVA

Potencia	Máximo	Promedio	Mínimo
FECHA	23/12/2021		21/12/2021
HORA	09:47		05:52
kVA _A	18,25	10,25	1,76
kVA _B	19,87	11,50	2,28
kVA _C	20,07	10,82	0,84
TOTAL	58,19	32,57	4,88

5.4.7. Análisis de Factor de potencia del TRAFO_125 kVA y TRAFO_500 kVA

- **TRAFO_125 kVA**

En la Tabla 5.22 se registraron los valores de factor de potencia correspondientes a las tres fases y un valor total correspondiente a este transformador en donde se observa que estos valores se encuentran fuera de los rangos permitidos por la ARCONEL 035/19.

Tabla 5.22. Niveles de factor de la potencia TRAFO_125 kVA

Fecha	Hora	Factor de potencia	Fp-total	Referencia según ARCONEL 035/19	observaciones
14/12/2021	00:12	Mínima	0,71	0,92	Fuera de la norma
		Media	0,86	0,92	Fuera de la norma
15/12/2021	11:47	Máxima	1,00	0,92	Dentro de la norma

De acuerdo a la Codificación de Reglamentos de Tarifas en el Artículo 27 se indica que aquellos clientes que registren un factor de potencia promedio mensual inferior al 0,92, recibirán una penalización. El TRAFO_125 kVA de empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” cuenta con un factor de potencia promedio de 0,86 por lo que no cumple con el 0,92 impuesto por el reglamento y cuenta con penalización por parte de la Empresa Eléctrica Cotopaxi. Esto se observa en la Figura 5.21.

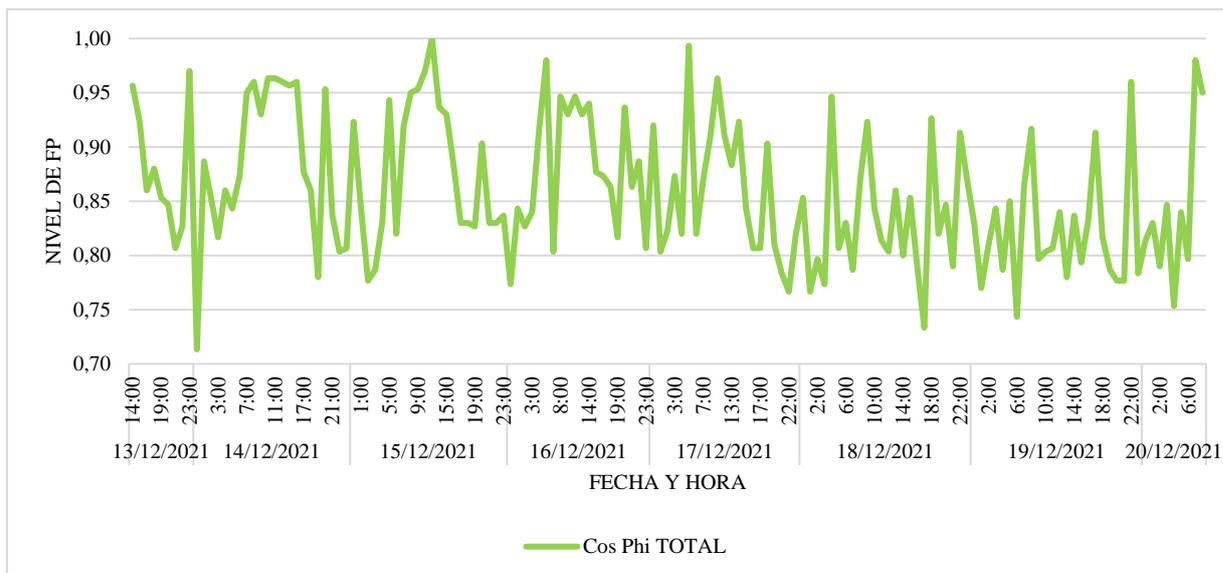


Figura 5.21. Estado del factor de potencia en el TRAF0_125 kVA

- **TRAF0_500 kVA**

En la Tabla 5.23, se indica los valores de factor de potencia correspondientes al TRAF0_500 kVA que registro un valor promedio de 0,96 por lo que cumple con la normativa y no tiene penalización alguna.

Tabla 5.23. Nivel de factor de potencia TRAF0_500 kVA

Fecha	Hora	Factor de potencia	Fp-total	Referencia según ARCONEL 035/19	Observación
21/12/2021	05:52	Mínima	0,86	0,92	Fuera de la norma
		Media	0,96	0,92	Dentro de la norma
23/12/2021	09:47	Máxima	0,99	0,92	Dentro de la norma

5.4.8. Distorsión Armónica Total de Voltaje del TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA

Para determinar si el sistema eléctrico de la empresa tiene presencia de armónicos de voltaje, se debe analizar el nivel de THD en la industria. De acuerdo a la Tabla 3.2 establecida por la regulación IEEE-519 para un $V \leq 1.0$ kV no debe sobrepasar el 8 %.

Tabla 5.24. Distorsión Armónica Total TRAF0_125 kVA

Fecha	Hora	THD	THD FA %	THD FB %	THD FC %	THD promedio%	Referencia IEEE 519 %	Observación
		Promedio	1,19	1,16	1,11	1,15	8	Dentro
15/12/2021	11:47	Máximo	2,47	2,6	2,77	2,61	8	Dentro
14/12/2021	00:12	Mínimo	0,63%	0,54	0,32	0,50	8	Dentro

En la Tabla 5.24 se observó que el nivel máximo de THD es del 2,61 % el mismo que se encuentra dentro del rango de tolerancia de la normativa IEEE 519. Por lo cual no existe problemas significativos de THD de voltaje.

Tabla 5.25. Distorsión Armónica Total TRAF0_500 kVA

Fecha	Hora	THD	THD FA %	THD FB %	THD FC %	THD promedio%	Referencia IEEE 519 %	Observación
		Promedio	1,14	1,01	1,04	1,06	8	Dentro
23/12/2021	9:47	Máximo	2,49	2,27	2,37	2,38	8	Dentro
21/12/2021	5:52	Mínimo	0,34	0,33	0,23	0,30	8	Dentro

De igual manera en el TRAF0_500 KVA la distorsión total de armónicos de voltaje no supera el 2,38 % en su promedio por lo tanto se encuentra en los límites aceptables. Como se señaló en la Tabla 5.25.

5.4.9. Armónicos Individual de voltaje del TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA

Con base en la normativa IEEE 519 se procedió a la verificación del cumplimiento de niveles armónicos individuales de voltaje obteniendo los resultados de la Tabla 5.26, ninguno de los armónicos de voltaje pertenecientes al TRAF0_125 kVA superan el 5 % establecido para voltajes menores a 1 kV.

En la Figura 5.22 se ejemplifica de una manera visual los resultados obtenidos, siendo el porcentaje más alto el de 2,31 % perteneciente al quinto armónico y el de menor incidencia el noveno armónico.

Tabla 5. 26. Nivel de Distorsión Armónica Individual del TRAF0_125 kVA

Armónicos de voltaje		IEEE-519 límites	Observación
Nivel armónico	Total, de armónicos		
Armónico 3	1,02 %	5 %	Cumple
Armónico 5	2,31 %	5 %	Cumple
Armónico 7	0,97 %	5 %	Cumple
Armónico 9	0,49 %	5 %	Cumple
Armónico 11	1,03 %	5 %	Cumple
Armónico 13	0,57 %	5 %	Cumple

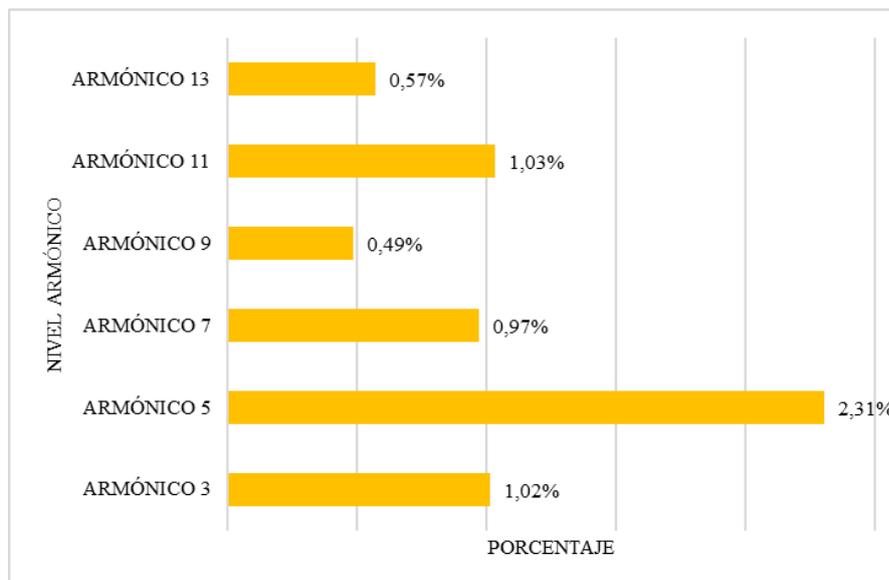


Figura 5.22. Armónicos individuales de voltaje del TRAF0_125 kVA

Así mismo los valores expresados en la Tabla 5.27 para el TRAF0_500 kVA no excede los rangos de tolerancia motivo por el cual cumple con la normativa IEEE 519.

Tabla 5.27. Nivel de Distorsión Armónica Voltaje Individual del TRAF0_500 kVA

Armónicos de voltaje		IEEE-519 límites	Observación
Nivel armónico	Total de armónicos		
Armónico 3	0,42 %	5 %	Cumple
Armónico 5	2,17 %	5 %	Cumple
Armónico 7	0,90 %	5 %	Cumple
Armónico 9	0,17 %	5 %	Cumple
Armónico 11	0,40 %	5 %	Cumple
Armónico 13	0,31 %	5 %	Cumple

Los datos de la Tabla 5.27 se visualizan de una mejor forma en la Figura 5.23 donde el armónico 5 es el que tiene mayor importancia con un 2,17 % de nivel de distorsión, mientras que el noveno armónico y el décimo tercero presentan una distorsión del 0,17 % y 0,31 % respectivamente.

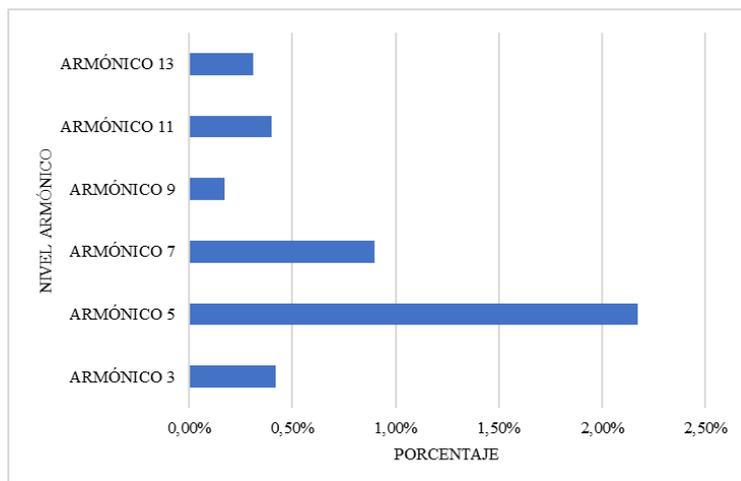


Figura 5.23. Armónicos individuales de voltaje del TRAF0_500 kVA

5.4.10. Armónicos Individuales de Voltaje en el Neutro del TRAF0_125 kVA y 500 kVA

En la Tabla 5.28 se muestra los valores porcentuales de cada uno de los niveles de armónicos de voltaje individuales en el neutro. Por lo general en el neutro existe mayor porcentaje de armónicos individuales del tercer orden y múltiplos de tres. Para esto se comparó con los valores establecidos por la regulación IEEE 519. En el TRAF0_125 kVA existe armónicos representativos pero que no exceden el 5 % por lo tanto no existe un problema, pero podría llegar a desarrollarse.

Tabla 5.28. Armónicos de Individuales de Voltaje al Neutro del TRAF0_125 kVA

Armónicos de voltaje		IEEE-519 límites	Observación
Nivel armónico	Total, de armónicos		
Armónico 3	3,28 %	5,00 %	Cumple
Armónico 5	2,79 %	5,00 %	Cumple
Armónico 7	2,80 %	5,00 %	Cumple
Armónico 9	3,22 %	5,00 %	Cumple
Armónico 11	1,81 %	5,00 %	Cumple
Armónico 13	0,98 %	5,00 %	Cumple

De una manera muy similar se presentan los armónicos en el neutro del TRAF0_ 500 kVA esto es debido a que poseen un punto de conexión común entre los neutros provenientes de los dos transformadores ya antes mencionados, estos valores se pueden comparar entre la Tabla 5.28 y la tabla 5.29.

Tabla 5.29. Armónicos de Individuales de Voltaje al Neutro del TRAFO_500 kVA

Armónicos de voltaje		IEEE-519 límites	Observación
Nivel armónico	Total de armónicos		
Armónico 3	3,28 %	5,00 %	Cumple
Armónico 5	3,28 %	5,00 %	Cumple
Armónico 7	3,28 %	5,00 %	Cumple
Armónico 9	3,28 %	5,00 %	Cumple
Armónico 11	1,74 %	5,00 %	Cumple
Armónico 13	1,80 %	5,00 %	Cumple

5.4.11. TDD de Corriente del TRAFO_125 kVA y TRAFO_500 kVA

Para determinar la distorsion total de la demanda (TDD) es necesario conocer el rango en el que se encuentra el sistema a ser analizado, esto se calcula mediante los datos de placa de los transformadores aplicando las tablas y formulas presentadas en la normativa IEEE 519. En primera instancia se debe calcular la relación entre la corriente de cortocircuito y la corriente de línea en pu aplicando las ecuacion (5.1), de la siguiente manera:

$$\alpha = \frac{I_{cc}}{I_{Lpu}} \quad (5.1)$$

Para el cálculo de la corriente de corto circuito es necesario conocer el valor de la reactancia establecida en la placa del transformador en este caso $X_{pu} = 3 \%$. Esta se calcula mediante la ecuación (5.2):

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

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

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

Posteriormente se calcula la corriente de línea base mediante la potencia y el voltaje de fase del transformador como se muestra a continuación:

$$I_L = \frac{S}{V * \sqrt{3}} \quad (5.3)$$

$$I_L = \frac{125000 \text{ VA}}{127 \text{ V} * \sqrt{3}}$$

$$I_L = 568,18 \text{ A}$$

Subsecuentemente se transfieren a por unidad las corrientes de fase obtenidas por el analizador de redes durante el intervalo de medición mediante la ecuación (5.4).

$$I_{Lpu} = \frac{I_{fase}}{I_L} \quad (5.4)$$

Aplicando lo anterior se obtienen los datos que muestran en la Tabla 5.30.

Tabla 5.30. Relación de la corriente de cortocircuito y la corriente de línea en pu del TRAF0_125 kVA

Fases	Xpu	Icc	ILpu	Icc/ILpu
L1	0,03	33,3333	0,52581737	63,39336669
L2	0,03	33,3333	0,560308737	59,4910112
L3	0,03	33,3333	0,570163413	58,4627715

La regulación IEEE 519 establece los límites que muestran en la Tabla 3.3 para este parámetro. De acuerdo a la relación Icc/ILpu calculados anteriormente está dentro del rango $50 < 100$, lo que corresponde un valor de TDD del 12 %. En la Tabla 5.31 se observa que el nivel máximo de TDD es 17,55 % por lo tanto existen problemas de armónicos de corriente.

Tabla 5.31. Distorsión Total de la Demanda (TDD) del TRAF0_125 kVA

Hora	Fecha	TDD	LA %	LB %	LC %	TDD promedio %	Referencia IEEE 519 %	Observación
11:47	15/12/21	Máximo	17,55	15,64	17,92	17,04	12	No cumple
		Promedio	8,91	6,57	4,96	6,81	12	Cumple
0:12	14/15/21	Mínimo	3,82	3,27	1,19	6,81	12	Cumple

Del mismo modo se realizan los cálculos para determinar el rango de TDD para comprobar si el sistema posee o no problemas, en la Tabla 5.32 detallaron los resultados del cálculo.

Tabla 5.32. Relación de la corriente de cortocircuito y la corriente de línea en pu TRAF0_ 500 kVA

Fases	Xpu	Icc	ILpu	Icc/ILpu
L1	0,0253	39,5256917	0,070038592	564,3416082
L2	0,0253	39,5256917	0,07690167	513,9770253
L3	0,0253	39,5256917	0,076285753	518,1267822

El rango en el cual es evaluado este sistema ligado al transformador de 500 kVA es de $I_f/IL_{pu} \geq 100 < 1000$, motivo por el cual se han tomado valores del 15 % para el TDD, para los armónicos del orden $3 \leq h < 11$ un 12 %, mientras que para el intervalo de $11 \leq h < 17$ se establece un valor de 5,5 %.

Tabla 5.33. Distorsión Total de la Demanda (TDD) TRAF0_500 kVA

Fecha	Hora	TDD	LA %	LB %	LC %	TDD promedio %	Referencia IEEE 519 %	Observación
23/12/2021	09:47	Máximo	12,40	10,82	13,67	12,30	15	Cumple
		Promedio	3,53	3,06	2,91	3,17	15	Cumple
21/12/2021	05:52	Mínimo	1,57	1,36	1,20	1,38	15	Cumple

En la Tabla 5.33. se presenta un TDD promedio de 12,30 %, este al ser menor al 15 % se encuentra en los límites sugeridos por la normativa IEEE 519.

5.4.12. Distorsión Individual de Corriente del TRAF0_125 kVA y 500 kVA

La regulación ARCERNR y la normativa IEEE 519 establecen para los armónicos individual de corriente que están en los rangos de orden armónica de 3 a 11 deben cumplir un 10 % de distorsión, mientras que 17 deben cumplir un límite de 4.5 %.

Tabla 5.34. Distorsión Individual de corriente del TRAF0_125 kVA

Nivel armónico	Total, de armónicos	Limite IEEE-519	Observaciones
Armónico 3	11,56 %	10 %	Fuera de norma
Armónico 5	10,43 %	10 %	Fuera de norma
Armónico 7	7,57 %	10 %	Dentro de norma
Armónico 9	2,99 %	10 %	Dentro de norma
Armónico 11	6,04 %	4,5 %	Fuera de norma
Armónico 13	2,72 %	4,5 %	Dentro de norma

Como se mencionó en el apartado anterior para el análisis de los armónicos individuales se van a tomar porcentajes de 12 % y 5,5 % para los armónicos del 3 al 9 y los del 11 al 16 respectivamente, en este caso se analiza hasta el armónico décimo tercero. En la Tabla 5.35 se detallan los niveles porcentuales encontrados y se dicta las observaciones pertinentes.

Tabla 5.35. Distorsión Individual de corriente del TRAF0_500 kVA

Nivel armónico	Total, de armónicos	Limite IEEE-519	Observaciones
Armónico 3	3,37 %	12 %	Dentro de norma
Armónico 5	10,21 %	12 %	Dentro de norma
Armónico 7	6,14 %	12 %	Dentro de norma
Armónico 9	2,29 %	12 %	Dentro de norma
Armónico 11	1,83 %	5,5 %	Dentro de norma
Armónico 13	1,97 %	5,5 %	Dentro de norma

5.4.13. Armónico Total de corriente en el Neutro del TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA

Por lo general la presencia de armónicos en el neutro es causado por un desbalance de cargas en el sistema eléctrico. Para verificar los resultados obtenidos se compara con los valores establecidos por la regulación IEEE 519, esto se muestra en la Tabla 5.36.

Tabla 5.36. Armónico Total en el neutro del TRAF0_125 kVA

Fecha	Hora	Nivel TDD	TDD neutro %	TDD promedio %	Referencia IEEE 519 %	Observación
15/12/2021	11:47	Máximo	27,84	27,84	12	No cumple
		Promedio	5,93	5,93	12	Cumple
14/12/2021	0:12	Mínimo	1,37	1,37	12	Cumple

De acuerdo al análisis de la Tabla 5.36, se puede concluir que el nivel de los armónicos en el neutro tiene un nivel promedio del 27,84 % el cual supera el 12 % y por ende esta fuera de los estándares establecido por la regulación internacional IEEE 519

Tabla 5.37. Armónico Total en el neutro del TRAF0_500 kVA

Fecha	Hora	Nivel TDD	TDD neutro %	TDD promedio %	Referencia IEEE 519 %	Observaciones
23/12/2021	9:47	Máximo	9,89	9,89	15	Cumple
		Promedio	1,32	1,32	15	Cumple
21/12/2021	5:52	Mínimo	0,37	0,37	15	Cumple

De acuerdo a la Tabla 5.37. el armónico total máximo no supero el 15 % motivo por el cual el TDD en el neutro se encuentra dentro de la norma.

5.4.14. Presencia de flickers en el TRAF0_125 kVA y TRAF0_500 kVA

- **TRAF0_125 kVA**

La regulación ARCERNNR 002/20, establece que el valor límite de los flickers en el punto de medición no debe superar la unidad. Se realizó el análisis respectivo para el transformador de 125 kVA, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 5.38.

Tabla 5.38. Niveles de Flickers del TRAF0_ 125 kVA

Fecha	Hora	Flicker	pst1	Pst2	Pst3	Pst Promedio	ARCERNNR 002/20
14/12/2021	00:12	Flicker Mínimo	0,03	0,06	0,03	0,04	Cumple
		Flicker Promedio	0,71	0,74	0,75	0,73	Cumple
15/12/2021	11:47	Flicker Máximo	2,76	2,61	2,71	2,69	No cumple

El máximo valor de flicker en el sistema es de 2,69 por lo tanto sobrepasa la unidad establecida por la normativa mencionada anteriormente, pero presenta un promedio de 0,73 que corresponde a más del 95 % de valores registrados en la medición, por ende, está dentro del rango permitido. El flicker son ocasionados por la presencia de cargas no lineales y cargas fluctuantes como los motores y las luminarias que producen variaciones de voltaje, dichas variaciones se pueden denotar en la luz emitida por las lámparas. Por lo tanto, es necesario mitigar para prevenir fallas en equipos electrónicos que son susceptibles a las variaciones repentinos de voltaje.

- **TRAF0_500 kVA**

En la Tabla 5.39 se observan los valores mínimos, máximos y promedios de flickers derivados por el analizador de redes para el transformador de 500 kVA. El máximo valor de flicker en el sistema es de 2,42 por lo tanto sobrepasa la unidad, pero tomando en cuenta el promedio presenta un valor de 0,67 que cumple con los índices establecidas por la normativa ARCERNNR 002/20.

Tabla 5.39. Nivel de flickers del TRAF0_500 kVA

Fecha	Hora	Flicker	Pst1	Pst2	Pst3	Pst Promedio	ARCERNNR 002/20
21/12/2021	05:52	Mínimo	0,07	0,08	0,10	0,08	Cumple
		Promedio	0,64	0,67	0,67	0,67	Cumple
23/12/2021	09:47	Máximo	2,42	2,20	1,94	2,19	No cumple

5.4.15. Sags y Swells en el TRAF0_125 kVA y 500 kVA

- **Sags en el TRAF0_125 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 1159 (Ver Anexo B) señala los índices para duración típica de > 3 s – 1 min y la magnitud típica de 0,1 a 0,9. que debe cumplir para prevenir la presencia de sags en el sistema eléctrico.

Según los datos proporcionados por el analizador de redes, se obtiene los siguientes valores que se puntualizan en la Tabla 5.40. Se puede evidenciar que existe la presencia de Sags. Una de las principales fuentes de sags son los arranques de grandes motores de inducción los cuales pueden consumir magnitudes de corrientes considerables que a su vez provocan una caída de tensión rápida además el disparo indeseado de equipos sensibles, y, por último, pérdidas económicas para la empresa.

Tabla 5.40. Nivel de sags en el TRAF0_125 kVA

	Sags	Limites IEEE 1159	Observaciones
Línea A-B	0,08	0,1 – 0,9 p.u	Cumple
Línea B-C	1,28	0,1 – 0,9 p.u	No cumple
Línea C-A	1,36	0,1 – 0,9 p.u	No cumple

- **Swells en el TRAF0_125 kVA**

Los swells son aumentos momentáneos 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 1159 señala que para los índices de duración típica > 3 s – 1min de tiene voltajes de magnitud típico de 1,1 – 1,2 p.u que debe cumplir para prevenir la presencia de swells en el sistema eléctrico.

Para analizar la existencia o no de swell en el sistema eléctrico se obtiene los datos de Voltaje de medio ciclo RMS, los resultados se indican en la Tabla 5.41, donde se evidencia un valor de 1,46 que supera en límite permitido. Los swell se puede producir por una deficiencia de la puesta a tierra.

Tabla 5.41. Nivel de swells en el TRAF0_125 kVA

	Swell	Limites IEEE 1159	Observaciones
Línea A-B	0,41	1,1 - 1,2 p.u	Cumple
Línea B-C	1,46	1,1 - 1,2 p.u	No cumple
Línea C-A	1,05	1,1 - 1,2 p.u	Cumple

- **Sags en el TRAF0_500 kVA**

Según los datos procedentes por el analizador de energía, se obtiene los siguientes valores que se puntualizan en la Tabla 5.42, se puede evidenciar que hay presencia de sags en el transformador de 500 kVA debido a que los valores 4,24 y 3,43 superan los límites de 0,1 - 0,9 establecidas por la IEEE 1159.

Tabla 5.42. Nivel de sags en el TRAF0_500 kVA

	Sags	Limites IEEE 1159	Observaciones
Línea A-B	0,81	0,1 – 0,9 p.u	Cumple
Línea B-C	4,24	0,1 – 0,9 p.u	No cumple
Línea C-A	3,43	0,1 – 0,9 p.u	No cumple

- **Swells en el TRAF0_500 kVA**

La Tabla 5.43 presenta valores de swell de 4,23 y 3,47 correspondientes al transformador de 500 kVA que superan los límites de 1,1 – 1,2 p.u establecidas por la IEEE 1159 la cual se encuentra en el Anexo B. Los swell puede deberse a la deficiencia de la puesta a tierra o por desconexión de grandes máquinas de la empresa.

Tabla 5.43. Nivel de swells en el TRAF0_500 kVA

	Swell	Limites IEEE 1159	Observaciones
Línea A-B	0,76	1,1 – 1,2 p.u	Cumple
Línea B-C	4,23	1,1 – 1,2 p.u	No cumple
Línea C-A	3,47	1,1 – 1,2 p.u	No cumple

5.4.16. Estado actual del sistema eléctrico de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”

Se concluye que el sistema eléctrico de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” presenta problemas de caída de voltaje, pérdidas en los conductores, bajo factor de potencia, la presencia de armónicos de corriente, desequilibrio de corrientes y sags en el TRAF0_125 kVA. Para el TRAF0_500 kVA presenta caídas de voltaje, pérdidas en los conductores, desequilibrio de corriente, sags y swells. Esto porque todos estos parámetros sobrepasan los límites máximos permitidos por normativas IEEE 519, IEEE 1159 y la regulación ARCERNR 002/20. En la tabla 5.44 se detalla el estado del sistema actual a través del análisis realizado.

