

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TESIS:

**EFFECTOS DE LA INSERCIÓN DE UNA CARGA DE 1.8 MVA, DEL HOSPITAL DE
QUILLABAMBA, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE
EN LA LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN DE 10 KV. - SANTA ANA, LA CONVENCION,
CUSCO 2024**

PRESENTADO POR:

Br. EDWIN ALANOCA MAMANI
Br. NELSON QUISPE CONTO.

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

ASESOR:

Ing. MARIO GONZALES VARGAS

**CUSCO – PERÚ
2026**



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor Ing. Mario Gonzales Vargas
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: "EFECTOS DE LA INSERCIÓN DE UNA CARGA DE
1.8 MVA, DEL HOSPITAL DE GUILLABAMBA, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE
ARMÓNICOS DE CORRIENTE EN LA LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN DE 10 KV. -
SANTA ANA, LA CONVENCION, CUSCO 2024"

Presentado por: Edwin Alanoca Mamani DNI N° 47996776;
presentado por: Nelson Quispe Conto DNI N°: 42552286
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 de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de
Similitud en 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 sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	<input type="checkbox"/>
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	<input type="checkbox"/>

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 09 de mayo..... de 2026.....

Firma

Post firma Mario Gonzales Vargas

Nro. de DNI 23905749

ORCID del Asesor 0000-0002-3727-0253

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:588360765

NELSON-EDWIN QUISPE CONTO-ALANOCA MAMANI

TESIS EFECTOS DE LA INSERCIÓN... EDWIN Y NELSON_REPOSITORIO_n2.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:old:::27259:588360765

211 páginas

Fecha de entrega

9 may 2026, 12:00 p.m. GMT-5

30.588 palabras

Fecha de descarga

9 may 2026, 12:03 p.m. GMT-5

187.423 caracteres

Nombre del archivo

TESIS EFECTOS DE LA INSERCIÓN... EDWIN Y NELSON_REPOSITORIO_n2.pdf

Tamaño del archivo

27.3 MB




4% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Dedicamos el este esfuerzo principalmente a Dios, por guiarnos y brindarnos fortaleza y sabiduría a lo largo de nuestra formación profesional.

A nuestros padres, por su apoyo incondicional y por los valores inculcados que han sido fundamentales en este logro.

Asimismo, a nuestras familias, especialmente a nuestras esposas e hijos, por su comprensión, paciencia y constante motivación durante este proceso académico.

Edwin Alanoca

Nelson Quispe

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a Dios, por brindarnos la vida, la fortaleza y las sabidurías necesarias para culminar satisfactoriamente nuestra formación profesional.

A nuestros padres, por su apoyo incondicional, esfuerzo y valores inculcados, que han sido fundamentales en este logro académico.

A nuestras familias, especialmente a nuestras esposas e hijos, por su comprensión, paciencia y constante motivación durante este proceso.

Asimismo, agradecemos a nuestro asesor, por su orientación, apoyo y valiosos aportes en el desarrollo de la presente investigación.

Finalmente, a nuestra universidad y a todos los docentes que contribuyeron en nuestra formación académica y profesional.

PRESENTACIÓN

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica de la
Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco:

En cumplimiento de los requisitos establecidos para optar al Título Profesional de Ingeniero
Electricista, ponemos a su consideración la presente tesis titulada:

“Efectos de la inserción de una carga de 1.8 MVA del Hospital de Quillabamba, mediante el análisis de armónicos de corriente en la línea de media tensión de 10 kV – Santa Ana, La Convención, Cusco, 2024”, trabajo de investigación que tiene como finalidad evaluar el impacto de la inserción de cargas no lineales en la calidad de energía del sistema eléctrico, considerando la generación de armónicos de corriente y su mitigación conforme a la normativa vigente.

Esperando que el presente trabajo cumpla con los criterios académicos y técnicos exigidos, quedamos a vuestra disposición para su evaluación correspondiente.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
PRESENTACIÓN	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
ÍNDICE DE CUADROS	15
RESUMEN.....	17
ABSTRACT	18
CAPITULO I.....	19
ASPECTOS GENERALES.....	19
1.1. Introducción	19
1.2. Ubicación Geográfica.	19
1.3. El Problema.....	20
1.3.1. Planteamiento de Problema.	20
1.4. Formulación del Problema.....	23
1.4.1. Problema General.....	23
1.4.2. Problemas Específicos.....	24
1.5. Objetivos.....	24
1.5.1. Objetivo General.	24
1.5.2. Objetivo Específico.	24
1.6. Justificaciones de la Tesis.....	25
1.6.1. Justificación Técnica.	25

1.7. Alcances y Limitaciones de la Tesis.....	27
1.7.1. Alcances.....	27
1.7.2. Limitaciones de la Tesis.....	27
1.8. Hipótesis.....	27
1.8.1. Hipótesis General.	28
1.8.2. Hipótesis Específicas.	28
1.9. Variables e Indicadores	28
1.9.1. Variable Independiente.	28
1.9.2. Indicadores	29
1.9.3. Variable Dependiente.	29
1.9.4. Indicadores	29
1.9.5. Variables Intervinientes.....	29
1.9.6. Indicadores	29
1.10. Tasa de Distorsión Armónica Individual por Orden (IDH, %).	29
1.10.1. Diseño Metodológico.....	30
1.11. Método de Investigación.....	31
1.12. Población y Muestra.	32
1.12.1. Alcance del sistema modelado	32
1.13. Técnicas e instrumentos para la recolección de información.	32
1.13.1. Técnicas de recolección de información	32
1.13.2. Instrumentos.	33
1.13.3. Validez	33
1.13.4. Confiabilidad.....	34
1.14. Diseño e implementación de datos.....	34

1.15. Justificación	34
CAPÍTULO II.....	36
MARCO TEÓRICO.	36
2. Introducción.....	36
2.1. Calidad de la Energía Eléctrica.....	40
2.2. Calidad de Producto	46
2.3. Tensión	46
2.4. Frecuencia.....	48
2.5. La Secuencia	49
2.6. Perturbaciones.	50
2.7. Armónicos.....	52
2.7.1. Origen de los Armónicos	52
2.7.2. Efectos de los Armónicos en la Red Eléctrica	52
2.7.3. Fuentes de Producción de Armónicos en Entornos Hospitalarios.....	54
2.7.4. Máquina de Rayos X.	54
2.8 Antecedentes	68
2.8.1 Internacionales:.....	68
2.8.2 Nacionales y Locales	70
2.9 Marco Normativo.....	70
2.9.1 Normas Técnicas de los Servicios Eléctricos.....	70
2.10 Base Legal.....	80
CAPÍTULO III	82
Evaluación del sistema eléctrico del hospital de quillabamba	82

3.0 INTRODUCCION	82
3.1 Metodología de evaluación del sistema eléctrico del hospital de Quillabamba	84
3.1.1. Levantamiento de información del sistema eléctrico.....	84
3.1.2. Identificación y clasificación de cargas	84
3.1.3. Modelamiento del sistema eléctrico.....	85
3.1.4. Evaluación de distorsión armónica	85
3.1.5. Análisis del impacto en transformadores.....	85
3.1.6. Propuesta de solución.....	85
3.2. Identificación del sistema eléctrico.....	88
3.3. Identificación de las cargas del Hospital	91
3.3.1 Cargas eléctricas lineales	91
3.3.2 Cargas eléctricas no lineales	91
3.3.3 Análisis del cuadro de cargas	91
3.3.4. Clasificación de Cargas por Comportamiento Eléctrico	94
3.4. Reconocimiento de los transformadores que serán evaluados	95
3.4.1. Transformador TR-1 (1000 kVA).....	95
3.4.2. Transformador TR-2 (800 kVA).....	96
3.4.3. Identificación del nodo de análisis.....	98
3.5. Conexión de los devanados del transformador trifásico Dyn5.	99
3.5.1. Análisis de grupo de conexión en transformadores trifásicos aplicados a Sistema de distribución	99
3.5.2. Manera en que se conectan los devanados de un transformador trifásico	99
3.5.3. Relevancia de la conexión Dyn5 para el análisis armónico	101
3.6. Factor K del Transformador	102

3.6.1. Factor K del transformador	102
Resultados del Factor K — Transformador TR-1 (1,000 kVA)	106
Resultados del Factor K — Transformador TR-2 (800 kVA)	107
3.7. EVALUACIÓN MEDIANTE SIMULACIÓN – SED 01 (TR-1, 1000 kVA).....	108
3.7.1. Resultados de THDV — SED 01 (1,000 kVA).....	110
3.7.2. Resultados de THDI — SED 01 (1,000 kVA).....	111
3.7.3. Análisis de los armónicos predominantes — SED 01.....	113
3.7.4. Análisis de los armónicos predominantes — SED 01.....	114
3.7.5. Evaluación mediante Simulación — SED 02 (TR-2, 800 kVA)	117
3.7.6. Resultados de THDV — SED 02 (800 kVA)	118
3.7.7. Resultados de THDI — SED 02 (800 kVA).....	119
3.7.8. Análisis de los armónicos predominantes — SED 02.....	121
3.7.8.1. Característica de onda de tensión SED 1 – 800 KVA.....	122
3.7.8.2. Característica de onda de corriente SED-2	122
3.7.8.3. Variación del factor de potencia SED-2.....	123
3.8. RESUMEN COMPARATIVO DE RESULTADOS — SED 01 y SED 02	123
CAPITULO IV	125
Análisis de alternativas de solución	125
4.0 Introducción.....	125
4.1 Caso de estudio	127
4.2. FILTROS PASIVOS DE MAYOR APLICACIÓN.....	128
4.2.1. Tipos de filtros pasivos.....	129
4.3 VALIDAR LOS FILTROS PASIVOS DE MAYOR UTILIZACIÓN	137
4.3.1 FILTRO DE PASO ALTO (TIPO C).....	142

