

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,

INFORMÁTICA Y MECÁNICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TESIS

**ANALISIS Y MEJORA DE LA CALIDAD DE PRODUCTO EN EL
SISTEMA ELECTRICO DE LA CLINICA MAC SALUD CUSCO AÑO
2020**

PRESENTADA POR:

Br. Aldo Eric Escalante Cartagena

Br. Pavel David Rodriguez Frisancho

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRICISTA**

ASESOR:

Ing. Pablo Apaza Huanca

CUSCO – PERÚ

2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: "ANÁLISIS Y MEJORA DE LA CALIDAD DE PRODUCTO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA CLÍNICA MAC SALUD CUSCO AÑO 2020"

presentado por: PAVEL DAVID RODRÍGUEZ FRISANCHO con DNI Nro.: 45205510 presentado por: ALDO ERIC ESCALANTE CARTAGENA con DNI Nro.: 45676771 para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO ELECTRICISTA

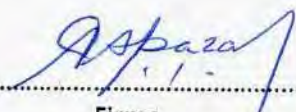
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 4%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	—
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	—

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 10 de febrero de 2024



Firma

Post firma... PABLO APAZA HUANCA

Nro. de DNI... 23842746

ORCID del Asesor... 0000-0002-3941-1347

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** com/27259:3284665667 ✓
locale = es-mx



NOMBRE DEL TRABAJO

ANALISIS Y MEJORA DE LA CALIDAD DE PRODUCTO EN EL SISTEMA ELECTRICO DE LA CLINICA MAC SALUD CUSCO AÑ

AUTOR

Aldo Eric Escalante/Rodríguez

RECUENTO DE PALABRAS

33134 Words

RECUENTO DE CARACTERES

169864 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

193 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

7.2MB

FECHA DE ENTREGA

Feb 10, 2024 9:24 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Feb 10, 2024 9:26 AM GMT-5

● **4% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 3% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)
- Bloques de texto excluidos manualmente

**ANALISIS Y MEJORA DE LA CALIDAD DE PRODUCTO EN EL
SISTEMA ELECTRICO DE LA CLINICA MAC SALUD CUSCO
AÑO 2020**

**Tesis Presentada Para Obtener el Título de
Ingeniero Electricista
Universidad Nacional de San Antonio Abada del Cusco, Perú**

Aldo Eric Escalante Cartagena.

Pavel David Rodríguez Frisancho.

Setiembre de 2023

DEDICATORIAS

El presente trabajo de tesis va dedicado con todo amor y cariño a mis padres, Valerio y Catalina, por su constante apoyo y motivación a lo largo de este desafiante viaje académico.

También a mi hermana, por ser mi fuente de inspiración y alegrías.

Aldo Eric Escalante Cartagena

Dedico este trabajo fundamentalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres David Rodríguez y Soledad Frisancho por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo en todo momento sin importar nuestras diferencias de opiniones.

A mi hermana Fátima Rodríguez quien me alentó siempre a continuar con este proyecto.

A toda mi familia, por sus consejos, oraciones y palabras de aliento.

A mi mascota minka, que fue una compañera fiel de muchas madrugadas de estudio, por ser una fuente constante de alegría, consuelo y apoyo emocional.

Pavel David Rodríguez Frisancho.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestra profunda gratitud a las siguientes personas e instituciones que desempeñaron un papel fundamental en la realización de esta tesis:

A nuestro asesor el Ing. Pablo Apaza Huanca, por su orientación, paciencia y dedicación a lo largo de este proceso. Sus conocimientos y apoyo fueron invaluable en cada etapa de esta investigación.

Al director de la Clínica Mac Salud Cusco por habernos brindado las facilidades y la confianza de realizar el presente trabajo de tesis en su prestigiosa Institución.

Al Ing. Manuel Casafranca Santos jefe del área de operaciones de la Clínica Mac Salud Cusco, por facilitarnos la información necesaria para la realización de este trabajo.

A la oficina de Calidad de la empresa Electro Sur Este S.A.A., y a su personal por ayudarnos y proporcionarnos los instrumentos necesarios para la toma de datos para la realización del trabajo de tesis.

Al Ing. Danny Gonzales Fernández director y fundador de la empresa ARGO INGENIERIA, por su contribución a nuestro proyecto de tesis. Su conocimiento técnico y experiencia fueron fundamentales para el éxito de nuestra tesis.

A nuestros docentes de la carrera profesional de Ingeniería Eléctrica, por brindarnos sus conocimientos e influencia que nos han permitido llegar hasta este punto.

Los Autores.

PRESENTACIÓN

Señor decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica de la tricentenaria Universidad Nacional de San Antonio Abad de Cusco, Señores docentes miembros del jurado calificador, con la finalidad de poder optar al título profesional de Ingeniero Electricista y en estricto cumplimiento del reglamento de grados y títulos vigentes de nuestra facultad, presentamos el trabajo de investigación intitulada: “ANÁLISIS Y MEJORA DE LA CALIDAD DE PRODUCTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN LA CLÍNICA MAC SALUD CUSCO - 2020”; trabajo que tiene como finalidad mitigar las distorsiones armónicas en la Clínica Mac Salud Cusco, producidas por los instrumentos y equipos biomédicos, así como también, los equipos electrónicos que inyecten estos armónicos, los cuales generan distorsiones en las señales de onda y produciendo a su vez pérdidas de energía y reduciendo la vida útil de dichos equipos biomédicos y electrónicos.

El presente trabajo queda abierto a todos los lectores y a futuras revisiones en función de las observaciones que se puedan encontrar, esperando estar a la altura de las expectativas y contribuir con la enseñanza de la comunidad educativa.

Los Autores

RESUMEN

En este trabajo se investiga el impacto de las cargas no lineales en la calidad de energía eléctrica en la Clínica Mac Salud Cusco. Las cargas no lineales, resultado del desarrollo tecnológico y aumento de la demanda energética, generan tensiones y corrientes armónicas que pueden afectar la vida útil de los equipos médicos, el sistema eléctrico interno y la red en general.

Para mitigar los efectos de los armónicos, se utilizan filtros de armónicos. Esta investigación se divide en cinco capítulos principales. En el Capítulo I se presentan los aspectos generales del trabajo, como el planteamiento del problema, los objetivos, la hipótesis, la justificación y otros detalles relevantes.

En el Capítulo II, se presenta el marco teórico necesario para el desarrollo del trabajo, así como el marco normativo nacional e internacional relacionado con las tolerancias admitidas para las distorsiones armónicas.

El Capítulo III realiza un diagnóstico actual de la Clínica Mac Salud Cusco, identificando las causas y efectos de las distorsiones armónicas en el sistema eléctrico.

En el Capítulo IV, se analizarán los resultados del diagnóstico y se realizarán simulaciones utilizando el software DigSilent Power Factory, así como el programa MATLAB.

En el Capítulo V, se llevará a cabo el diseño, la simulación y la viabilidad económica del filtro implementado para mitigar las distorsiones armónicas en la Clínica Mac Salud Cusco.

PALABRAS CLAVE: Mitigar, armónicos, calidad de producto, filtros, pérdidas.

ABSTRACT

This thesis investigates the impact of non-linear loads on the electrical power quality at Clínica Mac Salud Cusco. Non-linear loads, resulting from technological advancements and increased energy demand, generate harmonic voltages and currents that can adversely affect the lifespan of medical equipment, the internal electrical system, and the overall grid. To mitigate the effects of harmonics, harmonic filters are employed.

The research is organized into five main chapters. Chapter I provides an overview of the study, including the problem statement, objectives, hypothesis, justification, and other pertinent details. Chapter II presents the necessary theoretical framework for the study, along with the national and international regulatory framework concerning allowable tolerances for harmonic distortions.

Chapter III conducts a current diagnosis of Clínica Mac Salud Cusco, identifying the causes and effects of harmonic distortions in the electrical system. Chapter IV analyzes the diagnosis results and performs simulations using DigSilent Power Factory software and MATLAB programs.

Finally, Chapter V conducts a feasibility analysis of the implemented filter to mitigate harmonic distortions at Clínica Mac Salud Cusco. This research aims to contribute to a better understanding of the impact of non-linear loads on power quality and proposes potential solutions to enhance the efficiency and reliability of the electrical system in the medical facility.

KEYWORDS: Mitigate, harmonics, product quality, filters, losses.

INDICE GENERAL

PRESENTACIÓN	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INDICE GENERAL	x
INDICE DE TABLAS	xiv
INDICE DE FIGURAS	xvi
GLOSARIO DE ABREVIATURAS	xx
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES	21
1.1 Ubicación Geográfica	21
1.2 Problemática	23
1.2.1 Planteamiento del problema	23
1.2.2 Formulación del problema	34
1.2.2.1 Problema general	34
1.2.2.2 Problemas específicos	34
1.3 Objetivos	35
1.3.1 Objetivo general	35
1.3.2 Objetivos específicos	35
1.4 Hipótesis y Variables	35
1.4.1 Hipótesis general	35
1.4.2 Hipótesis específica	35
1.4.3 Variables	36
1.5 Alcances y limitaciones	37
1.5.1 Alcances	37
1.5.1 Limitaciones	37
1.6 Justificación del estudio	37
1.7 Metodología	38
1.7.1 Tipo de investigación	38
1.7.2 Nivel de investigación	38
1.7.3 Diseño de investigación	39
1.7.4 Población	39
1.7.5 Técnicas de recolección de datos	39
1.7.6 Instrumentos de recolección de datos	39
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y NORMATIVO	43
2.1 Antecedentes	43

2.1 Marco teórico	45
2.1.1 Calidad de energía eléctrica	45
2.2.2 Calidad de producto	46
2.2.2.1 Tensión	47
2.2.2.2 Frecuencia	48
2.2.2.3 Perturbaciones eléctricas	50
2.2.3 Armónicos	51
2.2.3.1 Armónicos de tensión	54
2.2.3.2 Armónicos de corriente	55
2.2.3.3 Descomposición de la señal de onda distorsionada.	56
2.2.4 Flícker	57
2.2.4.1 Causas y Efectos del Flícker	60
2.2.4.2 Métodos de Evaluación de Flícker	62
2.2.5 Tipos de carga	69
2.2.5.1 Carga lineal	69
2.2.5.2 Carga no lineal	70
2.2.6 Efectos de la mala calidad de energía eléctrica.	71
2.2.6.1 Efectos instantáneos	71
2.2.6.2 Efectos retardados	72
2.2.7 Generación de Armónicos	77
2.2.8 Fuentes Generadoras de Armónicos	79
2.2.9 Filtros para mitigar los armónicos	81
2.2.9.1 Filtros pasivos	81
2.2.9.2 Filtro pasivo serie	82
2.2.9.3 Filtro pasivo paralelo	83
2.2.9.4 Filtro sintonizado	86
2.2.9.5 Filtros activos	86
2.2.9.6 Filtro activo serie	87
2.2.9.7 Filtro activo paralelo	88
2.2.9.8 Filtros híbridos	89
2.3 Marco normativo	90
2.3.1 Normatividad nacional	90
2.3.1.1 Decreto ley N° 2584	90
2.3.1.2 Decreto supremo N° 020-97-EM	91
A. TENSION	92
B. FRECUENCIA	94
C. PERTURBACIONES	90

D. TOLERANCIAS	99
2.3.2 Normatividad internacional	101
2.3.2.1 IEEE Std. 519-2014	101
CAPITULO III: DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA CLÍNICA MAC SALUD CUSCO	104
3.1 Datos técnicos de la subestación	104
3.1.1 Datos del alimentador	104
3.1.2 Datos del transformador	106
3.1.3 Datos del tablero	107
3.1.4 Datos del grupo electrógeno	108
3.2 Descripción del equipo de medición	110
3.2.1 Características del equipo	110
3.2.2 Documentos del equipo	112
3.2.3 Configuración	112
3.3 Metodología de la medición	113
3.3.1 Medidas de seguridad	114
3.3.2 Instalación del equipo	115
3.3.3 Descarga y procesamiento de datos	116
3.4 Análisis de los resultados de tensión	121
3.4.1 Análisis de los resultados de armónicos de tensión	124
3.5 Análisis de los resultados de corriente	130
3.5.1 Análisis de los resultados de armónicos de corriente	131
3.6 Diagnostico final de la clínica	137
CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS	139
4.1 Análisis de resultados de los armónicos	139
4.1.1 Impacto de los armónicos de tensión y corriente	139
4.1.1.1 En el sistema eléctrico	139
4.1.1.2 En el transformador de distribución	140
4.1.2 Generalidades del software DigSilent Power Factory	141
4.1.2.1. Descripción de la interfaz	142
4.1.2.2. Modelamiento de la red eléctrica de alimentación, subestación y carga equivalente de la Clínica Mac Salud Cusco	143
4.1.2.3. Modelamiento de la subestación de la Clínica Mac Salud Cusco	144
4.1.2.4. Modelamiento de la carga equivalente	145
4.1.2.5. Flujo de carga en presencia de corrientes armónicas	146
4.1.2.6 Modelamiento del circuito completo	147
4.2 Simulación y análisis de las corrientes armónicas	148
4.2.1.- Resultados de la simulación	150

4.3 Conclusiones de la simulación	150
CAPITULO V: DISEÑO DEL FILTRO	151
5.1 Diseño digital del filtro en software DigSilent Power Factory	151
5.1.1 Parámetros para el cálculo de la corriente del filtro pasivo	152
5.1.1.1 Cálculo de la corriente residual	152
5.1.1.2 Cálculo de la corriente nominal del filtro	153
5.1.2 Cálculo de los parámetros para un filtro pasivo	154
5.1.2.1 Cálculo de la potencia reactiva	154
5.1.2.2 Cálculo de la capacitancia	154
5.1.2.3 Cálculo de la inductancia	155
5.1.2.4 Cálculo de la resistencia	156
5.2 Simulación de implementación de los filtros	158
5.2.1 Casos de análisis	158
5.2.2.1 R-L-C en Delta	158
5.2.2 Resultados de las simulaciones	159
5.2.3 Análisis de la viabilidad de la propuesta de solución	159
5.3 Análisis de la viabilidad económica de la implementación del filtro pasivo.	163
5.3.1 Por la implementación del filtro pasivo.	163
5.4 Simulación de los filtros en el Software MATLAB	163
CONCLUSIONES	168
RECOMENDACIONES	169
BIBLIOGRAFÍA	171
ANEXOS	172
ANEXO N° 1	174
ANEXO N° 2	177
ANEXO N° 3	181
ANEXO N° 4	184
ANEXO N° 5	187
ANEXO N° 6	190
ANEXO N° 7	192

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Tensiones Máximas En La Clínica Mac Salud Realizadas En 2019</i>	24
Tabla 2 <i>Valores Mínimos De Tensión</i>	25
Tabla 3 <i>Valores Máximos De Corriente En La Clínica Mac Salud – 2019</i>	27
Tabla 4 <i>Valores Mínimos De Corriente En La Clínica Mac Salud – 2019</i>	28
Tabla 5 <i>Niveles De Tensión Máxima De La Clínica Mac Salud Cusco</i>	29
Tabla 6 <i>Resumen De Las Distorsiones Armónicas Individuales De Corriente En La Clínica Mac Salud Cusco – 2020</i>	30
Tabla 7 <i>Reporte De Ocurrencias En El Sistema Eléctrico De La Clínica Mac Salud Cusco, 2020</i>	33
Tabla 8 <i>Variables De Estudio</i>	36
Tabla 9 <i>Parámetros De Calidad De Energía Eléctrica Según NTCSE</i>	45
Tabla 10 <i>Valores Permitidos En Redes Secundarias En Valores Nominales</i>	47
Tabla 11 <i>Clasificación De Los Armónicos Según Orden, Frecuencia Y Secuencia</i>	51
Tabla 12 <i>Límites Establecidos Para Vfg Según El Método Británico</i>	63
Tabla 13 <i>Límites De Tolerancia De Percepción De Parpadeo Según Método Francés</i>	65
Tabla 14 <i>Variación Del Efecto Piel En Distintos Conductores</i>	76
Tabla 15 <i>Factor De Proporcionalidad En Función De Δv_p</i>	93
Tabla 16 <i>Factor De Proporcionalidad En Función De Δf_q</i>	97
Tabla 17 <i>Factor De Proporcionalidad En Función De N_{vfs}</i>	97
Tabla 18 <i>Factor De Proporcionalidad En Función De M_{vdf}</i>	98
Tabla 19 <i>Tolerancia De Perturbaciones</i>	100
Tabla 20 <i>Límites De Distorsión De Tensión</i>	102
Tabla 21 <i>Límites De Distorsión De Corriente</i>	103
Tabla 22 <i>Características Técnicas Y De Operación Del Transformador</i>	106
Tabla 23 <i>Características Del Grupo Electrógeno</i>	109
Tabla 24 <i>Datos Generales Del Analizador De Redes Pq-Box 100</i>	111
Tabla 25 <i>Niveles De Tensión Máxima De La Clínica Mac Salud Cusco</i>	121

Tabla 26 <i>Niveles De Tensión Mínima De La Clínica Mac Salud Cusco</i>	123
Tabla 27 <i>Resultados De Los Armónicos De Tensión En La Clínica Mac Salud Cusco</i>	125
Tabla 28 <i>Niveles Máximos De Corriente</i>	130
Tabla 29 <i>Fallas En La Subestación 0011013</i>	132
Tabla 30 <i>Límites De Distorsión De Corriente Para Sistemas Clasificados De 120 V A 69 Kv</i>	133
Tabla 31 <i>Resultados De Armónicos De Corriente En La Clínica Mac Salud Cusco</i>	134
Tabla 32 <i>Efectos En El Sistema Eléctrico</i>	140
Tabla 33 <i>Cortocircuito Trifásico En La Subestación 0011013</i>	148
Tabla 34 <i>Límites Aplicables Para El Contenido Armónico De Corriente</i>	149
Tabla 35 <i>Potencia Reactiva En La Clínica Mac Salud Cusco</i>	154
Tabla 36 <i>Parámetros Obtenidos Para El Diseño Del Filtro</i>	157
Tabla 37 <i>Características Técnicas Requeridas Para La Implementación Del Filtro Pasivo</i>	161

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ubicación Geográfica De La Clínica Mac Salud Cusco</i>	21
Figura 2 <i>Diagrama Unifilar Alimentador Dolorespata Do-06</i>	22
Figura 3 <i>Diagrama Unifilar Sed 0011013 De La Clínica Mac Salud Cusco</i>	23
Figura 4 <i>Nivel Máximo De Tensión En El 2019</i>	25
Figura 5 <i>Valores Mínimos De Tensión</i>	26
Figura 6 <i>Niveles Máximos De Corriente</i>	27
Figura 7 <i>Niveles Mínimos De Corriente En La Clínica Mac Salud – 2019</i>	28
Figura 8 <i>Valores Máximos De Tensión Y Límite Superior Establecido En La NTCSE</i>	30
Figura 9 <i>Armónicos Individuales De Corriente Y Límites Establecidos En La Norma Std. 519 -2014</i>	31
Figura 10 <i>Armónicos Individuales De Corriente Y Límites Establecidos En La Norma Std. 519 -2014</i>	32
Figura 11 <i>Señal De Onda De Tensión Nominal</i>	48
Figura 12 <i>Ciclos De Frecuencia En 1 Segundo</i>	49
Figura 13 <i>Frecuencia Fundamental (60Hz) Y Su 2do (120Hz), 3er (180Hz), 4to (240Hz) Y 5to (300 Hz) Armónico</i>	49
Figura 14 <i>Perturbaciones Eléctricas</i>	50
Figura 15 <i>Forma De Onda Fundamental Y La Forma De Onda Distorsionada De Corriente</i>	52
Figura 16 <i>Espectro De Armónicos De La Corriente</i>	54
Figura 17 <i>Forma De Onda Senoidal Y Sus Armónicos</i>	56
Figura 18 <i>Curva De Tolerancia IEEE 141</i>	58
Figura 19 <i>Curva De Tolerancia IEEE 519</i>	59
Figura 20 <i>Forma De Onda De Tensión Y Corriente</i>	70
Figura 21 <i>Forma De Onda De Tensión Y Corriente Distorsionada</i>	71
Figura 22 <i>Densidad De Corriente Sobre Un Conductor En Corriente Continua, (B) Corriente Alterna De Alta Frecuencia</i>	76

Figura 23 <i>Flujo De Potencia Con Frecuencia Fundamental</i>	78
Figura 24 <i>Flujo De Potencia De Los Armónicos De Orden H</i>	79
Figura 25 <i>Principio De Funcionamiento De Un Filtro Pasivo</i>	82
Figura 26 <i>Conexión En Serie De Un Filtro Pasivo En Un Circuito Monofásico</i>	83
Figura 27 <i>Conexión En Paralelo De Un Filtro Pasivo En Un Circuito Monofásico</i>	83
Figura 28 <i>Principio De Funcionamiento De Un Filtro Activo</i>	87
Figura 29 <i>Acción De Un Filtro Activo En Serie</i>	88
Figura 30 <i>Acción De Un Filtro Activo En Paralelo</i>	88
Figura 31 <i>Principio De Funcionamiento De Un Filtro Híbrido</i>	89
Figura 32 <i>Diagrama Unifilar Alimentador Dolorespata</i>	104
Figura 33 <i>Diagrama Unifilar De La Subestación SED 0011013 De La Clínica Mac Salud Cusco.</i> 105	
Figura 34 <i>Placa De Características Del Transformador</i>	106
Figura 35 <i>Tablero De Principal De La Se De La Clínica Mac Salud</i>	108
Figura 36 <i>Placa De Características Del Grupo Electrógeno</i>	109
Figura 37 <i>Grupo Electrógeno De La Clínica Mac Salud</i>	110
Figura 38 <i>Analizador De Redes Pq-Box 100</i>	111
Figura 39 <i>Instalación Del Equipo Analizador De Redes</i>	113
Figura 40 <i>Personal De Else Con El Epp Completo</i>	114
Figura 41 <i>Instalación Del Equipo Analizador De Redes</i>	115
Figura 42 <i>Retiro Del Equipo Analizador De Redes</i>	116
Figura 43 <i>Opción Datos</i>	117
Figura 44 <i>Opción Exportar A CSV</i>	117
Figura 45 <i>Selección De Parámetro Para Su Descarga</i>	118
Figura 46 <i>Selección De Armónicos Pares De Tensión</i>	119
Figura 47 <i>Exportación De Los Parámetros Seleccionados</i>	119
Figura 48 <i>Pestaña Datos Para Abrir El Archivo Exportado En Extensión “.Asc”</i>	120
Figura 49 <i>Pestaña Datos Para Abrir El Archivo Exportado En Extensión</i>	120

Figura 50 <i>Datos Exportados Del Software Winpq</i>	121
Figura 51 <i>Valores Máximos De Tensión</i>	122
Figura 52 <i>Valores Mínimos De Tensión</i>	123
Figura 53 <i>Espectro De Armónicos De Tensiones Individuales Según NTCSE</i>	127
Figura 54 <i>Espectro De Armónicos De Tensiones Individuales Según NTCSE</i>	128
Figura 55 <i>Espectro De Armónicos De Tensiones Individuales Según IEEE 519-2014</i>	128
Figura 56 <i>Espectro De Armónicos De Tensiones Individuales Según IEEE 519-2014</i>	129
Figura 57 <i>Valores Máximos De Corriente</i>	130
Figura 58 <i>Alimentador Dolorespata 06 En El Software Digsilent</i>	132
Figura 59 <i>Espectro De Armónicos De Corrientes Individuales Según IEEE 519-2014</i>	136
Figura 60 <i>Espectro De Armónicos De Corrientes Individuales Según Ieee 519-2014</i>	137
Figura 61 <i>Espacio De Trabajo De DigSilent Power Factory</i>	142
Figura 62 <i>Red De Alimentación DO - 06</i>	143
Figura 63 <i>Placa De Características Del Transformador De La Clínica Mac Salud Cusco</i>	144
Figura 64 <i>Modelado Del Transformador De La Clínica Mac Salud Cusco</i>	145
Figura 65 <i>Modelamiento De La Carga Equivalente</i>	146
Figura 66 <i>Modelamiento En DigSilent De La Carga Correspondiente</i>	146
Figura 67 <i>Ventana Para Introducir Las Corrientes Armónicas De La Carga</i>	147
Figura 68 <i>Modelamiento De La SED 0011013 fuente</i>	147
Figura 69 <i>Forma De Onda Y Espectro Armónico De Corriente Armónica</i>	149
Figura 70 <i>Modelamiento Del Sistema Eléctrico Con Filtro</i>	151
Figura 71 <i>Modelamiento Del Filtro Eficiente</i>	152
Figura 72 <i>Espectro De Las Corrientes Armónicas En Presencia Del Filtro</i>	158
Figura 73 <i>Señal De Onda De Las Corrientes Armónicas En Presencia Del Filtro</i>	159
Figura 74 <i>Ubicación Del Filtro Pasivo Dentro De La Subestación 0011013 De La Clínica Mac Salud Cusco</i>	162
Figura 75 <i>Señal De Onda De Las Corrientes Armónicas Sin Filtro En El Software Matlab</i>	163

Figura 76 <i>Espectro De Las Corrientes Armónicas Sin Filtro En El Software Matlab</i>	164
Figura 77 <i>Porcentaje De Distorsiones Armónicas Obtenidas En El Software Matlab</i>	165
Figura 78 <i>Señal De Onda De Las Corrientes Armónicas con Filtro En El Software Matlab</i>	165
Figura 79 <i>Espectro De Las Corrientes Armónicas En Presencia Del Filtro En El Software Matlab</i>	166
Figura 80 <i>Porcentaje De Distorsiones Armónicas Obtenidas En El Software Matlab</i>	167

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

NTCSE	: Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos.
TDD	: Distorsión de la demanda total (Total demand distortion).
THD	: Distorsión armónica total (Total harmonic distortion).
THDV	: Distorsión armónica total de tensión (Total harmonic distortion voltaje).
THDI	: Distorsión armónica total de corriente (Total harmonic distortion current).
IEEE	: Instituto de ingeniero electricistas y electrónicos (Institute of Electrical and Electronic Engineers).
PAC	: Punto de acoplamiento común.
SCR	: Relación de corto circuito.
SCADA	: Sistema de supervisión, control y adquisición de datos (Supervisory Control and Data Acquisition).
IEC	: Comisión electrotécnica internacional (International Electrotechnical Commission).
SEIN	: Sistema eléctrico de potencia.

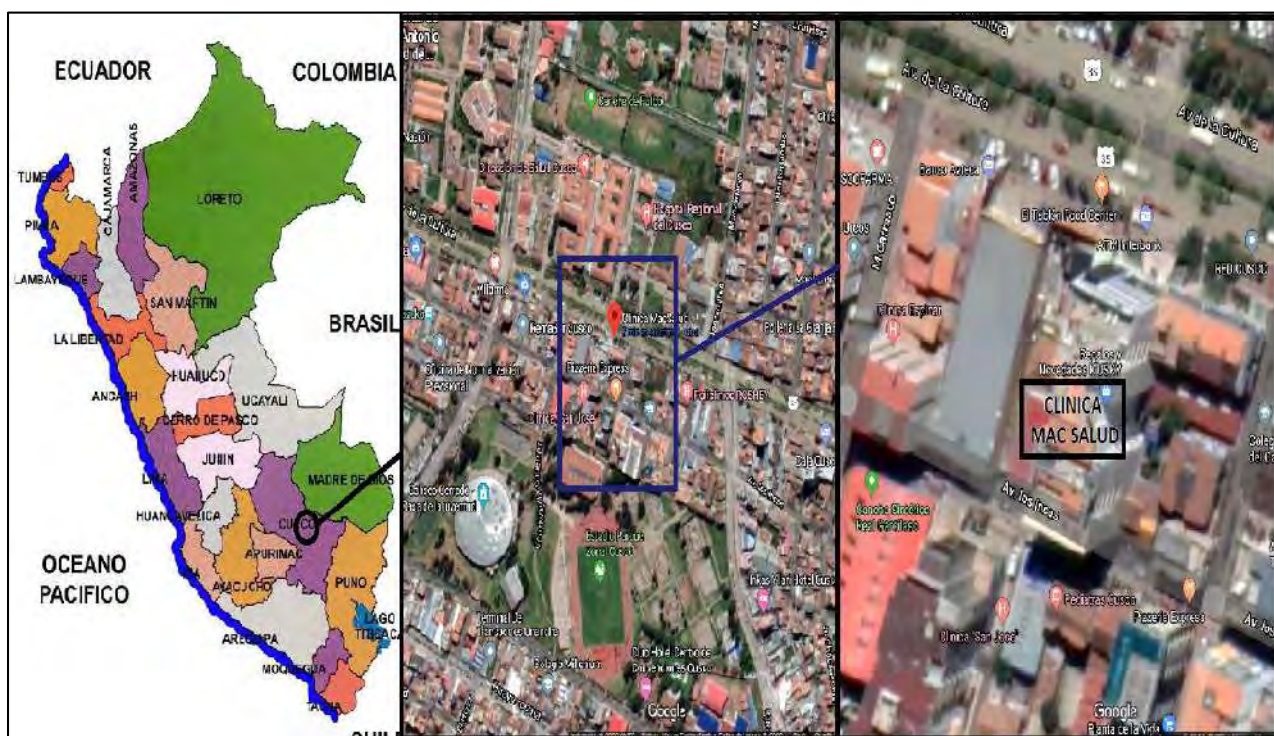
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1 Ubicación Geográfica

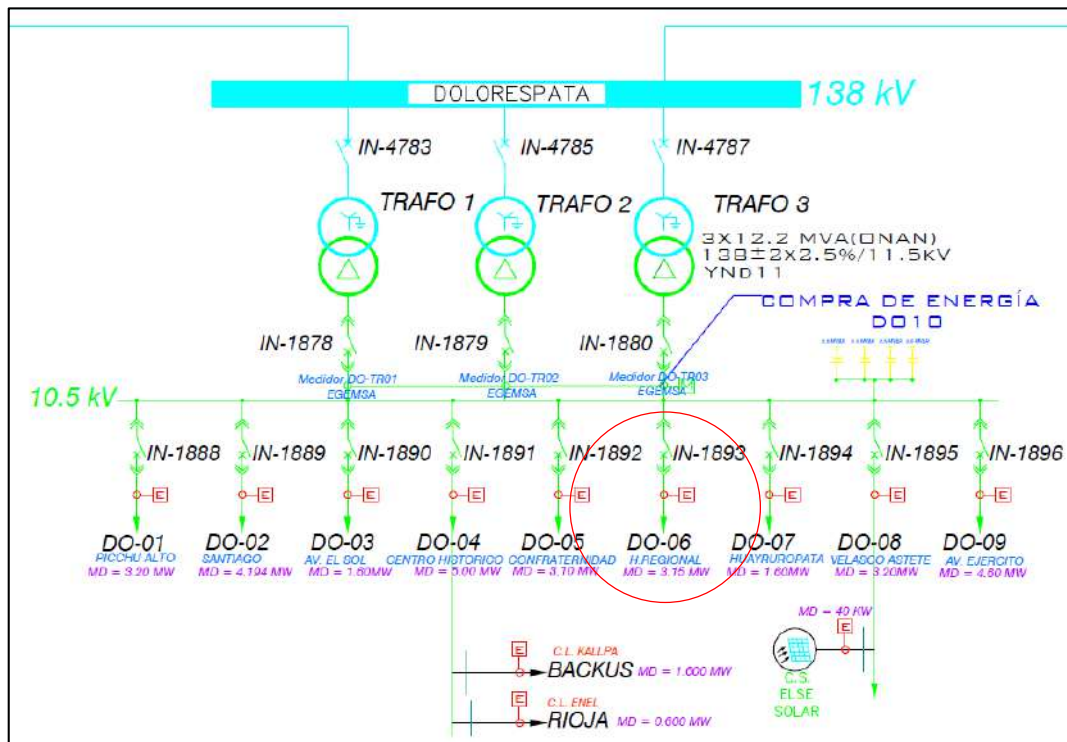
El área geográfica del objeto de estudio del presente trabajo de investigación se encuentra dentro de las instalaciones de la Clínica Mac Salud Cusco, ubicado en la Av. De la Cultura N° 1410/ Av. Los Incas N° 1410, distrito de Wánchaq, provincia y departamento Cusco, a una altitud aproximada de 3350 msnm, en cuyas instalaciones se encuentra la ubicación de la SED 0011013, la cual se evidencia de manera clara y detallada en la Figura 1.

Figura 1

Ubicación Geográfica De La Clínica Mac Salud Cusco



Fuente: Datos de Google Maps. (Elaboración Propia)

Figura 2*Diagrama Unifilar Alimentador Dolorespata Do-06*

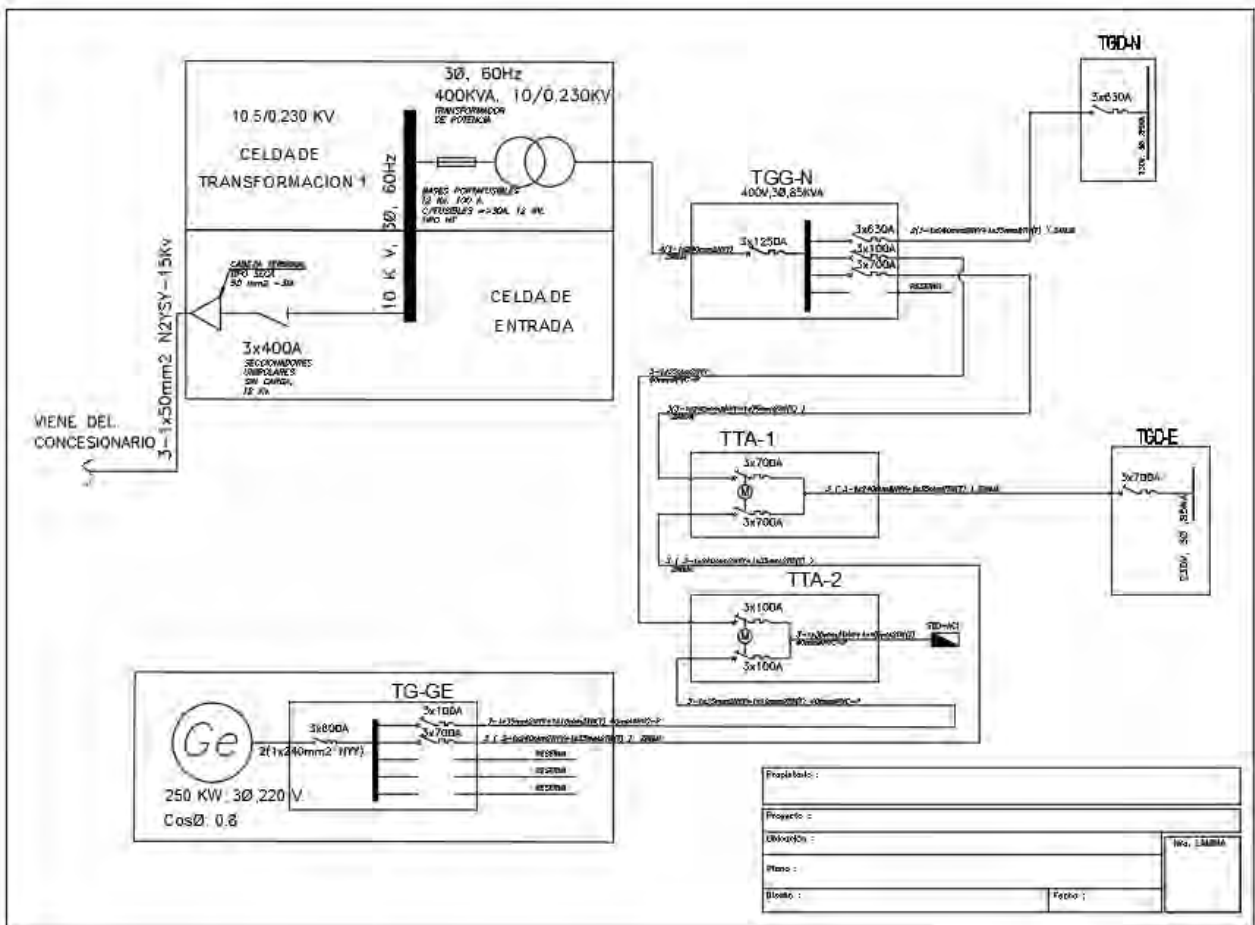
Fuente: Oficina del SID, ELSE.

La figura 02 muestra la línea de alimentación desde la barra de Dolorespata de 138 KV hasta la línea DO-06 encargada de suministrar energía eléctrica a la Clínica Mac Salud Cusco y sus alrededores

Así mismo, la figura 3 muestra el diagrama unifilar de la subestación SED 0011013 de la Clínica Mac Salud Cusco, el cual fue proporcionado por el jefe del área de mantenimiento de la propia clínica. En él se puede apreciar los principales componentes necesarios para la realización del presente trabajo, el transformador de la Subestación, con potencia de 400 KVA y tensión de 230 V; el grupo electrógeno de 250 KW con tensión de 230 V; así como el tablero general TGG, los dos tableros de transferencia automática TTA y los dos tableros de distribución TGD. El diagrama unifilar nos servirá para el análisis y ubicación de la propuesta de solución para la mejora de la calidad de producto de energía eléctrica en la Clínica Mac Salud Cusco.

Figura 3

Diagrama Unifilar Sed 0011013 De La Clínica Mac Salud Cusco



Fuente: Área de mantenimiento de la Clínica Mac Salud Cusco.

1.2 Problemática

1.2.1 Planteamiento del problema

Hoy en día la energía eléctrica utilizada en las clínicas y hospitales es en su mayoría por equipos electrónicos (cargas no lineales), equipos de laboratorios que trabajan con corriente alterna y corriente continua, equipos controladores de signos vitales (Respiradores, Electrocardiogramas, etc.), equipos de iluminación, calefactores y computadoras, así como también celulares y cuanto equipo electrónico sea necesario para la debida atención de los pacientes.

Los dispositivos electrónicos son muy complejos, ya que, con pequeñas alteraciones en sus niveles aceptables de voltaje, corriente o frecuencia, se ven muy afectados en gran medida, reduciendo su eficiencia y disminuyendo la vida útil de ellos, y en casos severos se producen daños irreversibles.

En el año 2019 se realizó un estudio similar en las instalaciones de la Clínica Mac Salud Cusco, el cual nos ayuda como un antecedente de los hechos que se producen en su sistema eléctrico. A continuación, mostramos algunos datos relevantes del estudio en mención en el año 2019:

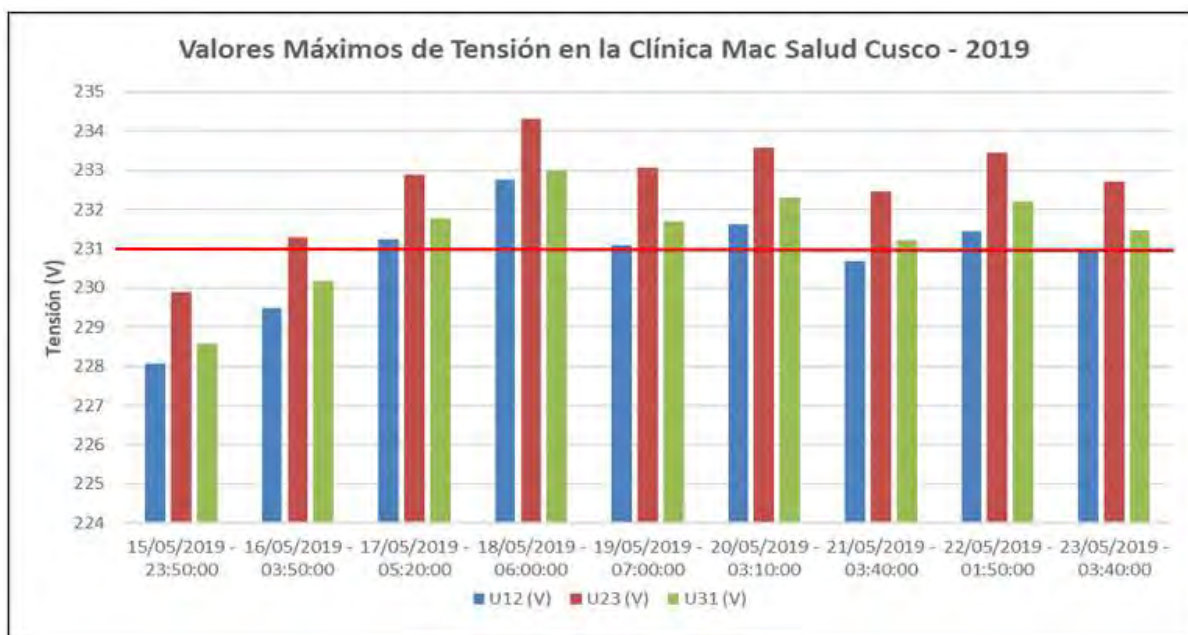
Tabla 1

Tensiones Máximas En La Clínica Mac Salud Realizadas En 2019

Fecha/Hora	U12 (V)	U23 (V)	U31 (V)
15/05/2019 - 23:50:00	228.076	229.904	228.579
16/05/2019 - 03:50:00	229.475	231.3	230.161
17/05/2019 - 05:20:00	231.234	232.895	231.764
18/05/2019 - 06:00:00	232.749	234.313	232.991
19/05/2019 - 07:00:00	231.089	233.055	231.686
20/05/2019 - 03:10:00	231.626	233.572	232.306
21/05/2019 - 03:40:00	230.674	232.444	231.213
22/05/2019 - 01:50:00	231.431	233.455	232.212
23/05/2019 - 03:40:00	230.94	232.701	231.472

Fuente: Clínica Mac Salud (área de mantenimiento)

La Tabla 1 muestra los niveles de tensión máxima medidas entre las fechas del 15 y el 23 de mayo del año 2019, podemos observar que el valor máximo de tensión es de 234.313 V el cuál se da en la línea U23 en la fecha de 18 de mayo a las 06:00 horas. Para poder entender de mejor manera estos datos realizamos un diagrama de barras y se hace una comparación con el límite establecido en la NTCSE.

Figura 4*Nivel Máximo De Tensión En El 2019*

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 4 podemos observar que durante las fechas de estudio la mayoría de los valores superan el límite máximo permitido en la NTCSE, estos niveles elevados de tensión representan daños a los equipos médicos electrónicos, degradación del rendimiento y confiabilidad de los equipos médicos e interrupción en la operación de estos equipos.

En cuanto a los valores mínimos, se realizó un resumen de los datos recolectados, los cuales son presentados en la siguiente tabla:

Tabla 2*Valores Mínimos De Tensión*

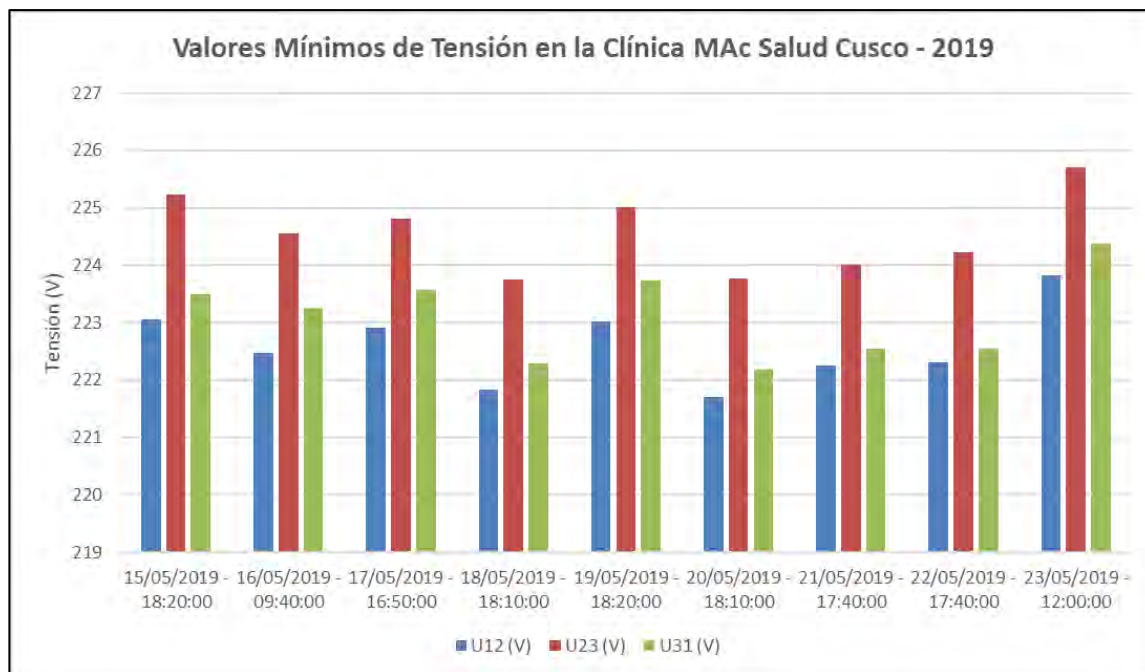
Fecha/Hora	U12 (V)	U23 (V)	U31 (V)
15/05/2019 - 18:20:00	223.06	225.23	223.499
16/05/2019 - 09:40:00	222.475	224.563	223.261
17/05/2019 - 16:50:00	222.91	224.809	223.571
18/05/2019 - 18:10:00	221.84	223.755	222.285
19/05/2019 - 18:20:00	223.024	225.02	223.732
20/05/2019 - 18:10:00	221.712	223.761	222.186
21/05/2019 - 17:40:00	222.261	224.014	222.553
22/05/2019 - 17:40:00	222.318	224.222	222.541
23/05/2019 - 12:00:00	223.826	225.712	224.363

Fuente: Clínica Mac Salud (área de mantenimiento)

La Tabla 2 muestra que la tensión mínima es de 221.712 V el cual fue registrado el 20 de mayo a las 18:10 horas en la línea U12. Todos los valores se encuentran dentro del límite inferior permitido en la NTCSE. Observaremos estos valores en un diagrama de barras.

Figura 5

Valores Mínimos De Tensión



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 5 podemos observar que todos los valores están por encima del límite inferior indicado en la NTCSE.

A continuación, detallaremos los resultados de las mediciones de corriente durante el periodo de tiempo antes mencionado. Es así que, para los valores máximos de corriente se representa un resumen en la siguiente tabla:

Tabla 3

Valores Máximos De Corriente En La Clínica Mac Salud – 2019

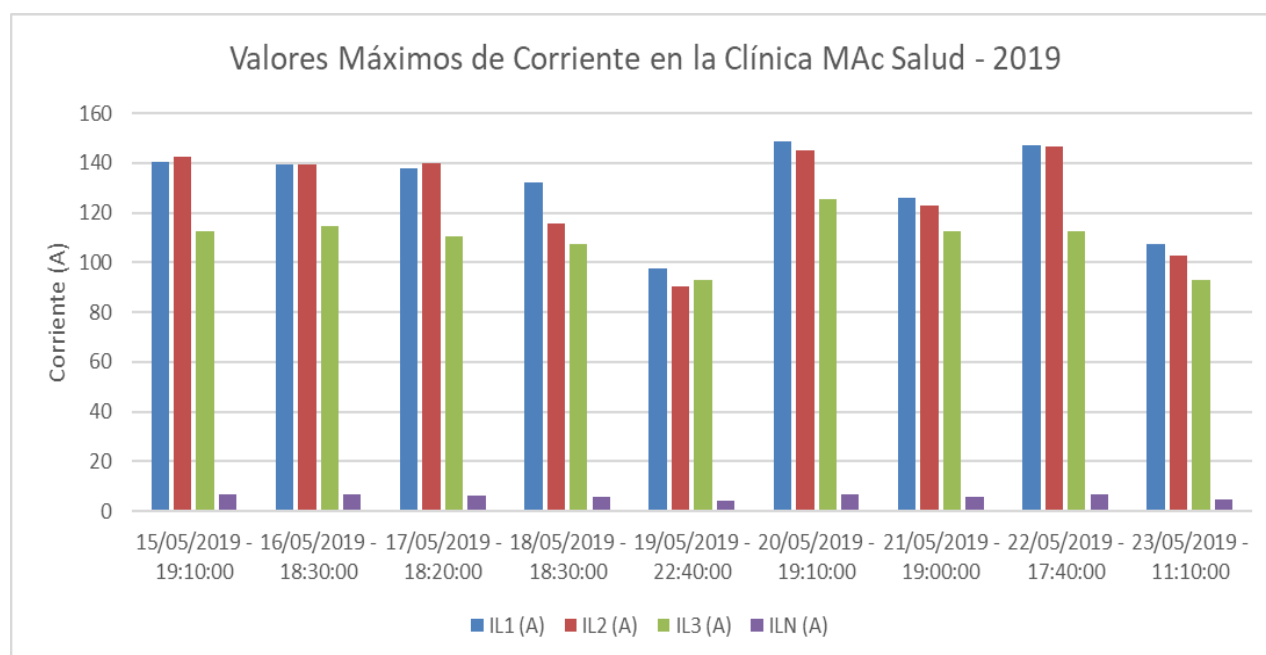
Fecha/Hora	IL1 (A)	IL2 (A)	IL3 (A)	ILN (A)
15/05/2019 - 19:10:00	140.305	142.482	112.565	6.713
16/05/2019 - 18:30:00	139.586	139.618	114.441	6.589
17/05/2019 - 18:20:00	137.634	139.736	110.501	6.481
18/05/2019 - 18:30:00	132.186	115.502	107.493	5.683
19/05/2019 - 22:40:00	97.457	90.227	92.945	4.306
20/05/2019 - 19:10:00	148.893	145.152	125.376	6.861
21/05/2019 - 19:00:00	125.948	122.749	112.398	5.673
22/05/2019 - 17:40:00	147.393	146.68	112.757	6.983
23/05/2019 - 11:10:00	107.675	102.755	93.044	4.939

Fuente: Clínica Mac Salud Cusco (área de mantenimiento)

La Tabla 3 muestra que el valor máximo de corriente es de 148.893 A, el cual fue registrado en la línea L1 en la fecha 20 de mayo a las 19:10 horas. Una corriente elevada en el sistema eléctrico representa un calentamiento en los conductores y otros componentes del sistema. Realizaremos un diagrama de barras y observaremos los valores mencionados anteriormente.

