



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**Diagnóstico y auditoría energética en la Empresa Lácteos la
Polaca Gustalac S.A.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Electricidad
mención Sistemas Eléctricos de Potencia.

Autor:

Ing. Anzules Soliz Edinson Daniel

Tutor:

Ing. Laverde Albarracín Cristian Samuel MSc.

LATACUNGA –ECUADOR

2022

AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “DIAGNÓSTICO Y AUDITORÍA ENERGÉTICA EN LA EMPRESA LÁCTEOS LA POLACA GUSTALAC S.A.” presentado por EDINSON DANIEL ANZULES SOLIZ, para optar por el título magíster en Electricidad mención sistemas eléctricos de potencia.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública

Latacunga, noviembre, 28, 2022



Ing. Laverde Albarracín Cristian Samuel MSc.

C.C. 172750251-8

AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: “DIAGNÓSTICO Y AUDITORÍA ENERGÉTICA EN LA EMPRESA LÁCTEOS LA POLACA GUSTALAC S.A.”, ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, noviembre, 29, 2022.



MSc. Freire Martínez Luigi Orlando

C.C. 0502529589

Presidente del tribunal



MSc. Castillo Fiallos Jessica Nataly

C.C. 0604590216

Lector 2



MSc. Vásquez Teneda Franklin Hernán

C.C. 1710434497

Lector 3

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por el ser el motor para conseguir cada uno de los objetivos propuestos.

A mi enamorada por estar a mi lado en cada momento para la obtención de este título.

A mi director Ing. Cristian Laverde por la supervisión y acertados consejos para llevar a cabo la finalización de este proyecto de investigación.

Daniel

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, noviembre, 22, 2021



Edinson Daniel Anzules Soliz

C.C. 172327771-9

RENUNCIA DE LOS DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, noviembre, 22, 2021




Edinson Daniel Anzules Soliz

C.C. 172327771-9

AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: “DIAGNÓSTICO Y AUDITORÍA ENERGÉTICA EN LA EMPRESA LÁCTEOS LA POLACA GUSTALAC S.A.” contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, noviembre, 29, 2022.



MSc. Freire Martínez Luigi Orlando
Presidente del tribunal

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD
MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

Título: “DIAGNÓSTICO Y AUDITORÍA ENERGÉTICA EN LA EMPRESA LÁCTEOS LA POLACA GUSTALAC S.A.”

Autor: Anzules Soliz Edinson Daniel

Tutor: Laverde Albarracín Cristian Samuel MSc.

RESUMEN

El presente documento de investigación recopila y presenta datos los cuales permiten realizar un análisis de calidad de energía en la empresa La Polaca Gustalac S.A, con la finalidad de conocer el estado energético actual y proponer posibles soluciones las cuales mejoraran la eficiencia y aprovechamiento de la energía en la empresa, los datos serán analizados bajos los criterios y límites de calidad de le ARCONEL 005/18 misma que indica el correcto o deficiente aprovechamiento de la energía, en la recopilación de datos obtenida por el analizador de redes tanto en el lado de 220v y 420v del transformador se conoció que uno de los grandes problemas de la empresa son los armónicos mismos que causan afectación en los equipos y maquinaria, por tal razón de diseñó un filtro de armónicos para corregir los efectos causados por este fenómeno y así estar dentro de los estándares y límites permitidos según la regulación vigente.

PALABRAS CLAVE: Nivel de voltaje, calidad de energía, energía eléctrica, industria, ARCOTEL, distorsión armónica.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTPAXI
POSTGRADUATE MANAGEMENT
MASTER IN ELECTRICITY
ELECTRICAL POWER SYSTEMS MENTION

Title: “DIAGNOSIS AND ENERGY AUDIT IN DAIRY COMPANY LA POLACA GUSTALAC S.A.”

Author: Anzules Soliz Edinson Daniel

Tutor: Laverde Albarracín Cristian Samuel MSc.

ABSTRACT

This research document collects and presents data which allows to analysis energy quality at La Polaca Gustalac S.A company, in order to know current energy status and propose possible solutions which will improve efficiency and energy usc. In the company, data will be analyzed under the criteria and quality limits of ARCONEL 005/18, which indicate the correct or deficient energy use, on obtained data by network analyzer on both sides of 220v and 420v transformer it was known that one of the greatest company problem is harmonic that affects equipment and machinery, for this reason a harmonic filter was designed to correct caused effects by this phenomenon and thus be within allowed standards and limits according to current regulations.

KEY WORDS: Voltage level, energy quality, ARCONEL, harmonic distortion.

Edison Marcelo Pacheco Pruna con cédula de ciudadanía número: 0502617350, Licenciado en Ciencias de la Educación Mención Inglés con número de registro de la SENESCYT 1020-12-1169234, **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: **Diagnóstico y auditoría energética en la Empresa Lácteos la Polaca Gustalac S.A.** de: **Anzules Soliz Edinson Daniel**, aspirante a Magíster en **Electricidad mención en Sistemas Eléctricos de Potencia.**

Latacunga, noviembre, 29, 2022.



Firmado electrónicamente por:
**EDISON MARCELO
PACHECO PRUNA**

Edison Marcelo Pacheco Pruna
ID. 0502617350



**CENTRO
DE IDIOMAS**

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento del problema.....	2
Formulación del problema	3
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos.	4
Justificación.....	6
Hipótesis.....	6
CAPÍTULO 1	7
Antecedentes de la investigación o marco de referencia	7
Fundamentación del estado del arte.	9
Historia energética del Ecuador.	9
Importancia del ahorro energético en el sector industrial	10
Acciones para el ahorro de energía en el ecuador.....	11
Sostenibilidad Energética.....	11
Energía	12
Principales fuentes de energía.....	13
Aprovechamiento de la energía.....	13
Eficiencia Energética	14
CAPÍTULO II	16
Título del proyecto	16
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
Descripción de la propuesta	17
Metodología	17
Metodología para la toma de datos.	17
REGULACIÓN ARCONEL 005/18.....	17
Atributos de calidad de la distribuidora	18

Calidad del servicio técnico	18
Calidad de producto	18
Perturbaciones rápidas de voltaje (flicker).....	19
Distorsión armónica de voltaje.....	19
Desequilibrio de Voltaje	20
Diseño	21
CAPÍTULO III	22
VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA	22
Análisis de partidas y subpartidas de las instalaciones eléctricas.	22
Esquema de bloques en la instalación eléctrica	23
Cuadro base de partidas y subpartidas	24
ESTUDIO DE CARGABILIDAD DE POTENCIA, BALANCE, DE	
CORRIENTE Y VOLTAJE DE TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE 500	
kVA, 13.200 / 440-220 voltios	25
TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN DE LA FÁBRICA AVENA	
POLACA SANTO DOMINGO.	25
INSTALACIÓN DEL ANALIZADOR DE CALIDAD DE ENERGÍA	25
CIRCUITOR MODELO eBOX-150	25
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS - TRANSFORMADOR TRIFÁSICO	
DE 500 kVA, FÁBRICA DE PRODUCTOS LACTEOS AVENA POLACA-	
SANTO DOMINGO - ECUADOR	27
DEMANDA DE POTENCIA DEL TRANSFORMADOR DE 150 kVA. 220	
VOLTIOS	27
EVALUACIÓN DE INDICADORES DE DESBALANCE DE VOLTAJE Y	
CORRIENTE.	29
NIVEL DE VOLTAJE	29
VERIFICACIÓN FASE – NEUTRO DEL SECUNDARIO DEL NIVEL DE	
VOLTAJE 220 V.	29
VERIFICACIÓN FASE - FASE	31
Verificación del cumplimiento índice de voltaje	32
Regulación de voltaje.....	34

Parpadeo flicker	34
Índice de calidad	35
Verificación del cumplimiento índice flicker	35
Armónicos de voltaje	36
Armónicos de corriente	39
Desequilibrio de corriente	41
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS - TRANSFORMADOR TRIFÁSICO	
DE 500 kVA, (440 v). FÁBRICA DE PRODUCTOS LACTEOS AVENA	
POLACA - SANTO DOMINGO - ECUADOR	
Demanda de potencia del transformador de 350 kva. 440 voltios	43
Evaluación de indicadores de desbalance de voltaje y corriente.	46
Nivel de voltaje	46
Verificación fase – neutro del secundario del nivel de voltaje 440 v.	46
Verificación fase - fase.....	48
Verificación del cumplimiento índice de voltaje	49
Regulación de voltaje	51
Parpadeo flicker	51
Índice de calidad	51
Verificación del cumplimiento índice flicker	52
Armónicos de voltaje	53
Armónicos de corriente	55
Desequilibrio de corriente	57
DATOS OBTENIDOS	58
Diseño de filtros para los armónicos n1, n2, n3.	60
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	66
Bibliografía	67

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos.	5
TABLA II Máquinas accionadas según el tipo de energía utilizada.....	14
TABLA III Aplicaciones según su fuente de energía	15
TABLA IV Valor máximo de voltaje por fase.....	30
TABLA V Valor mínimo de voltaje por fase.....	30
TABLA VI Valor máximo de voltaje fase-fase , Línea 220 v	31
TABLA VII Voltaje fase-fase línea 220 v, valor mínimo.	32
TABLA VIII Porcentaje de cumplimiento en voltaje fase-neutro y fase-fase.....	33
TABLA IX Regulación de voltaje (fase-neutro), ARCONEL 005/18.....	34
TABLA X Regulación de voltaje (fase-fase), ARCONEL 005/18.....	34
TABLA XI de Porcentaje Registros Fuera del Límite-Índice de Severidad de Flicker (PST) 200 kVA, para todo el periodo de medición.	35
TABLA XII Porcentaje de cumplimiento de armónicos de voltaje.	39
TABLA XIII Promedio de distorsión armónica para cada una de las líneas (220V)	39
TABLA XIV porcentaje de registros que incumplen la norma en los límites de distorsión armónica THD.....	41
TABLA XV Cumplimiento según el número de registros.....	42
TABLA XVI Variación de Voltaje fase-neutro Medido máxima – Transformador 350 kVA, 440 voltios.	47
TABLA XVII Variación de Voltaje fase-neutro Medido, mínimo – Transformador 350 kVA-440v.....	47
TABLA XVIII Variación de Voltaje fase-fase máxima – Transformador 350 kVA.....	48
TABLA XIX Variación de Voltaje fase-fase mínimo – Transformador 440 kVA.....	49
TABLA XX Porcentaje Registros Fuera del Límite-Índice de Variación de Voltaje para el transformador trifásico de 350 kVA.	50
TABLA XXI Desequilibrio promedio de voltaje , línea-neutro-440v.....	51
TABLA XXII Desequilibrio promedio de voltaje , línea-línea-440v	51

TABLA XXIII Registros Fuera del Límite-Índice de Severidad de Flicker (PST) 350 kVA, para todo el periodo de medición.....	53
TABLA XXIV Porcentaje de cumplimiento para distorsión armónica THD- 440v.....	56
TABLA XXV Desequilibrio de corriente -440v, porcentaje de cumplimiento.	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Sostenibilidad energética.	12
Fig 2 Límites de voltaje regulación ARCONEL 005/18.....	19
Fig. 3 Formula medición de perturbaciones de voltaje regulación ARCONEL 005/18.....	19
Fig. 4 Fórmula para evaluar la distorsión total e individual de voltaje regulación ARCONEL 005/18.....	19
Fig. 5 Límites de distorsión armónica.....	20
Fig. 6 Paridas y Sub paridas de las instalaciones eléctricas.....	22
Fig. 7 Esquema de bloques de la instalación eléctrica POLCA GUSTALAC S.A.....	23
Fig. 8 Esquema de bloques de la instalación eléctrica POLCA GUSTALAC S.A.....	23
Fig. 9 Resumen de potencias por subpartida.....	24
Fig. 10 Resumen de potencias por etapa.....	24
Fig. 11 resumen de potencia por cuadros.....	24
Fig. 12 Características del analizador de energía My ebox.	26
Fig. 13 Curva de Demanda Máxima de Potencia Activa en (kW).....	27
Fig. 14 Curva de Demanda Máxima de Potencia Aparente en (kVA) AVENA POLACA.....	28
Fig. 15 Curva de del factor de potencia en p.u., Fábrica de Lácteos AVENA POLACA.....	28
Fig. 16 Variación de Voltaje fase-neutro Medido máxima – Transformador 150 kVA, 220 voltios.....	30
Fig. 17 Voltaje fase-fase Línea 220 v, valor máximo.....	31
Fig. 18 Voltaje fase-fase Línea 220 v, valor mínimo.....	31
Fig. 19 Perturbaciones de voltaje flicker, línea 220 v.....	36
Fig. 20 Distorsión armónica de voltaje 220 v	37
Fig. 21 Distorsión armónica de voltaje	37
Fig. 22 Formas de ondas de voltaje, 220v.....	38
Fig. 23 Armónicos de voltaje, 220 v	38

Fig. 24 Niveles Máximos de armónicos impares	39
Fig. 25 Distorsión armónica de corriente - 220 v.....	40
Fig. 26 Armónicos individuales de corriente - 220v.....	41
Fig. 27 Desequilibrio de corriente - 220v	42
Fig. 28 Potencia Activa	43
Fig. 29 Potencia activa máxima.	43
Fig. 30 Potencia aparente en todo el periodo. -440v.....	44
Fig. 31 Potencia activa máxima- 440v.....	44
Fig. 32 Curva de del factor de potencia en p.u., Fábrica de Lácteos AVENA POLACA- 440v	45
Fig. 33 Variación de Voltaje fase-neutro Medido máxima – Transformador 350 kVA, 440 voltios.	46
Fig. 34 Variación de Voltaje fase-neutro Medido, mínimo – Transformador 350 kVA-440v.....	47
Fig. 35 Variación de Voltaje fase-fase máxima – Transformador 350 kVA.	48
Fig. 36 Variación de Voltaje fase-fase mínimo – Transformador 440 kVA.....	49
Fig. 37Registros Fuera del Límite-Índice de Severidad de Flicker (PST) 350 kVA, para todo el periodo de medición.	52
Fig. 38 distorsión total de los armónicos THD, de voltaje, para el transformador de 350 kVA.	54
Fig. 39 Forma de onda de voltaje, distorsión total de los armónicos THD, de voltaje, para el transformador de 350 kVA.	54
Fig. 40 Armónicos individuales de voltaje- 440v	54
Fig. 41 cumplimiento de la regulación ARCONEL 005/18 en referencia a la distorsión armónica total de voltaje -440v	55
Fig. 42 Distorsión armónica de corriente. -440v.....	56
Fig. 43 Distorsión armónica individual- 440v	56
Fig. 44 Desequilibrio de corriente -440v	57
Fig. 45 Filtro armónico RLC en serie.	61
Fig. 46 Diseño general para implementación de filtros armónicos en la empresa La Polaca GUSTALAC.	62

Fig. 47 Esquema de conexión de cargas y filtros armónicos para la línea de 220 v.....	62
Fig. 48 valores RMS y THD con la aplicación de los filtros armónicos para tercer, quinto y séptimo armónico. Línea 220v.....	62
Fig. 49 onda de corriente para cada una de las líneas se ve mejorada debido a la implementación de filtros armónicos línea 220v.....	63
Fig. 50 Resultado THD de corriente y voltaje utilizando filtros armónicos para tercer y quinto armónico. -440v	63
Fig. 51 Forma de onda senoidal sin implementación de filtros armónicos.....	64
Fig. 52 Resultados THD sin implementación de filtros armónicos. -440v.....	64
Fig. 53 Resultado THD de corriente sin implementación de filtros armónicos 220V	65

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La eficiencia energética a nivel mundial y sus posibilidades de ser realmente posibles han sido investigadas, puesto a prueba y comprobadas tanto en vehículo, electrodomésticos, luces, lámparas y a nivel industrial con los parámetros eléctricos y de calidad con los cuales se asegura un mayor aprovechamiento de energía. [1]

Debido a la importancia de ser eficiente energéticamente hablando se han presentado diversas propuestas para los países de la región americana las cuales ayudan a establecer la institucionalidad y sobre todo planes nacionales donde la eficiencia sea un pilar fundamental en cada proceso industrial o administrativo, para esto se han tomado varios modelos europeos debido a la experiencia y años que han empleado en estos parámetros para el mejoramiento tanto de sus sistemas como del medio ambiente. [2]

El trabajo de titulación presentado se enmarca dentro de una línea específica de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, misma que responde a la Maestría en Electricidad: Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental la cual se deriva de la sub línea correspondiente a la explotación y diseño de sistemas de potencia, específicamente se investigó acerca de la calidad de energía en una empresa de Santo Domingo de los Tsáchilas.

El análisis y estudio de calidad de energía es un tema de gran importancia que se ve inmerso tanto el servicio público como el privado además de los consumidores, el aumento de cargas no lineales ha significado actualmente un incremento en la eficiencia energética donde se ven reflejado en los análisis y cada vez afectan más el funcionamiento de los equipos eléctricos.

En la investigación de determinarán técnicas para la detección, localización y clasificación de perturbaciones, las diferentes técnicas utilizadas serán en base a la regulación ARCONEL 005/15, donde se establecen parámetros y límites permitidos

además del reconocimiento de estándares propios de un sistema, mismo que nos permitirán determinar el cumplimiento del sistema evaluado.

Planteamiento del problema

Los sistemas eléctricos por lo general sufren una serie de perturbaciones debido a causas externas ocasionadas por tormentas eléctricas o vientos fuertes que causan daños en las redes eléctricas y también perturbaciones internas debido a cortocircuitos, maniobras de red, presencia de señales armónicas, entre otras más.

Los circuitos electrónicos son cada vez más utilizados en la industria misma que modifican las corrientes senoidales que presentan formas alejadas de su naturaleza, además de que las regulaciones y el mercado eléctrico es cada vez más exigente en cuanto a provisión de servicio y utilización de la energía eléctrica.

La empresa Lácteos La Polaca GUSTALAC S.A. es una empresa líder en la elaboración y comercialización de varios productos lácteos desconoce el estado actual del consumo de energía de cada una de sus máquinas y elementos eléctricos de sus instalaciones la misma que lleva operativa más de 15 años sin realizarse cambios considerables en cuanto a inversiones de maquinaria y equipos necesarios para sus operaciones diarias, para el control de dichos procesos internos se emplean elementos electrónicos que causan perturbaciones y modificaciones en la calidad de energía eléctrica recibida, actualmente en la industria se trabaja con una metodología que no permite evaluar la calidad de energía tanto utilizada como recibida todo esto según la regulación ARCONEL 005/18, donde se establecen límites, condiciones y procedimiento ideales para el correcto funcionamiento y aprovechamiento energético, al desconocer el estado eléctrico actual se desconoce que tipo de perturbaciones o parámetros no están en los rangos normales de trabajo, mismo que pueden causar recalentamiento en conductores, distorsiones en la onda senoidal, consumos excesivos de energía y demás.

Formulación del problema

¿Cuál es el estado eléctrico actual de la empresa Lácteos La Polaca GUSTALAC S.A. ubicada en la Cooperativa! Las Palmas – Av. Chone, Calle Argentina en Santo Domingo de los Tsáchilas según la Regulación ARCONEL 005/18?

OBJETIVO GENERAL

Determinar el estado eléctrico actual en el que se encuentra la empresa Lácteos La Polaca GUSTALAC S.A, utilizando un analizador de energía para constatar el cumplimiento de los parámetros establecidos en la regulación ARCONEL 005/18.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar búsqueda de información técnica sobre eficiencia energética y regulaciones de la calidad eléctrica mediante herramientas electrónicas para la sustentación teórica del proyecto de investigación.
- Recopilar datos de calidad de energía mediante un analizador de energía para la identificación de problemas energéticos que presenten incumplimiento a la regulación ARCONEL 005/18.
- Realizar filtros armónicos para la corrección de corrientes armónicas existente en el sistema interno de la Polaca GUSTALAC S.A, utilizando Matlab para la verificación de los porcentajes THD tomando como referencia los parámetros establecidos en la regulación ARCONEL 005/18.

Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos.