Propuesta del sistema de compensación de energía reactiva y mejora del factor de potencia	145
CAPÍTULO V	151
Desarrollo de la mejor alternativa de solución	151
5.0 APLICACIÓN A SISTEMAS DE PRUEBA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA	151
5.1 CONSIDERACIONES PREVIAS	151
5.2 APLICACIÓN DEL FILTRO A CASO CONCRETO	151
5.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA	151
5.4 DIAGRAMA EQUIVALENTE DEL FILTRO Y LA RED ELÉCTRICA	152
5.5 SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS COMPONENTES ARMÓNICAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSION DEL HOSPITAL DE QUILLABAMBA – LA CONVENCION – CUSCO	154
5.6 SIMULACIÓN EN SISTEMA DE PRUEBA SED 0010823	154
5.7 SIMULACIÓN EN SISTEMA DE PRUEBA SED 02 – 800 KVA	163
CONCLUSIONES	172
RECOMENDACIONES	173

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Mapa ilustrativo administrativo de la provincia de La Convención</i>	19
Figura 2	<i>Mapa de ubicación del hospital georreferenciado</i>	20
Figura 3	<i>Señal de la Onda de la Tensión Nominal</i>	48
Figura 4	<i>Ciclos de Frecuencia en un tiempo 1 Segundo</i>	49
Figura 5	<i>El sistema presenta una frecuencia base de 60 Hz, junto con armónicos de orden 2, 3, 4 y 5, los cuales se manifiestan en 120 Hz, 180 Hz, 240 Hz y 300</i>	49
Figura 6	<i>Perturbaciones Eléctricas</i>	51
Figura 7	<i>Perturbaciones Eléctricas</i>	51
Figura 8	<i>El principio operativo y modo de operación de los aparatos de Rayos X</i>	58
Figura 9	<i>Espectro de rayos X con múltiples niveles de energía, después que atraviesen 20 cm de agua, modificado según el voltaje utilizado al tubo emisor</i>	60
Figura 10	<i>Resonador magnético (Orozco, 2006)</i>	62
Figura 11	<i>Diagrama de flujo</i>	85
Figura 12	<i>Diagrama unifilar de la Convención.</i>	89
Figura 13	<i>Diagrama del sistema eléctrico para la S.E.P – Quillabamba</i>	90
Figura 14	<i>Diagrama unifilar de Quillabamba.</i>	90
Figura 15	<i>Carga Lineal.</i>	93
Figura 16	<i>Carga no-Lineal.</i>	93
Figura 17	<i>Representación unifilar del sistema de suministro eléctrico del Hospital de Quillabamba.</i>	

Figura 18	<i>Diagrama de conexiones de transformadores</i>	100
Figura 19	<i>Diagrama del tipo de conexión de los transformadores de 800 kVA y 1000 kVA.</i> ..	101
Figura 21	<i>Tasa de distorsión – corriente Transformador 800 kVA</i>	107
Figura 22	<i>Diagrama de cargas para Transformador 1000 kVA</i>	108
Figura 23	<i>Diagrama unifilar para Transformador 1000 kVA</i>	109
Figura 24	<i>Presentación del osciloscopio para 1000KVA</i>	110
Figura 25	<i>Onda de tensión en la SED que incluyen componentes armónicas</i>	110
Figura 26	<i>Resultados de la característica de onda de corriente</i>	112
Figura 27	<i>Armónicos sobresalientes</i>	114
Figura 28	<i>Fluctuación de la magnitud de deformación armónica total de voltaje SED 1</i> ...	115
Figura 29	<i>Fluctuación del factor de potencia SED TR-1</i>	115
Figura 30	<i>Análisis de la SED TR-1</i>	116
Figura 31	<i>Fluctuación de la magnitud de deformación armónica de corriente SED TR-1</i> ..	116
Figura 32	<i>Diagrama unifilar para Transformador 800 kVA</i>	117
Figura 33	<i>Presentación del osciloscopio para 800 KVA</i>	118
Figura 34	<i>Onda de tensión en la SED que incluyen componentes armónicas</i>	118
Figura 35	<i>Resultados de la forma de onda corriente en la SED afectada por componentes armónicas</i>	119
Figura 36	<i>Fluctuación de la magnitud de deformación de los armónicos de corriente SED -2</i>	121

Figura 37 <i>Fluctuación del factor de potencia SED-2</i>	121
Figura 38 <i>Configuraciones actuales de sistemas de filtrado de corrientes armónicas</i>	127
Figura 39 <i>Filtro pasivo en serie</i>	129
Figura 40 <i>Componentes para filtros de Primer Orden</i>	132
Figura 41 <i>Componentes para filtros de Segundo Orden</i>	133
Figura 42 <i>Componentes para filtros de Tercer Orden</i>	133
Figura 43 <i>Componentes para filtros de múltiples frecuencias</i>	134
Figura 44 <i>Filtros Pasa Bajos</i>	135
Figura 45 <i>Filtros Paso alto</i>	136
Figura 46 <i>Filtros Paso Banda</i>	136
Figura 47 <i>Filtro paso de banda de una sintonía trifásico modelo en simulink de MATLAB</i>	137
Figura 48 <i>Filtro paso de banda de doble sintonizado trifásico modelo en simulink de MATLAB</i>	140
Figura 49 <i>Filtro de paso alto de segundo orden trifásico modelo en simulink de MATLAB</i>	141
Figura 50 <i>Filtro de paso alto tipo C trifásico modelo en simulink de MATLAB</i>	143
Figura 51 (Referencial) <i>Banco de condensadores en gabinete auto soportado</i>	146
Figura 52 <i>Puente rectificador trifásico controlado con una carga equivalente</i>	152
Figura 53 <i>Circuito equivalente del Banco de Capacitores</i> ,	153
Figura 54 <i>Circuito equivalente de la red y el filtro, Matlab Simulink</i>	153

Figura 55 <i>Interior del filtro, conexionado de los filtros para mitigar corrientes armónicas, modelo Matlab Simulink</i>	154
Figura 56 <i>Conexión filtro pasivo SED 01 – 1000 kVA</i>	158
Figura 57 <i>Forma de onda de corriente medido antes y después de la intervención del filtro pasivo SED 0010823</i>	162
Figura 58 <i>Conexión filtro pasivo SED 02 -800 KVA Matlab Simulink</i>	167
Figura 59 <i>Forma de onda de corriente medido antes y después de la intervención del filtro pasivo SED 02 – 800KVA</i>	170

ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1 <i>Clasificación de los alimentadores en MT, según el Sistema eléctrico de la Provincia de la Convención.</i>	21
Tabla 2 <i>Potencia suministrada de la central hidroeléctrica de Chuyapi - la Convención.</i>	22
Tabla 3 <i>Potencia suministrada de la central hidroeléctrica de Machupicchu - Urubamba.</i> ..	22
Tabla 4 <i>Según NTCSE que definen aspectos de la Calidad De Energía</i>	45
Tabla 5 <i>Valores que se Permiten En Redes Secundarias en Valores Nominales</i>	47
Tabla 6 <i>Clasificación de Armónicos Según su Orden, Frecuencia Y Secuencia</i>	54
Tabla 7 <i>Valores límites de tolerancia para distorsiones armónicas de tensión</i>	76
Tabla 8 <i>Referencia utilizada para el establecimiento de los límites permisibles de corrientes armónicas.</i>	78
Tabla 9 <i>Valores máximos admisibles para la inyección de corrientes armónicas en un sistema eléctrico.</i>	79
Tabla 10 <i>Niveles eficaces de las tensiones armónicas</i>	87
Tabla 11 <i>Límites de inyección de corrientes armónicas</i>	88
Tabla 12 <i>SEDs a realizar estudio y el análisis</i>	89
Tabla 13 <i>Cuadro de Cargas del Hospital Quillabamba</i>	92
Tabla 14 <i>SED a realizar el estudio y el análisis</i>	95
Tabla 15 <i>Cargas del Hospital</i>	96
Tabla 16 <i>Cargas de fuerza del Hospital</i>	97
Tabla 17 <i>Cuadros de cargas con Factor K utilizados</i>	104

Tabla 18	<i>Factor K según las cargas típicas</i>	105
Tabla 19	<i>Magnitudes de Porcentajes de Inyección de Corriente Armónica</i>	106
Tabla 20	<i>Efectos THDV=32.63%</i>	111
Tabla 21	<i>Resultados THDI=19.28%</i>	113
Tabla 22	<i>Efectos THDV=31.79%</i>	119
Tabla 23	<i>Resultados THDI=18.97%</i>	120
Tabla 24	<i>Magnitudes de Inyección de Corriente Armónica según Tipo de Equipo</i>	128
Tabla 25	<i>Valor de los componentes del filtro según su configuración.</i>	144
Tabla 26	<i>Parámetros de la carga SED 01</i>	155
Tabla 27	<i>Parámetros del sistema de prueba SED 01</i>	157
Tabla 28	<i>Tasa individual de distorsión de corriente SED 01 – 1000 KVA</i>	160
Tabla 29	<i>Tasa de distorsión armónica total de corriente (THDI) SED 01 -1000KVA</i>	161
Tabla 30	<i>Parámetros de la carga R, L, C para la 5ta armónica</i>	164
Tabla 31	<i>Parámetros del sistema de prueba SED 02</i>	166
Tabla 32	<i>Tasa individual de distorsión armónica de corrientes SED 02 – 800 KVA</i>	168
Tabla 33	<i>Tasa de distorsión armónica total de corriente (THDI) SED 0010021</i>	169

RESUMEN

El presente estudio evalúa los efectos producidos por la incorporación de una carga hospitalaria de 1.8 MVA correspondiente al nuevo Hospital de Quillabamba en el sistema eléctrico de distribución en media tensión de 10 kV del distrito de Santa Ana, provincia de La Convención, Cusco. El objetivo principal es cuantificar el impacto de los armónicos de corriente generados por las cargas no lineales del hospital sobre los indicadores de calidad de energía, específicamente la distorsión armónica total de corriente (THDI) y de tensión (THDV), además de proponer alternativas técnicas de mitigación.

La investigación adopta un enfoque cuantitativo, aplicado y de diseño no experimental transversal. La metodología comprende el análisis técnico del sistema eléctrico, la elaboración de modelos equivalentes y la simulación computacional en MATLAB/Simulink de dos subestaciones de distribución: SED 01 de 1000 kVA y SED 02 de 800 kVA.