Tabla 5.44. Estado del sistema actual del transformador de 125 kVA y 500 kVA

PARÁMETROS	TRANSFORMADOR 125 KVA	TRANSFORMADOR 500 KVA
Potencia nominal	125 KVA	500 KVA
Cargabilidad del sistema	80,95 %	11,63 %
Reserva	19,5 %	88,36 %
CAÍDA DE VOLTAJE		
VA-B	8,52 %	9,40 %
VB-C	8,19 %	9,92 %
VC-A	8,65 %	10,42 %
VOLTAJE EN EL NEUTRO		
VN	1,26	1,3
DESEQUILIBRIO DE VOLTAJE		
% D	0,31 %	0,16 %
DESEQUILIBRIO DE CORRIENTE		
% D	3,27 %	3,24 %
POTENCIAS TOTALES		
Potencia Activa (kW)	94,07	56,60
Potencia Reactiva (kVAr)	37,73	13,67
Potencia Aparente (kVA)	101,19	58,19
PÉRDIDAS		
P (kW)	198	4,3
Q (kVAr)	196	2
FACTOR DE POTENCIA		
FP	0,86	0,96
ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTES		
Armónico 3	11,56 %	3,37 %
Armónico 5	10,43 %	10,21 %
Armónico 7	7,57 %	6,14 %
Armónico 9	2,99 %	2,29 %
Armónico 11	6,04 %	1,83 %
Armónico 13	2,72 %	1,97 %
ARMÓNICOS INDIVIDUAL DE VOLTAJE		
Armónico 3	1,02 %	0,42 %
Armónico 5	2,31 %	2,17 %
Armónico 7	0,97 %	0,90 %
Armónico 9	0,49 %	0,17 %
Armónico 11	1,03 %	0,40 %
Armónico 13	0,57 %	0,31 %
FLICKERS		
Flicker (promedio)	0,73	0,67

Continuación

PARÁMETROS	TRANSFORMADOR 125 KVA	TRANSFORMADOR 500 KVA
NIVEL DE SAGS		
Línea A-B	0,08	0,81
Línea B-C	1,28	4,24
Línea C-A	1,36	3,43
NIVEL DE SWELL		
Línea A-B	0,41	0,76
Línea B-C	1,46	4,23
Línea C-A	1,05	3,47

5.5. SIMULACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN ETAP 19.0.1.

Con la información recolectada del sistema eléctrico de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”, se procedió a modelar el sistema en el software ETAP 19.0.1 para corroborar el análisis realizado por el analizador de redes, mismo que ayudó a identificar los puntos más críticos existentes en la instalación de la empresa, además permitió plantear las correcciones respectivas para mitigar los problemas encontrados.

5.5.1. Procedimiento para la simulación

- **Selección de datos**

Para la simulación del sistema de los transformadores de 125 kVA y 500 kVA se utilizó los datos de las cargas, transformadores, protecciones, distancias a la que se encuentran ubicadas las cargas, estos parámetros se pueden observar en las Tablas 5.3; 5.4 y en el plano eléctrico del Anexo F. Las características de los transformadores se toman de las Tablas 5.1 y 5.2.

- **Definición de parámetros a ser ingresados en ETAP**

Los parámetros que se contemplan en este caso son la potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, Corriente, voltaje de línea y factor de potencia.

- **Ingreso de las fuentes de alimentación**

Se toma en cuenta un equivalente de red con características establecidas en el manual de ETAP en caso de no poseer los parámetros de cortocircuito de la red, además con los datos de transformadores mencionados en las Tablas 5.1 y 5.2 se procede al ingreso de las barras con los voltajes determinados de 13,8 kV y 0,22 kV.

- **Conexión de elementos y maquinarias**

Con los datos de placas de maquinarias, distancia, sección del conductor y protecciones se procedió a la conexión de las distintas barras de alimentación que proporcionan energía a cada área de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”, este procedimiento se realiza para los dos transformadores.

- **Establecer maquinarias en funcionamiento.**

Para el caso del TRAF0_125 kVA se tomó en consideración la entrada en funcionamiento del área de producción con el uso de las embutidoras, retorcedoras, Cutter pequeño, iluminación de las distintas áreas de la planta, área administrativa, planta de tratamiento de agua. Además de varias maquinarias del área de Cocción como el horno de mesa, entre otros.

De igual manera para el transformador de 500 kVA se considera el ingreso de las maquinarias como los molinos de carne Wetter, molino de carne chino, mezcladora nacional y las cámaras frigoríficas.

- **Flujo de Potencia y armónicos**

Una vez ingresada toda la información antes mencionada se procede a la ejecución del programa y verificación de los datos tanto de potencias, corrientes, voltajes y el porcentaje de armónicos.

5.5.2. Primer caso de estudio

5.5.2.1. Comparación de resultados entre el analizador de redes y el software ETAP 19.0.1

En la Tabla 5.45 se presentan los parámetros totales comparados entre el analizador de redes y el software ETAP 19.0.1 y el porcentaje de error respectivamente correspondientes al transformador de 125 kVA. Para ello se tomó los parámetros más representativos evidenciados en el análisis del apartado 5.4. La simulación del sistema correspondiente a este transformador se observa en la Figura 5.24. Otros parámetros como cargabilidad y pérdidas en los conductores derivados por este software se presenta en las Tablas H.1 y H.2 del Anexo H.

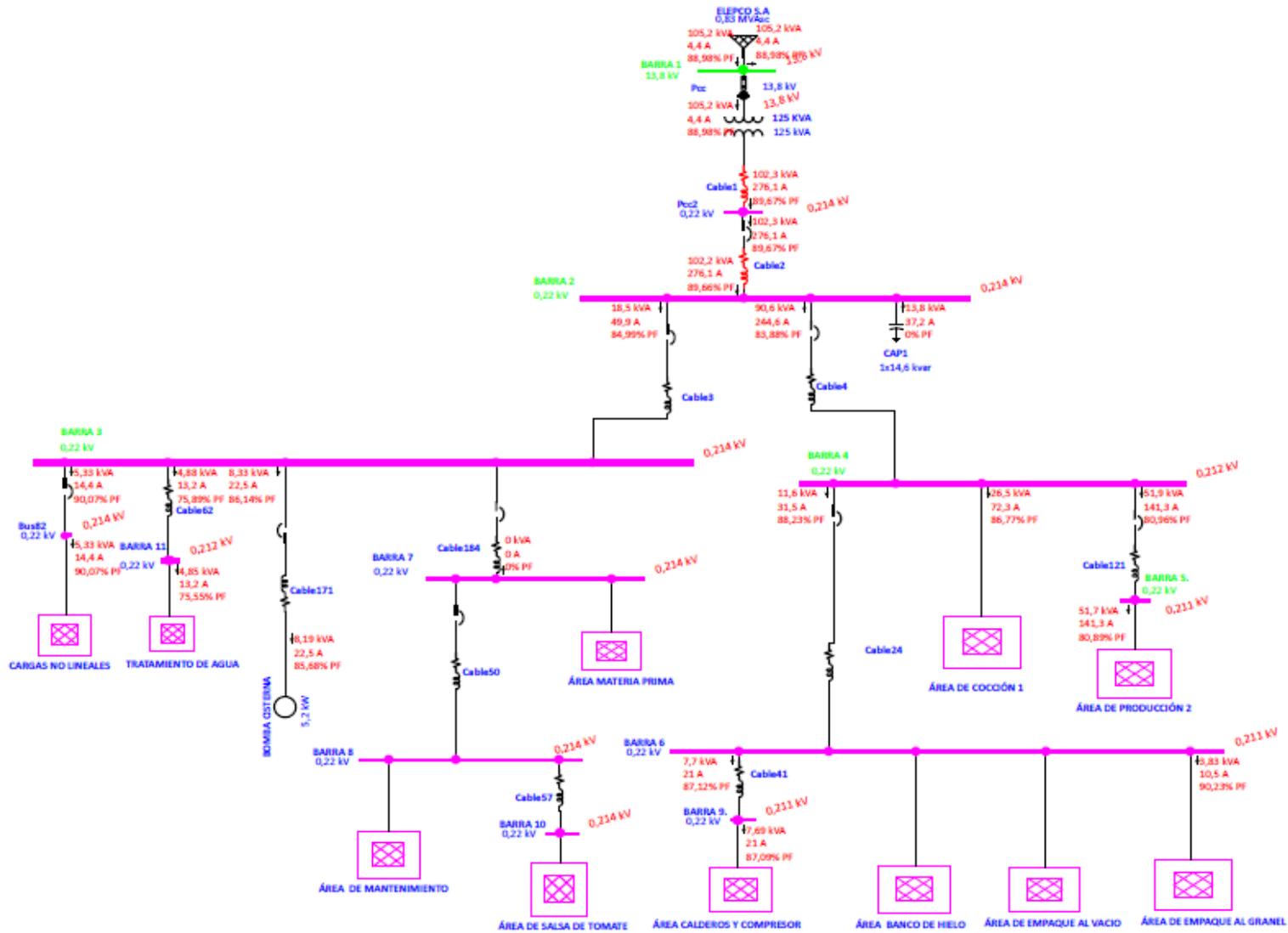


Figura 5.24. Simulación a la carga máxima registradas por el analizador de redes en el TRAF0_125 kVA.

En la Tabla 5.45 se muestra la variación que existe entre los datos reales registrados por el analizador de redes y el software ETAP 19.0.1, estas presentan un porcentaje de error menor al 5 % debido a que los datos ingresados al software pueden variar por errores humanos de registro.

Tabla 5.45. Parámetros correspondientes al transformador de 125 kVA

Parámetros	Analizador de redes V	ETAP 19.0.1	Error
PARÁMETROS TOTALES DEL SISTEMA			
Voltaje máximo (V)	217	214	1,38 %
Voltaje mínimo (V)	201,40	211	4,5 %
Potencia activa total (kW)	94,07	91,6	2,6 %
Potencia reactiva total (kVAr)	37,73	39,5	4,48 %
Potencia aparente total (kVA)	101,19	102,2	0,98 %
Factor de potencia	0,86	0,89	3,37 %
ARMÓNICOS DE CORRIENTES			
3	11,56 %	0 %	1 %
5	10,43 %	10,68 %	2,34 %
7	7,57 %	7,3 %	3,56 %
9	2,99 %	0 %	1 %
11	6,04 %	5,9 %	2,31 %
13	2,72 %	2,6 %	4,41 %
ARMÓNICOS DE VOLTAJES			
3	1,02 %	0 %	1 %
5	2,31 %	2,35 %	1,70 %
7	0,97 %	0,95 %	2,06 %
9	0,49 %	0 %	1 %
11	1,03 %	0,99 %	3,88 %
13	0,57 %	0,55 %	3,5 %

De igual manera en la Tabla 5.46 se observa los parámetros más representativos del sistema correspondiente al TRAF0_500 kVA. Se observó que los parámetros obtenidos por el analizador de redes tienen similitud con los valores simulados en ETAP como el factor de potencia, las potencias activas, reactivas, aparentes, entre otros. Esta simulación se muestra la Figura 5.25. Los parámetros de cargabilidad, caída de voltajes, pérdidas, flujo de potencias, corrientes se presenta en las tablas H.3. y H.4. del Anexo H.

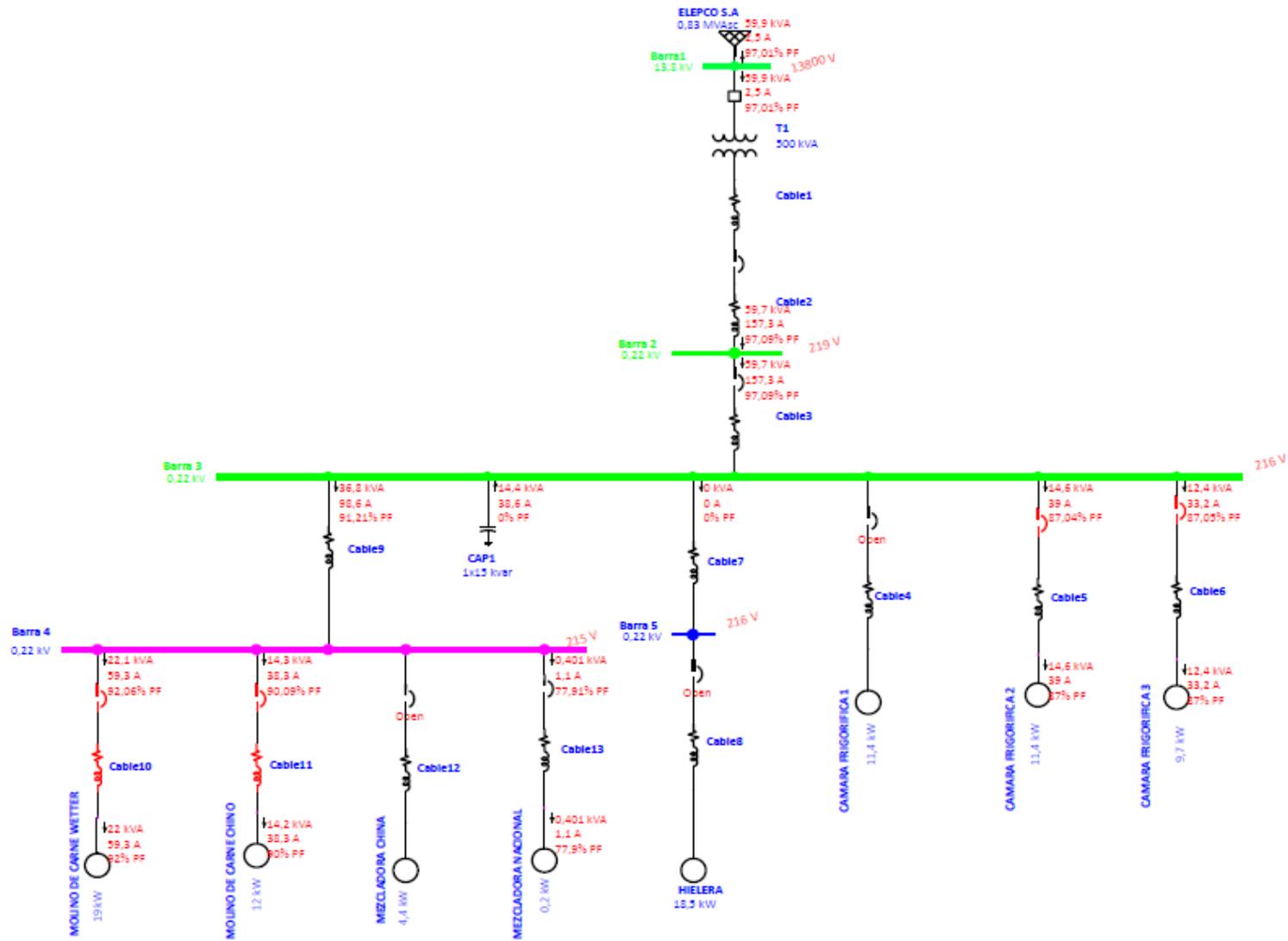


Figura 5.25. Simulación del sistema a la carga máxima registrada por el analizador de redes en el TRAF0_500 kVA.

Al igual que el caso anterior existe variaciones de porcentajes de errores menores al 5 % siendo las mayores en los voltajes mínimos, y de los armónicos de corriente del orden 5 y 3 con el 4,29 %, 4,01 % y 4,07 % respectivamente.

Tabla 5.46. Parámetros correspondientes al TRAF0_ 500 kVA

Parámetros	Analizador de redes V	ETAP 19.0.1	% Error
PARÁMETROS TOTALES DEL SISTEMA			
Voltaje máximo (V)	211,67	219	3,33
Voltaje mínimo (V)	205,76	215	4,29
Potencia activa total (KW)	56,60	58	2,41
Potencia reactiva total (KVAR)	13,67	14,3	4,4
Potencia aparente total (KVA)	58,19	59,7	2,52
Factor de potencia	0,96	0,97	1,03
ARMÓNICOS DE CORRIENTE			
3	3,37	0	1
5	10,21	9,80	4,01
7	6,14	5,89	4,07
9	2,29	0	1
11	1,83	1,80	1,6
13	1,97	1,90	3,5
ARMÓNICOS DE VOLTAJE			
3	0,42	0	1
5	2,17	2,09	3,68
7	0,90	0,86	4,44
9	0,17	0	1
11	0,40	0,39	2,5
13	0,31	0,30	3,22

- **Cargabilidad de los transformadores**

La cargabilidad de los transformadores de 125 y 500 kVA fue calculada con los parámetros de potencias máximas del sistema en los días mencionadas en los apartados anteriores y verificada con el software ETAP 19.0.1 como se observa en la Tabla 5.47, el transformador de 125 kVA tiene una cargabilidad de 80,95 % y solo una reserva de 19,05 % lo cual no permite el ingreso de más cargas ya que se encuentra al límite y si el sistema llega a operar con todas sus cargas al mismo tiempo se sobrecargaría. En cambio, el TRAF0_500 kVA tiene una cargabilidad de 11,63 % y una reserva de 88,36 % debido a que no se han conectado más cargas desde su ingreso en el año 2019, por ende, una de las soluciones viables sería trasladar las cargas de mayor potencia del transformador de 125 kVA a este transformador.

Tabla 5.47. Cargabilidad de los transformadores de 125 kVA Y 500 kVA

Transformador	CALCULADO	ETAP 19.0.1	% Error
	% cargabilidad	% cargabilidad	
125 kVA	80,95	84,1	3,74
500 kVA	11,63	12	3

5.5.3. Segundo caso de estudio

5.5.3.1. Sistemas eléctricos funcionando a plena carga “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”

- **Sistema TRAF0_125 kVA**

Mediante la simulación en el software ETAP 19.0.1 se corroboró que las cargas que se muestran en las Tablas 5.3 y 5.4 exceden la potencia nominal del transformador y que a pesar que cuenta con un banco de capacitores para la respectiva compensación, el factor de potencia baja a un valor menor al 0,92 señalado en el pliego tarifario resolución ARCONEL 035/19 empleado por la Empresa Eléctrica Cotopaxi. Los resultados de esta simulación se presentan en la Tabla 5.48 y la simulación correspondiente se encuentra en el Figura G.1 del Anexo G.

Tabla 5.48 Resultados de la simulación del TRAF0_125 kVA a plena carga

PARÁMETROS	RESULTADOS
Potencia Activa G (kW)	654
Potencia Reactiva G (kVAr)	446
Potencia aparente (kVA)	791,8
Fp	0,83
Pérdidas	
P (kW)	Q (kVAr)
198	196
% De Cargabilidad del TRAF0_125 kVA	537,4 %

En base a estos resultados de la simulación de la Figura G.1 del Anexo G. se encontraron varios problemas que se detallan en los apartados siguientes para brindar las respectivas soluciones.

- **Sistema TRAF0_500 KVA**

Tabla 5.49. Resultados de la simulación del TRAF0_500 kVA a plena carga

Parámetros	Resultados
Potencia Activa (kW)	100
Potencia Reactiva (kVAr)	33,5
Potencia aparente (kVA)	104,9
Fp	0,95
Pérdidas	
P(KW)	Q(KVAr)
4,3	2
% De Cargabilidad del TRAF0_500 kVA	21 %

De acuerdo a la Tabla 5.49 el TRAF0_ 500 kVA no presenta problemas significativos, debido a que el factor de potencia se encuentra dentro del límite permitido y tiene una cargabilidad de aproximadamente el 21 %, por ende, no tendría problemas si el sistema funciona con todas las cargas al mismo tiempo, el inconveniente más factible a solucionar es las pérdidas en los conductores mismas que se detallan más adelante, La simulación correspondiente se encuentra en la Figura G.2. del Anexo G.

5.5.4. Tercer caso de estudio

5.5.4.1. Resultado de armónicos sin el banco de capacitores TRAF0_125 kVA

En la Figura 5.26 se observa el comportamiento de los armónicos de corriente sin el banco de capacitores, en este caso presenta un menor porcentaje armónico y por ende la forma de onda presenta una menor distorsión, pero presenta problemas en el factor de potencia disminuyendo a un valor menor del límite permitido. La simulación correspondiente se indica en la Figura G.3 del Anexo G.

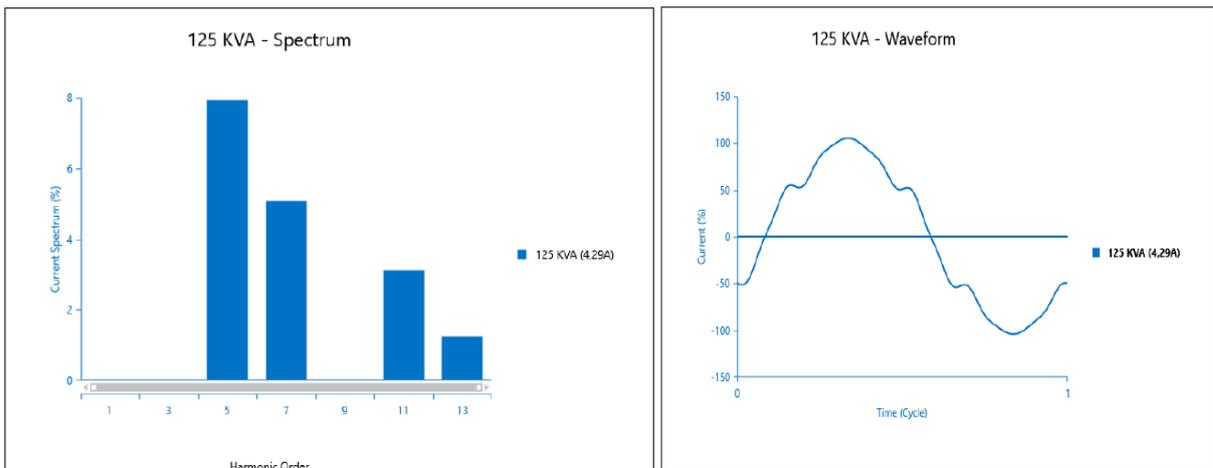


Figura 5.26. Resultados de armónicos sin el banco capacitor

5.5.4.2. Resultado de armónicos con la incorporación de un banco de capacitores

- **TRAFO_125 kVA**

Al ingresar un banco de capacitores con las características de 14,6 kVAr y considerando el mismo esquema del apartado 5.5.4.1, se evidencia en la Figura 5.27 el comportamiento de los armónicos de corriente que se eleva y son similares a los obtenidos por el analizador de redes superando los rangos permitidos por la normativa IEEE 519. En la Figura G.4 del Anexo G se observa la simulación correspondiente.

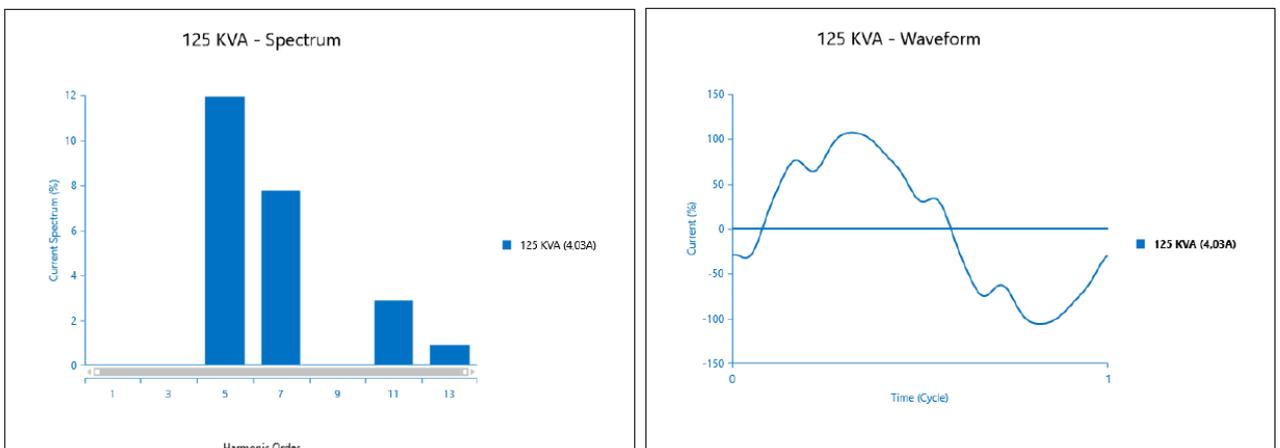


Figura 5.27. Resultados de armónicos con el banco capacitores

A pesar que el banco de condensadores ayuda a incrementar el factor de potencia de la misma forma provoca una deformación de la onda como se muestra en la Figura 5.27.

En cuanto al sistema eléctrico de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” a pesar que cuenta con un banco de capacitores presenta problemas tanto de factor de potencia, como la

presencia de distorsión armónica de corriente. Para esto se propone una solución de instalación de un filtro pasivo más adelante.

5.6. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS ENCONTRADOS

5.6.1. Solución 1: Balance de cargas y dimensionamiento de nuevos conductores

- **TRAFO_125 kVA**

Tomando en cuenta que el sistema actual presenta un desbalance de potencias se procedió a equilibrar las cargas monofásicas para cada fase, las mismas que deben estar dentro del límite del 5 %, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla I.1 del Anexo I. Posteriormente teniendo en cuenta los distintos calibres de conductores presentes en el sistema eléctrico de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” se procedió a la verificación de caídas de voltaje y se determinó que existen variaciones que exceden el 3 % en las ramas y el 5 % entre el circuito alimentador principal y la rama según las recomendaciones de la normativa NEC, estos resultados se evidencia en la Tabla I.2 del Anexo I, donde se puede observar los conductores que causan problemas en el sistema debido a una capacidad inadecuada, motivo por el cual se realizó la recalibración de los nuevos conductores como se muestra en la Tabla 5.50.