Objetivos específicos	Actividad (tareas)	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
Realizar búsqueda de información técnica sobre eficiencia energética y regulaciones de la calidad eléctrica mediante herramientas electrónicas y consulta de expertos para la sustentación teórica del proyecto de investigación.	Recopilación de datos a través de buscadores de internet para información general sobre calidad de energía eléctrica. Buscar asesoría de expertos para complementación de información de calidad de energía eléctrica para mejorar el entendimiento del proyecto investigativo.	Se encontró información sobre calidad energética en los buscadores de internet que permitió delimitar parámetros específicos de calidad para análisis y mediciones. Se obtuvo asesoría por parte de ingenieros expertos en el área de calidad de energía sobre corrección de armónicos de corriente y la corrección de los mismos.	Se realizó búsqueda de información técnica sobre eficiencia energética y calidad de energía eléctrica en documentos encontrados en bibliotecas virtuales de las diferentes universidades mismas que fueron estructuradas y detalladas en el proyecto de investigación. Se coordinaron reuniones con ingenieros expertos en la calidad de energía eléctrica para definir los tipos de mediciones y correcciones para un sistema que incumpla parámetros establecidos para asegurar el aprovechamiento de la energía eléctrica.
Recopilar datos de calidad de energía mediante un analizador de energía para la identificación de problemas energéticos que presenten incumplimiento a la regulación ARCONEL 005/18.	Realizar visitas a la empresa Polaca GUSTALAC S.A para identificar procesos y maquinaria utilizada, además de obtener esquemas de bloques de las instalaciones eléctricas. Conectar un analizador de	Se obtuvo diagramas de bloques de las instalaciones eléctricas para determinar la utilización de la misma. Obtención de datos de parámetros eléctricos para analizar cumplimiento o	Colocar un analizador de energía en la salida del transformador para conocer los parámetros eléctricos utilizando un analizador de energía, se evaluará las líneas de 220 V y 440 V, mismas que serán evaluadas bajo los parámetros requeridos por la regulación ARCONEL 005/18.

	energía a la salida del transformador para obtener datos de los parámetros de energía de la empresa La Polaca GUSTALAC S.A, mismo que serán analizados para detallar corrección en los que haya incumplimiento.	incumplimientos según la regulación ARCONEL 005/18	
Realizar filtros armónicos para la corrección de corrientes armónicas existente en el sistema interno de la Polaca GUSTALAC S.A, utilizando Matlab para la verificación de los porcentajes THD tomando como referencia los parámetros establecidos en la regulación ARCONEL 005/18.	Determinar los porcentajes de incumplimiento en los armónicos individuales de corriente de las líneas 220 V y 440 V para realizar los cálculos de inductancias y selección de capacitores. Simular en Matlab los filtros para corrección de corrientes armónicas para corregir los porcentajes de cumplimiento según la regulación ARCONEL 005/18.	Disminuir a los porcentajes de corrientes armónicas del sistema utilizando simulación en Matlab.	Diseñar filtros armónicos que me permitan disminuir el flujo de corrientes de tercer, quinto y séptimo armónico en el sistema, distribuyendo dichas corrientes a tierra, esto con la ayuda de la simulación en Matlab en donde se seleccionará los filtros ideales para el sistema.

TABLA I Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos.

Justificación

La empresa Lácteos La Polaca GUSTALAC S.A. es una empresa dedicada a la transformación de productos lácteos con la ayuda de proceso industriales, mismo que demandan consumo de energía eléctrica en la mayoría de sus procesos, la empresa lleva operativa más de 15 años en los cuales no se han realizados análisis en el consumo eléctrico ni de cumplimiento en cada uno de sus parámetros eléctricos, además se recalca el aumento de equipos electrónicos tanto en las áreas administrativas como operativas que generarían perturbaciones y distorsiones importantes en el sistema eléctrico general.

La utilización de un analizador de energía para la obtención de datos eléctricos es de gran importancia para determinar que parámetros están dentro de los rangos permitidos y plantear soluciones técnicas para resolver los problemas causados por los parámetros que no estén dentro de los rangos admisibles.

La regulación ARCONEL 005/18, establece límites, condiciones y procedimiento ideales para el correcto funcionamiento y aprovechamiento energético, al desconocer el estado eléctrico actual se desconoce qué tipo de perturbaciones o parámetros no están en los rangos normales de trabajo, mismo que pueden causar recalentamiento en conductores, distorsiones en la onda senoidal, consumos excesivos de energía y demás.

El presente proyecto investigativo propone criterios técnicos para mejorar la calidad del proceso operativo de la empresa Polaca GUSTALAC S.A, mejorando y aumentando así la vida útil de equipos eléctricos, mitigando deficiencias en los parámetros de calidad establecidos en la REGULACIÓN ARCONEL 005/18, sobre todo de las corrientes armónicas no utilizadas en los procesos operativos.

Hipótesis

Se podrá determinar el estado eléctrico actual de la empresa La Polaca GUSTALAC S.A, utilizando un analizador de energía en donde se obtendrán datos de los parámetros de calidad eléctrica que nos permitan corregir mediante simulación en Matlab aquellos en los que se presenten incumplimiento sobre todos en los armónicos de corriente según lo establece la regulación ARCONEL 005/18.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Antecedentes de la investigación o marco de referencia

TEMA: AUDITORÍA ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS ADMINISTRATIVO Y DOCENTE DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, PARA DISMINUIR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

AUTOR: EDGAR ANTONIO FIGUEROA BARRIONUEVO

AMBATO – ECUADOR

METODOLOGÍA

El enfoque que se da en el presente proyecto investigativo, es de tipo cualitativo, debido a que se pretende en el primer caso, a la mejora de los estándares inicialmente implantados que actualmente se manejan, mientras que en el segundo caso por la realidad cambiante que para el mismo puede tabularse en función de mejoras aplicadas en cuanto al uso correcto de los recursos energéticos.

[3]

TEMA: AUDITORÍA ENERGÉTICA DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA LA EMPRESA MOLINERA DE ARROZ VALLE DORADO S.A.C EN LA CIUDAD DE JAÉN – PERÚ – 2020

AUTORES: BACH. KERVIN GIAN KARLO ANTÓN BAZÁN

BACH.FREIDY JEAN CARLOS BAUTISTA NEYRA

Para un diagnóstico y auditoría en el área industrial la recopilación de datos será fundamental para determinar los elementos generadores y consumidores de energía los cuales serán evaluados en cuanto a su eficiencia mediante mediciones para determinar los consumos reales y sobre todo los costos operativos que representa cada elemento.

Conclusiones

1. Del inventario realizado a los equipos y máquinas consumidores de energía eléctrica, se llega a una conclusión que la potencia a plena carga del día es de 318.45 kW, donde los equipos y máquinas son los mayores consumidores de energía eléctrica, definiendo que su consumo mensual es de 58 225.44 kW, h/mes.

2. De acuerdo a los datos obtenida a través del analizador de redes trifásica se determina que la variación de tensión se encuentra entre 5.66 % y 6.07 %, el cual se encuentra dentro de las tolerancias admitidas por la NTCSE (Norma Técnica de Calidad de Energía Eléctrica), por debajo del ± 7.5 % de las tensiones nominales; el factor de potencia promedio es 0.85; la potencia aparente máxima registrada fue de 176.27 kVA el día 04 enero de 2020, su potencia activa máxima fue registrada el día 02 de enero de 2020 fue de 132.55 kW y su potencia reactiva máxima registrada el día 31 de diciembre de 2019 fue de 7.53 kVAr.

3. De la toma de mediciones realizadas con el luxómetro en las áreas de la Molinera de Arroz Valle Dorado SAC, se determina que el nivel de iluminación recomendado en su mayoría no está cumpliendo la norma técnica EM-010, por lo que se propuso cambio de tecnología LED; donde cambiando a reflectores LED de 200W, tendremos un tiempo de vida útil para los reflectores de 15 años, un ahorro de energía de 2 160 kWh/año y una rentabilidad económica de S/ 516,89 por año. [4]

TEMA: AUDITORÍA ENERGÉTICA EN EL HOSPITAL JULIUS DOEPFNER DE LA CIUDAD DE ZAMORA.

AUTOR: Cristhian Wilfrido Aguilar Romero

- **Metodología práctica para una Auditoría**

La auditoría energética es una evaluación sistemática de las prácticas actuales de uso de la energía, desde el punto de compra hasta el punto de uso final. Así como una auditoría financiera examina los gastos de dinero, la auditoría energética identifica cómo la energía es consumida, es decir:

- Cómo y dónde la energía ingresa en la instalación, en el departamento, el sistema o en el equipo.
- Dónde se lleva la energía y cómo se la utiliza.
- Si existe diferencia entre la alimentación y los usos de la energía.
- Cómo se puede utilizar con mayor eficacia o eficiencia. [5]

TEMA: DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UNA GUÍA PARA REALIZAR AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN EL SECTOR INDUSTRIAL

AUTORES: MUÑOZ SAONA ESTEBAN PAÚL, VERGARA REYES ANÍBAL EFRAÍN.

CONCLUSIONES

A través de la utilización de la guía para Auditorías energéticas en el sector industrial, se facilita la obtención de datos y parámetros importantes para el posterior estudio de Eficiencia Energética.

Gracias a la herramienta, Guía para Auditorías Energéticas, se obtuvo conocimiento de la situación actual, datos sobre consumos, costos de energía y de producción para mejorar el rendimiento de los factores que contribuyen a la variación de los índices energéticos de las instalaciones consumidoras de energía. [6]

Fundamentación del estado del arte.

Historia energética del Ecuador.

El potencial Hidroeléctrico en el Ecuador es bastante grande ya que cerca de 80% del país consume energía eléctrica generada por hidroeléctricas construida en el país y el restante es obtenido por plantas térmicas mismas que funcionan a base de

elementos derivados de petróleo o carbón, esto representa casi la mitad de ingresos presupuestarios.

En la década de los años 60 el desordenado desarrollo en el sector eléctrico dio lugar a que se promulgue la Ley Básica de Electrificación y se le dio un lugar de importancia al estado en la generación eléctrica del país.

En esa misma década se estableció el Sistema Nacional Interconectado donde se establecieron empresas regionales, este sistema estaba conformado por 1300 km de redes radiales s 138kV con 25 subestaciones.

En los años 70 en estado ejecutó mega proyectos hidroeléctricos ya que las centrales hidroeléctricas resultas más eficientes que las centrales térmicas.

A partir de 1996 el sector eléctrico ecuatoriano dio un giro al expedirse una ley en donde se estructuraba cada una de las instituciones en el sector eléctrico: CONELEC, CENACE, empresas de generación, empresas de distribución y venta de energía, TRANSELECTRIC.

El 13 de enero de 2009 se constituye la CELEC (CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR), fusionadas con empresas de generación existentes en la época, por su ámbito de acción se establece como un servicio público estratégico donde su objetivo es la provisión de servicio eléctrico los cuales responden a principios como: obligatoriedad, uniformidad, generalidad, responsabilidad, accesibilidad, regularidad, universalidad, continuidad y sobre todo calidad en su servicio. [7]

Importancia del ahorro energético en el sector industrial

El Ecuador ha experimentado significativamente los consumos de energía debido a los crecimientos en el sector industrial lo cual representan mayores fuentes de ingreso y fuentes de trabajo que han mejorado la calidad de vida de cada uno de ellos.

Por esta misma razón es importante realizar planes sobre una política energética que permitan afrontar los aumentos de demanda de energía sin interferir con la

calidad y a su vez creando un modelo energético propio con mayores estándares de servicio comprometidos con el desarrollo sostenible.

En los últimos años el ahorro de energía para la reducción de costos en el sector industrial es uno de los propósitos de cada uno de los que integran este sector, al inicio de los años 70 el sector de la industria y de los procesos no se interesaba en el consumo y uso de la energía en cada uno de los procesos ya que los recursos existían en mayor cantidad sobre todo lo que provenían de derivados del petróleo, con las regulaciones y el pensamiento de la conservación y desarrollo sostenible se ha impulsado normativa que permite el control y aseguramiento de los recursos utilizados. [8]

Acciones para el ahorro de energía en el ecuador

- Reducción en los horarios de funcionamiento de ciertas actividades comerciales sobre todo de actividad nocturna.
- Instalación de focos ahorradores
- Campañas de comunicación para ahorro de energía
- Auditoria energéticas
- Reducción en alumbrado público que se considere ornamental.
- Implementar procedimientos para ahorrar un 10% en el suministro eléctrico.

Sostenibilidad Energética

Se denomina sostenibilidad energética al equilibrio entre la seguridad energética, sostenibilidad ambiental y la equidad social, es decir mantener un equilibrio en el ámbito social, económico y ambiental reconociendo que el aprovechamiento de la energía es clave para el desarrollo de cualquier sociedad.

La seguridad energética aborda en si gestiones efectivas de los recursos energéticos domésticos y externos, la sostenibilidad requiere la mitigación de impactos negativos por medio de desarrollo de energías limpias y el aprovechamiento óptimo de las mismas [9]



Fig. 1 Sostenibilidad energética.

1.1.1. Diagnóstico Auditorías energéticas

Se define como diagnóstico energético al estudio sobre el estado actual de las instalaciones y auditoría energética la aplicación de un conjunto de técnicas que determinaran los grados de eficiencia con la que es utilizada la energía en las diversas actividades cotidianas o industriales, consiste en un estudio de todas las formas y fuentes de energía por medio de análisis críticos en una instalación consumidora de energía y a su vez presentar las debidas soluciones para mitigar pérdidas de energía. [10]

1.1.2. Objetivos de las Auditorías energéticas

- Obtener datos sobre consumos, costos de energía y de producción.
- Obtener balances energéticos de los elementos consumidores de energía.
- Determinar y evaluar económicamente volúmenes de ahorro alcanzables y las estrategias aplicables para lograrlo [10].

Energía

El concepto de energía se basa en la capacidad de los cuerpos o conjuntos de cuerpo para ejecutar un trabajado determinado, dicha energía se la puede encontrar en el calor, luz del sol, el agua que fluye de un río, el viento, vegetales, gases líquidos, entre otras. La energía puede ser transferida o convertida a diferentes formas de energía

La energía se divide en dos la renovable y no renovables, la primera es aquella en la cual sus potencias es inagotable ya que provienen de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua como la radiación solar o atracción gravitatoria de la luna, a este grupo pertenecen las energías hidráulicas, solar, eólica, geotérmica, biomasa y marinas. [11]

Por su parte la energía no renovable se entiende por aquellas que existen en la naturaleza en cantidades limitadas, en otras palabras, no son capaces de renovarse a corto plazo y por eso se agotan [12]

Principales fuentes de energía

En la TABLA1 se presenta las procedencias de cada una de las energías renovables convenciones y no convencionales.

Tipos de energía	Procedencias
Energía Hidráulica	El agua
Energía eólica	El viento
Energía geotérmica	Calor interior de la tierra
Energía solar	El sol
Energía mareomotriz	El mar
Energía fotovoltaica	El sol
Energía de biomasa	Materias agrícolas
Energía gradiente térmico oceánico	El mar
Otras energías	Origen diverso

TABLA I Fuentes de Energías Renovables.

Aprovechamiento de la energía

Las energías se transforman en otras formas de energía para diversas aplicaciones, una de las principales formas de transporte es transformar a energía eléctrica por el fácil transporte, comodidad en aplicaciones, es la forma de energía más utilizada y por ende es una de las menos costosas. [13]

En la TABLA2 se muestra las maquinas accionadas según la energía primaria utilizada para diversos fines sobre todo la transportación de energía eléctrica.

Energía primaria	Máquina accionada	Electricidad
Hidráulica	Turbina de agua	CA/CC
Térmica	Turbina de vapor	CA/CC
Petróleo	Motors a diésel y gasolina	CA/CC
Queroseno	Motor de reacción	CA/CC
Fuerza del viento	Aerogenerador	CA/CC
Gas	Motor de gas	CA/CC
Nuclear	Reactor	CA/CC
Biomasa	Procesos diversos	CA/CC
Luz del sol	Paneles fotovoltaicos	CA/CC
Calor del sol	Paneles térmicos	CA/CC
Mareomotriz	Turbina de agua	CA/CC

TABLA II Máquinas accionadas según el tipo de energía utilizada.

Eficiencia Energética

Se entiende por eficiencia energética al aprovechamiento óptimo de la energía consumida sin que esto implique renunciar a la calidad de vida, al contrario, lo que busca la eficiencia energética es tener las mismas condiciones utilizando lo necesario para tener dicha calidad y no sobredimensionar o sobre explotar recursos [5].

En la TABLA3 se presentan diversas aplicaciones según su fuente de energía.

Energía	Aplicación
Petróleo	Motores en general Calentar agua Calefacción Industria
Carbón	Generar calor Generar electricidad Siderurgia Industria
Gas	Generar calor Accionar turbina de gas Generar electricidad Industria
Solar	Calentadores Generar electricidad
Agua	Mover turbinas Producir electricidad
Viento	Extracción de agua Moler granos Generar electricidad
Geotérmica	Calentadores
Mareomotriz	Generar electricidad
Biomasa	Producir calor Generar electricidad

TABLA III Aplicaciones según su fuente de energía

CAPÍTULO II

Título del proyecto

Diagnóstico y auditoría energética en la empresa lácteos la Polaca GUSTALAC s.a.

OBJETIVO GENERAL

Recopilar datos de parámetros eléctricos utilizando un analizador de energía en la empresa Lácteos La Polaca GUTALAC S.A para determinar el cumplimiento de los rangos admisibles de calidad de energía eléctrica establecidos en la regulación ARCONEL 005/18.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información sobre calidad eléctrica de una empresa y sus rangos admisibles según la regulación ARCONEL 005/18 mediante herramientas tecnológicas.
- Obtener datos de los parámetros eléctricos mediante un analizador de energía a la salida del transformador de la empresa Lácteos La Polca GUSTALAC SA.
- Corregir el porcentaje de armónicos de corrientes encontrados, mediante el diseño y simulación de filtros de corrientes de tercer, quinto y séptimo armónico en Matlab para las líneas de 220 V y 440 V.

Descripción de la propuesta

La empresa de elaboración de productos lácteos desea conocer el estado energético actual, sobre todo la parte eléctrica, la cual desconocen si están en cumplimiento con los parámetros permitidos dentro de las regulaciones eléctricas existentes en el país, la falta de estudios eléctricos ha significado un completo desconocimiento del aprovechamiento real de la energía utilizada.

Para determinar con claridad el cumplimiento de los parámetros de calidad de energía se utilizará un analizador de energía el cual nos permitirá obtener datos y con estos efectuar soluciones pertinentes para el mejoramiento y aprovechamiento de energía necesario para cada área operativa.

Metodología

Se aplicará una metodología cuantitativa misma que utiliza valores numéricos para estudiar un fenómeno, como consecuencia se obtiene conclusiones las cuales pueden ser expresadas de forma matemática, al contar con mediciones y cálculos se podrá permitirán determinar de manera exacta la condición real en la que se encuentra la empresa de avena la POLACA en cuanto al consumo de energía eléctrica en sus instalaciones, se realizará trabajos de campo basado en la observación, medición y análisis de cada resultado donde se utilizará equipos eléctricos de medición entre ellos un analizador de redes para mayor certeza en cada dato obtenido. [14]

Basado en la regulación ARCONEL 005/18 se establecerá los parámetros eléctricos de cumplimiento o incumplimiento mismo que serán analizados y estudiados para la búsqueda de soluciones técnicas que mejoren el aprovechamiento de energía eléctrica del sistema interno de la empresa.

Metodología para la toma de datos.

REGULACIÓN ARCONEL 005/18

La regulación ARCONEL 005/18 establece índices y límites de calidad del servicio tanto en la distribución como en la comercialización de la energía eléctrica, además de definir procesos para la medición, registros y evaluación las cuales deben ser cumplidas por las empresas tanto de distribución como la de los consumidores. [15]

Atributos de calidad de la distribuidora

Calidad del producto

- Nivel de voltaje.
- Perturbaciones rápidas de voltaje.
- Distorsión armónica de voltaje.
- Desequilibrio de voltaje.

Calidad del servicio técnico

- Frecuencia de interrupciones a nivel global y por consumidor.
- Duración de interrupciones a nivel global y por consumidor.

Calidad de producto

Índice

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} * 100 (\%)$$

Donde

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

V_k = Voltaje de suministro en el punto, 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.

Límites

En la ilustración 2 se presenta los rangos admisibles para cada nivel de voltaje.

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

Fig 2 Límites de voltaje regulación ARCONEL 005/18.

Perturbaciones rápidas de voltaje (flicker)

Se medirá la severidad de las variaciones periódicas de amplitud de voltaje a corto plazo con intervalos de medición de 10 minutos.

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

Fig. 3 Formula medición de perturbaciones de voltaje regulación ARCONEL 005/18.

Distorsión armónica de voltaje

La distorsión total e individual de voltaje se evaluará conforme a los índices:

$$V_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (V_{h,i})^2} \times 100 \quad [\%]$$

$$DV_{h,k} = \frac{V_{h,k}}{V_n} \times 100 \quad [\%]$$

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

Fig. 4 Fórmula para evaluar la distorsión total e individual de voltaje regulación ARCONEL 005/18.

$V_{h,k}$ = 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).

$DV_{h,K}$ = Facto 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_n = Voltaje nominal en el punto de medición

Los límites de distorsión armónica son los siguientes.

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

Fig. 5 Límites de distorsión armónica.

Para determinar el cumplimiento se debe tener un índice mayor al 95 % en los valores registrados. [15]

Desequilibrio de Voltaje

Se evaluará un punto del sistema de distribución donde se determinarán los valores que requiera la investigación.

$$desequilibrio\ de\ Voltaje = \frac{V^-}{V^+} \times 100 \text{ [%]}$$

V^- = Componentes de secuencia negativa de voltaje, determinando como el promedio de las medidas registradas (por lo menos cada 3 segundos), en intervalos de 10 minutos.

V^+ = Componentes de secuencia positiva de voltaje, determinando como el promedio de las medidas registradas (por lo menos cada 3 segundos), en intervalos de 10 minutos.

Límites:

el valor límite de desequilibrio de voltaje el cual representa un 2 % para los niveles de voltajes existentes en el punto que el investigador proceda a ubicar y medir este parámetro.