Figura 6

Niveles Máximos De Corriente



Fuente: Clínica Mac Salud (área de mantenimiento)

La Figura 6 muestra una similitud en las medidas de corriente máxima con algunos valores menores en las fechas indicadas. Del mismo modo, se realizó un resumen de los valores mínimos de corriente, los cuales son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 4

Valores Mínimos De Corriente En La Clínica Mac Salud – 2019

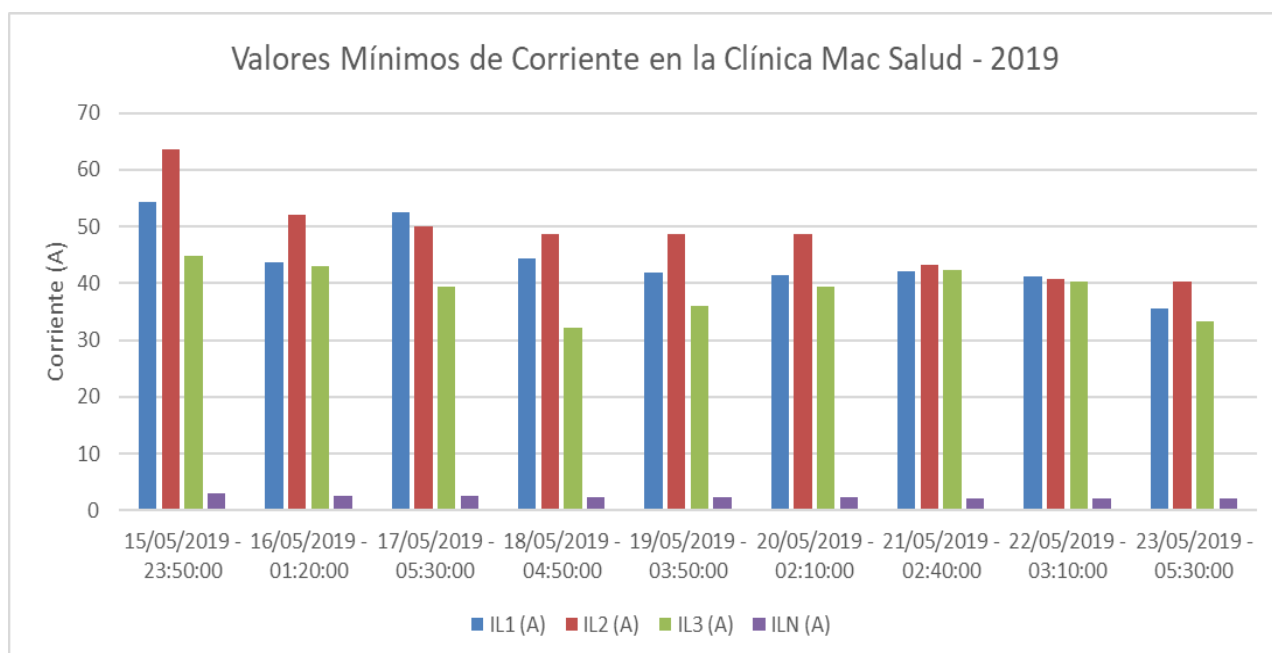
Fecha/Hora	IL1 (A)	IL2 (A)	IL3 (A)	ILN (A)
15/05/2019 - 23:50:00	54.393	63.47	44.804	2.954
16/05/2019 - 01:20:00	43.58	51.983	43.001	2.43
17/05/2019 - 05:30:00	52.435	50.122	39.385	2.516
18/05/2019 - 04:50:00	44.276	48.637	32.198	2.413
19/05/2019 - 03:50:00	41.769	48.633	35.952	2.387
20/05/2019 - 02:10:00	41.445	48.589	39.317	2.329
21/05/2019 - 02:40:00	42.008	43.318	42.317	2.106
22/05/2019 - 03:10:00	41.195	40.844	40.31	2.04
23/05/2019 - 05:30:00	35.616	40.37	33.381	2.019

Fuente: Clínica Mac Salud Cusco (área de mantenimiento)

En la Tabla 4 podemos observar que el mínimo valor de corriente es de 32.198 A registrado en la Línea L3 en la fecha 18 de mayo a las 04:50 horas. Observaremos estos valores en un diagrama de barras.

Figura 7

Niveles Mínimos De Corriente En La Clínica Mac Salud – 2019



Fuente: Elaboración Propia

La Figura 7 muestra una cierta similitud en sus valores a lo largo del periodo de medición. La NTCSE no establece niveles máximos ni mínimos para valores de la corriente, los datos antes mencionados nos servirán como un antecedente de la situación actual; en resumen, se observó que los niveles de tensión se encuentran por encima de los valores de la NTCSE.

En el año 2020 se realizó un estudio de calidad donde se encontraron algunos incumplimientos en la NTCSE (tensión, frecuencia, armónicos), a continuación, algunas tablas y figuras que ayudaran a corroborar estas afirmaciones.

En cuanto a los niveles de tensión tenemos los siguientes resultados:

Tabla 5

Niveles De Tensión Máxima De La Clínica Mac Salud Cusco

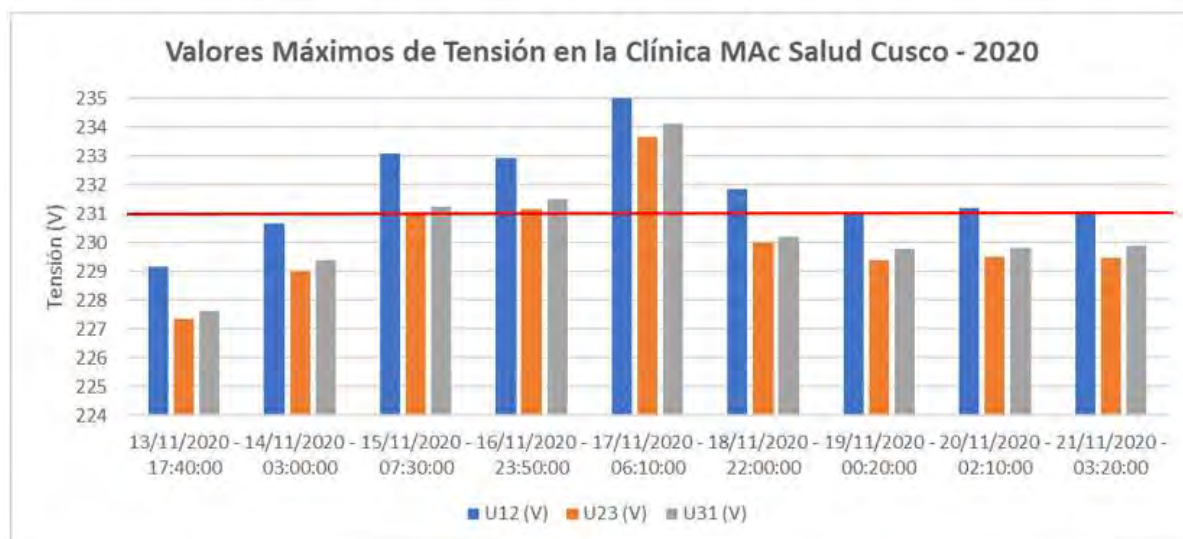
Fecha/Hora	U 12 (V)	U 23 (V)	U 31 (V)
13/11/2020 – 17:40:00	229.144	227.335	227.607
14/11/2020 – 03:00:00	230.673	229.001	229.398
15/11/2020 – 07:30:00	233.09	231.058	231.234
16/11/2020 – 23:50:00	232.948	231.175	231.507
17/11/2020 – 06:10:00	235.39	233.679	234.127
18/11/2020 – 22:00:00	231.863	230.01	230.187
19/11/2020 – 00:20:00	231.056	229.387	229.761
20/11/2020 – 02:10:00	231.18	229.501	229.803
21/11/2020 – 03:20:00	231.086	229.475	229.901

Fuente: Datos obtenidos del analizador de redes proporcionado por ELSE (elaboración propia)

La tabla 5, son valores que se adquirieron del equipo del analizador de redes, en distintas fechas durante nueve días, la tabla muestra los valores máximos de tensión de la clínica, para lo cual en la figura 4 se realiza un diagrama de barras de los mismos para hacer la comparación con los valores permitidos establecidos por la NTCSE.

Figura 8

Valores Máximos De Tensión Y Límite Superior Establecido En La NTCSE



Fuente: Datos obtenidos del analizador de redes proporcionado por ELSE (elaboración propia)

La figura 8 representa un diagrama de barras de los valores máximos de tensión en la Clínica Mac Salud Cusco, comparado con el límite superior establecido por la NTCSE (Ver Línea Roja). Se puede observar que en los días 15, 16, 17 y 18 de noviembre, el valor máximo de la tensión supera el valor permitido por la Norma NTCSE

Tabla 6

Resumen De Las Distorsiones Armónicas Individuales De Corriente En La Clínica Mac Salud Cusco – 2020

Orden del Armónico	Valores máximos de los armónicos en el periodo de medición			Valor máximo registrado en las tres fases (%)	Tolerancia NTCSE (%)	Tolerancia IEEE 519 (%) Si, 50<100
	L12 (%)	L23 (%)	L31 (%)			
5°	27.1332	28.0776	24.2358	28.0776	-	10.000
7°	14.5337	13.3470	13.5268	14.5337	-	10.000
11°	3.9173	4.8289	3.7391	4.8289	-	4.500
23°	2.1902	3.0437	2.5025	3.0437	-	1.500
24°	0.3935	0.4395	0.4156	0.4395	-	0.375
25°	1.6101	1.5153	1.5175	1.6101	-	1.500
28°	0.4463	0.5868	0.5020	0.5868	-	0.375
29°	1.9947	2.7633	2.0157	2.7633	-	1.500

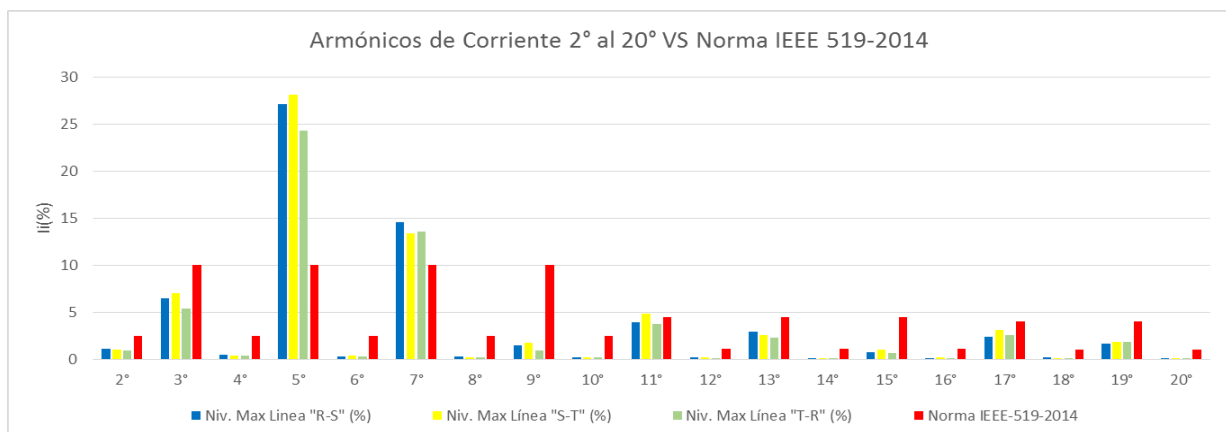
30°	0.4694	0.3364	0.3762	0.4694	-	0.375
31°	2.1554	0.8763	1.5086	2.1554	-	1.500
35°	1.2976	1.8622	1.3510	1.8622	-	0.700
37°	1.4069	0.5373	1.1515	1.4069	-	0.700
TDD	41.6800	43.1137	37.0764	43.1137	-	12.000

Fuente: Datos obtenidos del analizador de redes proporcionado por ELSE (elaboración propia)

En la tabla 6, el grado se refiere al número del armónico y el valor máximo registrado en las tres fases representa el porcentaje de distorsión, que indica cuanto contribuye cada armónico al total de distorsión armónica en la señal de corriente.

Figura 9

Armónicos Individuales De Corriente Y Límites Establecidos En La Norma Std. 519 -2014

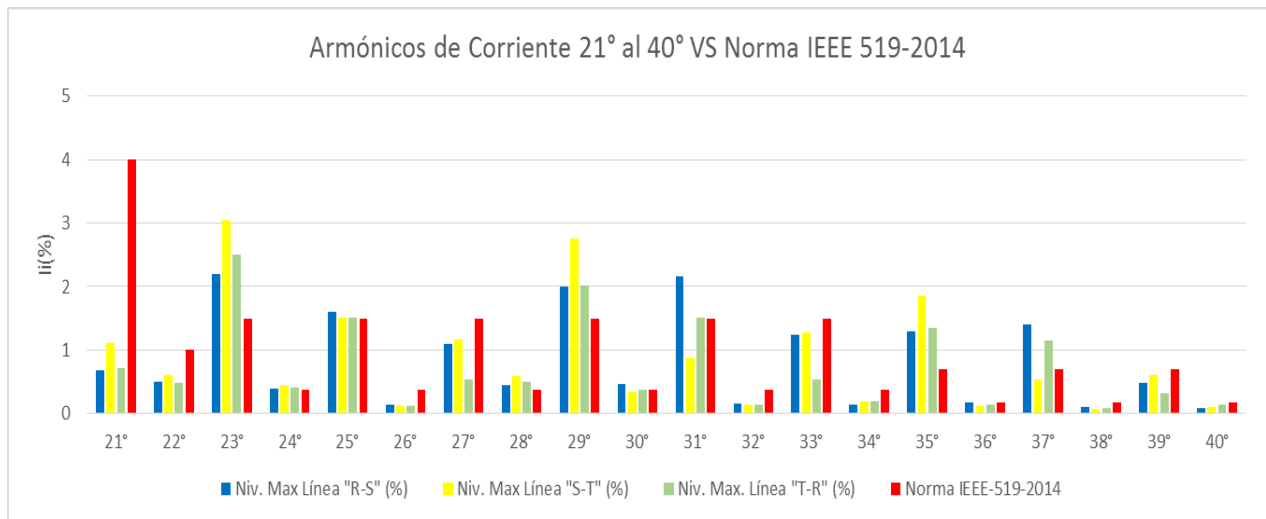


Fuente: Elaboración Propia

La figura 9, es un resumen de los armónicos de corriente del orden 2° al 20° y representa la magnitud de cada armónico en porcentaje, y la altura de cada barra indica cuánto contribuye ese armónico en particular al contenido total de la corriente. Se puede observar que el grado 5to y 7mo, tienen un porcentaje elevado de armónico de corriente.

Figura 10

Armónicos Individuales De Corriente Y Límites Establecidos En La Norma Std. 519 -2014



Fuente: Elaboración propia

La figura 10 representa un resumen de los armónicos de corriente del orden 21° al 40°, los cuales son comparados con la tolerancia aceptada por la Norma Std. IEEE 519.

Se puede observar que los armónicos 23°, 29°, 31° 35° y 37° superan lo establecido por la norma Std IEEE 519.

La sobretensión y la presencia de armónicos de tensión y de corriente en un sistema eléctrico generan una reducción en la eficiencia operativa y un deterioro prematuro de los equipos eléctricos y electrónicos, los cuales pueden afectar directamente la calidad de los servicios médicos ofrecidos por la Clínica Mac Salud, lo que representa un riesgo para la seguridad y el bienestar de los pacientes y el personal médico. Además, el deterioro prematuro de los equipos conduce a un aumento significativo en los costos de mantenimiento y reemplazo, lo que impacta negativamente en el presupuesto de la clínica.

A consecuencia de las sobre tensiones y la presencia de armónicos mostrados anteriormente, en el periodo de estudio del presente trabajo, año 2020, la clínica presentó algunos eventos los cuales fueron registrados en el “Cuaderno de Reportes de Ocurrencias”, en

la Tabla 3 se menciona las ocurrencias más relevantes relacionadas con el tema de estudio del presente trabajo de investigación:

Tabla 7

Reporte De Ocurrencias En El Sistema Eléctrico De La Clínica Mac Salud Cusco, 2020

Fecha Hora	Ocurrencia
29/01/2020 12:55	Se cambian las luces del ascensor N° 2 debido a que dejaron de funcionar.
09/02/2020 09:43	Falla del ascensor N° 1 de pacientes por posible sobretensión en el sistema eléctrico, se detienen todos los ascensores y se hace mantenimiento preventivo (prueba de placas).
21/02/2020 19:35	Se suspende el uso del ascensor N° 3 por fallas técnicas en el mecanismo y el sistema eléctrico del ascensor.
03/03/2020 18:39	Activación, por razones desconocidas, del sistema de alarmas contra incendios en el 6to piso.
20/03/2020 17:08	Se produce un apagón general en toda la clínica, respuesta inmediata del grupo electrógeno.
31/03/2020 10:11	Percance con el grupo electrógeno, ocurrió un apagón general y los pisos 5to y 7mo no contaban con energía eléctrica aproximadamente por 4 minutos
13/05/2020 16:38	Falla del sistema de ventilación en el 4to piso, se comunica inmediatamente al área de mantenimiento.
14/05/2020 12:23	Se produce un apagón general que afecta a los ascensores y cámaras de seguridad, el grupo electrógeno demora 2 minutos en encender.
25/05/2020 14:24	Todo el sistema de cámaras de seguridad deja de funcionar por posibles problemas en el sistema eléctrico.
26/06/2020 13:34	Se activa el sistema contra incendios en el octavo piso, se desconoce el origen de este hecho.
08/07/2020 06:36	Ausencia de fluido eléctrico en toda la clínica, grupo electrógeno no enciende automáticamente, se requiere un encendido manual.

Fuente: Cuaderno de Reporte de Ocurrencias de la Clínica Mac Salud Cusco (elaboración propia)

Los incidentes identificados en la Tabla 7 muestran una tendencia a repetirse en intervalos irregulares a lo largo del año 2020. Frente a la problemática planteada se hace imperativo implementar estrategias efectivas de mitigación del nivel de los armónicos en el

sistema eléctrico; en ese sentido, la utilización de filtros activos y/o pasivos se presenta como una solución prometedora a fin de obtener el resultado deseado para la clínica. Actualmente la Clínica Mac Salud Cusco cuenta con una Sub-Estación de 550 KVA con un transformador de doble devanado, el primero de 450 KVA con una tensión de 230 V para las cargas convencionales de la Clínica (tomacorrientes, iluminación) y la segunda de 100 KVA con tensión de 400 V para las cargas especiales (tomógrafos, equipos de esterilización, central de oxígeno) una potencia contratada 70Kw y máxima demanda promedio: 75Kw alcanzando a pagar un coste mayor a los trece mil soles (S/13,000). (ver anexo 2)

1.2.2 Formulación del problema

1.2.2.1 Problema general

¿Cómo influye la implementación de un filtro pasivo en la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco en el año 2020?

1.2.2.2 Problemas específicos

- ¿En qué medida la implementación de un filtro pasivo mejorará la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco durante el año 2020?
- ¿Cuáles son las técnicas para mitigar la distorsión armónica debido a cargas no lineales y mejorar la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco en el año 2020?
- ¿Cómo la implementación de un filtro pasivo mitigará la distorsión armónica y mejorará la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco durante el año 2020?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar el nivel de influencia de la implementación del filtro pasivo en la mejora de la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco en el año 2020.

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar la influencia del filtro pasivo en los indicadores de la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco durante el año 2020.
- Analizar la efectividad de las técnicas para atenuar la distorsión armónica debido a cargas no lineales y mejorar la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco en el año 2020.
- Desarrollar e implementar un filtro pasivo para mitigar las distorsiones armónicas y mejorar la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco durante el año 2020.

1.4 Hipótesis y Variables

1.4.1 Hipótesis general

“La implementación de un filtro pasivo influye positivamente en la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud de la ciudad del Cusco en el año 2020.”.

1.4.2 Hipótesis específica

- El resultado de la evaluación de la influencia de un filtro pasivo permitirá conocer si existe una diferencia significativa en la calidad de producto al implementar el filtro pasivo en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco en el año 2020.

- Los análisis de la efectividad de las técnicas para atenuar la distorsión armónica debido a cargas no lineales permiten seleccionar el filtro adecuado para mejorar la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco en el año 2020.
- La implementación de un filtro pasivo permite mitigar la distorsión armónica debido a cargas no lineales y mejorar la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco en el año 2020.

1.4.3 Variables

Tabla 8

Variables De Estudio

VARIABLES		INDICADORES
Variable Independiente	Filtro Pasivo	<ul style="list-style-type: none"> • R, L, C
Variable Dependiente	Calidad de Producto	<ul style="list-style-type: none"> • Tensión • Frecuencia • Perturbaciones
Variable Interviniente	SED 1013	<ul style="list-style-type: none"> • P, Q, S

Fuente: (Elaboración Propia)

P: Potencia activa

Q: Potencia reactiva

S: Potencia aparente

La Tabla 8 indica:

Variable Independiente: Es el factor que se manipula o categoriza para observar su efecto sobre la variable dependiente.

Variable Dependiente: Es la variable que se mide para observar cómo cambia en respuesta a la variable independiente.

Indicadores: Son medidas específicas o criterios utilizados para evaluar o cuantificar las variables.

1.5 Alcances y limitaciones

1.5.1 Alcances

El presente trabajo comprende el análisis del comportamiento de los armónicos y la implementación de un filtro para la mitigación de distorsiones armónicas en las instalaciones interiores del sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco.

Otro aspecto importante de este trabajo es realizar un diagnóstico antes y después del uso de un filtro adecuado, el cual será simulado mediante el uso del software DigSilent Power Factory y contrastado en el software MATBLAB.

1.5.1 Limitaciones

- El análisis de los niveles de distorsión armónica de tensión y corriente se realizarán específicamente en el transformador de la Subestación de la Clínica Mac Salud Cusco.
- Limitado acceso a las instalaciones de la Clínica Mac Salud Cusco a causa de las normas sanitarias debido a la pandemia por COVID – 19 en el año 2020.
- Carencia de un analizador de redes particular para realizar mediciones en diferentes partes de las instalaciones eléctricas de la Clínica Mac Salud Cusco.

1.6 Justificación del estudio

Los niveles de distorsión armónica de tensión y de corriente que superan los límites establecidos por la NTCSE y por la norma Std. IEEE 519-2014 respectivamente, generan perjuicios de tipo técnicos y económicos, principalmente para la Clínica Mac Salud Cusco, y en segunda instancia para la empresa suministradora de energía eléctrica, el presente trabajo de investigación muestra las siguientes justificaciones:

La subestación SED-0011013, la cual es propiedad de la Clínica Mac Salud Cusco y se encuentra dentro de sus instalaciones, se ubica en una zona de alta demanda de energía eléctrica, está rodeada de otras clínicas, hospitales, universidades, entre otros, los cuales podrían presentar los mismos problemas de distorsiones armónicas, afectando así a la red secundaria de distribución eléctrica.

La constante implementación de nuevas tecnologías electrónicas y equipos electro-médicos por parte de las clínicas y hospitales, generan un incremento de la demanda de suministro eléctrico, perjudicando a los usuarios con demandas pequeñas (tiendas, farmacias, restaurantes, etc.)

1.7 Metodología

1.7.1 Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo APLICADO – PROPOSITIVO a nivel de pregrado, pues, busca solucionar problemas sobre los efectos de las distorsiones armónicas en las instalaciones interiores del sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco.

Esta investigación también es de tipo CUANTITATIVO, pues, busca comparar y cuantificar las variables a través de softwares informáticos como DigSilent Power Factory y MATLAB con sus respectivas simulaciones, así como también herramientas Microsoft como Excel para el análisis de los datos recolectados.

1.7.2 Nivel de investigación

Este trabajo de investigación tiene el nivel DESCRIPTIVO, ya que, el objetivo es realizar un diagnóstico actual del nivel de las distorsiones armónicas del sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco, donde se busca la mitigación de estos; además es de carácter EXPLICATIVO, porque se pretende averiguar la causa de las distorsiones armónicas y las

variables objeto de estudio, y PROPOSITIVO ya que se propondrá una solución adecuada para la mitigación de las distorsiones armónicas.

1.7.3 Diseño de investigación

El diseño de investigación es NO EXPERIMENTAL, ya que, en ninguna etapa de la investigación se realizarán modificaciones en las variables. Es LONGITUDINAL, porque la recolección de la muestra se realizó en un momento determinado de tiempo.

1.7.4 Población

La población por considerar son todas las instalaciones interiores del sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco, incluido el muestreo de calidad de la energía eléctrica, y es de tipo NO PROBABILISTICO.

1.7.5 Técnicas de recolección de datos

El presente trabajo utilizará en su mayoría de los datos obtenidos mediante el uso de un analizador de redes proporcionado por la empresa ELSE, la base de datos de la empresa prestadora del servicio eléctrico ELSE (muestreos de calidad), así como también se hará uso de algunos datos proporcionados por la Clínica (planos, planillas, etc.) y algunos trabajos de autores que realizaron trabajos similares.

1.7.6 Instrumentos de recolección de datos

Para la recopilación de los datos sobre los armónicos se utilizará un analizador de redes PQ BOX 100, el cual estará debidamente calibrado y certificado.

Después de recolectar los datos necesarios y su posterior evaluación se procederá a realizar un diagnóstico acerca de los resultados obtenidos mediante el uso de conocimientos necesarios en matemáticas y sobre todo conocimientos normativos. También se utilizarán softwares o programas como:

DigSilent Power Factory, para realizar las simulaciones necesarias.

Win PQ Mobil, es un software propio del analizador de redes el cual organiza y procesa los datos recolectados.

MATLAB, para contrastar los resultados de las simulaciones realizadas al implementar un filtro adecuado en el DigSilent Power Factory.

Microsoft Excel, para el análisis de datos.

TABLA DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Filtro pasivo (V.I.)	Un filtro pasivo es un dispositivo electrónico diseñado para modificar las características de una señal eléctrica sin requerir una fuente de alimentación externa.	En términos operacionales, un filtro pasivo es un circuito electrónico que utiliza componentes pasivos, como resistencias, inductores y condensadores, para alterar las características de una señal eléctrica sin necesidad de utilizar fuentes de alimentación externas o amplificadores activos.	Las dimensiones de un filtro pasivo se determinan por los componentes electrónicos utilizados en su construcción, como resistencias, condensadores e inductores.	- R, L, C.
Calidad de producto (V.D.)	La calidad de producto es la evaluación de las transgresiones de las tolerancias en los niveles de tensión, frecuencia y perturbaciones en los puntos de entrega	La calidad de producto es la medición de los parámetros de tensión, frecuencia y perturbaciones que permitan una evaluación y control de manera cuantitativa y cualitativa y contrastarlos con los estándares establecidos.	Las dimensiones para la calidad de producto abordan aspectos que involucra tensión, frecuencia y la gestión de perturbaciones, y estas son fundamentales para garantizar el rendimiento adecuado y la confiabilidad de un suministro de energía.	- Tensión - Frecuencia - Perturbaciones

MATRIZ DE CONSISTENCIA

“ANÁLISIS Y MEJORA DE LA CALIDAD DE LA CALIDAD DE PRODUCTO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA CLÍNICA MAC SALUD CUSCO AÑO 2020”

EL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA		HIPÓTESIS GENERAL		
<p>Actualmente, en clínicas y hospitales, la electricidad se emplea en su mayoría para alimentar una variedad de equipos electrónicos, que incluyen cargas no lineales, dispositivos de laboratorio que operan tanto con corriente alterna como continua, equipos para el monitoreo de signos vitales, iluminación, calefactores, computadoras, así como dispositivos móviles y otros equipos necesarios para la atención de los pacientes. Estos dispositivos son altamente sofisticados y son muy sensibles a pequeñas variaciones en voltaje, corriente y frecuencia. Estas alteraciones pueden disminuir significativamente su eficiencia y acortar su vida útil, y en casos graves, pueden causar daños irreparables.</p> <p style="text-align: center;">FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</p> <p>¿Cómo influye la implementación de un filtro pasivo en la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco en el año 2020?</p> <p style="text-align: center;">PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿En qué medida la implementación de un filtro pasivo mejorará la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco durante el año 2020? • ¿Cuáles son las técnicas para mitigar la distorsión armónica debido a cargas no lineales y mejorar la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco en el año 2020? • ¿Cómo la implementación de un filtro pasivo mitigará la distorsión armónica y mejorará la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco durante el año 2020? 	<p style="text-align: center;">OBJETIVO GENERAL</p> <p>Analizar el nivel de influencia de la implementación del filtro pasivo en la mejora de la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco en el año 2020.</p> <p style="text-align: center;">OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluar la influencia del filtro pasivo en los indicadores de la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco durante el año 2020. • Analizar la efectividad de las técnicas para atenuar la distorsión armónica debido a cargas no lineales y mejorar la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco en el año 2020. • Desarrollar e implementar un filtro pasivo para mitigar las distorsiones armónicas y mejorar la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco durante el año 2020. 	<p>La implementación de un filtro pasivo influye positivamente en la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud de la ciudad del Cusco en el año 2020.</p> <p style="text-align: center;">HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • El resultado de la evaluación de la influencia de un filtro pasivo permitirá conocer si existe una diferencia significativa en la calidad de producto al implementar el filtro pasivo en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco en el año 2020. • Los análisis de la efectividad de las técnicas para atenuar la distorsión armónica debido a cargas no lineales permiten seleccionar el filtro adecuado para mejorar la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco en el año 2020. • La implementación de un filtro pasivo permite mitigar la distorsión armónica debido a cargas no lineales y mejorar la calidad de producto en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco en el año 2020. 	<p style="text-align: center;">VARIABLES INDEPENDIENTES</p> <p>Filtro pasivo</p> <p style="text-align: center;">VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Calidad de producto</p> <p style="text-align: center;">VARIABLE INTERVINIENTE</p> <p>SED 1013</p> <p style="text-align: center;">INDICADORES</p> <p>Independientes</p> <ul style="list-style-type: none"> • R, L, C <p>Dependientes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tensión • Frecuencia • Perturbaciones 	<p style="text-align: center;">TIPO DE INVESTIGACIÓN</p> <p>-Según su propósito es <u>aplicado-propositivo</u>.</p> <p>-Según su nivel es <u>explicativo</u>.</p> <p>-Según su enfoque es <u>cuantitativo</u>.</p> <p>-Según el tiempo es <u>longitudinal</u>.</p> <p style="text-align: center;">DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</p> <p>Es no experimental.</p> <p style="text-align: center;">NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN</p> <p>Es de nivel descriptivo.</p> <p style="text-align: center;">POBLACIÓN Y MUESTRA</p> <p>El método de muestreo es no probabilístico.</p> <p style="text-align: center;">TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</p> <p><u>Técnicas</u></p> <p>Recolección de datos proporcionados por la empresa ELSE y por la Clínica Mac Salud Cusco.</p> <p><u>Instrumentos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Analizador de redes -DigSilent -MatLab -Microsoft Excel

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y NORMATIVO

2.1 Antecedentes

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se tomó como referencias las siguientes tesis.

- Tesis de grado: “INFLUENCIA DE UN FILTRO EFICIENTE PARA MITIGAR LAS CORRIENTES ARMÓNICAS EN BAJA TENSIÓN DE LA SED 598 DEL CENTRO COMERCIAL EL MOLINO I”, tesis realizada por Omar QUISPE MOLINA (Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco) 2020.

El tesista (Molina, 2020) llega a las siguientes conclusiones:

1. Al simular la implementación del filtro de armónicos mediante el software DigSilent Power Factory, se logró observar una mitigación de las corrientes armónicas en las tres líneas del alimentador.
2. Durante la simulación del uso del filtro de corrientes armónicas, se pudo hacer uso de dos tipos de conexión del filtro, pudiendo seleccionar un filtro pasivo sintonizado, siendo este el más adecuado para la mitigación de los armónicos en las corrientes.

- Tesis de grado: “EVALUACIÓN DE ARMÓNICOS EN LOS BANCOS DE CAPACITADORES DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE DOLORESPATA”, tesis realizada por Williams Ezequiel LIGAS NINA (Universidad Nacional de San Antonio Abad Del Cusco) – SETIEMBRE y 2016.

El tesista (Nina, 2016) llega a las siguientes conclusiones:

1. Al realizar las simulaciones de barrido de frecuencia y flujo de potencia armónica mediante el Software DigSilent Power Factory, se logró visualizar los efectos negativos de los armónicos sobre el banco de capacitadores.

2. Para solucionar el problema de los armónicos se recomienda sustituir las bobinas de choque por filtros desintonizados, esto reducirá significativamente los niveles de los armónicos, además de generar una protección a los bancos de capacitadores de las distorsiones armónicas.

- Tesis de grado: “FILTRO PASIVO Y ARMÓNICOS DE CORRIENTE EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DEL HOSPITAL REGIONAL, CLÍNICA SAN JUAN DE DIOS Y UNSAAC”, tesis realizada por Mario CORIMANYA LEÓN y Fredy Omar ARPHI HUAMANI (Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco) JULIO 2018. (Mario Corimanya León, 2018)

1. El hospital Regional, La Clínica San Juan de Dios y el pabellón de Ingeniería Eléctrica de la UNSAAC presentan armónicos de corriente, sobresaliendo el quinto armónico, se hace uso de un filtro pasivo sintonizado para mitigar los armónicos de corriente.
2. Al realizar las simulaciones de la implementación de un filtro pasivo sintonizado, se demuestra la minimización del quinto armónico de corriente en las instituciones antes mencionadas, logrando que los resultados obtenidos permanezcan dentro de los estándares nacionales e internacionales.

- Tesis de grado: “ESTUDIO Y ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ENFOCADO EN NIVEL DE ARMÓNICOS EN EL SISTEMA ELECTRICO DE LA SUBESTACIÓN ENFRIADORA 1 DE HOLCIM ECUADOR PLANTA GUAYAQUIL”, tesis realizada por Johnny Duvan MORA SANCHEZ y Yandri Javier CEVALLOS CHAVEZ (UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE - GUAYAQUIL) MAYO 2014.

El tesista (Johny Duvan Mora Sanchez, 2014) llegó a las siguientes conclusiones:

1. Un variador de frecuencia actúa directamente sobre el quinto armónico, porque en su sistema de elaboración intervienen bastantes elementos electrónicos de potencia.

2. Al mismo tiempo que un variador de frecuencia genera un quinto armónico elevado, también se observa un alza de temperatura en las zonas donde están instaladas estos equipos.
3. Se sugiere la implementación de filtros armónicos, calculados específicamente para el quinto armónico.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Calidad de energía eléctrica

La electricidad es un producto que se genera, transporta y finalmente se distribuye, por lo que las empresas de generación y distribución de energía eléctrica tienen la responsabilidad de prestar sus servicios con niveles de calidad satisfactorios de acuerdo con los requisitos especificados en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios eléctricos.

El control de la calidad de los servicios eléctricos se realiza en los siguientes aspectos: calidad de producto, calidad de suministro, calidad de servicio comercial y calidad de alumbrado público. Se considera una buena calidad a la ausencia de interrupciones, sobretensiones, fenómenos transitorios, variaciones de frecuencia, deformaciones en las señales de onda producidas por armónicos en la red y las variaciones de tensión eficaz.

Tabla 9

Parámetros De Calidad De Energía Eléctrica Según NTCSE

Calidad de Producto	Calidad de Suministro	Calidad Servicio Comercial	Calidad de Alumbrado Público
Magnitud de voltaje dentro de los parámetros establecidos	Frecuencia de Interrupciones	Minimizar e informar cortes de energía	Niveles de luminancia acorde a la NTCSE
Desviación de la frecuencia	Duración de las interrupciones	Tarifas claras y sin errores	Niveles de iluminación acorde a la NTCSE

Deformación en la señal de onda y presencia de Flicker	Número de interrupciones	Compensación por costes no programados	Niveles de deslumbramiento acorde a la NTCSE
--	--------------------------	--	--

Fuente: NTCSE, Elaboración Propia

La tabla 9, muestra los indicadores de calidad evaluados de acuerdo a la Norma, para asegurar un nivel satisfactorio de la prestación de los servicios eléctricos, además, debe garantizarse a los usuarios un suministro eléctrico continuo, adecuado, confiable y oportuno.

2.2.2 Calidad de producto

La calidad de producto suministrado al cliente se evalúa por las transgresiones de las tolerancias en los niveles de tensión, frecuencia y perturbaciones en los puntos de entrega. El control de la calidad de producto se lleva a cabo en periodos mensuales, denominados “periodos de control”.

Usando equipos multifuncionales o de una sola función, se llevan a cabo las mediciones de cada parámetro de la calidad de producto (tensión, frecuencia y perturbaciones). El periodo mínimo de medición para un parámetro es de siete (7) días calendarios consecutivos, sin considerar a la frecuencia, ya que su medición es constante durante todo el periodo de control. A estos lapsos de tiempo se les denomina “periodos de medición”.

Durante cada periodo de medición, los valores instantáneos de los parámetros de calidad de producto se miden y se promedian en intervalos de quince (15) minutos para la tensión y la frecuencia, y diez (10) minutos para las perturbaciones. Estos periodos de tiempo se denominan “intervalos de medición”. Si en un intervalo de medición se verifica que el indicador de un parámetro esta fuera del rango aceptable, entonces la energía suministrada durante ese intervalo se considera de mala calidad.

2.2.2.1 Tensión

Los valores admitidos para las tensiones nominales, en todas las etapas y en todos los niveles de tensión, son hasta el $\pm 5.0\%$ de las tensiones nominales en los puntos de entrega. Para las redes secundarias clasificadas como urbano-rurales y/o rurales, las tolerancias son hasta el $\pm 7.5\%$.

La energía eléctrica es de mala calidad si la tensión se encuentra sobre o por debajo de los rangos de los valores establecidos anteriormente, por un lapso superior al tres por ciento (3%) del periodo de medición.

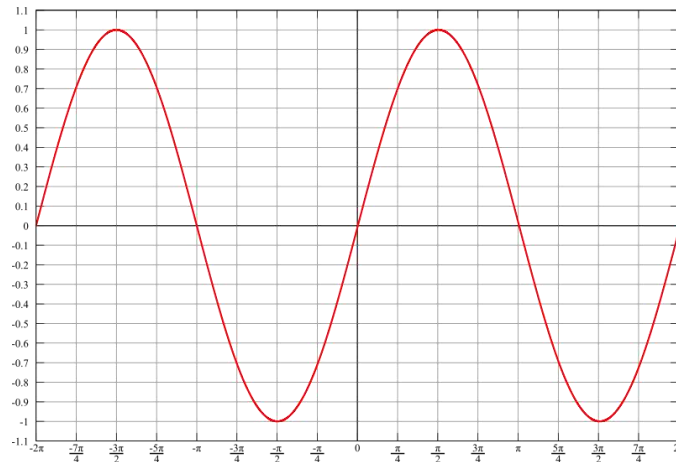
Tabla 10

Valores Permitidos En Redes Secundarias En Valores Nominales

Redes secundarias	Tensiones nominales (v)	Tolerancia (%)	Tensiones nominales aceptables (v)
urbano	220	± 5.0	209 231
urbano-rural y/o rural	220	± 7.5	203.5 236.5

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 10 muestra los valores mínimos y máximos de acuerdo al tipo de red secundaria, el control de estos valores se realiza mediante una lectura del medidor monofásico o trifásico, según corresponda al tipo de suministro, mediante equipos de registro cuyas especificaciones técnicas han sido aprobadas por las autoridades competentes.

Figura 11*Señal De Onda De Tensión Nominal*

Fuente: Google. Imágenes

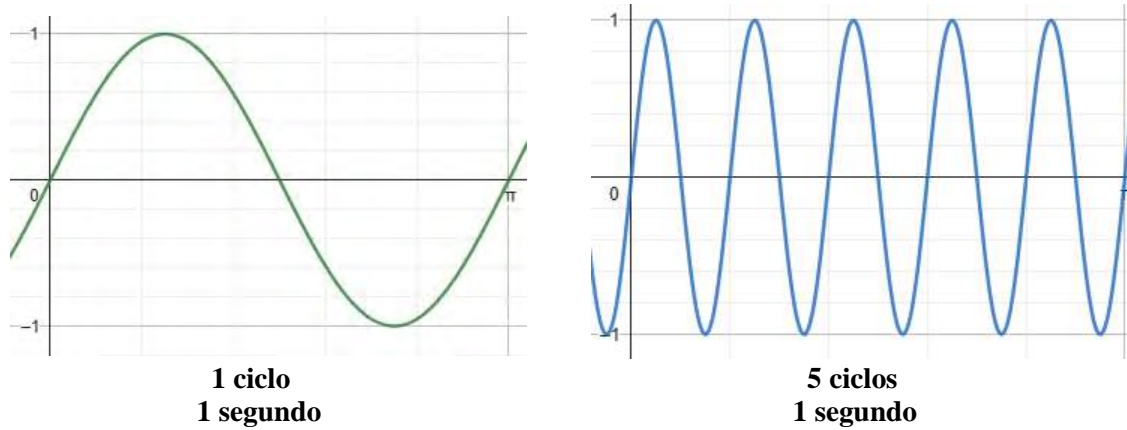
La figura 11, se refiere a la forma específica que sigue la señal de onda de tensión eléctrica cuando un sistema opera bajo condiciones normales y dentro de los límites establecidos.

2.2.2.2 Frecuencia

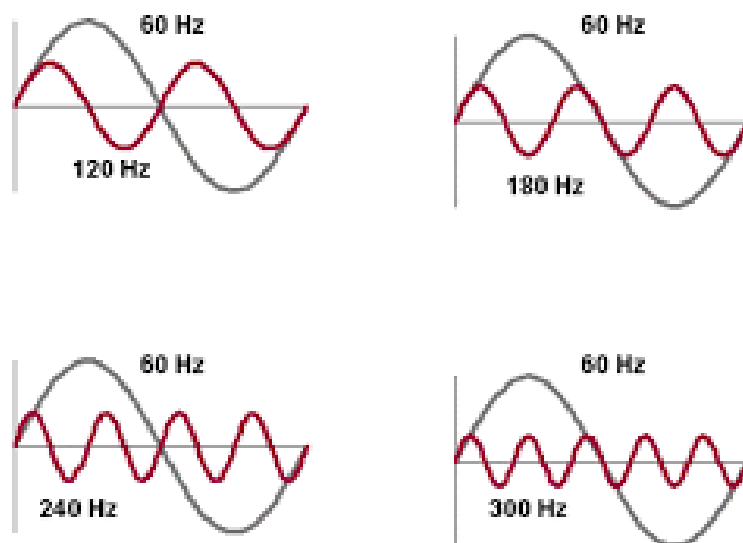
Las tolerancias aceptables para las variaciones de la frecuencia nominal (60 Hz.) en todo rango de tensión son:

- Variaciones sostenidas ($\Delta f_K(\%)$) : $\pm 0.6 \%$.
- Variaciones súbitas (VSF) : ± 1.0 Hz.
- Variaciones diarias (IVDF) : ± 12.0 Ciclos.

La energía eléctrica es de mala calidad siempre que, en cada caso las variaciones sostenidas, súbitas y/o diarias superen los límites antes mencionados. El control se realiza a través de lecturas y registros de medidores llevados a cabo con instrumentos debidamente certificados y cuyas especificaciones técnicas han sido previamente aprobadas por la autoridad correspondiente, haciendo las mediciones en los puntos de entrega respectivos.

Figura 12*Ciclos De Frecuencia En 1 Segundo**Fuente:* Elaboración propia. GeoGebra.

La figura 12, se refiere a la cantidad de veces que una señal o fenómeno se repite en un periodo de un segundo. La unidad de medida para la frecuencia es el hercio (Hz), que representa un ciclo por segundo. Por lo tanto, si algo se repite 5 veces en un segundo, su frecuencia sería de 5 Hz.

Figura 13*Frecuencia Fundamental (60Hz) Y Su 2do (120Hz), 3er (180Hz), 4to (240Hz) Y 5to (300 Hz) Armónico**Fuente:* Google/imágenes/angelfire.com/espectro de sonido

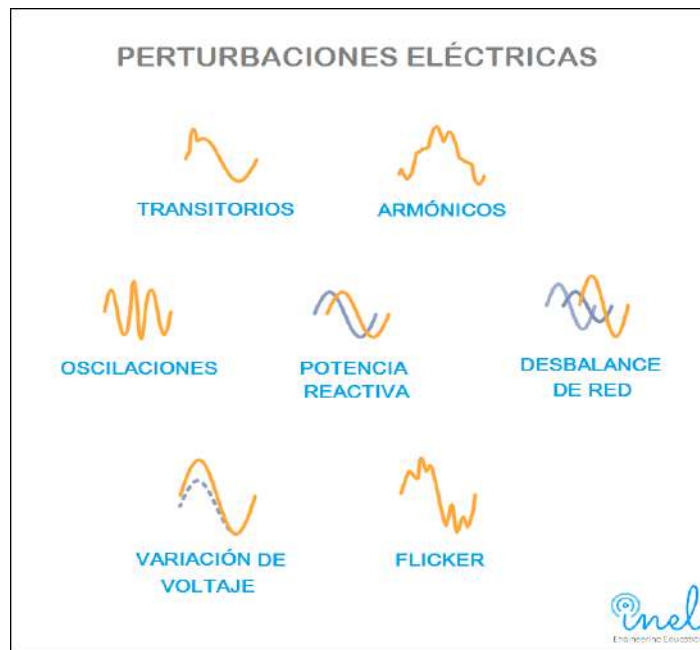
La figura 13, representa distintas formas de onda de corriente, debido a la presencia de armónicos y otras distorsiones, además, en sistemas trifásicos de corriente alterna, las formas de onda de las corrientes en cada fase estarán desfasadas entre sí.

2.2.2.3 Perturbaciones eléctricas

- Las perturbaciones eléctricas son sucesos o fenómenos que actúan sobre las particularidades del servicio eléctrico.
- Estas pueden actuar sobre el voltaje, la corriente o la frecuencia, y su origen se puede dar en las centrales eléctricas, en los sistemas de distribución o en las propias instalaciones internas de los usuarios.
- Se representan por su medida y duración (perturbaciones transitorias de microsegundo hasta pérdidas de suministro en horas)
- Si una perturbación se presenta en un suministro eléctrico y está fuera del rango aceptable, las cargas eléctricas que alimenta este suministro pueden funcionar de manera incorrecta o incluso dañarse.

Figura 14

Perturbaciones Eléctricas



Fuente: Facebook.com/inelinc

La Figura 14 muestra los diferentes tipos de perturbaciones y sus correspondientes alteraciones a la señal de onda en condiciones normales.

2.2.3 Armónicos

La distorsión armónica se define generalmente por los dos parámetros más importantes que las caracterizan, amplitud y orden:

- Su amplitud: se refiere al valor de la tensión o magnitud del armónico.
- Su orden: se refiere al valor de la frecuencia con respecto al valor de la fundamental (60 Hz). De este modo, un armónico de 3° orden tiene una frecuencia 3 veces mayor a la fundamental, es decir $3 \cdot 60 \text{ Hz} = 180 \text{ Hz}$.

En líneas generales los armónicos son señales de tensión y/o corriente con su respectiva frecuencia, dicha frecuencia es múltiplo entero de la fundamental, la cual es distorsionada produciendo así una distorsión armónica (generalmente impares, por ejemplo: 3, 5, 7, etc.). En la Tabla 11 se muestra los primeros órdenes con sus respectivas frecuencias y el tipo de secuencia que sigue cada armónico.

Tabla 11

Clasificación De Los Armónicos Según Orden, Frecuencia Y Secuencia

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

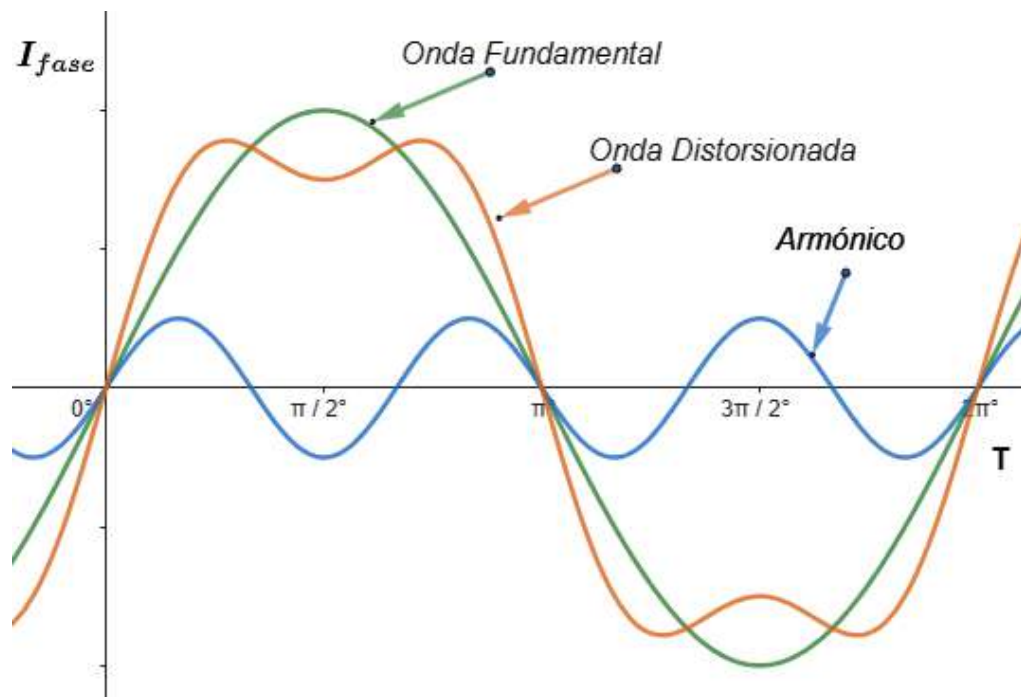
Fuente: Elaboración Propia

Generalmente en los sistemas eléctricos no se presentan armónicos pares, la aparición de este tipo de armónicos conlleva consecuencias significativas. Por un lado, provocan un aumento en la temperatura operativa de sus componentes, lo que significa una aceleración del desgaste de estos, disminuyendo su vida útil y, en consecuencia, comprometiendo la fiabilidad del sistema eléctrico a largo plazo. Por otro lado, la presencia de armónicos pares también desencadena problemas relacionados con interferencias electromagnéticas y ruido en el sistema eléctrico.