Tabla 5.50. Dimensionamiento de nuevos conductores del transformador de 125 kVA

MAQUINARIA	CAIDA DE VOLTAJE ACTUAL DEL TRANSFORMADOR DE 125 KVA										
	DATOS							CONDUCTOR	PROTECCIÓN	CAIDA DE VOLTAJE	
	Tensión (V)	Fase	Potencia (KW)	Fp	Eficiencia	VA	Longitud (m)	Calibre	(A)	Parcial	Total
TABLERO PRINCIPAL	220	3	395,118	0,85	0,87	403419,270	6	2x(4 x (250AWG))	350	0,54	
STG3	220	3	54,543	0,87	0,90	56448,748	6	2 x(3 x (2/0 AWG))	300	0,12	0,66
STG4	220	3	340,575	0,84	0,85	344629,464	10	2x(3x (250 AWG))	350	0,77	1,31
STG5	220	3	57,03	0,83	0,87	59866,169	15	2x(3 x (2/0 AWG))	250	0,32	1,63
STG6	220	3	67,235	0,84	0,85	68225,142	76	2x(3 x (2/0 AWG))	150	1,44	2,75
STG7	220	3	37,03	0,84	0,86	38211,809	15	3 x (1/0 AWG)	150	0,48	1,14
STG8	220	3	24,43	0,83	0,86	25163,634	35	4 x (1/0 AWG)	-----	0,73	1,87
STG9	220	3	31,925	0,82	0,89	34562,706	10	2x(3 x (2 AWG))	-----	0,21	2,96
STG10	220	3	10,5	0,79	0,81	10799,051	20	2 x (3 x (2 AWG))	-----	0,12	1,99
STG11	220	3	2,288	0,86	0,78	2065,556	50	3 x (6 AWG)	300	0,31	0,97
Horno chino - ADC	220	3	13,88	0,87	0,70	11167,816	15	3 x (4 AWG)	40	0,33	1,64
Horno de mesa - ADC	220	3	13,88	0,87	0,70	11167,816	10	3 x (4 AWG)	40	0,22	1,53
Motor 1 - ADC	127	1	0,3	0,90	0,92	306,667	8	3 x (14 AWG)	10	0,28	1,59
Motor 2 - ADC	220	3	0,18	0,66	0,65	177,273	9	3 x (14 AWG)	10	0,02	1,33
Motor Vemag - ADC	220	3	1,77	0,82	0,84	1813,171	8	3 x (10 AWG)	10	0,09	1,4
Iluminacion ADC	127	1	0,3	0,90	1,00	333,333	18	2x (14 AWG)	10	0,68	1,99
Emulsificadora - AP	380	3	44	0,90	0,90	44000,000	11	3x(3/0 AWG)	75	0,41	1,72
CUTTER - AP	220	3	33	0,90	0,88	32266,667	14	3 x(2 AWG)	75	0,58	1,89
Cutter Sydelman - AP	440	3	109	0,92	0,90	106630,435	20	2x(3 x (1/0 AWG))	250	0,91	2,22
Embutidora Robby 1 - AP	220	3	11	0,79	0,80	11139,241	15	3 x (6AWG)	35	0,23	1,86
Retorcadora 1 -AP	220	3	10	0,81	0,90	11111,111	18	3 x (10AWG)	35	1,34	2,97
Embutidora - AP	220	3	4,25	0,80	0,92	4887,500	16	3 x (10AWG)	20	0,51	2,14
Retorcadora LPG 208 - AP	220	3	4,5	0,82	0,92	5048,780	20	3 x (10AWG)	15	0,68	2,31
Embutidora HP10L - AP	220	3	11	0,94	0,96	11234,043	21	3x(6AWG)	35	0,76	2,39
Elevador T 200 - AP	220	3	1,1	0,79	0,84	1169,620	22	3x(14 AWG)	10	0,55	2,18
Embutidora Robby 2 - AP	220	3	11	0,79	0,80	11139,241	18	3 x (4 AWG)	35	0,37	2
Cutter pequeño - AP	220	3	3,5	0,80	0,79	3456,250	16	3 x (12 AWG)	15	0,61	2,24
Iluminación AMP Y AP	127	1	0,68	0,90	0,88	664,889	18	2 x(14 AWG)	10	1,37	3

Continuación

MAQUINARIA	DATOS							CONDUCTOR	PROTECCIÓN (A)	CAIDA DE VOLTAJE		
	Tensión (V)	Fase	Potencia (KW)	Fp	Eficiencia	VA	Longitud (m)			Calibre	Parcial	Total
Inyectora - ABH	220	3	0,6	0,96	0,92	575,000	6	3x(14 AWG)	16	0,07	2,82	
Cortadora de cubos - ABH	220	3	1,3	0,70	0,68	1262,857	6	3 x (12 AWG)	16	0,07	2,82	
Bomba de vacío - AEV	220	3	8	0,81	0,72	7111,111	4	3 x (6 AWG)	32	0,5	3,25	
Máquina termoformadora - AEV	220	3	13	0,81	0,70	11234,568	5	3 x (4 AWG)	63	0,1	2,85	
Máquina selladora al vacío - AEV	220	3	1,5	0,68	0,50	1102,941	7	3 x (10 AWG)	16	0,04	2,79	
Lochadora - AEV	127	1	0,27	0,87	0,94	291,724	10	3 x (14 AWG)	10	0,29	3,04	
Cortadora de salchichas - AEG	220	3	3	0,96	0,94	2937,500	15	3 x (10 AWG)	25	0,46	3,21	
Selladora de funda 1 - AEG	220	3	2	0,80	0,70	1750,000	18	3 x (12 AWG)	10	2,1	4,85	
Selladora de funda 2 - AEG	127	1	1	0,82	0,78	951,220	5	3 x (14 AWG)	10	1,99	4,74	
Codificadora 1 -AEG	127	1	0,5	0,90	0,94	522,222	10	3 x (14 AWG)	30	0,89	3,64	
Codificadora 2 - AEG	127	1	0,5	0,90	0,94	522,222	10	3 x (14 AWG)		0,89	3,64	
Codificadora 3 - AEG	127	1	0,5	0,90	0,94	522,222	10	3 x (14 AWG)		0,95	3,7	
Maquina de cocer - AEG	127	1	0,9	0,90	0,94	940,000	9	3 x (14 AWG)		1,94	4,69	
Iluminación Planta de producción	127	1	2,24	0,90	1,00	2488,889	10	3X(3 x (14 AWG))		0,95	3,7	
Compresor -ACC	220	3	7,5	0,85	0,90	7958,824	10	3 x (8 AWG)		63	0,37	3,33
Caldero 1 - ACC	220	3	1,725	0,84	0,72	1478,571	9	3 x (12 AWG)		32	0,15	3,11
Caldero 2 - ACC	220	3	0,84	0,80	0,90	945,000	8	3 x (12 AWG)	32	0,08	3,04	
Motor 1 - ACC	220	3	9,2	0,75	0,89	10917,333	9	3 x (6 AWG)	63	0,26	3,22	
Motor 2 - ACC	220	3	3	0,75	0,89	3560,000	8	3 x (12 AWG)	32	0,29	3,25	
Motor 3 - ACC	220	3	3,5	0,80	0,90	3937,500	10	3 x (10 AWG)	32	0,26	3,22	
Iluminación ACC	127	1	0,16	0,90	1,00	177,778	10	2 x (14 AWG)		0,2	3,16	
Cámara de enfriamiento - MP	220	3	6	0,87	0,90	6206,897	5	3 x (8 AWG)	16	0,14	3,1	
Motor 1 bomba - PTA	220	3	1,5	0,74	0,62	1256,757	20	3 x (12 AWG)	10	0,25	1,22	
Motor 2 bomba - PTA	220	3	0,6	0,74	0,60	486,486	15	3 x (12 AWG)	10	0,07	1,04	
Docificadora de cloro - PTA	127	1	0,098	0,96	0,92	93,917	10	3 x (12 AWG)	10	0,07	1,04	
Docificadora de polímero - PTA	127	1	0,045	0,94	0,88	42,128	10	3 x (14 AWG)	10	0,05	1,02	
Docificadora de floculante - PTA	127	1	0,045	0,94	0,88	42,128	10	3 x (14 AWG)	10	0,05	1,02	
Compresor uso ocasional - AM	220	3	3,7	0,88	0,86	3615,909	20	3 x (10 AWG)	20	0,52	2,39	
Esmeril -AM	127	1	0,93	0,90	0,97	1002,333	8	3 x (12 AWG)	10	0,59	2,46	
Lavadora de Tinas (Rosser) - AM	220	3	3,7	0,86	0,88	3786,047	15	3 x (10 AWG)	10	0,4	2,27	
Cámara de congelación - AM	220	3	5,6	0,86	0,90	5860,465	24	3 x (8 AWG)	50	0,66	2,53	
Motor 1 - AST	220	3	1,5	0,74	0,90	1824,324	6	3 x (10 AWG)	10	0,06	2,05	
Motor 2 - AST	220	3	3	0,81	0,70	2592,593	6	3 x (10 AWG)	10	0,1	2,09	
Motor 3 - AST	220	3	3	0,80	0,95	3562,500	7	3 x (10 AWG)	10	0,16	2,15	
Motor 4 - AST	220	3	3	0,81	0,70	2592,593	7	3 x (10 AWG)	10	0,12	2,11	
MP	220	3	12,6	0,86	0,90	13186,047	12	3 x (8 AWG)	75	0,74	2,73	
Bombas y cisternas	220	3	5,2	0,87	0,74	4422,989	40	3 x (8 AWG)	60	0,84	1,5	
Iluminacion ADAMP y BS	127	1	1,24	0,90	1,00	1377,778	10	2 x (14 AWG)	32	1,58	2,24	
Iluminación - PTA	127	1	0,08	0,90	1,00	88,889	12	2 x (14 AWG)		0,12	0,78	
Computadoras y iluminación ASC	127	1	0,38	0,90	1,00	422,222	14	2 x (12 AWG)		0,44	1,1	
ADNP	127	1	0,34	0,90	1,00	377,778	12	2 x (12 AWG)		0,33	0,99	
Electronicos e iluminación - ADA	127	1	3,316	0,90	1,00	3684,444	8	3 x (12 AWG)		2,74	3,4	
SC	127	1	1,793	0,90	1,00	1992,222	12	3 x (12 AWG)		1,78	2,44	
Iluminación y otros CM	127	1	0,34	0,90	1,00	377,778	15	2x (14 AWG)		0,42	1,08	
Iluminación y otros- C	127	1	1,314	0,90	1,00	1460,000	14	2x (12 AWG)		0,01	0,67	
Iluminación y otros- CAF	127	1	0,312	0,90	1,00	346,667	14	2x (12 AWG)		0,36	1,02	
Iluminación - SS.HH	127	1	0,48	0,90	1,00	533,333	10	2x (14 AWG)		0,61	1,27	
Iluminación - PE	127	1	0,43	0,90	1,00	477,778	18	2x (14 AWG)		0,98	1,64	

Con referencia a la Tabla 5.50 se tomó en cuenta para su cálculo las principales barras de carga desde el punto de conexión común con el fin de evitar caídas de voltaje bruscas que superen el límite permisible, esto mejora significativamente los valores de variación, reduciendo el número de conductores a cambiar de no haber hecho esto.

5.6.1.1. Resultados de la simulación solución 1: TRAF0_125 kVA

Una vez determinado los conductores se obtienen los resultados que se muestran en la tabla 5.51, en estas se muestran la variación de potencia activa, reactiva entre el estado inicial y la corrección de conductores, tomando un escenario a plena carga. La simulación correspondiente a este escenario se presenta en la Figura K.1 del Anexo K y otros resultados como la cargabilidad, variación de tensión, pérdidas en los conductores se visualiza en el anexo L.

Tabla 5.51. Reducción de pérdidas con los nuevos conductores

Potencia	Inicial	Corregida	Reducción	% Disminución
P (kW)	198	61,6	136,4	68,88
Q(kVAr)	196	104	92	46,93

- TRAFO_500 kVA**

De igual forma para el TRAF0_500 kVA basando en los problemas presentes en el sistema eléctrico actual se procedió a la verificación de caídas de voltaje y se determinó que existen variaciones que exceden el 3 % en ciertas ramas, donde se detectó conductores inadecuado para ciertas maquinarias que causan estos problemas y que deben ser reemplazados, estos resultados se pueden evidenciar en la Tabla I.3 del Anexo I. Con el fin de mejorar este problema se realizó la recalibración de los nuevos conductores que se presentan en la Tabla 5.52. Esta propuesta de solución reduce las pérdidas en los conductore, los niveles de variación de voltaje no son tan altos y se protegería a las maquinarias conectadas a este transformador.

Tabla 5.52. Dimensionamiento de nuevos conductores del transformador de 500 kVA

MAQUINARIA	DATOS							CONDUCTOR	PROTECCIÓN	% CAIDA DE VOLTAJE	
	Tensión (V)	Fase	Potencia (KW)	Fp	Eficiencia	VA	Longitud (m)	Calibre	(Amp)	Parcial	Total
TABLERO PRINCIPAL	220	3	86,6	0,87	0,86	85353,96	6	2x (3 x (250 MCM))	600	0,11	
TG3	220	3	86,6	0,87	0,86	85353,96	46	2 x(3 x (4/0 AWG))	350	0,98	1,09
TG4	220	3	35,6	0,87	0,81	33342,94	15	3 x (3/0 AWG)	-----	0,29	1,38
TG5	220	3	18,5	0,86	0,90	19360,47	46	3 x (3/0 AWG)	-----	0,52	1,61
Cámara frigorífica 1	220	3	11,4	0,88	0,90	11659,091	14	3 x (4 AWG)	70	0,32	1,41
Cámara frigorífica 2	220	3	11,4	0,87	0,90	11793,103	4	3 x (6 AWG)	50	0,14	1,23
Cámara frigorífica 3	220	3	9,7	0,87	0,90	10034,483	5	3 x (6 AWG)	50	0,15	1,24
Hielera	220	3	18,5	0,86	0,90	19360,465	13	3 x (4 AWG)	70	0,49	2,1
Molino de carne Wetter	220	3	19	0,92	0,94	19413,043	6	3 x (4 AWG)	70	0,24	1,62
Molino de carne Chino	220	3	12	0,90	0,94	12533,333	7	3 x (6 AWG)	50	0,27	1,65
Mezcladora China	220	3	4,4	0,85	0,73	3778,824	7	3 x (10 AWG)	25	0,15	1,53
Mezcladora Nacional	220	3	0,2	0,80	0,64	160,000	8	3 x (10 AWG)	25	0,002	1,382

5.6.1.2. Resultados de la simulación solución 1: TRAF0_500 kVA

De igual manera se hizo una comparación de pérdidas correspondientes al transformador de 500 kVA con los nuevos conductores calibrados obteniendo los resultados presentes en la Tabla 5.53. En este caso la reducción de las pérdidas no es muy significativa. Las simulaciones y otros resultados como la cargabilidad, caídas de voltaje, correspondientes a este transformador se presentan en el Anexo K.2 y L.2.

Tabla 5.53. Reducción de pérdidas con los nuevos conductores

Potencia	Inicial	Corregida	Reducción	% Disminución
P (kW)	4,3	2,3	2	46,51
Q(kVAr)	2	1,4	0,6	0,3

5.6.2. Solución 2: Dimensionamiento del filtro pasivo para mitigar armónicos en el transformador de 125 kVA

Con base en los cálculos realizados en el Anexo J se determinó los parámetros adecuados para la selección de un filtro pasivo que mitiga el armónico de orden 5, además de elevar el factor de potencia. Los resultados de los elementos que conforman el filtro se han detallado en la Tabla 5.54.

Tabla 5.54. Resultados del filtro pasivo dimensionado

Parámetros	Resultados
X_C	1,7863 Ω
X_L	0,0809 Ω
C	1,4849 mF
L	0,2146 mH
R	0,0190 Ω
Q_{eff}	30 kVAr

5.6.2.1. Resultados de la simulación solución 2 TRAF0_125 kVA

En la Tabla 5.55 se comparó los resultados obtenidos con el diseño de un filtro pasivo, este permitió reducir el quinto armónico de 10,43 % que es el más representativo a un 2,90 %, así como la reducción de los armónicos de orden 7, 11, 13; además de corregir el factor de potencia a 0,96 en su estado de carga máxima registrado por el analizador de redes FLUKE 435_II. La simulación de este caso se presenta en Figura K.3 del Anexo K.

Tabla 5.55. Comparación de parámetros antes y después del filtro transformador 125 kVA

FACTOR DE POTENCIA		
Orden	Antes del Filtro	Con el filtro
	0,86	0,97
ARMÓNICOS DE CORRIENTES		
Orden	Antes del filtro	Con el filtro
3	11,56 %	0 %
5	10,43 %	2,90 %
7	7,57 %	3,5 %
9	2,99 %	0 %
11	6,04 %	2,5 %
13	2,72 %	1,5 %
ARMÓNICOS DE VOLTAJES		
Orden	Antes del Filtro	Con el filtro
3	1,02 %	0 %
5	2,31 %	0,6 %
7	0,97 %	0,4 %
9	0,49 %	0 %
11	1,03 %	0,45 %
13	0,57 %	0,5 %

La Figura 5.28 expresa gráficamente las correcciones que ha sufrido la onda de corriente al ingresar un filtro pasivo para el quinto armónico, al implementar este filtro es necesario retirar cualquier banco de capacitor existente que pueda producir resonancia en el sistema eléctrico acoplado al secundario del transformador de 125 kVA.

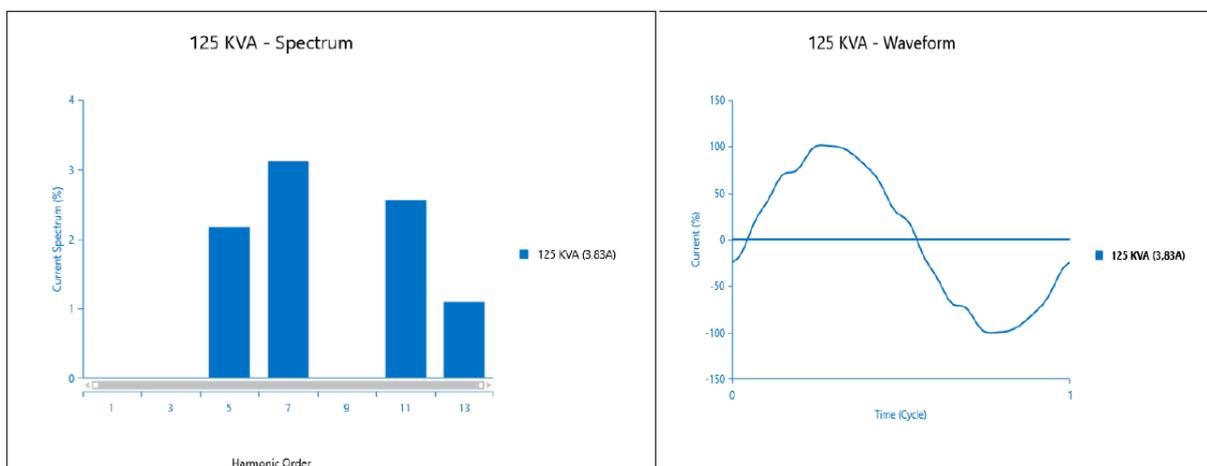


Figura 5.28. Resultados de armónicos con la implementación del filtro pasivo

Para reducir el tercer armónico es recomendable la utilización de un transformador delta estrella de relación 1:1 a 220 V que alimente a las cargas no lineales, el transformador en este caso será

de 25 kVA según el balance de cargas realizadas en la Tabla I.1 del Anexo I, además que se contempla la utilización de un sistema de puesta a tierra que se presenta en la solución 4.

5.6.3. Solución 3: Traslado de cargas del TRAFO_125 kVA al TRAFO_500 kVA

El TRAFO_125 kVA a pesar de aplicar las soluciones antes mencionado sigue con problemas de sobrecargabilidad si se opera con todas las cargas conectados al mismo, por ende, una solución viable es el traslado de maquinarias con mayor consumo que se encuentran en las áreas de Cocción y empaque al vacío al TRAFO_500 kVA. Se realizó una simulación aplicando este criterio, los resultados se muestran en la Tabla 5.56, en el TRAFO_125 kVA la cargabilidad se reduce de 537,4 % a 163,8 %, además, se disminuye las pérdidas de 198 kW a 17,5 kW y de 196 kVAr a 13,1 kVAr, en el caso del TRAFO_500 kVA se incrementa la cargabilidad de 21 % a 97,3 %. Las simulaciones correspondientes a este caso se presentan en las Figuras K.4. y K.5. del Anexo K.

Tabla 5.56. Comparación de nuevos valores con el traslado de cargas a pleno carga al TRAFO_500 kVA

Parámetros	Antes de traslado de las cargas	Después del traslado de cargas
TRAFO_125 kVA		
% de cargabilidad	537,4	163,8
P (kW)	654	183
Q (kVAr)	446	109
Fp	0,83	0,877
Pérdidas		
P (kW)	198	17,5
Q (kVAr)	196	13,1
TRAFO_500 kVA		
% de cargabilidad	21	97,3
P(kW)	100	442
Q(kVAr)	35,5	228
Fp	0,95	0,894
Pérdidas		
P(kW)	4,3	49,43
Q(kVAr)	2	41,3

5.7. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Mediante la pinza telúromica AECM 3730 se obtuvo una resistencia de 25Ω en circuito cerrado en el tablero principal, la misma que se encuentra en los rangos permitidos por las normativas NEC y la IEEE 142-2007, estas son aplicables en el sector industrial. Por otro lado a pesar que el sistema de puesta a tierra se encuentra en los límites establecidos se debe mejorar en ciertos aspectos tales como: mejoramiento de las conexiones, reducción de la resistencia a tierra e inserción de un sistema de puesta a tierra. Teniendo en cuenta esto, con los resultados obtenidos a través del Telurómetro FLUKE 1625-2 se procedió a calcular las resistividades del suelo y sacar un promedio general que se utilizó para determinar soluciones más adelante, los resultados obtenidos se encuentran en la Tabla 5.57.

Tabla 5.57. Resultados de medición de la resistividad

Distancia (m)	Profundidad (cm)	Resistencia (Ω)	Resistividad ($\Omega.m$)
VERTICAL			
1	15	30,7	192,893789
1,5	15	16,7	157,393792
1,8	15	12,4	140,2406961
2	15	10,1	126,9203432
HORIZONTAL			
1	15	30,1	189,1238778
1,5	15	15,83	149,1942351
1,8	15	11,69	132,2107853
2	15	9,82	123,4017594
Total			1 211,379278
Promedio ($\Omega.m$)			151,4224097

5.7.1. Solución 4: Mejoramiento del sistema de puesta a tierra en la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”

Con el valor de resistividad promedio de $151,4224 \Omega.m$ obtenidos en la Tabla 5.60 se procedió a calcular la nueva resistencia de puesta a tierra con el fin de mejorar la misma. Para ello basando en la normativa IEEE 142-2007 (Ver Anexo A1), se empleó una configuración estrella de 8 puntas longitud del brazo L y profundidad $s/2$ como se muestra a continuación en la ecuación (5.5) y la Figura 5.29.

$$R = \frac{\rho}{16 \pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 10,98 - 5,51 \frac{s}{L} + 3,26 \frac{s^2}{L^2} - 1,17 \frac{s^4}{L^4} \right) \quad (5.5)$$

Donde:

ρ = resistividad del terreno en $\Omega \cdot m$

L = longitud del conductor en m

a = radio del conductor en m

s = profundidad a la que esta enterrado el conductor en m

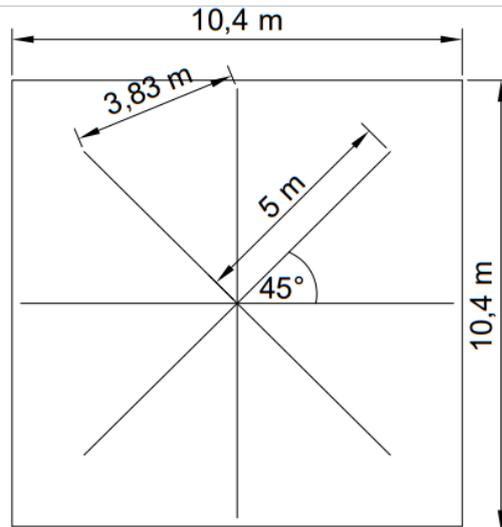


Figura 5.29. Sistema de 8 puntas longitud del brazo L y profundidad s/2

El radio a se obtuvo mediante la selección del conductor de la Tabla A.2 del Anexo A, en este caso se eligió un conductor de cobre desnudo calibre 3/0 AWG, obteniendo un valor de $a = 5,2021 \times 10^{-3} m$, se estimó una longitud de $L = 5 m$ considerando las dimensiones con las que cuenta la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” para el sistema de puesta a tierra.

Para la obtención de la profundidad s se basó en la normativa IEEE 142, donde establece que la profundidad de enterramiento óptima es de 1,52 m a 2,5 m.

$$R = \frac{151,4224}{16 \pi (5)} \left(\ln \frac{2(5)}{5,2021 \times 10^{-3}} + \ln \frac{2(5)}{1,52} + 10,98 - 5,51 \frac{(1,52)}{5} + 3,26 \frac{(1,52)^2}{(5)^2} - 1,17 \frac{(1,52)^4}{(5)^4} \right)$$

$$R = \frac{151,4224}{16 \pi (5)} (19,0419)$$

$$R = 11,4723 \Omega$$

$$11,4723 \Omega \leq 25 \Omega \text{ cumple con la normativa}$$

Después de la instalación es conveniente realizar pruebas continuas del sistema y compararlas con las originales para determinar si la resistencia a tierra se mantiene constante o incrementa a un valor no deseado, de ser así se debe tomar medidas preventivas para disminuir la misma. Esto se puede lograr reemplazando las conexiones corroídas, agregando electrodos, aumentando el contenido de humedad o mediante un tratamiento químico del suelo.

- **Tratamiento del gel para el sistema de puesta a tierra actual**

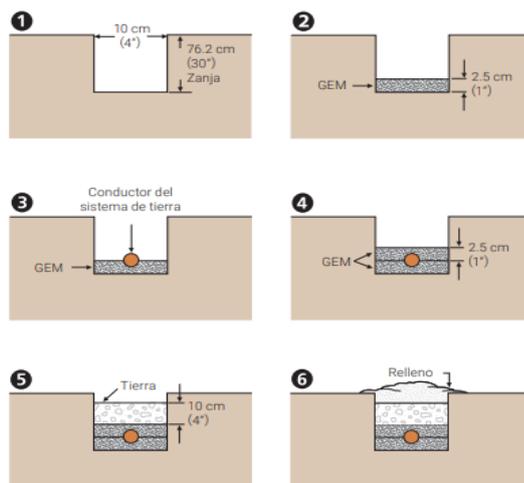


Figura 5.30. Tratamiento de gel para el sistema de puesta a tierra actual

Para el cálculo del costo que tendrá la implementación de

$$v = A_b * h$$

$$v_1 = (8 \text{ m} * 0,1 \text{ m}) * (0,025\text{m}) = 0,02\text{m}^3 * 4 = 0,08 \text{ m}^3$$

$$v_2 = (1,90 \text{ m} * 0,1 \text{ m}) * (0,025\text{m}) = 4,75 \times 10^{-3} \text{m}^3 * 9 = 0,04275 \text{ m}^3$$

$$v_T = v_1 + v_2 = 0,08 \text{ m}^3 + 0,04275 \text{ m}^3 = 0,12275 \text{ m}^3$$

$$peso = 0,12275 \text{ m}^3 * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3} = 122,75 \text{ Kg}$$

$$Total \text{ de power GEM} = \frac{122,75 \text{ Kg}}{11,25 \text{ Kg}} = 10,91 = 11 \text{ unidades}$$

Con el uso del mejorador de suelo (GEM) se contempla una reducción del 80 % de la resistencia actual dando como resultado una resistencia que puede llegar a variar entre 5 – 10 Ω.

5.8. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

5.8.1. Impacto técnico

Desde el punto de vista técnico la implementación de las soluciones anteriormente planteadas es factible debido a que ayudará a reducir y a fortalecer el sistema eléctrico de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” y principalmente mejorará el funcionamiento de sus procesos y prevendrá averías en la maquinaria.

5.8.2. Factibilidad económica

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

5.9. PRESUPUESTOS PARA EL PROYECTO

- Presupuesto solución 1: TRAF0_125 kVA

Tabla 5.58. Inversión para la solución 1 del TRAF0_125 kVA

BARRAS	LONGITUD (m)	CONDUCTOR	LONGITUD TOTAL(m)	PRECIO UNITARIO	COSTO
TABLERO PRINCIPAL	6	2x(4 x (250AWG))	48	\$13,10	\$628,80
SBT3	6	2 x(3 x (2/0 AWG))	36	\$7,15	\$257,40
SBT4	10	2x(3x (250 AWG))	60	\$13,10	\$786,00
SBT5	15	2x(3 x (2/0 AWG))	90	\$7,15	\$643,50
SBT6	76	2x(3 x (2/0 AWG))	456	\$7,15	\$3.260,40
SBT7	15	3 x (1/0 AWG)	45	\$5,59	\$251,55
SBT8	35	4 x (1/0 AWG)	35	\$5,59	\$195,65
SBT9	10	2x(3 x (2 AWG))	60	\$4,14	\$248,40
SBT10	20	2 x (3 x (2 AWG))	120	\$4,14	\$496,80
Horno chino - ADC	15	3 x (4 AWG)	15	\$7,45	\$111,75
Horno de mesa - ADC	10	3 x (4 AWG)	10	\$7,45	\$74,50
Emulsificadora - AP	11	3x(3/0 AWG)	33	\$9,35	\$308,55
CUTTER - AP	14	3 x(2 AWG)	42	\$4,14	\$173,88
Cutter SyldeIman - AP	20	2x(3 x (1/0 AWG))	60	\$5,59	\$335,40
Embutidora Robby 1 -AP	15	3 x (6AWG)	15	\$5,95	\$89,25
Embutidora HP10L - AP	21	3x(6AWG)	21	\$5,95	\$124,95
Embutidora Robby 2 - AP	18	3 x (4 AWG)	18	\$7,45	\$134,10
Bomba de vacío - AEV	4	3 x (6 AWG)	4	\$5,95	\$23,80
Máquina termoformadora - AEV	5	3 x (4 AWG)	5	\$7,45	\$37,25
Selladora de funda 1 - AEG	18	3 x (12 AWG)	18	\$1,75	\$31,50
Compresor -ACC	10	3 x (8 AWG)	10	\$4,20	\$42,00
Motor 1 - ACC	9	3 x (6 AWG)	9	\$5,95	\$53,55
Cámara de enfriamiento - MP	5	3 x (8 AWG)	5	\$4,20	\$21,00
Contenedor (cámara frigorífica)-MP	12	3 x (8 AWG)	12	\$4,20	\$50,40
				TOTAL + IVA	\$8.380,38

Según la Tabla 5.58 se prevé una inversión \$ 8 380,38, estos valores pueden variar en el tiempo debido a que toda moneda se devalúa cada año debido a la inflación de la misma, por lo cual estos valores tenderían a incrementarse.