Diseño

Mediante software o equipos se definen parámetros de consumo reales que genera el proceso general de la empresa, el equipo a utilizarse será un analizador de redes el cual nos aportará con datos reales y precisos de parámetros eléctricos propios de la empresa POLACA, de acuerdo a los índices que no estén en los rangos permitidos se realizará el diseño de las soluciones para el mejoramiento del proceso productivo.

CAPÍTULO III

3.1 VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

Análisis de partidas y subpartidas de las instalaciones eléctricas.

CUADRO BASE DE PARTIDAS Y SUBPARTIDAS - INSTALACIÓN ELÉCTRICA													
REQUERIMIENTOS PROYECTO GUSTALAC S.A.				CONTENIDO DEL TRABAJO A REALIZAR									
ITEM	NOMBRE PARTIDA	SUBPARTIDA	PARAMETRO	ESTUDIO	PLANOS, DIAGRAMAS UNIFILARES	LEVANTAMIENTO DE MATERIALES	ESPECIFICACIONES DE ELEMENTOS A INSTALAR	TRANSPORTE	MANO DE OBRA	INSTALACIÓN	LIBRO DE INSTRUCCIONES	CATÁLOGOS DE MAQUINARIA Y EQUIPOS	CAPACITACIÓN
1	CONEXIÓN RED INDUSTRIAL	CALCULO DEMANDA	POTENCIA DE MAQUINARIA	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO
2	CONEXIÓN RED INDUSTRIAL	MALLA DE TIERRA	POTENCIA INSTALADA	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO
3	CONEXIÓN RED INDUSTRIAL	DERIVACIÓN	UBICACIÓN, POTENCIA DE MAQUINARIA	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
4	CONEXIÓN RED INDUSTRIAL	CELDA DE SECCIONAMIENTO Y PROTECCIÓN	CARGA MÁXIMA	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
5	CONEXIÓN RED INDUSTRIAL	CELDA DE MEDIDA ALTA TENSIÓN	DEMANDA, POTENCIA INSTALADA	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI
6	CONEXIÓN RED INDUSTRIAL	CELDA DE TRANSFORMACIÓN	POTENCIA DE MAQUINARIA	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
7	CONEXIÓN RED INDUSTRIAL	CELDA DE MEDIDA BAJA TENSIÓN	DEMANDA, POTENCIA INSTALADA	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
8	CONEXIÓN RED INDUSTRIAL	PARARRAYOS		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO
9	CUADRO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN	CUADRO DE COMPENSACIÓN GLOBAL DEL FACTOR DE POTENCIA	COMPONENTE DE ENERGÍA REACTIVA DE LA POTENCIA INSTALADA	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
10	CUADRO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN	CUADRO DE ALUMBRADO	ESTUDIO ARQUITECTÓNICO, HORARIOS DE TRABAJO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
11	CUADRO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN	CUADRO CONTROL ACTUADORES ETAPA 1	CAPACIDAD DE PLANTA PROCESOS ETAPA 1	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
12	CUADRO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN	CUADRO CONTROL ACTUADORES ETAPA 2	CAPACIDAD DE PLANTA PROCESOS ETAPA 2	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
13	CUADRO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN	CUADRO CONTROL ACTUADORES ETAPA 3	CAPACIDAD DE PLANTA PROCESOS ETAPA 3	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
14	CUADRO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN	CUADRO CONTROL ACTUADORES ETAPA 4	CAPACIDAD DE PLANTA PROCESOS ETAPA 4	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
15	CUADRO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN	CUADRO CONTROL MAQUINARIA AUXILIAR	REQUERIMIENTOS SERVICIOS PLANTA, (AIRE, AGUA, FRÍO, GENERACIÓN)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
16	CUADRO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN	CUADRO CONTROL EQUIPOS DE COMPUTO	SERVICIOS SOFTWARE, HARDWARE, RESPALDO, VIGILANCIA, DATOS	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Fig. 6 Partidas y Subpartidas de las instalaciones eléctricas.

Esquema de bloques en la instalación eléctrica

Se detalla a continuación el esquema de conexión donde se observa el ingreso de energía hacia las cámaras de transformación y ésta distribuye para cada una de las etapas del proceso.

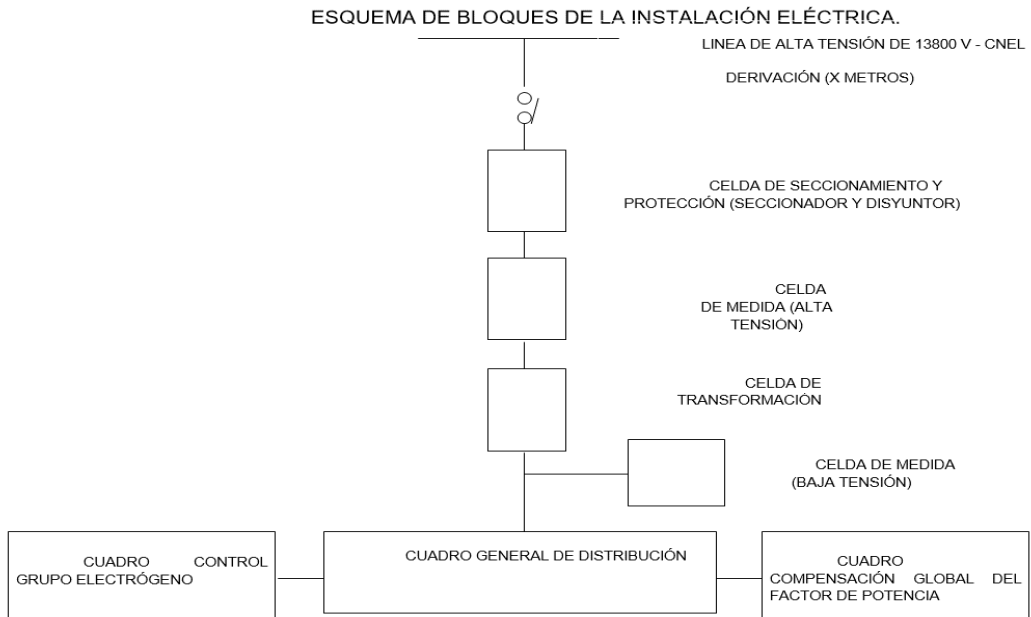


Fig. 7 Esquema de bloques de la instalación eléctrica POLCA GUSTALAC S.A

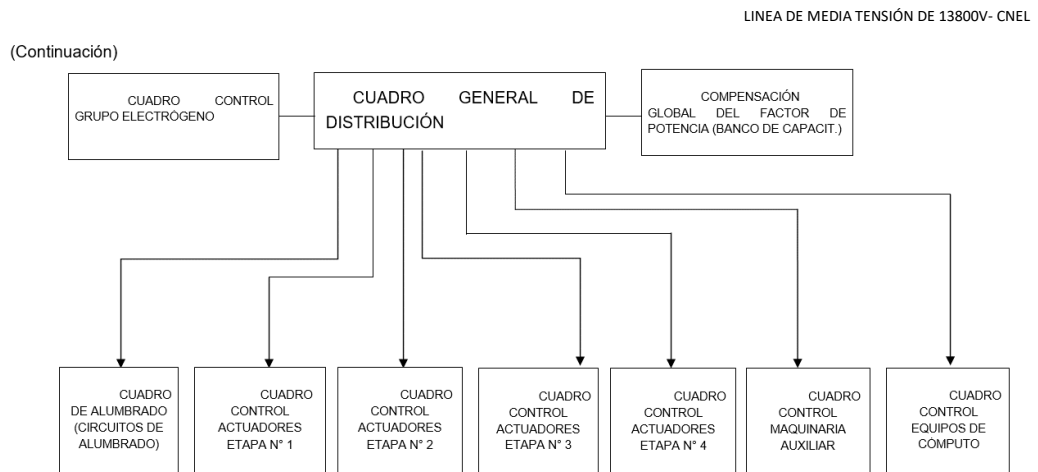


Fig. 8 Esquema de bloques de la instalación eléctrica POLCA GUSTALAC S.A

Cuadro base de partidas y subpartidas

Requerimientos proyecto GUSTALAC S.A

RESUMEN DE POTENCIAS:		
POTENCIAS POR SUBPARTIDA:		KW
SUBPARTIDA 3: POTENCIA OFICINAS	3.8	14.5
SUBPARTIDA 4: TRANSFORMADOR		500 KVA
SUBPARTIDA 5: ILUMINACIÓN EXTERIOR	0	17.3
SUBPARTIDA 6: POZO DE AGUA PLANTA Y TRATAMIENTO	0	29.1
SUBPARTIDA 7: CAMARA 1 Y SALA 1	0	491.907
SUBPARTIDA 15: CALDEROS, MANTENIMIENTO TALLER	19.39	19.4
TOTAL:		572.207

Fig. 9 Resumen de potencias por subpartida.

RESUMEN:		KW	KW
POTENCIAS POR ETAPA:			
ETAPA 1:	▶	0	64.89
ETAPA 2:	▶	0	26.5
ETAPA 3:	▶	0	146
ETAPA 4:	▶	0	142.95
MULTIETAPA:	▶	0	160.06
N/A:		3.8	31.8
			572.2

Fig. 10 Resumen de potencias por etapa.

RESUMEN:		KW	KW
POTENCIAS POR CUADROS:			
CUADRO ALUMBRADO (CA)		3.8	47.2
C. CONTROL MAQ. 1 (CCM1)	▶	0	42.5
C. CONTROL MAQ. 2 (CCM2)	▶	0	26.5
C. CONTROL MAQ. 3 (CCM3)	▶	0	146
C. CONTROL MAQ. 4 (CCM4)	▶	0	142.95
C. CONTROL M. AUX.(CCMA)	▶	2.5	162.75
C. COMPUTO: (CCOM)	▶	1.3	4.3

Fig. 11 resumen de potencia por cuadros.

**ESTUDIO DE CARGABILIDAD DE POTENCIA, BALANCE, DE
CORRIENTE Y VOLTAJE DE TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE 500
kVA, 13.200 / 440-220 voltios**

CÁMARA DE TRANSFORMACIÓN

DATOS GENERALES

**TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN DE LA FÁBRICA AVENA
POLACA SANTO DOMINGO.**

Para el suministro de potencia y energía eléctrica cuenta con una cámara de transformación con un transformador trifásico tipo patmond marca INATRA de 500 kVA, de 13.200 / 440-220 voltios;

Para el registro de energía y potencia por parte de la Empresa Distribuidora, cuenta con un sistema de medición indirecta a través de un equipo compacto de medida trifásico y medidor de energía y potencia trifásico tipo 10 A Kv2C.

Para el suministro de potencia como de energía eléctrica cuenta con una cámara de transformación con un transformador que se describe a continuación:

- Un transformador trifásico T1 marca INATRA de 500 kVA, de 13.200 kV / 440-220 voltios TAP posición 3;

Para el suministro de energía y potencia de la fábrica, la Empresa Distribuidora CNEL EP Unidad de Negocio Santo Domingo lo realiza a través de la subestación reductora de 69/13,2 kV denominada Subestación Nro. 2 Quevedo, y la energía es transportada desde la Subestación hasta la fábrica a través del alimentador primario a 13,8 kV de nombre Circuito Nro. 4.

**INSTALACIÓN DEL ANALIZADOR DE CALIDAD DE ENERGÍA
CIRCUITOR MODELO eBOX-150**

Se instaló el analizador de energía CIRCUITOR - modelo Ebox-150 en el lado de baja tensión del transformador de 500 kVA, durante un (5) días continuos, mismo que se programó para el registro de los parámetros eléctricos en intervalos de 10, 5, y 1 minuto.

EQUIPO DE MEDICIÓN		
REY - PALET TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE 500 kVA.		
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	IDENTIFICACIÓN / VALOR
1	Marca	CIRCUTOR
2	Modelo	My ebox
3	Serie de Equipo de Medición	3117130024
4	Versión Fichero	1
5	Número de Variables de Cabecera	42
6	Número de Cada Registro	964
7	Número de Registros	2976
8	Periodo de Registro	0:01:00
9	Voltaje eficaz Nominal (V)	220
10	Frecuencia Nominal (Hz)	60
11	Tipo de Circuito	Trifásico 4 Hilos
12	Escala de Trabajo Pinzas de Corriente	1000
13	Drscripción de Pinzas	3cs Flex 20
14	Período de Registro Inicial	05 de noviembre 2020 14h53
15	Período de Registro final	07 de noviembre 2020 16h28

Fig. 12 Características del analizador de energía My ebox.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS - TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE 500 kVA, FÁBRICA DE PRODUCTOS LACTEOS AVENA POLACA-SANTO DOMINGO - ECUADOR

El transformador de Potencia de la fábrica Avena Polaca, es un transformador de doble devanado, el cual se divide un devanado de 350 kVA, y un devanado de 150 kVA.

DEMANDA DE POTENCIA DEL TRANSFORMADOR DE 150 kVA. 220 VOLTIOS

Con los registros obtenidos por los analizadores de parámetros eléctricos, se procedió a realizar las curvas de las demandas de potencias para el periodo de análisis.

A continuación, se presenta la curva de demanda total del transformador trifásico de 150 kVA a 220 voltios.

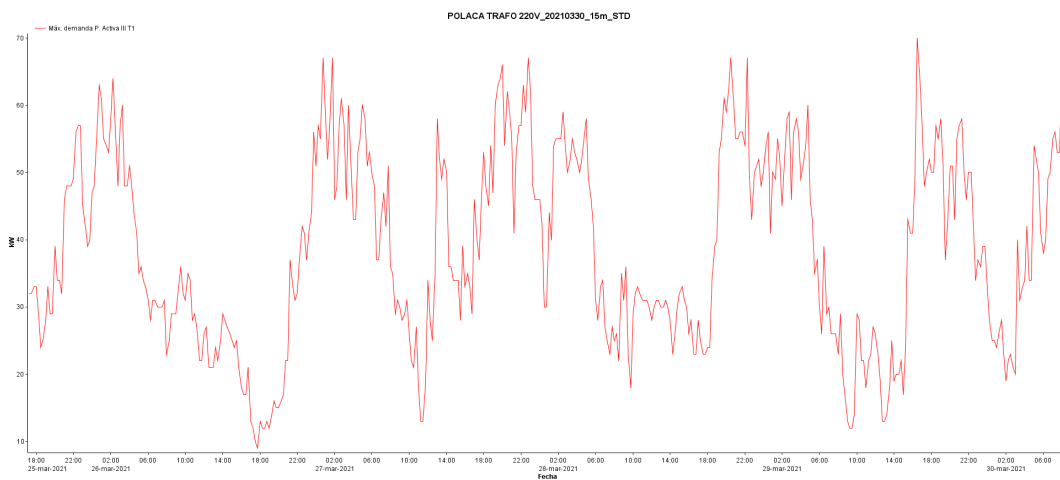


Fig. 13 Curva de Demanda Máxima de Potencia Activa en (kW).

Del resumen se observa que la demanda máxima de potencia activa obtenida en el periodo indicado se registró el 29 de marzo de 2021 a las 16h30, por un valor de 70 kW.

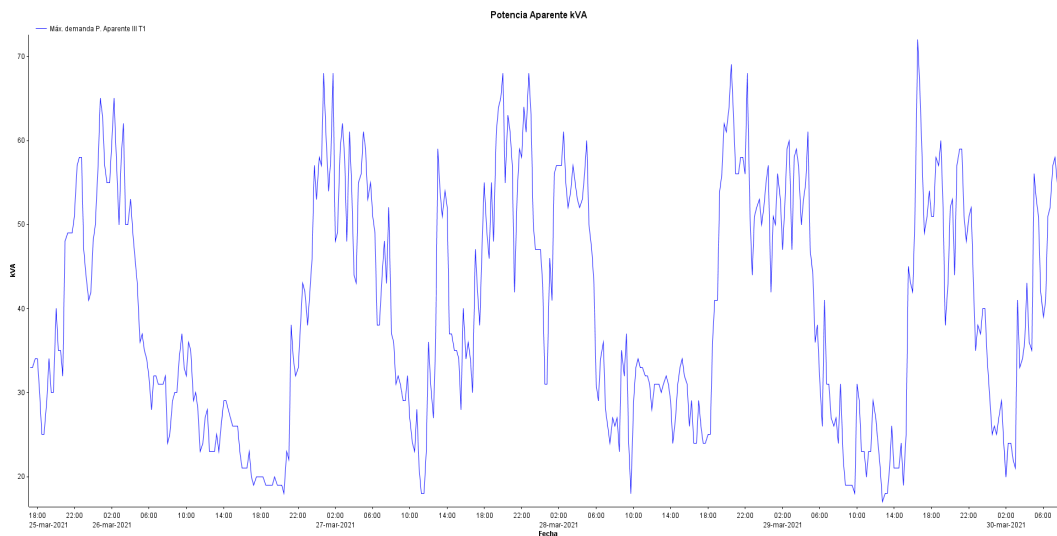


Fig. 14 Curva de Demanda Máxima de Potencia Aparente en (kVA) AVENA POLACA

Del resumen se observa que la demanda máxima de potencia aparente obtenida en el periodo indicado se registró el 29 de marzo de 2021 a las 16h30, por un valor de 72 kVA.

Nota. - Cabe indicar que, para el registro de la Demanda Máxima de potencia, el intervalo de integración de potencia según la regulación se calcula cada 15 minutos

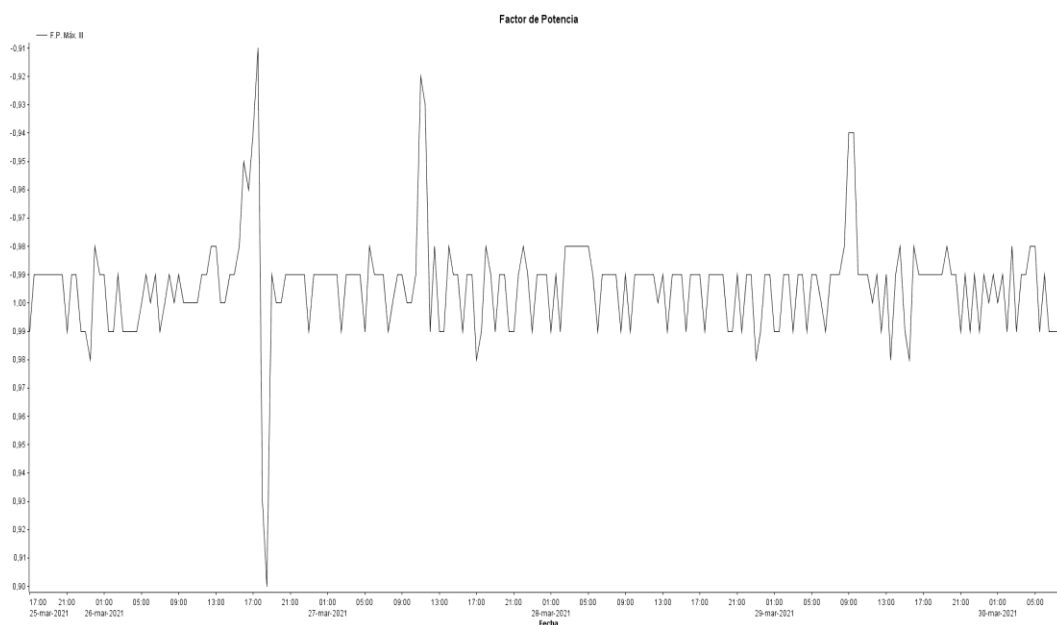


Fig. 15 Curva de del factor de potencia en p.u., Fábrica de Lácteos AVENA POLACA

Del resumen se observa que factor de potencia promedio obtenida en el periodo indicado se es de 0,98 p.u.

EVALUACIÓN DE INDICADORES DE DESBALANCE DE VOLTAJE Y CORRIENTE. NIVEL DE VOLTAJE

La calidad de voltaje se determina según las Regulación ARCONEL 005/018, como las variaciones de los valores eficaces (rms) medidos cada 10 minutos, con relación al voltaje nominal en los diferentes niveles. A continuación, se presenta la fórmula de cálculo:

$$\Delta V_k (\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} * 100$$

Donde:

- ΔV_k : variación de voltaje, en el punto de medición, en el intervalo k de 10 minutos.
- V_k : voltaje eficaz (rms) medido en cada intervalo de medición k de 10 minutos.
- V_n : voltaje nominal en el punto de medición.

VERIFICACIÓN FASE – NEUTRO DEL SECUNDARIO DEL NIVEL DE VOLTAJE 220 V.