Las interferencias electromagnéticas pueden afectar el funcionamiento de otros dispositivos electrónicos sensibles, deteriorando la calidad de la señal eléctrica y generando perturbaciones en la transmisión y recepción de datos. Los armónicos pares también pueden generar fenómenos de resonancia en los componentes del sistema eléctrico, lo que a su vez pueden provocar vibraciones no deseadas en transformadores y otros equipos, aumentando el riesgo de fallos mecánicos.

Figura 15

Forma De Onda Fundamental Y La Forma De Onda Distorsionada De Corriente



Fuente: Elaboración Propia. GeoGebra

En la Figura 15 se define:

Componente Fundamental: Es la señal de onda senoidal cuya frecuencia es básicamente la señal analizada (60 Hz).

Componente Distorsionada: Es la señal de onda senoidal resultante de la adición de las señales armónicas a la frecuencia fundamental.

Tanto la señal de onda de la corriente y de la tensión se repiten periódicamente, por lo tanto, pueden expresarse como una serie de Fourier

$$v(t) = \sum_{n=1}^k V_n \cos(n\omega_0 \cdot t + \theta_n) \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

$$i(t) = \sum_{n=1}^k I_n \cos(n\omega_0 \cdot t + \theta_n) \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

Donde:

V_n : Es la armónica de voltaje de orden n.

I_n : Es la armónica de corriente de orden n.

θ_n : Es el ángulo de la armónica n.

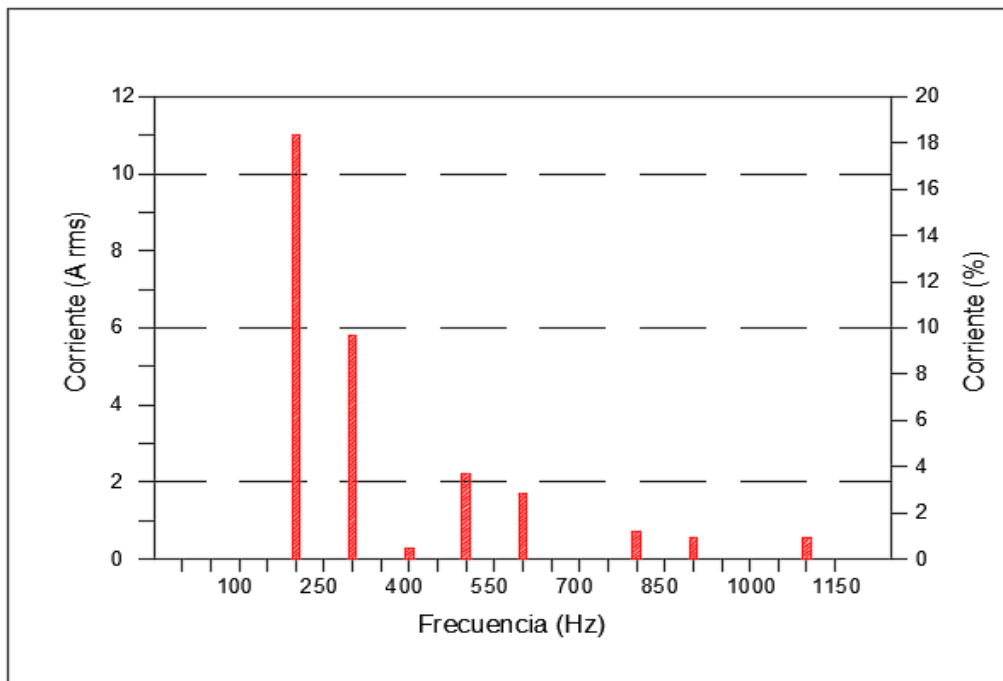
ω_0 : Es la frecuencia fundamental.

Generalmente, la amplitud de los armónicos se reduce mientras la frecuencia va aumentando. Siguiendo las normas, se tomará en cuenta los armónicos hasta el orden o nivel 40.

La amplitud de cada armónico, según el orden al que pertenece, viene representada en un espectro de armónicas.

Figura 16

Espectro De Armónicos De La Corriente



Fuente: Elaboración Propia

La figura 16, se refiere a la descomposición de una señal de corriente eléctrica en sus componentes armónicos. Este análisis es especialmente importante en sistemas eléctricos para evaluar la calidad de la energía y para identificar posibles problemas o distorsiones en la forma de onda de la corriente.

2.2.3.1 Armónicos de tensión

Los armónicos de tensión son las distorsiones existentes en la señal de onda senoidal de la tensión los cuales son originados por cargas no lineales instaladas en la clínica

(computadoras, equipos biomédicos, iluminación fluorescente, balastos electrónicos, equipos electrónicos en general).

Los valores de los armónicos de tensión que están expresadas en un porcentaje de la tensión nominal no deben de sobrepasar los rangos indicados en la tabla 15.

En la Tabla 27 se consideran los armónicos de tensión de orden dos (2°) hasta el orden cuarenta (40°). El valor de los armónicos individuales y la tasa de distorsión armónica total de tensión están expresados de la siguiente manera:

$$V_{HD} = \frac{V_h}{V_1} * 100\% \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

$$THD_v = \sqrt{\sum_{i=2.....40} \frac{V_i^2}{V_n^2}} * 100\% \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

Donde:

V_{HD} : Índice de distorsión armónica individual.

V_h : Tensión armónica de orden i

V_1 : Tensión nominal del alimentador

THD_v : Tasa de distorsión armónica total.

La energía eléctrica es de mala calidad si los niveles de armónicos de tensión están por encima del rango de las tolerancias durante un periodo mayor al 5% del Periodo de Medición.

2.2.3.2 Armónicos de corriente

Al igual que las señales de onda de tensión, las señales de onda de las corrientes también se ven afectadas por los armónicos producidos por las cargas no lineales (equipos electrónicos), las armónicas de corriente también cuentan con indicadores para su evaluación y están expresados de la siguiente manera:

$$I_{HD} = \frac{I_h}{I_1} * 100\% \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

$$THD_i = \sqrt{\sum_{i=2, \dots, 40} \frac{I_i^2}{I_n^2}} * 100\% \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

Donde:

D_i : Índice de distorsión armónica individual de corriente

I_h : Corriente armónica de orden i

I_1 : Corriente nominal del alimentador

THD_i : Tasa de distorsión armónica total de corriente

En el caso de los armónicos de corriente la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE) no establece un nivel de tolerancias, por lo cual se tomará en cuenta las tolerancias sugeridas en la IEEE Std. 519-2014.

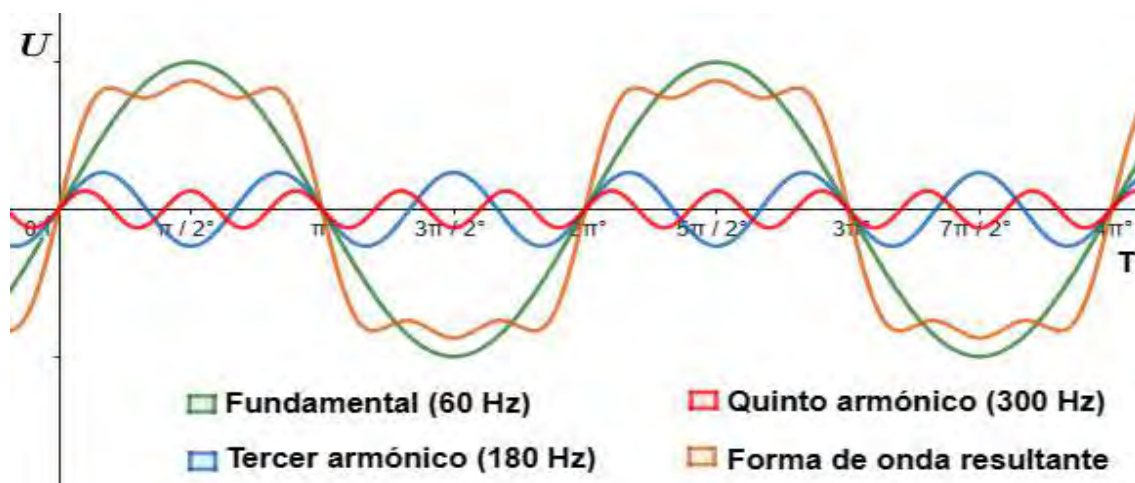
2.2.3.3 Descomposición de la señal de onda distorsionada.

“cualquier señal de onda periódica, por compleja que sea, se puede descomponer en una suma de señales senoidales cuya frecuencia es múltiplo de la frecuencia fundamental o de referencia”. (Fourier, 1825)

Gracias a esta definición podemos comprender de mejor manera el concepto de un armónico.

Figura 17

Forma De Onda Senoidal Y Sus Armónicos



Fuente: Elaboración Propia. GeoGebra.

La figura 17, muestra las ondas senoidales con armónicos, las formas de onda se verán modificadas por la presencia de componentes armónicas que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de color verde

2.2.4 Flícker

El Flicker o parpadeo es un fenómeno que afecta la visión humana al variar la intensidad luminosa en un rango de fracciones de 0.5 Hz a 25 Hz. Se ha comprobado estadísticamente que la sensibilidad máxima de la visión humana a este fenómeno se encuentra en 8.8 Hz, donde incluso pequeñas variaciones de voltaje del 0.25% pueden producir fluctuaciones luminosas perceptibles en lámparas.

Es importante tener en cuenta este fenómeno ya que se suma a las perturbaciones armónicas y su magnitud aumenta con la relación de consumo no lineal sobre la potencia de cortocircuito en el punto de conexión común.

CURVAS DE TOLERANCIA

Durante muchos años, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, por sus siglas en inglés), a través de sus recomendaciones IEEE 141 y IEEE 519, ha publicado gráficos que establecen límites para las variaciones de voltaje. Estas curvas indican la amplitud aceptable de las fluctuaciones de tensión y la frecuencia con la que pueden ocurrir para bombillas incandescentes de 60W, 120V. Estas guías se basan en pruebas estadísticas realizadas por diferentes entidades de servicios eléctricos para determinar los parámetros aceptables.

Sin embargo, la aparición del uso generalizado de equipos de electrónica de potencia ha generado fluctuaciones de voltaje más complejas, las cuales no son fácilmente abordadas por los estándares establecidos por la IEEE 141 y la IEEE 519. Consciente de esta problemática, la IEEE ha colaborado con la UIE (Unión Internacional para la Electrotermia) y la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) con el objetivo de mejorar los estándares existentes.

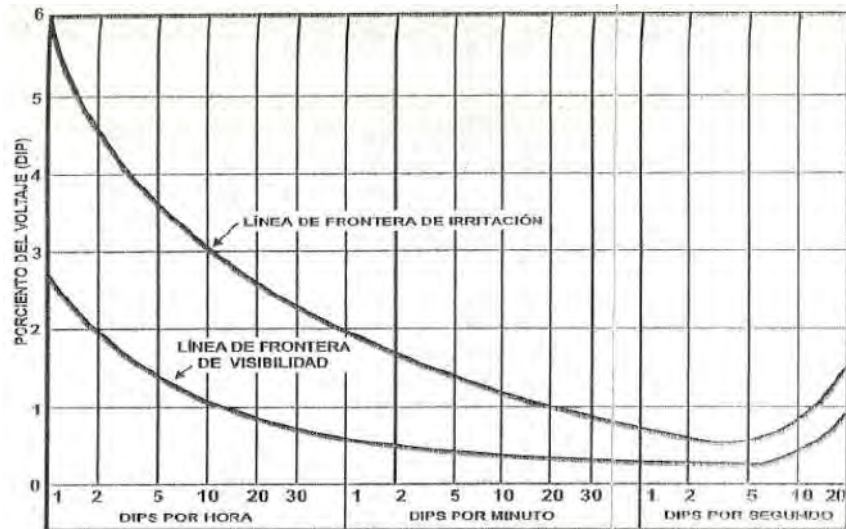
CURVA DE TOLERANCIA (IEEE 141)

En la figura 18 se muestra la representación gráfica de los límites aceptables de flicker, los cuales se basan en la magnitud de las variaciones de tensión y su frecuencia de ocurrencia. La curva inferior establece el umbral a partir del cual el ser humano puede detectar el flicker, mientras que la curva superior indica el punto en el que el ser humano comienza a experimentar molestias debido al flicker. Por ejemplo, al analizar las curvas para 10 perturbaciones por hora, se observa que el flicker se detecta a partir de fluctuaciones de tensión del 1%, y cuando estas fluctuaciones alcanzan el 3%, comienzan a perturbar al ser humano.

Es importante tener en cuenta el propósito o requisito de iluminación al considerar la curva de tolerancia presentada. En entornos de trabajo cerrados, se deben aplicar límites de flicker cercanos a la curva de visibilidad (curva inferior). Por otro lado, para áreas de iluminación general, los límites de flicker deben acercarse a la curva de irritabilidad (curva superior). Cuando se produce flicker que causa irritabilidad o perturbación, es necesario reducir o eliminar la carga que lo genera, o mejorar la capacidad del sistema de suministro eléctrico.

Figura 18

Curva De Tolerancia IEEE 141



Fuente: Figura 1.5, curva de tolerancia IEE 141, Estudio del FLICKER en una instalación eléctrica – Hugo Ramiro Pila Pila, pág. 21)

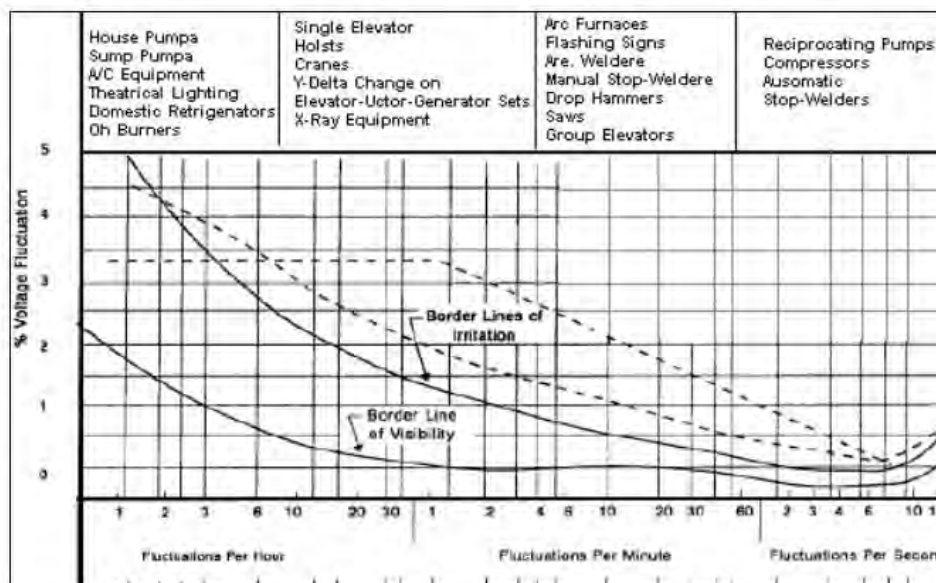
La figura 18, es un estándar utilizado en la industria eléctrica para definir las tolerancias de voltaje para sistemas de energía industriales y comerciales. Proporciona pautas para las variaciones de voltaje aceptables en estos sistemas. La curva IEEE 141 es una herramienta importante para que ingenieros y electricistas garanticen que los equipos y maquinaria eléctricos funcionen dentro de rangos de voltaje seguros y eficientes.

CURVA DE TOLERANCIA (IEEE 519)

La recomendación IEEE 519 incluye una clasificación del nivel de susceptibilidad según el tipo de carga presente. La siguiente tabla se ha elaborado a partir de estudios empíricos realizados por diversas fuentes, considerando el uso de lámparas incandescentes de 60W.

Figura 19

Curva De Tolerancia IEEE 519



Fuente: Figura 1.6, curva de tolerancia IEE 519, Estudio del FLICKER en una instalación eléctrica – Hugo Ramiro Pila Pila, pág. 21)

La figura 19, La curva IEEE 519, también conocida como curva de tolerancia, es una representación gráfica de los niveles de distorsión armónica de corriente permisibles en un sistema de energía. La curva consta de dos partes principales: la primera parte representa el límite de la corriente de frecuencia fundamental y la segunda parte representa los límites de corriente armónica. La curva IEEE 519 está diseñada para garantizar que los niveles de distorsión armónica estén dentro de límites aceptables y, al mismo tiempo, permitir el funcionamiento eficiente de los sistemas de energía.

2.2.4.1 Causas y Efectos del Flícker

En la actualidad, debido a la automatización y avances en la industria biomédica, el consumo de electricidad se ha vuelto fundamental en diversas aplicaciones médicas. El funcionamiento de estos productos y dispositivos médicos depende directamente de un suministro de servicio eléctrico eficiente. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los equipos biomédicos representan cargas no lineales en el suministro eléctrico. Estas cargas, debido a su consumo periódico e inestable de corriente, pueden ocasionar distorsiones en la

señal de tensión y generar fluctuaciones relacionadas con el efecto Flícker. Algunos ejemplos de equipos médicos que podrían ocasionar el efecto Flícker son:

- Equipos de iluminación quirúrgica: Las lámparas utilizadas en quirófanos o salas de operaciones pueden generar parpadeo si su frecuencia de encendido y apagado es baja.
- Pantallas de monitores médicos: Algunas pantallas de monitores médicos, especialmente las más antiguas, pueden tener una frecuencia de actualización baja que puede causar parpadeo perceptible.
- Equipos de endoscopia: Algunos dispositivos utilizados en endoscopias, como las fuentes de luz utilizadas en los endoscopios, pueden tener frecuencias de funcionamiento que generan parpadeo.
- Equipos de rayos X, tomógrafos y ecógrafos: En algunos sistemas de imagen médica basados en rayos X, las frecuencias de alimentación utilizadas pueden causar parpadeo perceptible en las imágenes visualizadas en tiempo real.

Estas distorsiones en la red eléctrica se presentan de manera impredecible y está condicionado por múltiples factores. En ciertas ocasiones, algunos equipos eléctricos pueden aparentar un funcionamiento adecuado, pero en realidad podrían ocultar daños irreversibles. Es así que, los principales efectos del Flícker son:

- Efectos en la visión humana: Ciertas frecuencias de parpadeo pueden tener efectos negativos en las personas. Por ejemplo, variaciones de 3-70 Hz pueden provocar ataques de epilepsia fotosensible, mientras que variaciones de 165 Hz pueden causar dolores de cabeza, agotamiento y otros síntomas. Las bombillas incandescentes y fluorescentes alimentadas a 60 Hz pueden presentar parpadeo a 120 Hz, lo cual se considera como un factor de estrés físico o mental.

- Efectos en los dispositivos alimentados por la red eléctrica: Esto se evidencia en reinicios o apagados de computadoras, interferencias en pantallas de televisores y equipos electrónicos sensibles, desgaste prematuro de dispositivos, operación incorrecta de equipos automatizados, pérdida de eficiencia eléctrica y problemas de sobrecalentamiento en transformadores o maquinaria rotativa.

2.2.4.2 Métodos de Evaluación de Flícker

La norma IEC 555-3, capítulo 9, señala los siguientes métodos para predecir y caracterizar el comportamiento de la perturbación Flícker:

- **Método Británico**

Este método utiliza la modulación del voltaje de una fuente de 60 Hz, V₆₀, mediante una señal aleatoria llamada voltaje de fluctuación, V_f. El valor RMS del voltaje de fluctuación se representa como V_f, expresado como un porcentaje del voltaje de la fuente de 60 Hz.

$$V_f = \frac{V \text{ efectivo de la fluctuación}}{V_{RMS} \text{ de la red}}$$

Después de realizar varios experimentos, se ha confirmado que se produce una perturbación perceptible pero tolerable cuando los porcentajes de V_f están entre 0.2 y 0.25%. A medida que los porcentajes superan 0.30%, la perturbación visual se vuelve molesta. Sin embargo, estos límites no son suficientes para evaluar los efectos del parpadeo debido a su naturaleza aleatoria. Un modelo estadístico permite obtener una descripción más precisa del fenómeno. Al combinar los valores registrados de la fluctuación de voltaje y un modelo

estadístico adecuado, se pueden obtener la Función de Probabilidad Acumulada (FPC) y la Función de Probabilidad Acumulada Complementaria (FPCC).

Para esto, es necesario clasificar los datos en diferentes categorías según el valor de Vf. Se propone un rango de porcentajes para cada categoría y se registra la frecuencia con la que ocurren los valores de Vf en cada una. A partir de esta información, se obtienen la Función de Probabilidad Acumulada y su correspondiente Función de Probabilidad Complementaria.

Es importante tener en cuenta que, para obtener resultados precisos, las mediciones deben realizarse durante un período de tiempo prolongado para capturar las variaciones cíclicas de la carga. Mediante el análisis estadístico, de los valores indicados en la Tabla 8, se obtiene el valor de Vfg, que representa el porcentaje de tiempo en el que el valor de Vf no se excede durante la observación. El parpadeo se considera aceptable si Vfg cumple con los límites establecidos en la Tabla 12.

Tabla 12

Límites Establecidos Para Vfg Según El Método Británico

Rango de voltaje	≤ 138 kV	> 138 kV
V_{fg}	≤ 0.25%	≤ 0.20 %

Fuente: Norma IEC 555-3 Cap. 9

- **Método Francés**

Este método utiliza una estrategia basada en la ponderación de los valores de fluctuación de voltaje. El objetivo es transformar cualquier oscilación de voltaje con una frecuencia en el rango de 1 a 25 Hz a una oscilación equivalente con una frecuencia de 10 Hz. Para lograr esto, se utiliza una Curva de Ponderación

de Frecuencia que actúa como un filtro centrado en los 10 Hz. A partir de esta curva, se obtiene el voltaje equivalente mediante una ecuación que considera la magnitud de las fluctuaciones de voltaje en diferentes frecuencias y los coeficientes de ponderación correspondientes.

$$a_{10} = \left(\left(\sum_{j=0.5}^{j=25} a_j^2 g_{fj}^2 \right) / n \right)^{1/2}$$

Donde:

a_{10} = magnitud de voltaje equivalente para la frecuencia de 10 Hz.

a_j = magnitud de la fluctuación de voltaje en la frecuencia f_j .

g_{fj} = Coeficiente de ponderación correspondiente a f_j .

n = número de fluctuaciones.

Se establece un límite de percepción del parpadeo, donde se considera que el voltaje equivalente a 10 Hz no debe superar el 0.3%. Este criterio se basa en experiencias previas de la evaluación de la tolerancia de observadores expuestos a la iluminación incandescente afectada por perturbaciones de hornos de arco.

En cuanto a la cuantificación de la variación luminosa, el método francés utiliza el concepto de Dosis Unitaria de Parpadeo. Esta dosis se calcula mediante una integral que considera el nivel instantáneo de parpadeo a 10 Hz durante un período de tiempo determinado. El tiempo total de muestreo recomendado es de 25 minutos, con 15 minutos de medición continúa seguidos de 10 minutos de descanso o recuperación.

$$Du_j = \int_{t=0}^{t=1 \text{ min.}} (a_{10}(t))^2 dt$$

Donde:

D_{uj} = Dosis Unitaria de parpadeo.

$a_{10}(t)$ = Nivel Instantáneo de parpadeo.

Evaluando el límite anterior con $a_{10}(t) = 0.3\%$ y se integra para un tiempo de 1 minuto, se obtiene que $D_{uj} = 0.3\%$. Se sugiere realizar el análisis durante 15 minutos consecutivos para obtener resultados más precisos.

Se define otra variable la cual se llama Dosis Acumulada de Flícker $G(t)$ con la siguiente ecuación:

$$G(t) = \sum_{j=1}^{j=15} D_{uj}$$

Donde:

$G(t)$ = Dosis acumulada de Flícker

D_{uj} = Dosis unitaria

$J = 15$, equivale a los 15 minutos de medición

La sumatoria anterior evaluada para un parpadeo instantáneo de $a_{10}(t) = 0.3\%$, durante 15 minutos arroja un valor de Dosis Acumulado de Parpadeo o Flícker Perceptible de $\leq 1.35 (\%)^2 \times \text{min}$.

Tabla 13

Límites De Tolerancia De Percepción De Parpadeo Según Método Francés

	Dosis Unitaria	Dosis Acumulada
Límite de tolerancia	(1 min)	(15 min)
	$\leq 0.09 (\%)^2 \times \text{min}$	$\leq 1.35 (\%)^2 \times \text{min}$

Fuente: Norma IEC 555-3 Cap. 9

La tabla 13 proporciona directrices para evaluar los límites de percepción del parpadeo en función de la frecuencia y la profundidad de modulación de la fuente de luz.

- **Método Standard (UNE-EN 60868-0)**

Este método es flexible y amplio, incorporando las principales características de los métodos francés e inglés. El método estándar utiliza la función FPC (Curva de Probabilidad Acumulada, por sus siglas en inglés) según la definición del método inglés para describir la severidad del nivel de parpadeo. Para lograr esto, se deben definir dos nuevas variables:

P_{ST} = Severidad de Parpadeo a Corto Plazo

P_{LT} = Severidad de Parpadeo a Largo Plazo

P_{ST}

El PST, también conocido como término corto de probabilidad, es útil para analizar las perturbaciones de una fuente. Se define por la ecuación:

$$P_{st} = (0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657 P_3 + 0.28 P_{10} + 0.08P_{50})^{1/2}$$

Equivalen a los percentiles de la curva de Probabilidad Acumulada. Los coeficientes indicados corresponden a un $P_{ST} = 1$ con la curva de perceptibilidad del parpadeo que se especifica en la norma IEC-555-3.

P_{LT}

Para aparatos generadores de perturbaciones con ciclos de trabajo superiores al período de observación de 10 minutos utilizado para evaluar la severidad del parpadeo a corto plazo (PST), como los hornos de arco, es necesario establecer una metodología de cálculo adecuada. Se busca una metodología equivalente a la ya establecida y se introduce el término de Severidad a Largo Plazo (PLT), el cual se plantea en función del PST y se define mediante una ecuación:

$$P_{LT} = (1/N) \left(\sum_{j=1}^{j=N} (P_{STj})^3 \right)^{1/3}$$

Donde:

P_{STj} = P_{ST} del j-ésimo periodo de 10 minutos.

N = Cantidad de intervalos de 10 minutos considerados.

- **Flícker con varias fuentes de Distorsión**

Para determinar el nivel de severidad del parpadeo en un nodo específico de la red de distribución, se puede utilizar una expresión aproximada que considera los valores de severidad del parpadeo generados por cada carga perturbadora en el nodo estudiado:

$$P_{ST} = \left(\sum_{j=1}^{j=N} (P_{ST,j})^m \right)^{1/m}$$

P_{ST} = Es el nivel de severidad del parpadeo producido en el nodo por el total de las j cargas perturbadoras.

$P_{ST, j}$ = Es el P_{ST} de la j -ésima carga perturbadora.

m = Coeficiente que varía entre 1 y 4 dependiendo de las características de los principales generadores de perturbaciones Flícker.

Para algunos casos se tiene:

$m = 1$, para fluctuaciones de tensión de la misma forma y sincrónicas.

$m = 2$ o 3 , para fluctuaciones de tensión separadas temporalmente entre 1 y 300 segundos.

$m = 2$, para fluctuaciones de tensión complejas con probabilidad de superposición temporal.

$m = 3$, para fluctuaciones de tensión complejas con baja probabilidad de superposición temporal.

- **Medición Normalizada de Flicker (IEC 868)**

Un medidor de Flicker normalizado se detalla en el diagrama de bloques

Bloque 1: Sensor de Voltaje.

Bloque 2: En primer lugar, el valor censado de voltaje se eleva al cuadrado, ya que la luminosidad depende del cuadrado de la tensión.

Bloque 3: Un filtro demodulador elimina la componente continua (se hace cero el valor RMS de referencia) y las señales de frecuencia superior a 35 Hz.

Separa las fluctuaciones de la portadora.

Bloque 4: Un filtro adicional considera la característica de la visión humana, de modo que a la salida de este filtro se tiene la fluctuación de voltaje ponderada asociada al voltaje de la red. Simula la respuesta del sistema ojo-lámpara. Alcanza su máxima respuesta en los 8,8 Hz.

Bloques 5 y 6: Un multiplicador cuadrático y un filtro de primer orden de una constante de tiempo de 300 mseg permite simular la respuesta no lineal del sistema humano ojo-cerebro y almacenaje cerebral de la información.

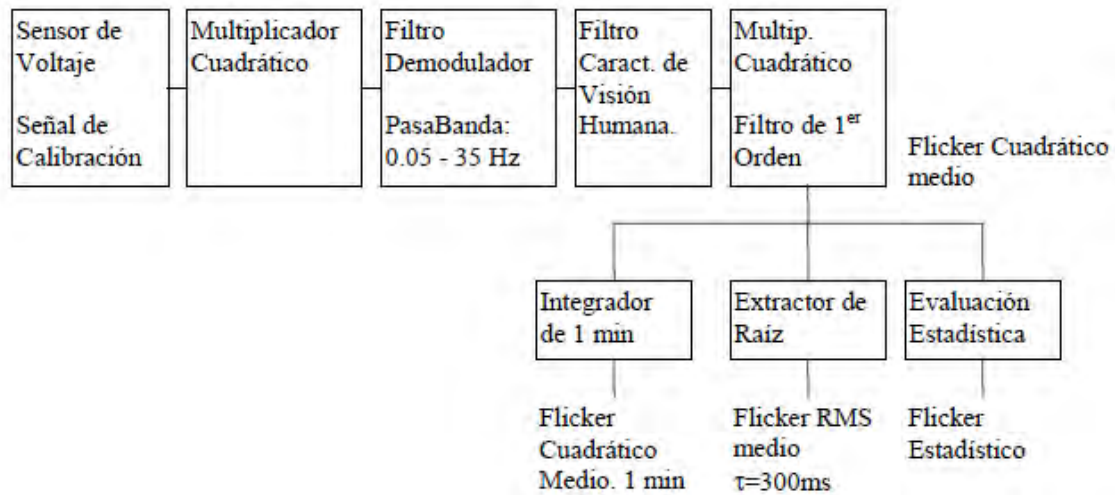


Diagrama de Bloques 1. Medidor según norma IEC 868.

2.2.5 Tipos de carga

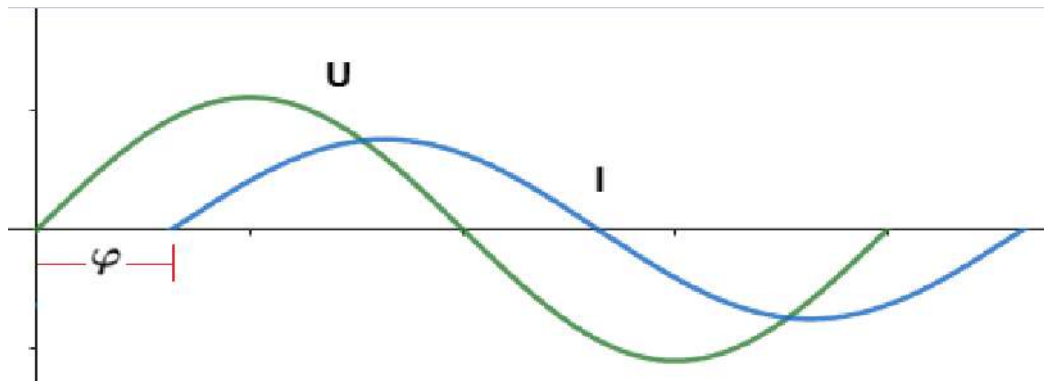
Hasta hace poco, la mayoría de los equipos utilizados en una red eléctrica eran cargas lineales, es decir, cargas que generan corrientes con una forma de onda similar al de la tensión, forma sinusoidal.

Desde la utilización de la electrónica integrada en varios dispositivos eléctricos, las cargas generan una forma de onda no sinusoidal (señales distorsionadas). Dichas corrientes están conformadas por armónicos, y sus frecuencias son múltiplos de la frecuencia fundamental (60 Hz).

2.2.5.1 Carga lineal

Se dice que una carga es lineal, cuando la corriente con la que opera tiene la misma forma de onda que la tensión con la que es alimentada. Este tipo de corriente no presenta elementos armónicos.

Ejemplo: las resistencias de las lámparas incandescentes, calefactores y motores de corriente continua.

Figura 20*Forma De Onda De Tensión Y Corriente*

Fuente: Elaboración propia. GeoGebra

La figura 20 muestra la forma de onda de tensión y corriente en un sistema eléctrico se refiere a la representación gráfica de cómo varían estas magnitudes con respecto al tiempo. En un sistema de corriente alterna (CA), que es el tipo más común de suministro eléctrico en el hogar y las industrias, las formas de onda son generalmente sinusoidales.

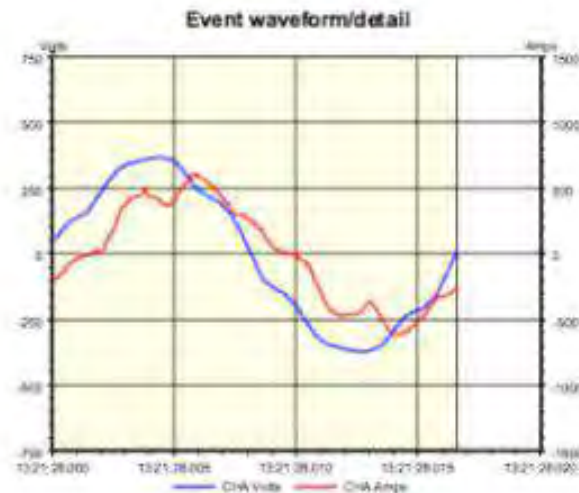
2.2.5.2 Carga no lineal

Se dice que una carga es no lineal cuando la corriente con la que opera no tiene la misma forma de onda que la tensión con la cual es alimentada. Dicha corriente presenta numerosos elementos armónicos, cuyo espectro estará en función de tipo de carga.

Ejemplo: equipos informáticos, fuentes de alimentación, variadores de velocidad, los reguladores de luz y básicamente cualquier carga que contenga elementos electrónicos (transistores, diodos, tiristores, etc).

Figura 21

Forma De Onda De Tensión Y Corriente Distorsionada



Fuente: REASA Power Quality

Las cargas lineales pueden generar un desfase entre la corriente y la tensión, sin embargo, no causan que la forma de onda se distorsione.

En la figura 21, cuando se habla de formas de onda de tensión y corriente distorsionadas, se refiere a situaciones en las que la forma de onda sinusoidal típica se ve afectada por la presencia de armónicos u otras distorsiones.

2.2.6 Efectos de la mala calidad de energía eléctrica.

2.2.6.1 Efectos instantáneos

Se refiere a efectos que se producen durante el periodo de operación de los equipos electrónicos, por ejemplo, los armónicos de tensión pueden afectar a los controles utilizados en los sistemas electrónicos.

Mientras que, los equipos que lleven protección contra sobretensiones y cuyos sistemas de protección también puedan operar con tensiones de forma sinusoidal, puede generar que estos equipos operen de forma incorrecta con la presencia de formas de onda distorsionadas (no sinusoidales).

Este mal funcionamiento puede deberse a la sobreprotección del equipo o a la desprotección de este, debido a la no operación frente a una forma de onda que podría causar daños severos. Los casos más comunes se presentan en formas de onda que tienen picos agudos.

Uno de los efectos instantáneos y más comunes es el fenómeno de la Resonancia, esto debido a que buena parte de la carga que se alimenta es no lineal.

2.2.6.2 Efectos retardados

El principal efecto de los armónicos a largo plazo es el calentamiento, esto debido a los fenómenos de conducción e histéresis en el aislamiento.

El calentamiento suele provocar ruido y vibraciones en los equipos eléctricos, esto se traduce como fatiga mecánica en las maquinas eléctricas y puede llevar a casos de fallas de equipo, también pueden originar ruido eléctrico en niveles altos, los cuales producen interferencia a las líneas telefónicas.

Dijimos que uno de los efectos retardados es el calentamiento, por tanto, esto trae como consecuencia las pérdidas en los conductores a causa de:

- El efecto Joule.
- El efecto de proximidad entre cables, originado por las corrientes parásitas entre cables cercanos entre sí.

En equipos de medición

- Produce en los contadores de energía, comúnmente llamados medidores, lecturas erróneas.
- Al producirse estas lecturas incorrectas, se produce una elevación en el consumo de la energía eléctrica, por lo tanto, un incremento en el pago de la facturación.

En transformadores

- El diseño de los transformadores les permite operar a una frecuencia constante (60 Hz). Entonces, la presencia de armónicos no permite su operación normal.
- Las armónicas de 3er orden causan pérdidas en el núcleo, a causa de las corrientes parásitas.
- Los efectos mencionados anteriormente conllevan a que el transformador sufra temperaturas altas por lo tanto se degrada el aislamiento y se produce una reducción de su vida útil.

Pérdidas de energía en los transformadores por corrientes armónicas.

Según las normas IEEE Std. C57.12.90 y IEEE Std. C57.12.91, clasifican a las pérdidas en los transformadores en: pérdidas sin carga (pérdidas por excitación) y pérdidas con carga (pérdidas por impedancia) y explica que las pérdidas totales son la suma de las pérdidas con carga y sin carga, expresado en la siguiente ecuación:

$$P_T = P_{NL} + P_{LL} \quad (\text{Ecuación 2.7})$$

Donde:

P_T : Pérdidas totales

P_{NL} : Pérdidas sin carga

P_{LL} : Pérdidas con carga

Las pérdidas con carga producen pérdidas por efecto Joule, producida en los arrollamientos cuando circula corriente nominal, llamada también pérdidas en el cobre, esto se debe a la corriente fundamental I^2R (P_{DC}). Pérdidas sin carga como las corrientes parásitas, producidas en el circuito magnético excitado a su tensión nominal, llamado también pérdidas en el hierro. En este tipo de pérdidas parásitas se incluyen las pérdidas por corrientes de Eddy (P_{EC}) y las pérdidas parásitas en otros elementos distintos al devanado (P_{OSL}). Estas pérdidas se definen por la ecuación siguiente:

$$P_{LL} = P_{DC} + P_{EC} + P_{OSL} \quad (\text{Ecuación 2.8})$$

Donde:

P_{LL} : Pérdidas con carga.

P_{DC} : Pérdidas debido a las corrientes de carga en los bobinados.

P_{EC} : Pérdidas por corrientes parásitas (Eddy).

P_{OSL} : Pérdidas por dispersión en fijación, depósitos a plena carga.

Las pérdidas P_{DC} (I^2R), se pueden hallar midiendo la resistencia a corriente directa del devanado y multiplicada por la intensidad de corriente efectiva en los enrollados.

Debido a los armónicos, el valor RMS de la corriente de carga aumenta, por lo que las pérdidas en consecuencia se deberían de incrementar. Bajo estas condiciones armónicas se podría expresar como la ecuación:

$$P_{I^2R} = R_{DC} \cdot I^2 = R_{DC} \cdot \sum_{h=1}^{h=h_{max}} I_{h_{max}}^2 \quad (\text{Ecuación 2.9})$$

Donde:

P_{I^2R} : Pérdidas por armónicos.

R_{DC} : Resistencia del devanado.

I^2 : Corriente h, orden armónico 1, 2, 3, etc. hasta h_{max} , máximo número de armónicos significativos.

Las pérdidas por corrientes de Eddy se definen de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$P_{EC} = P_{EC-R} \cdot \sum_{h=1}^{h=h_{max}} h^2 \left[\frac{I_h}{I_R} \right]^2 \quad (\text{Ecuación 2.10})$$

Donde:

P_{EC-R} : Pérdidas por corrientes parásitas en el bobinado, a corriente y frecuencia nominal

I_h : Corriente del h-ésimo armónico.

I_R : Corriente nominal.

Las pérdidas parásitas en otros elementos distintos al bobinado (P_{OSL}), se definen de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$P_{OSL} = P_{OSL-R} \cdot \sum_{h=1}^{h=h_{max}} h^{0.8} \left[\frac{I_h}{I_R} \right]^2 \quad (\text{Ecuación 2.11})$$

Donde:

P_{OSL-R} : Pérdidas parásitas bajo corrientes nominales.

Como consecuencia de la corriente armónica de carga RMS, aparece un factor aplicado que es proporcional a las pérdidas por corrientes de Eddy. Dicho factor se conoce como F_{HL} .

Este mismo factor se define como la ecuación:

$$F_{HL} = \frac{P_{EC}}{P_{EC-R}} = \frac{\sum_{h=1}^{h=h_{max}} h^2 \left[\frac{I_h}{I} \right]^2}{\sum_{h=1}^{h=h_{max}} \left[\frac{I_h}{I} \right]^2} \quad (\text{Ecuación 2.12})$$

Donde:

P_{EC} : Corrientes de Eddy debida a los armónicos.

P_{EC-R} : Pérdidas por corrientes de Eddy a frecuencia del sistema cuando no existen corrientes armónicas.

F_{HL} : Factor de pérdidas armónicas parásitas en los enrollados.

Por otro lado, se define el factor de pérdidas armónicas en otras partes del transformador, esta se define como la relación entre las pérdidas por corrientes de Eddy (P_{OSL}) con armónicos y sin armónicos en condiciones nominales (P_{OSL-R}). Esta se expresa como la ecuación:

$$F_{HL-STR} = \frac{\sum_{h=1}^{h=h_{max}} h^{0.8} \left[\frac{I_h}{I} \right]^2}{\sum_{h=1}^{h=h_{max}} \left[\frac{I_h}{I} \right]^2} \quad (\text{Ecuación 2.13})$$

Donde:

F_{HL-STR} : Factor de pérdida de armónicos para otras pérdidas parásitas.

Entonces, finalmente las pérdidas totales en el transformador que suministra la carga distorsionada se calculan como se muestra en la ecuación:

$$P_{LL} = P + F_{HL} * P_{EC} + F_{HL-STR} * P_{OSL} \quad (\text{Ecuación 2.14})$$

En conductores

- En presencia de armónicos, en las redes de cuatro hilos, en el cable neutro se suman todos los armónicos.
- Sin presencia de armónicos, la corriente que pasa por el cable neutro es muy cercano a cero.
- Aumento en las pérdidas I^2R , por efecto piel $R_{ac} > R_{dc}$ por incremento de la corriente en el contorno del conductor.

Figura 22

Densidad De Corriente Sobre Un Conductor En Corriente Continua, (B) Corriente Alterna De Alta Frecuencia



Fuente: Ponce de Leon Cordova, 2007 pág. 11

La figura 22 muestra la densidad de corriente en un conductor se refiere a la cantidad de corriente eléctrica que fluye a través de una unidad de área perpendicular al flujo de corriente. Se expresa típicamente en amperios por metro cuadrado (A/m²).

Tabla 14

Variación Del Efecto Piel En Distintos Conductores

Tamaño del Conductor	Resistencia AC 60 Hz	Resistencia DC 300 Hz
300 MCM	1.01	1.21
450 MCM	1.02	1.35

600 MCM	1.03	1.50
750 MCM	1.04	1.60

Fuente: TECSUP

La Tabla 14 muestra el efecto skin, también conocido como efecto pelicular en diferentes tamaños de conductores, se refiere al fenómeno en el que la corriente eléctrica fluye principalmente a lo largo de la superficie de un conductor en lugar de penetrar uniformemente a través de su sección transversal.

En interruptores automáticos

- Los dispositivos de protección llamados también interruptores termomagnéticos actúan debido a la corriente armónica.
- De igual manera los interruptores electrónicos, con sensores de picos, actúan sobre los picos de onda generados por la corriente armónica.

En grupos electrógenos

- Los grupos electrógenos son susceptibles ante la presencia de armónicos ya que llegan a perturbar e inestabilizan los controles de este, llegando a quemarse fácilmente el alternador; por lo que deben de ser sobredimensionados.

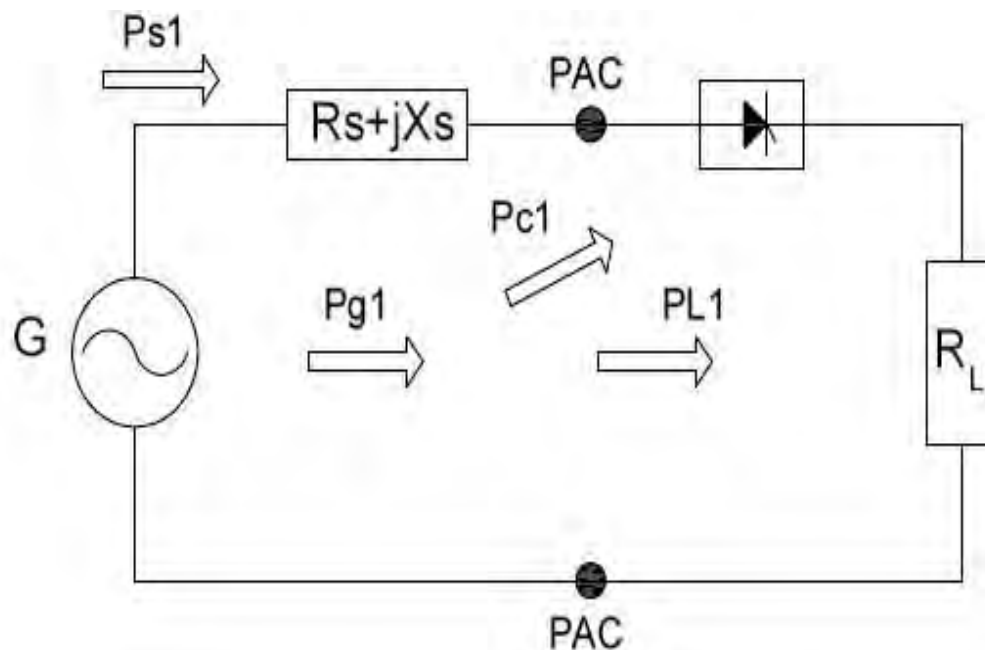
2.2.7 Generación de Armónicos

En nuestro país la generación de energía eléctrica se da una frecuencia nominal constante (60 Hz), pudiendo considerarse como nominal la fuerza electromotriz real del generador. Por otro lado, cuando se aplica una fuente de tensión sinusoidal a una carga no lineal, suele resultar que la corriente no es puramente sinusoidal, lo que ocasiona una caída de voltaje no sinusoidal en la impedancia del sistema, distorsionando el voltaje aplicado; es decir, la forma de onda de la tensión presenta armónicos.

Para poder visualizar este fenómeno, considere el circuito en la figura 18 donde se muestra el esquema de un sistema de alimentación de energía donde un generador G suministra a través de un convertidor estático de potencia y de una línea de impedancia ($R_s + jX_s$) a una carga netamente resistiva (R_L).

Figura 23

Flujo De Potencia Con Frecuencia Fundamental

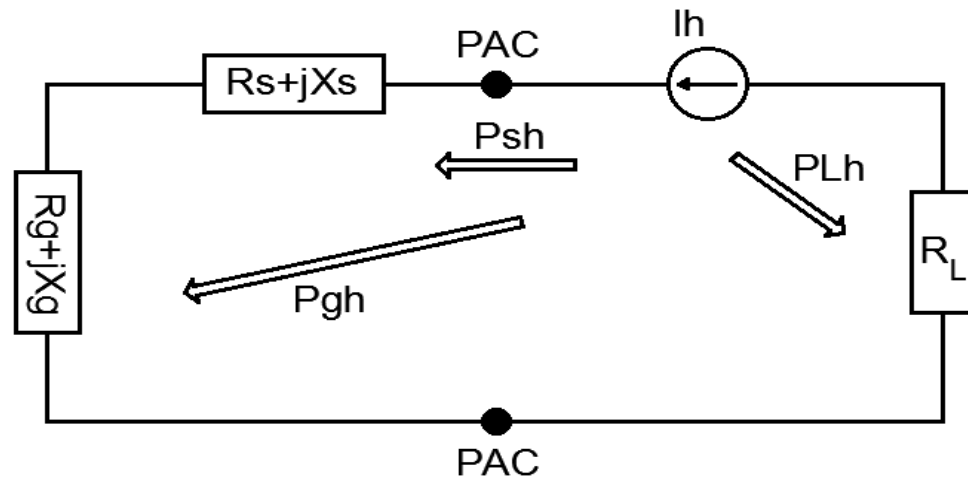


Fuente: Elaboración propia

En la figura 23, el generador abastece de potencia (P_{g1}) al punto de acoplamiento (PAC). El gráfico anterior muestra que una fracción de la potencia (P_{L1}) llega a la carga con la misma frecuencia, mientras que, otra fracción generalmente pequeña (P_{c1}) se transforma en potencia con distintas frecuencias en el convertidor. También, se adicionan otras pérdidas (P_{s1}) de la frecuencia fundamental sobre la resistencia del sistema de generación y transmisión.

Figura 24

Flujo De Potencia De Los Armónicos De Orden H



Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, en la fig. 24 se puede observar el flujo de potencia armónica. Se asume que la tensión interna del generador es perfectamente senoidal, entonces solo alimentará de potencia a la frecuencia fundamental, por lo tanto, en el gráfico anterior la f.e.m. del generador se encuentra cortocircuitada. En otras palabras, el sistema está representado por sus impedancias armónicas ($R_{sh} + jX_{sh}$), los cuales son diferentes a las de la frecuencia fundamental. En el gráfico anterior, el convertidor se representa como una fuente de corrientes armónicas. La fracción más pequeña de potencia fundamental (P_{c1}) que se transforma en potencia armónica, es consumida por la resistencia del sistema (P_{sh}), por el generador (P_{gh}) y por la carga (P_{Lh}).

Entonces, en la impedancia del sistema, la pérdida de potencia total es componente de la frecuencia fundamental (P_{s1}) y de la potencia armónica producida por la existencia del convertidor (P_{sh}).