- **Presupuesto Solución 1: TRAF0_500 kVA**

Tabla 5.59. Inversión de nuevos conductores del TRAF0_125 kVA

Barras	Longitud	Conductor	Longitud	Precio Unitario	Costo
TG3	46	2 x (3 x (4/0 AWG))	276	10,75	\$ 2 967,00
Cámara frigorífica 1	14	3 x (4 AWG)	14	7,45	\$ 104,30
Hielera	13	3 x (4 AWG)	13	7,45	\$ 96,85
Molino de carne Wetter	6	3 x (4 AWG)	6	7,45	\$ 44,70
Molino de carne chino	7	3 x (6 AWG)	7	5,95	\$ 41,65
				Total + IVA	\$ 3 254,50

De acuerdo a la Tabla 5.59 la inversión para esta solución es de un valor de \$ 3 254,50 por este motivo no es factible esta inversión debido a que la inversión con respecto al beneficio no es viable.

- **Presupuesto Solución 2**

Tabla 5.60. Presupuesto del filtro pasivo del TRAF0_125 kVA

Modelo	Tensión (V)	Pasos	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Filtro Pasivo VEMAC- 60 HZ	220/240	3	\$ 3 493,20	\$ 3 493,20
Costo de importación			\$ 1 435,56	\$ 1 435,56
Costo de transporte			\$ 200,00	\$ 200,00
Instalación			\$ 500,00	\$ 500,00
			IVA	\$ 675,45
			TOTAL	\$ 6 304,21

En la Tabla 5.60 se presenta el presupuesto correspondiente al filtro pasivo diseñado para la solución 2, mediante la cotización se determinó el precio de \$ 3 493,20 del mismo, además se considera el costo de importación, transporte y la instalación de este, obteniendo un valor de inversión total de \$ 6 304,21.

- **Presupuesto solución del sistema de puesta a tierra**

Tabla 5.61. Presupuesto del sistema de puesta a tierra

MATERIALES	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO 3/0 AWG	55	\$ 10,92	\$ 600,60
SUELDAS EXOTERMICAS	4	\$ 5,00	\$ 20,00
MOLDE DE GRAMOLDE TIPO CC-4 CABLE-CABLE 4/0AWG-2/0AWG	1	\$ 148,61	\$ 148,61
CONECTORES DE COBRE TIPO CUÑA 2 A 3/0 AWG	5	\$ 7,50	\$ 37,50
BORNERAS 1/0 A 3/0 AWG	10	\$ 1,35	\$ 13,50
CONECTOR PARALELO DE COBRE 3 PERNOS	2	\$ 22,75	\$ 45,50
MANO DE OBRA	1	\$ 132,00	\$ 132,00
		SUBTOTAL	\$ 997,71
		IVA 12 %	\$ 119,73
		TOTAL	\$ 1 117,44

Conforme a la resistencia de puesta a tierra obtenida en el apartado 5.7 este correspondía a un valor de 25 Ω motivo por el cual se realizó un rediseño de la puesta a tierra en base a la Tabla 5.57 y mediante los cálculos del apartado 5.7.1 se obtuvo la Tabla 5.61 en donde se estableció precios de mercado de materiales y mano de obra, obteniendo un valor total de \$ 1 117,44.

Tabla 5.62. Presupuesto para el mejoramiento de la puesta a tierra

MATERIALES	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
MEJORADOR DE RESISTIVIDAD	11	\$ 10,00	\$ 110,00
CONECTORES DE COBRE TIPO CUÑA 2 A 3/0 AWG	5	\$ 7,50	\$ 37,50
BORNERAS 1/0 A 3/0 AWG	10	\$ 1,35	\$ 13,50
CONECTOR PARALELO DE COBRE 3 PERNOS	2	\$ 22,75	\$ 45,50
		SUBTOTAL	\$ 206,50
		IVA 12 %	\$ 24,78
		TOTAL	\$ 231,28

De igual manera se planteó la posibilidad de disminución de la resistividad de la tierra mediante la implementación del mejorador del suelo (GEM) para lo cual se tomó en cuenta los cálculos del apartado 5.7.1, considerando que el mejorador garantiza el 80 % de reducción de la resistividad, mediante esto se determinó el presupuesto de \$ 231,28 como se observa en la Tabla 5.62.

5.10. CÁLCULO DEL TIR Y VAN

- **Solución 1: Balance de cargas y dimensionamiento de nuevos conductores**

Se realizó el cálculo del TIR y VAN correspondiente al escenario de dimensionamiento de nuevos conductores en el transformador de 125 kVA, los resultados se justifican en la Tabla L.1 del Anexo L, obteniendo los siguientes resultados:

$$\text{VAN} = \$ 5\,009,49$$

$$\text{TIR} = 19 \%$$

Tiempo de recuperación = 14 años

Para el caso del transformador de 500 kVA no se efectuó el cálculo debido a que las pérdidas son bajas y no se puede justificar una inversión de \$ 3 254,50 ni en un tiempo de 20 años de vida útil del conductor a condiciones ideales.

- **Solución 2: Dimensionamiento del filtro pasivo**

De igual manera el cálculo del TIR y VAN correspondiente al dimensionamiento del filtro activo se justifican en la Tabla L.2. del Anexo L donde se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\text{VAN} = \$ 558,99$$

$$\text{TIR} = 11 \%$$

Tiempo de recuperación = 14 años

- **Solución del sistema de puesta a tierra**

Para esta situación se planteó la implementación de las dos soluciones propuestas para mejorar el sistema de puesta a tierra, contemplando un tiempo de recuperación de 14 años como mínimo, de la misma forma los resultados se justifican en la Tabla L.3. del Anexo L.

$$\text{VAN} = \$ 678,87$$

$$\text{TIR} = 18 \%$$

Tiempo de recuperación = 14 años

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Con la revisión del estado del arte y los datos técnicos obtenidos a través de la investigación de campo se comprobó que la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” presenta una serie de perturbaciones eléctricas, siendo las más notables en el transformador de 125 kVA con un bajo Factor de potencia, un porcentaje de armónicos que superan el 10 % y el 4,5 % establecidos en la normativa IEE519, mientras que en el transformador de 500 kVA no superan el 12 % y el 5,5 %, motivo por el cual no necesita de un supresor de armónicos.
- Para la evaluación de los subsistemas conectados a los transformadores de 125 kVA y 500 kVA, se tomó en cuenta las normativas nacionales ARCERNR 002/20, ARCONEL 035/19 y normativas internacionales IEEE 519 y la IEEE 1159, determinando que el transformador de 125 kVA presenta un TDD de 12 % y un factor de potencia de 0,86, mientras que en el transformador de 500 kVA el TDD no superan el 15 % y el factor de potencia es 0,96, la variación de tensión supera el (± 8 %) en los dos transformadores. Además, que existe la presencia de sag's y swell.
- Mediante la simulación en el software ETAP 19.0.1 se corroboró los resultados emitidos por el analizador de redes y se identificó que el área de empaque al vacío, el área de procesos y el área de cocción son los puntos más críticos que generan mayores perturbaciones debido que aquí se encuentran las maquinarias como la emulsificadora, las retorcedoras y hornos. Mientras que en el transformador de 500 kVA las maquinarias con mayor carga son los Molinos de carne, mezcladoras correspondientes al área de producción de masas y las cámaras frigoríficas, esto permitió tomar acciones correctivas que ayuden a mejorar el sistema eléctrico.
- El conocer los problemas presentes en la instalación eléctrica facilitó plantear varias soluciones como el dimensionamiento de los conductores que ayudan a reducir las pérdidas en el sistema, el dimensionamiento de filtros pasivos que ayudan a mitigar armónicos y elevar el factor de potencia, otro de las soluciones planteadas es la de mejoramiento de la puesta a tierra, misma que es de vital importancia dentro de una industria ya que además de la seguridad del personal de la empresa ayuda a corregir varias permutaciones como los sags, swells y variación de voltaje entre otros, sin embargo la empresa está en virtud de aplicar soluciones que permita tener un sistema adecuado.

6.2. RECOMENDACIONES

- En la actualidad existe una gran variedad de normativas que dan un soporte al personal técnico, donde se aclaran varios 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 que existe una guía para el desarrollo de análisis de calidad de energía como las normativas, IEEE 18, IEEE 519, IEEE 1159 y IEEE 1131.
- Para mejorar el sistema de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA” una de las practicas más coherentes que debe tomar el personal de mantenimiento es el traslado de las cargas con mayor potencia al transformador de 500 kVA debido que el mismo trabaja a un 20 % del total de su carga máxima, esto no garantiza que no exista armónicos de corriente en vista que dependen de la maquinaria conectada al centro de carga y no de las fuentes de alimentación.
- Para tener un panorama más amplio de un sistema industrial medianamente grande es necesario aplicar un tiempo de recolección de datos más amplio debido a que una empresa varía su carga dependiendo de la producción que exista en el mes, motivo por el cual muy a menudo no se puede plantear soluciones que mitiguen falencias con mayor eficacia.
- Al momento de instalar el filtro pasa bajo se deberá retirar cualquier condensador que pueda entrar en resonancia con el supresor de armónicos pasivo en caso de no hacerlo este podría provocar sobrevoltajes e incluso llegar a explotar.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. P. M. Sánchez, «“EVALUACIÓN DEL SISTEMA ENERGÉTICO EN LAS INSTALACIONES DE LA EMPRESA EMBUTIDOS LA MADRILEÑA PARA GENERAR UNA PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE GESTIÓN ENERGÉTICA BASADA EN ISO 50001”», ESPE, Latacunga, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/14484>
- [2] X.-P. Zhang y Z. Yan, «Energy Quality: A Definition», *IEEE Open Access J. Power Energy*, vol. 7, pp. 430-440, 2020, doi: 10.1109/OAJPE.2020.3029767.
- [3] Q. Oropeza, Jose Mark, «Análisis de Calidad de la Energía Eléctrica en los Anillos E y F de la Red Eléctrica Subterránea de Distribución en 23 kV de Ciudad Universitaria, UNAM», UNAM, Mexico, 2017. [En línea]. Disponible en: https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000768482
- [4] S. Manrique, Ricardo Carlo, «“ ESTUDIO DE INSTALACIONES ELECTRICAS EN MT/BT PARA ALIMENTACION DE FUERZA A TRAVES DE CENTRO DE CONTROL DE MOTORES Y COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA PARA NUEVA FABRICA DE ALIMENTO DE MASCOTAS – MOLITALIA”», Universidad Católica de Santa María, Arequipa, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/7231>
- [5] D. R. Osorio, «DIMENSIONAMIENTO DE BANCOS DE CAPACITORES AUTOMÁTICOS PARA LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS 14,15 y 16 DE LA EMPRESA COMPAÑÍA DE EMPAQUES S.A.», Universidad de Antioquia, Medellín, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/18456>
- [6] U. Genovez, Karla Bryan, «“Modelo y análisis de armónicos en sistemas de distribución”», Universidad de Cuenca, Cuenca, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31459>
- [7] Y. Shklyarskiy, Z. Hanzelka, y A. Skamyin, «Experimental Study of Harmonic Influence on Electrical Energy Metering», *Energies*, vol. 13, n.º 21, Art. n.º 21, oct. 2020, doi: 10.3390/en13215536.
- [8] F. C. De La Rosa, *Harmonics and Power Systems*, 0 ed. CRC Press, 2006. doi: 10.1201/9781420004519.

- [9] Vizuite, Alejandro, «“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA SUMINISTRADA POR LA SUBESTACIÓN LASSO A LA EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI S.A. EN EL AÑO 2014. PROPUESTA DE UN PLAN CORRECTIVO ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE”», Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6171>
- [10] International Electrotechnical Commission, International Electrotechnical Commission, Subcommittee 77A : Low-frequency phenomena, International Electrotechnical Commission, y Technical Committee 77 : Electromagnetic compatibility, *Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3-3, Part 3-3*,. 2013.
- [11] S. Rahman, M. Moghaddami, A. I. Sarwat, T. Olowu, y M. Jafaritarposhti, «Flicker Estimation Associated with PV Integrated Distribution Network», en *SoutheastCon 2018*, abr. 2018, pp. 1-6. doi: 10.1109/SECON.2018.8479058.
- [12] C. Monja Alarcón, «Análisis probabilístico de Flicker en redes residenciales», info:eu-repo/semantics/bachelorThesis, UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID, 2020. Accedido: 10 de enero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://oa.upm.es/66086/>
- [13] O. A. Chero Alejandria, «Estudio del efecto flicker en una empresa industrial: Caso aplicado a la heladería El Chalán S.A.C.», *Univ. Piura*, ago. 2021, Accedido: 10 de enero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/5069>
- [14] Molina, Omar, «INFLUENCIA DE UN FILTRO EFICIENTE PARA MITIGAR LAS CORRIENTES ARMÓNICAS EN BAJA TENSIÓN DEL SED 598 DEL CENTRO COMERCIAL “EL MOLINO I” – CUSCO», Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco- Perú, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12918/5337>
- [15] Basante, Viviana, «ANÁLISIS DE MODELOS DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA PARA DIFERENTES ELECTRODOS Y CONDICIONES DE SUELOS.», pp. 1-38, nov. 2019.
- [16] *IEEE Std 80-2013 (Revision of IEEE Std 80-2000/ Incorporates IEEE Std 80-2013/Cor 1-2015)*. Place of publication not identified: IEEE., 2015.
- [17] J. M. Rodríguez-Serna, W. M. Villa-Acevedo, J. A. Valencia, y Á. Jaramillo, «Cálculo de los parámetros del modelo del suelo de dos capas para sistemas de puesta a tierra utilizando Python», vol. 41, n.º 29, p. 11, 10 de julio de 2020.

- [18] «IEEE Std 142-2007 (Revision of IEEE Std 142-1991) IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems», p. 225.
- [19] ARCERNNR, *Regulación ARCERNNR 002/20*. 2020, p. 36. [En línea]. Disponible en: https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/12/Regulacion-No.-ARCERNNR-002_20-Calidad-de-Distribucion.pdf
- [20] «IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems», *IEEE Std 519-2014 Revis. IEEE Std 519-1992*, pp. 1-29, jun. 2014, doi: 10.1109/IEEESTD.2014.6826459.
- [21] «IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality», *IEEE Std 1159-1995*, pp. 1-80, nov. 1995, doi: 10.1109/IEEESTD.1995.79050.
- [22] ARCERNNR, *PLIEGO TARIFARIO DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA*. 2021, p. 35. [En línea]. Disponible en: https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/06/Anexo_1_pliego_tarifario_spee_2021.pdf
- [23] C. A. G. Lara, «Estudio de contaminación armónica en sistemas eléctricos de potencia considerando cambios topológicos de la red empleando DIgSILENT+DPL.», 2019. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/47417/3560900259625UTFSM.pdf?sequence=1>
- [24] IEEE, «IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems», IEEE, ene. 2022. doi: 10.1109/IEEESTD.2014.6826459.
- [25] IEEE, *IEEE 18 Standard for Shunt Power Capacitors*. 2002, p. 24.
- [26] M. Astudillo, V. Vásquez, y S. Rojas, «Implementación de un filtro pasivo para compensación armónica y corrección del factor de potencia», *ESIME Inst. Politécnico Nac. MÉXICO*, vol. 20, p. 9, 2016.
- [27] S. IEEE, «IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality». IEEE Std 1159TM-2019, 2009.

- [28] E. Universitat Politècnica de València, «SIMULACIÓN DE UN ANALIZADOR DE LA CALIDAD ELÉCTRICA», UNIVERSIDAD POLITÈCNICA DE VALÈNCIA, 2014. Accedido: 9 de enero de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/3293>
- [29] S. B. M. Yepes, «Manual para el uso de las herramientas básicas del software ETAP», Universidad de la Salle, Bogotá, 2015. [En línea]. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1006&context=ing_electrica
- [30] J. L. Araucano Paredes, «Seguridad de los circuitos de protección eléctricos para reducir el peligro en humanos y equipos eléctricos en las escuelas profesionales de la UNA, Puno - 2021», Universidad Nacional del Altiplano, 2021. Accedido: 9 de enero de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/17245>
- [31] FLUKE, «Manual de uso Fluke 1625-2». Fluke Corporations, enero de 2014. [En línea]. Disponible en: <https://docs.rs-online.com/4f9b/0900766b81718b0e.pdf2014>

8. ANEXOS

Anexo A: Sistema de puesta a tierra

Tabla A.1. Fórmulas para el cálculo de resistencias a tierra industriales según la IEEE 142-2007.

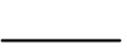
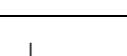
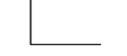
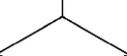
	Radio del hemisferio a	$R = \frac{\rho}{2\pi a}$
	Una varilla de tierra longitud L, radio a	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$
	Dos varillas de tierra s > L, espaciado s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \right)$
	Dos varillas de tierra s < L, espaciado s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \right)$
	Cable horizontal enterrado longitud 2L, profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \right)$
	Giro en angulo recto del cable, longitud del brazo L, profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 0,2373 + 0,2146 \frac{s}{L} + 0,1035 \frac{s^2}{L^2} + 0,0424 \frac{s^4}{L^4} \right)$
	Estrella de tres puntas longitud del brazo L, profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 1,071 - 0,209 \frac{s}{L} + 0,238 \frac{s^2}{L^2} - 0,054 \frac{s^4}{L^4} \right)$
	Estrella de cuatro puntas longitud del brazo L, profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 2,912 - 1,071 \frac{s}{L} + 0,645 \frac{s^2}{L^2} - 0,145 \frac{s^4}{L^4} \right)$
	Estrella de seis puntas longitud del brazo L, profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{12\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 6,851 - 3,128 \frac{s}{L} + 1,758 \frac{s^2}{L^2} - 0,490 \frac{s^4}{L^4} \right)$
	Estrella de ocho puntas longitud del brazo L, profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{16\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 10,98 - 5,51 \frac{s}{L} + 3,26 \frac{s^2}{L^2} - 1,17 \frac{s^4}{L^4} \right)$
	Anillo de alambre, diametro del anillo D, diametro del alambre d, profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{2\pi^2 L} \left(\ln \frac{8D}{a} + \ln \frac{4D}{s} \right)$
	Tira horizontal enterrada longitud 2L, seccion a por b, profundidad s/2, b < a/8	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} + \ln \frac{4L}{s} - 1 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \right)$
	Placa redonda horizontal enterrada radio a, profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{7a^2}{12s^2} + \frac{33a^4}{40s^4} \right)$
	Placa redonda vertical enterrada radio a, profundidad s/2	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{7a^2}{24s^2} + \frac{99a^4}{320s^4} \right)$

Tabla A.2. Parámetros para la selección del conductor de puesta a tierra

Corriente nominal o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, tubos conduit, etc. (A)	Sección Transversal			
	Alambre de cobre		Alambre de aluminio o de aluminio revestido de cobre *	
	mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o kcmil
15	2,08	14	3,30	12
20	3,30	12	5,25	10
30	5,25	10	8,36	8
40	5,25	10	8,36	8
60	5,25	10	8,36	8
100	8,36	8	13,29	6
200	13,29	6	21,14	4
300	21,14	4	33,62	2
400	26,66	3	42,20	1
500	33,62	2	53,50	1/0
600	42,20	1	67,44	2/0
800	53,50	1/0	85,02	3/0
1.000	67,44	2/0	107,21	4/0
1.200	85,02	3/0	126,67	250 kcmil
1.600	107,21	4/0	177,34	350 kcmil
2.000	126,67	250 kcmil	202,68	400 kcmil
2.500	177,34	350 kcmil	304,02	600 kcmil
3.000	202,68	400 kcmil	304,02	600 kcmil
4.000	253,25	500 kcmil	405,36	800 kcmil
5.000	354,69	700 kcmil	608,04	1.200 kcmil
6.000	405,36	800 kcmil	608,04	1.200 kcmil

Anexo B: Categorías y características típicas de los fenómenos electromagnéticos del sistema de potencia.

Categorías	Contenido espectral típico	Duración típica	Magnitud de voltaje típica
1.0 Transitorios			
1.1 Impulsivo			
1.1.1 Nanosegundo	5 ns aumento	< 50 ns	
1.1.2 Microsegundos	1µs aumento	50 ns - 1 ms	
1.1.3 milisegundos	0,1 ms aumento	> 1 ms	
1.2 Oscilatorio			
1.2.1 Frecuencia baja	< 5 kHz	0.3 - 50 ms	0-4 pu
1.2.2 Frecuencia media	5 - 500 kHz	20µs	0-8 pu
1.2.3 Alta frecuencia	0.5 - 5 MHz	5µs	0-4 pu
2.0 Variaciones de corta duración			
2.1 Instantáneo			
2.1.1 Sag		0.5 - 30 ciclos	0.1-0.9 pu
2.1.2 Swell		0.5 - 30 ciclos	1.1-1.8 pu
2.2 Momentáneo			
2.2.1 Interrupción		0.5 ciclos- 3s	< 0.1 pu
2.2.2 Sag		30 ciclos- 3s	0.1-0.9 pu
2.2.3 Swell		30 ciclos- 3s	1.1-1.4 pu
2.3 Temporal			
2.3.1 Interrupción		3s - 1min	< 0.1 pu
2.3.2 Sag		3s - 1min	0.1-0.9 pu
2.3.3 Swell		3s - 1min	1.1-1.2 pu
3.0 Variaciones de larga duración			
3.1 Interrupción sostenida		> 1 min	0.0 pu
3.2 Subtensiones		> 1 min	0.8-0.9 pu
3.3 Sobretensiones		> 1 min	1.1-1.2 pu
4.0 Desequilibrio de voltaje		estado estable	0.5 - 2%
5.0 distorsión de la forma de onda			
5.1 Desplazamiento de CC		estado estable	0-0.1%
5.2 Armónicos	0-100th H	estado estable	0-20%
5.3 Interarmónicos	0-6kHz	estado estable	0-2%
5.4 Muestras		estado estable	
5.5 Ruido	banda ancha	estado estable	0-1%
6.0 fluctuaciones de voltaje	< 25 Hz	intermitente	0.1-7%
7.0 Variaciones de frecuencia de energía		< 10 s	

Anexo C: Codificación de áreas de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”

CODIFICACIÓN AREAS	SIGNIFICADO
APM	Área de Producción de Masas
AP	Área de Procesos
ADC	Área de Cocción
ABH	Banco de Hielo
AE	Área de Enfriamiento
AEV	Área del Empaque al Vacío
AEG	Área de Empaque al Granel
AFD	Área de Formulación y Desarrollo
AT	Área de Tripas
APT	Área de Producto Terminado
ADES	Área de Despacho
ADAMP	Área de Almacenamiento de Materia Prima
AST	Área de Salsa De Tomate
BS	Bodegas de Suministro
AD	Área de Devoluciones
AV	Área de Virutas
ACC	Área de Calderos y Compresores
PTA	Planta de Tratamiento de Agua
AM	Área de Mantenimiento
ABC	Área de Bombas y Cisternas
PI	Pasillos Internos
ADA	Área de Administración
ASC	Área de Seguimiento de Calidad
ADNP	Área de Desarrollo de Nuevos Productos
SC	Sala de Capacitaciones
CM	Consultorio Médico
CM	Comedor
CAF	Cafetería
PE	Pasillos Externos
BÑ	Baños
MP	Materia prima
PP	Planta de Produccion
TRAFO_125 KVA	Transformador de 125 KVA
TRAFO_500 KVA	Transformador de 500 KVA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

Anexo D: Facturas electrónicas de consumo eléctrico y egreso económico de los medidores 448 y 451 de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”

Tabla D.1. Facturación del año 2019 medidor 448 TRAF0_125 kVA

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR 2019												
CONSUMO DE ENERGIA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Consumo 2019	18,076	16,561	18,149	15,533	18,51	17,834	16,823	17,185	17,657	16,731	17,388	20,73
Dem.Mes 2019	94	96	97	88	100	104	93	98	101	102	106	97
Dem.Facturada 2019	95	97	98	89	102	106	94	99	103	104	108	98
Dem.Pico 2019	31	34	45	30	50	43	30	32	43	43	37	49
P.I.T.	354	325	356	305	363	350	330	337	346	328	341	406
Factor de Potencia 2019	0,98	0,985	0,974	0,99	0,978	0,965	0,969	0,971	0,969	0,95	0,924	0,879
FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO 2019												
CONCEPTO	Valor Total \$											
Consumo + PIT 2019	161,46	137,4	151,51	125,79	158,04	141,24	133,25	135,33	148,19	149,33	157,52	201,07
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 2019	330,11	280,31	335,37	259,92	323,3	330,66	277,25	301,55	304,36	301,65	337,22	461,12
Consumo Act.Pico Fer 2019	47,72	38,66	51,4	34,44	44,04	53,82	35,7	44,31	45,84	38,93	54	73,11
Consumo activa valle 2019	843	826,14	845,06	784,7	900,77	831,7	861,66	840,22	864,89	792,59	765,68	786,85
Demanda 2019	219,37	224,04	226,37	205,37	233,38	242,71	217,04	228,71	235,71	238,04	247,38	226,37
Bajo Factor de Potencia 2019												81,62
Tasa de Alumbrado Público 2019	247,21	385,23	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 2019							1,74	1,79	5,38	1,09		
SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO \$	1850,28	1893,19	1996,35	1796,86	1908,15	1848,75	1775,26	1800,53	1852,99	1770,25	1810,42	2078,76
TOTAL SERVICIO ELÉCTRICO 2019	1850,28	1893,19	1996,35	1796,86	1908,15	1848,75	1775,26	1800,53	1852,99	1770,25	1810,42	2078,76

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla D.2. Facturación del año 2020 medidor 448 TRAF0_125 kVA