A continuación, se presenta en la siguiente tabla, la máxima variación de voltaje fase-neutro que se registró a la salida del transformador respecto al voltaje nominal de lado de bajo voltaje del transformador (127 V):

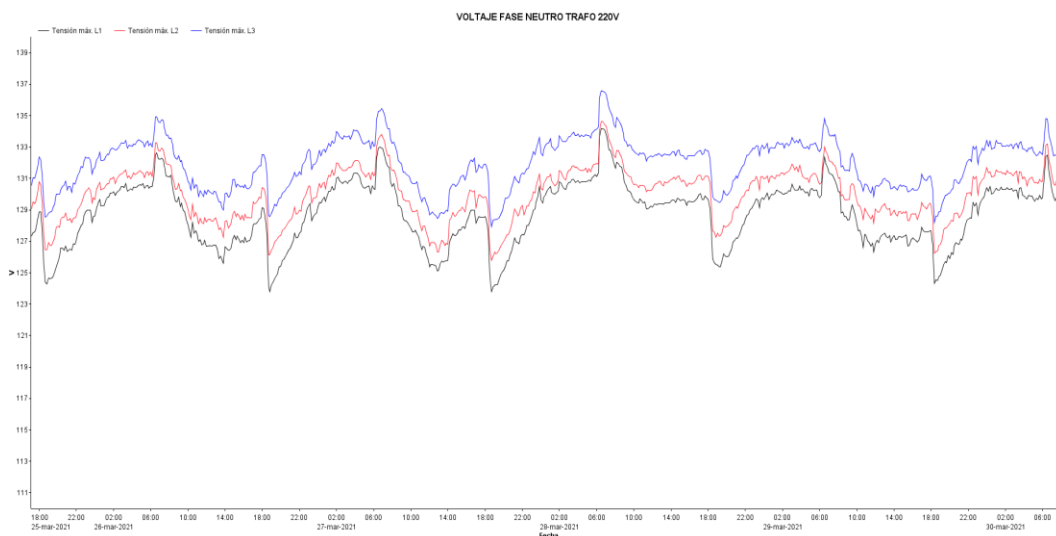


Fig. 16 Variación de Voltaje fase-neutro Medido máxima – Transformador 150 kVA, 220 voltios.

Ítem	Descripción de la fase	Valor máximo del voltaje (RMS)	ΔV_k (%) si $V_{rms}=127$
1	Fase 1	134,19	5,66 %
2	Fase 2	134,63	6,01 %
3	Fase 3	136,58	7.54 %

TABLA IV Valor máximo de voltaje por fase.

Ítem	Descripción de la fase	Valor mínimo del voltaje (RMS)	ΔV_k (%) si $V_{rms}=127$
1	Fase 1	119,01	6,29
2	Fase 2	117,56	7,43
3	Fase 3	116,54	8,24

TABLA V Valor mínimo de voltaje por fase

- El máximo voltaje eficaz (rms) fase-neutro, se presentó en la FASE 3 con un valor de 136,58 voltios, el cual representa una variación de 7,54 % respecto al voltaje nominal fase-neutro del transformador de 150 kVA, y el mínimo valor eficaz (rms) fase-neutro, se presentó en la FASE 3 con un valor de 116,54 Voltios, representando una variación del 8,24 % respecto al voltaje nominal fase-neutro del transformador de 150 kVA.

VERIFICACIÓN FASE - FASE

A continuación, se presenta en la siguiente tabla, la máxima variación de voltaje fase-fase que se registró a la salida del transformador respecto al voltaje nominal de lado de bajo voltaje del transformador (220 V):

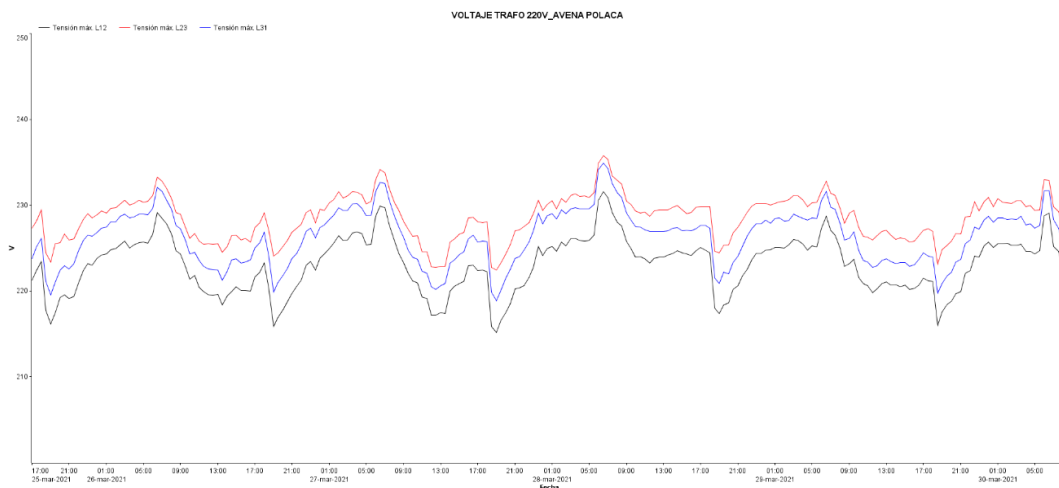


Fig. 17 Voltaje fase-fase Línea 220 v, valor máximo.

Ítem	Descripción de la fase-fase	Valor máximo del voltaje fase-fase (RMS)	ΔV_k (%) si $V_{rms} = 220$
1	Fase 1-2	231,56	5,25 %
2	Fase 2-3	235,75	7,16 %
3	Fase 3-1	234,88	6,76 %

TABLA VI Valor máximo de voltaje fase-fase, Línea 220 V

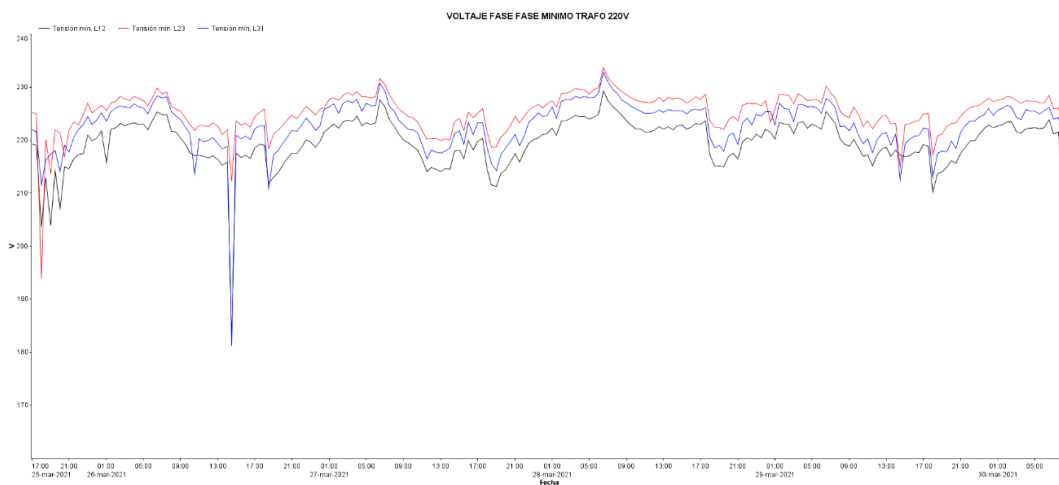


Fig. 18 Voltaje fase-fase Línea 220 v, valor mínimo.

Ítem	Descripción fase - fase	Valor mínimo del voltaje (RMS)	ΔV_k (%) si $V_{rms}=220$
1	Fase 1-2	203,61	7,45 %
2	Fase 2-3	212,37	3,47 %
3	Fase 3-1	210,80	4,18 %

TABLA VII Voltaje fase-fase línea 220 v, valor mínimo.

- El máximo voltaje eficaz (rms) fase-fase, se presentó entre las FASES 2-3 con un valor de 235,65 voltios, el cual representa una variación de 7,16 % respecto al voltaje nominal fase-fase del transformador (220 V), y el mínimo valor eficaz (rms) fase-fase, se presentó entre las FASES 1-2 con un valor de 203,61 Voltios, representando una variación del 7,45 % respecto al voltaje nominal fase-fase del transformador de 150 kVA, voltaje nominal 220 voltios.

Verificación del cumplimiento índice de voltaje

Considerando que el voltaje nominal del transformador de 150 kVA es de 127/220 voltios en el lado secundario del transformador, y que según la regulación para bajo voltaje considera $\pm 8\%$ del voltaje nominal, tendríamos como un máximo permisible de 137,10 voltios, y un mínimo permisible de 116,84 voltios, para fase neutro, y un máximo de 237,60 voltios, y mínimo de 202,40 voltios para las fases, adicionalmente considerando que se tiene una cantidad de 156 registros con intervalos de 10 min, a continuación se presenta el cuadro con los porcentajes del número de registros que incumplieron con el límite $\pm 8\%$, para el periodo de medición:

Ítem	Descripción de fase	Cantidad de registros > al 8 % del Voltaje nominal (137,10 V)	Cantidad de registros < al 8 % del Voltaje nominal (116,84 V)	Total de registros fuera de rango	Muestra	% De registros que incumplen con la norma	% De registros que si cumplen con la norma
1	Fase 1	0	1	1	669	0,15	99,85
2	Fase 2	0	1	1	669	0,15	99,85
3	Fase 3	0	1	1	669	0,15	99,85
Ítem	Descripción de fase	Cantidad de registros > al 8 % del Voltaje nominal (237,60 V)	Cantidad de registros < al 8 % del Voltaje nominal (202,40 V)	Total de registros fuera de rango	Muestra	% De registros que incumplen con la norma	% De registros que si cumplen con la norma
1	Fase 1-2	0	0	0	669	0	100
2	Fase 2-3	0	0	0	669	0	100
3	Fase 3-1	0	0	0	669	0	100

TABLA VIII Porcentaje de cumplimiento en voltaje fase-neutro y fase-fase.

Tablas anteriores: Porcentaje Registros Fuera del Límite-Índice de Variación de Voltaje para el transformador trifásico de 150 kVA.

Finalmente se puede definir que, de los resultados obtenidos, para el transformador de 150 kVA, para los voltajes fase neutro, cumple el voltaje F2-N, ya que tiene un porcentaje de incumplimiento de 0.15 %; y para las fases, cumple ya que presenta un 100% de cumplimiento.

La regulación ARCONEL 005/18 Capítulo II Calidad del Producto, 8.3.- Cumplimiento del índice de nivel de voltaje en un punto de medición. - La distribuidora cumple con el nivel de voltaje en un punto de medición cuando el 95% o más de los registros de variaciones de voltaje, en el periodo de evaluación de al menos (7) días continuos, se encuentra dentro del rango admisible.

Nota. La evaluación realizada se refiere a 5 días de registros.

Regulación de voltaje

Se refiere a los cambios de voltajes que pueden suscitarse en un sistema eléctrico en función de los cambios de los estados de carga asociados en la operación.

El valor límite para el índice de desequilibrio de voltaje en un punto de medición será del 2% para todos los niveles de voltaje:

$$\text{Regulación de Voltaje (\%)} = \frac{\text{Voltaje máx} - \text{Voltaje mín}}{\text{Voltaje máx}} \times 100$$

Regulación de Voltajes Fase Neutro

Ítem	L1-N	L2-N	L3-N
Desequilibrio Promedio de voltaje (%)	1,01	0,99	0,95

TABLA IX Regulación de voltaje (fase-neutro), ARCONEL 005/18

Regulación de Voltajes Fase - Fase

Descripción	L1-L2	L2-L3	L3-L1
Desequilibrio Promedio de voltaje (%)	1,09	0,95	0,98

TABLA X Regulación de voltaje (fase-fase), ARCONEL 005/18

Según los datos obtenidos para voltajes fase – neutro, y fase - fase CUMPLE los índices de desequilibrio de voltaje para la regulación ARCONEL 18/005.

Parpadeo flicker

Es aquel fenómeno en el cual el voltaje cambia en una amplitud moderada, generalmente menos del 10% del voltaje nominal, pero que pueden repetirse varias veces por segundo. Este fenómeno conocido como efecto “Flicker” (parpadeo) causa una fluctuación en la luminosidad de las lámparas a una frecuencia detectable por el ojo humano.

Índice de calidad

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

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}}$$

Dónde:

- Pst: Índice de severidad de flicker de corta duración.
- P0.1, P1, P3, P10, P50: Niveles de efecto “flicker” que se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total del periodo de observación.

LÍMITES

El índice de severidad del Flicker Pst en el punto de medición respectivo, no debe superar la unidad. Se considera el límite $Pst = 1$ como el tope de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede soportar sin molestia el ojo humano en una muestra específica de población. Se considerará que el suministro de electricidad no cumple con el límite admisible ($Pst = 1$), en cada punto de medición, si las perturbaciones se encuentran fuera del rango de tolerancia establecido, por un tiempo superior al 5 % del período de medición de 7 días continuos.

Verificación del cumplimiento índice flicker

A continuación, se presenta el cuadro con los porcentajes del número de registros que incumplieron con el límite ($Pst > 1$), para el periodo de medición:

Ítem	Descripción	Cantidad de registros flicker $Pst > 1$	Muestra	% de registros que cumplen norma
1	Fase 1	740	1336	55,39
2	Fase 2	2	1336	0,15
3	Fase 3	826	1336	61,83

TABLA XI de Porcentaje Registros Fuera del Límite-Índice de Severidad de Flicker (PST) 200 kVA, para todo el periodo de medición.

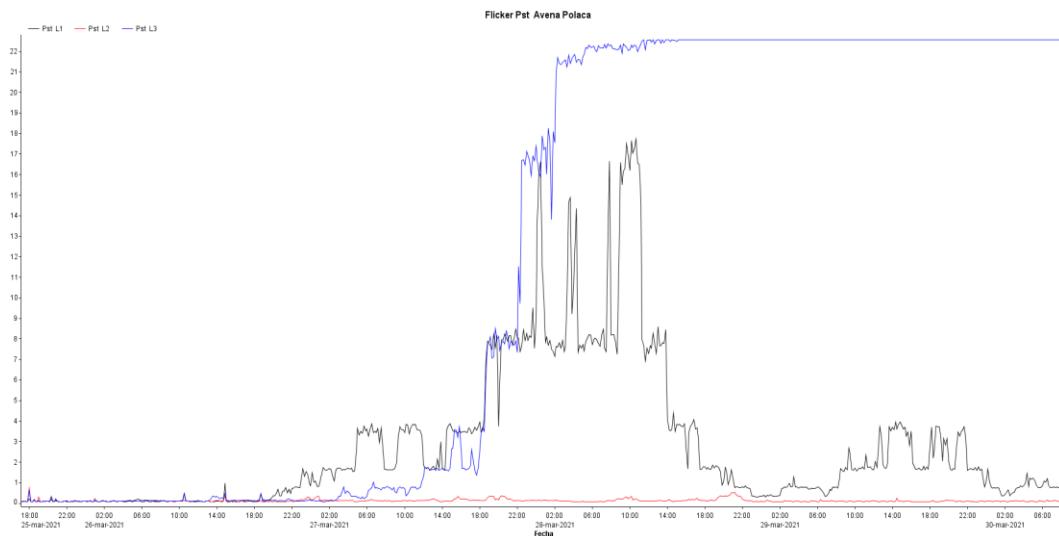


Fig. 19 Perturbaciones de voltaje flicker, línea 220 v

De los resultados obtenidos, se verificó que el porcentaje del número de mediciones fuera del límite es inferior del 5% del periodo evaluado, para las fases 2; sin embargo, para las fases 1 y 3, el porcentaje de cumplimiento es superior al 5% para la fase 1 y del 55,39 % para la fase 3 61,83%, por lo que se puede concluir que, **NO CUMPLE** con el parámetro de índice de severidad del Flicker (Pst) establecido en la Regulación ARCONEL 005/18.

Armónicos de voltaje

Umbral crítico de los diferentes indicadores según norma EN 50160 estipula las características de los voltajes suministrados por las redes de distribución de alimentación de BT y MT.

La THD voltaje caracteriza la distorsión de la onda de tensión.

A continuación, se muestra una serie de valores THD de voltaje y los fenómenos correspondientes en la instalación:

- Si el THD de voltaje se encuentra por debajo del 5%: situación normal, sin riesgos de funcionamiento incorrecto.
- Del 5 al 8%: contaminación armónica importante, puede que se produzca algún funcionamiento incorrecto.
- Superior al 8%: contaminación armónica importante, es probable que se produzca algún funcionamiento incorrecto. Es necesario un análisis profundo y la instalación de dispositivos de atenuación.

A continuación, se presenta gráficas y cuadros en las que se observa la distorsión total de los armónicos THD, de voltaje, para el transformador de 200 kVA, número 1.

Distorsión de armónicos de voltaje por fase, R-S-T.

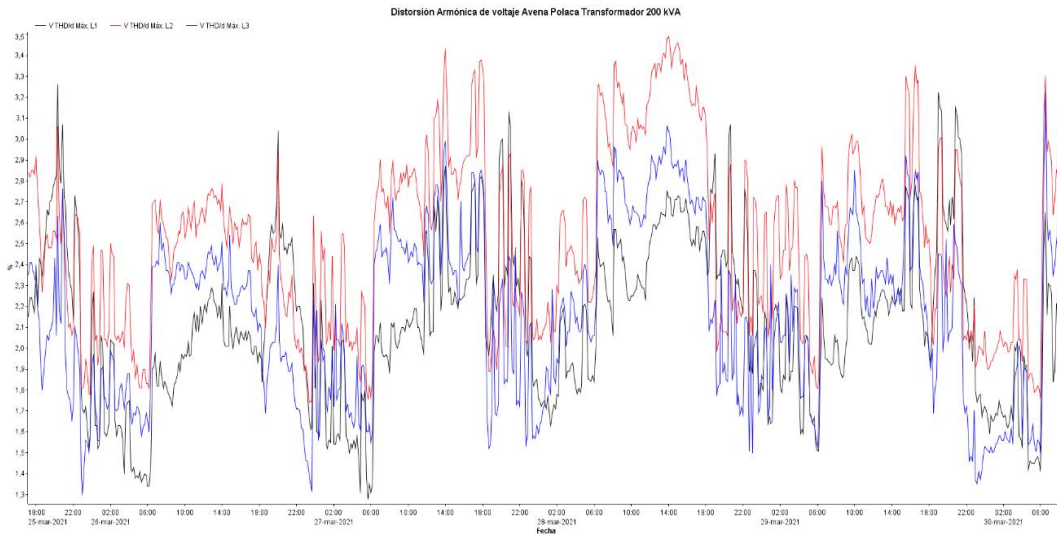


Fig. 20 Distorsión armónica de voltaje 220 v

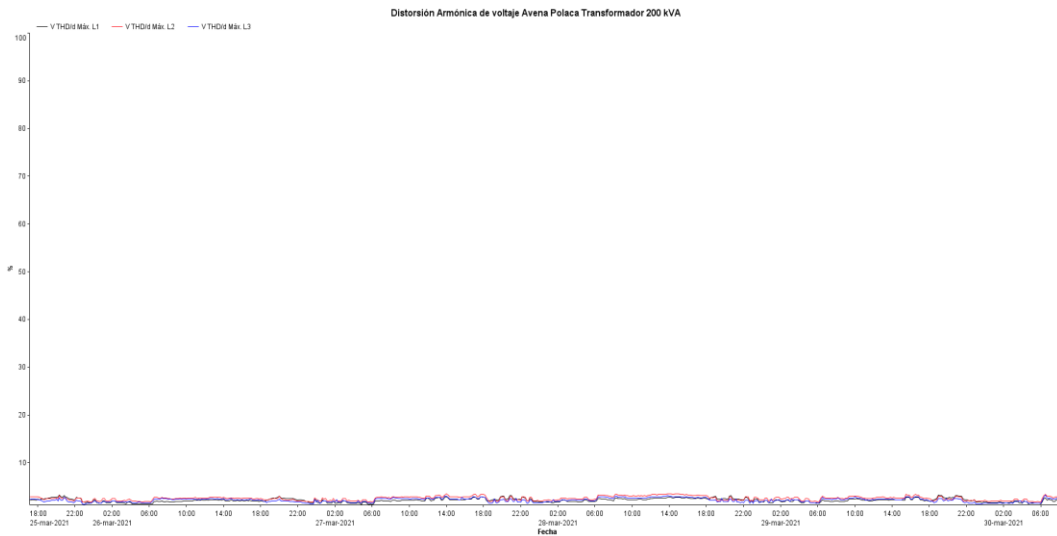


Fig. 21 Distorsión armónica de voltaje

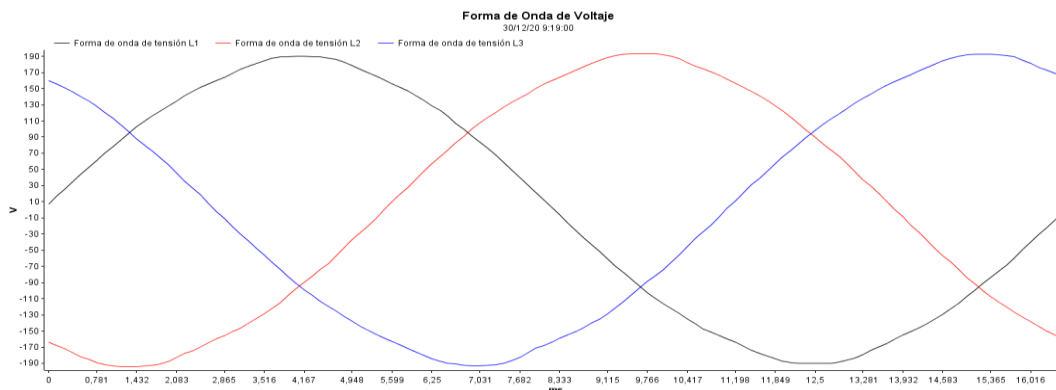


Fig. 22 Formas de ondas de voltaje, 220v

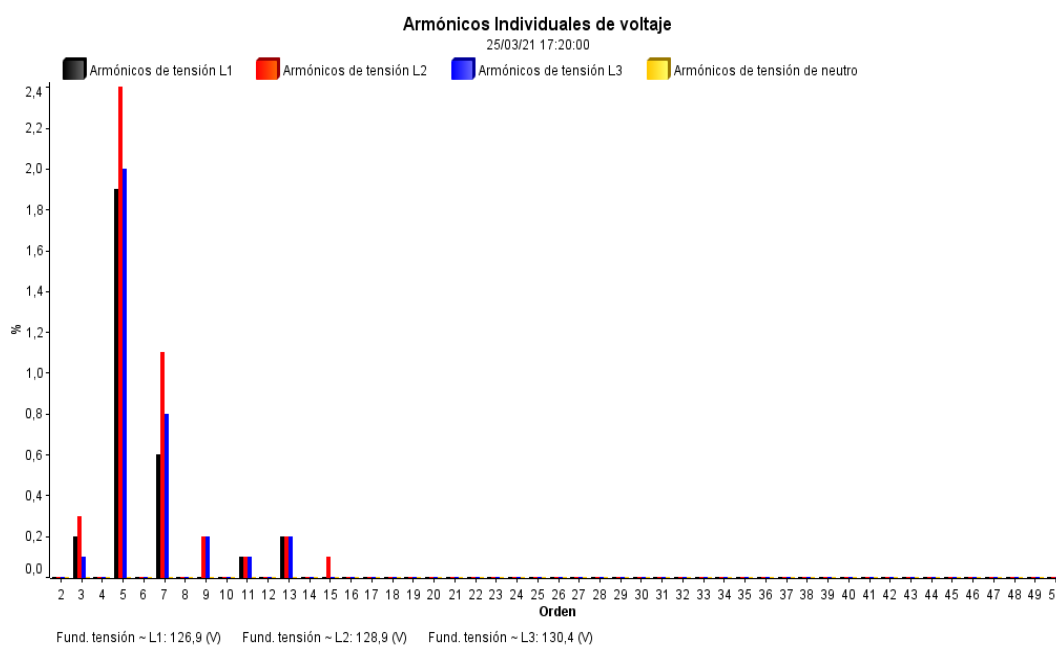


Fig. 23 Armónicos de voltaje, 220 v

Según la Regulación se cumple con la distorsión armónica individual de voltaje y con el factor de distorsión armónica total de voltaje en un punto de medición, cuando el 95% o más de los valores registrados, en el periodo de evaluación de al menos 7 días continuos, son menores a los límites máximos establecidos.