2.2.8 Fuentes Generadoras de Armónicos

Las fuentes armónicas introducen corriente distorsionada en el sistema eléctrico, que al fluir a través de las impedancias de los equipos que la generan, provoca una distorsión de la

forma de onda del voltaje y una caída de tensión armónica que en los puntos de alimentación de energía a los usuarios del servicio eléctrico.

A continuación, se muestra una corta explicación de algunos generadores de armónicos más comunes a la mayoría de los sistemas eléctricos.

- **Convertidores con hornos de arco:** Este equipo representa una carga eléctrica no lineal, por lo que es una fuente generadora de corrientes armónicas aleatorias.
- **Armónicos producidos por las lámparas de arco:** En las lámparas de descarga, el 3° armónico puede superar el 100%, por lo que se debe prestar mayor atención al cálculo de la sección del neutro y su protección, ya que las corrientes armónicas del 3er orden de las tres fases se suman en este, por lo que, existe el riesgo de sobrecalentamiento.
- **Los convertidores estáticos de la red trifásica:** Los convertidores estáticos, como los diodos y tiristores, y los puentes rectificadores son generadores de corriente armónica; también los convertidores de potencia graduados como los reguladores, los ciclos convertidores, etc. Poseen un espectro variable y presentan mayor cantidad de armónicos que los rectificadores. Tenga en cuenta que ahora se reemplazan por rectificadores PWM (Pulse width modulation: modulación de ancho de impulso), los cuales operan a una frecuencia de corte de aproximadamente 20 kHz y están elaborados con la finalidad de generar armónicos muy bajos.
- **Variadores de velocidad:** Estos son equipos eléctricos, mecánicos, electrónicos, hidráulicos, que operan controlando la velocidad de giro de algunas maquinarias, especialmente el de los motores.
- **Las inductancias saturables:** La impedancia de estos inductores recae en la amplitud de las corrientes que los atraviesa y, consecuentemente, provoca una distorsión importante de esta corriente. Esto es parte de la situación en la que los transformadores sin carga están expuestos a sobretensiones permanentes.

• **Máquinas Rotativas:** Este tipo de máquinas generan armónicos de órdenes superiores y de amplitud generalmente despreciable. Por otro lado, las maquinas síncronas producen armónicos de tercer orden, los cuales pueden generar:

- ✓ Un incremento constante de la temperatura de las resistencias de puesta a tierra del neutro de los alternadores.
- ✓ La reducción del nivel de protección contra defectos de aislamiento de los relés amperimétricos.

2.2.9 Filtros para mitigar los armónicos

Un filtro es un sistema con un puerto de entrada y otro de salida, que, para poder atenuar, corregir o suprimir las señales de onda a ciertas frecuencias hace uso de componentes eléctricos y/o electrónicos. El filtro puede ser analógico o digital, en los filtros analógicos las señales pueden tener cualquier valor dentro de un rango específico, mientras que en los filtros digitales solo pueden tener valores discretos de la señal de onda.

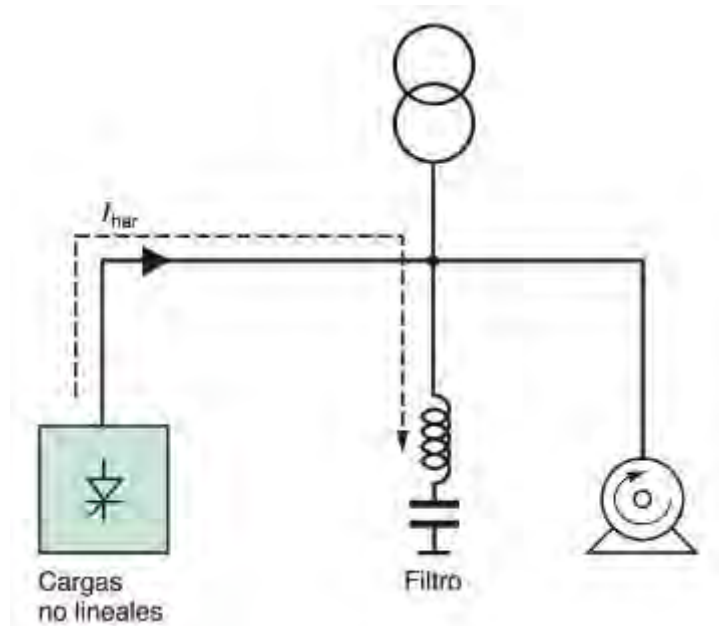
2.2.9.1 Filtros pasivos

Este tipo de filtro está compuesto por elementos eléctricos básicos como son las resistencias, inductores y capacitores. Estos elementos se conectan entre sí en combinaciones en serie o en paralelo según sea el orden de las armónicas a eliminar. Este tipo de filtro se conecta en paralelo con la fuente de generación de armónicos con el objetivo de suprimir la circulación de las corrientes armónicas en el sistema eléctrico.

La funcionalidad de los filtros pasivos es en su mayoría satisfactorias, sin embargo, con el uso de estos filtros las corrientes armónicas solo se ven reducidas parcialmente, siendo su campo de acción los órdenes 5, 7 y 11.

Figura 25

Principio De Funcionamiento De Un Filtro Pasivo



Fuente: Empresa SyZCominza

La figura 25, representa el principio de funcionamiento de un filtro pasivo se basa en el uso de componentes electrónicos pasivos, como resistencias, condensadores e inductores, para filtrar señales eléctricas.

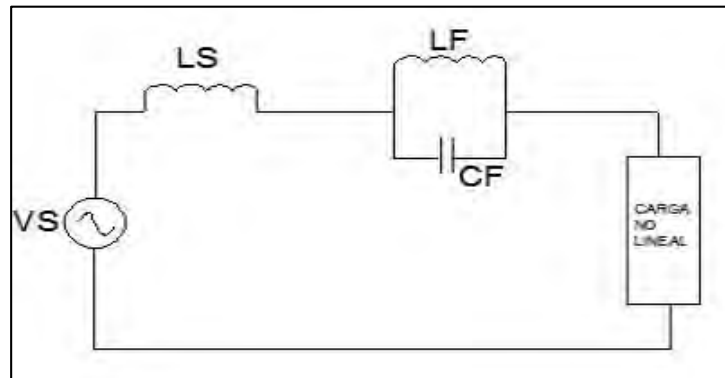
Las aplicaciones más comunes para este tipo de filtro son las instalaciones de potencia media y alta, así como variadores de velocidad, rectificadores, hornos de inducción, hornos de arco y aquellas instalaciones que requieran corrección del factor de potencia.

2.2.9.2 Filtro pasivo serie

Denominamos pasivo serie ya que la conexión del filtro con la carga no lineal será en serie, la siguiente figura nos ayudará a comprender mejor esta definición.

Figura 26

Conexión En Serie De Un Filtro Pasivo En Un Circuito Monofásico



Fuente: Fig. 4.8 Circuito monofásico con la implementación de un filtro pasivo de potencia serie (Mora Sanches, 2014)

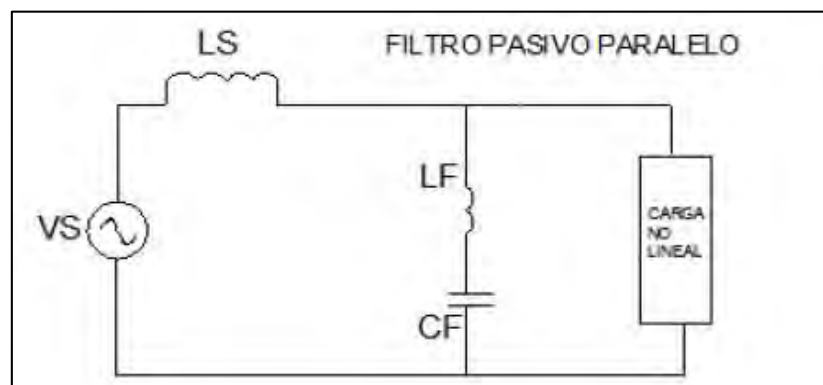
En la figura 26 observamos un componente inductivo y un componente capacitivo en paralelo, facilitando así que el filtro opere como si de un circuito abierto se tratara, restringiendo el paso a ciertas frecuencias o perturbaciones que se encuentren sintonizadas con el filtro.

2.2.9.3 Filtro pasivo paralelo

En este caso el filtro pasivo se conecta, como lo indica su nombre, en paralelo con la carga no lineal.

Figura 27

Conexión En Paralelo De Un Filtro Pasivo En Un Circuito Monofásico



Fuente: Fig. 4.10 circuito monofásico con la implementación de un filtro pasivo de potencia paralelo (Mora Sanches, 2014)

En la figura 27, se observa que el inductivo y el capacitivo están en serie, haciendo que las señales armónicas se dirijan hacia la tierra. Para la disminución de varias perturbaciones, es necesario la implementación de la misma cantidad de ramas y la cantidad de perturbaciones que se requieran filtrar.

Para definir el filtro pasivo es necesario calcular algunos parámetros eléctricos, se utilizará como base teórica la investigación intitulada “Teoría y diseño de filtros de armónicos en sistemas eléctricos” elaborado por Juan Manuel Gers y publicado el 2008 por TECSUP (Gers, 2008).

CÁLCULO DEL VALOR DE LA CAPACITANCIA

Para calcular el valor de la capacitancia para el filtro son necesarias las siguientes ecuaciones:

$$Q_c = \frac{(V_{nom})^2}{X_c} \quad (\text{Ecuación 2.15})$$

Donde:

Q_c : Potencia reactiva del capacitor (KVAR)

V_{nom} : Tensión nominal entre líneas (V)

X_c : Reactancia capacitiva del filtro (Ω)

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c} \quad (\text{Ecuación 2.16})$$

Donde:

C : Capacitancia del filtro (F)

f : Frecuencia de la red (Hz)

CÁLCULO DEL VALOR DE LA INDUCTANCIA

El valor de la inductancia para el filtro será calculado con las siguientes ecuaciones:

$$\omega_n = 2\pi fn \quad (\text{Ecuación 2.17})$$

Donde:

ω_n : Frecuencia angular de resonancia (Hz)

n : Orden del armónico que se desea filtrar.

Un problema muy recurrente es la resonancia, este se produce cuando la frecuencia del sistema eléctrico coincide con la frecuencia de una fuente externa, por lo tanto y de acuerdo con la norma IEEE Std. 1531-2003, la frecuencia del filtro debe reducirse un 6%, así, el orden del 5° armónico será $n = 4.7$

$$L = \frac{1}{(\omega_n)^2 C} \quad (\text{Ecuación 2.18})$$

Donde:

L : Valor de la inductancia del filtro (H)

CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DEL FILTRO

Para obtener el valor de la resistencia es necesario conocer el valor del factor de calidad “ Q ”, se tomará como referencia los siguientes autores y sus opiniones:

- $Q = 30 - 60$ (Gers, 2008, pág. 21)
- $Q = 20 - 30$ (Mora Sanchez & Cevallos Chaves, 2014, pág. 131)

Se tomará un valor aprobado por ambos autores $Q = 30$, ahora se puede obtener el valor de la resistencia mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{\omega_n L}{Q} \quad (\text{Ecuación 2.19})$$

Donde:

R : Valor de la resistencia del filtro (Ω)

FACTOR DE CALIDAD

Llamado también factor de selectividad es un parámetro que indica la calidad de un elemento o de un sistema y está definido como: la relación entre la energía almacenada y la energía perdida en cada ciclo multiplicado por 2π .

$$Q = \frac{2\pi fL}{R} = \frac{1}{2\pi fCR} = X/R \quad (\text{Ecuación 2.20})$$

BARRIDO DE FRECUENCIA

Es el método empleado más común para el análisis de distorsión armónica. Básicamente el barrido de frecuencia precisa la frecuencia de respuesta de la red analizada desde un nodo particular de la red.

Se inyecta una corriente de 1 p.u. de una frecuencia dada en el nodo de interés y se calcula la tensión que aparece en dicho nodo.

2.2.9.4 Filtro sintonizado

Es un tipo de filtro pasivo que conectado al sistema eléctrico o a las cargas individuales tiene la función de mitigar el porcentaje de armónicos producidos por las cargas no lineales.

Se denomina sintonizado por que la impedancia del filtro disminuye hasta cero, facilitando que todas las corrientes con la misma frecuencia fluyan por el filtro, los armónicos de orden superior no están sujetas a la resonancia (Altamirano Alegría & Soto Enríquez, 2017, pág. 31).

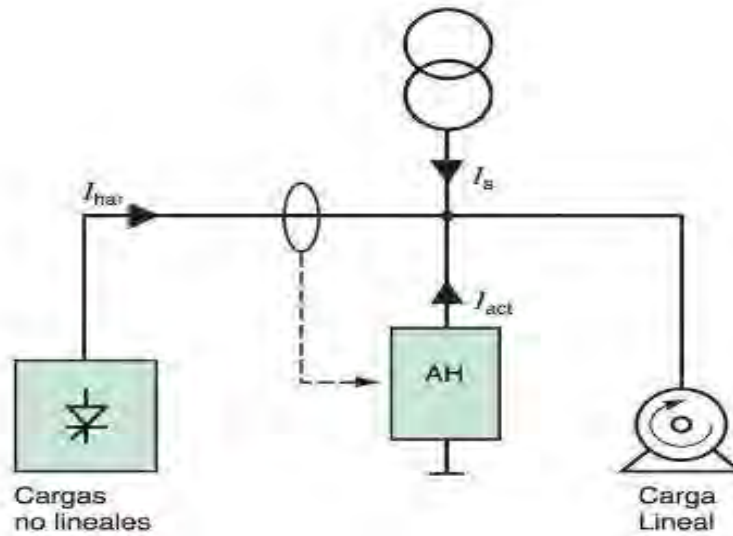
2.2.9.5 Filtros activos

Son aquellos filtros que presentan fuentes controladas o componentes activos, como los amplificadores operacionales, transistores o tubos de vacío. Estos componentes verifican la corriente de carga de la línea, con el objetivo de calcular la cantidad de corriente armónica y el orden de este.

Una vez reconocido la cantidad de corriente y el orden del armónico, el filtro genera las señales de corriente y de orden adecuado en oposición a los armónicos de la carga, resultando una señal con corrientes armónicas muy reducidas.

Figura 28

Principio De Funcionamiento De Un Filtro Activo



Fuente: Empresa SyZCominza

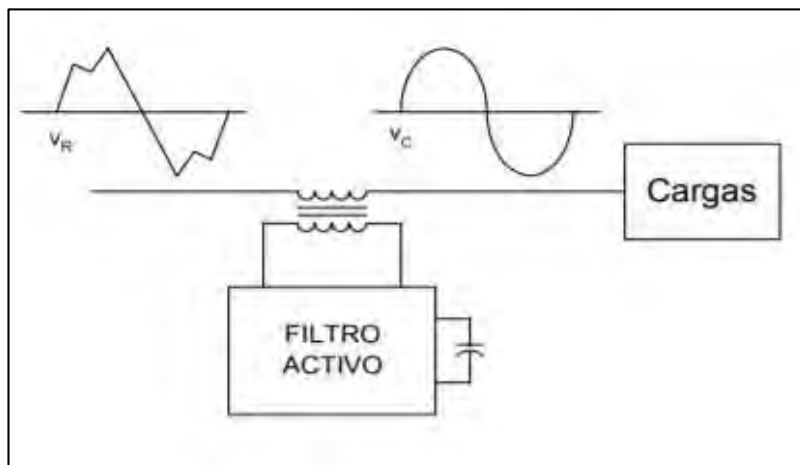
La Figura 28 muestra el funcionamiento de un filtro activo, cuando una señal eléctrica entra en un filtro activo, los componentes del circuito interactúan entre sí para modificar la amplitud y la fase de las diferentes frecuencias presentes en la señal. La compensación armónica tiene un rango que va desde el armónico de orden 2 hasta el 25, o desde el orden 2 al 50, con la probabilidad de una compensación parcial o total. El filtro activo actúa automáticamente sobre cualquier tipo de carga monofásica o trifásica con o sin neutro.

2.2.9.6 Filtro activo serie

Usamos una conexión en serie cuando la señal distorsionada se da en la tensión de la red.

Figura 29

Acción De Un Filtro Activo En Serie



Fuente: Fig. 6 Aplicación de un filtro activo en serie (Lamich, 2011, pág. 38).

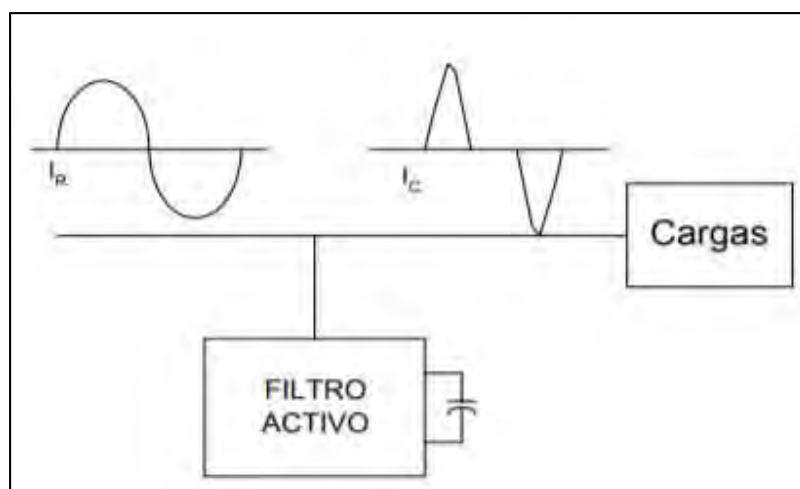
La Figura 29 muestra que los filtros activos en serie actúan como si de una fuente de tensión en serie con la red se tratara, siendo su principal función el mantener la señal de tensión en los bornes de la carga de forma sinusoidal.

2.2.9.7 Filtro activo paralelo

Este tipo de conexión es usado cuando existen cargas lineales que producen una distorsión armónica de corriente.

Figura 30

Acción De Un Filtro Activo En Paralelo



Fuente: Fig. 6 Aplicación de un filtro activo topología en paralelo (Lamich, 2011, UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA, ESPAÑA. pág. 39)

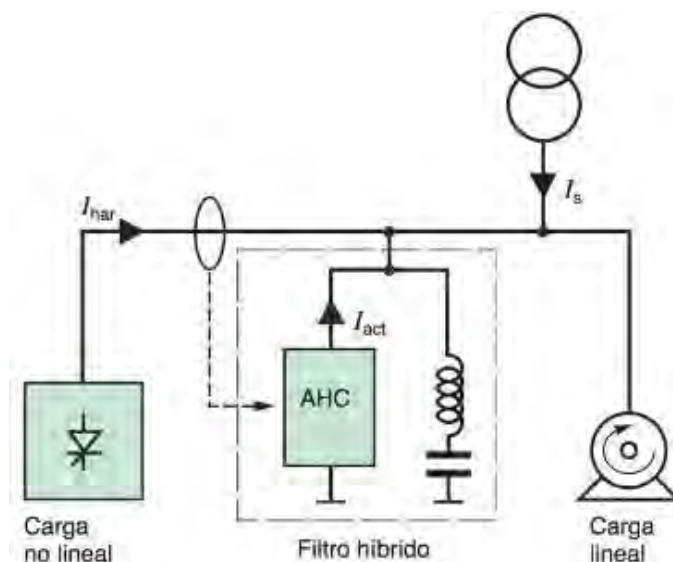
La Figura 30 muestra que los filtros en paralelo operan como si fueran una fuente de corriente, que tiene como objetivo minimizar los armónicos de corriente ocasionados por la carga.

2.2.9.8 Filtros híbridos

Con la finalidad de ampliar el nivel de utilización de los filtros activos y mejorar la operatividad de los filtros pasivos, se realiza una combinación de estas dos tecnologías en un solo equipo. Esta combinación permite también la reducción del tamaño y la minimización de costos de los filtros.

Figura 31

Principio De Funcionamiento De Un Filtro Híbrido



Fuente: Empresa SyZ Cominsa

La figura 31, representa un filtro híbrido que combina elementos de filtros electrónicos y mecánicos para proporcionar un rendimiento óptimo en la supresión de interferencias o ruido en una señal, también puede ser la combinación de dos o más tipos de filtros en un solo componente.

A. PERTURBACIONES

- La autoridad propicia el control de todo tipo de perturbaciones. Inicialmente, sin embargo, solo se controla el Flícker y las tensiones armónicas.

El Flícker y las armónicas se miden en el voltaje de *Puntos de Acoplamiento Común* (PAC) del sistema, de puntos indicados explícitamente en la Norma o de otros que especifique la Autoridad en su oportunidad.

- **Indicadores de calidad.** – se consideran los siguientes indicadores de calidad:
 - Para Flícker: el índice de severidad por Flícker de corta duración (P_{st}) definido a las normas IEC
 - Para Armónicas: las tensiones armónicas individuales (V_i) y el factor de distorsión total por armónicos (THD).

Estos indicadores (P_{st} , V_i , THD) se evalúan separadamente para cada intervalo de medición de diez (10) minutos durante el periodo de medición de perturbaciones que como mínimo serán de siete (7) días calendario continuos

2.3 Marco normativo

Cuando hablamos de normatividad se emplean los términos “Ley”, “Reglamento”, “Norma” y “Autoridad” estos se refieren a la Ley de Concesiones Eléctricas, a su Reglamento, a la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos y al Organismo Supervisor de Inversión en Energía y Minas – OSINERGMIN, respectivamente. También se cuentan con normas internacionales establecidas por el IEEE.

2.3.1 Normatividad nacional

2.3.1.1 Decreto ley N° 2584

La ley de Concesiones Eléctricas fue publicada el 19 de noviembre de 1992, norma todas las actividades relacionadas con la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica.

Desde que fue publicada ha sufrido una serie de modificatorias hasta el día de hoy, sin embargo la norma sigue expresada es así que, en su artículo 31°, literal e), hace referencia al cumplimiento de las disposiciones indicadas en el Código Nacional de Electricidad, además de otras normas técnicas aplicables, así mismo en el artículo 34°, literal a), hace referencia al cumplimiento en la prestación del servicio de suministro, dentro de su zona de concesión, a quien lo solicite o a aquellos que lleguen a dicha zona con sus propias líneas, dentro un plazo no mayor a un año y que tengan carácter de Servicio Público de Electricidad:

Literal c), Garantizar la calidad del servicio que fije su contrato de Concesión.

Literal d), Permitir la utilización de su sistema por parte de terceros, para suministrar energía a usuarios que no tengan el carácter de Servicio Público de Electricidad, ubicados dentro o fuera de su zona de concesión, en las condiciones establecidas en la presente Ley y su Reglamento.

2.3.1.2 Decreto supremo N° 020-97-EM

El presente Decreto Supremo aprueba la NTCSE (Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos), publicado el 11 de octubre de 1997, y como toda norma esta es susceptible a una serie de modificaciones, es así que, el alcance de esta norma fue modificado mediante el Artículo 1 del Decreto Supremo N° 040-2001-EM, del 17 de julio de 2001, quedando limitado en la NTCSE

La norma mencionada anteriormente se aplica a la prestación del servicio de suministro eléctrico relacionados con la generación y distribución, estos están sujetos a regulación de precios y es aplicable a suministros sujetos al régimen de libertad de precios en todo aquello que ambas partes no hayan acordado o no este pactado en contrato.

Esta Norma consta de 8 Títulos y 12 Disposiciones Finales, la cual, el TÍTULO QUINTO, trata sobre la Calidad de Producto suministrado al Cliente, la cual está evaluada según las transgresiones a los niveles aceptables de **tensión, frecuencia y perturbaciones** en los puntos de entrega. Una vez al mes se lleva a cabo el control de la Calidad de Producto, a este periodo se le denomina “Periodos de Control”.

B. TENSION

- **Indicador de Calidad.** - El indicador para analizar la tensión entregada, es la diferencia (ΔV_k) entre la media de los valores eficaces (RMS) instantáneos medidos en el punto de entrega (V_k) y el valor de la tensión nominal (V_N) del mismo punto, este es medido en un intervalo (k) de quince (15) minutos de duración. Este indicador esta expresado como un porcentaje de la tensión nominal del punto:

$$\Delta V_k(\%) = \frac{V_k - V_N}{V_N} * 100\% \text{ (expresada en \%)} \quad (\text{Fórmula N}^\circ 1)$$

- **Tolerancias.** - Las tolerancias aceptadas para las tensiones nominales en los puntos de entrega de energía es de hasta el $\pm 5\%$ de las tensiones nominales de tales puntos. Si se tratan de redes secundarias en servicios categorizados como Urbano-Rurales y/o Rurales, dichas tolerancias son de hasta $\pm 7.5\%$.

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si el nivel de tensión se encuentra fuera del rango de tolerancias indicados en este literal, esto por un tiempo superior al cinco por ciento (5%) del periodo de medición.

- **Compensaciones por mala calidad de tensión.** – Las empresas suministradoras deben compensar a sus clientes por aquellos suministros en los que esté comprobado que la calidad del producto no cumpla los estándares fijados en el anterior punto (Tolerancias).

Estas compensaciones son calculadas, para el Periodo de Medición, en base a la energía suministrada en condiciones de mala calidad durante ese Periodo, mediante las fórmulas que aparecen a continuación:

$$\text{Compensaciones por Variaciones de Tensión} = \sum_p a \cdot A_p \cdot E_{(p)} \quad (\text{Formula N}^\circ 2)$$

Donde:

p.- Es un intervalo de Medición en el que se violan las tolerancias en los niveles de tensión

a.- Es la compensación unitaria por violación de tensiones.

Primera Etapa : a = 0.00

Segunda Etapa : a = 0.01 US \$ / kWh.

Tercera Etapa : a = 0.05 US \$ / kWh.

A_p- Es un factor de proporcionalidad que está definido en función de la magnitud del indicador ΔV_p (%), medido en el intervalo p, de acuerdo a la tabla 15:

Tabla 15

Factor De Proporcionalidad En Función De Δv_p

Indicador A_p (%)	Todo Servicio A_p	Red Sec. Rural* A_p
$5.0 < \Delta V_p(\%) \leq 7.5$	1	NA
$7.5 < \Delta V_p(\%) $	$2 + (\Delta V_p(\%) - 7.5)$	NA
$7.5 < \Delta V_p(\%) \leq 10.0$	NA	1
$10.0 < \Delta V_p(\%) $	NA	$2 + (\Delta V_p(\%) - 10)$

Fuente: Datos de la tabla N°1 NTCSE [Elaboración propia]

* Se refiere a las redes secundarias (Baja Tensión) en los servicios calificados como Urbano – Rurales y Rurales.

A_p : Se calcula con dos (2) decimales de aproximación.

NA : No Aplicable.

$E_{(p)}$: Es la energía en kWh suministrada durante el intervalo de medición p

- **Control.** - El control se realiza a través de mediciones y registros monofásicos o trifásicos, según corresponda al tipo de Cliente, llevados a cabo con equipos debidamente certificados y cuyas especificaciones técnicas hayan sido previamente aprobadas por la Autoridad. La muestra mensual debe garantizar por lo menos el siguiente número de lecturas validas:

a) Una (1) por cada doce (12) de los puntos de entrega a Clientes con suministros en muy alta, alta y media tensión.

b) Una (1) por cada tres mil (3000) de los puntos de entrega a Clientes en baja tensión atendidos por la empresa distribuidora, con un mínimo de doce (12). La autoridad puede requerir hasta un diez por ciento (10%) de mediciones adicionales con lecturas válidas sobre esta cantidad. En la selección de puntos se considera la proporción de mediciones monofásicas y trifásicas equivalente a la proporción de tales suministros en baja tensión que atiende el Suministrador.

- La energía entregada a los Clientes en condiciones de mala calidad se evalúa o mide en los puntos de entrega respectivos, integrándola por intervalos de quince (15) minutos.

- Las fases de todos los sistemas trifásicos deben estar balanceadas y equilibradas; por lo que, ubicada una deficiencia de voltaje en un punto de medición en baja tensión, sea este un suministro monofásico o trifásico, son objeto de compensación todos aquellos clientes con suministros monofásicos y/o trifásicos que se encuentran en la(s) parte(s) del ramal “aguas - arriba” o “aguas - abajo”, según sea el caso, desde incluido el cliente en cuyo punto de entrega se realizó la medición.

C. FRECUENCIA

- **Indicadores de Calidad.** - El indicador principal para evaluar la frecuencia de entrega, en un intervalo de medición (k) de quince (15) minutos de duración, es la diferencia

(Δf_k) entre la Media (f_k) de los valores instantáneos de la Frecuencia, medidos en un punto cualquiera de la red de corriente alterna no aislado del punto de entrega en cuestión, y el valor de la frecuencia nominal (f_N) del sistema. Este indicador, denominado Variaciones Sostenidas de Frecuencia, está expresado como un porcentaje de la Frecuencia Nominal del Sistema:

$$\Delta f_k(\%) = \frac{f_k - f_N}{f_N} * 100\% \text{ (expresada en \%)} \quad (\text{Fórmula N}^\circ 3)$$

- Adicionalmente, se controlan las Variaciones Súbitas de Frecuencia (VSF) por intervalos de un minuto; y la Integral de Variaciones Diarias de Frecuencia (IVDF). Ambos indicadores se definen en función de la Frecuencia Instantánea $f(t)$ de la siguiente manera:

$$\text{VSF} = \sqrt{\left[\left(\frac{1}{1 \text{ minuto}} \right) \int_0^{1 \text{ minuto}} f^2(t) dt \right] - f_N^2} \text{ ; (expresada en: Hz)} \quad (\text{Fórmula N}^\circ 4)$$

$$\text{IVDF} = \int_0^{24 \text{ Hrs}} [f(t) - f_N] dt \text{ ; (expresada en: Ciclos)} \quad (\text{Fórmula N}^\circ 5)$$

Donde:

r : Es la suma algebraica de los valores de la integral que aparece como segundo término en el miembro derecho de la Fórmula N° 5, para cada uno de los días del año calendario, anteriores al día en que se evalúa la IVDF.

- **Tolerancias.** - Las tolerancias admitidas para variaciones sobre la frecuencia nominal, en todo nivel de tensión son:
 - Variaciones Sostenidas ($\Delta f_k(\%)$) : $\pm 0.6 \%$.
 - Variaciones Súbitas (VSF') : $\pm 1.0 \text{ Hz}$.
 - Variaciones Diarias (IVDF') : $\pm 600.0 \text{ Ciclos}$.
- Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad en cada caso: **i)** si las Variaciones Sostenidas de Frecuencia se encuentran fuera del rango de tolerancias por

un tiempo acumulado superior al uno por ciento (1%) del Periodo de Medición; **ii**) si en un Periodo de Medición se produce más de una Variación Súbita excediendo las tolerancias; o **iii**) si en un Periodo de Medición se producen violaciones a los límites establecidos para la Integral de Variaciones Diarias de Frecuencia.

- **Compensaciones por mala calidad de frecuencia.** - Los Suministradores deben compensar a sus Clientes por aquellos suministros en los que se haya comprobado que la calidad del producto no satisface los estándares fijados en los dos puntos anteriores.
- Las compensaciones por Variaciones Sostenidas de Frecuencia, por Variaciones Súbitas de Frecuencia y por Variaciones Diarias de Frecuencia se evalúan para el Periodo de Medición a través de las fórmulas que aparecen a continuación, las mismas que están expresadas en función a la potencia o energía suministrada en condiciones de mala calidad.

$$\text{Compensaciones por Variaciones Sostenidas} = \sum_q b * B_q * E_{(q)} \quad (\text{Formula N}^\circ 6)$$

Donde:

q.- Es un intervalo de medición de quince (15) minutos de duración en el que se violan las tolerancias en los niveles de frecuencia.

b.- Es la compensación unitaria por violación de frecuencias:

Primera Etapa : b=0.00

Segunda Etapa : b=0.01 US\$/kWh

Tercera Etapa : b=0.05 US\$/kWh

B_q .- Es un factor de proporcionalidad definido en función de la magnitud del indicador Δf_q (%), medido en el intervalo q, de acuerdo a la tabla 16:

Tabla 16*Factor De Proporcionalidad En Función De Δf_q*

Δf_q (%)	B_q
$0.6 < \Delta f_q(\%) \leq 1.0$	1
$1.0 < \Delta f_q(\%) $	$2 + (\Delta f_q(\%) - 1)/0.1$

Fuente: Datos de la tabla N°2 NTCSE [Elaboración Propia]

B_q , se calcula con dos (2) decimales de aproximación.

$E_{(q)}$.- Es la energía en kWh suministrada durante el intervalo de medición q.

Compensaciones por Variaciones Súbitas = $b' * B_m * P_m$ (Fórmula N° 7)

Donde:

b' .- Es la compensación unitaria por variaciones súbitas de frecuencia:

Primera Etapa : $b'=0.00$

Segunda Etapa : $b'=0.01$ US\$/kW

Tercera Etapa : $b'=0.05$ US\$/kW

B_m .- Es un factor de proporcionalidad que está definido en función del Número de Variaciones Súbitas de Frecuencia (N_{VFS}) que transgreden las tolerancias durante el Periodo de Medición, de acuerdo a la tabla 17:

Tabla 17*Factor De Proporcionalidad En Función De N_{VFS}*

(N_{VFS})	B_m
$1 < N_{VFS} \leq 3$	1
$3 < N_{VFS}$	$2 + (N_{VFS} - 3)$

Fuente: Datos de la tabla N°3 NTCSE [Elaboración propia]

Una variación Súbita de Frecuencia está definida como la violación de las tolerancias en un intervalo de medición de un minuto.

P_m .- Es la máxima potencia entre las registradas, expresada en kW, tomadas por intervalo de 15 minutos, dentro de los cuales se producen variaciones súbitas transgrediendo las tolerancias. Si por estas condiciones no es posible tener dichos registros, se tomará el correspondiente al intervalo inmediato anterior a la falla.

$$\text{Compensaciones Por Variaciones Diarias} = \sum_{d \in \text{mes}} b'' * B_d * P_d. \text{ (Fórmula N° 8)}$$

Donde:

d.- Es un día del mes en consideración en el que se violan las tolerancias.

b'' .- Es la compensación unitaria por variaciones diarias de frecuencia:

Primera Etapa : $b''=0.00$

Segunda Etapa : $b''=0.01$ US\$/kW

Tercera Etapa : $b''=0.05$ US\$/kW

B_d .- Es un factor de proporcionalidad que está definido en función de Magnitud de la Integral de Variaciones Diarias de Frecuencia (M_{VDF}) evaluada para el día d, de acuerdo a la tabla 18:

Tabla 18

Factor De Proporcionalidad En Función De M_{VDF}

M_{VDF} (ciclos)	B_d
$600 < M_{VDF} \leq 900$	1
$900 < M_{VDF} $	$3 + (M_{VDF} - 900)/100$

Fuente: Datos de la tabla N°4 NTCSE [Elaboración Propia]

B_d , se calcula con dos (2) decimales de aproximación.

P_d .- Es la potencia máxima suministrada durante el día d, expresada en kW.

- **Control.** - El control se realiza a través de mediciones y registros llevados a cabo con equipos debidamente certificados y cuyas especificaciones técnicas hayan sido previamente aprobadas por la Autoridad.

Durante todo el periodo de medición, el coordinador de la operación en tiempo real, en el caso de sistemas interconectados, y el encargado de la operación en tiempo real, en el caso de sistemas aislados, están obligados a realizar las mediciones necesarias que garanticen el registro de la frecuencia de todo el sistema y/o de aquellas de sus partes que podrían operar temporalmente de manera separada, y de entregar esta información a la Autoridad y a los integrantes del sistema. El Periodo de Medición es de un (1) mes calendario, coincidiendo con el Periodo de Control y se registran los niveles instantáneos de frecuencia.

- La energía entregada a los Clientes en condiciones de mala calidad se evalúa o mide en los puntos de entrega respectivos, integrándola por intervalos de quince (15) minutos.

D. TOLERANCIAS

- **Flicker.** – El índice de severidad por Flicker (P_{st}) no debe superar la unidad ($P_{st} \leq 1$) en alta, media ni baja tensión. Se considera el límite $P_{st} = 1$ como el umbral de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de población.
- **Tensiones Armónicas.** – los valores eficaces (RMS) de las tensiones armónicas individuales (V_i) y los THD, expresado como porcentaje de la tensión nominal del punto de medición respectivo, no deben superar los valores límite (V_i' y THD') indicados en la siguiente tabla. Para efectos de esta norma, se considera las armónicas comprendidas entre la dos (2°) y la cuarenta (40°), incluyendo ambas.

Tabla 19*Tolerancia De Perturbaciones*

ORDEN (n) DE LA ARMONICA O THD	TOLERANCIA (% respecto a la Tensión Nominal del punto de medición)	
	PARA TENSIONES MAYORES A 60 KV	PARA TENSIONES MENORES O IGUALES A 60 KV
Armónicas Impares no múltiplos de 3		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
mayores de 25	0.1 + 2.5/n	0.2 + 2.5/n
Armónicas impares múltiplos de 3		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
mayores de 21	0.2	0.2
Pares		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
mayores de 12	0.2	0.5
THD	3	5

Fuente: Tabla N° 5 NTCSE (Elaboración Propia)

La tabla 19, tolerancia de perturbaciones, se refiere a la capacidad de un sistema eléctrico o dispositivo para funcionar correctamente y mantener su rendimiento incluso cuando se enfrenta a diversas perturbaciones en la calidad de la energía suministrada.

- **Compensaciones por exceso de perturbaciones.** – Los suministradores deben compensar a sus clientes por aquellos suministros en los que se hayan comprobado que la calidad de producto no satisface los estándares fijados en la norma.

- Aquellos clientes que excedan las tolerancias de emisión de perturbaciones establecidas para ellos individualmente no son compensados por aquellos parámetros de la calidad a cuyo deterioro han contribuido durante el periodo de control respectivo.
- Las compensaciones que se pagan a los clientes alimentados desde el punto de medición donde se verifica la mala calidad, se calculan para el periodo de medición a través de las fórmulas que aparecen a continuación, las mismas que están expresadas en función a la energía entregada en condiciones de mala calidad:

$$\text{Compensación por Armónicas} = \sum_s d * D_s * E_{(s)} \quad (\text{Fórmula N}^\circ 9)$$

Donde:

s. – Es un intervalo de medición en el que se violan las tolerancias por armónicas

d. – Es compensación unitaria por armónicas:

Primera Etapa	:	d=0.00
Segunda Etapa	:	d=0.10 US\$/kWh
Tercera Etapa	:	d=1.10 US\$/kWh

D_s . – Es un factor de proporcionalidad que está definido en función de la magnitud de la Distorsión Penalizable por Armónicos DPA(s) calculado para el intervalo de medición “s” como:

$$\text{DPA}(s) = (\text{THD}(s) - \text{THD}') / \text{THD}' + (1/3) \sum_{i=2...40} ((V_i(s) - V_i') / V_i') \quad (\text{Fórmula N}^\circ 10)$$

2.3.2 Normatividad internacional

2.3.2.1 IEEE Std. 519-2014

Institute Electrical and Electronic Engineers (IEEE), Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos, en base a estudios de armónicos ha publicado el documento IEEE – 519 titulado “Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power System”, donde se establecen límites para las distorsiones armónicas.

Este documento ha sido modificado según las nuevas tecnologías, siendo la versión inicial la del año 1992, actualmente se trabajó con la versión más actualizada IEEE STD. 519 – 2014. Este documento solo recomienda algunas prácticas que se deben de tener en cuenta en el campo eléctrico, no es una norma legal; sin embargo, se debe de aplicar estas recomendaciones si se desea un buen funcionamiento en todo sistema eléctrico.

En el documento se establecen recomendaciones aplicables para las distorsiones de tensión y corriente, basados en los siguientes puntos:

- Las compañías suministradoras de energía deben limitar las distorsiones de tensión y garantizar una tensión de calidad al usuario.
- Los usuarios son responsables de limitar la cantidad de corrientes armónicas que se inyectan al sistema de la red eléctrica.

a) Límites de distorsión de tensión

La IEEE no hace una diferencia entre los distintos niveles de armónicos de tensión; sin embargo, especifica un valor máximo para la distorsión armónica individual y la Distorsión Armónicas Total (THD) en función al nivel de tensión suministrado.

Tabla 20

Límites De Distorsión De Tensión

Tensión en el punto de conexión común (PCC)	Distorsión armónica individual (%)	Distorsión armónica total (%)
$V \leq 1.0 \text{ KV}$	5.0	8.0
$1 \text{ KV} < V \leq 69 \text{ KV}$	3.0	5.0
$69 \text{ KV} < V \leq 161 \text{ KV}$	1.5	2.5
$V > 161 \text{ KV}$	1.0	1.5

Fuente: Tabla 1 (IEEE Std. 519 – 2014, 2014, pág. 19)

La tabla 20 se refiere a las restricciones o especificaciones establecidas para la cantidad de distorsión armónica que se permite en una señal de voltaje en un sistema eléctrico.

b) Límites de distorsión de corriente

Los límites que establece la IEEE están calculados en proporción a la potencia instalada al cliente. Al igual que en el caso de las tensiones, los límites de corriente también son recomendaciones y deben de ser considerados como caso óptimo de funcionamiento.

El rango de la carga respecto a la carga está definido como la relación de corto circuito (SCR), a su vez, el SCR es la relación entre la corriente de corto circuito I_{sc} y la corriente de frecuencia fundamental en la carga I_L .

$$SCR = \frac{I_{sc}}{I_L} \quad (\text{Ecuación 2.21})$$

Donde:

I_{sc} : Máxima corriente de cortocircuito en el PCC

I_L : Máxima corriente de carga demandada en el PCC

Tabla 21

Límites De Distorsión De Corriente

Máxima distorsión de corriente armónica en % de I_L						
I_{sc} / I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	TDD
< 20	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	4.5	4.0	1.5	0.7	12
100 - 1000	12	5.5	5.0	2.0	1.0	15
> 1000	15	7.0	6.0	2.5	1.4	20

Fuente: Tabla 2 (IEEE Std. 519-2014, pág 20)

La tabla 21, se refiere a las restricciones establecidas por la IEEE Std 519, para la presencia de armónicos en una señal de corriente eléctrica en un sistema de potencia.

CAPITULO III: DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA CLÍNICA MAC SALUD CUSCO

3.1 Datos técnicos de la subestación

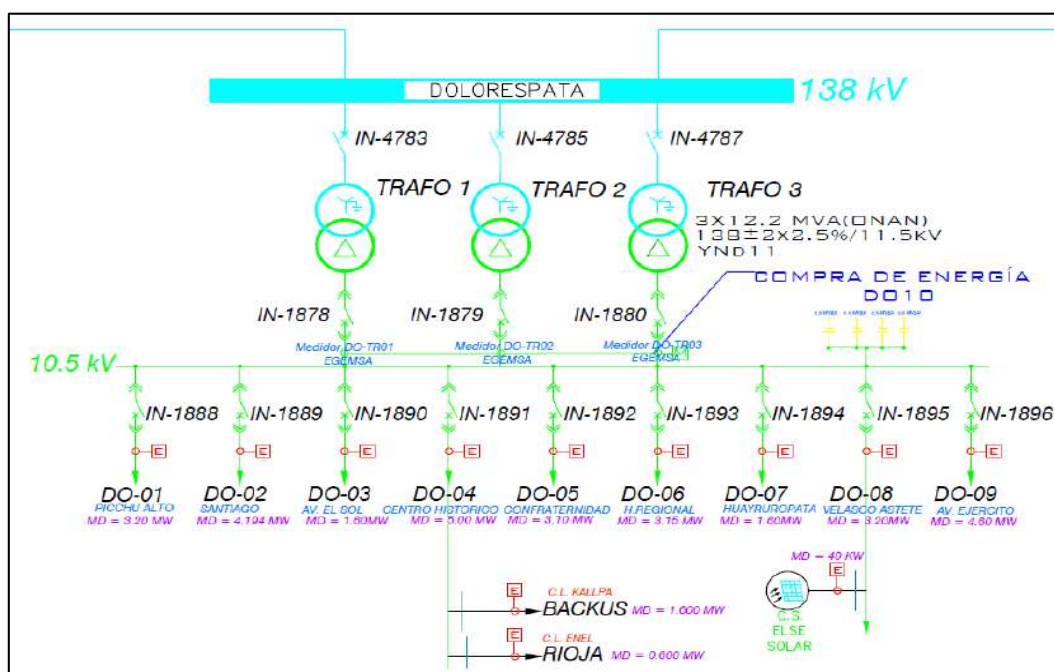
En este capítulo realizamos una evaluación de la situación actual de la clínica Mac Salud Cusco, para ello es necesario tener algunos datos generales del alimentador y demás factores intervinientes y/o necesarios para el estudio de la calidad de producto eléctrico en la clínica

3.1.1 Datos del alimentador y la Subestación

El suministro para la clínica Mac Salud Cusco surge del alimentador 06 de Dolorespata (DO-06), que está conectada a la barra de 10.6 KV de la Sub-Estación Dolorespata, y trabaja a una frecuencia de 60 Hz. Este alimentador es la principal fuente de suministro eléctrico y uno de los más cargados en el distrito de Wánchaq, Cusco.

Figura 32

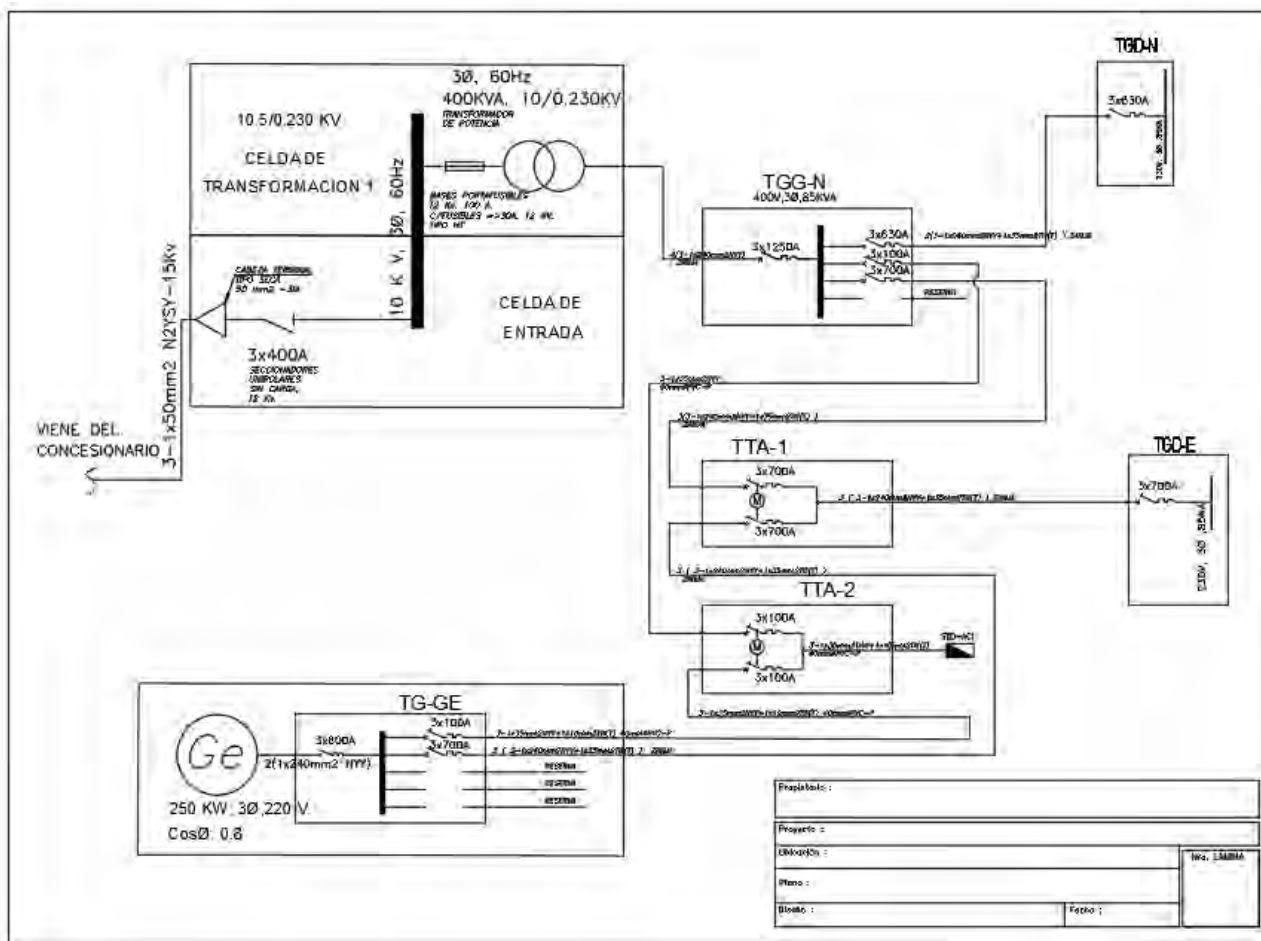
Diagrama Unifilar Alimentador Dolorespata



Fuente: ELSE, oficina del SID

Figura 33

Diagrama Unifilar De La Subestación SED 0011013 De La Clínica Mac Salud Cusco.



Fuente: Área de mantenimiento de la Clínica Mac Salud Cusco.

La figura 32 muestra la línea de alimentación desde la barra de Dolorespata de 138 KV hasta la línea DO-06 encargada de suministrar energía eléctrica a la Clínica Mac Salud Cusco y sus alrededores. Por otro lado, la figura 33, representa el diagrama unifilar de la Subestación SED 0011013 ubicada en el interior de la clínica.

Actualmente el alimentador DO-06 representa un 15% de la carga total de la Sub-Estación Dolorespata.

3.1.2 Datos del transformador

La clínica Mac Salud Cusco cuenta con un cuarto de máquinas, en el interior se encuentra la Sub-Estación 0011013. Con un transformador de 450 KVA de la marca CEA. A continuación, algunos datos de la placa del transformador.