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR 2020												
CUNSUMO DE ENERGIA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Consumo 2020	17,386	15,125	14,481	16,85	20,1	20,32	20,671	21,706	22,246	23,335	21,856	23,572
Dem.Mes 2020	100	77	73	75	95	85	87	90	97	96	87	107
Dem. Facturada 2020	102	78	74	76	96	86	88	91	98	97	88	109
Dem.Pico 2020	42	36	34	58	46	51	33	48	44	39	31	53
P.I.T.	341	297	284	330	394	398	405	426	436	458	429	462
Factor de Potencia 2020	0,912	0,947	0,914	0,977	0,905	0,899	0,907	0,913	0,92	0,922	0,897	0,876
FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO 2020												
CONCEPTO	Valor Total \$											
Consumo + PIT 2020	154,72	139,79	134,81	195,68	178,88	199,52	192,47	195,37	207,92	207,5	186,56	214,45
Comercialización 2020	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 2020	355,16	289,23	300,7	337,82	443,54	391,58	389,73	441,33	432,26	463,48	492,28	460,47
Consumo Act.Pico Fer 2020	57,86	44,22	47,63	50,86	75,17	52,65	53,1	72,39	60,01	68,08	84,5	64,31
Consumo activa valle 2020	731,95	673,74	596,33	686,47	778,95	896,37	936,83	915,48	981,68	1015,76	833,22	1040,16
Demanda 2020	233,38	179,7	170,36	245,15	221,71	198,37	203,04	210,04	226,37	224,04	203,04	249,71
Bajo Factor de Potencia 2020	13,46		8,21		28,17	40,64	25,46	14,08			46,18	101,99
Tasa de Alumbrado Público 2020	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 2020		8,31										
SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO \$	1795,15	1583,61	1506,66	1764,6	1975,04	2027,75	2049,25	2097,31	2156,86	2227,48	2094,4	2379,71
TOTAL SERVICIO ELÉCTRICO 2020	1795,15	1583,61	1506,66	1764,6	3780,2	5842,23	7925,76	2097,31	4288,45	6550,21	8678,89	2379,71

Tabla D.3. Facturación del año 2021 medidor 448 TRAF0_125 kVA

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR 2021												
CUNSUMO DE ENERGIA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Consumo 2021	22,013	21,35	23,957	21,147	24,355	23,122	23,148	23,926	22,716	24,2	22,876	24,983
Dem.Mes 2021	87	92	91	95	106	98	102	109	102	110	108	105
Dem.Factura 2021	88	93	92	96	108	99	104	111	104	112	110	107
Dem.Pico 2021	30	46	32	35	41	32	32	31	34	34	39	52
P.I.T.	432	419	470	415	478	453	454	468	445	475	449	492
Factor de Potencia 2021	0,897	0,913	0,9	0,919	0,9	0,91	0,91	0,902	0,893	0,897	0,859	0,893
FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO 2021												
CONCEPTO	Valor Total \$											
Consumo + PIT 2021	192,47	208,75	228,97	200,76	212,59	209,47	203,25	201,9	204,39	201,7	193,71	240,17
Comercialización 2021	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 2021	477,75	442,58	479,31	413,93	503,1	458,52	458,47	468,69	429,41	502,8	498,39	482,96
Consumo Act.Pico Fer 2021	80,19	63,24	63,15	61,09	80,91	64,58	69,97	70,59	58,39	84,68	78,94	64,23
Consumo activa valle 2021	872,51	878,88	1029,58	921,04	1019,08	1007,33	1009,75	1061,78	1033,61	1011,37	913,15	1104,3
Demanda 2021	203,04	214,71	212,37	221,71	247,38	228,71	238,04	254,38	238,04	256,71	252,05	245,04
Bajo Factor de Potencia 2021	46,86	13,87	44,77	1,98	45,88	21,65	21,77	41,08	59,42	52,79	137,6	64,65
Tasa de Alumbrado Público 2021	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 2021	57,88			15,46		3,7						
SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO \$	2179,32	2070,65	2306,77	2084,59	2357,56	2242,58	2249,87	2347,04	2271,88	2358,67	2322,46	2449,97
TOTAL SERVICIO ELÉCTRICO 2021	2179,32	4284,25	2306,77	2084,59	2357,56	2242,58	2249,87	2347,04	2271,88	2358,67	2322,46	2449,97

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla D.4. Facturación del año 2019 medidor 451 TRAF0_500 kVA

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR 2019												
CUNSUMO DE ENERGIA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Consumo 2019	18,676	19,079	19,162	18,022	20,044	17,343	17,974	17,866	7,934	10,315	10,154	12,338
Dem.Mes 2019	58	59	58	57	59	55	55	57	57	51	51	51
Dem.Factura 2019	59	60	59	58	60	56	56	58	58	52	52	52
Dem.Pico 2019	50	52	53	49	52	51	47	48	48	28	23	28
P.I.T.	336	374	376	353	393	340	352	350	156	202	199	242
Factor de Potencia 2019	0,967	0,96	0,968	0,967	0,969	0,968	0,966	0,966	0,964	0,925	0,928	0,932
FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO 2019												
CONCEPTO	Valor Total \$											
Consumo + PIT 2020	264,64	270,86	278,95	256,97	255,72	238,41	256,14	241,21	113,86	146,01	135,33	162,91
Comercialización 2020	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 2020	410,62	420,04	419,44	372,94	461,27	391,73	361,17	395,44	157,46	223,2	222,74	271,84
Consumo Act.Pico Fer 2020	69,61	50,41	50,68	52,21	74,72	63,51	50,77	58,75	18,84	26,1	27,36	37,14
Consumo activa valle 2020	641,53	674,63	675,89	674,36	676,16	584,57	693,29	627,18	312,43	373,24	367,59	441,95
Demanda 2020	219,99	230,72	270,72	215,32	230,72	256,71	206,07	209,3	209,3	119,02	119,02	119,02
Bajo Factor de Potencia 2019												
Tasa de Alumbrado Público	247,21	385,23	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							1,77	1,71	5,51	1,08		
SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO \$	1855,01	2033,3	2082,32	1958,44	1947,21	1783,55	1817,83	1782,21	1066,02	1137,27	1120,66	1281,48
TOTAL SERVICIO ELÉCTRICO 2019	1855,01	2033,3	2082,32	1958,44	1947,21	1783,55	1817,83	1782,21	1066,02	1137,27	1120,66	1780,61

Tabla D.5. Facturación del año 2020 medidor 451 TRAF0_500 kVA

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR 2020												
CUNSUMO DE ENERGIA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Consumo 2020	10,796	10,558	10,308	10,554	10,344	10,444	10,501	10,348	10,062	10,919	10,239	11,785
Dem.Mes 2020	51	47	45	48	42	42	42	42	42	42	47	56
Dem.Factura 2020	52	47	45	48	42	42	42	42	42	42	47	57
Dem.Pico 2020	28	28	25	27	28	23	23	23	23	28	28	28
P.I.T.	212	207	202	207	203	205	206	203	197	214	201	231
Factor de Potencia 2020	0,926	0,929	0,932	0,929	0,926	0,93	0,929	0,93	0,938	0,931	0,931	0,925
FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO 2020												
CONCEPTO	Valor Total \$											
Consumo + PIT	148,6	131,8	135,33	138,54	130,35	140,72	144,25	136,26	143,11	147,57	117,49	144,56
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	224,2	218,49	218,69	220,44	227,25	206,06	197,9	197,69	196,74	222,95	222,49	221,79
Consumo Act.Pico Fer	26,46	33,73	29,87	30,05	34,62	24,76	24,76	22,25	17,49	26,1	40,99	28,17
Consumo activa valle	411,99	408,14	386,16	402,13	373,6	421,41	438,09	434,15	409,03	426,52	377,46	506,81
Demanda	119,02	109,69	105,02	112,02	112,55	98,02	98,02	98,02	98,02	112,55	109,69	130,69
Bajo Factor de Potencia 2020												
Tasa de Alumbrado 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		5,95										
SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO \$	1178,89	1156,42	1123,69	1151,8	1126,99	1139,59	1151,64	1136,99	1113,01	1184,31	1116,74	1280,64
TOTAL SERVICIO ELÉCTRICO 2020	1178,89	1156,42	1123,69	1151,8	2319,35	3493,22	4679,14	1136,99	2284,28	3502,87	4653,89	1280,64

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla D.6. Facturación del año 2021 medidor 451 TRAF0_500 kVA

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR 2021												
CUNSUMO DE ENERGIA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Consumo 2021	10,134	10,629	11,357	10,101	11,382	11,243	10,628	10,376	11,005	11,677	11,382	13,122
Dem.Mes 2021	42	51	42	51	47	51	42	42	47	51	47	51
Dem.Factura 2021	42	52	42	52	47	52	42	42	47	52	47	52
Dem.Pico 2021	23	23	28	28	28	28	28	28	28	28	28	33
P.I.T.	199	208	223	198	223	220	208	203	216	229	223	257
Factor de Potencia 2021	0,933	0,926	0,916	0,916	0,92	0,932	0,93	0,922	0,94	0,935	0,929	0,934
FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO 2021												
CONCEPTO	Valor Total \$											
Consumo + PIT	113,14	135,22	142,28	134,19	136,68	141,14	137,2	133,77	134,19	139,17	130,77	177,12
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	220,79	210,57	222,24	199,6	239,68	214,38	212,93	196,74	206,06	250,65	242,08	262,57
Consumo Act.Pico Fer	39,29	31,57	29,42	22,25	38,93	31,22	26,46	31,57	28,61	40,19	38,93	37,94
Consumo activa valle	376,56	427,87	468,32	410,38	434,69	471,37	426,97	431,19	473,53	438,09	435,49	515,78
Demanda	98,02	119,02	112,55	119,02	109,69	119,02	112,55	112,55	109,69	119,02	109,69	131,4
Bajo Factor de Potencia 2021			4,26	3,87								
Tasa de Alumbrado 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	31,21			8,11		2,06						
SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO \$	1127,63	1172,87	1227,69	1146,04	1208,29	1227,81	1164,73	1154,44	1200,7	1235,74	1205,58	1373,43
TOTAL SERVICIO ELÉCTRICO 2021	1127,63	2334,78	1227,69	1146,04	1208,29	1227,81	1164,73	1154,44	1200,7	1235,74	1205,58	1373,43

Anexo E: Demanda medias semanales de los transformadores de 125 kVA y 500 kVA.**Tabla E.1.** Demanda media semanal del TRAF0_125 kVA

No	Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
		13/12/2021	14/12/2021	15/12/2021	16/12/2021	17/12/2021	18/12/2021	19/12/2021
1	1:00	22,8	17,5	15,42	21,33	21,33	19,88	18,9
2	2:00	22,07	23,91	18,54	20	20	22,36	17,07
3	3:00	17,75	21,44	20,99	16,53	16,53	20,79	16,75
4	4:00	16,89	17,22	13,33	21,42	21,42	26,48	22,52
5	5:00	18,87	14,59	25,33	21,82	21,82	21,66	16,88
6	6:00	19,36	17,43	25,44	21,78	17,91	17,01	18,52
7	7:00	22,06	66,62	68,97	33,73	17,88	22,64	19,17
8	8:00	23,94	72,61	59,33	37,56	21,47	15,76	21,48
9	9:00	48,25	50	75,06	39,75	33,82	26,63	20,24
10	10:00	61,74	54,63	73,02	78,77	34,42	24,30	13,29
11	11:00	71,35	57,75	94,07	52,37	31,71	24,31	15,48
12	12:00	47,02	42,7	40,78	30,3	24,38	23,11	17,65
13	13:00	49,76	61,35	60,2	52,07	17,15	24,01	16,47
14	14:00	51,12	67,43	41,26	50,9	33,93	22,38	15,92
15	15:00	54,43	47,3	50,12	28,01	27,5	17,16	20,76
16	16:00	45,1	29,48	35,98	25,39	24,18	14,46	22,05
17	17:00	28,93	24,27	26,96	18,19	21,36	16,03	24,54
18	18:00	20,37	21,37	21,86	17,26	21,51	21,69	17,98
19	19:00	19,51	22,53	20,29	18,42	27,33	16,35	20,43
20	20:00	19,8	20,37	20,87	13,21	17,2	16,17	19,91
21	21:00	22,6	19,62	18,08	17,21	19,65	18,43	21,16
22	22:00	23,08	25	19,29	18,16	20,25	17,71	18,08
23	23:00	19,21	22,16	17,05	21,27	22,71	15,74	22,19
24	24:00:00	14,89	16,16	22,47	24,39	24,39	12,78	14,29

Tabla E.1 Demanda media semanal del TRAF0_500 KVA

No	Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
		20/12/2021	21/12/2021	22/12/2021	23/12/2021	24/12/2021	25/12/2021	26/12/2021
1	1:00	10,32	38,65	39,56	15,72	14,40	16,42	30,04
2	2:00	11,48	34,86	36,15	12,84	24,09	6,77	31,92
3	3:00	11,70	11,10	35,90	12,41	14,26	12,79	32,49
4	4:00	6,80	13,57	32,76	14,15	10,93	10,90	31,44
5	5:00	10,67	4,49	22,57	7,28	13,30	20,72	10,99
6	6:00	10,61	12,39	15,79	6,95	12,10	11,65	7,43
7	7:00	19,40	28,15	16,57	39,16	21,88	8,52	13,88
8	8:00	28,71	28,35	39,12	44,46	38,82	11,74	7,61
9	9:00	23,27	27,79	38,03	56,60	31,08	34,04	21,76
10	10:00	28,09	35,77	39,17	49,04	41,46	34,77	10,35
11	11:00	38,54	38,37	40,46	25,92	40,33	38,10	15,23
12	12:00	40,02	38,72	30,62	41,10	39,86	39,20	14,70
13	13:00	31,38	37,47	37,16	38,56	36,84	39,93	15,03
14	14:00	35,66	40,43	40,17	40,98	40,20	41,66	24,45
15	15:00	29,94	37,88	40,17	32,21	40,26	40,41	9,94
16	16:00	38,00	37,96	40,21	41,35	41,35	32,46	10,49
17	17:00	38,09	40,91	40,91	41,09	39,84	29,08	15,69
18	18:00	51,39	46,18	39,07	38,50	29,50	37,43	14,56
19	19:00	50,71	51,20	38,05	54,31	37,96	30,04	7,80
20	20:00	42,80	48,63	37,77	50,78	34,10	32,11	16,23
21	21:00	44,86	45,35	27,63	37,69	22,37	22,37	15,41
22	22:00	37,94	41,60	29,82	37,24	21,33	23,18	14,12
23	23:00	37,94	44,04	31,71	36,33	24,46	22,48	8,15
24	24:00:00	33,88	34,84	23,44	11,86	16,66	26,52	13,45

Anexo F: Planos eléctricos de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”

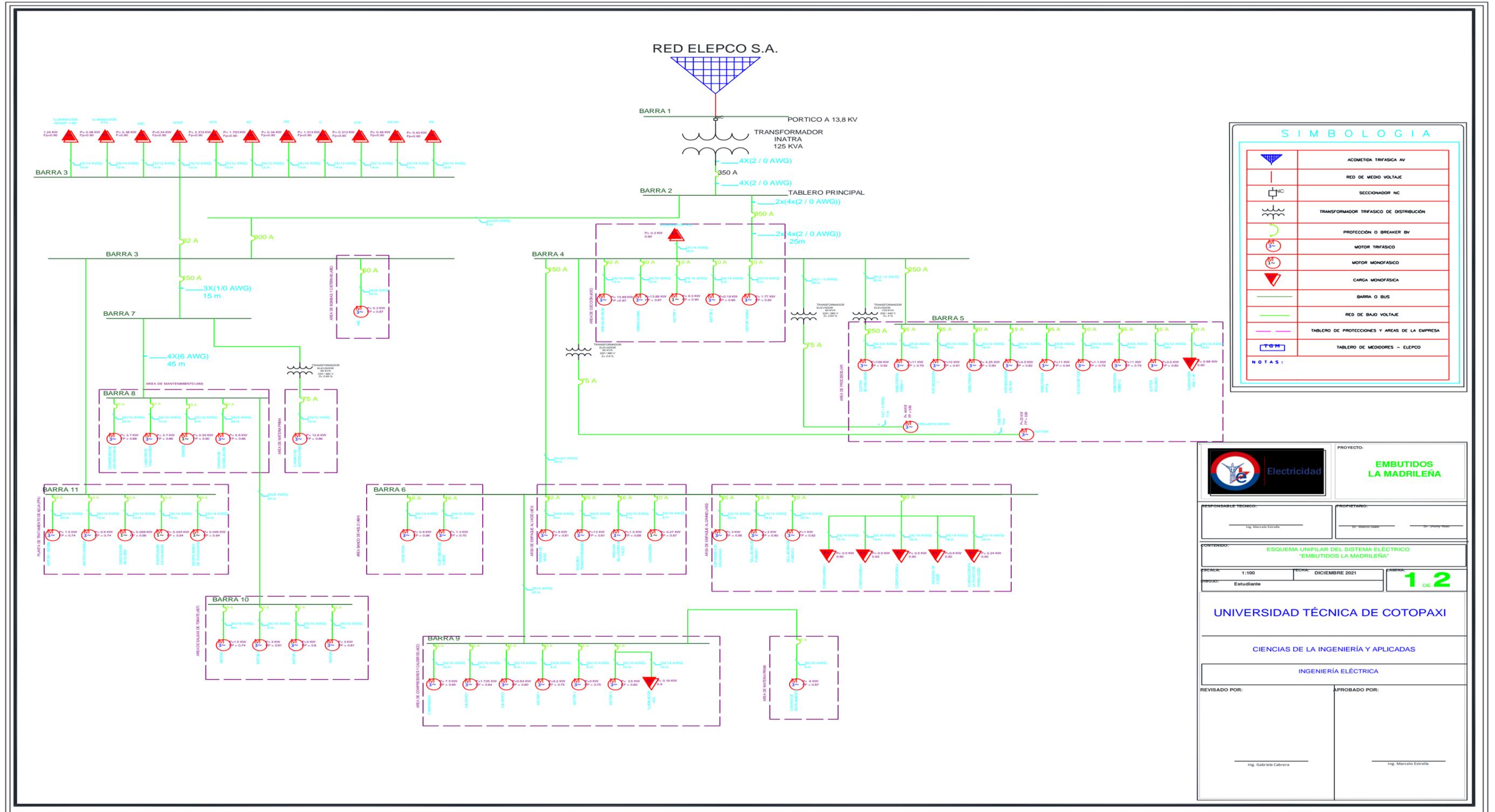


Figura F.1. Sistema eléctrico del TRAF0_125 kVA Inicial

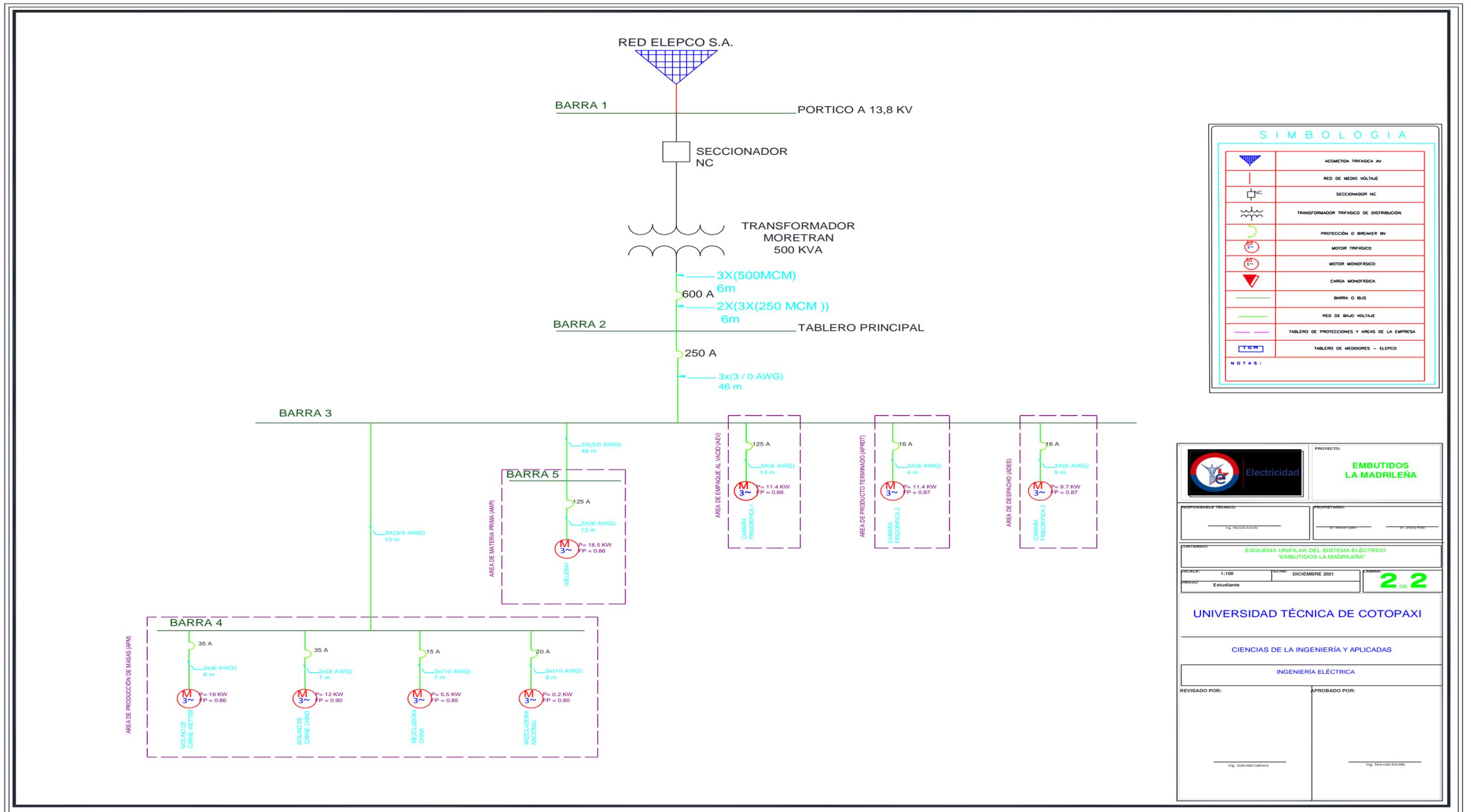


Figura F.2. Sistema eléctrico del TRAF0_500 kVA inicial

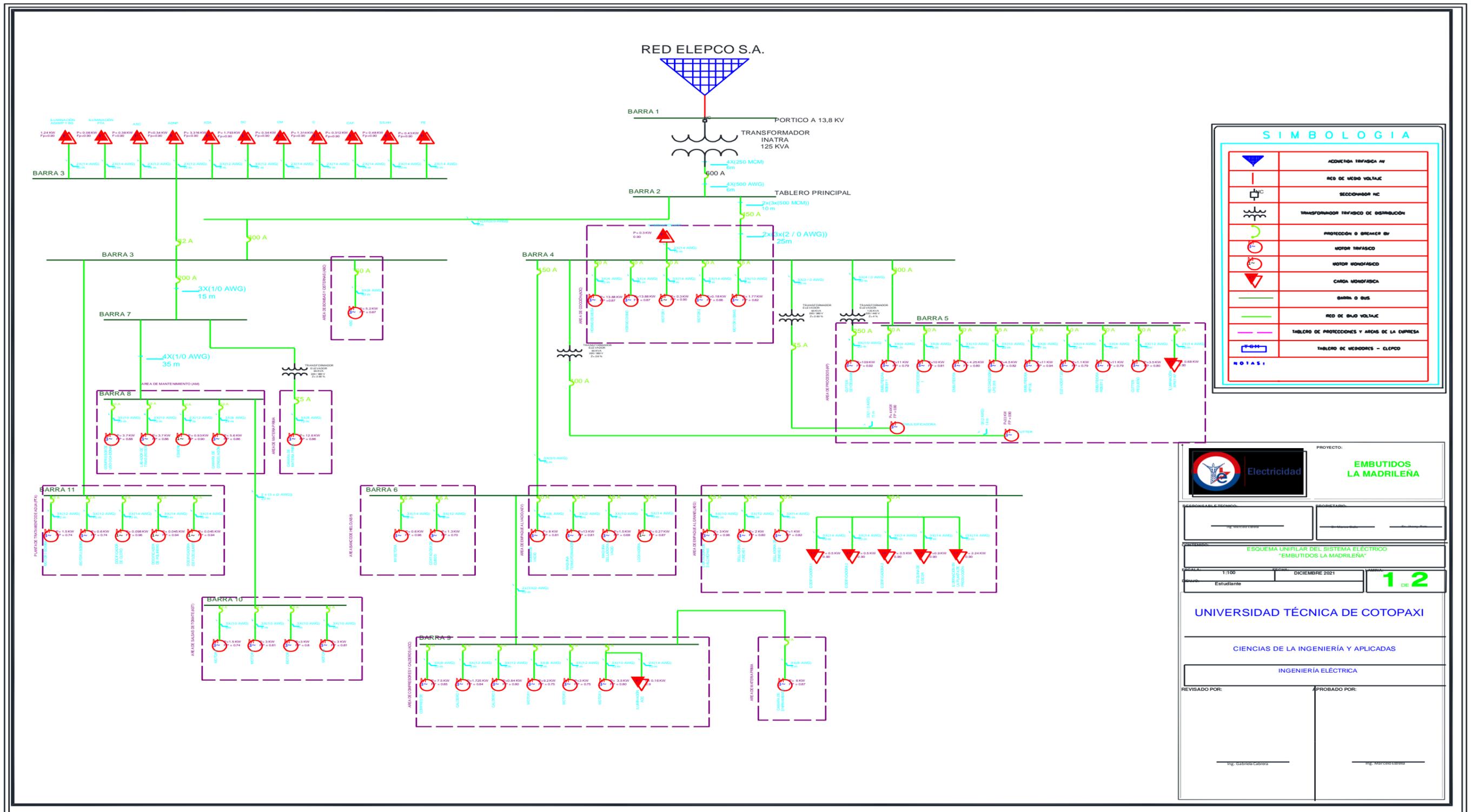


Figura F.3. Sistema eléctrico del TRAF0_125 kVA con conductores recalibrados

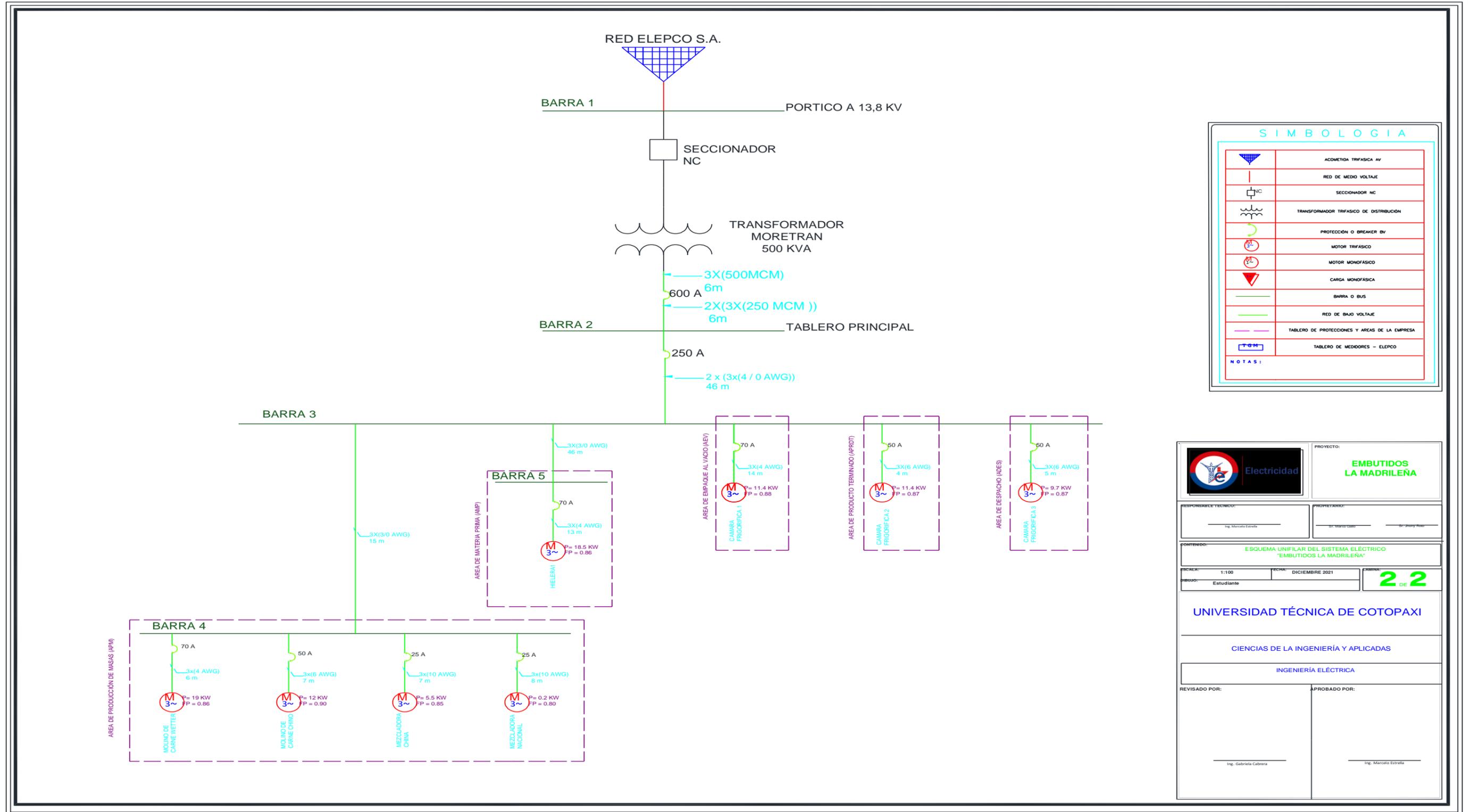


Figura F.4. Sistema eléctrico del TRAF0_500 kVA con conductores recalibrados

Anexo G: Simulaciones del sistema eléctrico de la empresa “EMBUTIDOS LA MADRILEÑA”