Considerando que la medición se la realizó en el lado de bajo voltaje se establece que el factor de distorsión armónica total de voltaje no deberá sobrepasar el 8%, a continuación, se tabulan los datos para establecer el cumplimiento de los indicadores establecidos en la regulación:

Ítem	Descripción	Cantidad de registros de distorsión armónica de voltaje THD (%) que no cumplen límites de distorsión de demanda total	Muestra intervalo de 1 minutos	% de registros que cumplen norma
1	Fase 1	0	669	100,00
2	Fase 2	0	669	100,00
3	Fase 3	0	669	100,00

TABLA XII Porcentaje de cumplimiento de armónicos de voltaje.

En la TABLA anterior se puede observar el cumplimiento de la regulación ARCONEL 005/18 en referencia a la distorsión armónica total de voltaje la cual no excede los límites permitidos, a continuación, se ha definido el promedio de distorsión armónica para cada una de las líneas del transformador trifásico de 150 kVA, a 220 voltios.

DESCRIPCIÓN	V THD/d L1 (%)	V THD/d L2 (%)	V THD/d L3 (%)
PROMEDIO	2,13	2,52	2,17

TABLA I Promedio de distorsión armónica para cada una de las líneas (220V)

Armónicos de corriente

La actual regulación ARCONEL 005/08, establece en el capítulo VII, CALIDAD RESPONSABILIDAD DEL CONSUMIDOR, establece límites de distorsión de demanda total, según el siguiente cuadro:

Nivel Máximo de Armónicos Impares (% de corriente máxima de demanda)						
lcc/IL	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	TDD
< 20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20 < 50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50 < 100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100 < 1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
100 < 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

Fig. 24 Niveles Máximos de armónicos impares

Sin embargo, se ha verificado los conceptos básicos y la bibliografía indica que para distorsión armónica para corriente se establecen los siguientes límites.

Umbrales críticos de los diferentes indicadores según norma EN 50160 estipula las características de las corrientes suministradas por las redes de distribución de alimentación de BV y MV.

A continuación, se muestra una serie de valores THDi y los fenómenos correspondientes en la instalación:

1. THD de corriente por debajo del 10%: situación normal, sin riesgos de funcionamiento incorrecto.
2. Del 10 al 50%: contaminación armónica importante con riesgo de aumento de temperatura y la necesidad consiguiente de sobredimensionar cables y fuentes.
3. Superior al 50%: contaminación armónica importante, es probable que se produzca algún funcionamiento incorrecto, es necesario un análisis profundo y la instalación de dispositivos de atenuación.

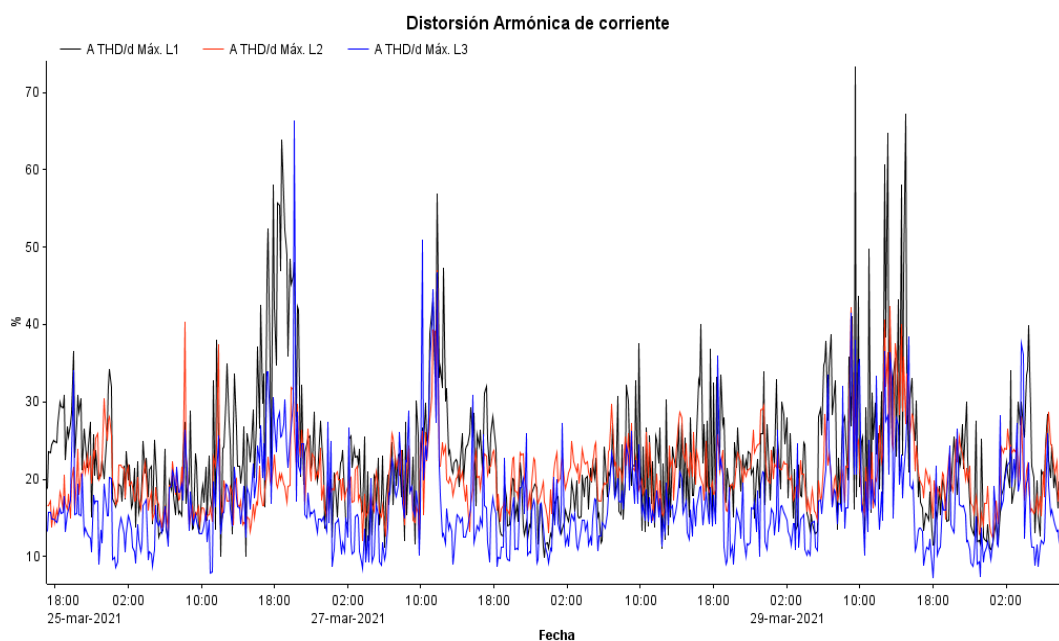


Fig. 25 Distorsión armónica de corriente - 220 v

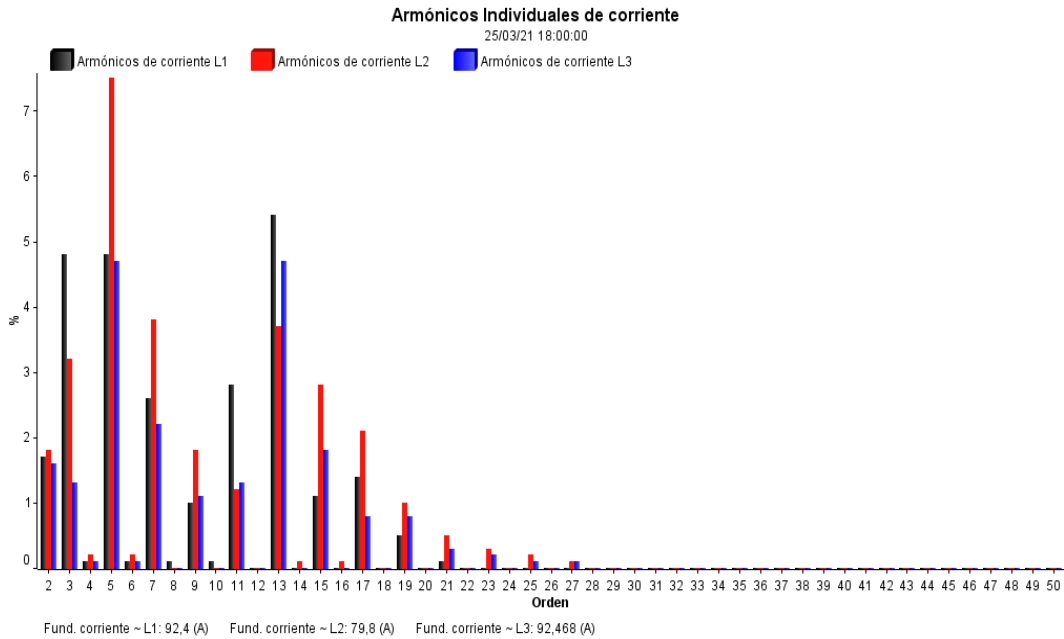


Fig. 26 Armónicos individuales de corriente - 220v

Ítem	Descripción	Cantidad de registros de distorsión armónica THD (%) que no cumplen límites de distorsión de demanda total > 12 % THD-A	Muestra intervalo de 10 minutos	% de registros que incumplen norma
1	Fase 1	647	669	96,71%
2	Fase 2	669	669	100,00 %
3	Fase 3	529	669	79,07 %

TABLA XIV Porcentaje de registros que incumplen la norma en los límites de distorsión armónica THD.

Con los resultados obtenidos se puede definir de la medición realizada en el punto de común de acoplamiento del transformador de 150 kVA, **NO** cumple con la regulación en la distorsión total de corriente.

Desequilibrio de corriente

Según la Norma europea EN50160 y la IEC61000-2-2 establecen un rango de $\pm 10\%$, sin embargo, se dice que cumple cuando del total de registros no tengan un cumplimiento de al menos el 95% de la norma.

$$\text{Desequilibrio de Corriente (\%)} = \frac{\text{Corriente máx} - \text{Corriente promedio}}{\text{Corriente promedio}} \times 100$$

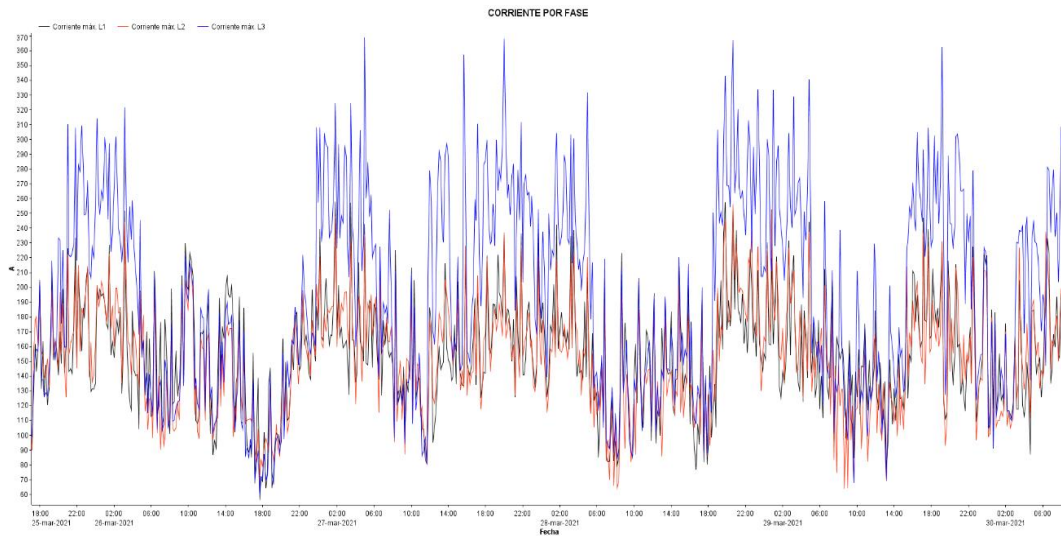


Fig. 27 Desequilibrio de corriente - 220v

Número de registros > 10 % de desequilibrio	Registros totales	% de Incumplimiento	Valor máximo de % desequilibrio	Fecha y hora	Cumple / No Cumple
420	669	62,78	71,73	27 de marzo del 2021 a las 15h40	No cumple

TABLA XV Cumplimiento según el número de registros.

Según la Norma europea EN50160 y la IEC61000-2-2 establecen un rango de $\pm 10\%$, se observa en el cuadro anterior el incumplimiento de la norma, ya que de la data obtenida en el periodo de evaluación cumple solamente con un 37,22 % del total de los registros.

**ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS - TRANSFORMADOR TRIFÁSICO
DE 500 kVA, (440 v). FÁBRICA DE PRODUCTOS LACTEOS AVENA
POLACA - SANTO DOMINGO - ECUADOR**

Demanda de potencia del transformador de 350 kva. 440 voltios

Con los registros obtenidos por los analizadores de parámetros eléctricos, se procedió a realizar las curvas de las demandas de potencias para el periodo de análisis.

A continuación, se presenta la curva de demanda total del transformador trifásico de 350 kVA a 440 voltios.

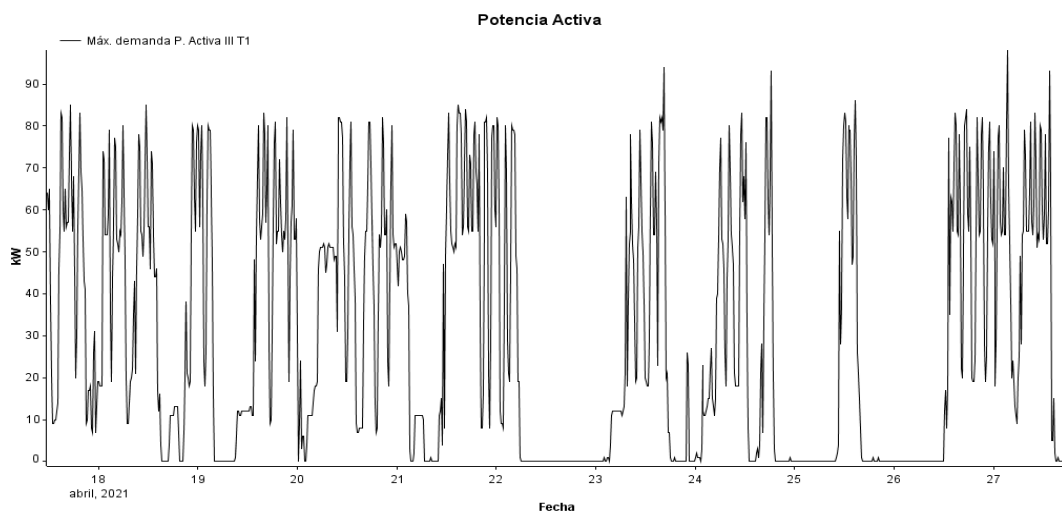


Fig. 28 Potencia Activa

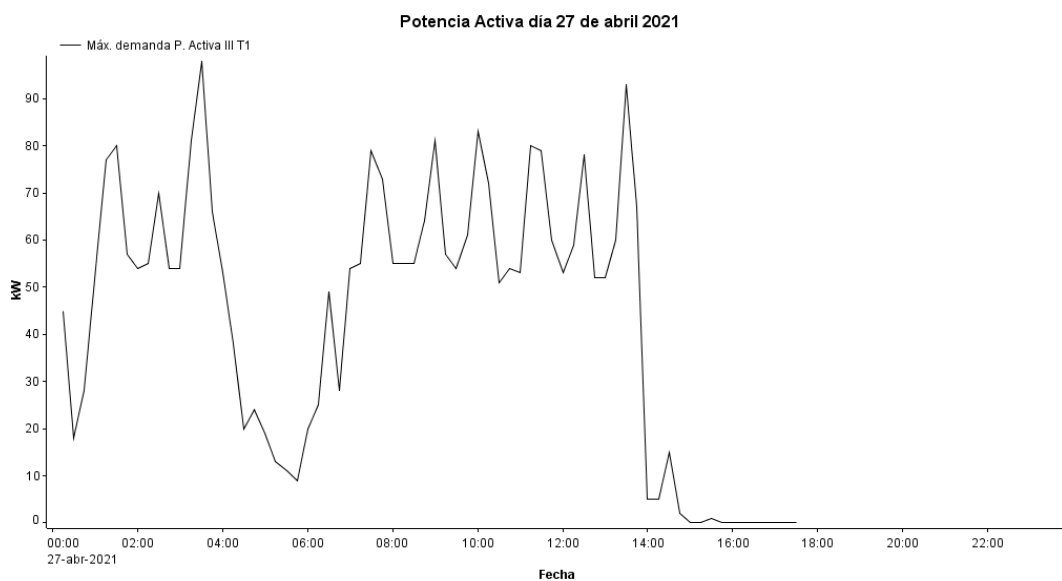


Fig. 29 Potencia activa máxima.

Del resumen se observa que la demanda máxima de potencia activa obtenida en el periodo indicado se registró el 27 de abril de 2021 a las 03h30, por un valor de 98 kW.

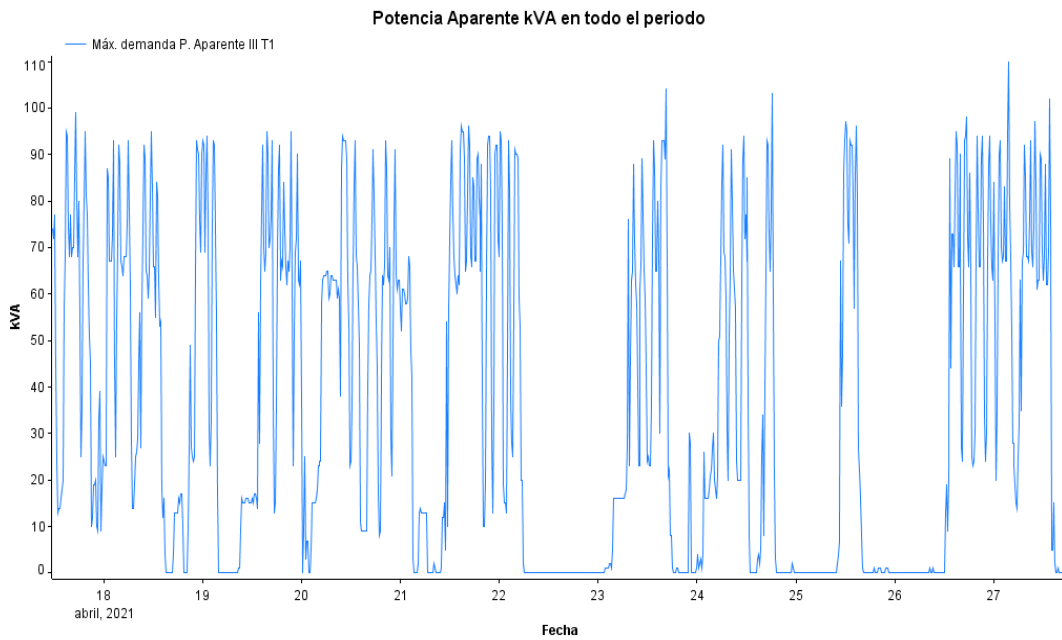


Fig. 30 Potencia aparente en todo el periodo. -440v

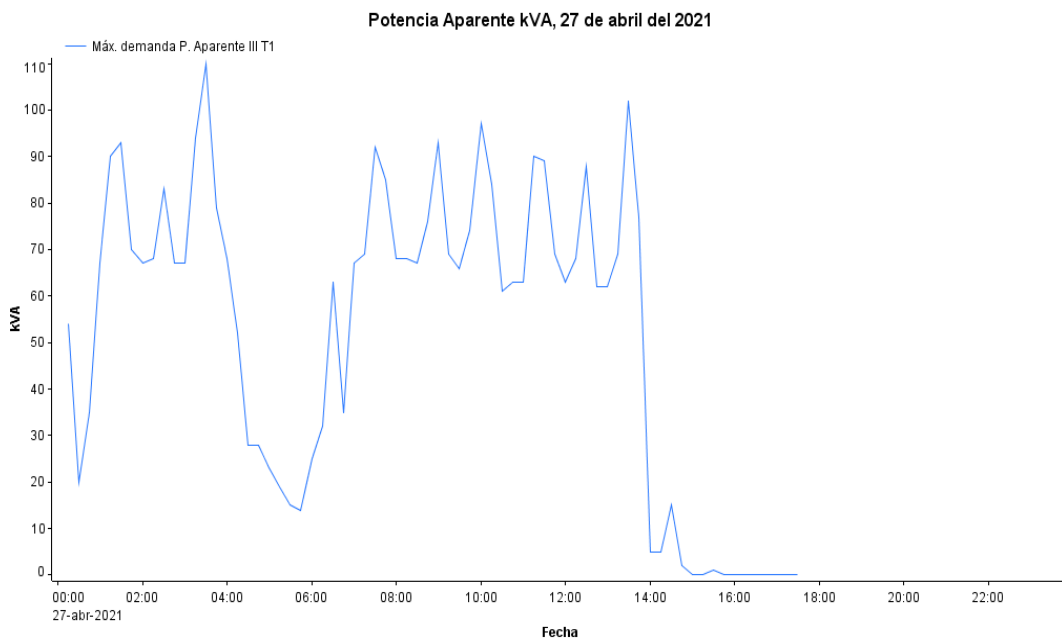


Fig. 31 Potencia activa máxima- 440v

Del resumen se observa que la demanda máxima de potencia aparente obtenida en el periodo indicado se registró el 27 de abril de 2021 a las 03h30, por un valor de 110 kVA.