Tabla 22

Características Técnicas Y De Operación Del Transformador

Características técnicas		Datos de operación	
Número de serie	35757	Refrigeración	ONAN
Marca	CEA	Frecuencia (Hz)	60
Potencia (kVA)	450	Posición del conmutador	3
Tensión nominal (kV)	230	Tensión A.T. (kV)	10.5
Grupo de conexión	Dd0	Tensión B.T. (kV)	0.23

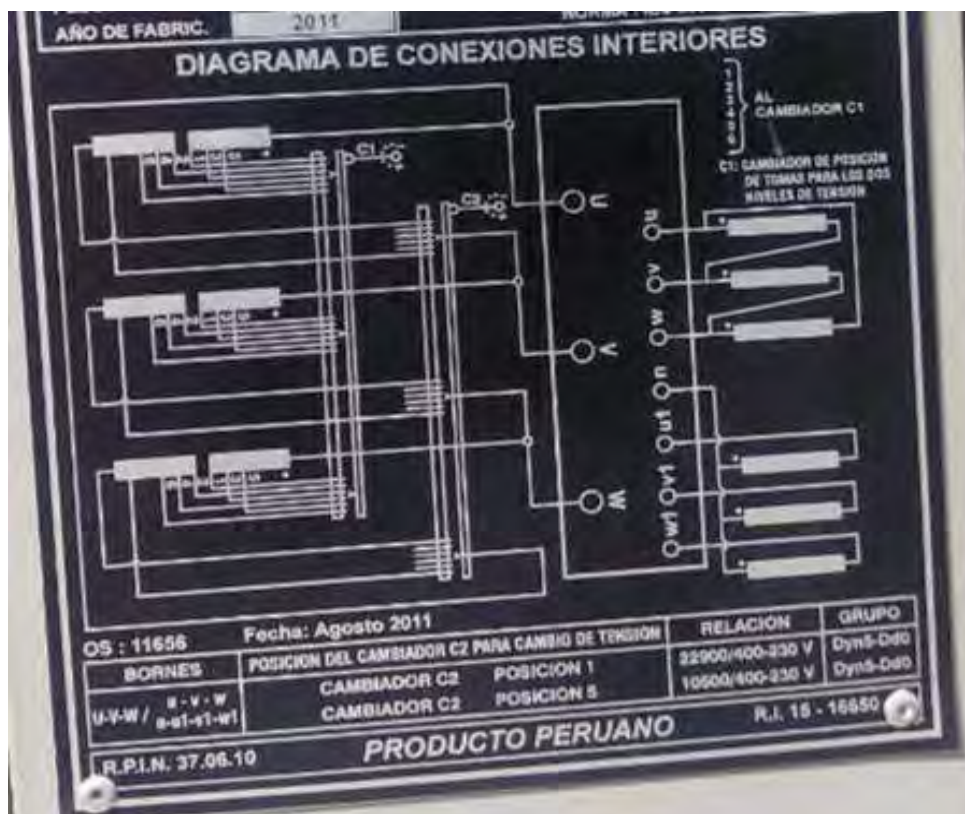
Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 22, muestra la etiqueta, datos del transformador, que se encuentra físicamente en el transformador y proporciona información importante sobre sus especificaciones técnicas y su funcionamiento.

Figura 34

Placa De Características Del Transformador

TRANSFORMADOR		TIPO	T3DO	Nº SERIE	95757
POTENCIA (KVA)	550		POTENCIA (KVA)	450	
FRECUENCIA (Hz)	60		TAP Nº	AT (V)	BT (V)
Nº DE FASES	3		1	24045 11644.5	230 (U-V-W)
Tcc a 75°C (22.9/0.23kV)	6.05 %		2	23472.5 11072.25	
Tcc a 75°C (18.5/0.23kV)	4.54 %		3	22900 10500	
Tcc a 75°C (22.9/0.40kV)	1.16 %		4	22327.5 9927.75	
Tcc a 75°C (18.5/0.40kV)	0.82 %		5	21755 9355.5	
ENFRIAMIENTO	ONAN		INTENSIDAD (A)	13.87	30.24
CLASE AISLAM.	A		POTENCIA (KVA)	1129.60	
ALTITUD (msnm)	3500		TAP Nº	AT (V)	BT (V)
MONTAJE	EXTERIOR		1	24045 11644.5	400 (n-u1-v1-w1)
T amb-max	40 °C		2	23472.5 11072.25	
CALENT. ACEITE	60 °C		3	22900 10500	
CALENT. COBRE	65 °C		4	22327.5 9927.75	
ACEITE NYNAS	1ZAR I		5	21755 9355.5	
PESO ACEITE	488 Kg.		INTENSIDAD (A)	13.87	30.24
PESO P. ACTIVA	1077 Kg.		NIV. AISL. INT.(KV)	24	50 125
PESO TOTAL	1820 Kg.		NIV. AISL. EXT.(KV)	170	
AÑO DE FABRIC.	2011		ANTES DE OPERAR EL CAMBIADOR DE TOMAS DESCONECTAR EL TRANSFORMADOR DE LA RED.		
NORMA : IEC 60076					



Fuente: Clínica Mac Salud.

La figura 34, muestra la placa de características del transformador que generalmente se encuentra en el cuerpo del transformador y proporciona información importante sobre sus especificaciones y capacidades.

3.1.3 Datos del tablero

En la SE de la clínica se encuentran tableros principales de tipo auto soportado, donde se encuentran los elementos de control, protección y maniobra de los circuitos eléctricos. Este tipo de tableros son fabricados a base de láminas de fierro galvanizado, con un espesor de 2 mm; el gabinete está recubierto con pintura electrostática a base de polvo de color gris.

Presenta una tapa que cubre las partes vivas de tablero, evitando así contactos accidentales con partes energizadas.

Figura 35*Tablero De Principal De La Se De La Clínica Mac Salud*

Fuente: clínica Mac salud

La figura 35, muestra el tablero Principal de la Clínica Mac Salud Cusco, el cual nos ayudará a reconocer los circuitos alimentadores de los Tableros de Distribución que van a cada nivel de la clínica, así como también los circuitos derivados de alumbrado, tomacorrientes y cargas especiales.

3.1.4 Datos del grupo electrógeno

Un grupo electrógeno es un dispositivo capaz de convertir la energía térmica en energía mecánica, para luego convertirla en energía eléctrica.

El grupo electrógeno funciona como una fuente auxiliar que responde a las necesidades de la clínica en caso no se cuente con el suministro de energía eléctrica. La clínica Mac salud

posee un grupo electrógeno de la marca Modasa del año 2012, a continuación, presentamos un cuadro con las principales características del grupo.

Tabla 23

Características Del Grupo Electrónico

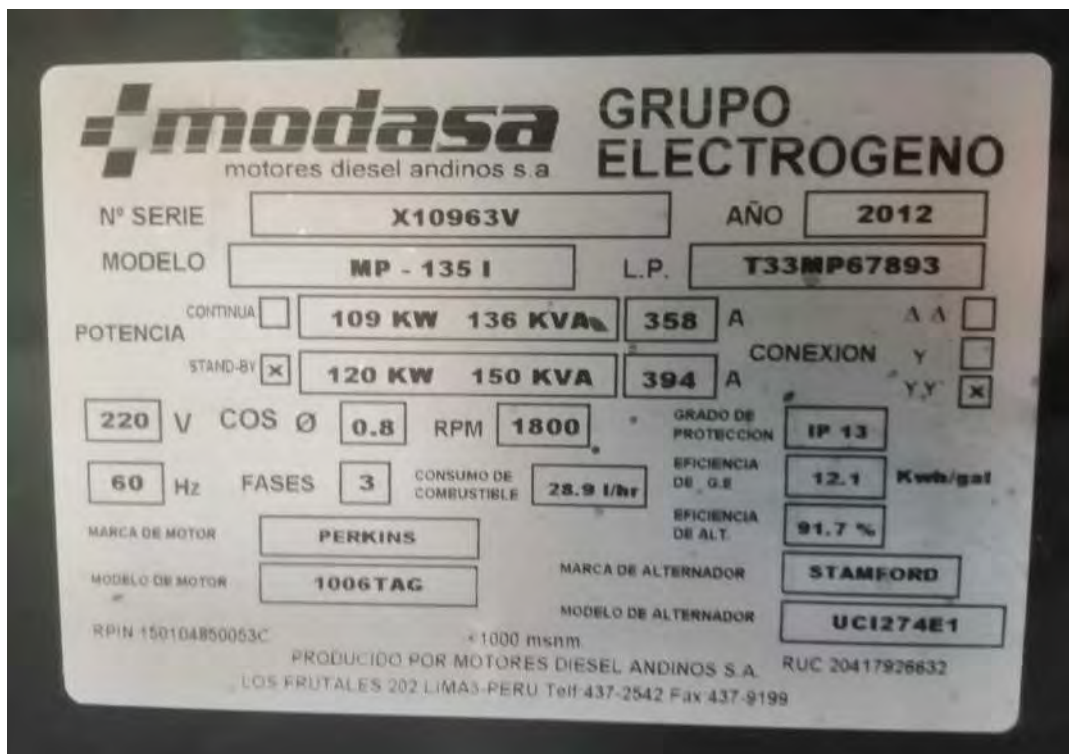
DATOS DE LA PLACA DE CARACTERISTICAS			
serie	X10963V	potencia	120 KW - 150 KVA
modelo	MP - 135 I	tensión nominal	220 v
año	2012	frecuencia	60 Hz
fases	3	conexión	Y y
cos Ø	0.8	rpm	1800

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 23 muestra los datos de la placa de características del grupo electrógeno que es componente fundamental ya que proporciona información técnica y específica sobre el equipo.

Figura 36

Placa De Características Del Grupo Electrónico



Fuente: clínica Mac salud

La figura 36, muestra los datos esenciales de la placa de características del grupo electrógeno como, Marca y modelo, Potencia nominal, Tensión nominal, frecuencia nominal, Tipo de combustible, Número de fases, etc., esta placa se encuentra ubicada en una parte visible del generador

Figura 37

Grupo Electrógeno De La Clínica Mac Salud



Fuente: Clínica Mac Salud (elaboración propia)

La figura 37, es la figura típica del grupo electrógeno de la Clínica Mac Salud, suele consistir en un conjunto integrado de componentes esenciales para la generación de electricidad.

3.2 Descripción del equipo de medición

Para la recopilación de los datos necesarios para este tema de investigación se utilizó un analizador de redes del tipo portátil, el cual nos fue facilitado por la Oficina de Control de Calidad de la Gerencia de Operaciones de la empresa ELSE.

3.2.1 Características del equipo

El equipo utilizado fue un analizador de redes PQ – BOX 100 M1327 – 127. A continuación, un cuadro con sus principales datos.

Tabla 24

Datos Generales Del Analizador De Redes Pq-Box 100

DATOS GENERALES DEL EQUIPO			
Marca:	A- EBERLE	Alcance:	300 V, 3000 A
Modelo:	PQ - BOX 100 EXPERT	Fecha de calibración:	03/07/2019
Serie:	M1327 - 127	Alimentación:	220 V, 60 Hz
Tipo:	4U/4I Res. GFE	Temperatura:	20.5 °C
Homologación:	OSINERGMIN N° 061-2009	Software:	WinPQ móvil

Fuente: Placa de Características del Equipo (elaboración propia)

La tabla 24, muestra los datos generales del analizador de redes o llamado también analizador de espectro.

Figura 38

Analizador De Redes Pq-Box 100



Fuente: Elaboración Propia

La figura 38, muestra el equipo analizador de redes, en este caso se puede notar algunos valores medidos como tensiones y corrientes en cada uno de las fases.

3.2.2 Documentos del equipo

Los certificados de calibración tienen una vigencia de dos (02) años a partir de su primer uso, luego la calibración tiene una vigencia de un (01) año tal y como lo especifica en la NTCSE.

El analizador de redes utilizado en la Clínica Mac Salud se encuentra vigente y calibrado por el laboratorio de INSPERSAC, además, cuenta con la resolución de homologación GFE OSINERGMIN N° 061-2009, estos documentos son considerados para las mediciones según lo indica la NTCSE, el laboratorio y la resolución se encuentran considerados en la relación de equipos y laboratorios aprobados por OSINERGMIN. (ver anexo 4 y anexo 5).

3.2.3 Configuración

El transformador de la clínica tiene un conexionado de tipo Dd0, y para poder realizar la toma de datos, el analizador de redes PQ-BOX 100 se conectó en serie con el transformador en el lado de 10.5 KV.

El equipo analizador de redes ya venía previamente configurado por el personal de la empresa ELSE, así que se procedió a la instalación directa del equipo, la figura 39 muestra la conexión del analizador de redes.

Figura 39

Instalación Del Equipo Analizador De Redes



Fuente: Elaboración Propia

3.3 Metodología de la medición

Para la instalación del equipo analizador de redes PQ-BOX 100 y el procesamiento de los datos se tomaron en cuenta las medidas de seguridad necesarias y una adecuada manipulación del equipo, según la disposición de la NTCSE.

Con la finalidad de poder realizar una comparación de las mediciones, tomamos en cuenta mediciones previas realizadas en la clínica Mac Salud, por la empresa ELSE en mayo del año 2019 y principalmente trabajaremos con los datos obtenidos durante nuestras mediciones realizadas en noviembre de 2020.

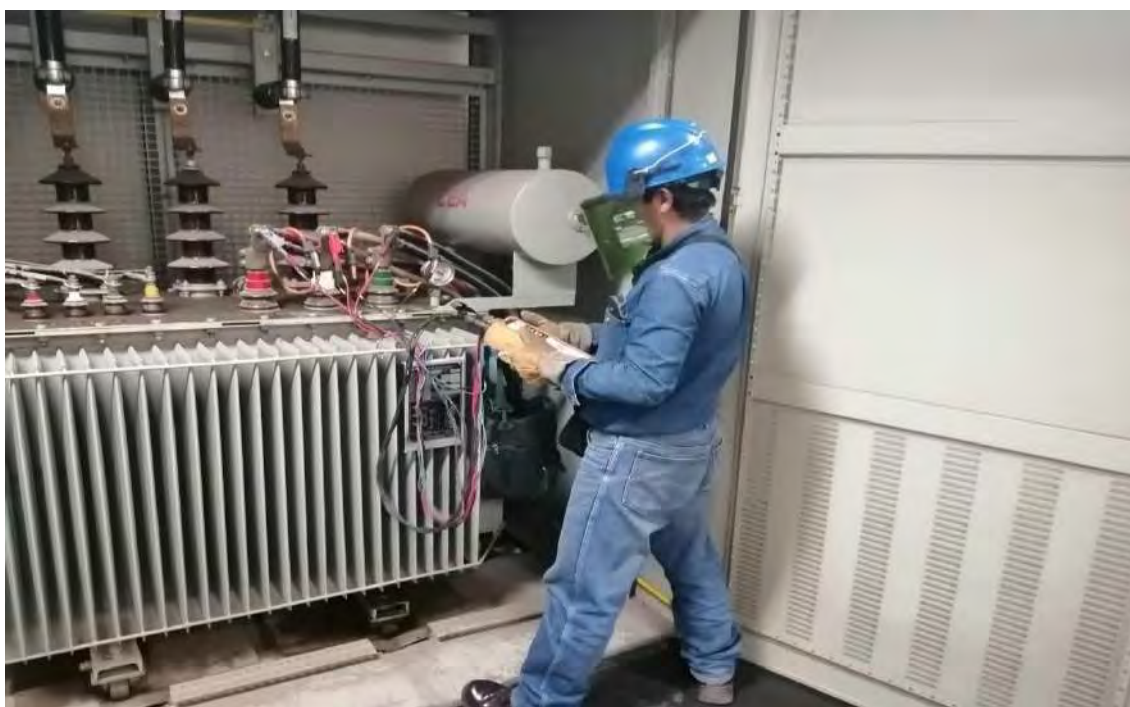
3.3.1 Medidas de seguridad

El equipo analizador de redes se conectó al transformador en funcionamiento, es decir, con las líneas y los tableros energizados; teniendo en consideración esta situación es necesario que el personal involucrado durante la instalación cuente con el equipo de protección personal (EPP), el cual detallamos a continuación:

- Casco dieléctrico
- Zapatos dieléctricos
- Guantes dieléctricos y mecánicos
- Ropa de trabajo adecuado
- Mascara dieléctrica protectora del rostro

Figura 40

Personal De Else Con El Epp Completo



Fuente: Elaboración Propia.

Para la instalación del equipo analizador de redes PQ-BOX 100 se tomó en cuenta un día tipo de trabajo en la clínica el equipo se instaló el viernes 13 de noviembre de 2020 a horas

14:50 y según lo establece la NTCSE, el equipo recolectó información durante siete (07) días, lo cual se aprecia en la figura 40.

El personal de ELSE cuenta con un formato establecido por la misma empresa denominado “Planilla de medición de suministros”, el cual es llenado únicamente por el personal técnico de ELSE (ver anexo 6)

Figura 41

Instalación Del Equipo Analizador De Redes



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 39, 40 y 41 podemos observar a un técnico de la empresa ELSE, realizando la instalación del equipo analizador de redes en el lado de alta del transformador, esto con el objetivo de tomar los valores necesarios para la evaluación de la calidad de energía de la Clínica Mac Salud Cusco.

Una vez concluida la instalación del equipo se procedió al recojo de herramientas y al cierre de la SE.

3.3.3 Descarga y procesamiento de datos

Concluido el periodo de medición (07 días) se procedió con el retiro del equipo el sábado 21 a horas 10:50; siguiendo los procedimientos adecuados y al igual que durante la instalación teniendo en cuenta el riesgo de trabajo se utilizó el EPP necesario antes descrito.

Los datos recolectados fueron previamente procesados en la oficina de Control de Calidad de la empresa ELSE, donde fueron validados para luego se nos pueda facilitar la información requerida para nuestro estudio.

Figura 42

Retiro Del Equipo Analizador De Redes



Fuente: Elaboración Propia.

La figura 42, muestra la desinstalación del equipo analizador de redes, el trabajo ya concluido por parte de la Empresa ELSE.

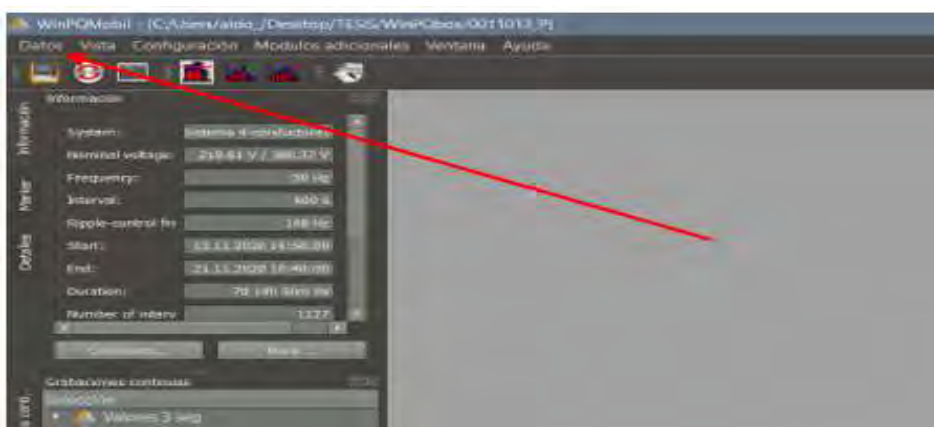
Para la recolección de datos se utilizó el software PQ-WIN, este programa es de directa aplicación para el Analizador de redes utilizado.

Para extraer los datos seguimos los siguientes pasos:

1. Nos dirigimos a la pestaña “Datos”, y seleccionamos “Exportar a CSV”

Figura 43

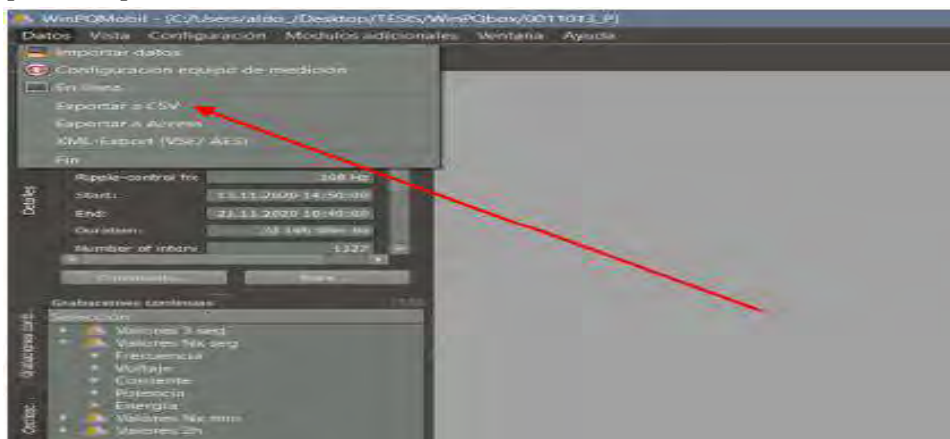
Opción Datos



Fuente: Software WinPQ Movil (elaboración propia)

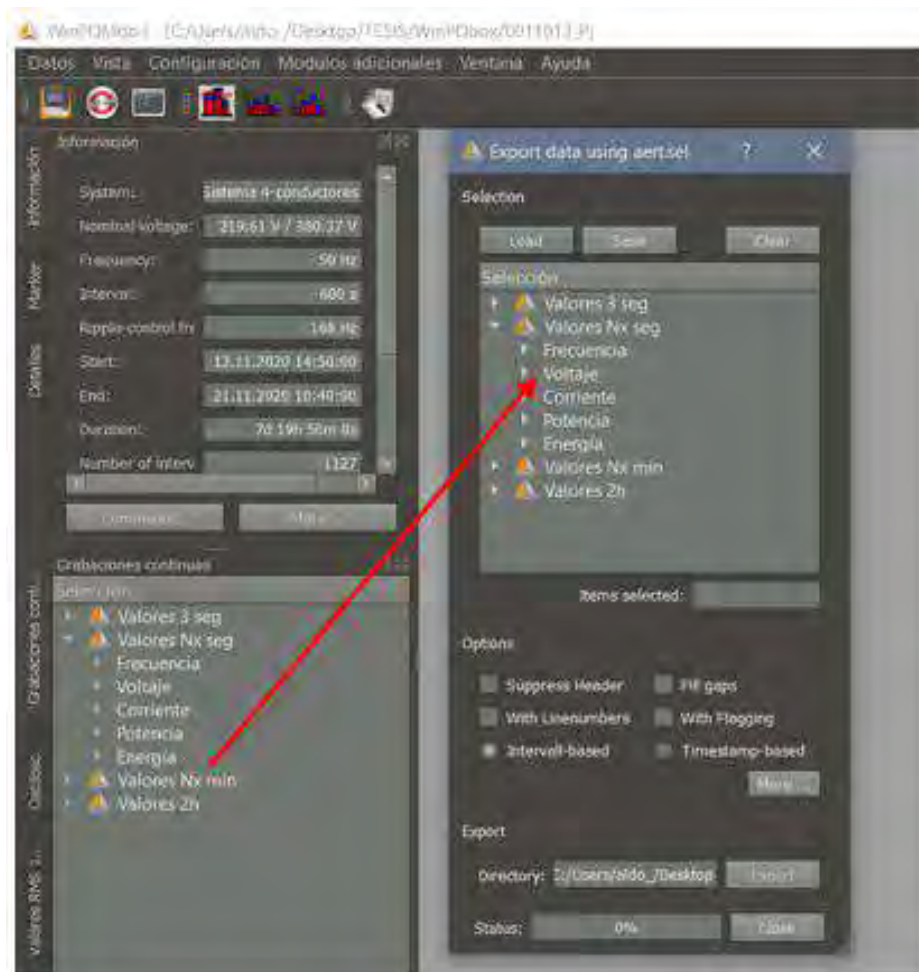
Figura 44

Opción Exportar A CSV



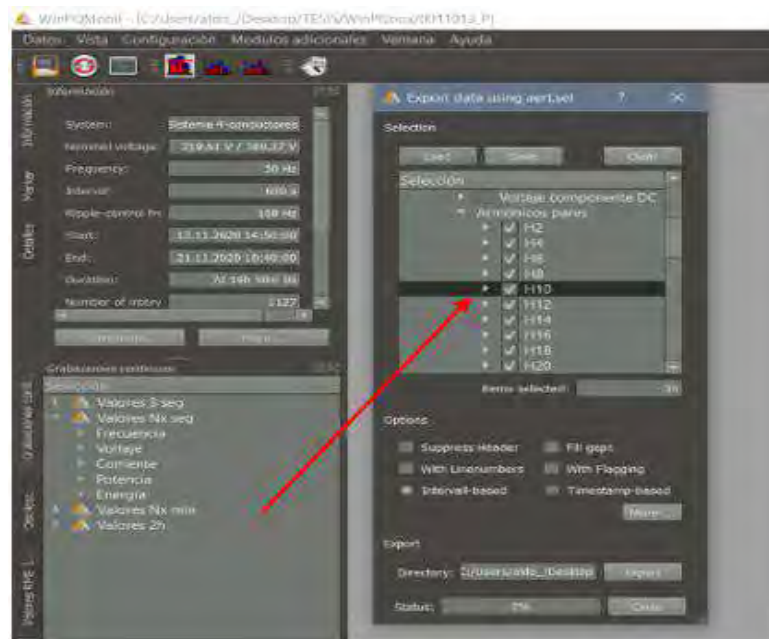
Fuente: Software WinPQ Movil (elaboración propia)

2. Seleccionamos el parámetro que se desea extraer, en este caso seleccionaremos la tensión.

Figura 45**Selección De Parámetro Para Su Descarga**

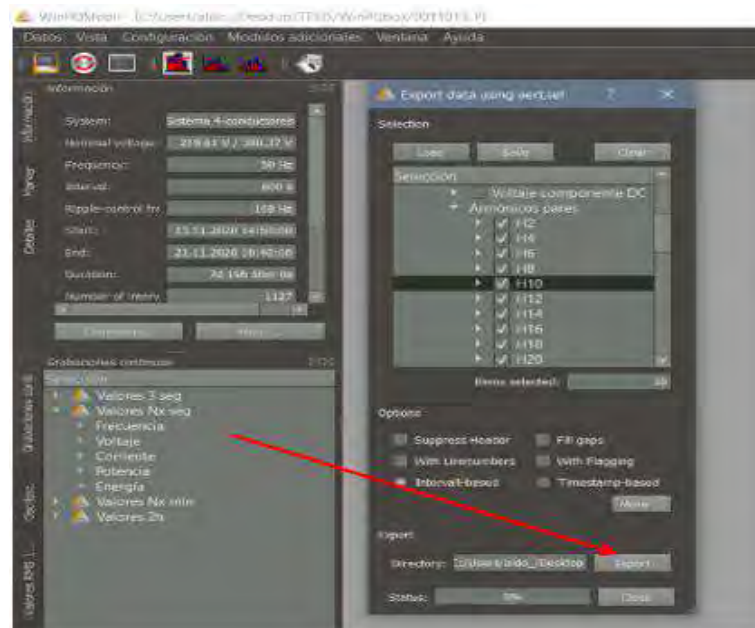
Fuente: Software WinPQ Movil (elaboración propia)

3. Seleccionamos los datos requeridos, para nuestro ejemplo los armónicos pares, seleccionamos todos los niveles de armónicos, el mismo procedimiento para los armónicos impares.

Figura 46**Selección De Armónicos Pares De Tensión**

Fuente: Software WinPQ Movil (elaboración propia)

4. Clic en el botón “Export”, nombramos el archivo y guardamos.

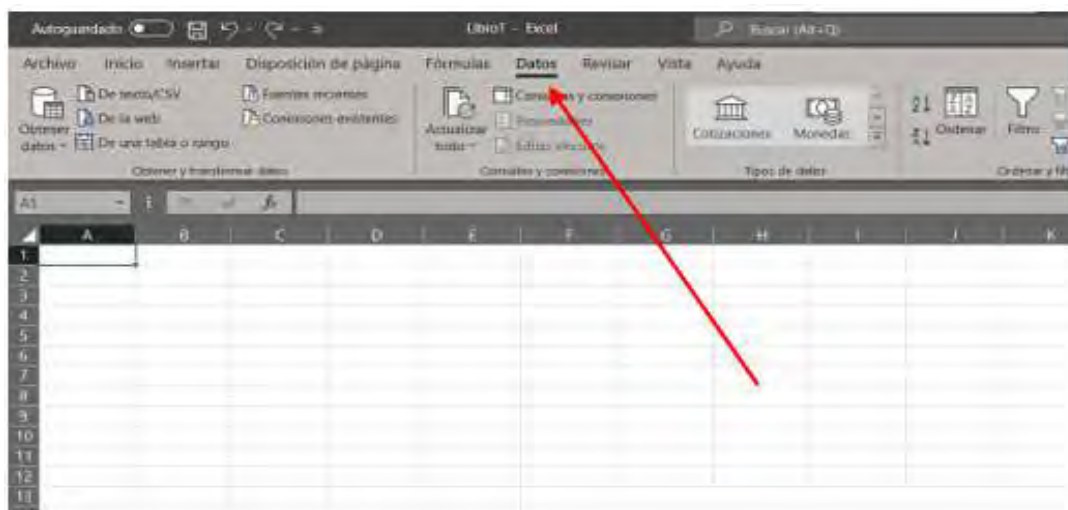
Figura 47**Exportación De Los Parámetros Seleccionados**

Fuente: Software WinPQ Movil (elaboración propia)

5. El archivo se guarda por defecto en la extensión “.asc”, para poder visualizar los datos en Excel es necesario abrir el archivo desde la pestaña “Datos”.

Figura 48

Pestaña Datos Para Abrir El Archivo Exportado En Extensión “.Asc”

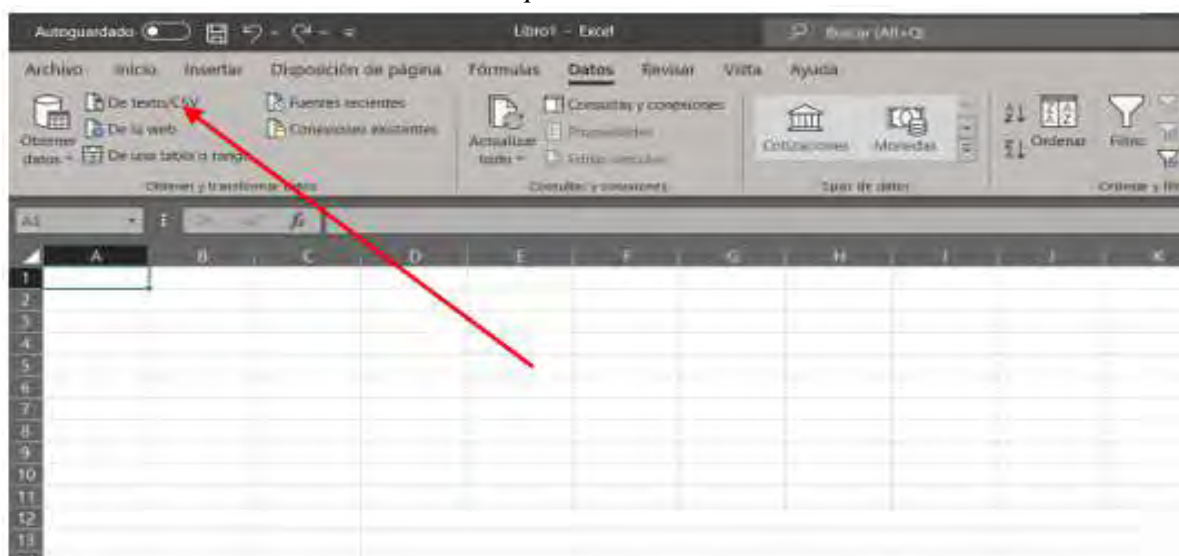


Fuente: Software Excel (elaboración propia)

6. Clic en el botón “De texto/CSV” y seleccionamos nuestro archivo exportado en extensión “.asc” y así ya podemos observar la descarga de toda la información recogida durante el periodo de medición.

Figura 49

Pestaña Datos Para Abrir El Archivo Exportado En Extensión

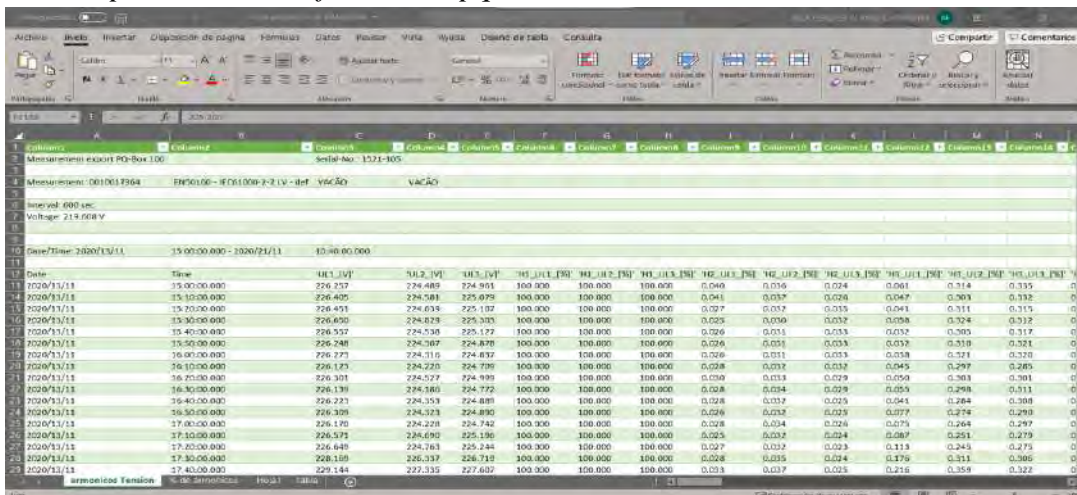


Fuente: Software Excel (elaboración propia).

Las figuras 39 hasta la 45, muestra el procedimiento para la obtención de los valores medidos por el analizador de redes, así como su exportación a una hoja Excel, tal como se puede ver en la figura 50.

Figura 50

Datos Exportados Del Software Winpq



Fuente: Software Excel (elaboración propia)

Este mismo procedimiento se realiza para el parámetro de la Corriente, obteniendo los valores de los armónicos pares e impares, así como las corrientes máximas y mínimas.

3.4 Análisis de los resultados de tensión

Durante el periodo de evaluación (13/11/2020 – 14:50 Hrs al 21/11/20 – 10:50 Hrs), se obtuvieron los registros de la tensión, indicaremos las fechas, las horas y el nivel de tensión máximo y mínimo obtenidos durante el periodo de medición, así como también, los casos en que se incumplan los niveles de tensión admisibles por la NTCSE.

Tabla 25

Niveles De Tensión Máxima De La Clínica Mac Salud Cusco

Fecha/Hora	U 12 (V)	U 23 (V)	U 31 (V)
13/11/2020 - 17:40:00	229.144	227.335	227.607
14/11/2020 - 03:00:00	230.673	229.001	229.398
15/11/2020 - 07:30:00	233.09	231.058	231.234
16/11/2020 - 23:50:00	232.948	231.175	231.507
17/11/2020 - 06:10:00	235.39	233.679	234.127
18/11/2020 - 22:00:00	231.863	230.01	230.187

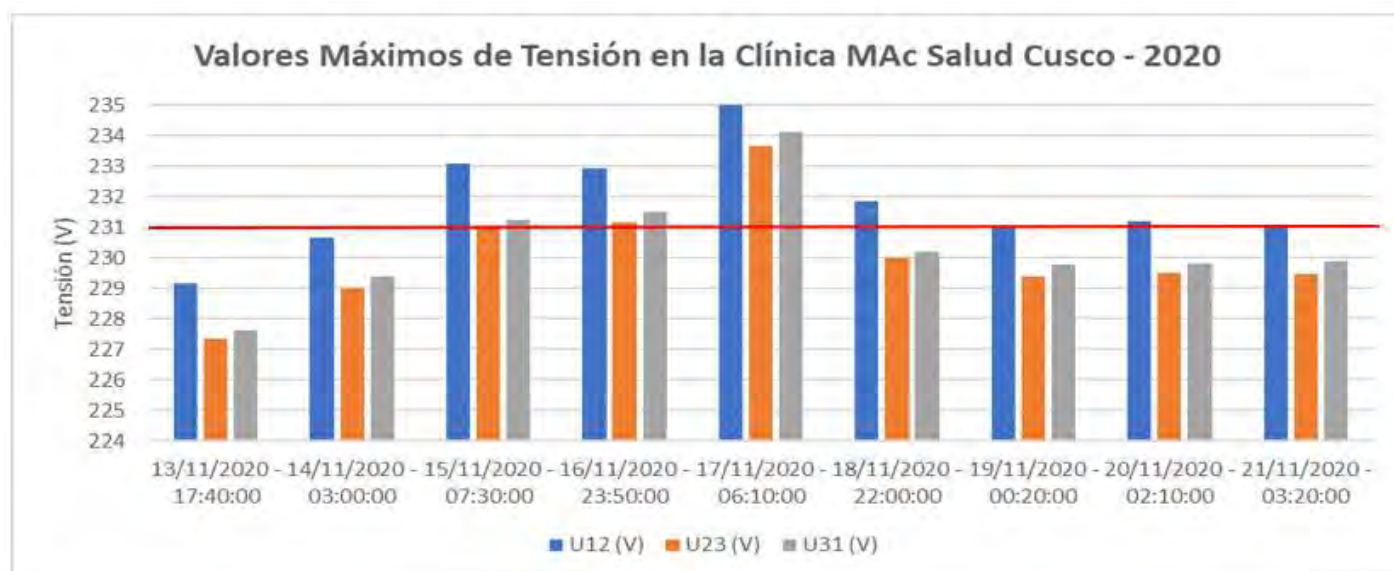
19/11/2020 - 00:20:00	231.056	229.387	229.761
20/11/2020 - 02:10:00	231.18	229.501	229.803
21/11/2020 - 03:20:00	231.086	229.475	229.901

Fuente: Datos obtenidos de ELSE (elaboración propia)

La Tabla 25 muestra los niveles de tensión máxima medidas entre las fechas del 13 al 21 de noviembre del año 2020, podemos observar que el valor máximo de tensión es de 235.39 V el cuál se da en la línea U12 en la fecha de 17 de noviembre a las 06:10 horas. Para poder entender de mejor manera estos datos realizamos un diagrama de barras y se hace una comparación con el límite establecido en la NTCSE.

Figura 51

Valores Máximos De Tensión



Fuente: Datos obtenidos de ELSE (elaboración propia)

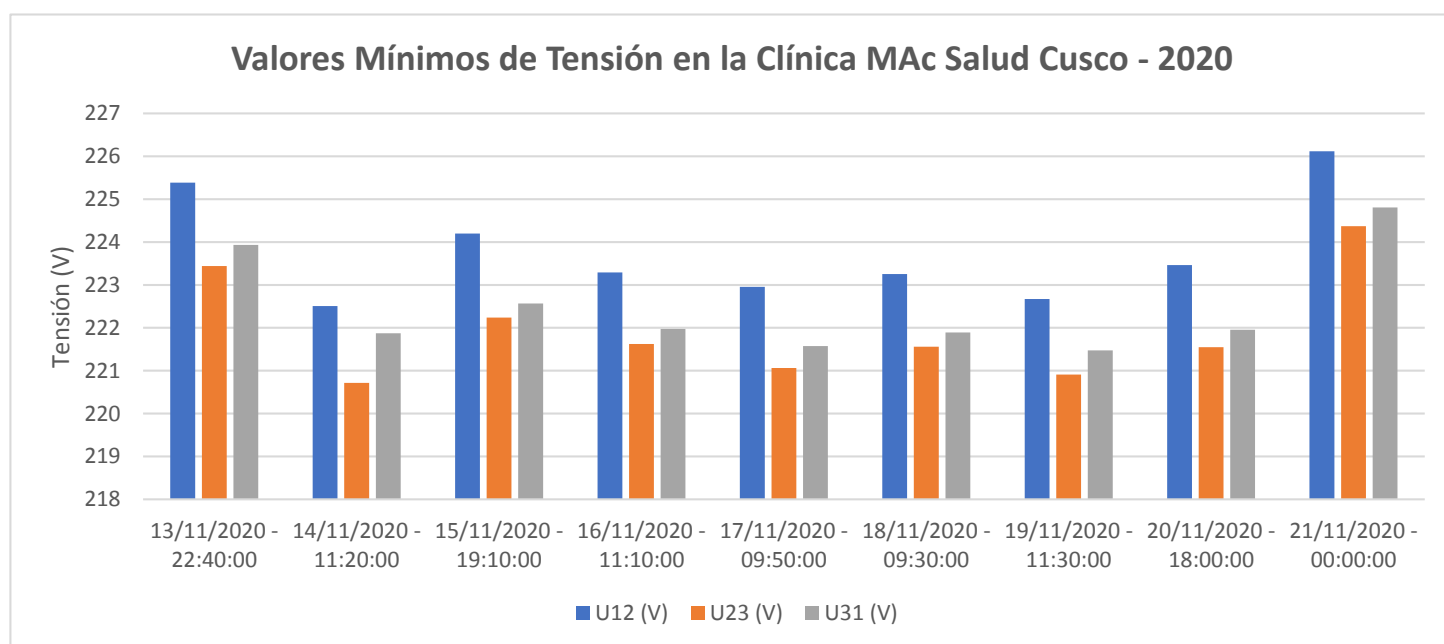
La NTCSE indica que los niveles admisibles para la tensión están dentro del $\pm 5\%$ de la tensión nominal, en la gráfica de barras de la figura 51 podemos observar que tenemos valores que exceden el valor máximo permisible, teniendo un exceso de hasta 4 V por encima de los estándares.

Tabla 26*Niveles De Tensión Mínima De La Clínica Mac Salud Cusco*

FECHA	HORA	TENSIONES		
		U 12	U 23	U 31
15/05/2020	17:30	223.14	225.1	223.5
16/05/2020	09:40	222.48	224.56	223.26
17/05/2020	16:50	222.9	224.8	223.55
18/05/2020	18:10	221.84	223.75	222.28
19/05/2020	18:20	223.02	225.02	223.73
20/05/2020	18:10	221.71	223.76	222.18
21/05/2020	16:30	222.32	223.86	222.72
22/05/2020	17:40	222.31	224.22	222.54
23/05/2020	11.:30	223.93	225.65	224.42

Fuente: Datos obtenidos de ELSE (elaboración propia)

La tabla 26, muestra los valores mínimos de tensión desde el día 15 al 23 de mayo del 2020.

Figura 52*Valores Mínimos De Tensión*

Fuente: Datos obtenidos de ELSE (elaboración propia)

La NTCSE indica que los niveles admisibles para la tensión están dentro del $\pm 5\%$ de la tensión nominal, en la gráfica de la figura 52 de barras podemos observar que, en cuanto a las

tensiones mínimas, ninguno de los valores se encuentra por debajo de los estándares normalizados.

3.4.1 Análisis de los resultados de armónicos de tensión

Los datos que a continuación se muestran fueron proporcionados por la empresa ELSE Cusco, obtenidos por el equipo analizador de redes PQ-BOX 100. Estos datos son valores de tensión para cada nivel de armónico, sin embargo, en la tabla mostraremos valores en porcentaje para poder hacer una comparación con los valores admisibles en la NTCSE y en la norma IEEE 519.

Para poder obtener los porcentajes de armónicos de cada orden respectivo realizamos el siguiente procedimiento, en base a la fórmula:

$$V_{HD} = \frac{V_h}{V_1} * 100\% \quad (\text{Ecuación 2.22})$$

Donde:

V_{HD} : Índice de distorsión armónica individual de tensión

V_h : Tensión armónica de orden h .

V_1 : Tensión nominal del alimentador.

Para el armónico de orden 2 tenemos, $h=2$ de línea R-S (L12) se tiene:

$$V_{HD} = \frac{V_2}{V_1} * 100 \% = \frac{0.1883}{235.39} * 100 \% = 0.08$$

Para el armónico de orden 3 tenemos, $h=3$ de línea R-S (L12) se tiene:

$$V_{HD} = \frac{V_3}{V_1} * 100 \% = \frac{0.8827}{235.39} * 100 \% = 0.375$$

Para el armónico de orden 4 tenemos, $h=4$ de línea R-S (L12) se tiene:

$$V_{HD} = \frac{V_4}{V_1} * 100 \% = \frac{0.2236}{235.39} * 100 \% = 0.095$$

Para el armónico de orden 5 tenemos, $h=5$ de línea R-S (L12) se tiene:

$$V_{HD} = \frac{V_2}{V_1} * 100 \% = \frac{7.2099}{235.39} * 100 \% = 3.063$$

De esta manera se procede con los 40 niveles armónicos de tensión, en las tres fases, así obtenemos los datos de la tabla N°27.

Para el índice total de distorsión armónica en tensión THD, hacemos uso de la siguiente ecuación:

$$THD_v = \sqrt{\sum_{h=2, \dots, 40} \frac{V_h^2}{V_1^2}} * 100 \% \quad (\text{Ecuación 2.23})$$

Donde:

V_h : Tensión armónica de orden h.

V_1 : Tensión nominal del alimentador.

THD_v : Tasa de distorsión total de tensión.

Para la fase R-S (L12) se tiene:

$$THD_v = \sqrt{\frac{0.08^2 + 0.375^2 + 0.095^2 + 3.063^2 + \dots + h_{40}^2}{235.39^2}} * 100 \% = 1.444\%$$

De esta manera se procede con las dos fases restantes, S-T y T-R, así obtenemos los datos de la tabla 26

En la tabla 26 observaremos el registro de las mediciones de las tensiones armónicas de orden 1 hasta el orden 40, registradas en las fechas 13 de noviembre del 2020 – 15:00:00 h. hasta el 21 de noviembre de 2020 – 10:40:00 h.

Tabla 27

Resultados De Los Armónicos De Tensión En La Clínica Mac Salud Cusco

ORDEN DEL ARMÓNICO	VALORES MÁXIMOS DE LOS ARMÓNICOS EN EL PERÍODO DE MEDICIÓN			VALOR MÁXIMO REGISTRADO EN LAS 3 FASES (%)	TOLERANCIA A NTCSE (%)	TOLERANCIA A IEEE 519 (%)
	L 12 (%)	L 23 (%)	L 31 (%)			
1°	100	100	100	100	-	-
2°	0.08	0.077	0.086	0.086	2.000	3.000
3°	0.375	0.417	0.406	0.417	5.000	3.000

4°	0.095	0.09	0.101	0.101	1.000	3.000
5°	3.063	3.485	3.234	3.485	6.000	3.000
6°	0.058	0.069	0.074	0.074	0.500	3.000
7°	1.816	1.936	1.803	1.936	5.000	3.000
8°	0.047	0.04	0.041	0.047	0.500	3.000
9°	0.195	0.163	0.103	0.195	1.500	3.000
10°	0.048	0.041	0.051	0.051	0.200	3.000
11°	0.851	0.972	0.758	0.972	3.500	3.000
12°	0.036	0.03	0.031	0.036	0.200	3.000
13°	0.565	0.636	0.555	0.636	3.000	3.000
14°	0.014	0.013	0.015	0.015	0.200	3.000
15°	0.097	0.146	0.081	0.146	0.300	3.000
16°	0.014	0.017	0.014	0.017	0.200	3.000
17°	0.324	0.4	0.345	0.400	2.000	3.000
18°	0.021	0.019	0.02	0.021	0.200	3.000
19°	0.235	0.291	0.282	0.291	1.500	3.000
20°	0.019	0.022	0.018	0.022	0.200	3.000

ORDEN DEL ARMÓNICO	VALORES MÁXIMOS DE LOS ARMÓNICOS EN EL PERÍODO DE MEDICIÓN			VALOR MÁXIMO REGISTRAD O EN LAS 3 FASES (%)	TOLERANCI A NTCSE (%)	TOLERANCI A IEEE 519 (%)
	L 12 (%)	L 23 (%)	L 31 (%)			
21°	0.108	0.178	0.115	0.178	0.200	3.000
22°	0.08	0.101	0.082	0.101	1.500	3.000
23°	0.379	0.555	0.446	0.555	0.200	3.000
24°	0.069	0.083	0.078	0.083	1.500	3.000
25°	0.307	0.281	0.269	0.307	0.200	3.000
26°	0.028	0.026	0.023	0.028	0.200	3.000
27°	0.215	0.238	0.116	0.238	0.200	3.000
28°	0.092	0.126	0.109	0.126	0.631	3.000
29°	0.431	0.612	0.453	0.612	0.200	3.000
30°	0.103	0.078	0.087	0.103	0.603	3.000
31°	0.484	0.198	0.357	0.484	0.200	3.000
32°	0.035	0.033	0.036	0.036	0.200	3.000
33°	0.299	0.32	0.137	0.320	0.200	3.000
34°	0.034	0.049	0.051	0.051	0.557	3.000
35°	0.332	0.5	0.37	0.500	0.200	3.000
36°	0.044	0.035	0.038	0.044	0.538	3.000
37°	0.383	0.153	0.332	0.383	0.200	3.000
38°	0.029	0.02	0.023	0.029	0.200	3.000
39°	0.134	0.18	0.097	0.180	0.200	3.000
40°	0.022	0.033	0.043	0.043	0.200	3.000
THDv	1.444	1.523	1.435	1.523	8.000	5.000

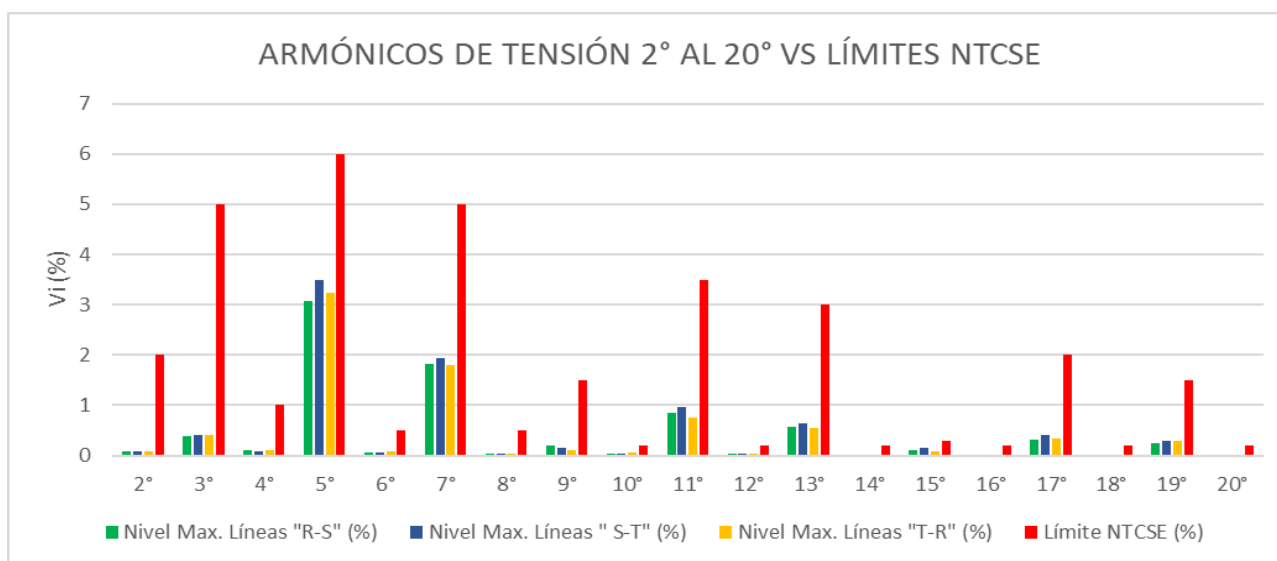
Fuente: Datos brindados por ELSE – Oficina de Control de Calidad – analizador de redes PQ BOX 100 (elaboración propia)

Como podemos observar en la tabla 27 el 5to armónico sobre pasa el rango de tolerancia indicados en la norma internacional IEEE 51-2014 en las tres fases, mientras que, los armónicos de orden 23°, 25°, 27°, 29°, 31°, 33°, 35° y 37° se encuentran por encima de los valores aceptados en la norma peruana NTCSE. Sin embargo, los valores de THD_v se encuentran dentro de los rangos establecidos por la norma peruana y la norma internacional.