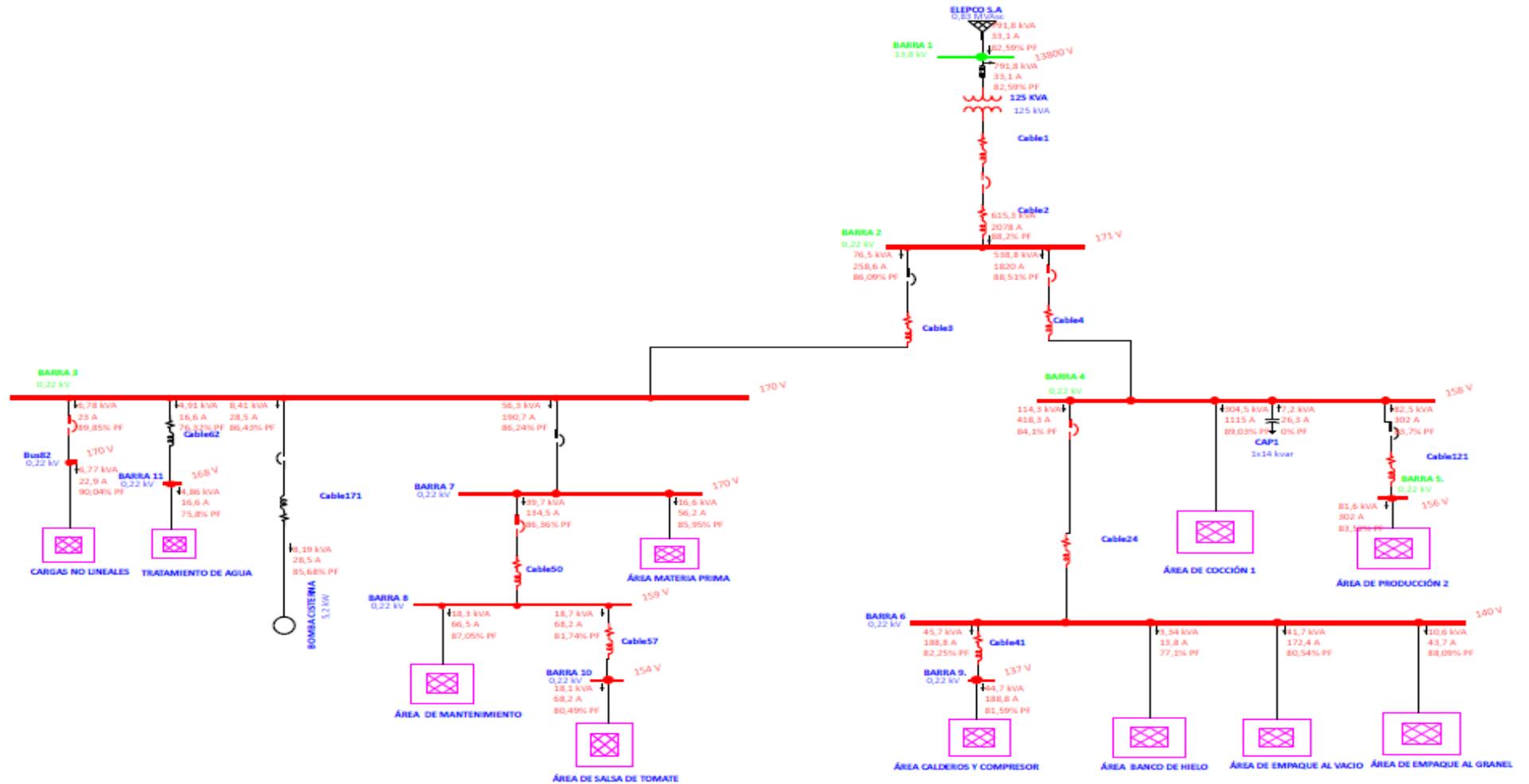


Figura G.1. Simulación del sistema eléctrico del TRAF0_125 kVA inicial a plena carga

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

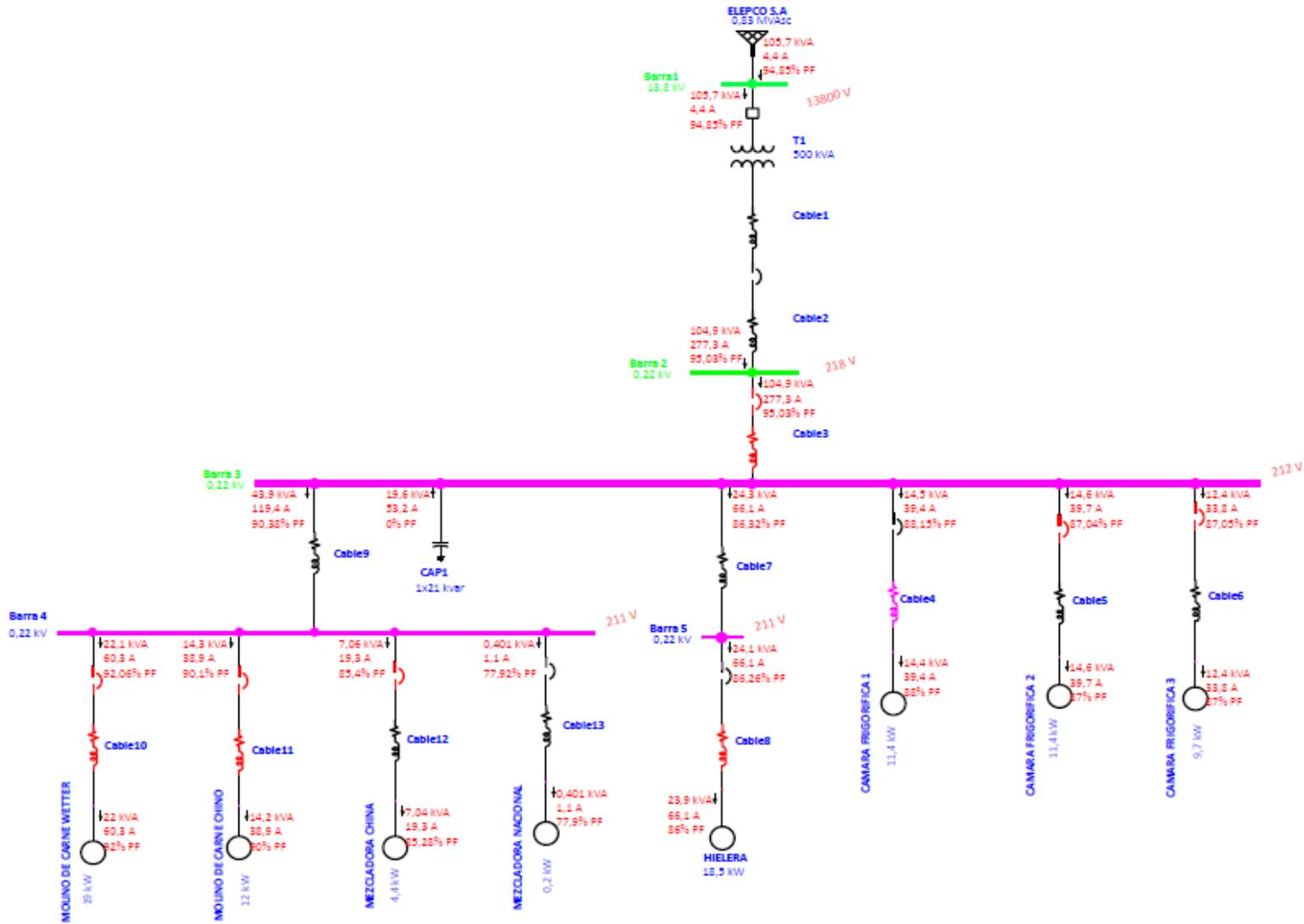


Figura G.2. Simulación del sistema eléctrico del TRAF0_500 kVA inicial a plena carga

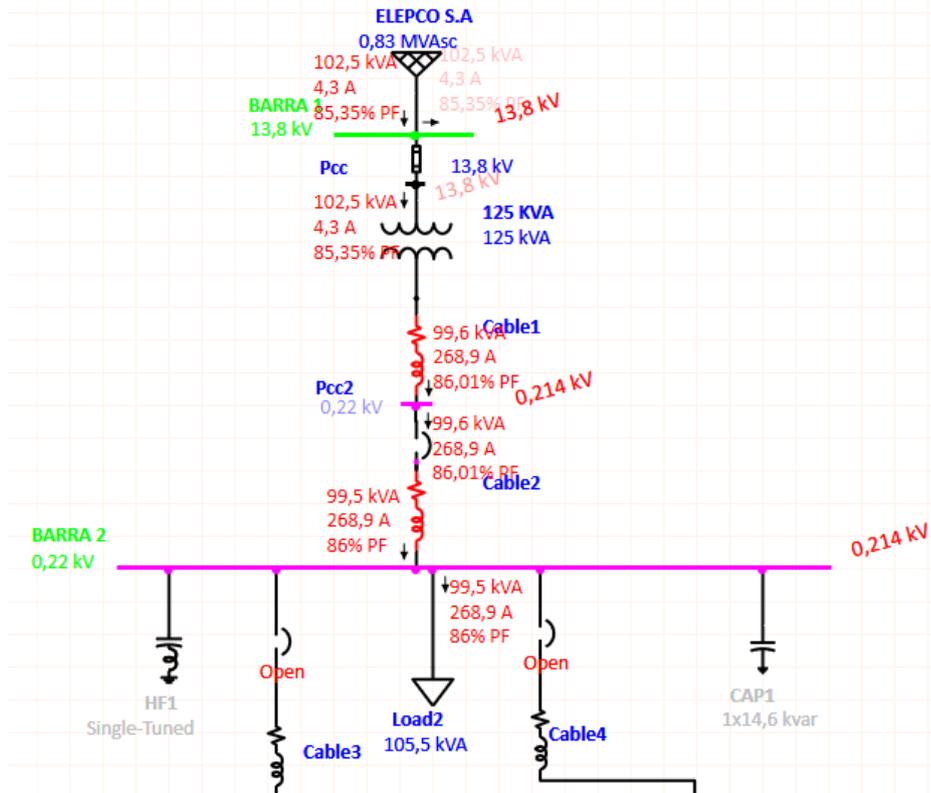


Figura G.3. Simulación de Armónicos sin banco del capacitor TRAF0_125 kVA

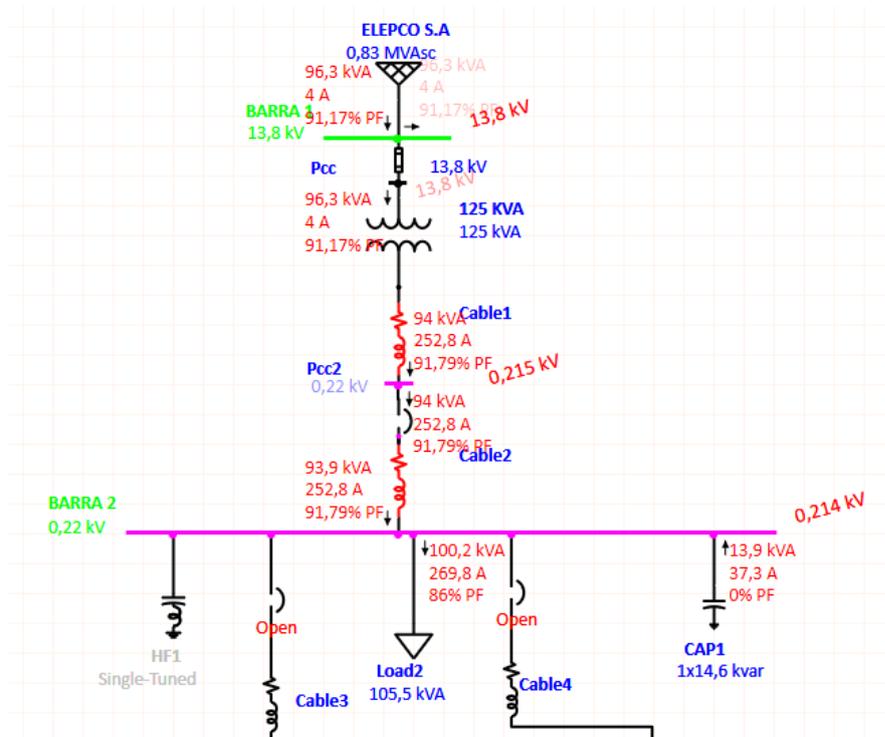


Figura G.4. Simulación de Armónicos con banco de capacitores TRAF0_125 kVA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

Anexo H: Resultados obtenidos de la simulación ETAP 19.0.1 en comparación con el analizador de redes del sistema inicial

Tabla H.1. Resultados de cargabilidad, caída de voltaje y pérdidas en los conductores TRAF0_125 kVA

ID	MW Flow	Mvar Flow	Amp Flow	% PF	% Loading	% Voltage Drop	kW Losses	kvar Losses
125 KVA	0,0936	0,048	4,402	88,98	82,6	1,9	0,997	2,46
Cable1	0,0926	0,0456	276,1	89,73	163,5	0,88	0,897	0,273
Cable2	0,0917	0,0453	276,1	89,67	163,5	0,07	0,0748	0,0228
Cable3	0,0157	0,0097	49,88	84,99	29,5	0,05	0,0098	0,003
Cable4	0,076	0,0493	244,6	83,88	72,4	0,79	0,734	0,223
Cable24	0,0102	0,0054	31,49	88,23	9,3	0,32	0,0369	0,0112
Cable41	0,0067	0,0038	21,03	87,12	27,8	0,15	0,0134	0,0015
Cable50	0	0	0	0	0	0	0	0
Cable57	0	0	0	0	0	0	0	0
Cable62	0,0037	0,0032	13,2	75,89	23,8	0,67	0,042	0,0031
Cable92	0,0203	0,0113	63,25	87,48	258,2	1,79	0,488	0,0131
Cable94	0,0003	0,0002	0,987	90	9,7	0,06	0,0003	0
Cable95	0,0003	0,0003	1,143	66	11,2	0,06	0,0004	0
Cable96	0,0021	0,0015	7,009	82,06	28,6	0,15	0,0048	0,0001
Cable112	0,014	0,0107	48,18	79,53	134,3	1,19	0,267	0,012
Cable113	0,0114	0,0081	38,23	81,75	156	1,83	0,321	0,0086
Cable114	0,0047	0,0035	15,9	80,29	64,9	0,67	0,0493	0,0013
Cable115	0,005	0,0034	16,46	82,34	67,2	0,88	0,0661	0,0018
Cable117	0,0013	0,001	4,566	79	44,8	0,72	0,0157	0,0001
Cable119	0,0045	0,0033	15,3	80,45	82,5	1,01	0,0726	0,0013
Cable120	0,0006	0,0003	1,91	90	18,7	0,28	0,0022	0
Cable121	0,042	0,0304	141,3	80,96	83,6	0,36	0,196	0,0596
Cable129	0,0067	0,0038	21,04	87,08	85,9	0,3	0,027	0,0007
Cable141	0,0005	0,0002	1,41	91,67		0,13	0,0006	0,0003
Cable142	0,0005	0,0002	1,41	90,01		0,13	0,0006	0,0003
Cable144	0,0021	0,001	6,24	90,01		0,58	0,0126	0,0054
Cable145	0,0005	0,0002	1,41	90		0,13	0,0006	0,0003
Cable161	0,0025	0,0022	8,962	74,42	48,3	0,69	0,0312	0,0006
Cable162	0,001	0,0009	3,686	74,13	19,9	0,21	0,004	0,0001
Cable163	0,0001	0	0,302	96,04		0,02	0	0
Cable164	0,0001	0	0,148	94,1		0,01	0	0
Cable165	0,0001	0	0,148	94,1		0,01	0	0
Cable170	0,0031	0,0015	9,346	90,07		0,35	0,0138	0,0004
Cable171	0,0072	0,0042	22,52	86,14	62,8	1,6	0,156	0,007
Cable173	0,0017	0,0008	5,057	90,06		0,29	0,006	0,0002
Cable181	0,0003	0,0001	0,831	90,02		0,11	0,0004	0
Cable184	0	0	0	100	0	0	0	0

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla H.2. Resultados de voltajes, flujo de potencias y corriente en las maquinarias TRAF0_125 kVA

ID	Rating/Limit	Rated kV	kW	kvar	Amp	% PF	% Loading	Vterminal
ADA1	3,68 kVA	0,127	3,1	1,5	28,04	90	96,7	96,76
BOMBA CISTERNA	5,2 kW	0,22	7,02	4,23	22,52	85,68	104,7	95,5
CAMARA DE ENFRIAMIENTO1	6 kW	0,22	6,67	3,78	21,04	87	104,6	95,59
CAP1	-14,6 kvar	0,22	0	-13,78	37,22	0	101,3	97,15
CODIFICADORA 2	0,56 kVA	0,127	0,472	0,206	4,23	91,67	95,9	95,93
CODIFICADORA5	0,56 kVA	0,127	0,464	0,225	4,23	90	95,9	95,93
CODIFICADORA6	0,56 kVA	0,127	0,464	0,225	4,23	90	95,9	95,93
CUTTER PEQUEÑO3	3,5 kW	0,22	4,43	3,32	15,3	80	105,3	94,99
DOCIFICADOR DE CLORO1	0,098 kW	0,127	0,107	0,0311	0,906	96	103,7	96,41
DOCIFICADORA FLOCULANTE1	0,045 kW	0,127	0,0511	0,0186	0,444	94	103,7	96,43
DOSIFICADORA POLIMERO1	0,045 kW	0,127	0,0511	0,0186	0,444	94	103,7	96,43
ELEVADOR T200	1,1 kW	0,22	1,31	1,02	4,566	79	105	95,28
EMBUTIDORA ROBBY_1	11 kW	0,22	13,75	10,67	48,18	79	105,5	94,81
EMBUTIDORAx	4,25 kW	0,22	4,62	3,46	15,9	80	104,9	95,33
HORNO DE MESA1	13,88 kW	0,22	19,83	11,24	63,25	87	105,7	94,57
ILUM P PRODUCCION	2,49 kVA	0,127	2,04	0,989	18,72	90	95,5	95,48
ILUMINACION ADC1	0,33 kVA	0,127	0,273	0,132	2,492	90	95,8	95,9
ILUMINACION APM Y AP3	0,76 kVA	0,127	0,627	0,304	5,729	90	95,8	95,73
MOTOR 1 BOMBA1	1,5 kW	0,22	2,42	2,2	8,962	74	104,5	95,74
MOTOR VEMAG1	1,77 kW	0,22	2,11	1,47	7,009	82	103,9	96,21
MOTOR1_	0,3 kW	0,127	0,326	0,158	2,962	90	103,8	96,31
MOTOR_2	0,18 kW	0,22	0,277	0,315	1,143	66	103,8	96,3
MOTOR 2 BOMBA1	0,6 kW	0,22	1	0,909	3,686	74	103,9	96,21
RETORCEDORA LGP3	4,5 kW	0,22	4,89	3,41	16,46	82	105,1	95,12
RETORCEDORA_1	10 kW	0,22	11,11	8,04	38,23	81	106,2	94,17
S_C1	1,99 kVA	0,127	1,68	0,813	15,17	90	96,8	96,82

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla H.3. Resultados de cargabilidad, flujo de potencia y pérdidas en los conductores TRAF0_500 kVA

ID	kW Flow	kvar Flow	Amp Flow	% PF	% Loading	% Voltage Drop	kW Losses	kvar Losses
Cable1	58,06	14,36	157,3	97,08	42,1	0,08	0,0425	0,0396
Cable2	58,02	14,32	157,3	97,09	30,8	0,07	0,04	0,0212
Cable3	57,98	14,3	157,3	97,09	78,6	1,58	0,894	0,329
Cable5	12,7	7,18	39,04	87,04	70,3	0,18	0,0294	0,0021
Cable6	10,8	6,11	33,22	87,05	59,8	0,19	0,0266	0,0019
Cable7	0	0	0	-27,91	0	0	0	0
Cable9	33,59	15,1	98,56	91,21	49,2	0,32	0,114	0,0422
Cable10	20,31	8,62	59,26	92,06	106,7	0,43	0,102	0,0074
Cable11	12,84	6,19	38,28	90,09	106,7	0,5	0,0787	0,0035
Cable13	0,313	0,252	1,077	77,91	4,4	0,02	0,0001	0
T1	58,14	14,56	2,508	97,01	12	0,21	0,0809	0,2

Tabla H.4. Resultados de voltajes, flujo de potencias y corriente en las maquinarias TRAF0_500 kVA

ID	Rating/Limit	Rated kV	kW	kvar	Amp	% PF	% Loading	Vterminal
CAMARA FRIGORIFICA 2	11,4 kW	0,22	12,67	7,18	39,04	87	102,2	97,87
CAMARA FRIGORIFICA 3	9,7 kW	0,22	10,78	6,11	33,22	87	102,2	97,86
CAP1	-15 kvar	0,22	0	-14,42	38,6	0	98,1	98,05
MEZCLADORA NACIONAL	0,2 kW	0,22	0,312	0,252	1,077	77,9	102,3	97,71
MOLINO DE CARNE CHINO	12 kW	0,22	12,77	6,18	38,28	90	102,8	97,23
MOLINO DE CARNE WETTER	19 kW	0,22	20,21	8,61	59,26	92	102,8	97,3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

Anexo I: Balance de cargas y Calculo de caída de tensión de los conductores de 125 kVA y 500 kVA del sistema actual

Tabla I.1. Balance de cargas del transformador de 125 kVA

BALANCE DE CARGAS DEL TRANSFORMADOR DE 125 KVA "EMBUTIDOS LA MADRILEÑA"										
MAQUINARIA	DATOS						CONDUCTOR	FASES		
	Tensión (V)	Fase	Potencia (KW)	Fp	Eficiencia	Longitud (m)	Calibre	A	B	C
Motor 1 - ADC	127	1	0,3	0,90	0,92	8	3 x (14 AWG)	0,3		
Iluminacion ADC	127	1	0,3	0,90	1,00	18	2x (14 AWG)			0,3
Iluminación AMP Y AP	127	1	0,68	0,90	0,88	18	2 x(14 AWG)		0,68	
Lochadora - AEV	127	1	0,27	0,87	0,94	10	3 x (14 AWG)	0,27		
Selladora de funda 2 - AEG	127	1	1	0,82	0,78	5	3 x (14 AWG)			1
Codificadora 1 -AEG	127	1	0,5	0,90	0,94	10	3 x (14 AWG)		0,5	
Codificadora 2 - AEG	127	1	0,5	0,90	0,94	10	3 x (14 AWG)		0,5	
Codificadora 3 - AEG	127	1	0,5	0,90	0,94	10	3 x (14 AWG)		0,5	
Maquina de cocer - AEG	127	1	0,9	0,90	0,94	9	3 x (14 AWG)			0,9
Iluminacion Planta de producción	127	1	2,24	0,90	1,00	10	3 x (14 AWG)	2,24		
Iluminación ACC	127	1	0,16	0,90	1,00	10	2 x (14 AWG)		0,16	
Docificadora de cloro - PTA	127	1	0,098	0,96	0,92	10	3 x (12 AWG)			0,098
Docificadora de polímero - PTA	127	1	0,045	0,94	0,88	10	3 x (14 AWG)			0,045
Docificadora de floculante - PTA	127	1	0,045	0,94	0,88	10	3 x (14 AWG)			0,045
Esmeril - AM	127	1	0,93	0,90	0,97	8	3 x (12 AWG)	0,93		
Iluminacion ADAMP y BS	127	1	1,24	0,90	1,00	10	2 x (14 AWG)	1,24		
Iluminacion - PTA	127	1	0,08	0,90	1,00	12	2 x (14 AWG)			0,08
Computadoras y iluminacion ASC	127	1	0,38	0,90	1,00	14	2 x (12 AWG)	0,38		
ADNP	127	1	0,34	0,90	1,00	12	2 x (12 AWG)	0,34		
Electronicos e iluminación - ADA	127	1	3,316	0,90	1,00	8	3 x (12 AWG)		3,316	
SC	127	1	1,793	0,90	1,00	12	3 x (12 AWG)			1,793
Iluminacion y otros CM	127	1	0,34	0,90	1,00	15	2x (14 AWG)	0,34		
Iluminacion y otros- C	127	1	1,314	0,90	1,00	14	2x (12 AWG)			1,314
Iluminacion y otros - CAF	127	1	0,312	0,90	1,00	14	2x (12 AWG)	0,312		
Iluminación - SS.HH	127	1	0,48	0,90	1,00	10	2x (14 AWG)			0,48
Iluminación - PE	127	1	0,43	0,90	1,00	18	2x (14 AWG)		0,43	
				0,90	0,96	TOTALES (kW)		6,352	6,086	6,055
						DESBALANCE		4,68%	CUMPLE	
						POTENCIA TOTAL (kVA)		19,677		

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla I.2. Caída de tensión del sistema actual del TRAF0_ 125 kVA