Los resultados revelaron niveles de distorsión armónica superiores a los límites establecidos por la norma IEEE 519 y la NTCSE, registrándose valores de THDI de 19.28 % y THDV de 32.63 %. Se evaluaron filtros pasivos sintonizados para armónicas de orden 5, 7, 11 y 13, seleccionándose la alternativa más eficiente. La implementación simulada del filtro pasivo redujo el THDI a valores inferiores al 5 % y mejoró el factor de potencia de 0.87 a 0.98. Se concluye que los filtros pasivos sintonizados constituyen una alternativa técnica viable para mitigar la distorsión armónica y mejorar la calidad de energía en sistemas eléctricos hospitalarios.

Palabras clave: Armónicos de corriente, Calidad de energía, Distorsión armónica total, MATLAB/Simulink, IEEE 519.

ABSTRACT

This study evaluates the effects of integrating a 1.8 MVA hospital load corresponding to the new Quillabamba Hospital into the 10 kV medium-voltage distribution system in the district of Santa Ana, La Convención province, Cusco. The main objective is to quantify the impact of harmonics generated by non-linear loads on power quality, specifically in terms of Total Harmonic Distortion of current (THDI) and voltage (THDV), and to propose mitigation alternatives.

The research follows a quantitative, applied, and non-experimental cross-sectional design. The methodology includes technical analysis of the electrical system, equivalent modeling, and computational simulation using MATLAB/Simulink, considering two distribution substations rated at 1000 kVA and 800 kVA.

The results show harmonic distortion levels exceeding the limits established by IEEE 519 and the NTCSE, reaching THDI values of 19.28% and THDV of 32.63%. As a solution, tuned passive filters for the 5th, 7th, 11th, and 13th harmonic orders were evaluated, achieving a reduction of THDI to values below 5% and improving the power factor from 0.87 to 0.98.

It is concluded that the implementation of tuned passive filters is a technically viable solution to mitigate harmonic distortion and improve power quality in hospital electrical systems.

Keywords: Harmonic distortion, Power quality, Total Harmonic distortion, MATLAB/Simulink, IEEE 519.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES.

1.1. Introducción

El este capítulo se desarrolla la delimitación del problema de investigación, así como la formulación de los objetivos, la justificación, las hipótesis, los alcances del estudio, y la definición de las variables e indicadores y la metodología empleadas en la investigación.

1.2. Ubicación Geográfica.

Figura 1

Mapa ilustrativo administrativo de la provincia de La Convención



Nota. Fuente: Internet (<http://www.map-peru.com/es/mapas>)

demanda eléctrica proyectada de 1.8 MVA, lo que representa una fracción considerada de la demanda total del distrito de Santa Ana (Electro Sur Este S.A.A., datos de operación 2023). Esta incorporación de una carga de gran magnitud y de naturaleza predominantemente no lineal — dado el perfil tecnológico de los equipos médicos— en la red de distribución en media tensión de 10 kV, plantea la necesidad técnica de evaluar sus efectos sobre la influencia de la calidad de la energía eléctrica sobre el comportamiento del sistema, en particular la generación de armónicos de corriente y su propagación hacia el punto de acoplamiento común (PAC).

La provincia de la convención actualmente se divide en dos Sub-sistemas eléctricos (S.E.), S.E. la Convención Rural (SE0241) y S.E. la Convención (SE0036) de acuerdo a OSINERGMIN (pliego tarifario). También posee cuatro subestaciones de transmisión (SET), Las subestaciones de transmisión y los alimentadores que pertenecen a los Sub-sistemas eléctricos como se muestran en las tablas:

Tabla 1

Clasificación de los alimentadores en MT, según el Sistema eléctrico de la Provincia de la Convención.

Alimentadores MT	S.E. La Convención (SE 0036)	S.E. La Convención Rural (SE0243)
Set Chahuares (CH) 7MVA		CH01, CH02, CH03
Set Urpipata (UP) 7MVA	UP01, UP02	UP04, UP05
Set Santa Maria (SM) 4MVA		SM01, SM02, SM03
Set Santa Teresa (ST) 4MVA		ST01

Nota. *Fuente: Elaboración propia, reseñas obtenidas de la división de operaciones de la empresa Electro Sur Este S.A.A.

La provisión de energía en la Provincia de la Convención proviene de dos fuentes de generación, de la micro central de Chuyapi y de la central hidroeléctrica de Machupichu las cuales proporcionan de energía a la Provincia de la convención.

Tabla 2

Potencia suministrada de la central hidroeléctrica de Chuyapi - la Convención.

CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE CHUYAPI			
Nº	Grupo	Tipo de generador	Potencia
01	Generador hidráulico	Turbina Francis	500 KW
01	Generador hidráulico	Turbina Francis	500 KW
01	Generador hidráulico	Turbina Francis	500 KW

Nota. Fuente: Elaboración propia, reseñas obtenidas de la división de operaciones de la empresa Electro Sur Este S.A.A.

Tabla 3

Potencia suministrada de la central hidroeléctrica de Machupicchu - Urubamba.

CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE MACHUPICCHU I-II			
Nº	GRUPO	TIPO DE GENERADOR	POTENCIA
01	Generador hidráulico	Turbina Pelton	30 Mw
01	Generador hidráulico	Turbina Pelton	30 Mw
01	Generador hidráulico	Turbina Pelton	30 Mw
01	Generador hidráulico	Turbina Pelton (Machupicchu II)	100 Mw

Nota. Fuente: Elaboración propia, reseñas obtenidas de la división de operaciones de la empresa EGEMSA.

La potencia instalada a analizar de la infraestructura hospitalaria, el cual en el futuro se verá afectado la calidad de producto de los alimentadores y de la población en general. La

regulación de la frecuencia del sistema y del voltaje lo gestiona la empresa concesionaria (ELSE SAA), Electro Sur Este SAA.

Se ha visto que la inserción de cargas no lineales afecta a la calidad de producto de las redes eléctricas de distribución, para lo que se realizó diversos estudios en diferentes lugares tanto en el Perú como en el extranjero utilizando diversos métodos para el control y corrección de armónicos, como también la reducción de pérdidas técnicas dentro del sistema de media tensión.

La SET Uripata - la Convención muestra dos alimentadores como son UP01 y UP02, a un nivel de tensión de 10 kV, y son los dos suministradores de energía y que opera actualmente en el distrito de Santa Ana; El Set Uripata UP02 será el alimentador encargado de suministrar la energía para el Nuevo Hospital de Quillabamba con una carga de 1.8 MVA.

Respecto a sus actividades económicas fundamentales, de la población en su conjunto de la provincia son la Agricultura (Fruta, café, Cacao Te y otros alimentos), la Avicultura, Comercio y Turismo Vivencial – Aventura y otros.

1.4. Formulación del Problema.

1.4.1. Problema General.

¿En qué medida la inserción de una carga de 1.8 MVA del Hospital de Quillabamba en el sistema eléctrico de distribución a un nivel de tensión de 10 kV del distrito de Santa Ana, provincia de La Convención, Cusco, incrementa la magnitud de la distorsión armónica de corriente y de tensión en el punto común de conexión, y en qué grado la aplicación de filtros pasivos sintonizados permite su mitigación conforme a la NTCSE?

1.4.2. Problemas Específicos.

- ¿Cómo influyen los efectos de la inserción de la carga de 1,8 MVA del hospital de Quillabamba en la calidad de corriente de la línea de media tensión de 10 Kv – Santa Ana, La Convención, Cusco?
- ¿Cómo influye los filtros pasivos y activos en los efectos de la inserción de una carga de 1,8 MVA del hospital de Quillabamba sobre los componentes armónicos de corriente en el sistema eléctrico de media tensión de 10 Kv?

1.5. Objetivos.

1.5.1. Objetivo General.

Evaluar los efectos de la inserción de una carga hospitalaria de 1.8 MVA en el sistema de distribución eléctrica de media tensión de 10 kV del distrito de Santa Ana, provincia de La Convención, Cusco, mediante el análisis de los armónicos de corriente generados y la simulación computacional de alternativas de mitigación.

1.5.2. Objetivo Específico.

- Mediar el impacto de influencia de la inserción de la carga de 1.8 MVA del Hospital de Quillabamba sobre los niveles armónicos total de corriente (THDI) y de tensión (THDV) en la línea de media tensión de 10 kV del distrito de Santa Ana, La Convención, Cusco.
- Evaluar la eficacia técnica de la aplicación de filtros pasivos sintonizados y filtros activos en la mitigación de los corrientes armónicos producidos por la carga del Hospital de Quillabamba, en contraste con los límites normativos instituidos por la norma IEEE 519 y la NTCSE.

1.6. Justificaciones de la Tesis.

1.6.1. Justificación Técnica.

El presente trabajo desde el punto de vista técnico, la investigación responde a la necesidad de analizar y mitigar los efectos producidos por la presencia de corrientes armónicas, principalmente de orden impar (3° , 5° , 7° , 9° , 11° , 13° , 17° , 19° y 21°), generados por la incorporación de equipos de naturaleza no lineal en el sistema eléctrico que suministra al Hospital de Quillabamba, el cual opera conectado a una red de media tensión de 10 kV.

La creciente incorporación de equipos electrónicos basados en dispositivos semiconductores —tales como sistemas de iluminación electrónica, equipos informáticos, equipamiento médico especializado (tomógrafos, resonadores magnéticos), variadores de velocidad, sistemas de alimentación ininterrumpida y otros dispositivos de electrónica de potencia— ha incrementado significativamente la presencia de cargas no lineales en instalaciones hospitalarias. Estos equipos, al no presentar un comportamiento lineal, generan corrientes distorsionadas que provocan la aparición de armónicos, afectando el sistema sobre la calidad de energía.

La presencia de armónicos de corriente puede ocasionar diversos efectos adversos, tales como el incremento de pérdidas eléctricas, sobrecalentamiento de transformadores y conductores, distorsión de la tensión, reducción en la vida útil de los equipos y posibles fenómenos de resonancia entre los elementos inductivos y capacitivos del sistema eléctrico. Estas condiciones representan un riesgo operativo considerable, especialmente en instalaciones críticas como los hospitales, ya que la calidad y la continuidad del sistema eléctrico son principales.