Nota. - Cabe indicar que, para el registro de la Demanda Máxima de potencia, el intervalo de integración de potencia según la regulación se calcula cada 15 minutos

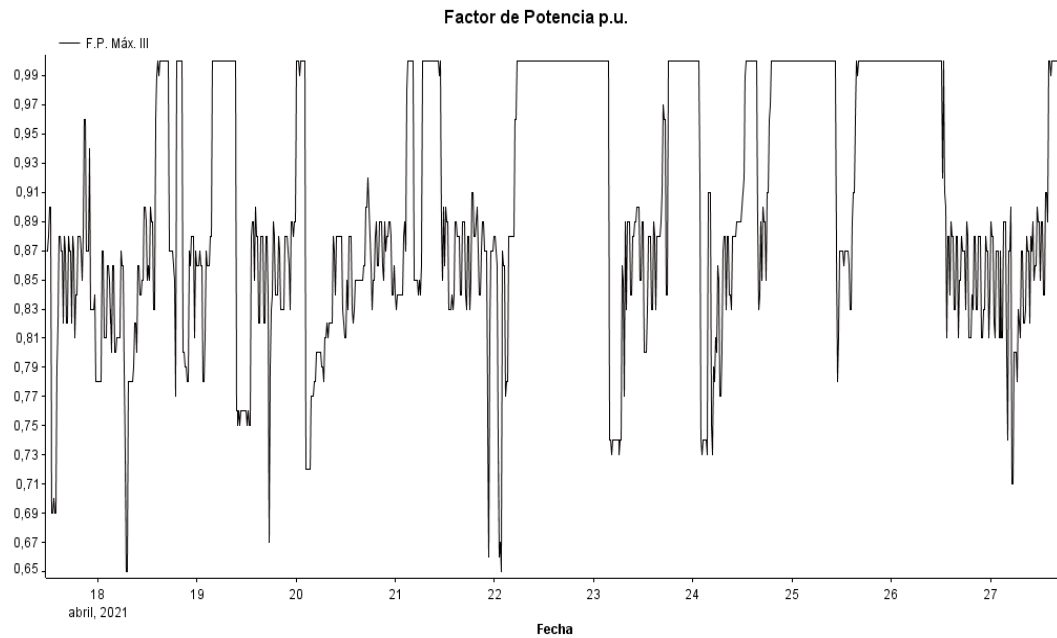


Fig. 32 Curva de del factor de potencia en p.u., Fábrica de Lácteos AVENA POLACA- 440v

Del resumen se observa que factor de potencia promedio obtenida en el periodo indicado se es de 0,90 p.u.

Evaluación de indicadores de desbalance de voltaje y corriente.

Nivel de voltaje

La calidad de voltaje se determina según las Regulación ARCONEL 005/018, como las variaciones de los valores eficaces (rms) medidos cada 10 minutos, con relación al voltaje nominal en los diferentes niveles. A continuación, se presenta la fórmula de cálculo:

$$\Delta V_k (\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} * 100$$

Donde:

- ΔV_k : variación de voltaje, en el punto de medición, en el intervalo k de 10 minutos.
- V_k : voltaje eficaz (rms) medido en cada intervalo de medición k de 10 minutos.
- V_n : voltaje nominal en el punto de medición.

Verificación fase – neutro del secundario del nivel de voltaje 440 v.

A continuación, se presenta en la siguiente tabla, la máxima variación de voltaje fase-neutro que se registró a la salida del transformador respecto al voltaje nominal de lado de bajo voltaje del transformador (254 V):

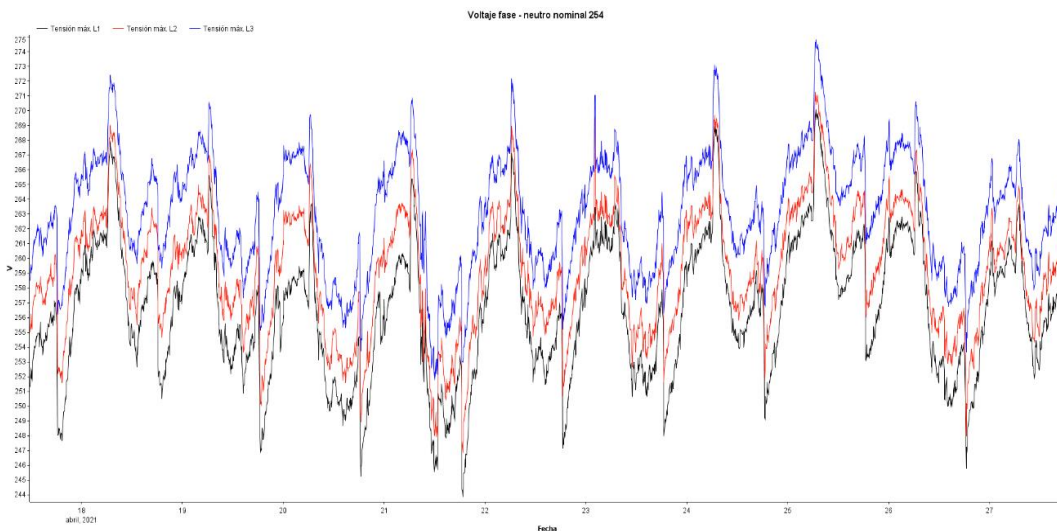


Fig. 33 Variación de Voltaje fase-neutro Medido máxima – Transformador 350 kVA, 440 voltios.

Ítem	Descripción de la fase	Valor máximo del voltaje (RMS)	ΔV_k (%) si $V_{rms}=254$
1	Fase 1	270,09	6,33 %
2	Fase 2	271,26	6,80 %
3	Fase 3	274,82	8,20 %

TABLA XVI Variación de Voltaje fase-neutro Medido máxima – Transformador 350 kVA, 440 voltios.

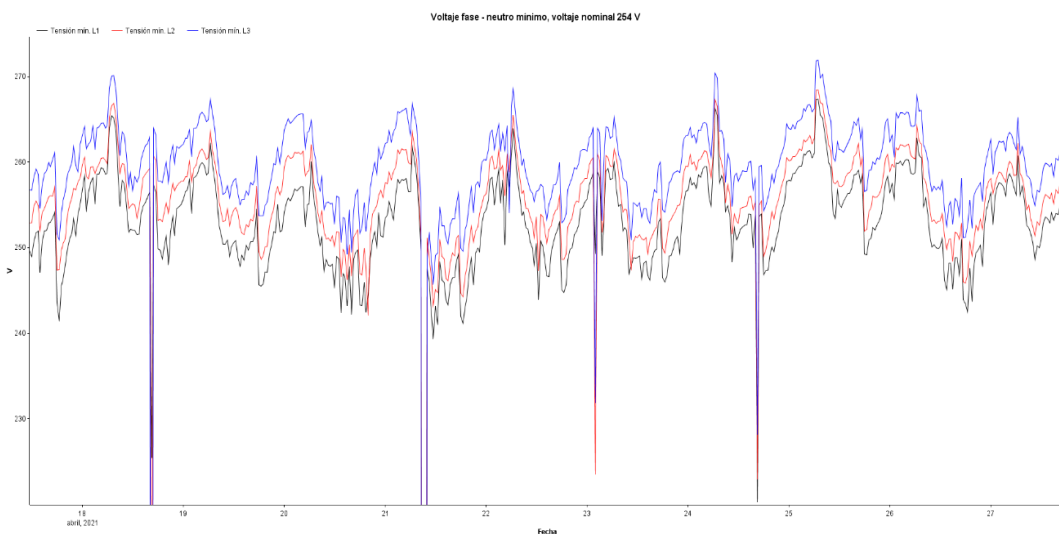


Fig. 34 Variación de Voltaje fase-neutro Medido, mínimo – Transformador 350 kVA-440v

Ítem	Descripción de la fase	Valor mínimo del voltaje (RMS)	ΔV_k (%) si $V_{rms}=254$
1	Fase 1	220,25	13,29
2	Fase 2	206,88	18,55
3	Fase 3	105,39	58,51

TABLA XVI Variación de Voltaje fase-neutro Medido, mínimo – Transformador 350 kVA-440v

- El máximo voltaje eficaz (rms) fase-neutro, se presentó en la FASE 3 con un valor de 274,82 voltios, el cual representa una variación de 8,20 % respecto al voltaje nominal fase-neutro del transformador de 350 kVA, y el mínimo valor eficaz (rms) fase-neutro, se presentó en la FASE 3 con un valor de 105,39 Voltios, representando una variación del 58,51 % respecto al voltaje nominal fase-neutro del transformador de 350 kVA.

Verificación fase - fase

A continuación, se presenta en la siguiente tabla, la máxima variación de voltaje fase-fase que se registró a la salida del transformador respecto al voltaje nominal de lado de bajo voltaje del transformador de 350 kVA (440 V):

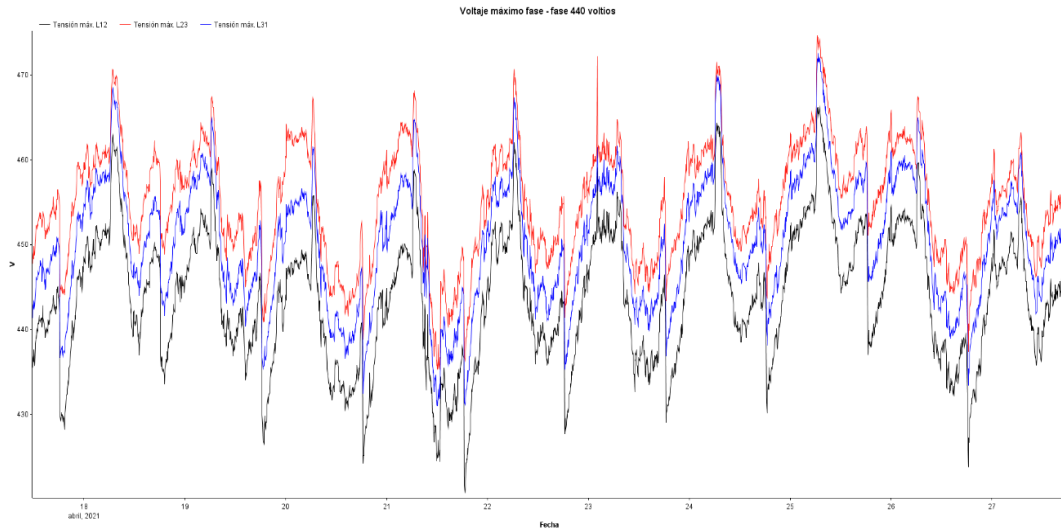


Fig. 35 Variación de Voltaje fase-fase máxima – Transformador 350 kVA.

Ítem	Descripción de la fase-fase	Valor máximo del voltaje fase-fase (RMS)	ΔV_k (%) si $V_{rms} = 440$
1	Fase 1-2	466,25	5,96 %
2	Fase 2-3	475,68	8,11 %
3	Fase 3-1	472,60	7,41 %

TABLA XVII Variación de Voltaje fase-fase máxima – Transformador 350 kVA.

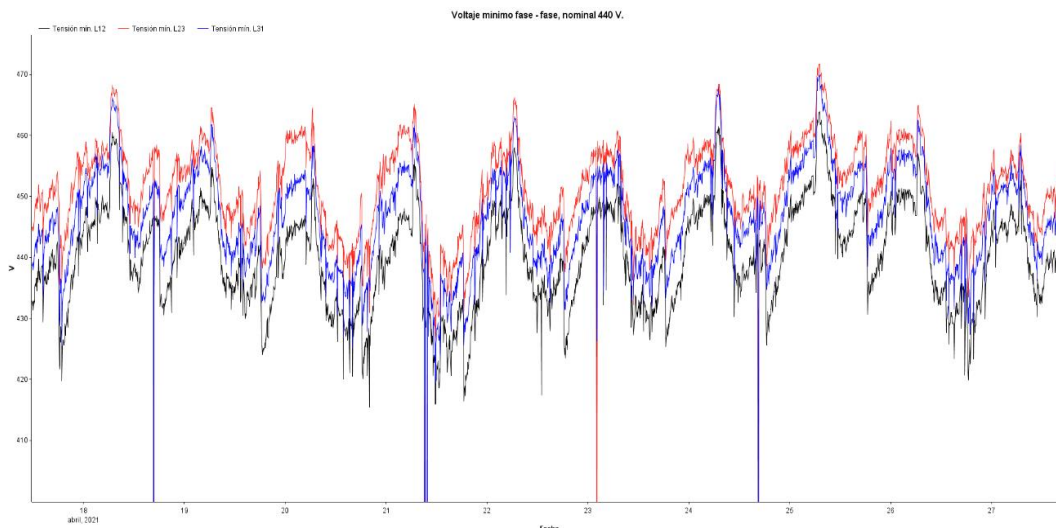


Fig. 36 Variación de Voltaje fase-fase mínimo – Transformador 440 kVA

Ítem	Descripción fase - fase	Valor mínimo del voltaje (RMS)	ΔV_k (%) si $V_{rms}=440$
1	Fase 1-2	380,01	13,63 %
2	Fase 2-3	257,73	41,43 %
3	Fase 3-1	276,56	37,15 %

TABLA XIX Variación de Voltaje fase-fase mínimo – Transformador 440 kVA

- El máximo voltaje eficaz (rms) fase-fase, se presentó entre las FASES 2-3 con un valor de 475,68 voltios, el cual representa una variación de 8,11 % respecto al voltaje nominal fase-fase del transformador (440 V), y el mínimo valor eficaz (rms) fase-fase, se presentó entre las FASES 2-3 con un valor de 257,73 Voltios, representando una variación del 41,43 % respecto al voltaje nominal fase-fase del transformador de 350 kVA, voltaje nominal 440 voltios.

Verificación del cumplimiento índice de voltaje

Considerando que el voltaje nominal del transformador de 350 kVA es de 440/254 voltios en el lado secundario del transformador, y que según la regulación para bajo voltaje considera ± 8 % del voltaje nominal, tendríamos como un máximo permisible de 274,34 voltios, y un mínimo permisible de 233,68 voltios, para fase neutro; y un máximo de 475,20 voltios, y mínimo de 404,80 voltios para las fases, adicionalmente considerando que se tiene una cantidad de 1.476 registros con intervalos de 10 min, a continuación se presenta

el cuadro con los porcentajes del número de registros que incumplieron con el límite $\pm 8\%$, para el periodo de medición:

Ítem	Descripción de fase	Cantidad de registros > al 8 % del Voltaje nominal (274,34 V)	Cantidad de registros < al 8 % del Voltaje nominal (233,68 V)	Total, de registros fuera de rango	Muestra	% De registros que incumplen con la norma	% De registros que si cumplen con la norma
1	Fase 1	0	1	1	1.476	0,15	99,85
2	Fase 2	0	1	1	1.476	0,15	99,85
3	Fase 3	0	1	1	1.476	0,15	99,85
Ítem	Descripción de fase	Cantidad de registros > al 8 % del Voltaje nominal (475,20 V)	Cantidad de registros < al 8 % del Voltaje nominal (404,80 V)	Total, de registros fuera de rango	Muestra	% De registros que incumplen con la norma	% De registros que si cumplen con la norma
1	Fase 1-2	0	4	4	1.476	0,27	99,73
2	Fase 2-3	6	6	12	1.476	0,81	99,19
3	Fase 3-1	0	5	5	1.476	0,34	99,66

TABLA XX Porcentaje Registros Fuera del Límite-Índice de Variación de Voltaje para el transformador trifásico de 350 kVA.

Finalmente se puede definir que, de los resultados obtenidos, para el transformador de 350 kVA, para los voltajes fase neutro, cumple el voltaje en las tres fases, ya que tiene un porcentaje de cumplimiento superior al 95 %; y para las fases, cumple ya que presenta un de igual manera un cumplimiento superior al 95 %.

La regulación ARCONEL 005/18 Capítulo II Calidad del Producto, 8.3.- Cumplimiento del índice de nivel de voltaje en un punto de medición. - La distribuidora cumple con el nivel de voltaje en un punto de medición cuando el 95% o más de los registros de variaciones de voltaje.

Nota. La evaluación realizada se refiere a 10 días de registros.

Regulación de voltaje

Se refiere a los cambios de voltajes que pueden suscitarse en un sistema eléctrico en función de los cambios de los estados de carga asociados en la operación.

El valor límite para el índice de desequilibrio de voltaje en un punto de medición será del 2% para todos los niveles de voltaje:

$$\text{Regulación de Voltaje (\%)} = \frac{\text{Voltaje máx} - \text{Voltaje mín}}{\text{Voltaje máx}} \times 100$$

Regulación de Voltajes Fase Neutro

Ítem	L1-N	L2-N	L3-N
Desequilibrio Promedio de voltaje (%)	1,26	1,26	1,24

TABLA XXI Desequilibrio promedio de voltaje, línea-neutro-440v

Regulación de Voltajes Fase - Fase

Descripción	L1-L2	L2-L3	L3-L1
Desequilibrio Promedio de voltaje (%)	1,28	1,24	1,25

TABLA XXII Desequilibrio promedio de voltaje, línea-línea-440v

Según los datos obtenidos para voltajes fase – neutro, y fase - fase CUMPLE los índices de desequilibrio de voltaje para la regulación ARCONEL 18/005.

Parpadeo flicker

Es aquel fenómeno en el cual el voltaje cambia en una amplitud moderada, generalmente menos del 10% del voltaje nominal, pero que pueden repetirse varias veces por segundo. Este fenómeno conocido como efecto “Flicker” (parpadeo) causa una fluctuación en la luminosidad de las lámparas a una frecuencia detectable por el ojo humano.

Índice de calidad

Para efectos de la evaluación de la calidad, en cuanto al flicker, se considerará el Índice de Severidad por Flicker de Corta Duración (Pst), en intervalos de medición de 10 minutos,

definido de acuerdo a las normas IEC; mismo que es determinado mediante la siguiente expresión:

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}}$$

Dónde:

- Pst: Índice de severidad de flicker de corta duración.
- P0.1, P1, P3, P10, P50: Niveles de efecto “flicker” que se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total del periodo de observación.

LÍMITES

El índice de severidad del Flicker Pst en el punto de medición respectivo, no debe superar la unidad. Se considera el límite $Pst = 1$ como el tope de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede soportar sin molestia el ojo humano en una muestra específica de población. Se considerará que el suministro de electricidad no cumple con el límite admisible ($Pst = 1$), en cada punto de medición, si las perturbaciones se encuentran fuera del rango de tolerancia establecido, por un tiempo superior al 5 % del período de medición de 7 días continuos.

Verificación del cumplimiento índice flicker

A continuación, se presenta el cuadro con los porcentajes del número de registros que incumplieron con el límite ($Pst > 1$), para el periodo de medición:

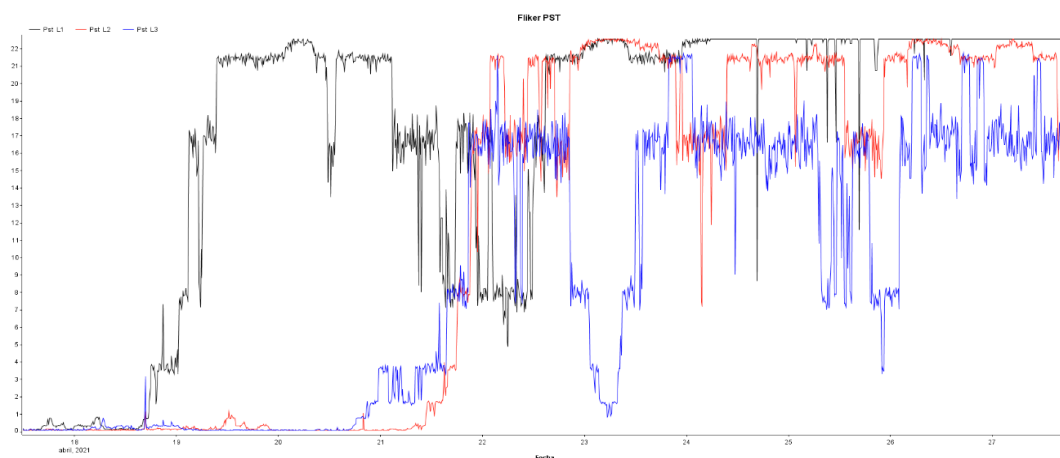


Fig. 37 Registros Fuera del Límite-Índice de Severidad de Flicker (PST) 350 kVA, para todo el periodo de medición.