MAQUINARIA	DATOS						CONDUCTOR	PROTECCIÓN (A)	CAIDA DE VOLTAJE		
	Tensión (V)	Fase	Potencia (KW)	Fp	Eficiencia (%)	VA			Longitud (m)	Calibre	Parcial
TABLERO PRINCIPAL	220	3	395,118	0,85	0,87	403419,270	6	2x(4 x (250AWG))	600	0,54	
STG3	220	3	54,543	0,87	0,90	56448,748	6	2x(3 x (2,0 AWG))	300	0,12	0,66
STG4	220	3	340,575	0,84	0,85	344629,464	10	2x(4 x (250 AWG))	450	0,77	1,31
STG5	220	3	57,03	0,83	0,87	59866,169	15	2x(3 x (2,0 AWG))	300	0,32	1,63
STG6	220	3	67,235	0,84	0,85	68225,142	76	2x(3 x (2,0 AWG))	300	1,44	2,75
STG7	220	3	37,03	0,84	0,86	38211,809	15	3 x (1,0 AWG)	150	0,48	1,14
STG8	220	3	24,43	0,83	0,86	25163,634	35	4 x (4 AWG)		1,69	2,83
STG9	220	3	31,925	0,82	0,89	34562,706	10	2x(3 x (2 AWG))		0,21	2,96
STG10	220	3	10,5	0,79	0,81	10799,051	20	2 x (3 x (2 AWG))		0,12	2,95
STG11	220	3	2,288	0,86	0,78	2065,556	50	3 x (6 AWG)		0,31	0,97
Horno chino - ADC	220	3	13,88	0,87	0,70	11167,816	15	3 x (10 AWG)	40	0,8	2,11
Horno de mesa - ADC	220	3	13,88	0,87	0,70	11167,816	10	3 x (10 AWG)	40	1,2	2,51
Motor 1 - ADC	127	1	0,3	0,90	0,92	306,667	8	3 x (14 AWG)	10	0,28	1,59
Motor 2 - ADC	220	3	0,18	0,66	0,65	177,273	9	3 x (14 AWG)	10	0,02	1,33
Motor Vemag - ADC	220	3	1,77	0,82	0,84	1813,171	8	3 x (10 AWG)	10	0,09	1,4
Illuminacion ADC	127	1	0,3	0,90	1,00	333,333	18	2x (14 AWG)	10	0,68	1,99
Emulsificadora - AP	380	3	44	0,90	0,90	44000,000	11	3x(10 AWG)	75	0,41	1,72
CUTTER - AP	220	3	33	0,90	0,88	32266,667	14	3 x(6 AWG)	75	1,42	2,73
Cutter Sydelman - AP	440	3	109	0,92	0,90	106630,435	20	3 x (1,0 AWG)	250	0,45	1,76
Embutidora Robby 1 -AP	220	3	11	0,79	0,80	11139,241	15	3 x (8AWG)	35	0,73	2,36
Retoreedora 1 -AP	220	3	10	0,81	0,90	11111,111	18	3 x (10AWG)	35	1,34	2,97
Embutidora - AP	220	3	4,25	0,80	0,92	4887,500	16	3 x (10AWG)	20	0,51	2,14
Retoreedora LPG 208 - AP	220	3	4,5	0,82	0,92	5048,780	20	3 x (10AWG)	15	0,68	2,31
Embutidora HP10L - AP	220	3	11	0,94	0,96	11234,043	21	3x(8AWG)	35	1,2	2,83
Elevador T 200 - AP	220	3	1,1	0,79	0,84	1169,620	22	3x(14 AWG)	10	0,55	2,18
Embutidora Robby 2 - AP	220	3	11	0,79	0,80	11139,241	18	3 x (8 AWG)	35	0,88	2,51
Cutter pequeño - AP	220	3	3,5	0,80	0,79	3456,250	16	3 x (12 AWG)	15	0,61	2,24
Illuminación AMP Y AP	127	1	0,68	0,90	0,88	664,889	18	2 x(14 AWG)	10	1,37	3
Injectora - ABH	220	3	0,6	0,96	0,92	575,000	6	3x(14 AWG)	16	0,07	2,82
Cortadora de cubos - ABH	220	3	1,3	0,70	0,68	1262,857	6	3 x (12 AWG)	16	0,07	2,82
Bomba de vacío - AEV	220	3	8	0,81	0,72	7111,111	4	3 x (8 AWG)	32	0,12	2,87
Máquina termoformadora - AEV	220	3	13	0,81	0,70	11234,568	5	3 x (8 AWG)	63	0,25	3
Máquina selladora al vacío - AEV	220	3	1,5	0,68	0,50	1102,941	7	3 x (10 AWG)	16	0,04	2,79
Lochadora - AEV	127	1	0,27	0,87	0,94	291,724	10	3 x (14 AWG)	10	0,29	3,04
Cortadora de salchichas - AEG	220	3	3	0,96	0,94	2937,500	15	3 x (10 AWG)	25	0,46	3,21
Selladora de funda 1 - AEG	220	3	2	0,80	0,70	1750,000	18	3 x (14 AWG)	10	0,053	2,803
Selladora de funda 2 - AEG	127	1	1	0,82	0,78	951,220	5	3 x (14 AWG)	10	1,99	4,74
Codificadora 1 -AEG	127	1	0,5	0,90	0,94	522,222	10	3 x (14 AWG)		0,89	3,64
Codificadora 2 - AEG	127	1	0,5	0,90	0,94	522,222	10	3 x (14 AWG)		0,89	3,64
Codificadora 3 - AEG	127	1	0,5	0,90	0,94	522,222	10	3 x (14 AWG)	30	0,95	3,7
Maquina de cocer - AEG	127	1	0,9	0,90	0,94	940,000	9	3 x (14 AWG)		1,94	4,69
Illuminacion Planta de producción	127	1	2,24	0,90	1,00	2488,889	10	3 x (14 AWG)		6,86	9,61
Compresor -ACC	220	3	7,5	0,85	0,90	7958,824	10	3 x (10 AWG)	63	0,55	3,51
Caklero 1 - ACC	220	3	1,725	0,84	0,72	1478,571	9	3 x (12 AWG)	32	0,15	3,11
Caklero 2 - ACC	220	3	0,84	0,80	0,90	945,000	8	3 x (12 AWG)	32	0,08	3,04
Motor 1 - ACC	220	3	9,2	0,75	0,89	10917,333	9	3 x (8 AWG)	63	0,41	3,37
Motor 2 - ACC	220	3	3	0,75	0,89	3560,000	8	3 x (12 AWG)	32	0,29	3,25
Motor 3 - ACC	220	3	3,5	0,80	0,90	3937,500	10	3 x (10 AWG)		0,26	3,22
Illuminación ACC	127	1	0,16	0,90	1,00	177,778	10	2 x (14 AWG)	32	0,2	3,16
Cámara de enfriamiento - MP	220	3	6	0,87	0,90	6206,897	5	3 x (10 AWG)	16	0,22	3,18
Motor 1 bomba - PTA	220	3	1,5	0,74	0,62	1256,757	20	3 x (12 AWG)	10	0,25	1,22
Motor 2 bomba - PTA	220	3	0,6	0,74	0,60	486,486	15	3 x (12 AWG)	10	0,07	1,04
Docificadora de cloro - PTA	127	1	0,098	0,96	0,92	93,917	10	3 x (12 AWG)	10	0,07	1,04
Docificadora de polímero - PTA	127	1	0,045	0,94	0,88	42,128	10	3 x (14 AWG)	10	0,05	1,02
Docificadora de floculante - PTA	127	1	0,045	0,94	0,88	42,128	10	3 x (14 AWG)	10	0,05	1,02
Compresor uso ocasional - AM	220	3	3,7	0,88	0,86	3615,909	20	3 x (10 AWG)	20	0,52	3,35
Esmeril -AM	127	1	0,93	0,90	0,97	1002,333	8	3 x (12 AWG)	10	0,59	3,42
Lavadora de Tinas (Rosser) - AM	220	3	3,7	0,86	0,88	3786,047	15	3 x (10 AWG)	10	0,4	3,23
Cámara de congelación - AM	220	3	5,6	0,86	0,90	5860,465	24	3 x (8 AWG)	50	0,66	3,49
Motor 1 - AST	220	3	1,5	0,74	0,90	1824,324	6	3 x (10 AWG)	10	0,06	3,01
Motor 2 - AST	220	3	3	0,81	0,70	2592,593	6	3 x (10 AWG)	10	0,1	3,05
Motor 3 - AST	220	3	3	0,80	0,95	3562,500	7	3 x (10 AWG)	10	0,16	3,11
Motor 4 - AST	220	3	3	0,81	0,70	2592,593	7	3 x (10 AWG)	10	0,12	3,07
MP	220	3	12,6	0,86	0,90	13186,047	12	3 x (10 AWG)	75	1,4	4,35
Bombas y sistemas	220	3	5,2	0,87	0,74	4422,989	40	3 x (8 AWG)	60	0,84	1,5
Illuminacion ADAMP y BS	127	1	1,24	0,90	1,00	1377,778	10	2 x (14 AWG)		1,58	2,24
Illuminacion - PTA	127	1	0,08	0,90	1,00	88,889	12	2 x (14 AWG)		0,12	0,78
Computadoras y iluminacion ASC	127	1	0,38	0,90	1,00	422,222	14	2 x (12 AWG)		0,44	1,1
ADNP	127	1	0,34	0,90	1,00	377,778	12	2 x (12 AWG)		0,33	0,99
Electronicos e iluminacion - ADA	127	1	3,316	0,90	1,00	3684,444	8	3 x (12 AWG)		2,74	3,4
SC	127	1	1,793	0,90	1,00	1992,222	12	3 x (12 AWG)	20	1,78	2,44
Illuminacion y otros CM	127	1	0,34	0,90	1,00	377,778	15	2x (14 AWG)		0,42	1,08
Illuminacion y otros- C	127	1	1,314	0,90	1,00	1460,000	14	2x (12 AWG)		0,01	0,67
Illuminacion y otros - CAF	127	1	0,312	0,90	1,00	346,667	14	2x (12 AWG)		0,36	1,02
Illuminacion - SS,HH	127	1	0,48	0,90	1,00	533,333	10	2x (14 AWG)		0,61	1,27
Illuminacion - PE	127	1	0,43	0,90	1,00	477,778	18	2x (14 AWG)		0,98	1,64

Tabla I.3. Caída de tensión del sistema actual del TRAF0_500 kVA

CAIDA DE VOLTAJE ACTUAL DEL TRANSFORMADOR DE 500 KVA											
MAQUINARIA	DATOS							CONDUCTOR	PROTECCIÓN	% CAIDA DE VOLTAJE	
	Tensión (V)	Fase	Potencia (KW)	Fp	Eficiencia(%)	VA	Longitud (m)	Calibre	(Amp)	Parcial	Total
TABLERO PRINCIPAL	220	3	86,6	0,87	0,86	85353,96	6	2x (3 x (250 MCM))	600	0,11	
STG3	220	3	86,6	0,87	0,86	85353,96	46	3 x (3/0 AWG)	250	2,36	2,47
STG4	220	3	35,6	0,87	0,81	33342,94	15	3 x (3/0 AWG)	-----	0,29	2,76
STG5	220	3	18,5	0,86	0,90	19360,47	46	3 x (3/0 AWG)	-----	0,52	2,99
Cámara frigorífica 1	220	3	11,4	0,88	0,90	11659,091	14	3 x (6 AWG)	125	0,5	2,97
Cámara frigorífica 2	220	3	11,4	0,87	0,90	11793,103	4	3 x (6 AWG)	16	0,14	2,61
Cámara frigorífica 3	220	3	9,7	0,87	0,90	10034,483	5	3 x (6 AWG)	16	0,15	2,62
Hielera	220	3	18,5	0,86	0,90	19360,465	13	3 x (6 AWG)	125	0,76	3,75
Molino de carne Wetter	220	3	19	0,92	0,94	19413,043	6	3 x (6 AWG)	35	0,37	3,13
Molino de carne Chino	220	3	12	0,90	0,94	12533,333	7	3 x (8 AWG)	35	0,43	3,19
Mezcladora China	220	3	4,4	0,85	0,73	3778,824	7	3 x (10 AWG)	15	0,15	2,91
Mezcladora Nacional	220	3	0,2	0,80	0,64	160,000	8	3 x (10 AWG)	20	0,002	2,762

Anexo J. Cálculo del filtro pasivo para mitigar armónicos en el TRAF0_125 kVA

Se procede a realizar el cálculo para mitigar el armónico de orden 5 (sintonización realizada a un 6% menos de la frecuencia armónica de acuerdo a la norma IEEE-1531-2003.

La potencia medida del sistema es de 94,07 KW, VLL= 220 V. El factor de potencia del sistema obtenida a través de la medición mediante el analizador de redes fue de 0,86, para el diseño se plantea que se desea elevar el mismo a 0.96, por lo tanto, la potencia en el capacitor debe ser la siguiente:

$$F_{p1} = 0,86$$

$$F_{p2} = 0,96$$

$$\theta_1 = \text{Cos}^{-1}(F_{p1}) = \text{Cos}^{-1}(0,86) = 30,6834$$

$$\theta_2 = \text{Cos}^{-1}(F_{p2}) = \text{Cos}^{-1}(0,96) = 16,2602$$

- Calculo KVAR efectivo

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

$$Q_{eff} = 94,07KW [(\tan (30,6834) - \tan\theta_2(16,2602)]$$

$$Q_{eff} = 28,3807 \text{ kVAr}$$

El banco de capacitor estará formado por tres baterías de condensadores trifásicas de 10 KVAR conforme a la normativa IEEE-18-2002.

- Cálculo de reactancia efectiva del filtro

$$X_{eff} = \frac{(V_{LL\,sit})^2}{Q_{eff}} = \frac{(220)^2}{28,3807 \times 10^3} = 1,7054 \, \Omega$$

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

$$h = \frac{300}{60} = 5; \quad 5 \times 6 \% = 0,3; \quad h = 5 - 0,3 = 4,7$$

- Cálculo de reactancia capacitiva

$$X_C = \frac{h^2}{h^2 - 1} \times X_{eff} = \frac{4,7^2}{4,7^2 - 1} \times 1,7054 = 1,7863 \, \Omega$$

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_C} = \frac{1}{2 \times \pi \times 60 \times 1,7863} = 1,4849 \, mF$$

- Cálculo de la reactancia inductiva

$$X_L = \frac{X_C}{h^2} = \frac{1,7863}{(4,7)^2} = 0,0809 \, \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{0,0809 \, \Omega}{2 \pi (60)} = 0,2146 \, mH$$

- Calculo de la resistencia del filtro

$$R = \frac{X_L (f_{Reson})}{Q_f} = \frac{0,0809(4,7)}{20} = 0,0190 \, \Omega$$

- Calculo de la impedancia del filtro

$$Z = R + j(W_L - \frac{1}{W_C})$$

$$Z = 0,0190 + j(2 \pi \times 60 \times 0,2146 \times 10^{-3} - \frac{1}{2\pi \times 60 \times 1,4845 \times 10^{-3}})$$

$$Z = 1,7697 \angle 177,3798 \, \Omega$$

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

$$X_L = X_C$$

$$X_C(h = 4,7) = \frac{X_C}{h} = \frac{1,7863\Omega}{4,7} = 0,3801 \, \Omega$$

$$X_L(h = 4,7) = hX_L = 4,7(0,0809 \Omega) = 0,3802 \Omega$$

Se corrobora que no excede de 135% a la corriente fundamental, establecida por la norma IEEE-18-2002.

$$I_{fund}(1) = \frac{\frac{VLLsis}{\sqrt{3}}}{X_C - X_L} = \frac{\frac{220}{\sqrt{3}}}{1,7863\Omega - 0,0809 \Omega} = 74,4793 A$$

Corrientes armónicas con respecto a la fundamental

$$I_3 = 11,56 \% I_{fund} = 8,6098 A$$

$$I_5 = 10,43 \% I_{fund} = 7,7681 A$$

$$I_7 = 7,57 \% I_{fund} = 5,6380 A$$

$$I_9 = 2,99 \% I_{fund} = 2,2269 A$$

$$I_{11} = 6,04 \% I_{fund} = 4,4985 A$$

$$I_{13} = 2,72 \% I_{fund} = 2,0258 A$$

$$I_{total RMS} = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2}$$

$$\% \text{margen de corriente} = \frac{I_{total RMS}}{I_{total fund}(1)} 100 = 101,7474 \%$$

$$I_{total RMS} = 1.01747 I_{fund}(1) < 1.35 I_{fund}(1) \text{ Cumple}$$

$$V_C(1) = I_{fund}(1)X_C = 133.0424 V = 0,1330 kV$$

Cálculo de los voltajes provocados por los armónicos

$$V_C(h) = \sum_n^h I(h) \frac{X_C}{h}$$

$$V_C(3) = 8,6098A \frac{1.7863\Omega}{3} = 5,1266 V$$

$$V_C(5) = 7,7681A \frac{1.7863\Omega}{5} = 2,7752 V$$

$$V_C(7) = 5,6380A \frac{1.7863\Omega}{7} = 1,4387 V$$

$$V_C(9) = 2,2269A \frac{1.7863\Omega}{9} = 0,4420 V$$

$$V_C(11) = 4,4985A \frac{1.7863\Omega}{11} = 0,7305 V$$

$$V_C(13) = 2.0258A \frac{1.7863\Omega}{13} = 0,2784 V$$

$$V_C(h) = 0,0108 kV$$

Cálculo del voltaje pico por fase del conductor

$$V_{CL-N total pico} = \sqrt{2} [V_C(1) + V_C(h)]$$

$$V_{CL-N total pico} = 0,2034 kV$$

Cálculo del voltaje de fase del sistema

$$V_{L-N sist} = \frac{V_{L-L sist}}{\sqrt{3}} = \frac{0,22KV}{\sqrt{3}} = 0,1270 kV$$

Cálculo del voltaje de fase pico del sistema

$$V_{L-N sist pico} = \sqrt{2} V_{L-N sist} = 0,1796 kV$$

$$\%margen de voltaje pico = \frac{V_{CL-N sist pico}}{V_{L-N sist pico}} 100 = 113,25 \%$$

$$V_{CL-N total pico} = 1,1325 V_{L-N sist pico} < 1,2 V_{L-N sist pico} \text{ Cumple con la normativa}$$

Cálculo del voltaje RMS del Capacitor:

$$V_{CL-N RMS} = \sqrt{V_C(1) + V_C(3) + V_C(5) + V_C(7) + V_C(9) + V_C(11) + V_C(13)}$$

$$V_{CL-N RMS} = 0,1332 kV$$

Cálculo del voltaje de fase RMS del sistema.

$$V_{L-N RMS} = \frac{V_{L-L sist}}{\sqrt{3}} = \frac{0,22KV}{\sqrt{3}} = 0,1270 kV$$

$$\%margen de voltaje RMS = \frac{V_{CL-N RMS}}{V_{L-N RMS}} 100 = 104,8819 \%$$

$$V_{CL-N total RMS} = 1,04 V_{L-N sist RMS} \leq 1,1 V_{L-N sist RMS} \text{ Cumple}$$

Se corrobora la potencia reactiva con base en la norma:

$$Q_{3\phi \text{ recalcada}} = \frac{(V_{CL-N \text{ RMS}})^2}{X_C} 3 = \frac{(0,1332KV)^2}{1,7863\Omega} 3$$

$$Q_{3\phi \text{ recalcada}} = 29,7972 \text{ kVAr}$$

$$\% \text{margen de KVAR} = \frac{Q_{3\phi \text{ recalcada}}}{Q_{eff}} * 100 \% = \frac{29,7972 \text{ KVAR}}{28,3807 \text{ KVAR}} * 100 \%$$

$$\% \text{margen de KVAR} = 104,9911 \%$$

$$Q_{3\phi \text{ recalcada}} = 1,04Q_{eff} < 1,35 Q_{eff} \text{ Cumple}$$

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

$$\sum_h [V_C(h) I(h) \leq 1,35 Q_{3\phi \text{ recalcada}}$$

$$\begin{aligned} & \{3x[(((0,1330KVx74,4793)) + ((5,1266Vx 8,6098) + (2,7752x7,7681) \\ & + (1,4387x5,6380) + (0,4420x 2,2269) + (0,7305x4,4985) \\ & + (0,2784x 2,0258)))]\} \leq (1,35 x 34,6801 \text{ kVAr}) \end{aligned}$$

$$\{3x[9,905747 \text{ kVAr} + 0,078643 \text{ kVAr}]\} \leq (1,35 x 29,7972 \text{ kVAr})$$

$$29,9531 \text{ KVAR} \leq 40,2262 \text{ kVAr} \text{ Cumple}$$

La desigualdad se satisface, por lo tanto, el calentamiento del dieléctrico del capacitor es aceptable.

Anexo K. Resultados de simulaciones con las soluciones planteadas

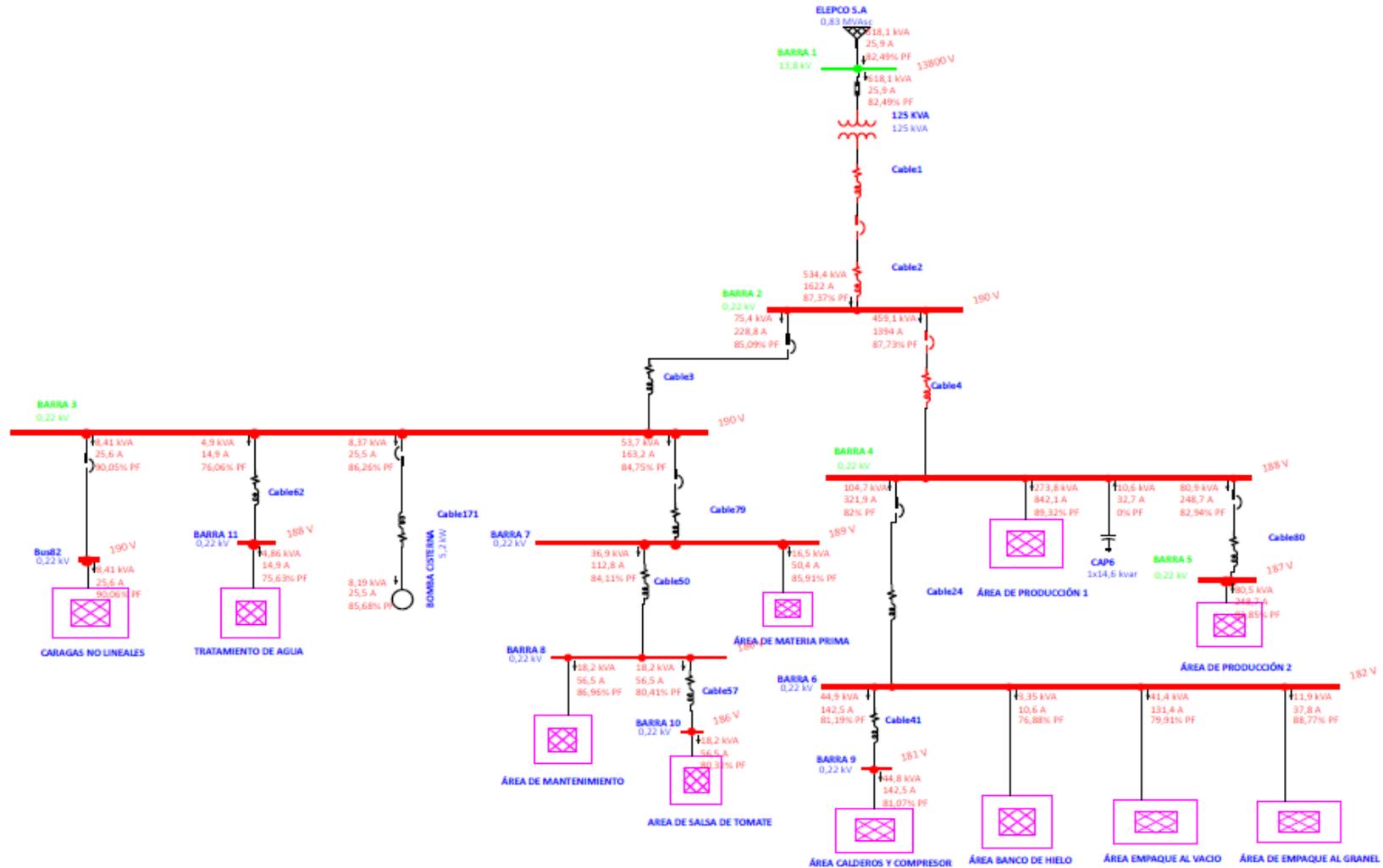


Figura K.1. Sistema mejorado con los nuevos conductores a plena carga TRAF0_125KVA

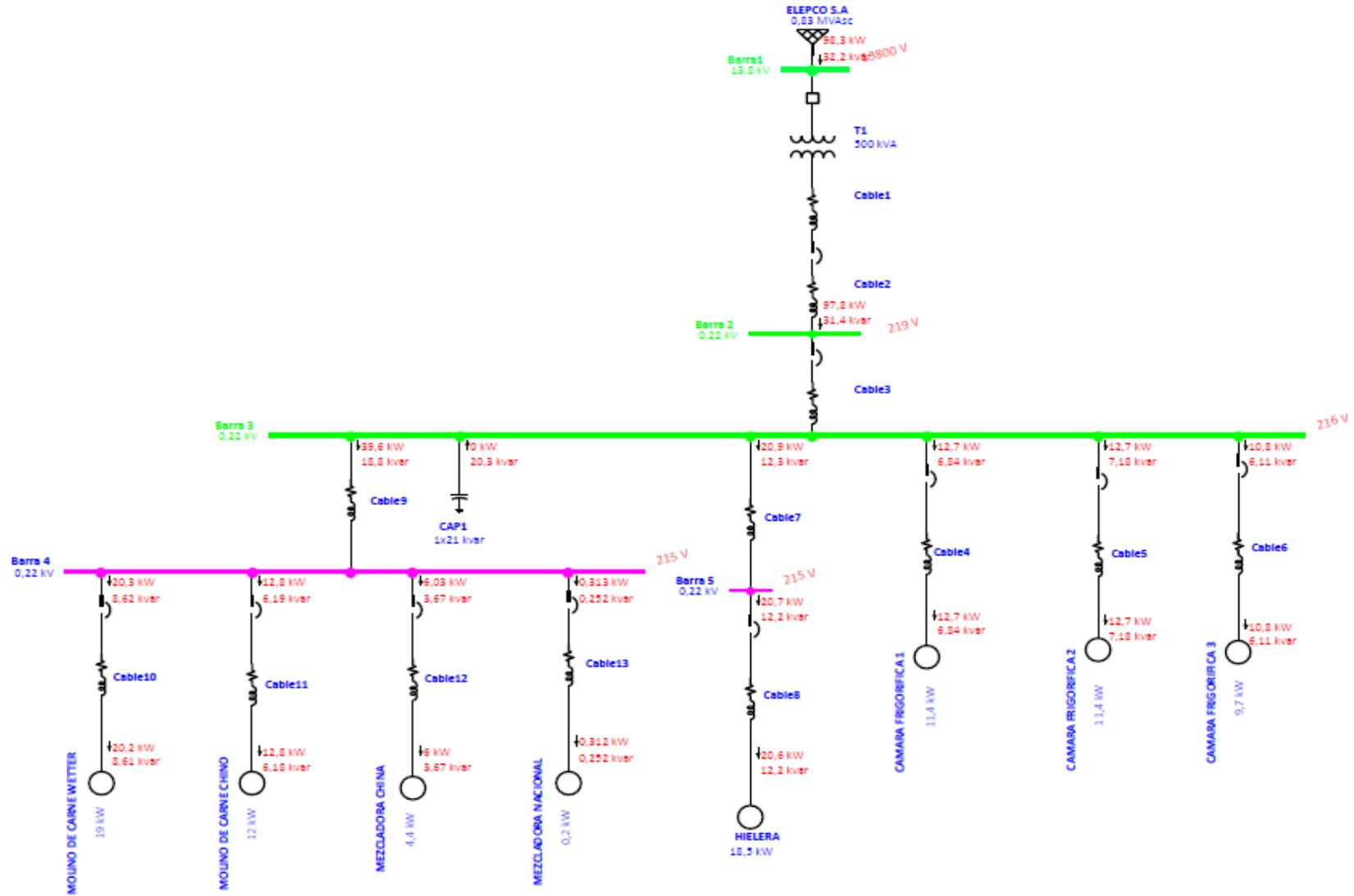


Figura K.2. Sistema mejorado con los nuevos conductores a pleno carga TRAF0_500 kVA