Asimismo, los conceptos tradicionales de energía activa, reactiva y factor de potencia, basados únicamente en el desfase angular entre la tensión y la corriente, resultan insuficientes cuando las formas de onda se encuentran distorsionadas por armónicos. En estos casos, la evaluación de la calidad de la energía requiere examinar indicadores específicos de distorsión armónica, conforme a estándares internacionales como la norma IEEE 519.

En este contexto, la actual investigación justifica técnicamente el análisis y la evaluación del uso de filtros pasivos y activos como alternativas de reducción de armónicos de corriente, a través de la simulación computacional, con el propósito de disminuir los niveles de armónicos, evitar fenómenos de resonancia y mejorar la calidad de la energía eléctrica en el sistema de media tensión que alimenta a la infraestructura hospitalaria de Quillabamba.

Si bien es cierto que los armónicos de corriente se originan principalmente en los niveles del sistema de baja tensión, esto por la creciente utilización de cargas no lineales, entonces se da la propagación de los armónicos de corriente a través, de los transformadores hacia las redes de media tensión, afectando directamente el sistema eléctrico en el punto de conexión común. En este contexto, dicho análisis de armónicos en el sistema de nivel de 10 kV de media tensión adquiere especial relevancia, dado que es en este nivel donde se manifiestan efectos sistémicos tales como la distorsión armónica presente en la tensión, el riesgo de resonancia entre la impedancia de la red eléctrica y los elementos de compensación reactiva, así como la afectación a la estabilidad eléctrica del sistema.

Asimismo, lo que establece la norma IEEE 519-1992, los límites permisibles de perturbación armónica evaluados precisamente en el nodo de conexión entre el usuario y el sistema de red de distribución, el cual, para el caso del Hospital de Quillabamba, se encuentra en

el nivel de media tensión. Por ello, la investigación actual prioriza la evaluación de los armónicos de corriente en el sistema eléctrico de media tensión de 10 kV, no como punto de generación, sino como nivel crítico de análisis para tomar decisiones técnicas guiadas a la mitigación de sus efectos a través del uso de filtros pasivos y activos.

En consecuencia, la dicha investigación en media tensión permite evaluar de manera integral la calidad del suministro eléctrico suministrada, garantizando la operación segura del sistema, la protección de los transformadores de potencia y la reducción de riesgos asociados a fenómenos de resonancia armónica.

1.7. Alcances y Limitaciones de la Tesis.

1.7.1. Alcances.

El estudio se circunscribe al análisis de los efectos de la inserción de una carga de 1.8 MVA del Hospital de Quillabamba sobre los corrientes armónicos en la línea en el nivel de media tensión de 10Kv – Santa Ana, La Convención, Cusco, bajo condiciones de operación en estado estacionario, mediante simulación computacional.

1.7.2. Limitaciones de la Tesis.

La actual investigación se limita al estudio de estado estacionario, a excepción de considerar fenómenos transitorios, fallas eléctricas ni variaciones dinámicas de carga. Asimismo, los resultados se basan en modelos de simulación computacional, por lo que no incluyen mediciones experimentales en campo.

1.8. Hipótesis

1.8.1. Hipótesis General.

La inserción de una carga de 1.8 MVA del Hospital de Quillabamba en el sistema eléctrico de distribución en media tensión a 10kV del distrito de Santa Ana incrementa los niveles de tasa total de distorsión armónica de corriente (THDI) sobre el valor límite de 5% instituido por la norma IEEE 519, afectando la calidad de la energía eléctrica en el punto común de conexión.

1.8.2. Hipótesis Específicas.

- La inserción de la carga de 1.8 MVA del Hospital de Quillabamba genera niveles de THDI que superan los límites normativos permitidos (5% según IEEE 519 y NTCSE) en la línea de media tensión de 10 kV del distrito de Santa Ana, provincia de La Convención, de departamento de Cusco.
- La aplicación de filtros pasivos sintonizados para los órdenes armónicos 5, 7, 11 y 13 reduce el THDI a valores inferiores al 5%, en conformidad con los valores límites instituidos por la norma IEEE 519 y la NTCSE, mejorando simultáneamente el factor de potencia del sistema eléctrico a valores superiores a 0.95.

1.9. Variables e Indicadores

1.9.1. Variable Independiente.

- Inserción de la carga de 1.8 MVA del Hospital de Quillabamba en el sistema eléctrico de distribución en media tensión de 10 kV.

1.9.2. Indicadores

- Potencia aparente de la carga hospitalaria total: 1.8 MVA
- cuadro de cargas del hospital
- Magnitudes de inyección de corriente armónica (%) por orden armónico

1.9.3. Variable Dependiente.

- Nivel de distorsión armónica de tensión y corriente en el sistema eléctrico de media tensión de 10 kV.

1.9.4. Indicadores

- Tasa total de Distorsión armónica de corriente: THDI (%)
- Tasa total de Distorsión armónica de tensión: THDV (%)
- Factor de potencia (FP)

1.9.5. Variables Intervinientes

- Filtros de mitigación armónica

1.9.6. Indicadores

- Tipo de filtro (pasivo sintonizado, activo)
- Frecuencia de sintonía (Hz)
- Parámetros de diseño (R, L, C)

1.10. Tasa de Distorsión Armónica Individual por Orden (IDH, %).

1.10.1. Diseño Metodológico

1.10.1.1. Tipo de Investigación. Investigación aplicada. La actual investigación es de tipo aplicada, dado que emplea el conocimiento teórico y normativo existente en el ámbito de la calidad del suministro eléctrico —exactamente la teoría de armónicos, la metodología de análisis de sistemas de potencia y los criterios normativos de la IEEE 519-2014 y la NTCSE— con el propósito de resolver un problema técnico concreto: evaluar y mitigar el impacto armónico generado por las cargas no lineales del Hospital de Quillabamba sobre el sistema eléctrico de distribución de media tensión de 10 kV del distrito de Santa Ana, provincia de La Convención y departamento de Cusco. La investigación básica tiene como finalidad la producción de conocimiento teórico, en tanto que la investigación aplicada se dirige a la resolución de problemáticas específicas mediante la implementación de dicho conocimiento, la cual es útil para decidir técnicamente e ingenieriles en un contexto real y específico (Lozada, 2014).

1.10.1.2. Diseño de la Investigación. No Experimental, Transversal, Simulacional. El diseño es no experimental porque los investigadores no manipulan directamente las variables en el sistema eléctrico real; el análisis se basa en la modelación y simulación computacional del sistema. Es de corte transversal porque el estudio analiza las condiciones del sistema en un período específico —las condiciones proyectadas de operación del Hospital de Quillabamba en el horizonte 2024— sin seguimiento longitudinal de variables en el tiempo. El carácter simulacional del diseño muestra la naturaleza del estudio en objeto: dado que el hospital se encuentra en fase de implementación al momento del estudio, no es posible realizar mediciones directas del fenómeno en campo. La simulación computacional en MATLAB/Simulink constituye,

por tanto, el método de análisis principal, con los datos técnicos reales como base del sistema eléctrico de distribución (Hernández et al., 2014).

1.10.1.3. Nivel de investigación: Descriptivo-Explicativo. El nivel de investigación es descriptivo-explicativo. Es descriptivo porque caracteriza y cuantifica el perfil de los armónicos de corriente en el sistema eléctrico ante la inserción de la carga hospitalaria, determinando los valores de THDI y THDV obtenidos mediante simulación. Es explicativo porque identifica los mecanismos técnicos mediante los cuales las cargas de naturaleza no lineal del hospital generan y propagan los armónicos de corriente en el punto de conexión común en la red en media tensión de 10 kV, y evalúa la eficacia de las medidas de mitigación propuestas.

1.11. Método de Investigación.

Según Tamayo (2017), las características se basan en el análisis del grado de correlación existente entre las variables, sin establecer necesariamente relaciones de causalidad directa, permitiendo identificar patrones de asociación entre los fenómenos estudiados.

La actual investigación establece el método hipotético–deductivo, ya que parte de la formulación de la hipótesis que son contrastadas a través, de los resultados analizados obtenidos a partir de la simulación computacional del sistema eléctrico, evaluando el comportamiento de las corrientes armónicas ante la inserción de una carga de 1,8 MVA. La validación de las hipótesis se realiza mediante la comparación y análisis técnico de los indicadores definidos, sin manipulación experimental directa de las variables. la verificación de las hipótesis se realiza comparando los indicadores de distorsión armónica obtenidos en la simulación a través de los umbrales instituidos en la norma IEEE 519-2014 y la NTCSE, constituyendo esto el criterio de contrastación.

1.12. Población y Muestra.

1.12.1. Alcance del sistema modelado

La unidad de análisis del actual investigación es el sistema eléctrico de distribución del Hospital de Quillabamba, comprendiendo sus dos subestaciones de distribución (SED 01 de 1000 kVA y SED 02 de 800 kVA) y el alimentador UP02 de la SET Urpipata a través de la red de media tensión de 10 kV del distrito de Santa Ana, La Convención, Cusco.

Dado que el estudio se basa en simulación computacional de un sistema eléctrico determinístico y específico (no en muestreo estadístico de una población de sistemas) no se aplica muestreo probabilístico. El análisis comprende la totalidad del sistema modelado bajo las condiciones de operación proyectadas para el Hospital de Quillabamba, incluyendo su cuadro de cargas completo y los dos transformadores de distribución identificados. Los escenarios de simulación cubren el estado de operación en régimen permanente con y sin filtros de mitigación armónica.

1.13. Técnicas e instrumentos para la recolección de información.

1.13.1. Técnicas de recolección de información

1.13.1.1. Análisis Documental Técnico. Comprende la revisión y proceso de la información técnica del sistema eléctrico de la provincia de La Convención, incluyendo el pliego tarifario de OSINERGMIN, los datos de operación de la SET Urpipata dadas por Electro Sur Este S.A.A., el cuadro de cargas del proyecto del Hospital de Quillabamba y los expedientes técnicos de los transformadores de distribución instalados.

1.13.1.2. Simulación Computacional. Constituye la técnica principal de análisis. Se construyeron modelos eléctricos equivalentes del sistema, incluyendo la representación de cargas eléctricas lineales y no lineales, transformadores (con sus parámetros reales de placa), la impedancia de red y los filtros pasivos propuestos, empleando el entorno MATLAB/Simulink versión [especificar versión], con las librerías de Simulink Power Systems (actualmente Simscape Electrical).