Para poder observar de mejor forma los valores máximos por cada nivel, realizaremos una comparación de los espectros de los armónicos de tensión con la NTCSE y la norma IEEE 519-2014:

Figura 53

Espectro De Armónicos De Tensiones Individuales Según NTCSE

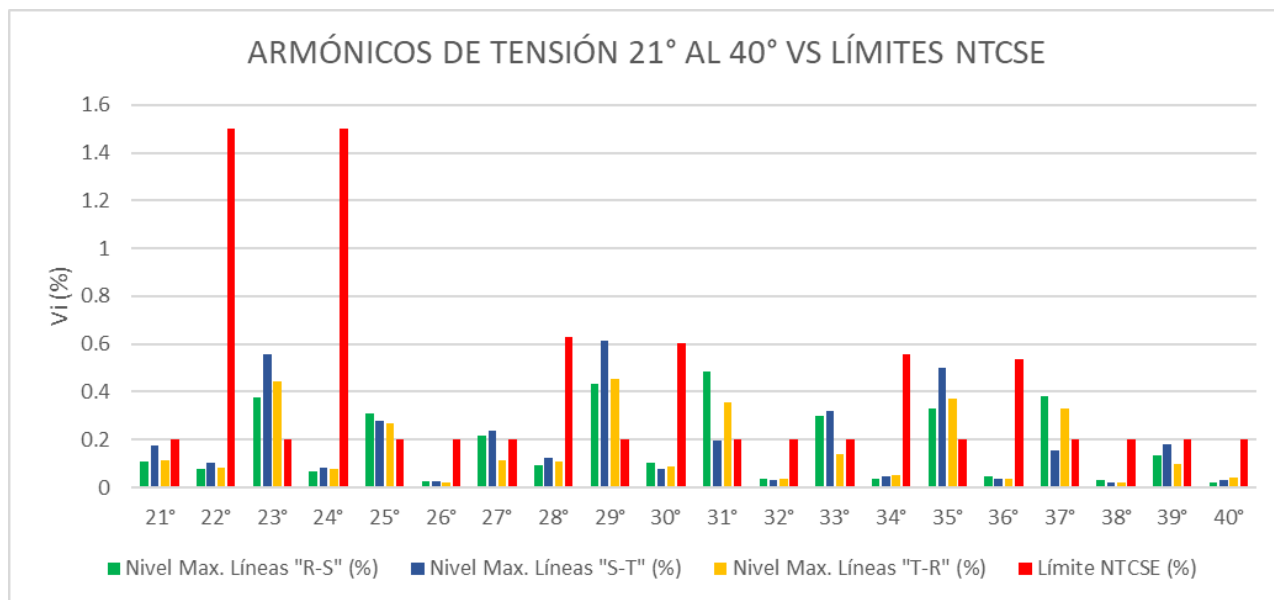


Fuente: Elaboración propia

De la figura 53, muestra la representación de las componentes armónicas desde el orden 2° al 20°, se observa que los niveles de armónicos de tensiones se encuentran por debajo de lo establecido en la Norma NTCSE.

Figura 54

Espectro De Armónicos De Tensiones Individuales Según NTCSE

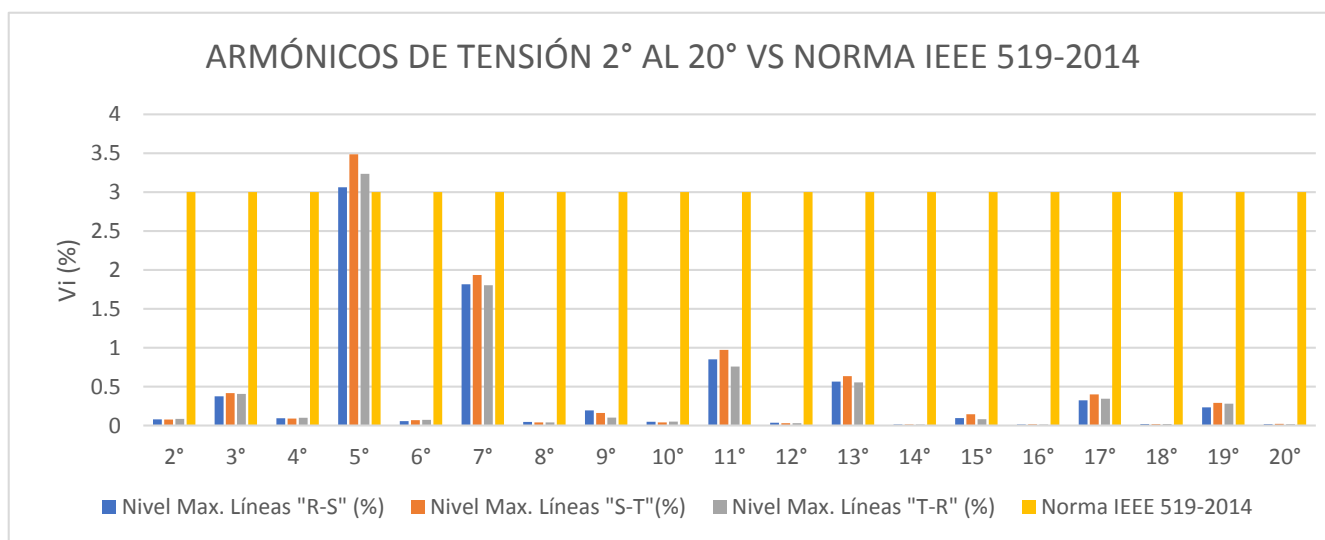


Fuente: Elaboración Propia

De la figura 54, muestra la representación de las componentes armónicas desde el orden 21° al 40°, se observa que los niveles de armónicos de tensión se encuentran por debajo de lo establecido en la Norma NTCSE.

Figura 55

Espectro De Armónicos De Tensiones Individuales Según IEEE 519-2014

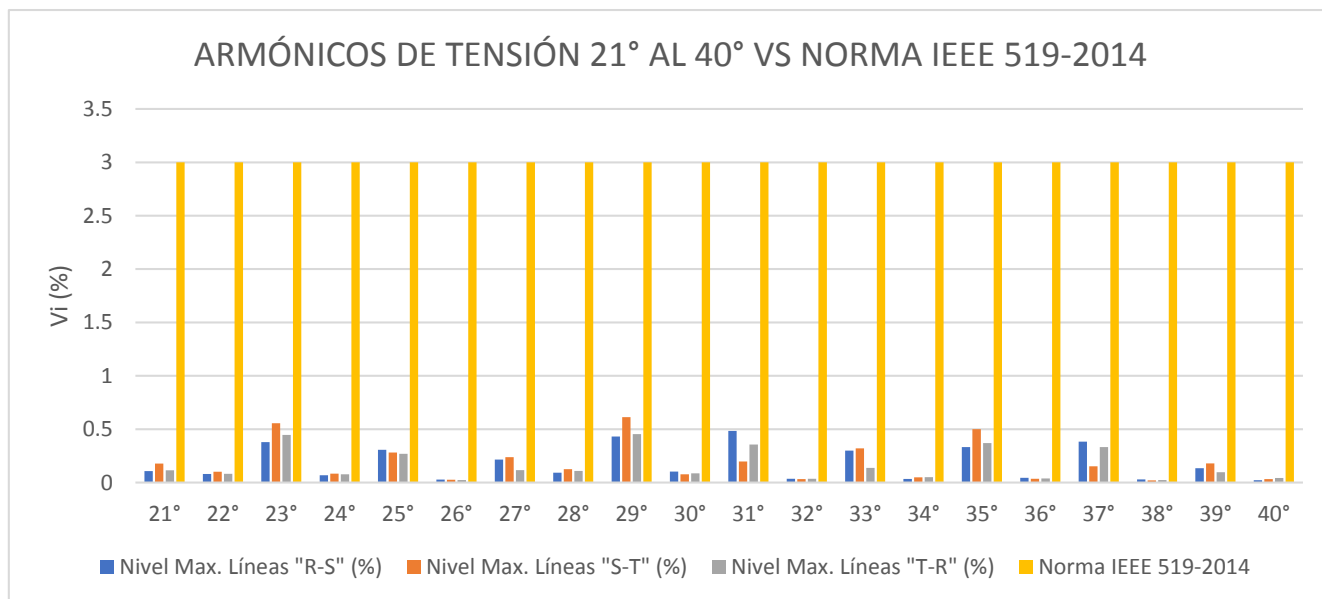


Fuente: Elaboración Propia

De la figura 55, se observa la presencia relativamente excesiva del 5to armónico, la cual se encuentra por encima de lo establecido en la Norma IEEE 519-2014, la cual puede causar problemas como, pérdida de eficiencia de los equipos, calentamiento no deseado, etc.

Figura 56

Espectro De Armónicos De Tensiones Individuales Según IEEE 519-2014



Fuente: Elaboración Propia

De la figura 56, se observa que los niveles de armónicos de tensión del orden 21° al 40° se encuentra por debajo de lo establecido en la Norma IEEE 519-2014.

Al hacer la comparación en gráfico de barras, observamos que si hay un excedente en los límites de la NTCSE en los armónicos 23°, 25°, 27°, 29°, 31°, 33°, 35° y 37°, estos, al ser de un orden muy elevado, representan poca distorsión en señal fundamental; por otro lado, en la comparación con la Norma IEEE 519-2014, vemos que existe una superación del límite máximo exigido en el 5° armónico.

3.5 Análisis de los resultados de corriente

Durante el periodo de evaluación (13/11/2020 – 14:50 Hrs al 21/11/20 – 10:50 Hrs), se obtuvieron los registros de las corrientes, indicaremos las fechas, las horas y el nivel de corrientes máximas y mínimas obtenidos en el periodo de medición.

Tabla 28

Niveles Máximos De Corriente

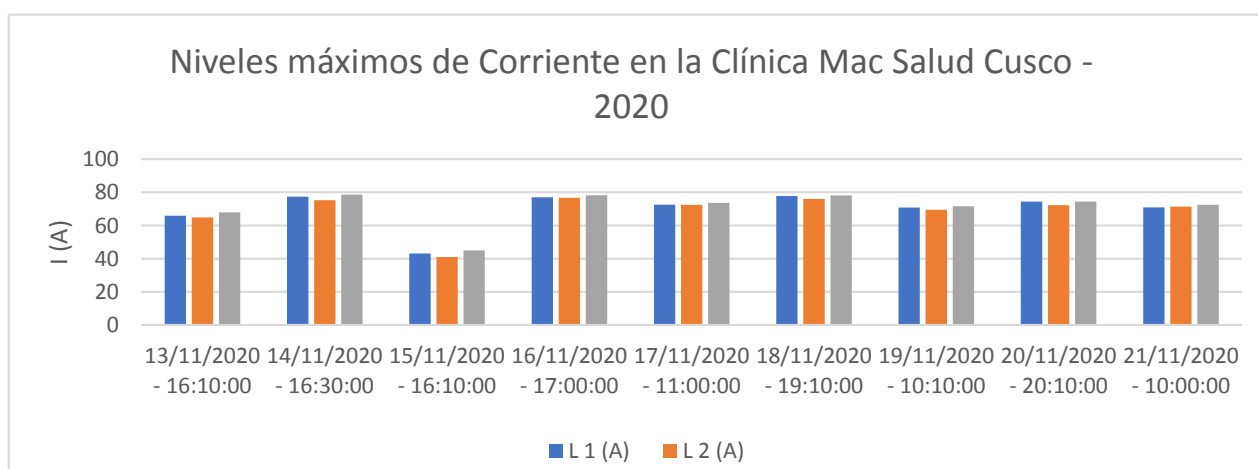
Fecha/Hora	L 1 (A)	L 2 (A)	L 3 (A)
13/11/2020 - 16:10:00	65.881	64.845	67.921
14/11/2020 - 16:30:00	77.417	75.207	78.681
15/11/2020 - 16:10:00	43.11	40.982	44.927
16/11/2020 - 17:00:00	77.032	76.684	78.211
17/11/2020 - 11:00:00	72.565	72.467	73.584
18/11/2020 - 19:10:00	77.757	76.044	78.137
19/11/2020 - 10:10:00	70.791	69.458	71.623
20/11/2020 - 20:10:00	74.433	72.262	74.357
21/11/2020 - 10:00:00	70.938	71.398	72.477

Fuente: Datos Obtenidos de ELSE (elaboración propia)

La Tabla 28 muestra el valor máximo de corriente que es de 78.21 A, el cual fue registrado en la línea L3 en la fecha 16 de noviembre a las 17:00 horas.

Figura 57

Valores Máximos De Corriente



Fuente: Datos Obtenidos de ELSE (elaboración propia)

La figura 57 es una representación gráfica expresada en un diagrama de barras que muestra los valores máximos de corriente en la Clínica Mac Salud Cusco de acuerdo a la tabla 28.

3.5.1 Análisis de los resultados de armónicos de corriente

Los datos que a continuación se muestran fueron proporcionados por la empresa ELSE Cusco, obtenidos por el equipo analizador de redes PQ-BOX 100. Estos datos son valores de corriente para cada nivel de armónico, sin embargo, para establecer los límites de los armónicos de corriente, esta estará dada en función de la carga.

Es necesario definir la relación de corto circuito (SCR), en el punto de acople común (PCC), para este estudio el PCC es la subestación de la Clínica Mac Salud. El SCR es una medida importante para entender cómo un equipo eléctrico o un sistema responderá a las condiciones de cortocircuito, que pueden ocurrir debido a fallas en el sistema eléctrico. En otras palabras, el SCR es la relación entre la corriente que fluye durante un cortocircuito y la corriente que normalmente fluye a través del equipo bajo condiciones de carga nominal.

La relación de corto circuito estará dada por:

$$SCR = \frac{I_{SC}}{I_L} \quad (\text{Ecuación 2.24})$$

I_{SC} : Corriente de corto circuito (corresponde a una falla trifásica en el PCC).

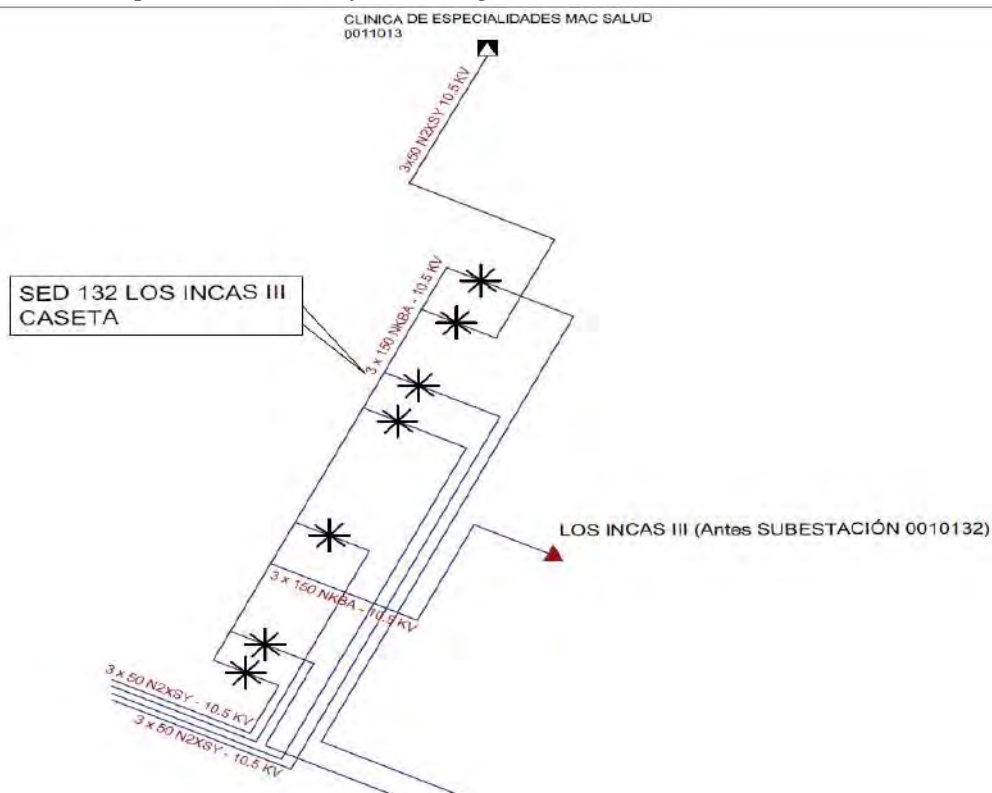
I_L : Corriente de carga máxima, este dato se obtiene de las mediciones realizadas en la Clínica Mac Salud.

Un SCR bajo significa que el equipo o sistema tiene una capacidad robusta para manejar corrientes de cortocircuito sin sufrir daños significativos. Por otro lado, un SCR alto indica que el equipo podría sufrir daños en caso de un cortocircuito.

La SED1013 (Mac Salud), toma carga de la SED132 (Los Incas III) en 10.5 Kv

Figura 58

Alimentador Dolorespata 06 En El Software Digsilent



Fuente: ELSE (Centro de Control)

La figura 58, muestra la representación gráfica simplificada y esquemática del Alimentador DO-06 en el Software Digsilent

Resultados de Cortocircuito

Tabla 29

Fallas En La Subestación 0011013

Ubicación	Falla trifásica	Monofásica franca	Monofásica (Rf=50ohms)	Bifásica franca	Bifásica (Rf=10 ohms)
SED 1013	4210 A	1028 A	116 A	3626 A	394 A

Fuente: Datos obtenidos por el Área de Centro de Control ELSE

De la tabla 29 se obtuvo la Corriente de Cortocircuito en la falla trifásica.

Entonces se puede hacer el cálculo de la Relación de Corto Circuito (SCR).

El valor de I_L , corresponde a la corriente de carga máxima, la cual se obtiene de los datos recogidos de la medición en la Clínica Mac Salud.

$$SCR = \frac{I_{SC}}{I_L} = \frac{4210 A}{78.681 A} = 53.507$$

Si nos fijamos en la tabla 2 de la IEEE Std 519 - 2014 “Práctica recomendada y requisitos para control de armónicos en sistemas de energía eléctrica”.

Tabla 30

Límites De Distorsión De Corriente Para Sistemas Clasificados De 120 V A 69 Kv

<i>Maximun harmonic current distortion in percent of I_L</i>						
<i>[(Individual harmonic order (odd harmonic))]^(a,b)</i>						
<i>I_{sc}/I_L</i>	3 ≤ h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h ≤ 50	TDD
< 20 ^c	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Fuente: Tabla 2- IEEE Std 519 - 2014 Práctica recomendada y requisitos para control de armónicos en sistemas de energía eléctrica.

La tabla 30 muestra la relación de Corto Circuito obtenida se encuentra entre los valores de (50<SCR<100), por lo que se aplicara los límites de armónicos de corriente, establecidos por el estándar IEEE STD. 519-2014 según la tabla anterior.

Se debe aclarar que estos límites corresponden a los armónicos impares, para los armónicos pares se limita al 25% del límite de los armónicos impares.

El periodo de medición fue de siete días sin interrupción, con intervalos de muestreo de 10 minutos, este análisis se hizo para los primeros 40 armónicos. Así mismo, durante la medición se presentó la mayor distorsión y se expresó en forma porcentual con la siguiente ecuación:

$$I_{HD} = \frac{I_h}{I_1} * 100\% \quad (\text{Ecuación 2.25})$$

Donde:

I_h : Corriente armónica

I_1 : Corriente fundamental

Para la armónica $h = 2$ de la línea “1”, se tiene:

$$I_{HD\%} = \frac{I_{h=2}}{I_1} * 100\% = \frac{0.853}{77.757} * 100 = 1.0970\%$$

Para la armónica $h = 3$ de la línea “1”, se tiene:

$$I_{HD\%} = \frac{I_{h=3}}{I_1} * 100\% = \frac{5.034}{77.757} * 100 = 6.4740\%$$

Para la armónica $h = 4$ de la línea “1”, se tiene:

$$I_{HD\%} = \frac{I_{h=4}}{I_1} * 100\% = \frac{0.353}{77.757} * 100 = 0.4539\%$$

Para la armónica $h = 5$ de la línea “1”, se tiene:

$$I_{HD\%} = \frac{I_{h=5}}{I_1} * 100\% = \frac{21.098}{77.757} * 100 = 27.1332\%$$

Para la armónica $h = 6$ de la línea “1”, se tiene:

$$I_{HD\%} = \frac{I_{h=6}}{I_1} * 100\% = \frac{0.237}{77.757} * 100 = 0.3047\%$$

Para la armónica $h = 7$ de la línea “1”, se tiene:

$$I_{HD\%} = \frac{I_{h=7}}{I_1} * 100\% = \frac{11.301}{77.757} * 100 = 14.5337\%$$

De esta manera, se realiza el cálculo para los demás armónicos en las líneas 2 y 3, hasta la armónica $h = 40$

En la siguiente tabla se muestra los armónicos mayores para cada línea.

$$THD_i(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=2,3,\dots,40} I_h^2}}{I_1} * 100\% \quad (\text{Ecuación 2.26})$$

Donde:

I_1 : Corriente nominal o fundamental.

I_2, I_3, \dots, I_{40} : Armónica de corriente del orden 2 al 40.

Tabla 31

Resultados De Armónicos De Corriente En La Clínica Mac Salud Cusco

Orden del Armónico	Valores máximos de los armónicos en el periodo de medición			Valor máximo registrado en las tres fases (%)	Tolerancia NTCSE (%)	Tolerancia IEEE 519 (%) Si, 50<100
	L12 (%)	L23 (%)	L31 (%)			
1°	100	100	100	100	-	-
2°	1.0970	0.9754	0.9418	1.0970	-	2.500
3°	6.4740	6.9741	5.3723	6.9741	-	10.000
4°	0.4540	0.3951	0.3762	0.4540	-	2.500
5°	27.1332	28.0776	24.2358	28.0776	-	10.000
6°	0.3048	0.3325	0.3216	0.3325	-	2.500
7°	14.5337	13.3470	13.5268	14.5337	-	10.000
8°	0.2366	0.2126	0.2084	0.2366	-	2.500
9°	1.4507	1.7618	0.9583	1.7618	-	10.000
10°	0.1800	0.1943	0.1817	0.1943	-	2.500
11°	3.9173	4.8289	3.7391	4.8289	-	4.500
12°	0.1492	0.1604	0.1360	0.1604	-	1.125
13°	2.9592	2.5651	2.2674	2.9592	-	4.500
14°	0.1260	0.1121	0.1093	0.1260	-	1.125
15°	0.7266	0.9806	0.6266	0.9806	-	4.500
16°	0.1119	0.1487	0.1131	0.1487	-	1.125
17°	2.4101	3.1219	2.5915	3.1219	-	4.000
18°	0.1479	0.1421	0.1398	0.1479	-	1.000
19°	1.6629	1.8426	1.7946	1.8426	-	4.000
20°	0.1247	0.1421	0.1169	0.1421	-	1.000

Fuente: Datos del Analizador de Redes PQ-BOX 100, Elaboración propia.

Orden del Armónico	Valores máximos de los armónicos en el periodo de medición			Valor máximo registrado en las tres fases (%)	Tolerancia NTCSE (%)	Tolerancia IEEE 519 (%) Si, 50<100
	L12 (%)	L23 (%)	L31 (%)			
21°	0.6726	1.1124	0.7092	1.1124	-	4.000
22°	0.4938	0.6012	0.4817	0.6012	-	1.000
23°	2.1902	3.0437	2.5025	3.0437	-	1.500
24°	0.3935	0.4395	0.4156	0.4395	-	0.375
25°	1.6101	1.5153	1.5175	1.6101	-	1.500
26°	0.1428	0.1239	0.1131	0.1428	-	0.375
27°	1.0880	1.1684	0.5300	1.1684	-	1.500
28°	0.4463	0.5868	0.5020	0.5868	-	0.375
29°	1.9947	2.7633	2.0157	2.7633	-	1.500
30°	0.4694	0.3364	0.3762	0.4694	-	0.375
31°	2.1554	0.8763	1.5086	2.1554	-	1.500
32°	0.1518	0.1343	0.1462	0.1518	-	0.375
33°	1.2423	1.2728	0.5363	1.2728	-	1.500
34°	0.1389	0.1878	0.1945	0.1945	-	0.375
35°	1.2976	1.8622	1.3510	1.8622	-	0.700
36°	0.1723	0.1265	0.1360	0.1723	-	0.175

37°	1.4069	0.5373	1.1515	1.4069	-	0.700
38°	0.1055	0.0704	0.0763	0.1055	-	0.175
39°	0.4733	0.5999	0.3177	0.5999	-	0.700
40°	0.0810	0.1082	0.1411	0.1411	-	0.175
TDD	41.6800	43.1137	37.0764	43.1137	-	12.000

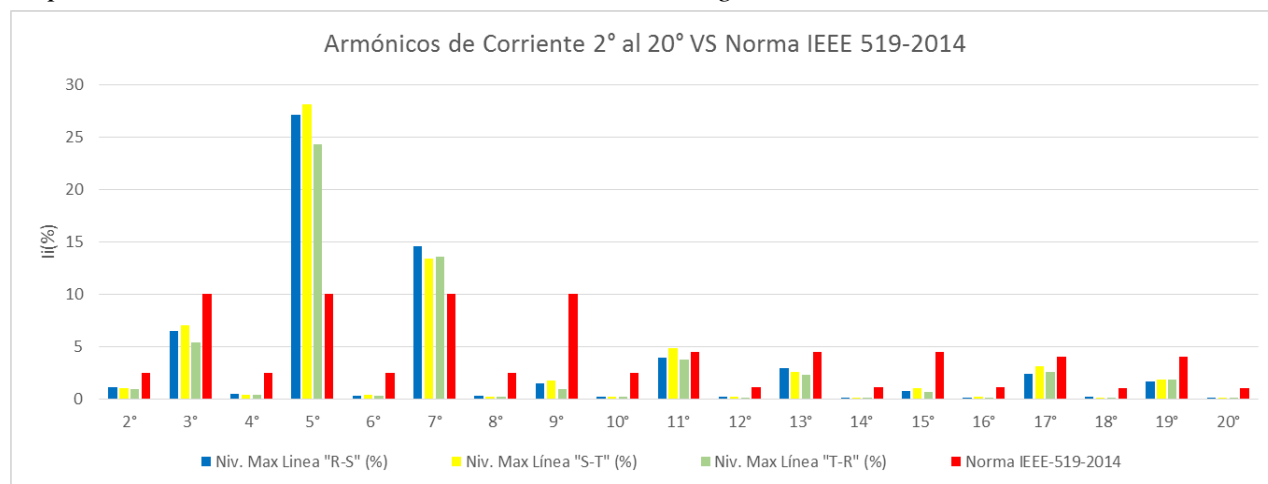
Fuente: Datos del Analizador de Redes PQ-BOX 100, Elaboración propia.

Según los Resultados de la tabla 31, se puede entender que el 5° y el 7° armónico en las tres líneas de la Clínica Mac Salud, exceden el límite de 10% establecido en el estándar IEEE STD. 519-2014, así mismo se observa que los armónicos 11°, 23°, 29°, 24°, 25°, 28°, 29°, 30°, 31°, 35°, 37°, son valores superiores, establecidos en el estándar IEEE STD. 519-2014.

En cuanto a la distorsión armónica total de corriente (THDi), alcanza un valor máximo de 43.1137 %, el cual excede considerablemente al límite que es 12%. Para poder observar de mejor forma los valores máximos por cada nivel, realizaremos una comparación de los espectros de los armónicos de corriente con la norma IEEE STD 519-2014:

Figura 59

Espectro De Armónicos De Corrientes Individuales Según IEEE 519-2014

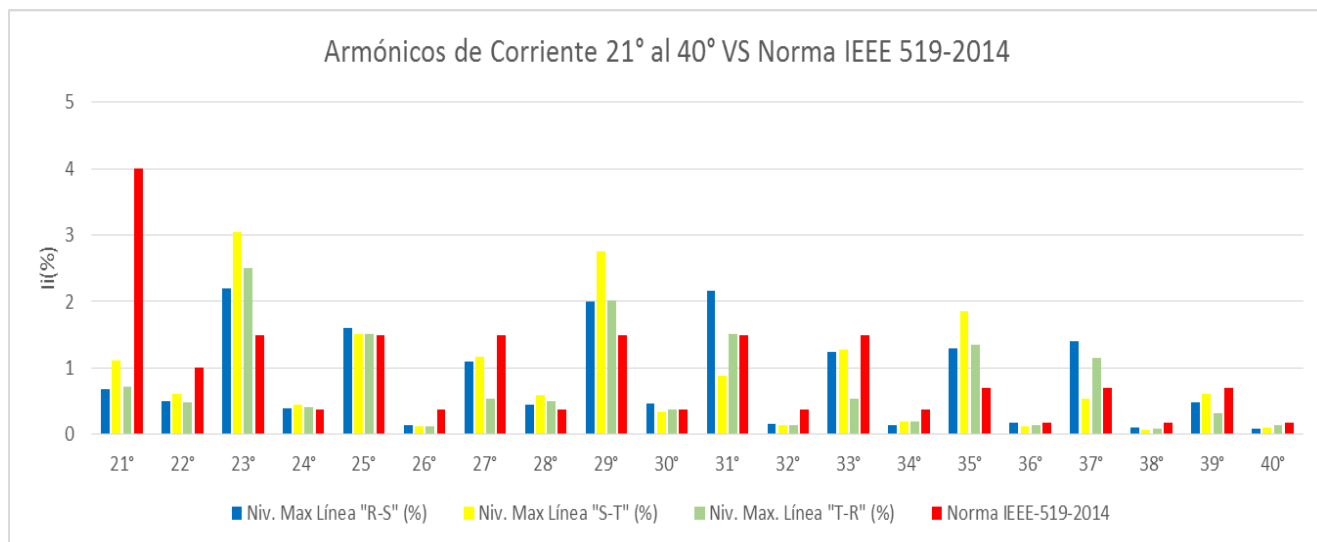


Fuente: Elaboración Propia

De la figura 59 se observa que los armónicos de corriente del orden 5° y 7° sobrepasan los límites establecidos según la Norma IEEE 519-2014

Figura 60

Espectro De Armónicos De Corrientes Individuales Según Ieee 519-2014



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 60, se observa que los armónicos de corriente del orden 21° al 40°, ninguno sobrepasa los niveles establecidos por la Norma IEEE 519-2014

3.6 Diagnostico final de la clínica

a. En referencia a las mediciones de corrientes armónicas, analizados según la norma IEEE STD 519-2014.

- Según los resultados de la tabla 31 se puede diagnosticar que, el 5° y 7° armónico de corriente en las tres fases de la Clínica Mac Salud Cusco, exceden el límite de 10%; así mismo, se observa que los armónicos 11°, 23°, 24°, 25°, 28°, 29°, 30°, 31°, 35°, 37°, también superan los límites establecidos en la norma.

- En la tabla 31 la distorsión armónica total de corriente (THDi), alcanza un valor máximo de 43.1137%, el cual excede considerablemente al límite que es de 12%.

b. En referencia a las mediciones de tensiones armónicas, evaluados según la norma NTCSE y IEEE STD 519-2014.

- Para los estándares nacionales establecidos en la NTCSE los armónicos del orden 1° al 22° se encuentran dentro de los rangos; sin embargo, los armónicos de orden 23°, 25°, 27°, 29°, 31°, 33°, 35°, y 37° están fuera de los límites establecidos.
- En la tabla 27 se observa que el THDv, en sus tres fases, se encuentra dentro de los límites establecidos en la norma nacional.
- En la tabla 27, el 5° armónico de tensión sobre pasa los niveles establecidos del estándar de la IEEE 519-2014; sin embargo, el THDv se encuentra dentro del rango aceptable.

CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados de los armónicos

4.1.1 Impacto de los armónicos de tensión y corriente

4.1.1.1 En el sistema eléctrico

Un sistema eléctrico es un conjunto de elementos eléctricos o electrónicos, que conectados entre sí pueden generar, transportar o modificar una señal eléctrica o electrónica. Actualmente, los sistemas eléctricos poseen una gran cantidad de elementos no lineales, cuyas características describimos en el marco teórico.

En general, los armónicos de Tensión y Corriente generan una baja calidad en el suministro de la energía eléctrica, como observamos en el capítulo anterior, los armónicos de corriente son los que tienen mayor relevancia, ya que, son estos los que alteran la señal de onda eléctrica.

Según la Tabla 31 observamos que las corrientes armónicas se ven incrementadas en los órdenes impares de la señal fundamental, debido a la presencia de cargas no lineales, que anteriormente ya describimos. Estos armónicos presentan los siguientes efectos (Calderon, 1996):

- Sobre carga en capacitores
- Producen interferencia en la frecuencia de las señales de control
- Calentamiento en los motores de inducción y sincrónicos
- Sobre voltaje e inestabilidad dieléctrica en los cables conductores
- Errores en los equipos de medición, estos equipos trabajan con señales

senoidales puras.

Tabla 32*Efectos En El Sistema Eléctrico*

Conductor	Calentamiento de cables debido al aumento de la corriente
Conductor Neutro	Disparo de protecciones, el armónico de 3er orden circula por el neutro, cerrando el circuito
Condensador	Calentamiento y envejecimiento de condensadores, a causa de la amplificación de los armónicos y la resonancia con el sistema
Máquinas Eléctricas	Efecto Joule, aumento de pérdidas magnéticas, vibraciones en el eje y desgaste mecánico en los rodamientos, causados por la circulación de corriente armónica por los devanados
Equipos de Medición y Control	Mediciones incorrectas e interferencia con los sistemas de comunicación y control.

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 32 muestra algunos efectos que ocasionan las distorsiones armónicas en diferentes componentes de un sistema eléctrico convencional.

4.1.1.2 En el transformador de distribución

Las distorsiones armónicas producen el efecto Joule, lo que ocasiona un aumento en la temperatura de los transformadores. En otras palabras, cuando un transformador opera con señales completamente sinusoidales, genera cierta cantidad de calor; sin embargo, este calor aumenta en presencia de las distorsiones armónicas.

Los armónicos del 3er orden y múltiplos de este tienen una consideración especial, ya que causan efectos considerables en el sistema de un transformador. A continuación, mencionaremos algunos de estos:

- Sobre calentamiento en los devanados del transformador.
- Incremento de las pérdidas en el hierro del transformador.

- Incremento del esfuerzo de los aisladores del transformador.
- Posible resonancia a la frecuencia del 3er armónico.

Las pérdidas en el cobre, cuando existen armónicos, se pueden calcular mediante la siguiente ecuación:

$$P_c = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} R_n I_n^2 \quad (\text{Ecuación 2.27})$$

Donde:

In: Valor pico de la n-esima corriente armónica.

Rn: Resistencia de las bobinas a la n-esima armónica.

4.1.2 Generalidades del software DigSilent Power Factory

En este capítulo detallaremos algunos aspectos del Software DigSilent Power Factory, así como la forma en que se introdujeron los datos a este programa su análisis y respectivo diseño del sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud incluidos los filtros diseñados posteriormente.

DigSilent Power Factory es un programa de diseño asistido en ingeniería para el análisis de sistemas eléctricos de potencia, comerciales, industriales y a gran escala. Fue diseñado como un paquete computacional dedicado a los sistemas de potencia con el objetivo de lograr una planificación y operación satisfactoria.

Con este programa podemos realizar las siguientes funciones:

- Flujo de potencia AC/DC
- Análisis de corto circuito
- Fallas generales/análisis de eventos
- Simulación de transitorios electromagnéticos
- Coordinación de relés de potencia

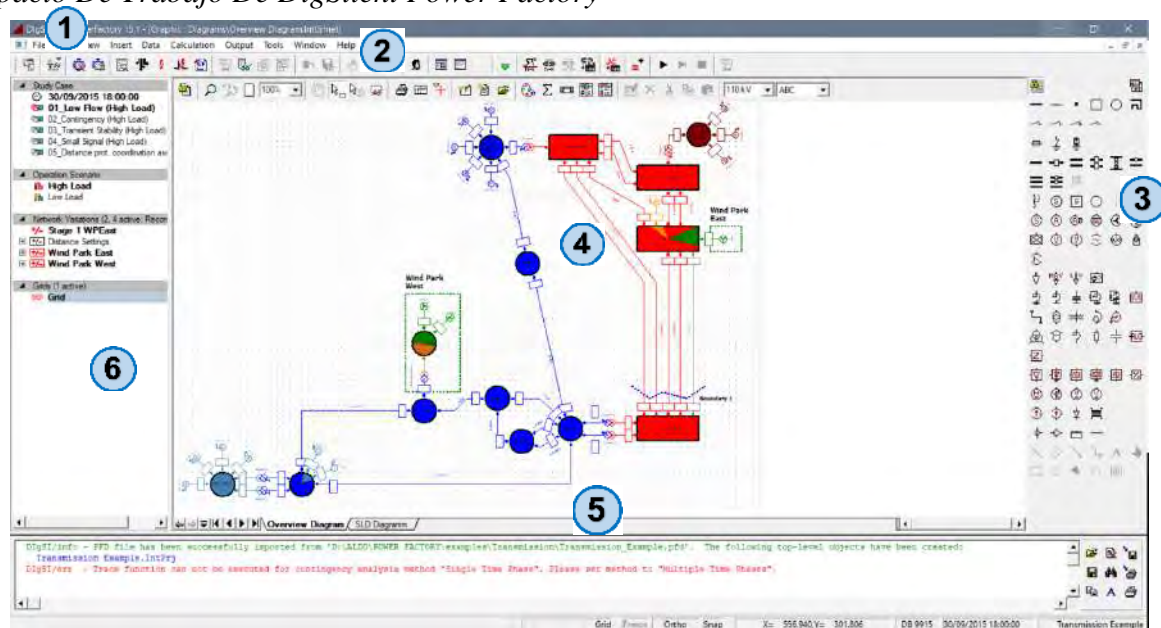
- Análisis de armónicos
- Cálculo de confiabilidad
- Interfases SCADA / GIS
- Diagramas unifilares del sistema modelado
- Diagrama de configuración de subestaciones

4.1.2.1. Descripción de la interfaz

Este programa, al igual que el Windows, utiliza un espacio de trabajo mediante ventanas y barras de trabajo, indicaremos los principales en la siguiente figura:

Figura 61

Espacio De Trabajo De DigSilent Power Factory



Fuente: Elaboración Propia

- 1) Barra de menú principal
- 2) Barra de herramientas de ejecución
- 3) Barra de herramientas de dibujo
- 4) Espacio de trabajo
- 5) Ventana de salida
- 6) Barra de estado

La figura 61, muestra un espacio de trabajo del Software Digsilent PowerFactory que es utilizado en la planificación y operación de sistemas de potencia.

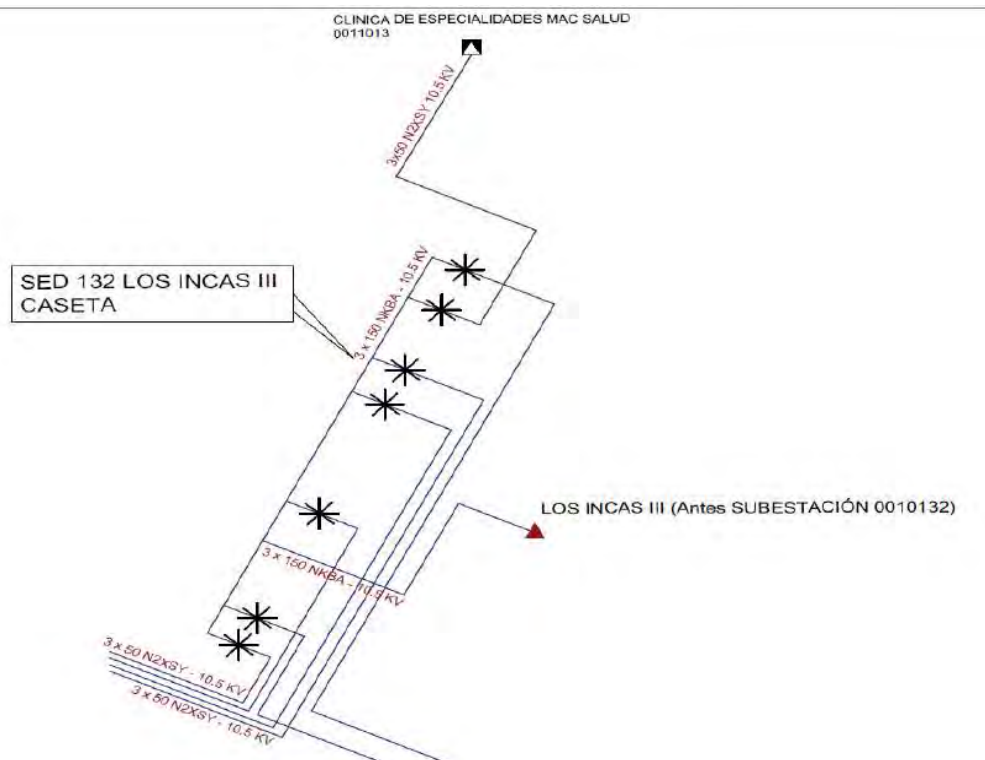
4.1.2.2. Modelamiento de la red eléctrica de alimentación, subestación y carga equivalente de la Clínica Mac Salud Cusco.

Comenzaremos desarrollando la red de alimentación 10.5 KV, desde la Subestación de Dolorespata hasta la Clínica Mac Salud, tomaremos en cuenta solo nuestra red de alimentación, ya que, sería demasiado extenso el desarrollo de toda la red eléctrica.

Se debe de tener en cuenta que los datos introducidos en el programa deben de ser como en la realidad, solo así se podrá lograr una real simulación del sistema eléctrico. Para lograr una simulación perfecta, recurrimos a la empresa Electro Sur Este, a la oficina de Control ELSE, quienes amablemente nos proporcionaron los datos necesarios de las redes. A continuación, se muestra la red eléctrica de alimentación:

Figura 62

Red De Alimentación DO - 06



Fuente: Oficina de Control ELSE.

La figura 62, muestra la representación gráfica simplificada y esquemática del Alimentador DO-06 en el Software Digsilent

4.1.2.3. Modelamiento de la subestación de la Clínica Mac Salud Cusco

La Clínica Mac Salud Cusco cuenta con una Subestación particular, SED 0011013, consta de un transformador trifásico, con una potencia nominal de 450 KVA de la marca CEA.

Figura 63

Placa De Características Del Transformador De La Clínica Mac Salud Cusco

TRANSFORMADOR		TIPO	T3DO	Nº SERIE	35757
POTENCIA (KVA)	550		POTENCIA (KVA)	450	
FRECUENCIA (Hz)	60		TAP N°	AT (V)	BT (V)
Nº DE FASES	3		1	24045 11644.5	230 (u-v-w)
Tcc a 75°C (22.9/0.23kV)	6.05 %		2	23472.5 11072.25	
Tcc a 75°C (10.5/0.23kV)	4.54 %		3	22900 10500	
Tcc a 75°C (22.9/0.40kV)	1.16 %		4	22327.5 9927.75	
Tcc a 75°C (10.5/0.40kV)	0.92 %		5	21755 9355.5	
ENFRIAMIENTO	ONAN		INTENSIDAD (A)	13.87	30.24
CLASE AISLAM.	A		POTENCIA (KVA)	1129.60	
ALTITUD (manm)	3500		TAP N°	AT (V)	BT (V)
MONTAJE	EXTERIOR		1	24045 11644.5	400 (n-u1-v1-w1)
T amb-max	40 °C		2	23472.5 11072.25	
CALENT. ACEITE	60 °C		3	22900 10500	
CALENT. COBRE	65 °C		4	22327.5 9927.75	
ACEITE NYNAS	IZAR I		5	21755 9355.5	
PESO ACEITE	488 Kg.		6	21755 9355.5	
PESO P. ACTIVA	1077 Kg.		INTENSIDAD (A)	13.87	30.24
PESO TOTAL	1820 Kg.		NIV. AISL. INT.(KV)	24 / 50 / 125	
AÑO DE FABRIC.	2011		NIV. AISL. EXT.(KV)	170	
			ANTES DE OPERAR EL CAMBIADOR DE TOMAS DESCONECTAR EL TRANSFORMADOR DE LA RED.		
			NORMA : IEC 60076		

DIAGRAMA DE CONEXIONES INTERIORES

Fuente: Clínica Mac Salud Cusco (elaboración propia)

La figura 63, muestra la placa de características del transformador que generalmente se encuentra en el cuerpo del transformador y proporciona información importante sobre sus especificaciones y capacidades.

Para un modelado adecuado se tomaron en cuenta los datos indicados en la placa de características del transformador los cuales fueron ingresados en el Software DigSilent Power Factory. A continuación, se muestra el proceso de ingreso de datos para su modelamiento:

Figura 64

Modelado Del Transformador De La Clínica Mac Salud Cusco

The screenshot displays the configuration window for a transformer in DigSilent Power Factory. The window title is "2-Winding Transformer Type - \Library\Transformers\60Hz\Distribution\10kV\0.5 MVA 10/0.4 kV Dyn5 4.7 60 ASEA.TypTr2 *". The "Basic Data" tab is selected, showing the following parameters:

- Name: Mac Salud Cusco
- Technology: Three Phase Transformer
- Rated Power: 0.5 MVA
- Nominal Frequency: 60 Hz
- Rated Voltage:
 - HV-Side: 10.5 kV
 - LV-Side: 0.23 kV
- Positive Sequence Impedance:
 - Short-Circuit Voltage uk: 4.7 %
 - Copper Losses: 4.5 kW
- Zero Sequence Impedance:
 - Short-Circuit Voltage uk0: 4.7 %
 - SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r: 1.1 %
- Vector Group:
 - HV-Side: D
 - LV-Side: D
- Phase Shift: 0. *30deg
- Name: Dd0

Fuente. Elaboración Propia

Una vez insertado el símbolo del transformador, se procede a su diseño y modelamiento introduciendo los datos que nos solicita el programa y tomando en cuenta los datos de la placa de características. Lo descrito anteriormente se puede ver en la figura 64.

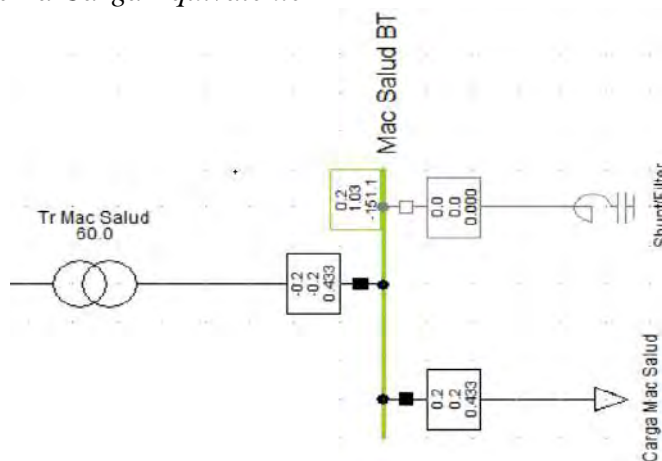
4.1.2.4. Modelamiento de la carga equivalente

En este proceso se tomaron en cuenta todas las cargas de la Clínica Mac Salud, para ello se utilizó los diagramas unifilares, así como también, un inventario de equipos biomédicos

proporcionados por la misma Clínica, con el fin de lograr una representación lo más real posible.

Figura 65

Modelamiento De La Carga Equivalente



Fuente: Elaboración Propia

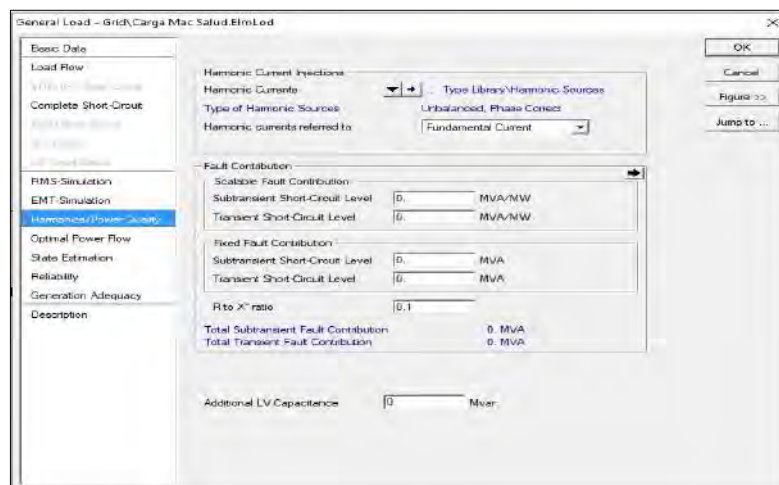
La figura 65, representa de manera precisa las características eléctricas de la carga que la clínica representa en el sistema de energía. en otras palabras, el modelamiento de la carga equivalente en el programa DigSilent Power Factory.