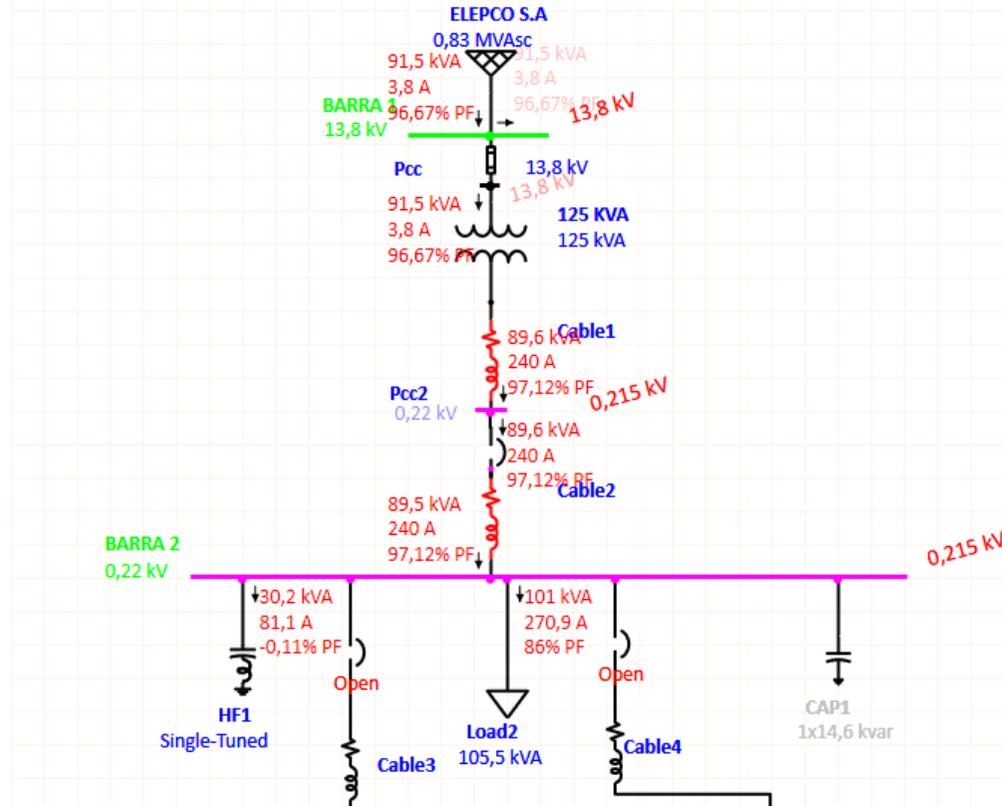


Figura K.3. Simulación de mitigación de armónicos con el ingreso del filtro pasivo TRAF0_125 kVA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

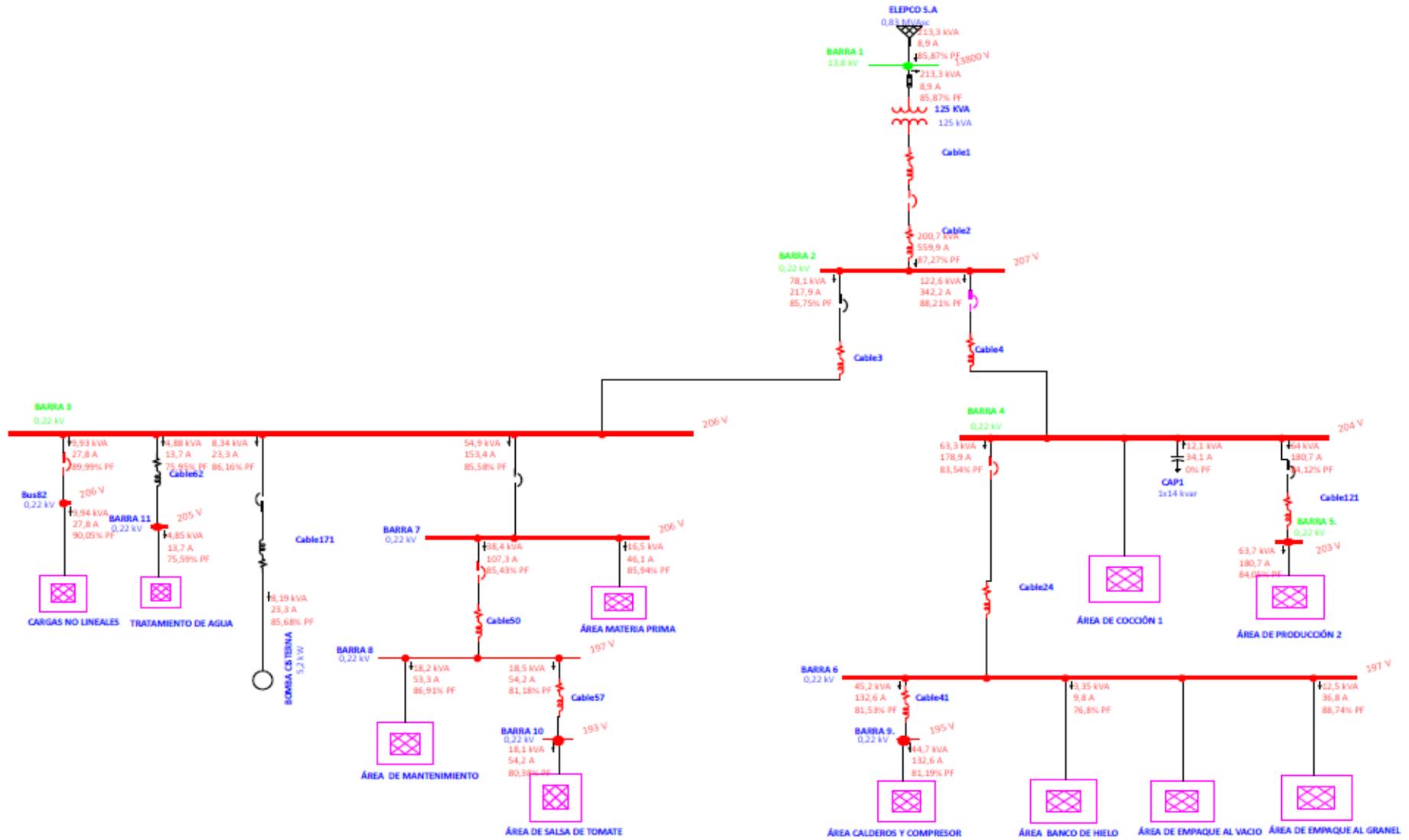


Figura K.4. Simulación del sistema eléctrico del TRAF0_125 kVA con el traslado de cargas

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

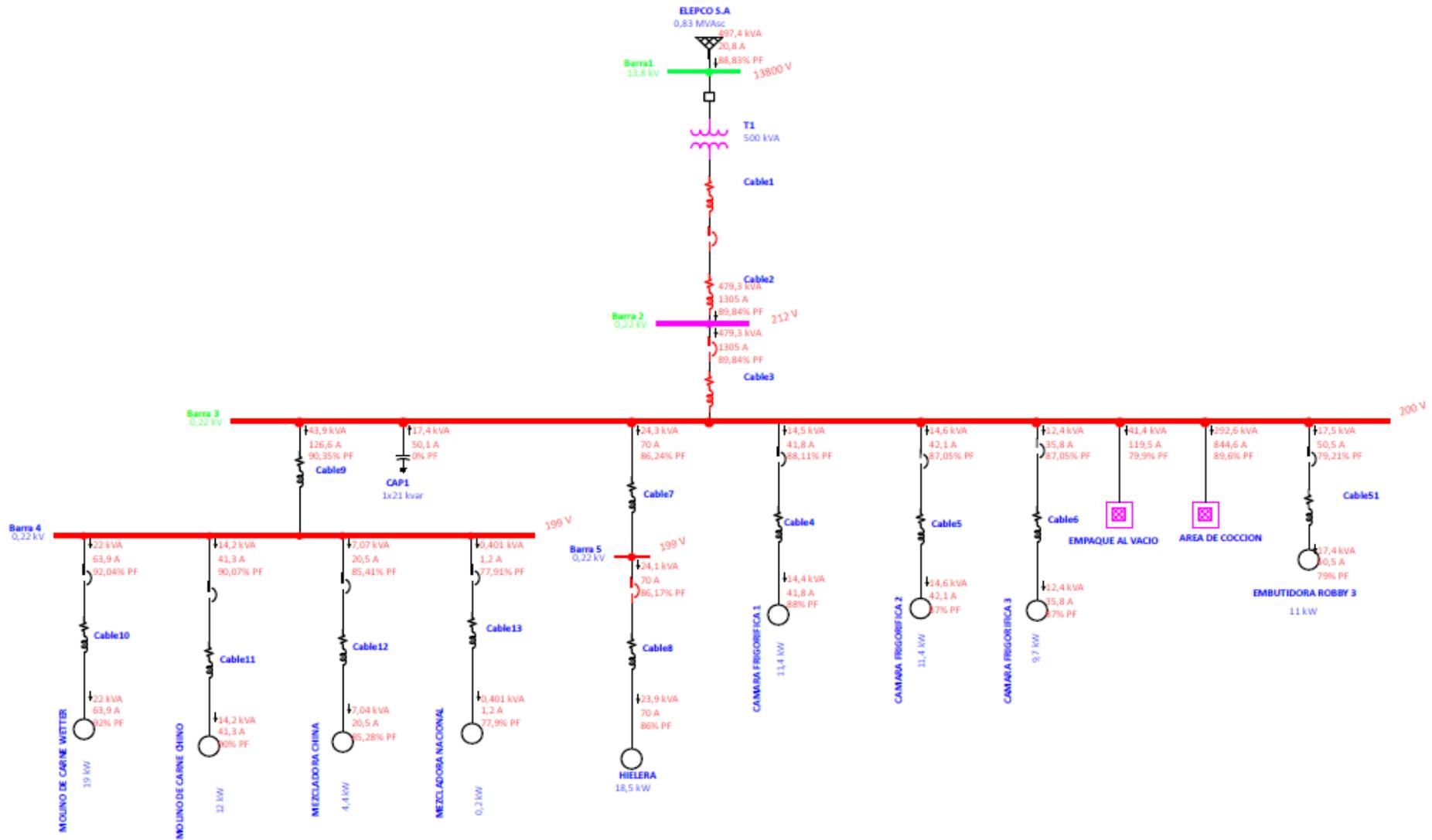


Figura K.5. Simulación del sistema eléctrico TRAF0_500 kVA con el ingreso de cargas provenientes del TRAF0_125 kVA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

Anexo L. Resultados con los nuevos conductores dimensionados

Tabla L.1. Nuevos valores de perdidas, cargabilidad y variación de voltaje del TRAF0_125 kVA

ID	Amp Flow	% PF	% Loading	% Voltage Drop	kW Losses	kvar Losses
125 KVA	25,86	82,49	435,2	11,98	34,41	84,99
Cable1	1622	87,39	317,2	0,78	4,26	2,25
Cable2	1622	87,38	317,2	0,78	4,26	2,25
Cable3	228,8	85,09	67,7	0,18	0,154	0,0469
Cable4	1394	87,73	272,5	1,12	5,24	2,77
Cable24	321,9	82	80,4	2,6	3,09	1,14
Cable41	142,5	81,19	74	0,33	0,196	0,0318
Cable50	112,8	84,11	81,3	1,24	0,545	0,136
Cable57	56,5	80,41	29,3	0,26	0,0616	0,01
Cable62	14,9	76,06	26,8	0,76	0,0536	0,0039
Cable79	163,2	84,75	58,8	0,39	0,245	0,0612
Cable80	248,7	82,85	65,8	0,43	0,409	0,123
Cable83	70,51	87,13	93,1	0,52	0,151	0,0165
Cable84	70,73	87,19	93,4	0,78	0,228	0,0249
Cable85	1,115	90	10,9	0,07	0,0003	0
Cable86	1,291	66	12,7	0,07	0,0005	0
Cable88	7,917	82,08	32,3	0,17	0,0061	0,0002
Cable89	192	92,02	69,2	0,31	0,451	0,113
Cable90	384,1	90,27	83,1	1,04	1,39	0,627
Cable91	75,85	90,05	78,7	0,3	0,155	0,0253
Cable92	175,1	89,2	87,4	1,37	0,866	0,319
Cable93	101,4	90,02	73,1	0,21	0,138	0,0346
Cable94	0,738	90,02		0,1	0,0003	0
Cable95	54,15	79,25	71,5	0,55	0,133	0,0146
Cable96	42,82	81,35	77,1	0,83	0,159	0,0116
Cable97	18,01	80,38	73,5	0,75	0,0633	0,0017
Cable98	18,66	82,44	76,1	1	0,0849	0,0023
Cable99	38,11	94,11	68,6	0,98	0,147	0,0108
Cable100	5,173	79	50,8	0,81	0,0201	0,0002
Cable101	54,22	79,29	71,6	0,67	0,16	0,0175
Cable102	17,35	80,58	93,6	1,15	0,0934	0,0017
Cable103	1,689	90	16,6	0,25	0,0018	0
Cable104	31,36	85,2	87,4	0,55	0,0754	0,0034
Cable105	9,147	84,15	49,3	0,36	0,0146	0,0003
Cable106	3,72	80,07	20,1	0,12	0,0021	0
Cable107	44,1	75,25	79,4	0,4	0,0845	0,0062
Cable108	14,39	75,31	77,6	0,45	0,0321	0,0006
Cable109	0,346	-100		0,03	0	0
Cable110	15,55	80,21	63,5	0,41	0,0295	0,0008
Cable111	24,46	87,07	68,2	0,22	0,023	0,001
Cable121	10,61	96,04	43,3	0,49	0,0206	0,0006
Cable122	11,46	80	83,4	0,94	0,0506	0,0009
Cable123	4,969	82	48,8	0,18	0,0042	0
Cable124	1,215	91,67		0,11	0,0005	0,0002
Cable125	1,215	90,01		0,11	0,0005	0,0002
Cable126	2,167	90,01		0,18	0,0014	0,0006
Cable127	5,376	90,01		0,5	0,0094	0,004
Cable128	1,215	90		0,11	0,0005	0,0002
Cable129	43,6	81,08	78,5	0,19	0,0367	0,0027
Cable130	72,95	81,09	75,7	0,27	0,0821	0,0133
Cable131	14,03	68,2	57,3	0,22	0,0168	0,0005
Cable132	1,048	87	10,3	0,08	0,0004	0
Cable133	2,157	96	21,2	0,11	0,001	0
Cable134	8,681	70,16	46,8	0,19	0,0088	0,0002
Cable135	16,51	81,15	67,4	0,31	0,0233	0,0006
Cable136	16,51	81,15	67,4	0,31	0,0233	0,0006
Cable137	16,5	81,12	67,4	0,26	0,0199	0,0005
Cable138	7,011	74,07	28,6	0,1	0,0036	0,0001
Cable139	3,307	90,03		0,12	0,0017	0
Cable140	15,27	86,21	62,3	0,64	0,0427	0,0011
Cable141	15,23	88,12	62,2	0,44	0,0283	0,0008
Cable142	22,72	86,17	63,3	0,97	0,0951	0,0043
Cable149	4,158	74,16	22,4	0,24	0,005	0,0001
Cable150	0,167	94		0,01	0	0
Cable151	10,12	74,53	54,6	0,78	0,0398	0,0007
Cable152	0,341	96		0,03	0	0
Cable153	0,167	94		0,01	0	0
Cable159	3,523	90,06		0,26	0,0038	0,0001
Cable160	0,204	90		0,02	0	0
Cable161	0,95	90		0,08	0,0003	0,0001
Cable162	0,86	90		0,1	0,0003	0,0001
Cable163	8,305	90,07		0,31	0,0109	0,0003
Cable164	4,494	90,06		0,25	0,0048	0,0001
Cable165	0,86	90,02		0,09	0,0003	0
Cable166	3,294	90,08		0,34	0,0046	0,0001
Cable167	0,792	90,02		0,08	0,0003	0
Cable168	1,199	90,02		0,09	0,0004	0
Cable169	1,085	90,03		0,14	0,0006	0
Cable171	25,46	86,26	71	1,81	0,199	0,0089
Cable173	29,2	86,12	81,4	0,36	0,0785	0,0035
Cable175	50,44	85,91	36,4	0,19	0,0374	0,0093
T1	175,1	89,11	90,8	2,34	0,891	1,71
T_125KVA1	384,1	90,25	95,1	3,04	1,91	6,58
T_ELEVADOR_65KVA2	50,44	85,87	25,2	0,65	0,0683	0,131
T_ELEVADOR_66KVA1	131	89,44	63,4	1,58	0,454	0,871

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI – CARRERA DE ELECTRICIDAD

Tabla L.2. Nuevos valores de perdidas, cargabilidad y variación de voltaje a pleno carga del TRAF0_500 kVA

ID	Amp Flow	% PF	% Loading	% Voltage Drop	kW Losses	kvar Losses
Cable1	271,4	95,17	72,7	0,15	0,127	0,118
Cable2	271,4	95,2	53,1	0,13	0,119	0,063
Cable3	271,4	95,2	59,2	1,12	1,07	0,48
Cable4	38,65	88	63,6	0,46	0,0738	0,0065
Cable5	38,98	87,04	70,2	0,18	0,0293	0,0021
Cable6	33,17	87,05	59,7	0,19	0,0266	0,0019
Cable7	64,7	86,21	32,3	0,64	0,151	0,0558
Cable8	64,71	86,15	85,5	0,61	0,165	0,018
Cable9	117,1	90,34	58,5	0,38	0,162	0,0596
Cable10	59,11	92,03	78,1	0,27	0,0636	0,0069
Cable11	38,18	90,06	68,8	0,32	0,0493	0,0036
Cable12	18,95	85,39	77,3	0,37	0,0307	0,0008
Cable13	1,077	77,91	4,4	0,02	0,0001	0
T1	4,326	95,03	20,6	0,4	0,241	0,595

Anexo M. Procedimiento del planteamiento de soluciones

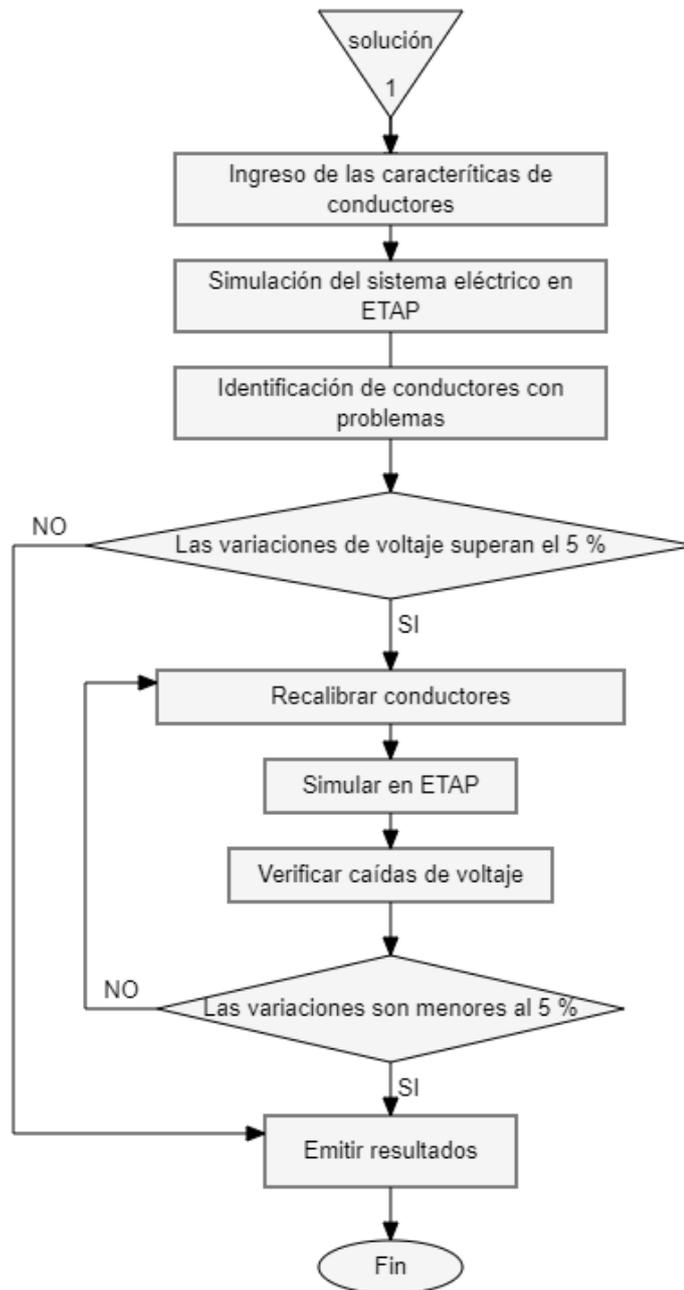


Figura M.1. Procedimiento realizado en la solución 1.

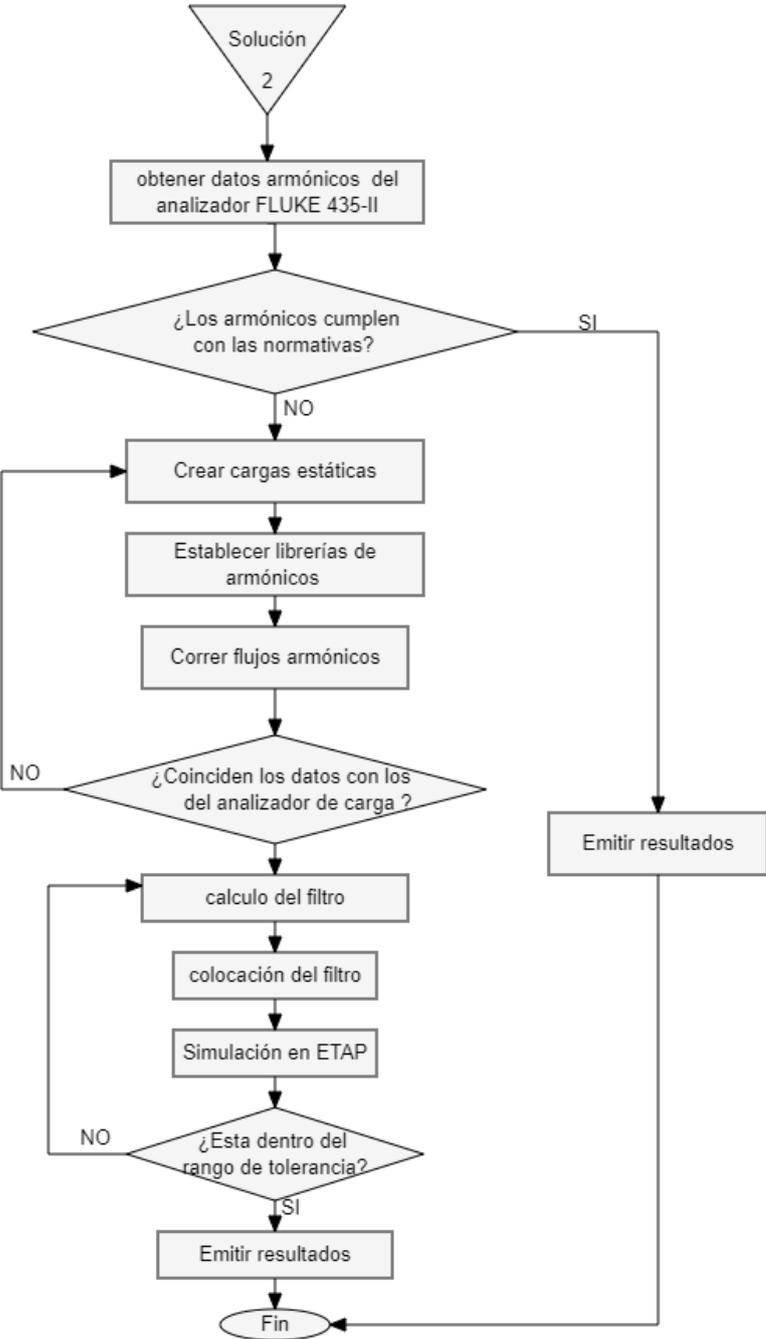


Figura M.2. Procedimiento realizado en la solución 2



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Número de Certificado: LMEL19341PQA

DATOS DEL CLIENTE

Nombre: ING. PAULINA SALAZAR

Dirección: Latacunga

Representante: Ing. Paulina Salazar.

Teléfono: 099 2546829

INSTRUMENTO BAJO PRUEBA

Descripción: POWER QUALITY AND ENERGY ANALYZER

Marca: FLUKE

Modelo: 435 II

Serie: -----

Código: IPS-18-560-LME

Fecha de recepción: 2021-03-05

PROCEDIMIENTO UTILIZADO: PR-LMEL-02

CONDICIONES AMBIENTALES

Lugar de Calibración: LABORATORIO

PROMEDIO

Temperatura ambiente: 20,6 °C

Humedad Relativa: 45,9 % HR

FECHA DE CALIBRACIÓN

Inicio de Calibración: 2021-03-06

Fin de Calibración: 2021-03-06

Fin de Emisión: 2021-03-06

Próxima Calibración: -----

Núm. de días de Calibración: 01 día

INSTRUMENTO PATRÓN UTILIZADO

Descripción:	MULTI PRODUCT CALIBRATOR	AMP AC/DC CLAMP COIL ADAPTER
Marca:	TRANSMILLE	TRANSMILLE
Modelo:	3041A	EA002
Serie:	L1395A16	111657A16
Núm. Certificado:	LMEL19017PMC	38364
Fecha de Cal:	2021-03-06	2021-03-07
F. de próx. Cal:	2022-03-07	2022-03-15

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CALIBRACIÓN

Todas las incertidumbres declaradas en este certificado de calibración son expresadas para un factor de cobertura $k=2$ (aproximadamente 95,45 % de probabilidad de cobertura (ó nivel de confianza) asumiendo distribución normal) de acuerdo a la G.U.M. La calibración ha considerado entre otras las siguientes fuentes de incertidumbre: Instrumento Patrón, Sistema de Calibración, Repetibilidad y Resoluciones de las mediciones del instrumento bajo prueba.

Los resultados de este Certificado de Calibración son válidos únicamente para el instrumento indicado y bajo las condiciones de referencia declaradas.

Las mediciones realizadas por nuestro laboratorio se basan en patrones de referencia que mantienen trazabilidad a Laboratorios Nacionales y Laboratorios acreditados bajo la norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2018, se utilizan procedimientos desarrollados por la Compañía METASDELECUADOR CÍA. LTDA.

Este certificado de calibración no debe ser copiado parcialmente, solo en su totalidad, con las firmas del personal responsable de la Compañía METASDELECUADOR CÍA. LTDA.

La trazabilidad del laboratorio de la Compañía METASDELECUADOR CÍA. LTDA. Está disponible para el cliente si lo requiere.

El intervalo de calibración (Intervalo de confirmación metrológica) del instrumento es responsabilidad del cliente.





ACTA DE ACEPTACIÓN

Latacunga 29 de octubre del 2021

Señores:

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI

ATENCIÓN:

Mg.C. Xavier Alfonso Proaño Maldonado

DIRECTOR DE LA CARRERA DE ELECTRICIDAD

Presente.

De mi consideración:

Por medio de la presente, luego de haber revisado los documentos presentados por los señores MARCO DANILO GALLO PEREZ y JHONY GERMAN ROTO TENESACA estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, con respecto al tema de tesis que desean realizarlo dentro de las instalaciones de la Empresa la Madrileña cuyo tema es: ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGIA DEL SISTEMA ELECTRICO, autorizo la presencia de los estudiantes en las Instalaciones, solicito a la vez que se cumpla con todo lo planificado según el cronograma de Actividades presentado.

Recuerde que un original del proyecto debe quedar en las instalaciones de la Empresa de embutidos Madrileña, como respaldo del estudio realizado.

Atentamente:

Ing. Marisol Bolaños
GERENTE GENERAL



Celular: 0987766752