1.13.2. Instrumentos.

Los instrumentos utilizados fueron:

- Software MATLAB/Simulink [versión]: herramienta principal de modelado y simulación del sistema eléctrico.
- Norma IEEE 519-2014 y NTCSE: documentos de referencia normativa para la evaluación de los resultados.
- Cuadro de cargas del proyecto hospitalario: fuente de datos de las cargas no lineales modeladas.
- Datos técnicos de transformadores (placas de características): base para la parametrización de los modelos.

1.13.3. Validez

La validez de los modelos se sustenta en: (a) la parametrización con datos técnicos reales del sistema eléctrico de distribución y los transformadores; (b) el uso de datos de inyección de corriente armónica conformes con los rangos típicos de cargas hospitalarias reportados en la literatura técnica especializada y en la norma IEEE 519; y (c) la coherencia de los resultados con

los comportamientos documentados en estudios similares realizados en sistemas de distribución con cargas hospitalarias no lineales.

1.13.4. Confiabilidad

La confiabilidad del estudio se garantiza mediante el análisis de sensibilidad, evaluando la variación de los indicadores (THDI, THDV, FP) ante cambios en los parámetros de carga ($\pm 10\%$ de la demanda proyectada) y en los parámetros de los filtros, lo que permite evaluar la estabilidad de los resultados ante posibles incertidumbres en los datos de entrada.

1.14. Diseño e implementación de datos

Previo a la adquisición de datos, en el marco de este trabajo de investigación, estos serán sometidos, al diseño y procesamiento correspondiente, tablas dinámicas de Excel, Power BI y Matrix de decisiones.

1.15. Justificación

La magnitud de la tasa de distorsión armónico de corriente y tensión, como referente de exceso, conforme a lo especificado en la normativa aplicable NTCSE y Std. IEEE 519-2014 y que superan los límites, respectivos, causaran perjuicios económico- técnico al Hospital de Quillabamba y a la compañía responsable de la distribución eléctrica para nuestro caso a ELSE S.A.A, por lo que este estudio de investigación se justificara por las siguientes razones:

El constante acogimiento de las tecnologías electrónicas y equipos médicos, motores, bombas de agua, sistemas de aire acondicionado, adquiridos por los hospitales y así mismo las clínicas y hospitales genera un aumento en la demanda de la energía eléctrica como suministro,

lo que perjudica en gran proporción a usuarios con demandas más pequeñas, como domicilios, abarrotes, boticas, farmacias, restaurantes y otros negocios.

La subestación que se instalara para el hospital de Quillabamba, se ubicara en caseta dentro de sus instalaciones, en un tiempo no muy lejano compartirá el entorno con universidades, mercados y negocios de diferentes tipos, esta se convertirá en un área con elevada demanda de energía eléctrica, los cuales también podrían experimentar problemas similares de distorsiones armónicas. Esto afectara en sistemas de nivel de media tensión y la red del sistema de distribución eléctrica de baja tensión.

Se busca investigar e identificar dar una respuesta y solución a las dificultades y problemas que se presentaran a futuro, con el fin de mitigar los efectos de las distorsiones armónicas en el Hospital de Quillabamba.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO.

2. Introducción

Hace ya un tiempo, se empezó a reconocer la relevancia de la “La Calidad del producto del suministro eléctrico”. Su consumo de energía eléctrica se fue acrecentando hasta el presente, de manera significativa, debido al desarrollo de nuevas tecnologías y, a su vez, a la transformación de la sociedad en general, esto hace que aumente constantemente la productividad de la energía eléctrica.

Este avance de la tecnología va enlazado con el consumo actual de la energía eléctrica, impulsada por los avances tecnológicos siendo cada vez más alto uso del consumo.

El concepto de calidad de producto, se traduce como la influencia de las desviaciones en la “forma de la onda” perfecto sucede durante las etapas de generación, transmisión y distribución, junto con el funcionamiento de ciertos equipos estos elementos introducen perturbaciones; aunque su presencia es inherente al sistema, sus efectos pueden ser atenuados y controlados en un porcentaje aceptable.

Actualmente las empresas que generan y distribuyen el suministro eléctrico, tanto en los territorios de Perú como en el mundo, deben hacer frente a dos significativos desafíos:

Resulta necesario ampliar la capacidad del sistema de generación y distribución de energía eléctrica para atender la demanda creciente de los consumidores, dado que los sistemas actuales operan frecuentemente cerca de sus límites operativos de generación y distribución.

Es fundamental preservar la calidad del producto eléctrico entregado para garantizar el funcionamiento correcto de los dispositivos conectados a las redes, reconociendo además su importancia clave para el progreso tecnológico.

Aún no se ha establecido una definición única y globalmente aceptada para "Calidad del Suministro eléctrico", "Calidad de la Energía Eléctrica" o "Calidad de producto Eléctrico"; las normas internacionales suelen orientar su conceptualización:

Los estándares que se toman en cuenta son:

- La norma IEC 61000-4-30 conceptualiza la calidad de la energía eléctrica como las condiciones o atributos de la electricidad en un punto determinado de la red, los cuales son analizados mediante la comparación con parámetros técnicos normalizados que sirven como criterio de evaluación (IEC 61000-4-30).
- De acuerdo con la norma IEEE 1159 (1995), la calidad de la energía eléctrica comprende una amplia variedad de eventos electromagnéticos que permiten caracterizar la tensión y la corriente en un instante determinado y en una ubicación específica de la red eléctrica (IEEE, 1995). En este contexto, la calidad del suministro eléctrico se asocia al cumplimiento de niveles adecuados de estas magnitudes, de modo que se asegure la operación eficiente y confiable de las cargas eléctricas.

La calidad del suministro eléctrico se define como la integración de dos componentes fundamentales: la continuidad del servicio (disponibilidad) y la fidelidad de las magnitudes eléctricas, específicamente la tensión y la corriente. En este contexto, un suministro eléctrico de alta calidad es aquel que garantiza tanto la permanencia del servicio sin interrupciones como la estabilidad de las variables eléctricas dentro de rangos aceptables. Por el contrario, una calidad deficiente se manifiesta cuando existen desviaciones respecto a las condiciones ideales de

operación, las cuales se traducen en perturbaciones eléctricas o en una degradación cualitativa del servicio suministrado.

Actualmente el asunto es intrínsecamente complejo, pues una propiedad distintiva de la electricidad, a diferencia de otros bienes, es que sus características se ven modificadas por la manera en que los consumidores la utilizan

La conexión de equipos y cargas eléctricas por parte de los consumidores al sistema de distribución genera la circulación de corrientes eléctricas proporcionales a su demanda energética. Estas corrientes, al desplazarse a través de los conductores de la red, interactúan con la impedancia propia de los mismos, lo que da lugar a caídas de tensión a lo largo del sistema eléctrico. Este fenómeno es inherente a la operación de las redes de distribución y puede afectar la calidad del suministro eléctrico cuando dichas variaciones exceden los límites permisibles establecidos por la normativa técnica vigente.

La tensión que recibe un usuario es resultado de las caídas de tensión que se juntan en los componentes de la red que lo alimentan, viéndose afectada por su propia carga y la de otros usuarios simultáneamente; como la demanda individual fluctúa constantemente, la tensión de suministro también lo hará de la misma manera.

Existe la posibilidad de deterioro o fallo en los componentes del sistema de generación y distribución eléctrica debido a diversas razones, tales como factores climáticos, desgaste por uso, envejecimiento, intervención humana, o efectos de la fauna, entre otros factores que puedan intervenir en su deterioro, como estos incidentes asimismo pueden comprometer o impedir el abastecimiento de energía eléctrica a los usuarios.

Por ende, las variables que determinan la calidad del producto están influenciadas por el generador, el distribuidor y el cliente mismo; por ello se requiere la colaboración entre todos los actores involucrados para lograr Niveles adecuados de desempeño del suministro eléctrico.

La consecuencia más relevante de un desempeño del suministro eléctrico se manifiesta en el desempeño defectuoso o la falla de los equipos conectados a la red eléctrica. Los equipos eléctricos y electrónicos, tales como ordenadores personales, computadoras portátiles, controladores lógicos programables (PLC), sistemas de iluminación y dispositivos de electrónica de consumo, pueden presentar un comportamiento anómalo ante interrupciones del suministro eléctrico, incluso cuando estas ocurren durante fracciones de segundo, como décimas o centésimas de segundo. Este tipo de perturbaciones puede generar fallas en su operación, reinicios inesperados o pérdida de información. En consecuencia, el mal funcionamiento de estos equipos debido a la inestabilidad del suministro eléctrico puede ocasionar problemas significativos en entornos residenciales, hospitalarios, industriales y/o comerciales; adicionalmente, este mal funcionamiento conlleva efectos económicos adversos en procesos industriales, como paradas de producción o daños a equipos, que pueden ser de gran magnitud.

En el pasado, el análisis de la compatibilidad entre los equipos electrónicos, tanto industriales como de consumo, y la red eléctrica se centraba principalmente en verificar la coincidencia entre los valores nominales de tensión y frecuencia del equipo y los de la fuente de alimentación. Sin embargo, en la actualidad, los dispositivos electrónicos incorporan tecnologías y funcionalidades avanzadas que demandan un análisis más exhaustivo de su interacción con el sistema eléctrico. En este contexto, fenómenos que anteriormente eran considerados de menor relevancia, como las sobretensiones transitorias, la distorsión armónica y las variaciones de frecuencia, han adquirido una importancia crítica debido a su impacto directo en el correcto funcionamiento, confiabilidad y vida útil de los equipos.

Para analizar la calidad de la energía eléctrica en sistemas de media y baja tensión se consideran: parámetros de redes eléctricas en estudio, las variables intervinientes como la demanda energética y calidad de producto, se debe considerar la base teórica para dicho estudio de tesis.

El estudio se orienta principalmente a llevar a cabo un análisis de la calidad de energía en niveles de media y baja tensión del nuevo Hospital de Quillabamba para la provincia de la Convención, en este capítulo se notará la compensación de potencia reactiva, los niveles de tensión normalizados, los métodos de compensación de potencia reactiva de acuerdo a la normativa peruana.