Ítem	Descripción	Cantidad de registros flicker Pst>1	Muestra	% de registros que cumplen norma
1	Fase 1	1.298	1.476	12,06
2	Fase 2	908	1.476	38,48
3	Fase 3	987	1.476	33.13

TABLA XXIII Registros Fuera del Límite-Índice de Severidad de Flicker (PST) 350 kVA, para todo el periodo de medición.

De los resultados obtenidos, se verificó que el porcentaje del número de mediciones fuera del límite es superior del 5% del periodo evaluado, para las tres (3) fases; por lo que se puede concluir que, **NO CUMPLE** con el parámetro de índice de severidad del Flicker (Pst) establecido en la Regulación ARCONEL 005/18.

Armónicos de voltaje

Umbrales críticos de los diferentes indicadores según norma EN 50160 estipula las características de los voltajes suministrados por las redes de distribución de alimentación de BT y MT.

La THD voltaje caracteriza la distorsión de la onda de tensión.

A continuación, se muestra una serie de valores THD de voltaje y los fenómenos correspondientes en la instalación:

- Si el THD de voltaje se encuentra por debajo del 5%: situación normal, sin riesgos de funcionamiento incorrecto.
- Del 5 al 8%: contaminación armónica importante, puede que se produzca algún funcionamiento incorrecto.
- Superior al 8%: contaminación armónica importante, es probable que se produzca algún funcionamiento incorrecto. Es necesario un análisis profundo y la instalación de dispositivos de atenuación.

A continuación, se presenta gráficas y cuadros en las que se observa la distorsión total de los armónicos THD, de voltaje, para el transformador de 350 kVA.

Distorsión de armónicos de voltaje por fase, R-S-T.

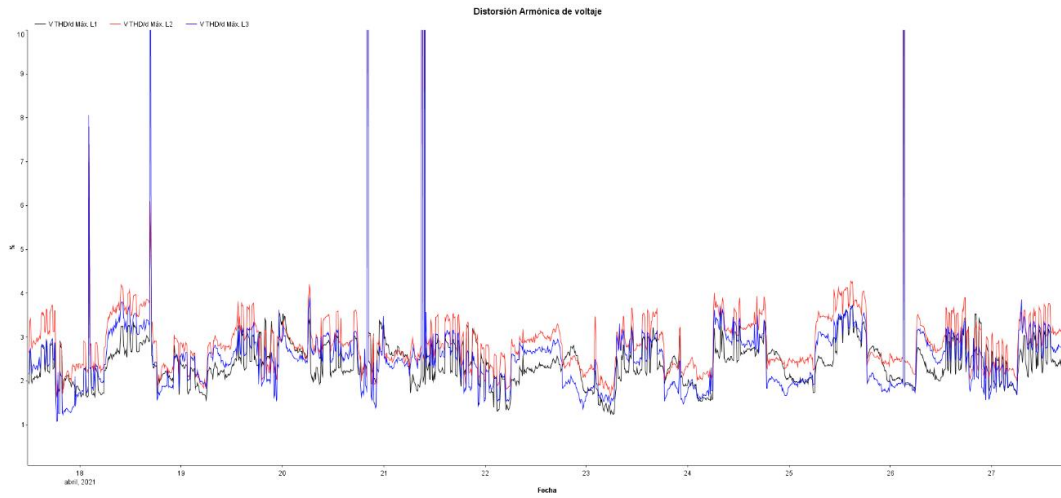


Fig. 38 distorsión total de los armónicos THD, de voltaje, para el transformador de 350 kVA.

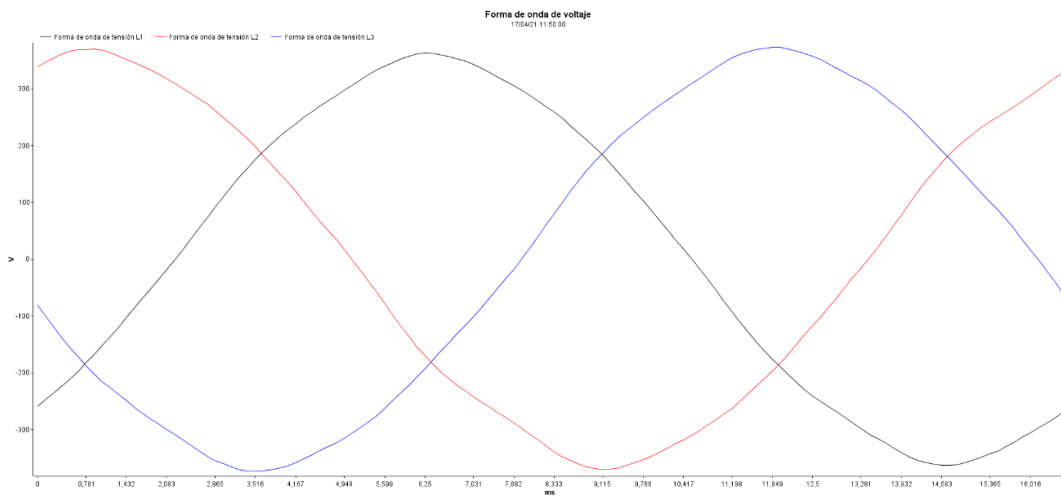


Fig. 39 Forma de onda de voltaje, distorsión total de los armónicos THD, de voltaje, para el transformador de 350 kVA.

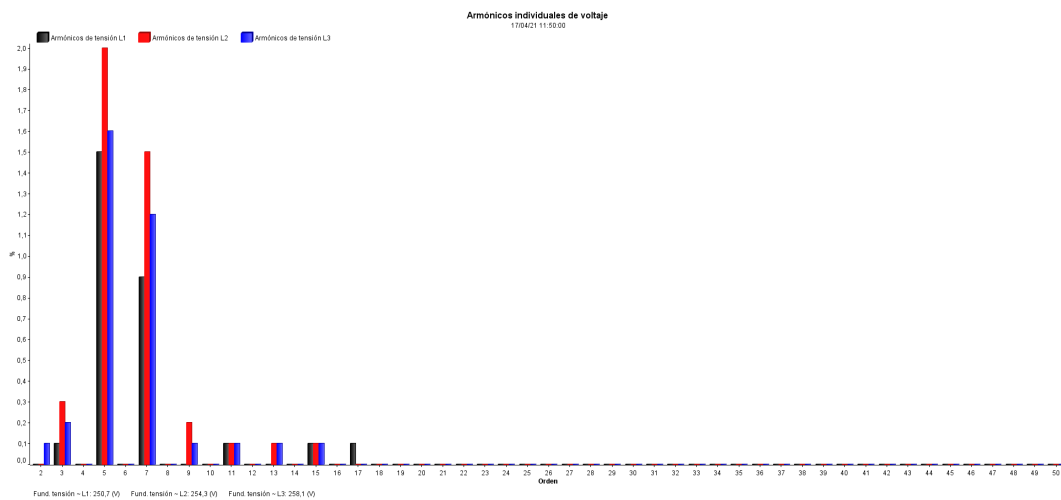


Fig. 40 Armónicos individuales de voltaje- 440v

Según la Regulación se cumple con la distorsión armónica individual de voltaje y con el factor de distorsión armónica total de voltaje en un punto de medición, cuando el 95% o más de los valores registrados, en el periodo de evaluación de al menos 7 días continuos, son menores a los límites máximos establecidos.

Considerando que la medición se la realizó en el lado de bajo voltaje se establece que el factor de distorsión armónica total de voltaje no deberá sobrepasar el 8%, a continuación, se tabulan los datos para establecer el cumplimiento de los indicadores establecidos en la regulación:

Ítem	Descripción	Cantidad de registros de distorsión armónica de voltaje THD (%) que no cumplen límites de distorsión de demanda total	Muestra intervalo de 10 minutos	% de registros que cumplen norma
1	Fase 1	6	1.476	99,59
2	Fase 2	5	1.476	99,66
3	Fase 3	7	1.479	99,53

Fig. 41 cumplimiento de la regulación ARCONEL 005/18 en referencia a la distorsión armónica total de voltaje -440v

En la TABLA anterior se puede observar el cumplimiento de la regulación ARCONEL 005/18 en referencia a la distorsión armónica total de voltaje la cual no excede los límites permitidos, a continuación, se ha definido el promedio de distorsión armónica para cada una de las líneas del transformador trifásico de 350 kVA, a 440 voltios.

DESCRIPCIÓN	V THD/d L1 (%)	V THD/d L2 (%)	V THD/d L3 (%)
PROMEDIO	2,61	3,06	2,69

Armónicos de corriente

Umbral crítico de los diferentes indicadores según norma EN 50160 estipula las características de las corrientes suministradas por las redes de distribución de alimentación de BV y MV.

A continuación, se muestra una serie de valores THDi y los fenómenos correspondientes en la instalación:

- THD de corriente por debajo del 10%: situación normal, sin riesgos de funcionamiento incorrecto.

5. Del 10 al 50%: contaminación armónica importante con riesgo de aumento de temperatura y la necesidad consiguiente de sobredimensionar cables y fuentes.
6. Superior al 50%: contaminación armónica importante, es probable que se produzca algún funcionamiento incorrecto, es necesario un análisis profundo y la instalación de dispositivos de atenuación.

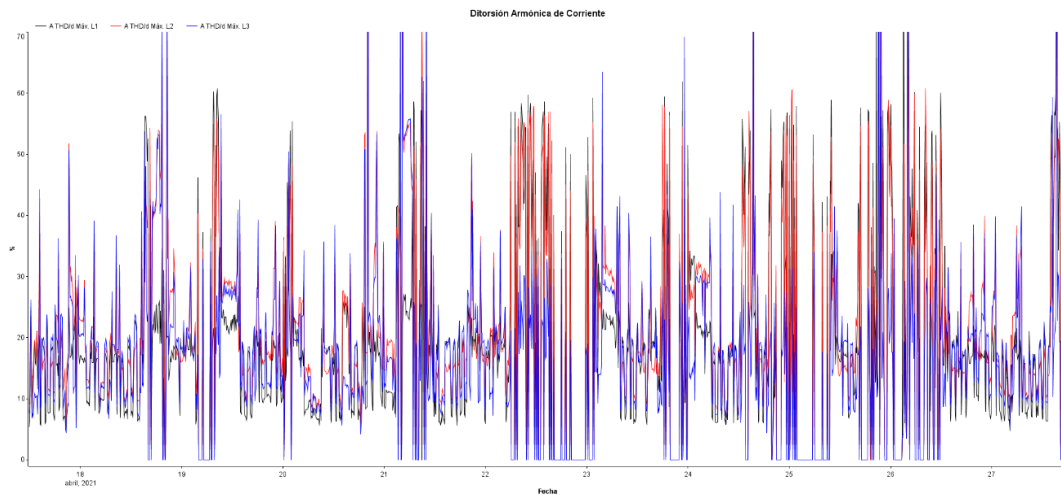


Fig. 42 Distorsión armónica de corriente. -440v

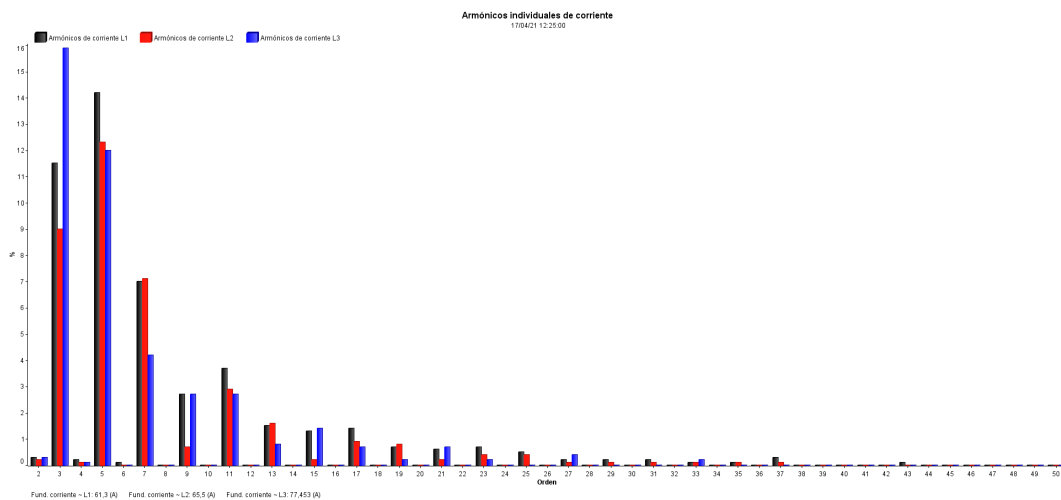


Fig. 43 Distorsión armónica individual- 440v

Ítem	Descripción	Cantidad de registros de distorsión armónica THD (%) que no cumplen límites de distorsión de demanda total > 12 % THD-A	Muestra intervalo de 10 minutos	% de registros que cumplen norma
1	Fase 1	921	1.476	37,60 %
2	Fase 2	1.037	1.476	29,74 %
3	Fase 3	917	1.476	37,87 %

TABLA XXIV Porcentaje de cumplimiento para distorsión armónica THD-440v

DESCRIPCIÓN	A THD/d L1 (%)	A THD/d L2 (%)	A THD/d L3 (%)
PROMEDIO	18,06	20,36	16,89

Con los resultados obtenidos se puede definir de la medición realizada en el punto de común de acoplamiento del transformador de 350 kVA, **NO** cumple con la regulación en la distorsión total de corriente.

Desequilibrio de corriente

Según la Norma europea EN50160 y la IEC61000-2-2 establecen un rango de $\pm 10\%$, sin embargo, se dice que cumple cuando del total de registros no tengan un cumplimiento de al menos el 95% de la norma.

$$\text{Desequilibrio de Corriente (\%)} = \frac{\text{Corriente máx} - \text{Corriente promedio}}{\text{Corriente promedio}} \times 100$$

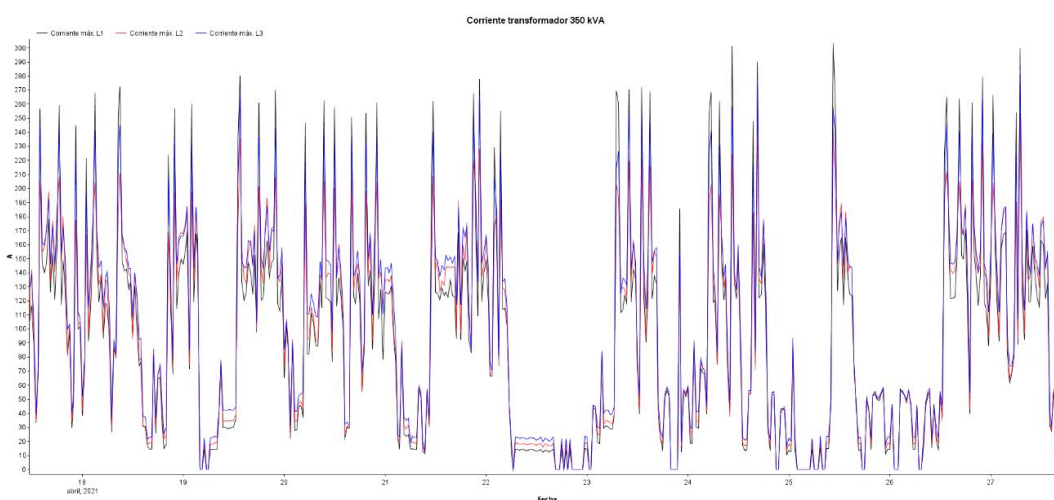


Fig. 44 Desequilibrio de corriente -440v

Número de registros > 10 % de desequilibrio	Registros totales	% de Incumplimiento	Valor máximo de % desequilibrio	Fecha y hora	Cumple / No Cumple
596	1.476	40,38	71,73	25 de abril del 2021 a las 21h10	No cumple

TABLA XV Desequilibrio de corriente -440v, porcentaje de cumplimiento.

Según la Norma Europea EN50160 y la IEC61000-2-2 establecen un rango de $\pm 10\%$, se observa en el cuadro anterior el incumplimiento de la norma, ya que de la data obtenida en el periodo de evaluación cumple solamente con un 51.62 % del total de los registros.

DATOS OBTENIDOS

PARÁMETRO	CUMPLIMIENTO	DATOS	CUMPLE
NIVEL DE VOLTAJE 220 V	La distribuidora cumple con el nivel de voltaje en un punto de medición cuando el 95% o más de los registros de variaciones de voltaje,	transformador de 150 kVA, para los voltajes fase neutro, cumple el voltaje F2-N , ya que tiene un porcentaje de incumplimiento de 0.15 %; y para las fases, cumple ya que presenta un 100% de cumplimiento.	SI
DESEQUILIBRIO DE VOLTAJE 220 V	El valor límite será del 2 %, para todos los niveles de voltaje	Se tiene valores de desequilibrio de 1,01 Fase 1, 0.99 Fase 2, y 0,95 fase 3	SI
PORCENTAJE DEL NÚMERO DE MEDICIONES FUERA DEL LÍMITE 220 V	Inferior del 5% del periodo evaluado, para la fase 2.	Para las fases 1 y 3, el porcentaje de incumplimiento es superior al 5% para la fase 1 y del 55,39 % para la fase 3 61,83%,	NO
DISTORSIÓN TOTAL DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE 220 V	CUMPLE con la distorsión armónica individual de voltaje y con el factor de distorsión armónica total de voltaje en un punto de medición, cuando el 95% o más de los valores registrados	Cumplimiento del 100% en las tres fases	SI
LA DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL DE CORRIENTE 220V	La regulación ARCONEL 005/18, ya los porcentajes de cumplimiento están por debajo del límite permitido que es el cumplimiento del 95 % de resultados	Cumplimiento para cada fase; F1 = 3,29 % ; F2 = 0,00 % ; F3 = 20,94%.	NO

TABLA XXVI Datos obtenidos de la línea 220 V

PARÁMETRO	CUMPLIMIENTO	DATOS	CUMPLE
NIVEL DE VOLTAJE 440 V	La distribuidora cumple con el nivel de voltaje en un punto de medición cuando el 95% o más de los registros de variaciones de voltaje,	El transformador de 350 kVA, para los índices de voltajes fase neutro, cumple el voltaje en las tres fases, ya que tiene un porcentaje de cumplimiento superior al 95 %; de igual forma para las fases, CUMPLE ya que presenta un de igual manera un cumplimiento superior al 95 %,	SI
DESEQUILIBRIO DE VOLTAJE 440 V	El valor límite será del 2 %, para todos los niveles de voltaje	se obtuvo los siguientes resultados, para: F1-N = 1,26; F2 – N = 1,26; F3 – N = 1,24; y para las fases: F1 – F2 = 1,28; F2 – F3 = 1,24; F3 - F1 = 1,25.	SI
PORCENTAJE DEL NÚMERO DE MEDICIONES FUERA DEL LÍMITE 440 V	Inferior del 5% del periodo evaluado,	Los resultados obtenidos de cumplimiento de la norma son para la F1 = 12 % ; F2 = 38,48%; y F3 = 33,13	NO
DISTORSIÓN TOTAL DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE 440 V	CUMPLE con la distorsión armónica individual de voltaje y con el factor de distorsión armónica total de voltaje en un punto de medición, cuando el 95% o más de los valores registrados	Datos obtenidos por fase F1 = 99,59%; F2 = 99,66%; F3 = 99,53%.	SI
LA DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL DE CORRIENTE 440V	La regulación ARCONEL 005/18, establece lo porcentajes de cumplimiento del 95 % de resultados	Cumplimiento para cada fase; F1 = 37,60 % ; F2 = 29,74 % ; F3 = 37,87%.	NO

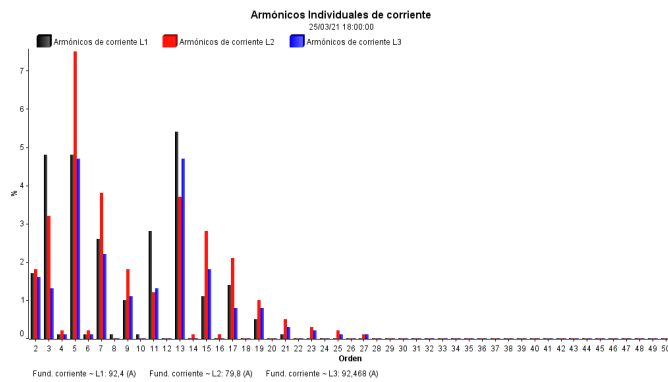
TABLA XXVII Datos obtenidos de la línea 440 V

Diseño de filtros para los armónicos n1, n2, n3.

Para el diseño de los filtros armónicos utilizamos la corriente máxima individual obtenida por cada línea en valor porcentual.