4.1.2.5. Flujo de carga en presencia de corrientes armónicas

A continuación, introduciremos los datos de los armónicos encontrados durante la toma de muestras.

Figura 66

Modelamiento En DigSilent De La Carga Correspondiente



Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente ventana que representa la figura 66 y 67 introducimos los valores de las corrientes armónicas, esto en porcentajes de la corriente fundamental, tal como se encuentran en la tabla 31.

Figura 67

Ventana Para Introducir Las Corrientes Armónicas De La Carga

Harmonic Order	Ia_h/Ia_1 %	Ib_h/Ib_1 %	Ic_h/Ic_1 %	phiA_h-h'phiA_1 deg	phiB_h-h'phiB_1 deg	ph
1	100	100	100	0	0	0
2	27.1332	28.0776	24.2358	0	0	0
3	14.5337	13.347	13.5268	0	0	0
4	3.9173	4.8289	3.7391	0	0	0
5	2.1902	3.0437	2.5025	0	0	0

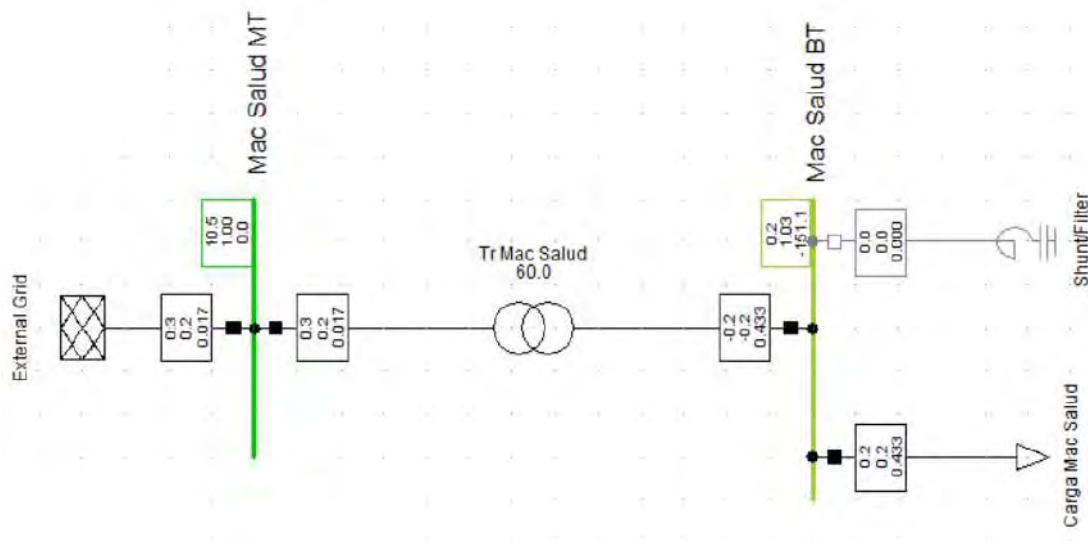
Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.6 Modelamiento del circuito completo

Ahora que ya contamos con todo el modelado de todas las partes del sistema eléctrico de la Clínica, podemos realizar la simulación de la SED 0011013.

Figura 68

Modelamiento De La SED 0011013 fuente



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 68, realizamos el modelamiento completo del sistema eléctrico de la SED 0011013 tanto en el lado de Alta y de Baja Tensión, la cual pertenece a la Clínica Mac Salud incluyendo los valores del mismo.

4.2 Simulación y análisis de las corrientes armónicas

Para poder realizar la simulación, es necesario contar con el valor de la relación de Corto Circuito (SCR) en el punto de conexión común (PCC). En nuestro caso el PCC es la barra de 0.23 kv, punto de conexión de la carga de la Clínica Mac Salud Cusco, para ello utilizamos la siguiente formula:

$$SCR = \frac{I_{sc}}{I_L} \quad (\text{Ecuación 2.24})$$

Donde:

SCR : Relación de Corto Circuito

Isc : Máxima Corriente de Cortocircuito en el PCC

I_L : Máxima corriente de carga demandada en el PCC

La relación de cortocircuito SCR se obtuvo de la ecuación 2.24 desarrollado en el capítulo III en la página 106.

Tabla 33

Cortocircuito Trifásico En La Subestación 0011013

Falla Trifásica en la barra de la SED 0132	
Corriente de máxima demanda(A)	Corriente de Corto Circuito (A)
78.681	4210

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla 33, conocidos los valores de I_{sc} y I_L, se calcula la Relación de corto Circuito:

$$SCR = \frac{I_{sc}}{I_L} = \frac{4210}{78.861} = 53.507$$

El valor obtenido $SCR = 53.507$, se encuentra dentro del rango $50 < \frac{I_{sc}}{I_L} < 100$, este rango nos indica los límites aplicables para el contenido armónico de corriente, estos son establecidos por la norma internacional IEEE 519-2014.

Tabla 34

Límites Aplicables Para El Contenido Armónico De Corriente

Máxima Distorsión de Corriente armónica en porcentaje de I_L						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
50-100	10	4.5	4	1.5	0.7	12

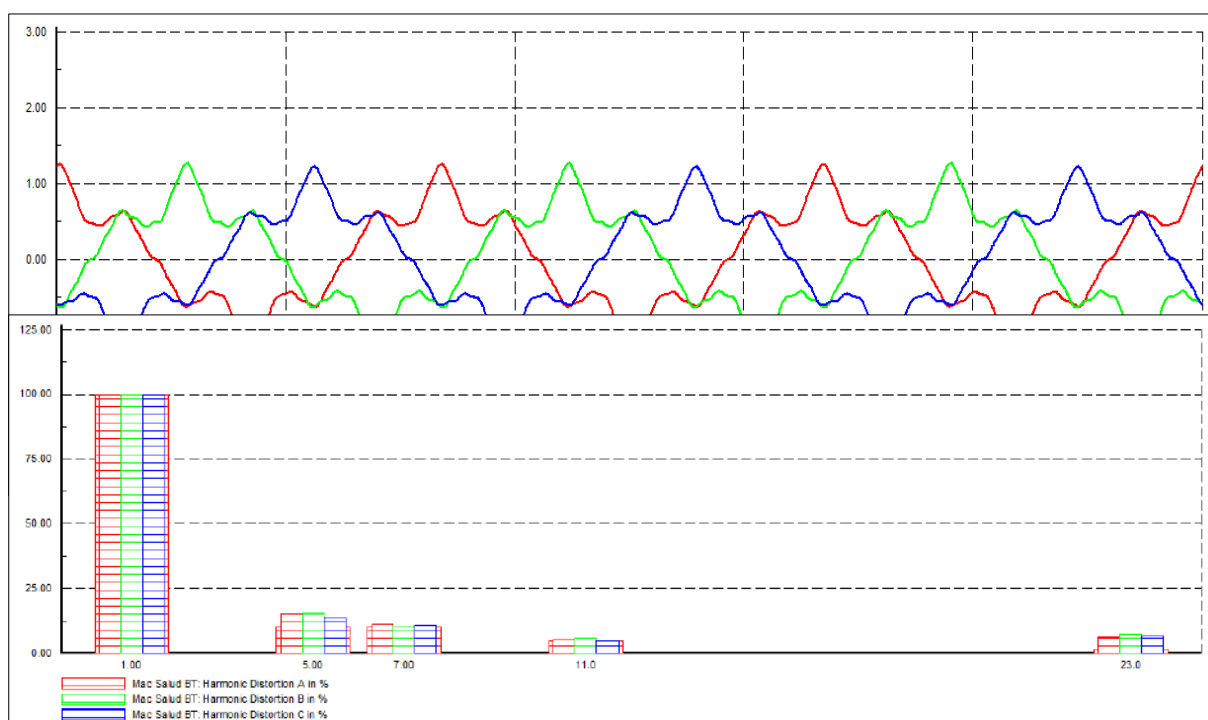
Fuente: Tabla 2 (IEEE 519-2014, 2014, pág. 20)

La tabla 34 muestra los límites aplicables para el contenido armónico de corriente, según el valor obtenido en la ecuación 2.24 Relación de Corto Circuito SCR.

De acuerdo con la tabla N°31, se utilizan los valores indicados y se introducen en el software DigSilent Power Factory, para su simulación, obteniendo así la siguiente figura:

Figura 69

Forma De Onda Y Espectro Armónico De Corriente Armónica



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 69 observamos la forma de onda y el espectro armónico de corriente de cada una de las fases, en el espectro de armónico llegamos a visualizar que los armónicos de orden 5°, 7°, 11° y 23°, superan el límite establecido por la norma IEEE std 519 - 2014.

4.2.1.- Resultados de la simulación

Al concluir las simulaciones de las corrientes armónicas de tensión y de corriente, podemos observar que las corrientes armónicas son las más influyentes sobre el sistema eléctrico, motivo por el cual nuestro trabajo se enfocará en la elaboración de un filtro para mitigar las corrientes armónicas y como consecuencia la mitigación de las tensiones armónicas.

4.3 Conclusiones de la simulación

a) Norma Internacional IEEE std 519 – 2014

- Existen corrientes armónicas fuera de los límites establecidos, los más considerables son los de orden 5to, 7mo y 11vo, los cuales serán objeto de análisis primordiales.
- Existen tensiones armónicas que se encuentran fuera de los límites permitidos, estos no son tan relevantes y serán mitigados como consecuencia del uso de un filtro para corrientes armónicas.

b) Norma Nacional NTCSE

- Existen tensiones armónicas fuera de los límites permitidos por la NTCSE.
- La NTCSE no contempla el análisis de las corrientes armónicas, estas son objeto de estudio por la norma internacional IEEE 519 – 2014.

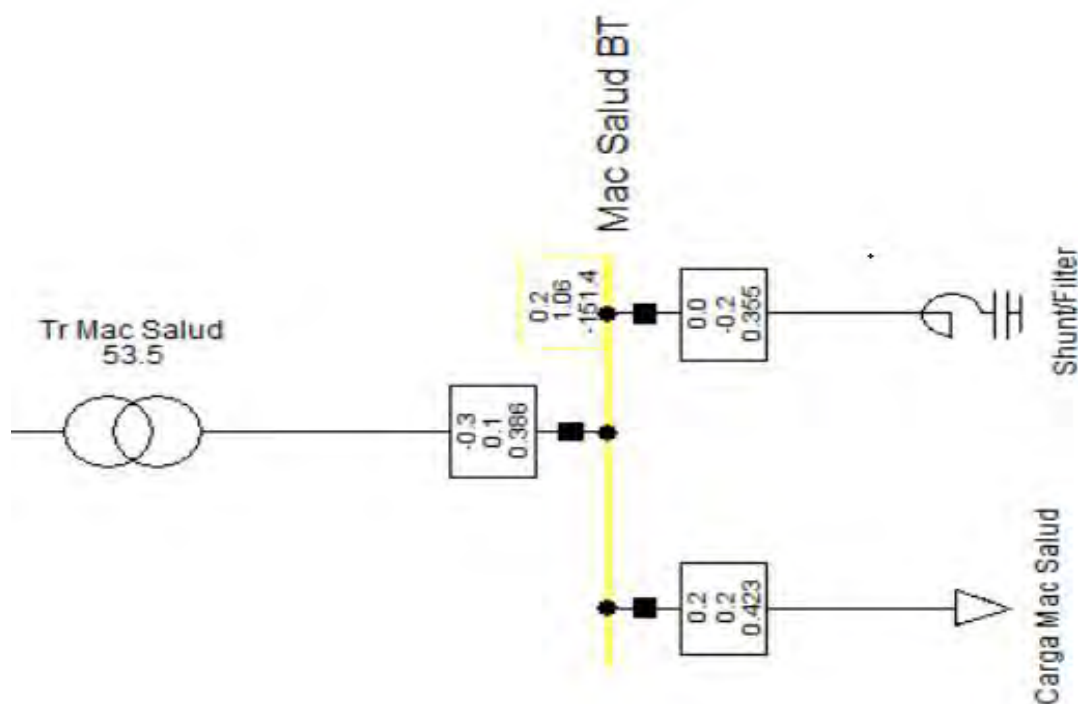
CAPITULO V: DISEÑO DEL FILTRO

5.1 Diseño digital del filtro en software DigSilent Power Factory

Con el objetivo de reducir significativamente los armónicos presentes en las corrientes y tensiones del sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco, se llevará a cabo la implementación de un filtro diseñado de manera precisa. Este filtro, previamente diseñado, será incorporado posteriormente a la simulación del sistema. Esta estrategia permitirá llevar a cabo una comparativa detallada entre el sistema eléctrico de la clínica en dos condiciones distintas: una sin la presencia del filtro y otra con el filtro instalado. Esta evaluación comparativa nos proporcionará una clara visualización de las mejoras logradas gracias a la mitigación de los armónicos, evidenciando el impacto positivo de esta solución en la calidad y estabilidad del suministro eléctrico en la Clínica Mac Salud Cusco.

Figura 70

Modelamiento Del Sistema Eléctrico Con Filtro

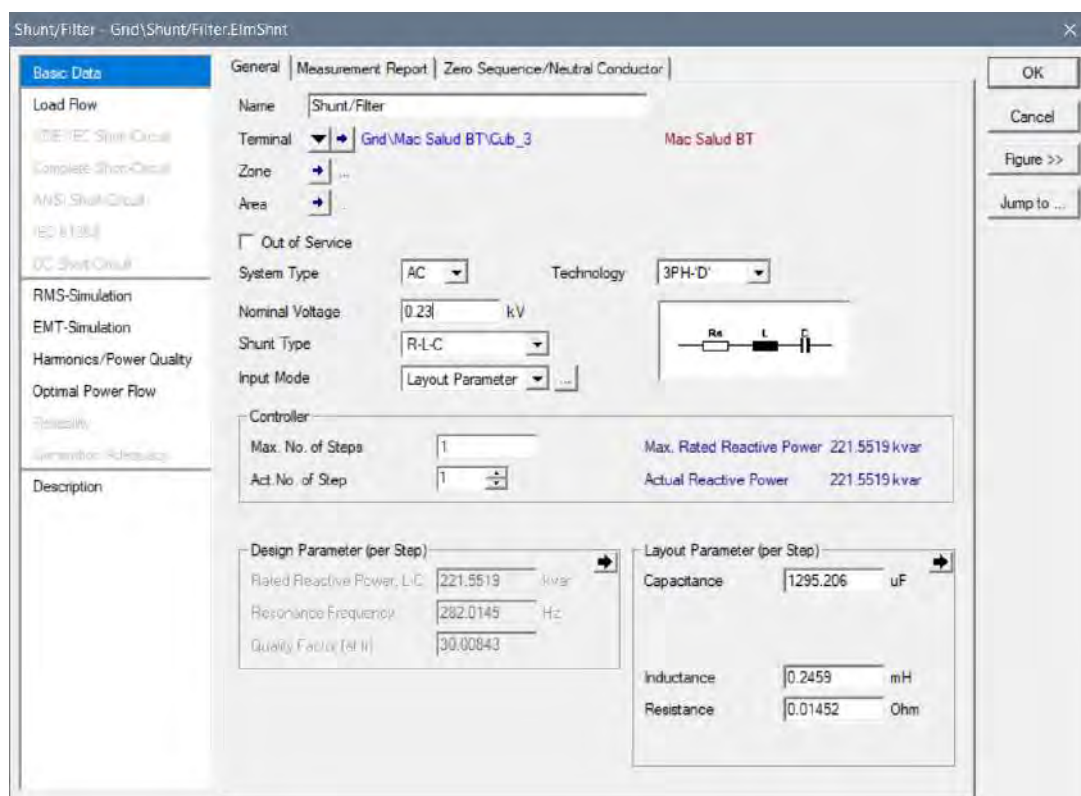


Fuente: Elaboración Propia

En la figura 70 observamos el modelamiento del Sistema Eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco incorporando los valores del filtro diseñado en el programa DigSilent Power Factory

Figura 71

Modelamiento Del Filtro Eficiente



Fuente: Elaboración Propia

La figura 71 implica la representación del filtro en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud, para mitigar los armónicos de corriente y voltaje.

5.1.1 Parámetros para el cálculo de la corriente del filtro pasivo

5.1.1.1 Cálculo de la corriente residual

Para poder obtener el valor de la Corriente Residual es necesario contar con dos valores, corriente eficaz y corriente fundamental, estos valores son obtenidos del analizador de redes PQ-BOX 100:

Corriente Eficaz: $I_{RMS} = 77.707 \text{ A}$

Corriente Fundamental $I_1 = 74.147 \text{ A}$

Se procede a calcular la I_{RMSR} con la siguiente ecuación:

$$I_{RMSR} = \sqrt{(I_{RMS})^2 - (I_1)^2}$$

Reemplazando valores:

$$I_{RMSR} = \sqrt{(77.707)^2 - (74.147)^2}$$

$$I_{RMSR} = 23.25 \text{ A}$$

5.1.1.2 Cálculo de la corriente nominal del filtro

Para calcular la corriente nominal haremos uso de la ecuación:

$$I_{AFQ} = SF_h * I_{carga} * THD_i$$

SF_h : factor de sobre carga del filtro

El valor de SF_h está ligado al valor de THD_v , el cual nos indica:

- Si $THD_v \leq 3\%$ entonces $SF_h = 1.2$
- Si $THD_v \leq 5\%$ entonces $SF_h = 1.5$
- Si $THD_v > 5\%$ entonces $SF_h = 1.8 - 2$

En nuestro caso el $THD_v = 1.523 \%$ entonces nuestro factor de sobrecarga será $SF_h = 1.2$, por otro lado, nuestro $THD_i = 43.114\%$, entonces:

$$I_{AFQ} = 1.2 * 74.147 * 43.114\%$$

$$I_{AFQ} = 38.36 \text{ A}$$

Con el valor obtenido anteriormente podemos calcular la potencia aparente:

$$S[KVA] = V[v] * I[kA]$$

$$S = 230 * 0.03836$$

$$S = 8.82 [KVA]$$

La potencia aparente del filtro es 8.82 kVA, los fabricantes sugieren utilizar los filtros pasivos, ya que se requiere mitigar algunos armónicos individuales, es decir, ciertos ordenes (5°, 7°, 11°) además de ser más económicos.

5.1.2 Cálculo de los parámetros para un filtro pasivo

5.1.2.1 Cálculo de la potencia reactiva

Para poder calcular la potencia reactiva del filtro es necesario calcular la potencia reactiva de la carga, es decir, de la Clínica Mac Salud Cusco, los valores que a continuación se muestran fueron tomados por el analizador de redes PQ-BOX 100 durante el periodo de medición mencionado en el Cap. I y II:

Tabla 35

Potencia Reactiva En La Clínica Mac Salud Cusco

	P (kW)	Q (kVAR)	S (kVA)
Línea "R"	15.20	8.85	17.53
Línea "S"	14.99	8.58	17.30
Línea "T"	15.69	8.40	17.62
Máximo	45.88	25.83	52.45

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 35 muestra los valores obtenidos mediante fórmulas que se utilizaron anteriormente para el diseño del filtro sintonizado.

La potencia reactiva de la Clínica Mac Salud Cusco es de 25.83 kVAR, para una mitigación armónica más adecuada se utilizará un filtro sintonizado, ya que, estas al sintonizarse con la frecuencia del armónico, proporciona una máxima atenuación.

5.1.2.2 Cálculo de la capacitancia

Para calcular el valor de la capacitancia se utilizará la siguiente ecuación:

$$X_C = \frac{(V_{nom})^2}{Q_{LL}}$$

$$X_C = \frac{(0.23 \text{ kV})^2}{25.83 \text{ kVAR}}$$

$$X_C = 2.048 \Omega$$

Con el valor de X_C calculado, podemos obtener el valor de C , con la siguiente formula:

$$C = \frac{1}{2\pi * f * X_C}$$

$$C = \frac{1}{2\pi * 60 * 2.048}$$

$$C = 1295.2062 \mu F$$

5.1.2.3 Cálculo de la inductancia

Para calcular la inductancia del filtro se empezará utilizando de la siguiente ecuación:

$$\omega_n = 2\pi n f$$

“n” representa el orden del armónico que se desea mitigar, en nuestro caso los armónicos a filtrar son el 5°, 7° y 11° armónico, por lo cual “n” tomará los valores de 5, 7 y 11.

La norma internacional IEEE 1531-2003, sugiere ajustar el valor de “n” haciendo una reducción del 6%, esto con la finalidad de evitar la resonancia, esto si son sintonizados en la misma frecuencia del armónico a mitigar. Entonces:

$$n' = 94\% (n)$$

$$\text{Si } n = 5: \quad n_5' = 94\% (5)$$

$$n_5' = 4.7$$

Entonces:

- $n_5' = 4.7$
- $n_7' = 6.58$

- $n_{11}' = 10.34$

Con los valores de “n” anteriormente calculados, reemplazamos para cada valor en la ecuación:

$$\omega_5 = 2\pi * 4.7 * 60$$

$$\omega_5 = 1771.858 \frac{rad}{s}$$

Entonces:

- $\omega_5 = 1771.858 \frac{rad}{s}$

- $\omega_7 = 2480.601 \frac{rad}{s}$

- $\omega_{11} = 3898.088 \frac{rad}{s}$

Ahora ya podemos calcular la inductancia, para ello utilizaremos la ecuación:

$$L = \frac{1}{(\omega_n)^2 * C}$$

$$L_5 = \frac{1}{(1771.858)^2 * 1295.2062 \times 10^{-6}}$$

$$L_5 = 0.2459 \text{ mH}$$

Entonces:

- $L_5 = 0.2459 \text{ mH}$

- $L_7 = 0.1254 \text{ mH}$

- $L_{11} = 0.0508 \text{ mH}$

5.1.2.4 Cálculo de la resistencia

Para poder calcular el valor de la resistencia del filtro pasivo sintonizado, primero debemos de definir el valor del factor de calidad “Q”, según Gers, 2008 este valor varía entre 30 – 60; sin embargo, Sánchez & Cevallos, 2014 Q toma valores entre 20 – 30. Se asumirá el valor de 30.

Ahora se puede calcular el factor de calidad Q, usando la siguiente fórmula:

$$R = \frac{\omega_n * L_n}{Q}$$

$$R_5 = \frac{1771.858 * 0.2459 \times 10^{-3}}{30}$$

$$R_5 = 0.01452 \Omega$$

Entonces

- $R_5 = 0.01452 \Omega$
- $R_7 = 0.01037 \Omega$
- $R_{11} = 0.0066 \Omega$

Finalmente, con todos los parámetros obtenidos se procede a simular el filtro en el software DigSilent Power Factory.

Tabla 36

Parámetros Obtenidos Para El Diseño Del Filtro

Orden de armónicos a filtrar	R (Ω)	L (mH)	C (μF)
5to	0.01452	0.2459	1295.2062
7mo	0.01037	0.1254	1295.2062
11vo	0.0066	0.0508	1295.2062

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 36 muestra los parámetros obtenidos para el diseño del filtro, que son componentes específicos, como resistencias, condensadores, bobinas, etc., para mitigar los armónicos de orden 5°, 7° y 11°

5.2 Simulación de implementación de los filtros

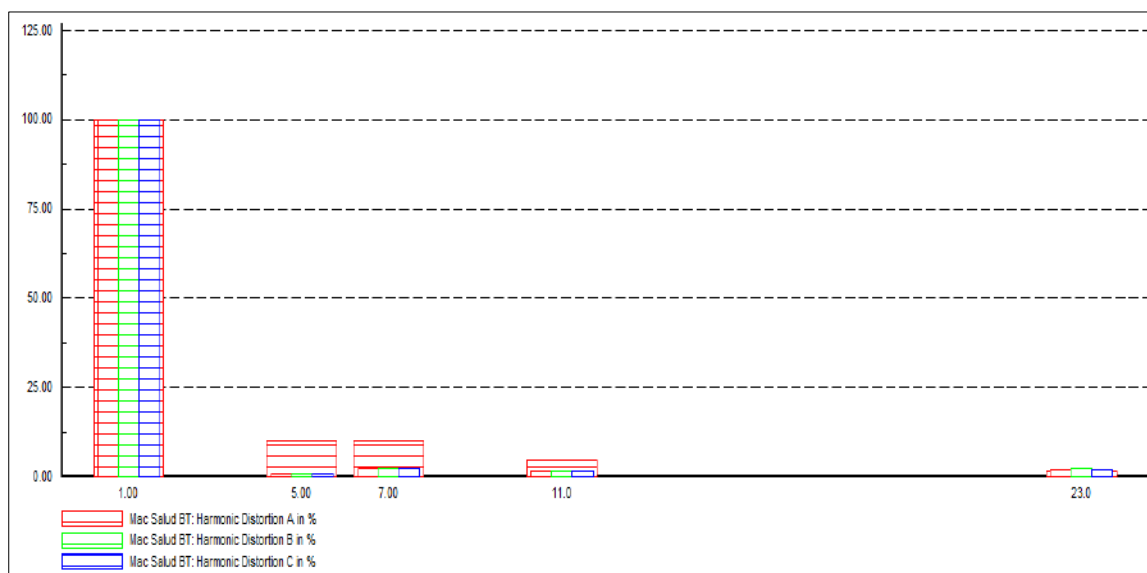
5.2.1 Casos de análisis

Para poder obtener una mitigación óptima, se realizará una conexión RLC del tipo delta con el filtro, esto con la finalidad de evitar el retorno de las corrientes armónicas al sistema eléctrico de la Clínica.

5.2.2.1 R-L-C en Delta

Figura 72

Espectro De Las Corrientes Armónicas En Presencia Del Filtro

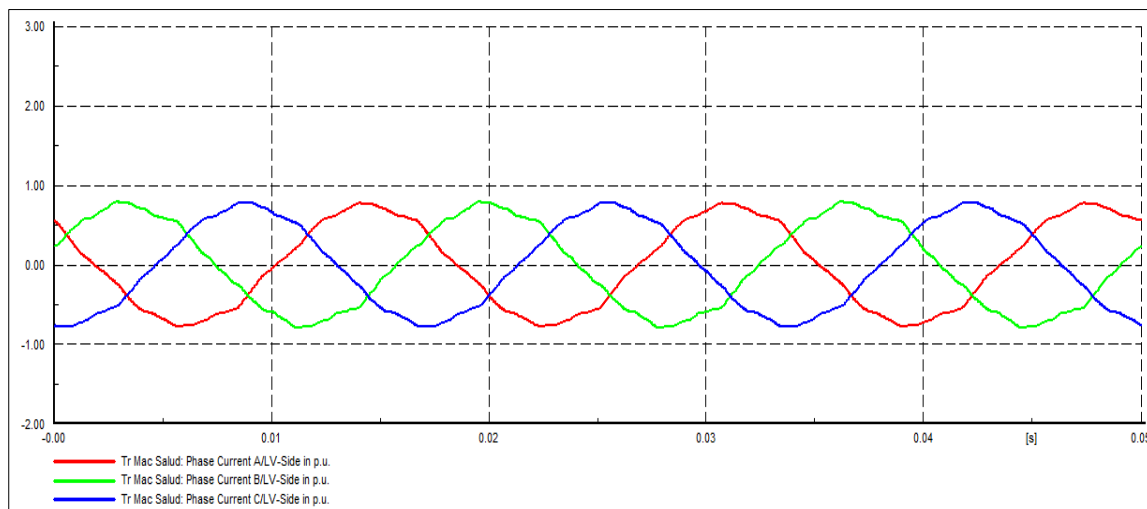


Fuente: Elaboración Propia

En la figura 72 observamos el espectro de las corrientes armónicas en presencia del filtro que redujeron considerablemente el porcentaje de las mismas, los armónicos de orden 5°, 7°, 11° y 23° se encuentran por debajo y dentro del límite de lo establecido por la norma IEEE std 519-2014.

Figura 73

Señal De Onda De Las Corrientes Armónicas En Presencia Del Filtro



Fuente: Elaboración Propia

Según se observa en la figura 73 los armónicos de corriente se reducen considerablemente, haciendo que los valores ahora obtenidos se encuentren dentro de los límites admisibles por la norma internacional IEEE 519-2014. Del mismo modo, se puede observar que en la figura 69, las formas de onda de las corrientes se corrigen a una señal senoidal casi perfecta, en comparación a las formas de onda antes del uso del filtro.

5.2.2 Resultados de las simulaciones

Según los análisis antes realizados, se logra una mitigación satisfactoria, ya que los nuevos valores en presencia del filtro de corrientes armónicas se encuentran dentro de los niveles permitidos por las normas internacionales y nacionales.

5.2.3 Análisis de la viabilidad de la propuesta de solución

En el punto 5.1.3, se realizaron los cálculos para el diseño del filtro pasivo que mitigarán el quinto armónico.

Por otro lado, a estos cálculos también se debe de adicionar el valor de la potencia total del filtro, así también se debe evaluar la corriente que circulará a través del mencionado filtro.

La conexión de nuestro filtro es en estrella con neutro aislado, por lo que la corriente de línea es igual a la corriente de fase ($I_L = I_F$)

Partimos de la ecuación de la ley de Ohm, se sabe que:

$$I_f = \frac{V_f}{Z_{eq}} = \frac{V_f}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

Donde:

I_f : Corriente de fase nominal del filtro (KA).

V_f : Tensión de fase nominal del filtro (KV).

R : Resistencia del filtro (Ohm).

Z_{eq} : Impedancia equivalente del filtro (Ohm).

X_L : Reactancia inductiva del filtro (Ohm).

X_C : Reactancia capacitiva del filtro (Ohm).

De la ecuación anterior y los valores que ya se conocen de "L" y "C", seguidamente procedemos al cálculo de " X_L " y " X_C " respectivamente.

$$X_L = 2 * \pi * f * L$$

$$X_L = 2 * \pi * 60 * 0.0002459 \text{ Ohm}$$

$$X_L = 0.092702 \text{ Ohm}$$

$$X_C = \frac{1}{2 * \pi * f * C}$$

$$X_C = \frac{1}{2 * \pi * 60 * 1295.2062 * 10^{-6}}$$

$$X_C = 0.488281 \text{ Ohm}$$

Reemplazando estos valores calculados en la ecuación de Ohm, se tiene que;

$$I_f = \frac{\left(\frac{0.23}{\sqrt{3}}\right)}{\sqrt{0.01452^2 + (0.092702 - 0.488281)^2}} = \frac{0.132790}{0.156693} = 0.847452 \text{ KA}$$

$$I_f = 847.45 \text{ Amp}$$

Con el valor de la corriente nominal procedemos con el cálculo de la potencia aparente del filtro.

$$S = \sqrt{3} * I_L * V_L \text{ (MVA)}$$

$$S = \sqrt{3} * 0.8474 * 0.23 = 0.3374 \text{ (MVA)}$$

Como el valor de la resistencia es muy pequeña, podemos admitir que la potencia reactiva del filtro es:

$$Q = 0.3374 \text{ (MVAR)}$$

Una vez calculados los valores de la corriente nominal, potencia aparente y reactiva del filtro. Elaboraremos la siguiente tabla como resumen de las características técnicas del filtro pasivo diseñado para mitigar el quinto armónico del sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco.

Tabla 37

Características Técnicas Requeridas Para La Implementación Del Filtro Pasivo

Parámetros del filtro pasivo diseñado.	
Tensión Nominal (L - L)	0.23 KV
Potencia Nominal	0.23 KV
Frecuencia	60 Hz
Resistencia (R)	0.01452
Inductancia (L)	0.2459 mH
Capacitancia (C)	1295.2062 μ F

Fuente: Elaboración Propia

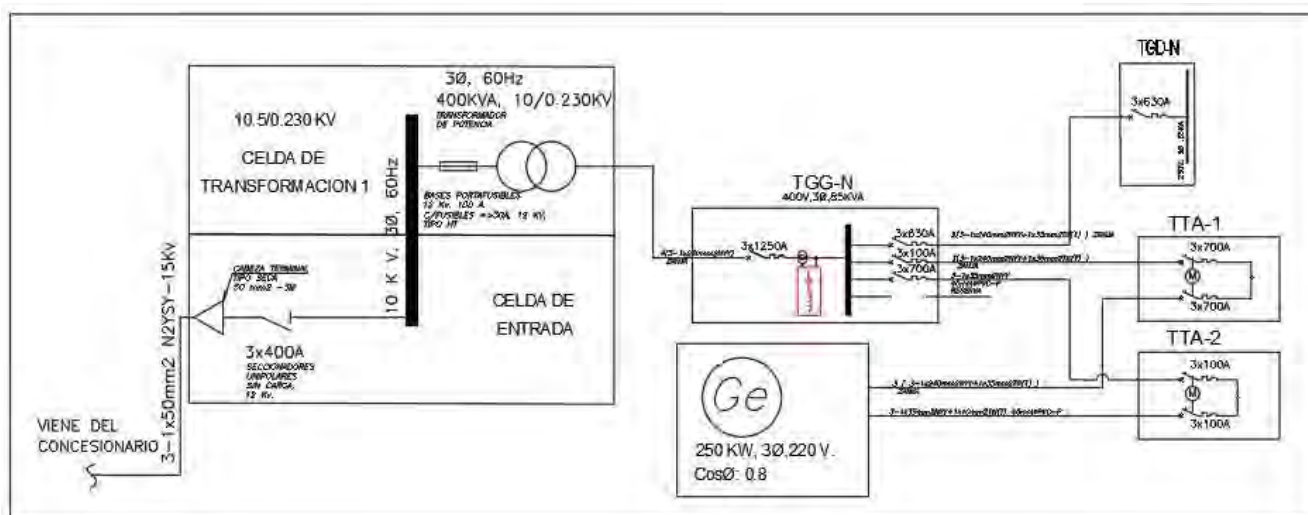
La tabla 37 muestra los parámetros del filtro pasivo diseñado, debemos indicar que estos parámetros son una selección cuidadosa de componentes como inductores, capacitancias y resistencias para atenuar armónicos específicos.

Una vez analizado y comprendido las especificaciones de la propuesta de solución, el filtro pasivo, y evaluado su eficacia mediante las simulaciones, podemos realizar la ubicación del filtro en el diagrama unifilar de la subestación 0011013 de la Clínica Mac Salud Cusco.

La correcta ubicación del filtro garantizará que este cumpla de manera eficiente, minimizando las distorsiones armónicas y protegiendo los equipos médicos, los componentes de las instalaciones eléctricas interiores y los propios equipos de la subestación. Es así, que para estas condiciones el filtro se ubicará dentro del tablero general TGG y para su funcionamiento se requerirá un transformador de corriente. En la figura 72 observaremos la ubicación exacta del filtro pasivo.

Figura 74

Ubicación Del Filtro Pasivo Dentro De La Subestación 0011013 De La Clínica Mac Salud Cusco



Fuente: Área de mantenimiento de la Clínica Mac Salud Cusco.

En la figura 74, se observa la implementación del filtro pasivo en el sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco, específicamente en el Tablero General Normal, aguas abajo

del transformador, aunque la ubicación específica de conexión puede variar según la aplicación, pero generalmente se conectan en línea con la señal que se desea filtrar.

5.3 Análisis de la viabilidad económica de la implementación del filtro pasivo.

5.3.1 Por la implementación del filtro pasivo.

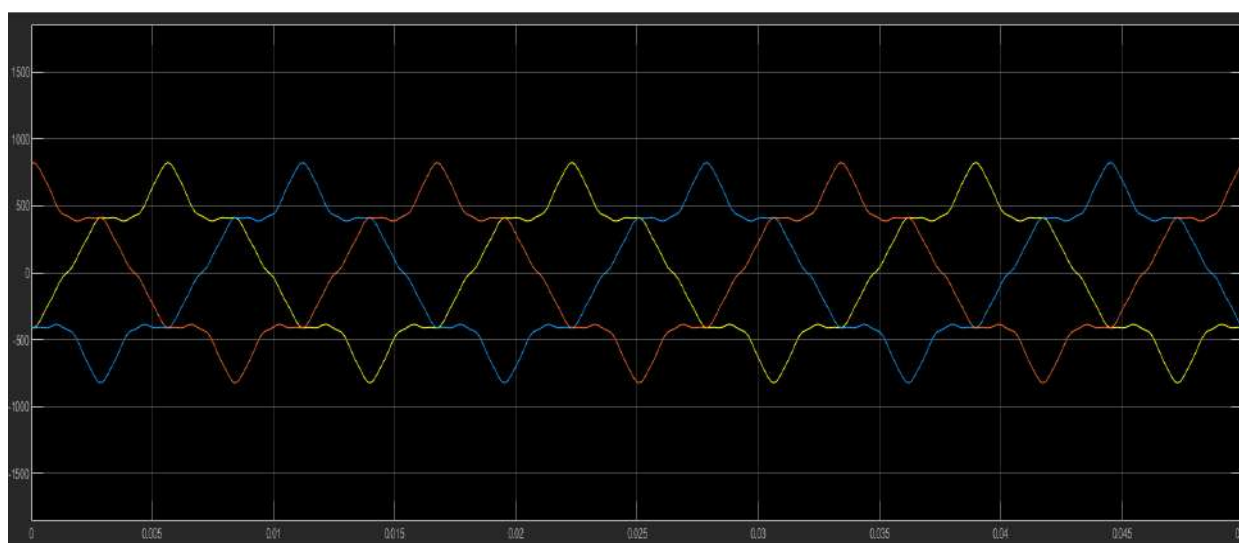
Determinado el tipo de filtro, se indaga acerca de su costo en base a la potencia, nivel de tensión, corriente, con estos datos se proporciona a la empresa fabricante y esta nos brinda el precio final del filtro, para nuestro caso, la empresa a la que hicimos la cotización fue la empresa: “QUALITY METERING PRODUCTS”, la cual nos indicó que el precio del filtro es de \$12,650.00 (Doce mil seiscientos cincuenta dólares).

5.4 Simulación de los filtros en el Software MATLAB

Para poder contrastar los resultados obtenidos en las simulaciones en el software DigSilent Power Factory se realizó una simulación en el software MATLAB, se obtuvieron los resultados de los armónicos antes de la implementación del filtro y como estos se corrigen después del uso del filtro seleccionado.

Figura 75

Señal De Onda De Las Corrientes Armónicas Sin Filtro En El Software Matlab

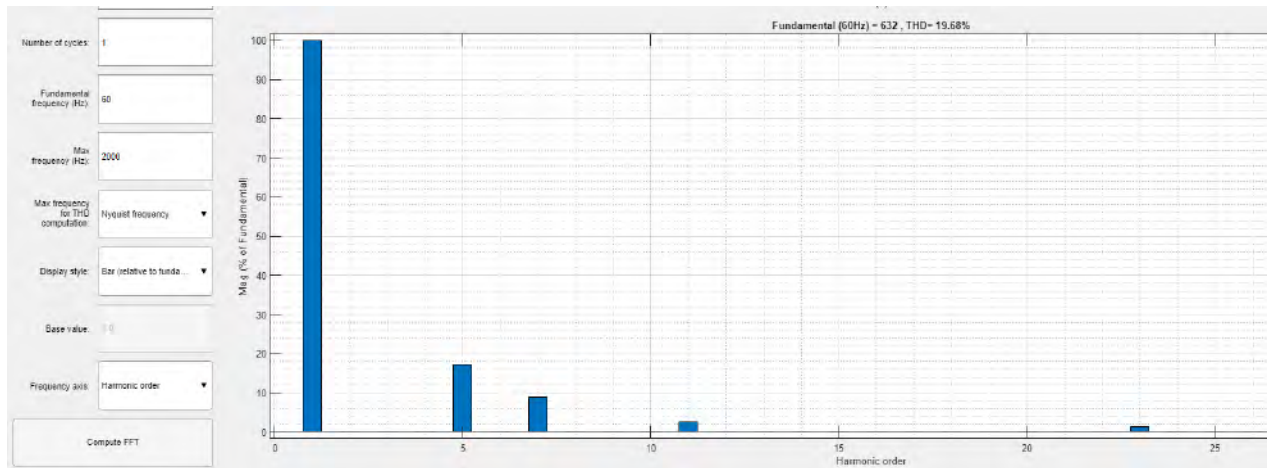


Fuente: Elaboración Propia

La figura 75, representa la señal de onda de las corrientes armónicas de las 3 fases simulado en el Software MATLAB.

Figura 76

Espectro De Las Corrientes Armónicas Sin Filtro En El Software Matlab

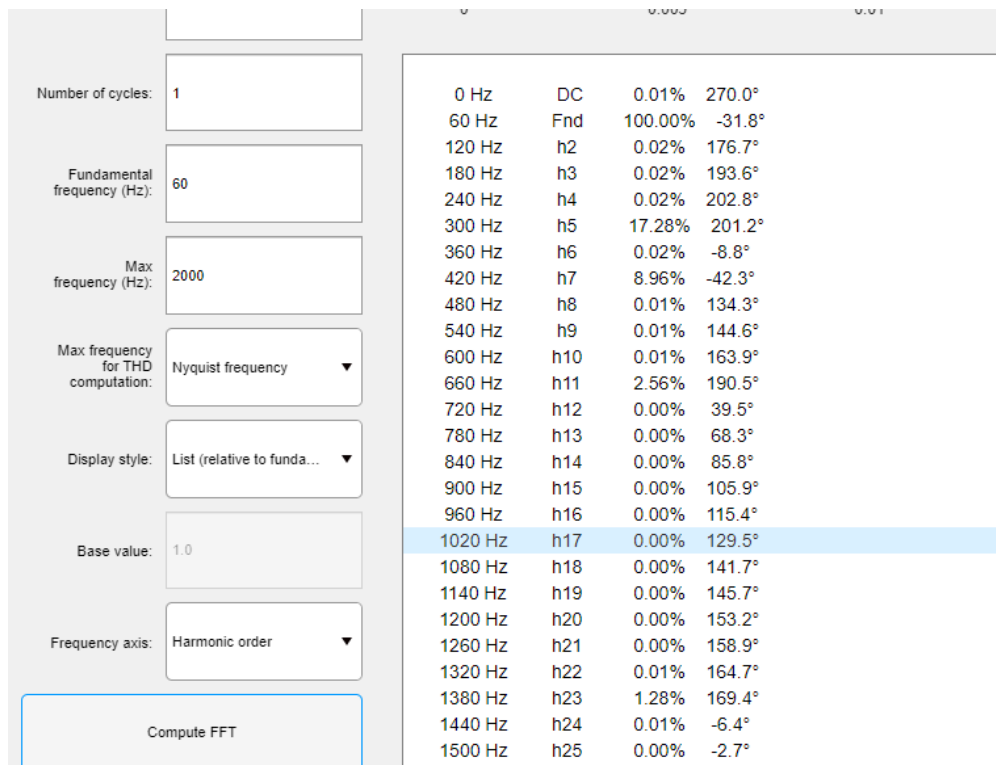


Fuente: Elaboración Propia

La figura 76 representa el espectro de las corrientes armónicas sin filtro en el Software MATLAB, se puede observar que los armónicos del orden 5°, 7°, 11° y 23° están fuera del límite establecido por la IEEE std 519-2014.

Figura 77

Porcentaje De Distorsiones Armónicas Obtenidas En El Software Matlab

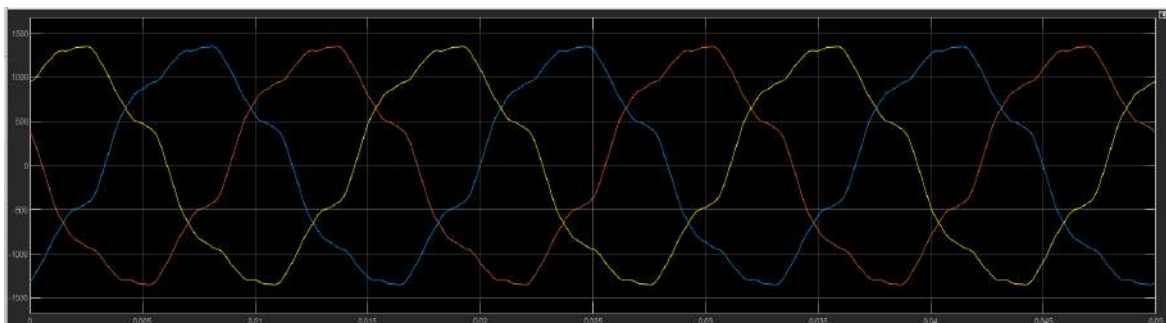


Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la figura 77, las señales de onda y el diagrama de barras son muy similares a los resultados obtenidos en las simulaciones en DigSilent Power Factory. A continuación, se mostrará esta simulación en presencia del filtro seleccionado.

Figura 78

Señal De Onda De Las Corrientes Armónicas con Filtro En El Software Matlab

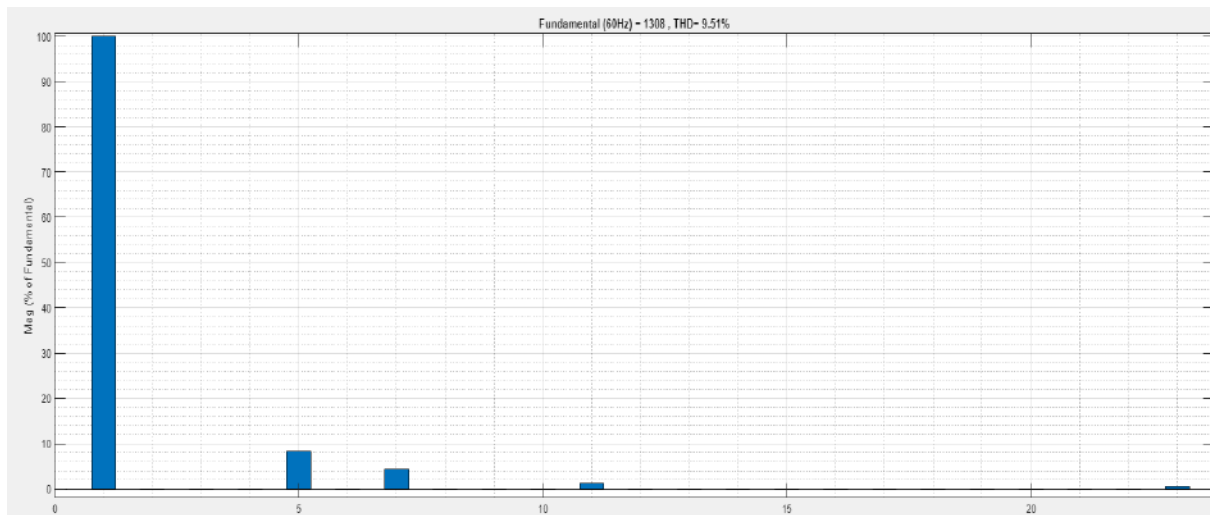


Fuente: Elaboración Propia

En la figura 78 se puede observar las señales de onda de las corrientes armónicas sin filtro, en el Software MATLAB. En la figura se puede observar que las señales de onda contienen múltiples componentes armónicas.

Figura 79

Espectro De Las Corrientes Armónicas En Presencia Del Filtro En El Software Matlab

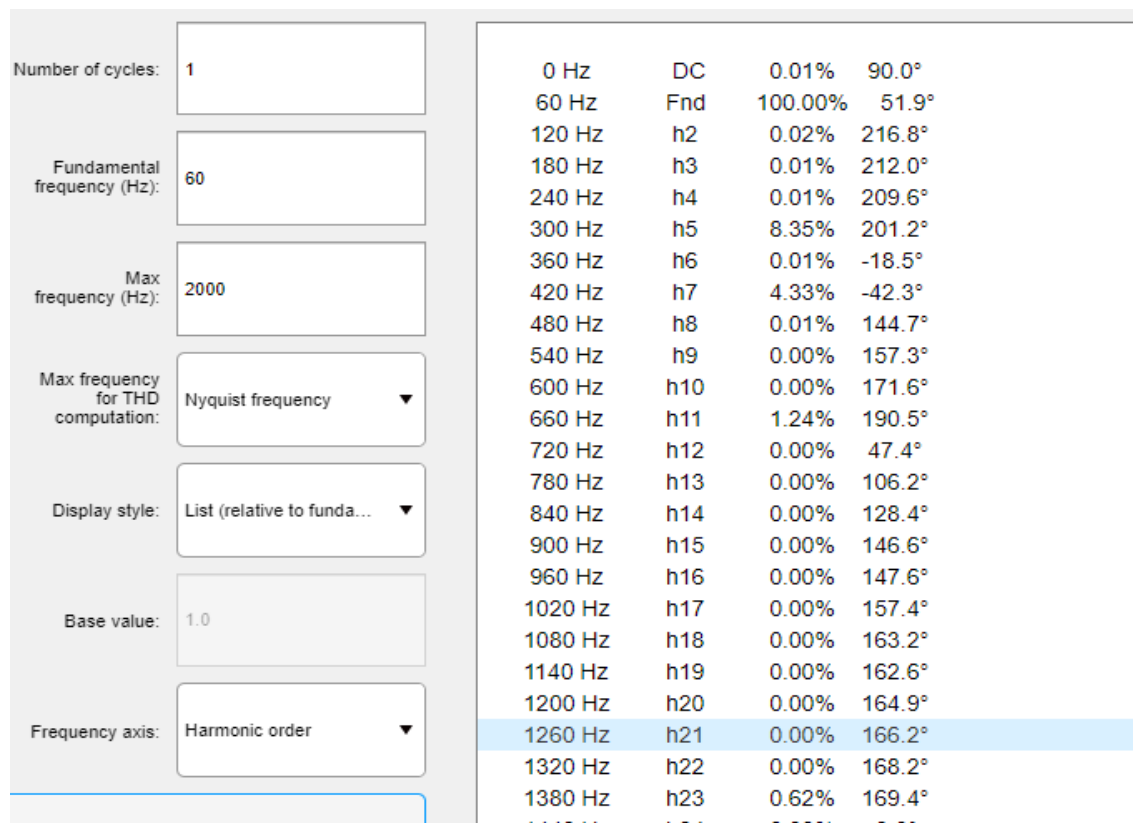


Fuente: Elaboración Propia

En la figura 79 se puede observar el espectro de las corrientes armónicas con filtro, en el Software MATLAB.