2.1. Calidad de la Energía Eléctrica.

El vocablo **Calidad de energía eléctrica**, no se debe utilizar para expresar una comparación cualitativa, es necesario anteponer un adjetivo, por ejemplo: **Buena calidad de energía eléctrica** o **Mala calidad de energía eléctrica**.

Hoy en día, el estudio de la calidad de la energía eléctrica ha cobrado una gran importancia, impulsado principalmente por la necesidad de mejorar la productividad y competitividad en las organizaciones empresariales. Esto se debe a que existe una relación directa entre la calidad de la energía eléctrica, la eficiencia operativa y el desempeño productivo en general.

Para ser competitivas, las compañías necesitan optimizar su producción a través de:

- La utilización de maquinaria eficiente, por ejemplo, motores eléctricos.
- El uso de tecnologías electrónicas y computacionales para automatizar procesos.
- La disminución de costos asociados a interrupciones del servicio y deficiencias en la calidad de la energía eléctrica. Disminución de las pérdidas de energía.

- La prevención de gastos por sobredimensionamiento y tarifas punitivas.
- La reducción del envejecimiento prematuro y deterioro de los equipos eléctricos.

El circuito de corriente alterna más básico está conformado por una fuente de energía y una carga, donde la fuente proporciona energía eléctrica y la carga la transforma en otras formas, como energía mecánica o lumínica. Mientras la fuente entrega potencia (energía por tiempo), su señal de tensión impulsa una corriente a través del circuito.

Por lo tanto, el término “Power Quality” o calidad de la energía eléctrica hace referencia tanto a la integridad de las señales eléctricas —tensión, corriente y frecuencia— como a la continuidad y confiabilidad del suministro eléctrico.

La Microelectrónica con el manejo de dispositivos electrónicos, la creciente susceptibilidad y menor inmunidad electromagnética de los equipos ha aumentado recientemente el interés en las señales eléctricas de tensión y corriente, impulsando así la implementación de sistemas de protección y la definición de conceptos técnicos asociados a estos fenómenos.

De esta manera, la percepción de Power Quality, ha madurado globalmente en la última década, ampliando su alcance más allá de la simple continuidad del servicio para abarcar criterios relacionados con avances en interferencia y compatibilidad electromagnética.

Entre los usuarios ha causado confusión al no entender por qué un equipo no trabaja como uno desease por lo que se crearon muchos términos ambiguos con significados variables o imprecisos; por ejemplo, "Pico" o "Impulso de Tensión" se usan para referir diversas perturbaciones que causan fallos o mal funcionamiento.

Ejemplos:

- El supresor de picos es capaz de atenuar ciertos picos o perturbaciones electromagnéticas, pero no ofrece la misma efectividad ante todos los tipos de eventos.
- Un pararrayos tipo Franklin, correctamente instalado y puesto a tierra para proteger un edificio, contribuye a la protección de los equipos eléctricos y electrónicos contra los efectos electromagnéticos inducidos por los rayos, en el marco de un sistema integral de protección.

La **calidad de la energía eléctrica** puede entenderse, en términos generales, como el conjunto de características propias del servicio eléctrico y de sus señales de tensión y corriente, las cuales permiten evaluarlas en comparación con condiciones ideales, determinando si su desempeño es adecuado, mejor o deficiente. En este sentido, la calidad de la energía eléctrica no solo abarca la continuidad del suministro, sino también el comportamiento de las variables eléctricas dentro de un sistema de potencia, considerando un marco temporal y espacial definido.

No obstante, su definición no es única ni homogénea, ya que varía según el enfoque de distintas instituciones y normativas internacionales. Por ejemplo, el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI) la describe como cualquier problema del suministro eléctrico que se manifiesta como una desviación de la tensión, corriente o frecuencia respecto a sus valores ideales, provocando fallas o un funcionamiento inadecuado en los equipos del usuario (EPRI, s.f.).

Por su parte, la norma IEC 61000-4-30 la conceptualiza como las características de la energía eléctrica en un punto específico de la red, evaluadas mediante un conjunto de parámetros técnicos estandarizados. De manera complementaria, la norma IEEE 1159 (1995) la define como la diversidad de fenómenos electromagnéticos que describen el comportamiento de la tensión y la corriente en un punto y momento determinados del sistema eléctrico.

Asimismo, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) de Colombia establece que la calidad de la potencia suministrada está asociada a las perturbaciones y variaciones en estado estacionario de la tensión y corriente entregadas por el operador de red, mientras que la calidad del servicio se relaciona con la confiabilidad y continuidad del suministro (CREG, 1998).

En algunos países, el concepto de Calidad de la Energía Eléctrica (CEE) también incorpora aspectos vinculados al diseño, construcción y operación de las instalaciones eléctricas, así como elementos relacionados con la atención al usuario, tales como la facturación y la gestión de reclamos.

Ciertos autores sostienen que el concepto de Calidad de la Energía Eléctrica aplica exclusivamente a la señal de tensión, lo cual sería válido en un sistema eléctrico lineal simple (generador único alimentando una carga única). No obstante, los sistemas eléctricos reales suelen ser redes interconectadas (enmalladas) donde la corriente de una carga puede distorsionar la red de suministro, afectando a otras cargas con señales de tensión y corriente contaminadas; por ello, es más adecuado considerar tanto la fuente (tensión) como la carga (corriente) al hablar de Calidad de la Energía Eléctrica.

Los principales atributos físicos asociados a la calidad de la energía eléctrica comprenden la continuidad del servicio —idealmente de forma ininterrumpida durante las 24 horas del día—, así como la amplitud, frecuencia y forma de onda de las señales de tensión y corriente. Estos parámetros se encuentran definidos mediante indicadores establecidos en normativas nacionales e internacionales, los cuales deben mantenerse dentro de rangos técnica y económicamente aceptables. Cuando se pierde la continuidad del suministro o cuando estos valores se desvían de los límites permitidos, pueden producirse deterioros, fallas o un funcionamiento deficiente en equipos, dispositivos o sistemas eléctricos, electrónicos y de comunicaciones, lo que conlleva a

una disminución de la calidad de la energía eléctrica y genera consecuencias técnicas y económicas desfavorables para los usuarios.

En este contexto, la calidad energética puede ser analizada desde dos enfoques principales:

- La calidad del producto de energía eléctrica está directamente vinculada al factor tiempo, es decir, a la continuidad del servicio.
- La calidad de la potencia eléctrica hace referencia a las variaciones o perturbaciones en la forma de onda, frecuencia y amplitud de las señales de tensión y corriente.

La calidad del producto debe interpretarse como la continuidad del suministro de tensión, y no debe confundirse, como hacen algunos, con aspectos de la gestión administrativa de la atención al cliente (facturación, atención telefónica por cortes, etc.).

A modo de ejemplo, un usuario residencial, ya sea en zonas urbanas o rurales, suele priorizar la continuidad del suministro eléctrico por encima de la calidad de la señal. En contraste, usuarios del sector hospitalario, comercial o industrial, que emplean equipos de control basados en microelectrónica, requieren niveles elevados tanto de continuidad del servicio como de calidad en las señales de tensión y corriente.

A partir de lo anteriormente expuesto, es posible identificar cinco variables fundamentales que caracterizan la calidad del producto eléctrico:

- Amplitud de la señal eléctrica.
- Frecuencia del sistema eléctrico.
- Forma de onda de las señales eléctricas.
- Equilibrio (balance) entre las fases del sistema.

- Continuidad del suministro eléctrico.

Tabla 4

Según NTCSE que definen aspectos de la Calidad De Energía

Parámetros asociados a la calidad del suministro de energía eléctrica conforme a la normativa NTCSE.			
Calidad			
Producto	Suministro	Alumbrado Público	Servicio comercial
Magnitud de tensión dentro de los parámetros establecidos	Frecuencia de Interrupciones	de Minimizar e informar cortes de energía	Niveles de luminancia acorde a la NTCSE
Desviación de frecuencia	Duración de interrupciones	Tarifas claras, sin errores	Niveles de iluminancia acorde a la NTCSE
Deformación de la onda fundamental Presencia de parpadeo o Flicker	Número de interrupciones	de Compensación costes programados	por no Niveles de UGR deslumbramiento acorde a la NTCSE

Nota. Fuente: NTCSE, Elaboración Propia

Los aspectos negativos de la calidad del servicio de energía eléctrica, ya que la definición de la norma EN-UNE-60150:1996, identifican una tensión armónica como aquella onda de voltaje cuya frecuencia corresponde a un múltiplo entero de la frecuencia fundamental del sistema eléctrico. (EN-UNE-60150, 1996, 85.)

- Sobre tensión.
- Corte de alimentación.
- Interrupciones breves del suministro de tensión.
- Fluctuación del nivel de tensión eléctrica.
- Parpadeo de la iluminación causado por fluctuaciones de tensión (flicker).
- Descensos transitorios del nivel de tensión.

2.2. Calidad de Producto

La calidad del servicio de energía eléctrica suministrado al usuario se evalúa mediante la verificación de que los valores de tensión, frecuencia y las perturbaciones presentes en los puntos de conexión se mantengan dentro de los rangos de tolerancia establecidos. Para ello, el seguimiento de estos parámetros se realiza en intervalos mensuales, denominados “periodos de control”.

Se emplean instrumentos multifuncionales o específicos para medir Cada característica de calidad del servicio (voltaje, frecuencia, perturbaciones) es evaluada. El periodo mínimo establecido para la medición de un parámetro es de siete días calendario consecutivos, mientras que la frecuencia se registra de manera continua.

Estos intervalos de tiempo se denominan “periodos de medición”. Durante cada uno de estos ciclos, se registran los valores instantáneos de las variables evaluadas y se determinan promedios en lapsos definidos: quince minutos para la tensión y la frecuencia, y diez minutos para las perturbaciones. Dichos lapsos son conocidos como “intervalos de medición”. En caso de que, dentro de alguno de estos intervalos, un indicador de calidad exceda los límites permisibles, la energía suministrada en ese periodo se clasifica como de baja calidad.