Línea 220V

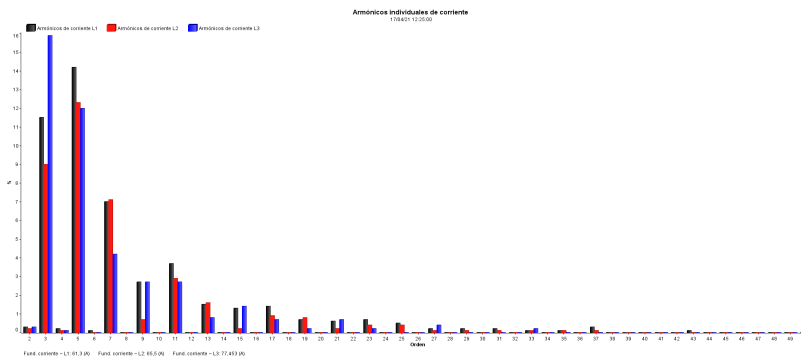
El valor de máximo de corriente para la línea de 220 V es de 92.4 A, mismos que se toman como referencia del 100%, con el gráfico presentado a continuación de representan los valores porcentuales de las corrientes armónicas para n1, n2 y n3.



$$\begin{aligned}n1 &= 92.4 \text{ A [100\%]} \\n3 &= 4.4 \text{ A [4.8\%]} \\n5 &= 7.39 \text{ A [8\%]} \\n7 &= 3.6 \text{ A [3.9\%]}\end{aligned}$$

Línea 440V

El valor de máximo de corriente para la línea de 440 V es de 65 A, mismos que se toman como referencia del 100%, con el gráfico presentado a continuación de representan los valores porcentuales de las corrientes armónicas para n1, n2 y n3.

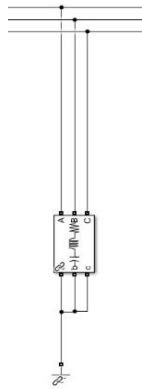


$$\begin{aligned}n1 &= 65 \text{ A [100\%]} \\n3 &= 10.4 \text{ A [16\%]} \\n5 &= 9.1 \text{ A [14\%]} \\n7 &= 4.55 \text{ A [7\%]}\end{aligned}$$

Las frecuencias impares n3, n5, n7 serán las siguientes:

$$\begin{aligned}n3 &= 180\text{Hz} \\n5 &= 300\text{Hz} \\n7 &= 420 \text{ Hz}\end{aligned}$$

Para el sistema se necesitará un filtro RLC en serie el cual nos permita distribuir las corrientes armónicas a tierra, y se utilizará capacitores equivalentes a 100µf para n3 y n5, y de 10 µf para n7.



$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$f = \frac{1}{180^2 4\pi^2 C}$$

$$L_{n3} = 7.818 \mu\text{H}$$

$$L_{n5} = 2.814 \mu\text{H}$$

$$L_{n7} = 14 \mu\text{H}$$

Fig. 45 Filtro armónico RLC en serie.

El esquema principal del filtro armónico contiene las cargas correspondientes a los tres armónicos impares principales, lo cuales mostraron valores altos en porcentaje, mismo que causan distorsión en la onda senoidal, se colocó tres filtros armónicos para cada carga como se muestra en las siguientes imágenes, al ser datos independientes de la corriente el diseño y valores serán utilizados tanto para la línea 220 v y 440 v.

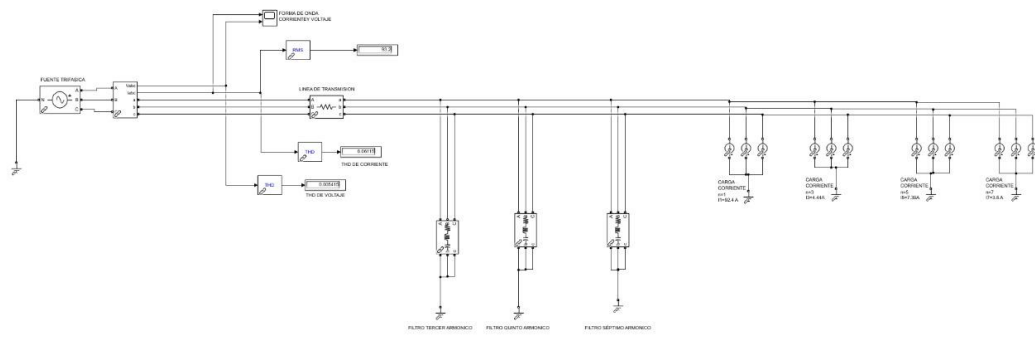


Fig. 46 Diseño general para implementación de filtros armónicos en la empresa La Polaca GUSTALAC.

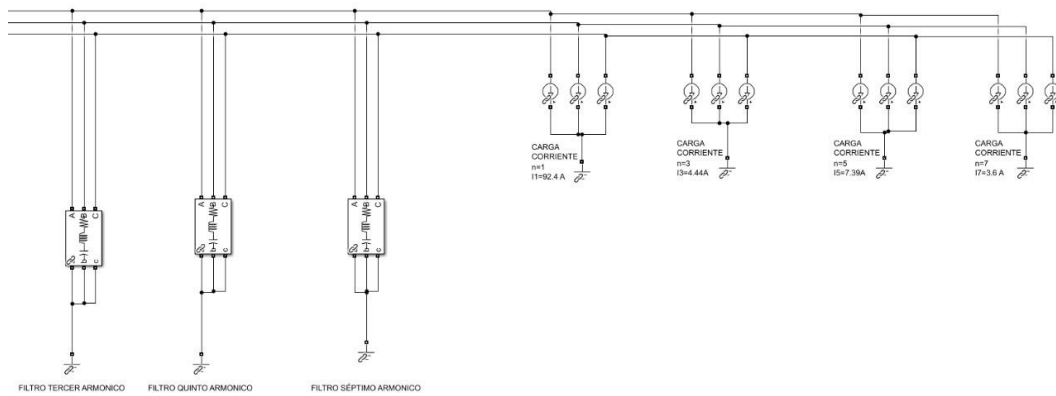


Fig. 47 Esquema de conexión de cargas y filtros armónicos para la línea de 220 v

El valor rms de 92.4 A aumentó a 93.1 A en la línea de 220 v con la ayuda e implementación de filtros armónicos los cuales no dan un valor THD de 4% lo cual está permitido en la regulación ARCONEL 005/18.

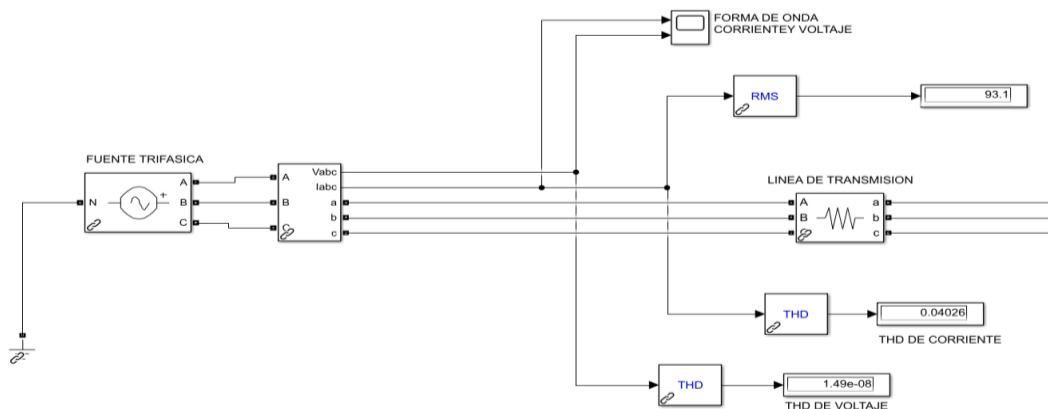


Fig. 48 valores RMS y THD con la aplicación de los filtros armónicos para tercer, quinto y séptimo armónico. Línea 220v

El resultado en la forma de la onda de corriente para cada una de las líneas se ve mejorada debido a la implementación de filtros armónicos, en donde se asemeja a la corriente senoidal ideal y propia del sistema si no existieran corrientes armónicas impares, para la línea de 220v

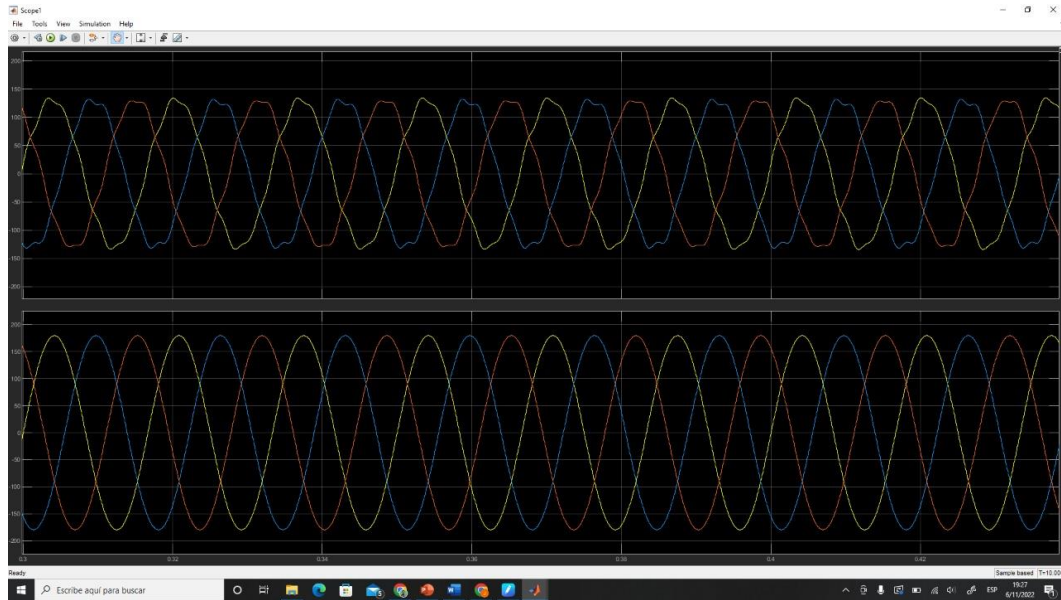


Fig. 49 ondas de corriente para cada una de las líneas se ve mejorada debido a la implementación de filtros armónicos línea 220v

Para la línea de 440v Como se muestra en la imagen se alcanza un valor con los filtros de un 7% de THD, por lo que un filtro para el 7mo armónico no fue necesario

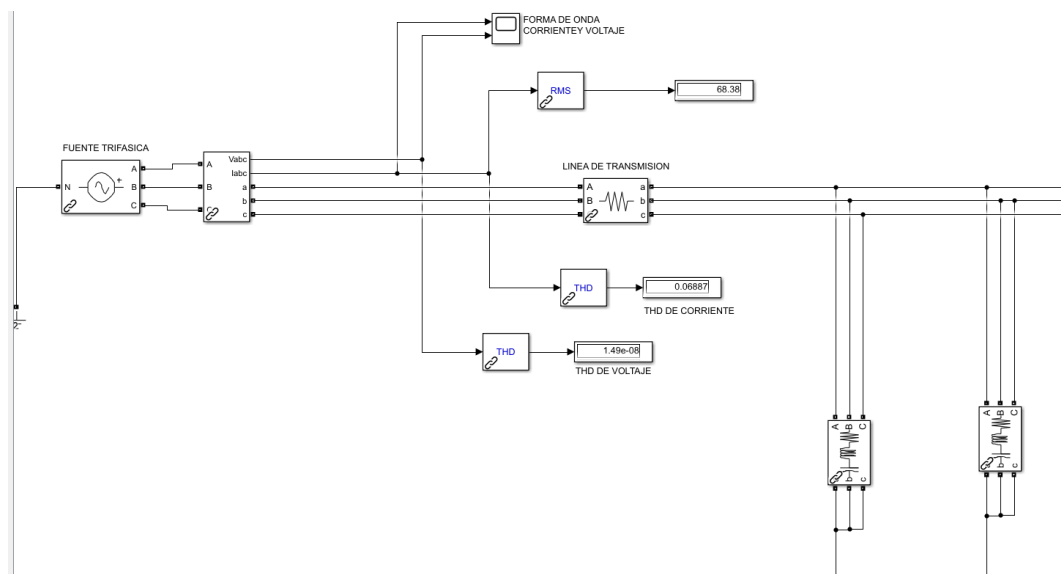


Fig. 50 Resultado THD de corriente y voltaje utilizando filtros armónicos para tercer y quinto armónico. - 440v

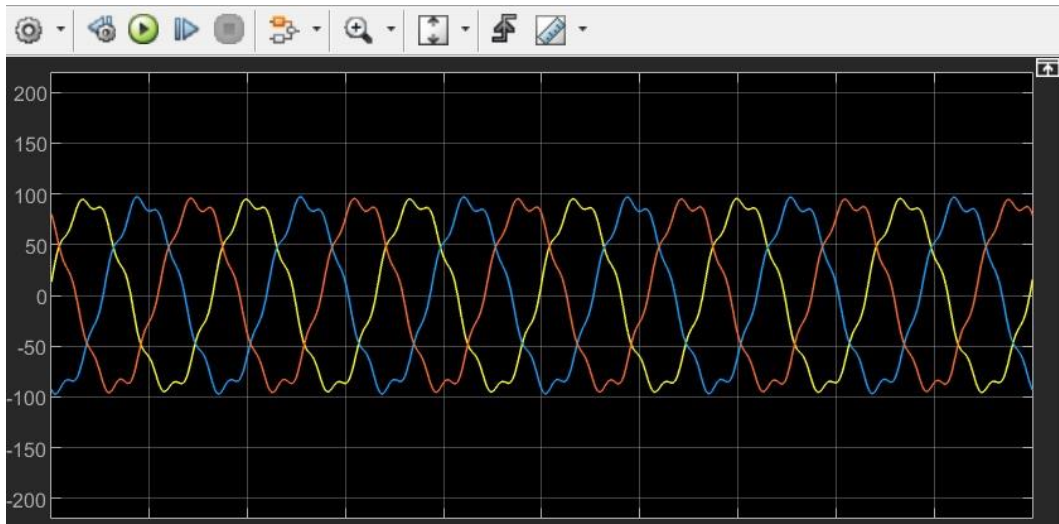


Fig. 51 Forma de onda senoidal sin implementación de filtros armónicos.

Para efectos de comparación sin los filtros de tercer, quinto y séptimo armónico se tienen los siguientes valores THD y RMS, mismo que no cumplen con la regulación ARCONEL 005/18., YA QUE EL THD refleja un valor de 16% para la línea de 440V y del 10% para la línea de 220 V.

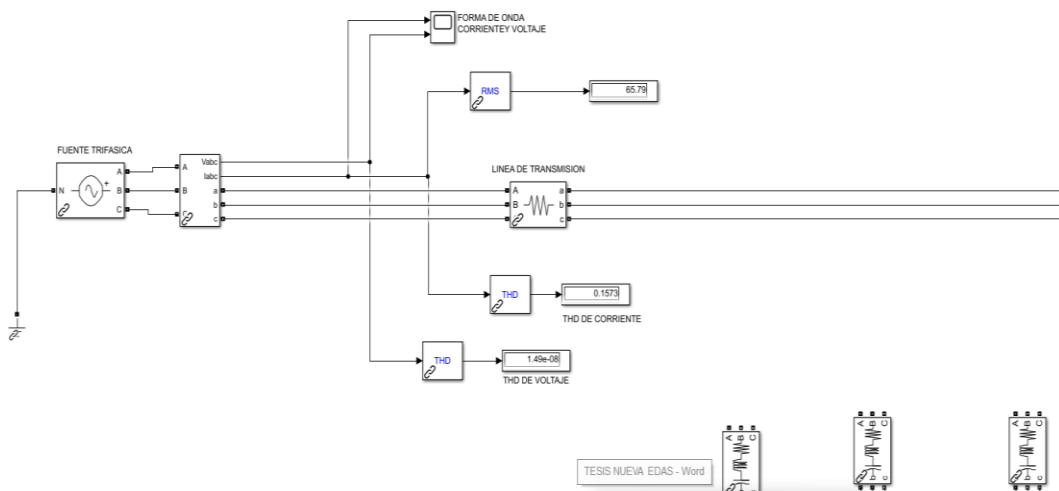


Fig. 52 Resultados THD sin implementación de filtros armónicos. -440v

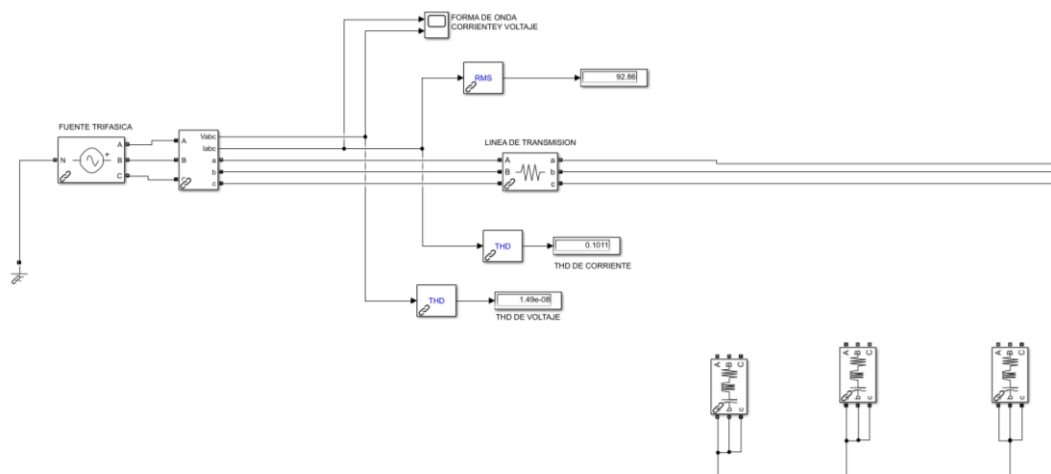


Fig. 53 Resultado THD de corriente sin implementación de filtros armónicos 220V

CONCLUSIONES

- Se recopiló información documental acerca de investigaciones similares en buscadores de internet, bibliotecas y con expertos en el tema para el entendimiento y fundamentación del proyecto de investigación, que permitió encaminar los métodos adecuados para determinar cada uno de los parámetros de calidad existentes en la regulación ARCONEL 005/18.
- Se recopiló datos sobre los parámetros de calidad eléctrica según la regulación ARCONEL 005/15 mediante la utilización de un analizador de energía mismo que nos permitió identificar porcentajes de corrientes armónicas en las líneas de 220 V y 440 V superiores al 8% que implicaría un incumplimiento.
- Se realizó el diseño y simulación de filtros armónicos RLC en serie para corrientes de tercer, quinto y séptimo armónico en las líneas 220 V y 440 V para la corrección de THD en donde los porcentajes bajaron a menos del 7%, lo cual implica cumplimiento según la regulación ARCONEL 005/18.

RECOMENDACIONES

- Tomar en cuenta las correcciones de factor de potencia que podría ocasionar el dinamismo de carga a lo largo de las jornadas de procesos.
- En la construcción del filtro armónico RLC, en la inductancia ser lo más preciso posible con el núcleo, áreas transversales y número de vueltas en las bobinas para evitar sobre calentamiento de los capacitores.
- Trabajar con resistencias bajas pero no con resistencias igual a cero para no hacer un filtro muy selectivo que no nos permita derivar corrientes armónicas hacia tierra.

Bibliografía

- [1] M. Poveda, Eficiencia energética: recurso no aprovechado, 2007.
- [2] G. MEJÍA, «Estudio comparativo entre la legislación de eficiencia energética de Colombia y España,» EAN, pp. 122-135, 2014.
- [3] E. A. Figueroa Barrionuevo, «Auditoría energética de los edificios administrativo y docente de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para disminuir el consumo de energía eléctrica,» 2015.
- [4] K. G. K. & B. N. F. J. C. Antón Bazán, «Auditoría Energética del Sistema Eléctrico para la Empresa Molinera de Arroz Valle Dorado SAC en la Ciudad de Jaén-Perú-2020.,» Perú, 2020.
- [5] C. A. & W. C. Romero, « Auditoria energética en el hospital Julius Doepfner de la ciudad de Zamora.,» Loja, 2012.
- [6] E. P. & V. R. A. E. Muñoz Saona, «Desarrollo y aplicación de una guía para realizar auditorías energéticas en el sector industrial,» 2011.
- [7] A. V. V. N. B. M. G. P. I. E. R. & C. M. L. D. Vera, «Realidad actual del sector eléctrico ecuatoriano,» Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología, n° RIEMAT ISSN: 2588-0721, 4(1), pp. 6-10, 2019.
- [8] J. M. Vallejo Ramírez, Ventaja competitiva, beneficios económicos y sociales de implementación de sistemas de ahorro de energía eléctrica para las industrias del Ecuador, 2015.
- [9] J. A. S. y L. R. N. A. LÓPEZ, «Modelado energético de convertidores primarios para el aprovechamiento de las energías renovables,» pp. pp. 224-235, 2014. .
- [10] S. Jose, «GESTIÓN DE LA ENERGÍA,» España, 2010.
- [11] M. J. MONTERO MEJÍA, Propuesta De Auditoría Energética Para Reducir El Consumo Eléctrico En El Área De Producción De La Empresa América, Lima, 2016.
- [12] A.G.ARIAS, El concepto "energía" en la enseñanza de las ciencias, 2006.

- [13] J. VELASCO, Energía renovables, Reverte, 2009.
- [14] E. B. SÁNCHEZ, Modelo de auditoría energética en el sector industrial,, 2009.
- [15] R. N. ARCONEL-005/18, EL DIRECTORIO DE LA AGENCIA DE REGULACIÓN, 2018.