Figura 80

Porcentaje De Distorsiones Armónicas Obtenidas En El Software Matlab



Fuente: Elaboración Propia

Al realizar las simulaciones del filtro en los Software DigSilent Power Factory y MATLAB, resulta evidente que la implementación del filtro conlleva a una significativa atenuación de los niveles de distorsión armónica. Este fenómeno se hace evidente tanto en la rectificación de las formas de onda como en el análisis de distribución mediante un diagrama de barras. Estos resultados, evidenciados en la figura 80, indican claramente que los niveles de distorsión han sido exitosamente reducidos, demostrando una concordancia plena con los límites específicos estipulados por las normativas nacionales e internacionales vigentes. Este hecho no solo corrobora la eficacia del filtro empleado, sino que también resalta su capacidad para adecuarse a los estándares de calidad y rendimiento.

CONCLUSIONES

1. La mitigación de las distorsiones armónicas identificadas en la Clínica Mac Salud Cusco, específicamente de orden 5°, 7° y 11°, resultan en una mejora sustancial en la calidad de producto de la energía eléctrica. Esta mejora se evidencia en la conformidad con la norma nacional NTCSE y la internacional IEEE Std. 519-2014, esto garantizará la eficiencia de los equipos médicos, así como su tiempo de vida.
2. Al realizar la simulación del sistema eléctrico de la Clínica Mac Salud Cusco utilizando el software DigSilent PowerFactory, se ha corroborado que la presencia de armónicos de tensión y corriente ejercen un impacto significativo en la forma de la señal de onda de estos parámetros, representando un déficit en el desempeño energético en la Clínica Mac Salud Cusco, evidenciando a su vez la necesidad de implementar medidas de mitigación de las distorsiones armónicas.
3. Luego de la evaluación de algunos métodos y técnicas para la mitigación de las distorsiones armónicas presentes en la Clínica Mac Salud Cusco se llega a la conclusión de que la mejor propuesta de solución es la implementación de un filtro pasivo de corriente, debido a sus características técnicas y económicas, lo que con lleva al diseño y simulación del filtro seleccionado.
4. El filtro de corrientes armónicas desarrollado en el presente trabajo de investigación es eficiente. La implementación de este filtro en el sistema eléctrico simulado de la Clínica Mac Salud Cusco a través del software DigSilent PowerFactory ha logrado una significativa mitigación en los niveles de distorsión armónicas. Esta reducción representa una mejora significativa de la calidad de producto de la energía eléctrica.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda proyectar y ejecutar evaluaciones de la calidad de energía eléctrica en distintas áreas, donde se ubican equipos sensibles instalados, con el fin de mostrar los problemas y dar soluciones a tiempo, evitando daños o pérdidas irreparables de los mismos. Se debe incorporar un estudio que considere los tipos de cargas especiales, a las que estén sujetas las instalaciones eléctricas, respetando estrictamente las normativas nacionales e internacionales vigentes. Esto con el fin de prever problemas en el suministro eléctrico y la integración de soluciones.
2. Ante la presencia de distorsión armónica, es necesario determinar con precisión la magnitud y orden de estos, para implementar en las instalaciones la solución que más convenga, es decir, se recomienda realizar modificaciones al interior del establecimiento, como, cambio de calibre de conductores, reagrupamiento de cargas no lineales, entre otros, con el fin de reducir el efecto dañino de los armónicos.
3. Se recomienda la instalación de filtros pasivos, de tal forma que se garantice el correcto funcionamiento de los equipos bajo niveles de distorsión armónica mucho menores para esto, es necesario algunos criterios, antes, durante y después de la ubicación de los filtros
 - Tener el mayor número de mediciones posibles, ofrece mayor garantía y resultado en conocer a detalle el comportamiento del sistema y determinar con que se debe diseñar el filtro requerido.
 - Conocer el tipo de tecnología de las que se componen las cargas no lineales, que están instaladas en el establecimiento, con el fin de saber el orden y magnitud de los armónicos que inyectan al sistema eléctrico.

- Con el uso del software DigSilent se realiza diferentes simulaciones, con el fin de determinar el sitio mas adecuado para la ubicación de los filtros.
 - Es recomendable ubicar los filtros cerca del mayor número de cargas no lineales que se encuentren instaladas en el establecimiento.
 - Colocar el filtro dentro del sistema de tal manera que cumpla su función de reducir el efecto de los armónicos.
4. Se recomienda que después de la instalación de los filtros, hacer el mantenimiento preventivo, ya que estos filtros se componen de capacitores que se deterioran principalmente con la temperatura y las sobretensiones, pues afectan directamente su impedancia, y pueden desintonizarse, no cumpliendo con derivar a tierra los armónicos para los cuales han sido diseñados.
5. Recomendamos realizar una medición de los niveles de distorsión armónica en cada uno de los circuitos de la Clínica Mac Salud Cusco, ya que así se podrá reconocer cual o cuales son los circuitos con mayor cantidad de distorsión armónica, así se podrá diseñar filtros más adecuados para cada circuito, de esta forma la mitigación de armónicos será más precisa y efectiva.

BIBLIOGRAFÍA

- Calderon, G. R. (1996). ARMÓNICAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA . Nuevo León - Mx.
- Fourier, J.-B. J. (1825). Descopocición de la señal de onda distorsionada. Francia.
- Gers, J. M. (2008). Teoría y diseño de filtros de armónicos en sistemas eléctricos. TECSUP.
- Johny Duvan Mora Sanchez, Y. J. (2014). Estudio y análisis de calidad de energía enfocado en nivel de armónicos en el sistema electrico de la subestación enfriadora 1 de holcim ecuador planta guayaquil. Guayaquil .
- Lamich. (2011). Aplicación de un filtro activo topología en serie . España.
- Lamich, M. (2011). Filtros Activos de Potencia. En M. Lamich, Filtros de Potencia (pág. 6). Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Mario Corimanya León, F. O. (2018). filtro pasivo y armónicos de corriente en lsa instalaciones eléctricas del hospital regiona, clínica san juan de dios y unsaac. Cusco.
- Molina, O. Q. (2020). influencia de un filtro eficiente para mitigar las corrientes armónicas en baja tensión de la sed 598 del centro comercial el molino i. Cusco.
- Mora Sanches, C. (2014). circuito monofásico con la implementación de un filtro pasivo de potencia serie .
- Nina, W. E. (2016). evaluación de armónicos en los bancos de capacitadores de la subestación eléctrica de dolorespata. Cusco.
- Chero Alejandria, O. A. (2021). Estudio del flicker en una empresa industrial: Caso aplicado a la heladería El Chalán S.A.C. (Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero Mecánico Eléctrico). Universidad de Piura.
- Pila Pila, H. R., & Zambrano Reasco, M. I. (2010). Estudio del flicker en una instalación eléctrica (Tesis de grado para obtener el título de ingeniero eléctrico). Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil. Ecuador.
- Norma IEC 555-3. Fluctuaciones de Voltaje "flicker" (Capítulo 9, pp. 173-188).

ANEXOS

RELACION DE ANEXOS

Anexo N° 1: Equipos biomédicos de la Clínica Mac Salud Cusco

Anexo N° 2: Recibos electrónicos de facturación noviembre y diciembre 2020 y Relación de estado de cuenta corriente SIELSE COMERCIAL 2019-2021

Anexo N° 3: Relación de equipos aprobados por el OSINERGMIN para la medición de calidad de tensión.

Anexo N° 4: Relación de laboratorios aprobados por el OSINERGMIN para la medición de calidad de tensión.

Anexo N° 5: Certificado de calibración del equipo de medición y planilla de medición en suministros de la empresa Electro Sur Este.

Anexo N° 6: Solicitud de cotización para filtro pasivo de la Empresa Quality Metering Products

Anexo N° 7: Panel fotográfico.

ANEXO N° 1

**EQUIPOS BIOMÉDICOS DE LA CLÍNICA MAC
SALUD CUSCO**



Anexo A: Equipo de tomografía



Anexo B: Equipo de rayos X (sala 1)



Anexo C: Equipo de rayos X (sala 2)

ANEXO N° 2**RECIBOS ELECTRÓNICOS DE FACTURACIÓN
NOVIEMBRE – DICIEMBRE 2020 Y RELACIÓN DE
ESTADO DE CUENTA CORRIENTE – SIELSE
COMERCIAL 2019 – 2021.**



Para Consultas su número de Cliente es

001-0683604

RECIBO ELECTRÓNICO N° S110 - 4219

MES FACTURADO:	Noviembre-2020
TOTAL:	13,703.90
VENCIMIENTO:	
EMISIÓN:	02 dic 2020

NOMBRE MEDICOS ASOCIADOS CUSCO S.A	R.U.C. 20527956037	MEDIDORES DE ENERGIA	FECHAS DE LECTURA
DIRECCION PREDIO AV DE LA CULTURA N° 1410 - WANCHAQ		SISTEMA TRIFASICO 3 Fases ELECTRONI	ANTERIOR 27/10/2020
DPTO / PROV CUSCO/CUSCO/WANCHAQ	105-ZONA MAYORES		ACTUAL 27/11/2020
ALIMENTADOR DO-06 (0132)	RUTA 001-13-45-000446	MEDIDOR 03317111	LECTURA CORRECTA
SISTEMA SE0032 - CIUDAD DE CUSCO	Sec. Tipico: CUSCO	CONEXION C5 1 Aerea	
TARIFA MT3	POTENCIA CONTRATADA (Kw) 70.00	NIVEL DE TENSION (V) 10 Kv	

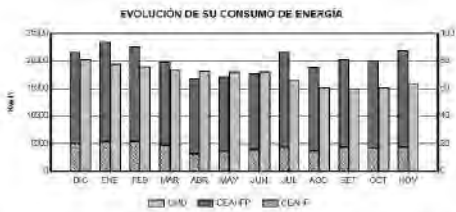
CONCEPTO	ANTERIOR	ACTUAL	FACTOR	DEMANDA	CONSUMO FACTURADO	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL S/.
ENERGIA HORA FUERA PUNTA	3,790.710	3,051.070	0.86.366	17,514.60	17,514.00	KWh	0.2503	4,063.50
ENERGIA HORA PUNTA	1,731.930	2,747.420	2.86.366	4,435.07	4,435.75	KWh	0.2573	1,026.34
ENERGIA REACTIVA	2,461.110	2,675.820	2.86.366					
POTENCIA POR DESPRENDIDORA		0.228	2.86.366	65.45	65.45	KW	20.8500	1,257.83
POTENCIA POR GENERADORA		0.228	2.86.366	65.25	65.25	KW	62.8406	4,102.82

SU CONSUMO PROMEDIO DIARIO FUE : S/ 355.31

TOTAL ENERGIA 10,659.18

UBI	UBI	UBI	UBI	UBI	UBI	UBI	UBI	UBI	UBI	UBI	UBI	UBI	UBI
UBI	0.24	0.24	1.20	1.20	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	1.20
UBI	0.30	0.30	1.20	1.20	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	1.20
UBI	0.24	0.24	1.20	1.20	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	1.20

ALUMBRADO PUBLICO (Alícuota AP: S/ 0.6905)	759.59
CARGO FIJO	10.58
MANTENIMIENTO Y REPOS. DE LA CONEXION	24.36



UBI	UBI	UBI	UBI	UBI	UBI	UBI	UBI	UBI	UBI	UBI	UBI	UBI	UBI
UBI	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
UBI	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
UBI	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14

MENSAJES AL CLIENTE

Afecto a Recargo Ley 27510 FOSE, Monto S/ 424.17
 Ultimo pago en CAR donde se realizo el pago del anterior comprobante

CALIFICACION DEL USUARIO		
Energía Hora Punta	4,435.77	KWh
Exceso Demanda del Mes	95.29	KW
Horas Hora Punta del mes	135	Horas
Grado de Utilización	9.80	Horas
Calificación	PRESENTE EN PUNTA	

(*) Afecto a factor de Recargo
ULTIMO DIA DE PAGO

SUB TOTAL 11,453.47

IGV 18% 2,041.62

LEY 30749 ELECTRIFICACION RURAL 188.77
REDONDEO DEL MES 0.01
REDONDEO MES ANTERIOR 0.02

OTROS CONCEPTOS 188.81

SON : TRECE MIL SETECIENTOS TRES CON 90/100 SOLES TOTAL S/ 13,703.90

PAGUE SOLO EN CENTROS AUTORIZADOS NO AL MENSAJERO

LOCALIDAD CUSCO	001-0683604				
Cusco -S-	001-13-45-000446				
NOMBRE MEDICOS ASOCIADOS CUSCO S.A	SON TRECE MIL SETECIENTOS TRES CON 90/100 SOLES				
DIRECCION AV. DE LA CULTURA N° 1410 - WANCHAQ					
SUMINISTRO	RECIBO N°	MES FACTURADO	EMISION	VENCIMIENTO	TOTAL S/.
	110 - 4219	Noviembre-2020	02 dic 2020		13,703.90



Para Consultas su número de Cliente es

001-0683604**RECIBO ELECTRÓNICO N° S110 - 4596**

MES FACTURADO:	Diciembre-2020
TOTAL:	13,436.50
VENCIMIENTO:	
EMISION:	31 dic 2020

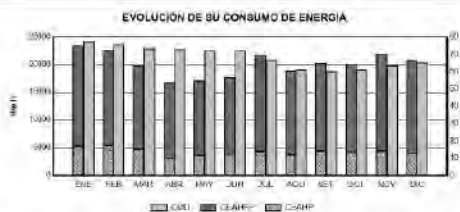
NOMBRE MEDICOS ASOCIADOS CUSCO S.A	R.U.C. 20507958057	MEDIDORES DE ENERGIA	FECHAS DE LECTURA
DIRECCION PREDIO AV DE LA CULTURA N° 1410- WANCHAQ		SISTEMA TRIFASICO 3 Hilos ELECTRONI	ANTERIOR 27/11/2020
DPTO / PROV ALIMENTADOR CUSCO/CUSCO/WANCHAQ 105-ZONA MAYORES DO-06 (0132) RUTA 001-13-45-00046		MEDIDOR 03317111	ACTUAL 30/12/2020
SISTEMA SE0032 - CIUDAD DE CUSCO Sec. Típico: CUSCO		CONEXION C5.1 Aerea	LECTURA CORRECTA
TARIFA MT3	POTENCIA CONTRATADA (Kw) 70.00	NIVEL DE TENSION (V) 10 Kv	

CONCEPTO	ANTERIOR	ACTUAL	FACTOR	DEMANDA	CONSUMO FACTURADO	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL S/.
ENERGIA HORA FUERA PUNTA	5,851.870	5,810.420	0.993	16,760.58	16,760.58	KWh	0.2355	3,952.58
ENERGIA HORA PUNTA	3,747.800	1,761.810	0.470	3,977.59	3,977.59	KWh	0.2355	932.71
ENERGIA REACTIVA	2,475.800	2,489.550	1.006					
POTENCIA POR DISTRIBUCION		24.29	0.000	65.29	65.29	W	19.9000	1,309.27
POTENCIA POR GENERADORA		0.208	0.000	65.29	65.29	W	62.8500	4,103.49

SU CONSUMO PROMEDIO DIARIO FUE : S/ 349.12

TOTAL ENERGIA 10,473.62

MO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
WHP	1.24	1.14	0.94	1.12	0.96	0.91	1.08	0.93	1.14	1.16	0.91	1.24
WHFP	4.82	4.28	3.30	4.18	3.37	3.13	3.51	3.38	4.14	4.16	3.28	4.82



MO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
WHP	1.24	1.14	0.94	1.12	0.96	0.91	1.08	0.93	1.14	1.16	0.91	1.24
WHFP	4.82	4.28	3.30	4.18	3.37	3.13	3.51	3.38	4.14	4.16	3.28	4.82

MENSAJES AL CLIENTE

Afecto a Recargo Ley 27510 FOSE. Monto S/ 422.59

Ultimo pago en CAR donde se realizo el pago del anterior comprobante

CALIFICACION DEL USUARIO	
Energía Hora Punta	3,977.59 KWH
Máxima Demanda del Mes	8529 KW
Horas Hora Punta del mes	115 Horas
Grado de Utilización	8.630
Calificación	PRESENTE EN PUNTA

(*) Afecto a factor de Recargo

ULTIMO DIA DE PAGO

IGV 18% 2,322.82

LEY 29749 ELECTRIFICACION RURAL	178.40
REDONDEO DEL MES	0.02
REDONDEO MES ANTERIOR	-0.01

SUB TOTAL 11,235.67

OTROS CONCEPTOS 178.41

SON : TRECE MIL CUATROCIENTOS TREINTA Y SEIS CON 50/100 SOLES TOTAL S/ 13,436.50

PAGUE SOLO EN CENTROS AUTORIZADOS NO AL MENSAJERO

LOCALIDAD CUSCO	001-0683604	
Cusco -5	001-13-45-00046	
NOMBRE MEDICOS ASOCIADOS CUSCO S.A		
DIRECCION AV. DE LA CULTURA N° 1410- WANCHAQ	SON TRECE MIL CUATROCIENTOS TREINTA Y SEIS CON 50/100 SOLES	
SUMINISTRO	RECIBO N°	MES FACTURADO
	110 - 4596	Diciembre-2020
EMISION	VENCIMIENTO	TOTAL S/.
31 dic 2020		13,436.50

Electro Sur Este S.A.A.
SIELSE COMERCIAL

Página 1 de 1
Fecha: 19/ago/2021
Hora: 07:52:00 a.m.
Operador: dzamora

ESTADO DE CUENTA CORRIENTE

ROUTA: 0011345030448
CODIGO: 10010683804
NOMBRE: MEDICOS ASOCIADOS CUSCO S.A
D.I.J.:

DIRECCION: AV. DE LA CULTURA Nº1410 - WANCHAO
ALIMENTACION: Aeras
MAXIMETRO: Registrador

MARCA: ELSTER
FASES: 3
SERIE: 03517111
ESTADO: NORMAL

PRESC. MEDIDOR: -
PRESC. CAJATOMA: -
PRESC. BORNERA: -

POT. CONTRATADA: 70.00
POT. CONTRATADA HP: 70.00
POT. CONTRATADA HFP: 70.00
SED: 00000132

FACTOR EA: 273.01
FACTOR MD: 273.01
FACTOR ER: 273.01
TARIFA: MT3

Mes	Tar	Sit.	Lect.	F.T.	LECTURAS								CONSUMO								MONITOS															
					EA	EAHP	EAHFP	ER	MD	MDHP	MDHFP	EA	EAHP	EAHFP	ER	MD	MDHP	MDHFP	CMD	Exes	G	CF	Energia	Potencia	AP	Mant	Int.	Otros Afecio	IGV	Mora	ERural	Otros No Af.	Deuda	Total	Nro Recibo	Fecha Pago
202007	MT3	NORMAL	OK	285.384	6285.1930	1624.7600	6576.4390	2296.8090	0.2040	0.2630	0.2340	22130.270	2861.420	22095.520	6.401.110	72.740	72.949	69.290	72.740	6.000	11.41	6,287.96	5,910.45	360.20	23.99	39.20	0.00	0.00	2,399.60	2.21	226.20	0.00	19,308.00	31,621.40	110-7205	6-ago-21
202105	MT3	NORMAL	OK	285.384	8172.5800	1954.9200	6307.6500	2392.9090	0.2470	0.2470	0.2410	22187.360	6016.500	21701.260	4.813.770	70.730	85.010	70.730	70.730	6.000	11.22	6,688.44	5,663.20	316.25	25.62	0.00	0.00	2,394.85	0.00	239.25	-4.63	0.00	15,394.80	110-6831		
202106	MT3	NORMAL	OK	285.384	8077.6200	1842.0100	6232.7200	2366.1700	0.2360	0.2360	0.2100	21128.270	5226.000	18094.270	4.779.320	75.600	64.739	75.600	75.600	6.000	11.12	5,926.26	5,967.66	760.24	26.33	0.00	0.00	2,288.60	0.00	212.28	0.01	0.00	18,201.40	110-6196	21-jun-21	
202104	MT3	NORMAL	OK	285.384	7993.3000	1623.6900	6167.7400	2393.3100	0.2440	0.2440	0.2100	25136.220	4936.000	15010.000	4.303.770	69.670	59.209	69.670	69.670	6.000	11.07	5,771.10	5,733.65	790.02	23.16	49.04	0.00	0.00	2,233.14	4.29	263.73	0.00	14,006.20	110-6102	19-may-21	
202103	MT3	NORMAL	OK	285.384	7912.5200	1808.6900	6163.6500	2334.4500	0.2280	0.2280	0.2280	22871.660	4902.540	17669.320	4.811.360	69.290	65.209	69.290	69.290	6.000	10.64	5,672.12	5,338.34	707.41	24.61	23.01	0.00	0.00	2,119.74	0.87	261.27	0.00	11,868.50	25,303.70	110-5710	26-abr-21
202102	MT3	NORMAL	OK	285.384	7832.6600	1701.6700	6041.0890	2320.4500	0.2230	0.2110	0.2230	21669.410	4226.730	17436.660	4,626.270	69.660	61.969	61.960	61.960	6.000	10.78	5,339.89	3,843.61	824.69	24.92	0.00	0.00	1,771.77	0.00	190.64	-4.66	0.00	11,801.40	110-6390	20-abr-21	
202101	MT3	NORMAL	OK	285.384	7737.0600	1776.6100	5940.1900	2304.3900	0.2440	0.2330	0.2440	24419.220	4404.040	19679.500	4,622.360	69.670	59.079	69.670	69.670	6.000	10.61	5,590.60	4,151.21	712.03	24.27	23.29	0.00	0.00	1,954.85	0.23	214.03	0.00	15,091.00	110-4969	16-feb-21	
202012	MT3	NORMAL	OK	285.384	7671.6000	1761.3100	5910.4200	2489.3600	0.2280	0.2340	0.2280	20744.180	3977.290	19065.590	3,531.770	69.290	65.209	69.290	69.290	6.000	10.61	5,076.67	5,402.75	767.96	24.27	19.21	0.00	0.00	2,022.82	0.00	183.40	0.01	0.00	13,484.20	110-4596	29-ene-21
202011	MT3	NORMAL	OK	285.384	7599.2600	1747.4200	5891.6700	2475.4200	0.2380	0.2010	0.2380	21649.770	4403.770	17814.000	4,212.410	69.290	69.290	69.290	69.290	6.000	10.58	5,294.84	5,389.64	799.65	24.16	0.00	0.00	2,091.62	0.00	182.77	0.04	0.00	15,765.90	110-4210	20-dic-20	
202010	MT3	NORMAL	OK	285.384	7522.8100	1731.6500	5795.7100	2401.1100	0.2190	0.2140	0.2100	20119.310	4166.690	19630.220	3,805.500	61.870	61.870	61.870	61.870	6.000	10.20	4,636.44	5,043.60	740.37	23.01	27.24	0.00	0.00	1,691.63	4.13	170.00	-0.01	0.00	12,677.80	110-3590	12-nov-20
202009	MT3	NORMAL	OK	285.384	7432.3000	1717.3800	5735.0000	2441.3400	0.2070	0.1910	0.2070	20134.660	4432.910	19011.770	4,399.000	69.280	61.269	69.280	69.280	6.000	10.20	4,705.67	4,853.36	780.12	23.86	21.41	141.20	1,697.42	0.32	174.86	-0.06	11,728.70	24,941.80	110-3480	18-oci-20	
202008	MT3	NORMAL	OK	285.384	7381.3700	1701.9400	5676.4700	2431.4830	0.2080	0.2150	0.2080	18681.920	3716.140	19137.180	4,475.360	69.560	61.969	61.970	61.970	6.000	10.50	4,357.33	4,779.58	610.09	23.66	0.00	0.00	1,761.39	0.00	163.12	0.02	0.00	11,796.70	110-3080		
202007	MT3	NORMAL	OK	285.384	7313.2600	1620.9100	5620.0100	2418.4300	0.2110	0.2060	0.2110	21714.900	4392.730	17022.220	6,344.140	69.420	66.429	69.420	69.420	6.000	10.23	5,046.33	4,794.61	610.02	23.72	49.30	0.00	0.00	1,933.63	0.31	180.73	0.00	0.00	12,064.40	110-2700	13-ago-20
202006	MT3	NORMAL	OK	285.384	7239.7200	1673.7900	5563.9600	2406.8600	0.2010	0.1920	0.1910	17743.690	3861.180	18822.910	3,365.140	61.830	61.839	61.830	61.830	6.000	10.60	4,086.26	4,289.21	766.32	23.29	26.91	0.00	0.00	1,619.26	1.44	132.59	-0.04	10,570.40	21,941.80	110-2376	26-jul-20
202005	MT3	NORMAL	OK	285.384	7177.7800	1660.2900	5517.9000	2368.8300	0.1970	0.1700	0.1970	17156.640	3613.430	18663.600	5,111.960	61.590	61.590	61.590	61.590	6.000	10.60	3,891.39	4,351.88	450.38	23.29	89.89	0.00	0.00	1,987.67	13.43	162.61	0.07	0.00	10,676.40	110-1823	
202004	MT3	NORMAL	OK	285.384	7117.2400	1647.0700	5470.0700	2308.9000	0.1990	0.1950	0.1980	16101.000	3215.600	18063.220	6,943.140	61.200	61.200	61.200	61.200	6.000	10.60	3,601.34	4,346.33	432.01	23.29	114.41	0.00	0.00	1,952.10	13.50	143.39	0.00	22,420.20	35,021.00	110-1519	20-may-20
202003	MT3	NORMAL	OK	285.384	7035.4200	1606.4400	5422.3600	2341.8700	0.2130	0.2320	0.2130	19624.960	4733.640	19671.320	4,799.460	61.370	61.379	61.360	61.370	6.000	10.60	4,626.13	4,613.63	504.92	23.29	37.30	0.00	0.00	1,759.80	1.71	170.49	-0.03	13,514.80	25,426.20	110-1105	
202002	MT3	NORMAL	OK	285.384	6982.9600	1619.8200	5364.7500	2331.1100	0.2130	0.2160	0.2250	22728.420	5418.000	17027.320	4,805.540	71.000	64.439	71.300	71.300	6.000	10.60	5,201.69	5,415.19	613.44	23.29	0.00	0.00	2,031.77	0.00	195.61	-0.03	0.00	15,814.80	110-694		
202001	MT3	NORMAL	OK	285.384	6910.2200	1600.9200	5295.3100	2314.3200	0.2090	0.2060	0.2070	20328.220	5332.690	18204.120	4,700.730	71.010	67.079	73.510	73.510	6.000	10.60	5,406.62	5,099.32	599.77	23.29	0.00	42.22	2,103.69	0.00	202.41	0.02	0.00	15,093.00	110-274	13-feb-20	
201912	MT3	NORMAL	OK	285.384	6826.0800	1562.3800	5242.0400	2291.6000	0.2490	0.2460	0.2100	21606.960	5003.640	18663.520	4,265.480	71.620	61.459	71.620	71.620	6.000	10.60	4,968.12	3,993.23	506.97	23.29	11.99	0.00	0.00	2,023.65	0.00	161.39	0.00	0.00	13,467.50	297,019	10-ene-20
201911	MT3	NORMAL	OK	285.384	6792.8600	1564.8200	5187.8900	2283.9100	0.2570	0.2500	0.2280	22618.160	4902.540	17115.960	4,948.960	72.160	65.209	72.160	72.160	6.000	10.60	4,696.42	5,594.85	619.20	23.29	2.85	0.00	2,024.78	0.00	184.96	0.06	0.00	15,454.40	2,069,600	27-dic-19	
201910	MT3	NORMAL	OK	285.384	6675.7600	1647.7600	5128.0600	2284.2900	0.2890	0.2880	0.2220	22726.320	5077.230	17643.600	5,005.640	71.880	65.880	73.880	73.880	6.000	6.79	4,874.21	5,388.30	604.78	23.30	0.00	0.00	1,996.17	0.00	190.90	0.00	0.00	15,014.70	2,061,251	21-nov-19	
201909	MT3	NORMAL	OK	285.384	6595.6600	1529.9700	5086.4300	2296.7000	0.2710	0.2710	0.2420	24409.300	3996.430	24009.130	5,777.420	71.800	61.300	77.600	77.600	6.000	6.74	3,499.89	3,451.52	716.65	23.29	3.23	13.82	2,102.87	0.00	221.61	-0.06	0.00	14,384.40	2,597,982	18-oci-19	
201908	MT3	NORMAL	OK	285.384	6504.2000	1509.0300	4945.1900	2233.6900	0.2730	0.2730	0.2320	25691.630	3827.300	20664.450	5,612.730	78.180	73.160	78.180	78.180	6.000	6.70	5,346.27	5,848.06	763.80	22.97	3.36	115.17	2,193.67	0.00	224.21	0.01	0.00	14,671.40	2,593,344	24-sep-19	

ANEXO N° 3

RELACIÓN DE EQUIPOS APROBADOS POR EL OSINERGMIN PARA LA MEDICIÓN DE CALIDAD

Figura N°9: Relación de equipos para la medición de la calidad de tensión Paint



RELACIÓN DE EQUIPOS CUYAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ESTÁN APROBADAS PARA LA MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE TENSIÓN

Elaborado por : División de Supervisión de Electricidad
 Fecha actualizada : 17 de noviembre del 2021

Cuadro N° 1: Equipos Aprobados para la Medición de la Calidad de Tensión

Marca y Modelo Equipo Aprobado	Resolución de Aprobación	Alcance	Empresa que gestionó aprobación (1)	Proveedor (Referencial)	
LEM	MEMOBOX 300	Resolución OSINERG N° 063-01/GE-2001	Puntos de entrega monofásicos	CENTEL SAC	Sin proveedor
	MEMOBOX 302	Resolución OSINERG N° 063-01/GE-2001	Puntos de entrega trifásicos	CENTEL SAC	Sin proveedor
	MEMOBOX 300 Smart (2φ)	Resolución OSINERG N° 081-01/GE-2003	Puntos de entrega monofásicos	CENTEL SAC	Sin proveedor
	MEMOBOX 300 Smart (3φ)	Resolución OSINERG N° 011-01/GE-2003	Puntos de entrega trifásicos	CENTEL SAC	Sin proveedor
ORCUTOR	AR3L	Resolución OSINERG N° 041-01/GE-2004	Puntos de entrega trifásicos (Ejecuto IT)	GESCEL SAC	GESCEL SAC
	CÁVA 15L	Resolución OSINERG N° 264-01/GE-2001	Puntos de entrega monofásicos	TRIANDN SAC	GESCEL SAC
FLUXE	1743	Resolución OSINERGMIN N° 3402-2007-01/GE	Puntos de entrega trifásicos	FERRIER SAC	FERRIER SAC
UNIPOWER	UNIDYER 900	Resolución OSINERGMIN N° 10-2013-01/GE/G	Puntos de entrega trifásicos	UNIPOWER SAC	UNIPOWER SAC
	UNIDYER 90L	Resolución OSINERGMIN N° 1763-2007-01/GE	Puntos de entrega trifásicos	UNIPOWER SAC	UNIPOWER SAC
	UNIDYER 902	Resolución GFE OSINERGMIN N° 060-2010	Puntos de entrega trifásicos	UNIPOWER SAC	UNIPOWER SAC
	UNIPOWER AB 2220	Resolución GFE OSINERGMIN N° 3-2011-01/06E/G	Puntos de entrega trifásicos	UNIPOWER SAC	UNIPOWER SAC
GCAMEC	RES4R32A-BP	Resolución OSINERGMIN N° 3938-2007-01/GE	Puntos de entrega monofásicos	LOGYTEC S.R.L	LOGYTEC S.R.L
	RES4R32A-BPRE	Resolución OSINERGMIN N° GFE-1250-2008	Puntos de entrega monofásicos	LOGYTEC S.R.L	LOGYTEC S.R.L
	PQ-100	Resolución GFE OSINERGMIN N° 060-2009	Puntos de entrega trifásicos	LOGYTEC S.R.L	LOGYTEC S.R.L
	PQ-1000	Resolución GFE OSINERGMIN N° 013-2011	Puntos de entrega trifásicos	LOGYTEC S.R.L	LOGYTEC S.R.L
	ECA-PQ1	Resolución DSE OSINERGMIN N° 3-2021-01/06E/G	Puntos de entrega monofásicos	LOGYTEC S.A	LOGYTEC S.A
PQ3plus	Resolución DSE OSINERGMIN N° 5-2021-01/06E/G	Puntos de entrega trifásicos	LOGYTEC S.A	LOGYTEC S.A	
A-BBEALE	PQ-BOX-100 Basic	Resolución GFE OSINERGMIN N° 038-2008	Puntos de entrega trifásicos	CENTEL SAC	CENTEL SAC
	PQ-BOX-100 Expert	Resolución GFE OSINERGMIN N° 061-2008	Puntos de entrega trifásicos	CENTEL SAC	CENTEL SAC
	PQ-BOX-100	Resolución OSINERGMIN N° 2-2016-01/06E/G	Puntos de entrega trifásicos	CENTEL SAC	CENTEL SAC
GOSSEN METRAWATT	MAVOWATT 40	Resolución OSINERGMIN N° 061-2010-01/GE	Puntos de entrega trifásicos	MARPATECH SAC	VANSTEIN & INGENIEROS SA
	MAVOWATT 30	Resolución GFE - OSINERGMIN N° 068-2010	Puntos de entrega trifásicos	MARPATECH SAC	VANSTEIN & INGENIEROS SA

Figura N°10: Osinergmin



Marca y Modelo Equipo Aprobado		Resolución de Aprobación	Alcance	Empresa que gestionó aprobación (1)	Proveedor (Referencial)
SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES	SEL 734P	Resolución GFE OSINERGMIN Nº 001-2011	Puntos de entrega trifásicos	Schweitzer Engineering L INC	Schweitzer Engineering L INC
	SEL 734	Resolución GFE OSINERGMIN Nº 008-2011	Puntos de entrega trifásicos	Schweitzer Engineering L INC	Schweitzer Engineering L INC
	SEL 735	Resolución OSINERGMIN Nº 018-2013-O5/GSE/G	Puntos de entrega trifásicos	Schweitzer Engineering L INC	Schweitzer Engineering L INC
DRANETZ BVM	POWERGUIDE 4400	Resolución GFE OSINERGMIN Nº 029-2011	Puntos de entrega trifásicos	ENERGÉTICA S.A.	ENERGÉTICA S.A.
	POWER VISA	Resolución GFE OSINERGMIN Nº 013-2012	Puntos de entrega trifásicos	ENERGÉTICA S.A.	ENERGÉTICA S.A.
CESIBEL	MEDCAL-S	Resolución OSINERGMIN Nº 001-2014-O3/GFE	Puntos de entrega monofásicos	CENTEL S.A.C.	CENTEL S.A.C.
	MEDCAL-ST II	Resolución OSINERGMIN Nº 8-2018-O5/DSE/G	Puntos de entrega trifásicos	CENTEL S.A.C.	CENTEL S.A.C.
SCHNEIDER ELECTRIC	ION 7630	Resolución OSINERGMIN Nº 2-2014-O5/GFE/G	Puntos de entrega trifásicos	Schneider Electric Perú SA	Schneider Electric Perú SA
	ION 7400	Resolución DSE OSINERGMIN Nº 3-2019-O5/DSE/G	Puntos de entrega trifásicos	Schneider Electric Perú SA	Schneider Electric Perú SA
	ION 8630	Resolución DSE OSINERGMIN Nº 4-2019-O5/DSE/G	Puntos de entrega trifásicos	Schneider Electric Perú SA	Schneider Electric Perú SA
	ION 9000	Resolución DSE OSINERGMIN Nº 2-2020-O5/DSE/G	Puntos de entrega trifásicos	Schneider Electric Perú SA	Schneider Electric Perú SA
METREL	MN 2982	Resolución OSINERGMIN Nº 5-2013-O5/GFE/G	Puntos de entrega trifásicos	LOGITEC S.R.L	LOGITEC S.R.L
SONEL	PQJM-702	Resolución OSINERGMIN Nº 1-2016-O5/DSE-G	Puntos de entrega trifásicos	GESCEL S.A.C.	GESCEL S.A.C.
	PQJM-703	Resolución OSINERGMIN Nº 9-2016-O5/DSE-G	Puntos de entrega trifásicos	GESCEL S.A.C.	GESCEL S.A.C.
	PQJM-700	Resolución OSINERGMIN Nº 3-2017-O5/DSE-G	Puntos de entrega trifásicos	GESCEL S.A.C.	GESCEL S.A.C.
ELSPEC	G420	Resolución OSINERGMIN Nº 6-2016-O5/DSE/G	Puntos de entrega trifásicos	PROCESTRADI S.A.C	PROCESTRADI S.A.C
	G4230	Resolución OSINERGMIN Nº 7-2016-O5/DSE/G	Puntos de entrega trifásicos	PROCESTRADI S.A.C	PROCESTRADI S.A.C
	G4300	Resolución OSINERGMIN Nº 3-2016-O5/DSE/G	Puntos de entrega trifásicos	PROCESTRADI S.A.C	PROCESTRADI S.A.C
NEXUS	1300+	Resolución OSINERGMIN Nº 1-2017-O5/DSE/G	Puntos de entrega trifásicos	GRUPO TÉCNICO KILOWATT S.R.LTDA	GRUPO TÉCNICO KILOWATT S.R.LTDA
SATEC	PM 100	Resolución OSINERGMIN Nº 1-2019-O5/DSE/G	Puntos de entrega trifásicos	CADMO SOLUCIONES S.A.C	CADMO SOLUCIONES S.A.C
ISKRA	8ACT84	Resolución DSE OSINERGMIN Nº 1-2021-O5/DSE/G	Puntos de entrega trifásicos	TECH INDUSTRIAS GLOBALES S.R.L	TECH INDUSTRIAS GLOBALES S.R.L

Nota:

(1) La empresa que se publica es la que gestionó la aprobación del equipo, no necesariamente es el proveedor actual autorizado por el fabricante del equipo.

(2) Para cualquier consulta, en relación con esta información, comunicarse con el Ing. Jorge Vilcachagua Nuñez, especialista de la División de Supervisión de Electricidad, al correo calidad_gyt@osinergmin.gob.pe.

ANEXO N° 4

RELACIÓN DE LABORATORIOS AUTORIZADOS PARA LA CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MEDICIÓN DE CALIDAD.

Figura N°11: Relación de laboratorios Autorizados



RELACIÓN DE LABORATORIOS AUTORIZADOS PARA LA CALIBRACIÓN DE EQUIPOS APROBADOS PARA LA MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE TENSIÓN

Elaborado por : División de Supervisión de Electricidad

Fecha actualizada : 17 de noviembre del 2021

En aplicación del numeral 5.1.4 i) de la Base Metodológica, mientras no exista empresa autorizada por INACAL para la calibración de equipos aprobados por Osinergmin, la calibración se efectuará por el representante autorizado de la empresa fabricante o por la empresa que el OSINERGMIN autorice en forma expresa.

Respecto a la autorización expresa de Osinergmin, a la fecha se cuenta con seis laboratorios que tienen la autorización de calibración según el siguiente detalle:

Cuadro N° 2: Relación de laboratorios autorizados

Nombre de laboratorio	Documento que autorizó	Alcance	Datos de contacto
COMPANÍA AMERICANA DE MULTISERVICIOS DEL PERU S.A. (CAM PERÚ)	Oficio N° 7196-2013-OS-GFE	Equipos aprobados por OSINERGMIN	Dirección: Av. Maquinistas 2977 Cercado de Lima. Teléfono: (511) 208-7700 Anexo 2906
SERVICIOS DE ELECTRONICA DE LA FUERZA AEREA DEL PERU (SELEC)	Oficio N° 896-2014-OS-GFE	Equipos aprobados por OSINERGMIN	Dirección: Av. Edmundo Aguilar Pastor s/n - San Diego de Surco - Lima. Teléfono: (511) 213-5244
J.U REPRESENTACIONES E.I.R.L	Oficio N° 2-2018-OS-OSE	Equipos aprobados por OSINERGMIN	Dirección: Gral. Felipe Valera N° 1881 - Breña - Lima. Teléfono: (01) 636-0265
INISPER S.A.C	Oficio N° 78-2018-OS-OSE	Equipos aprobados por OSINERGMIN	Dirección: Av. Tomas Valle Mz. D Lt. 08 - Los Olivos. Teléfono: (01) 747-1752
CERTIFICACIONES Y CALIBRACIONES S.A.C (CERTIFICA)	Oficio N° 199-2018-OS-OSE	Equipos aprobados por OSINERGMIN	Dirección: Calle Gabriela Mistral 216 Oficina. 101 - Surquillo Teléfono: (511) 271-6082
LO JUSTO S.A.C	Oficio N° 3533-2018-OS-DSE	Equipos aprobados por OSINERGMIN	Dirección: Jr. Huánuco 204 - Cerro Colorado - Arequipa. Teléfono: (094) 445-5500
ENERGÍA Y LABORATORIOS S.A.C. (ENERLAB)	Oficio N° 2482-2021-OS-OSE	Equipos aprobados por OSINERGMIN	Dirección: Jr. Los Palmitos N° 127 - 131 Urb. Los Jardines de San Juan - San Juan de Lunagancha - Lima. Teléfono: (511) 376-9578

Nota: Para cualquier consulta, en relación con esta información, comunicarse con el Ing. Jorge Vilcachagua Nuñez, especialista de la División de Supervisión de Electricidad, al correo calidad_gyt@osinergmin.gob.pe.

Figura N°12: Relación de equipos evaluados para la medición de perturbaciones



RELACIÓN DE EQUIPOS EVALUADOS PARA LA MEDICIÓN DE PERTURBACIONES

Elaborado por : División de Supervisión de Electricidad

Fecha actualizada : 17 de noviembre del 2021

Precisamos que el artículo 6 del decreto supremo N° 009-99-EM, suspende el pago de compensación por mala calidad en perturbaciones y para restituir su aplicación el Ministerio de Energía y Minas conformará una Comisión para el análisis integral de las perturbaciones y su eficaz aplicación en nuestro mercado eléctrico.

En tal sentido, OSINERGMIN, preventivamente no está aprobando las especificaciones técnicas de los equipos para el registro de perturbaciones. Las empresas eléctricas pueden comprar los equipos y usarlos en la campaña de control de la NTCSE siempre que cumplan con las características técnicas mínimas establecidas en la Base Metodológica.

Asimismo, a solicitud de varias empresas representantes de fabricantes, se ha evaluado diferentes equipos encontrándose en la siguiente relación (con fabricantes existentes) que cumplen con las características mínimas establecidas para las mediciones de perturbaciones.

Cuadro N° 3: Equipos Autorizados para la Medición de perturbaciones

Marca y Modelo Equipo Aprobado	Alcance	Empresa que gestionó autorización ⁽¹⁾	Proveedor (Referencial)
UIPOWVER	UNILYZER 902	Filtros + Armónicas de Tensión	UIPOWVER SAC
	UNILYZER 900	Filtros + Armónicas de Tensión	UIPOWVER SAC
ECAMSC	PQ-1000	Filtros + Armónicas de Tensión	LOGYTEC S.R.L
	PQ3plus	Filtros + Armónicas de Tensión	LOGYTEC S.A
A-EBERLE	PQ-BOX-100 Expert	Filtros + Armónicas de Tensión	CENTEL SAC
	PQ-BOX-300	Filtros + Armónicas de Tensión	CENTEL SAC
Göten Metranalt	MAVOWATT 40	Filtros + Armónicas de Tensión	MARPATSCHE SAC
	MAVOWATT 30	Filtros + Armónicas de Tensión	MARPATSCHE SAC
DRANETZ BH1	POWERGUIDE 4400	Filtros + Armónicas de Tensión	ENERGÉTICA S.A.
	POWER VISA	Filtros + Armónicas de Tensión	ENERGÉTICA S.A.
METREL	MI-1892	Filtros + Armónicas de Tensión	LOGYTEC S.R.L

ANEXO N° 5**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE
MEDICIÓN Y PLANILLA DE MEDICIÓN DE LA
EMPRESA ELECTRO SUR ESTE**

Figura N°13: Certificado de calibración del Equipo



Marca y Modelo Equipo Aprobado		Alcance	Empresa que gestionó autorización ⁽¹⁾	Proveedor (Referencial)
SONEL	PQM-702	Flickers + Armónicas de Tensión	GESCEL SAC	GESCEL SAC
	PQM-703	Flickers + Armónicas de Tensión	GESCEL SAC	GESCEL SAC
ELSPEC	G0420	Flickers + Armónicas de Tensión	PROCESTRADI S.A.C.	PROCESTRADI S.A.C.
	G0430	Flickers + Armónicas de Tensión	PROCESTRADI S.A.C.	PROCESTRADI S.A.C.
	G0500	Flickers + Armónicas de Tensión	PROCESTRADI S.A.C.	PROCESTRADI S.A.C.
NIKUS	1300+	Flickers + Armónicas de Tensión	GRUPO TÉCNICO KILOWATT S.R.LTDA	GRUPO TÉCNICO KILOWATT S.R.LTDA
SCHNEIDER ELECTRIC	ION7630	Flickers + Armónicas de Tensión	SCHNEIDER ELECTRIC PERÚ SA	SCHNEIDER ELECTRIC PERÚ SA
	ION 8630	Flickers + Armónicas de Tensión	SCHNEIDER ELECTRIC PERÚ SA	SCHNEIDER ELECTRIC PERÚ SA
	ION 9000	Flickers + Armónicas de Tensión	SCHNEIDER ELECTRIC PERÚ SA	SCHNEIDER ELECTRIC PERÚ SA
SCHWEITZER ENGINEERING	SEL 733	Flickers + Armónicas de Tensión	SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES PERU SAC	SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES PERU SAC
ISRAA	IMC704	Flickers + Armónicas de Tensión	TECH INDUSTRIAS GLOBALES S.R.L.	TECH INDUSTRIAS GLOBALES S.R.L.

(1) La empresa que se publica es la que gestionó la autorización del equipo, no necesariamente es el proveedor actual autorizado por el fabricante del equipo.

(2) Para cualquier consulta, en relación con esta información, comunicarse con el Ing. Jorge Vilcachagua Nuñez, especialista de la División de Supervisión de Electricidad, al correo calidad_gyt@osinergmin.gob.pe.

Figura N°14: Ficha laboratorio de calibración

Electro Sur Este S.A.A.

PLANILLA DE MEDICION EN SUMINISTROS			N° IDENTIFICADOR: ARCHIVO:
SISTEMA ELECTRICO	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO
COLOCACIÓN - FECHA Y HORA:			
DATOS DEL USUARIO		TIPO DE PUNTO	
NOMBRE:		SELECCIONADO <input type="checkbox"/> REMEDICION <input type="checkbox"/> RECLAMO <input type="checkbox"/>	
DIRECCIÓN:		REPET, MEDICION FALLIDA <input type="checkbox"/> SOLICITADO POR OSINERG <input type="checkbox"/>	
CÓDIGO POSTAL:		ALTERNATIVO, REEMPLAZA A:	
TELÉFONO:		TIPO DE SUMINISTRO MONOFASICO <input type="checkbox"/> TRIFASICO <input type="checkbox"/>	
N° DE SUMINISTRO:		PARAMETRO A MEDIR TENSION <input type="checkbox"/> FLICKER <input type="checkbox"/> ARMÓNIC. <input type="checkbox"/>	
TARIFA:		REGISTRADOR INSTALADO	
TENSION DE SUMINISTRO:		MARCA:	
TIPO DE SERVICIO:		NÚMERO:	
URBANO <input type="checkbox"/> URB-RURAL <input type="checkbox"/> RURAL <input type="checkbox"/>			
OBSERVACIONES DE INSTALACIÓN:			

.....
 INTERVINO POR EL OSINERG
 FIRMA Y ACLARACIÓN

.....
 USUARIO
 FIRMA Y ACLARACIÓN

.....
 INTERVINO POR EL SUMINISTRADOR
 FIRMA Y ACLARACIÓN

RETIRO - FECHA Y HORA:

OBSERVACIONES DE RETIRO:

.....
 INTERVINO POR EL OSINERG
 FIRMA Y ACLARACIÓN

.....
 USUARIO
 FIRMA Y ACLARACIÓN

.....
 INTERVINO POR EL SUMINISTRADOR
 FIRMA Y ACLARACIÓN

Nota: la firma del Usuario solo acredita haber tomado conocimiento de la medición

ANEXO N° 6

SOLICITUD DE COTIZACIÓN PARA FILTRO PASIVO DE LA EMPRESA QUALITY METERING PRODUCTS



QUALITY METERING PRODUCTS LLC,
24011 Lemmon Arbor Dr. Spring, Texas 77389, USA
Tel (281) 41946894, Fax (281) 857645, sales@qualitymetering.net

QUOTE REFERENCE #: QMPRG02142023-1

DATE: 02-14-2023

ATN: Danny Gonzales
ARGO INGENIERIA
SAN ISIDRO, LIMA 27
LIMA PERU

TERMS: PREPAYMENT OR CREDIT CARD

QTY	DESCRIPTION	UNIT PRICE (USD)	DELIVERY TIME
1	TCI HARMONIC FILTER MODEL HSC0040LW1102515 PARA 230 VOLTS, 60 HZ, 40HP	\$12,650.00	10 WEEKS for both items

Prices Exworks (TCI factory in Wisconsin)
Customer responsible for freight cost to Lima Peru.
Tel (281) 41946894

Ricardo Gutierrez

QUOTE VALID FOR 30 DAYS

ANEXO N° 7

PANEL FOTOGRÁFICO



Anexo D: Transformador de la Clínica Mac Salud Cusco



Anexo E: Tablero de control de la SED 0011013



Anexo F: Cuarto de máquinas de los elevadores



Anexo G: Cuarto de máquinas de las bombas de agua



Anexo H: Tablero de los interruptores generales



Anexo I: Grupo electrógeno de la Clínica Mac Salud Cusco