2.3. Tensión

Las desviaciones permitidas para los voltajes nominales, en todas las fases y niveles de la red, alcanzan hasta $\pm 5.0\%$ de esos valores de referencia en los puntos donde se entrega la energía. En el caso de redes secundarias clasificadas como urbano-rurales o rurales, los márgenes de tolerancia se extienden hasta $\pm 7.5\%$.

Se considera que el suministro eléctrico presenta deficiencias de calidad cuando la tensión excede o desciende por debajo de los rangos permisibles por un intervalo mayor al 3% del periodo de medición.

La verificación de estos valores se efectúa mediante lecturas de medidores (monofásicos o trifásicos, según el suministro) utilizando equipos de registro con parámetros técnicos aprobadas por las entidades reguladoras.

Tabla 5

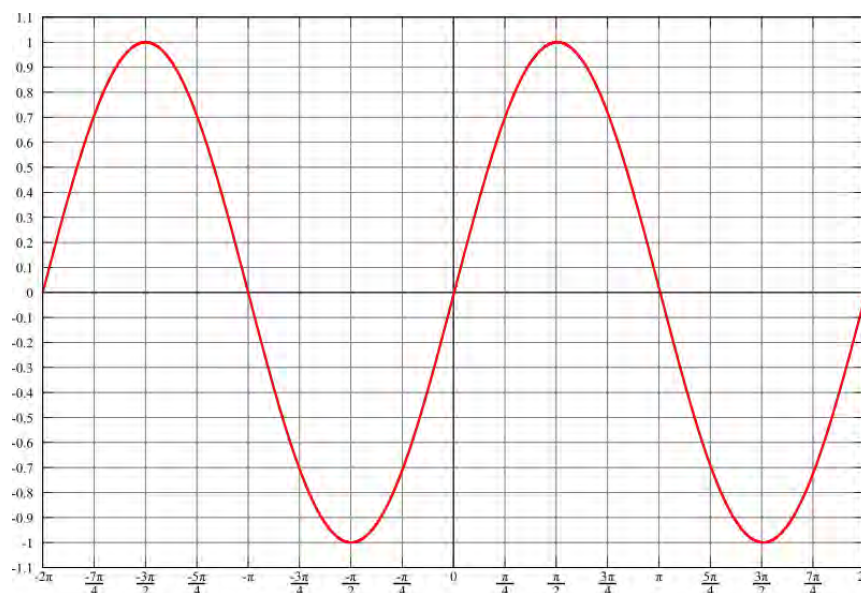
Valores que se Permiten En Redes Secundarias en Valores Nominales

Redes secundarias	Tensiones nominales (v)	Tolerancia (%)	Tensiones nominales aceptables (v)
Urbano	220	±5.0	209.0 231.0
Urbano rural y/o rural	220	±7.5	203.5 236.5

Nota. Fuente: Elaboración Propia

Figura 3

Señal de la Onda de la Tensión Nominal



Nota. Fuente: Google. Imágenes

2.4. Frecuencia

La frecuencia nominal (60 Hz), las tolerancias permitidas para las fluctuaciones de tensión son:

- El margen admisible para las desviaciones permanentes de la frecuencia (ΔfK (%)): ± 0.6 %.
- Las variaciones súbitas de frecuencia (VSF) tienen un límite permisible de ± 1.0 Hz.
- El límite admisible para las desviaciones diarias de la frecuencia (IVDF) es de ± 12.0 ciclos.

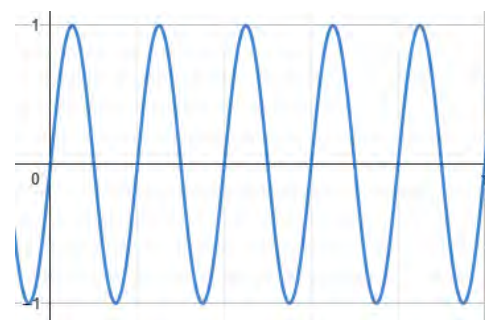
La energía eléctrica presenta deficiencias en su calidad cuando se registran alteraciones recurrentes en sus parámetros operativos. Para tal caso los controles se efectúan a través de las lecturas que realizan los contadores o medidores, estos instrumentos deben de contar con certificación, previamente aprobadas por el ente correspondiente.

Figura 4

Ciclos de Frecuencia en un tiempo 1 Segundo



1 ciclo por segundo

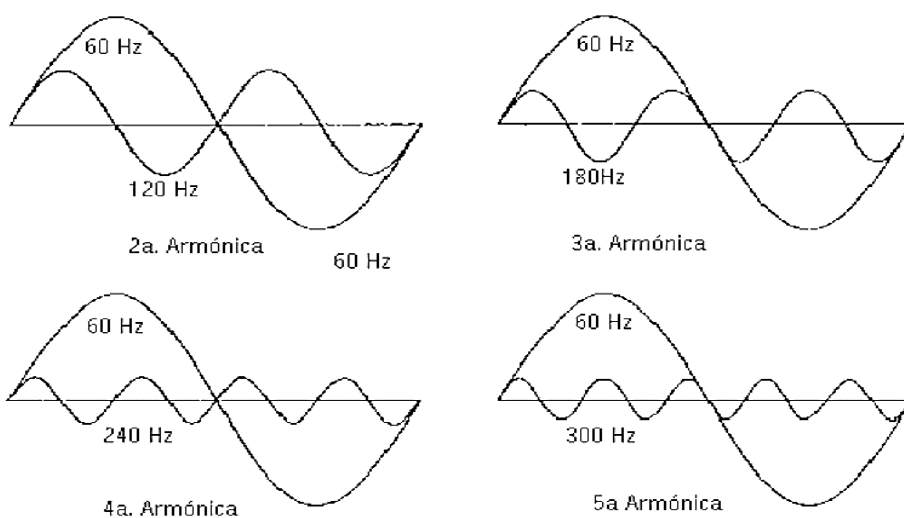


5 ciclo por segundo

Nota. Fuente: Google. Imágenes

Figura 5

El sistema presenta una frecuencia base de 60 Hz, junto con armónicos de orden 2, 3, 4 y 5, los cuales se manifiestan en 120 Hz, 180 Hz, 240 Hz y 300



Nota. Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Senales-armonicas-en-comparacion-con-la-fundamental-a-60Hz-a-segunda-armonica-b_fig1_282853941

2.5. La Secuencia

La polaridad (si es positiva o negativa) de los armónicos no sigue un patrón predecible de la red; ambos tipos son igualmente perjudiciales. En la situación particular relacionado con

los bancos de condensadores que se usan para corregir el factor de potencia, así como los armónicos de polaridad negativa, y principalmente el quinto, son los más dañinos. En cambio, los armónicos de secuencia cero (con frecuencia múltiplo de 3 veces la fundamental) circulan mayoritariamente por el conductor neutro, pudiendo generar en él corrientes iguales o superiores a las de fase y su consiguiente calentamiento, Lo cual pone de manifiesto la importancia de que el conductor neutro posea la misma sección transversal que los conductores de fase.

2.6. Perturbaciones.

Los equipos eléctricos son vulnerables a fallas o a un desempeño deficiente cuando se ven afectados por alteraciones en la calidad del suministro eléctrico, en función de la magnitud de dichas perturbaciones.

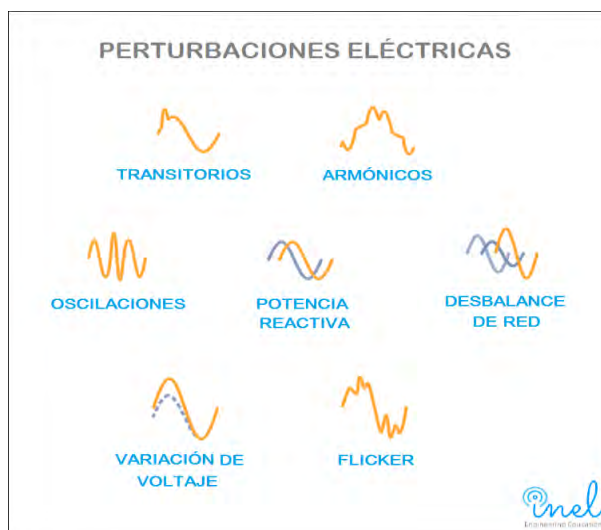
Es fundamental que ingenieros, técnicos, fabricantes y operadores de sistemas eléctricos comprendan y desarrollen soluciones frente a la diversidad de perturbaciones que afectan la calidad del suministro eléctrico. Estas problemáticas abarcan distintos fenómenos que deterioran la calidad del producto eléctrico, tales como variaciones de tensión (caídas de voltaje, interrupciones, parpadeos o *flicker*, entre otros), eventos transitorios (sobretensiones, descargas atmosféricas y maniobras de conmutación) y deficiencias asociadas a la puesta a tierra del sistema. En términos generales, la Figura 1 sintetiza los principales problemas asociados a la calidad de la energía eléctrica.

De manera general, los problemas relacionados con la calidad de la energía eléctrica abarcan una amplia variedad de situaciones que pueden presentarse en el sistema eléctrico, como impulsos, transitorios y oscilaciones, así como diferentes tipos de interrupciones, caídas y elevaciones de tensión. También se incluyen la variabilidad del suministro, la presencia de ruido, armónicos, fluctuaciones de voltaje, parpadeos y cambios en la frecuencia. En base a la norma

UNE-EN-60150 de 1996, a continuación se describen los principales aspectos relacionados con estas perturbaciones.

Figura 6

Perturbaciones Eléctricas

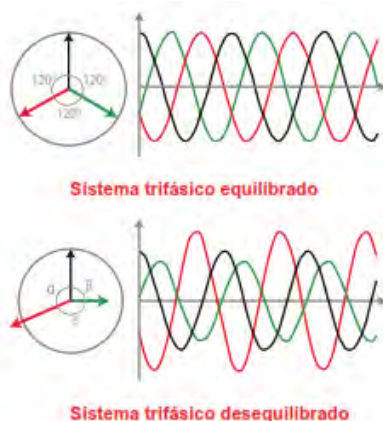


Nota. Fotos de Electricidad. (2012). *Armónicos en sistemas eléctricos.*

<http://fotosdeelectricidad.es/wp-content/uploads/2012/11/Armonicos.-RTR.pdf>

Figura 7

Perturbaciones Eléctricas



Nota. Fuente: Publicado en fotosdeelectricidad.es (<http://fotosdeelectricidad.es/wp-content/uploads/2012/11/Armonicos.-RTR.pdf>)

2.7. Armónicos

Los armónicos se generan a partir de cargas que no presentan un comportamiento lineal cuando se conectan a un sistema de corriente alterna que, en condiciones ideales, debería ser senoidal. Estas cargas provocan que la corriente absorbida no tenga una forma sinusoidal, debido a la distorsión que aparece cuando se aplica una tensión senoidal. Como resultado, se producen componentes adicionales en la señal con distintas amplitudes y frecuencias. Este tipo de cargas no lineales, por lo general, tienen un comportamiento periódico.

2.7.1. Origen de los Armónicos

Entre las múltiples causas, los principales generadores de distorsiones armónicas son:

- Los balastos electromagnéticos y electrónicos utilizados en sistemas de iluminación.
- Equipos empleados en la soldadura eléctrica.
- Dispositivos electrónicos que se enchufan a redes monofásicas.
- Dispositivos de tipo reactancia electromagnética empleados para el adecuado funcionamiento de lámparas de descarga.
- Equipos electrónicos empleados para el arranque de máquinas o sistemas eléctricos.
- Equipos para controlar la velocidad de motores o cargas (variadores de velocidad).

2.7.2. Efectos de los Armónicos en la Red Eléctrica

- Incremento de la potencia que debe ser transportada, lo que deteriora el factor de potencia de la red.
- Disparo imprevisto de interruptores automáticos.
- Sobrecarga en los conductores.
- Vibraciones y situaciones de sobrecarga experimentadas por la maquinaria.

- Generación de inestabilidad dentro del sistema eléctrico.
- Comportamiento anómalo en la operación de los relés de protección del sistema eléctrico.
- La reducción de la impedancia en los condensadores puede causar fallas en las baterías automáticas de corrección del factor de potencia, especialmente cuando ocurre resonancia entre la reactancia inductiva y capacitiva.
- Lecturas incorrectas en equipos de medición.
- Las empresas eléctricas están evaluando la aplicación de penalizaciones a instalaciones industriales que generen armónicos, de manera análoga a como se hace con las que generan energía reactiva.
- Perturbaciones que afectan a los equipos de control.
- La distorsión armónica se suele definir a través de los dos parámetros más significativos que la identifican (orden y amplitud):
 - **Orden:** definido por el valor de la frecuencia en relación con la frecuencia principal o fundamental (60 Hz). Por ejemplo, el armónico de tercer orden posee una frecuencia equivalente a tres veces la frecuencia fundamental, es decir, si la base es 60 Hz, entonces este armónico corresponde a 180 Hz.
 - **Amplitud:** definida por el valor de la tensión o valor del armónico.

En ese sentido, los armónicos corresponden a componentes de voltaje y/o corriente que presentan frecuencias propias, las cuales son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. Esto da lugar a la aparición de distorsión armónica, predominando generalmente los armónicos de orden impar, como 3, 5, 7, 9, 11, entre otros.

Tabla 6

Clasificación de Armónicos Según su Orden, Frecuencia Y Secuencia

Orden	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Frecuencia (Hz)	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660
Secuencia	+	-	0	+	-	0	+	-	0	+	-

Nota. Fuente: Elaboración propia

2.7.3. Fuentes de Producción de Armónicos en Entornos Hospitalarios.

Hoy en día, los inversores y rectificadores con control por ángulo de fase representan una de las principales fuentes de generación de armónicos en los sistemas eléctricos.

2.7.4. Máquina de Rayos X.

Todo equipo de rayos X incorpora un tubo diseñado para emitir radiación ionizante (rayos X). Esta radiación penetra las estructuras anatómicas del área maxilofacial, Esto permite obtener una imagen radiográfica que facilita el diagnóstico del paciente. (H, BIBLIOTECA VIRTUAL UNIVERSAL, 2018).

Composición de equipo de rayos, partes:

- Cabezal
- Tubo de Rayos X
- Circuito de Alta tensión
- Circuito de Baja tensión

Esta es la parte esencial del equipo de Rayos X, pues es donde se produce la radiación (H, BIBLIOTECA VIRTUAL UNIVERSAL, 2018).

- **Brazo Articulado**

De acuerdo con H (BIBLIOTECA VIRTUAL UNIVERSAL, 2018): Brazo Articulado: La mantención del brazo articulado es crucial; si este se mueve al intentar tomar una radiografía, no se obtendrá una imagen nítida, no se logrará apuntar correctamente a la película, y, en consecuencia, el intento fracasará.

- **Soporte**

Según H (BIBLIOTECA VIRTUAL UNIVERSAL, 2018), “El soporte cumple la función de anclar o sujetar el aparato de rayos X; en los modelos fijos, este elemento lo conecta a la pared”.

- **Comandos Selectores (Panel de Control)**

H (BIBLIOTECA VIRTUAL UNIVERSAL, 2018) indica: El panel de comandos o control permite encender y apagar la unidad, así como ajustar ciertos parámetros de la exposición radiográfica. Los equipos más actuales poseen paneles digitales que simplifican la configuración del tiempo de exposición. Se emplea un disparador para iniciar la toma radiográfica. En algunas configuraciones, el panel se ubica a distancia del paciente para minimizar la exposición repetida del operador a los rayos X.

- **Reguladores de Voltaje:**

De acuerdo con H (BIBLIOTECA VIRTUAL UNIVERSAL, 2018): REGULADORES DE VOLTAJE: “Un regulador de voltaje ayuda a estabilizar la corriente eléctrica que recibe el equipo. Si bien todos los aparatos de rayos X comparten estos componentes básicos, su diseño y disposición pueden diferir según la aplicación específica. Por ejemplo, los ortopantomógrafos (equipos panorámicos) permiten realizar radiografías extraorales, capturando imágenes no solo

de dientes sino también de maxilares y mandíbulas (la conocida radiografía panorámica). A pesar de su diferencia con los equipos intraorales convencionales (para radiografías dentales), los componentes son los mismos, aunque ubicados de forma distinta. En los equipos intraorales, la película se ubica dentro de la cavidad bucal del paciente; en cambio, en los sistemas panorámicos, se coloca detrás de la cabeza mediante un dispositivo denominado portachasis. Además, los equipos panorámicos más modernos cuentan con un brazo extensible equipado con cefalostato, lo que permite realizar telerradiografías o radiografías a distancia.

Un aparato de rayos X se compone de diferentes elementos, según su regulación:

○ **Regulables:**

Al momento de realizar una radiografía, se pueden ajustar los parámetros de exposición, como el kilovoltaje (kV), el miliamperaje (mA) y el tiempo de exposición. En este sentido, el operador tiene la posibilidad de regular estos valores según las necesidades del estudio:

- Parámetros de Exposición
- Mili voltaje
- Mili amperaje
- Kilo voltaje
- Tiempo de Exposición

Según H (Biblioteca Virtual Universal, 2018), En este tipo de equipos, los valores de miliamperaje (mA) y kilovoltaje (kVp) son establecidos por el fabricante y no pueden ser modificados por el usuario. Únicamente el tiempo de exposición es ajustable por el operador. Por ello, se les conoce también como equipos "ciegos", ya que la única variable controlable es la duración de la exposición.

Según la movilidad de los equipos, H (Biblioteca Virtual Universal, 2018) clasifica los Estáticos: Para estos aparatos, es crucial que tanto el cabezal (tubo de rayos X), el plano de imagen (receptor) como el paciente permanezcan completamente inmóviles durante la exposición para lograr una radiografía de buena calidad.

H (BIBLIOTECA VIRTUAL UNIVERSAL, 2018) describe los Dinámicos: Requieren que el paciente esté inmóvil, pero se caracterizan por un movimiento sincronizado entre el tubo de rayos X (cabezal) y el receptor de imagen. Los equipos panorámicos son un claro ejemplo. Aunque algunos equipos dinámicos pueden tener modos para tomar telerradiografías (que serían estáticos en ese momento), la característica principal es el movimiento coordinado tubo-receptor.

Según H (BIBLIOTECA VIRTUAL UNIVERSAL, 2018), en la clasificación según las zonas que abarcan:

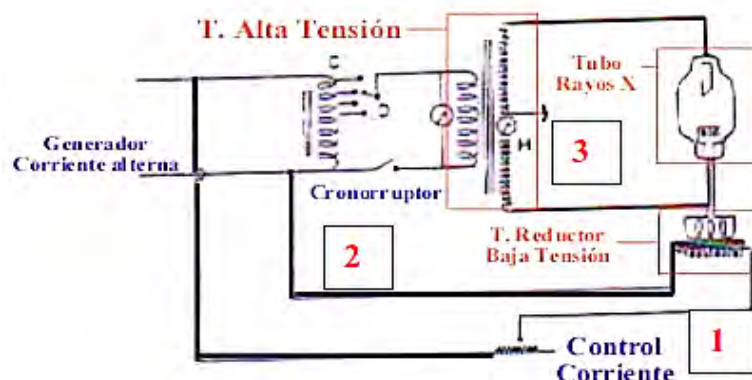
- Zonales: se enfocan en una región específica del área maxilofacial (p. ej., equipos con soporte para radiografías retroalveolares).
- Panorámicos: Los equipos panorámicos permiten visualizar áreas más amplias, como los maxilares completos y las ramas mandibulares, por ejemplo, mediante la ortopantomografía.

Clasificación basada en el método o tipo de montaje: Se agrupan en:

- H (Biblioteca Virtual Universal, 2018) menciona los Fijos: Son aquellos que se instalan de forma permanente fijados en la pared.
- H (Biblioteca Virtual Universal, 2018) describe los Móviles: Cuentan con una base o pedestal equipado con ruedas, lo que les confiere cierta capacidad de desplazamiento dentro del consultorio o sala.

Figura 08

El principio operativo y modo de operación de los aparatos de Rayos X



Nota. Fuente: (H, EQUIPOS DE RAYOS X Y SU FUNCIONAMIENTO, 2005)

2.7.4.1. Sistema de Tomografía Computarizada que Utiliza Rayos X. (Urrego, 2019).

Según Boone (2005), en la década de 1980 se desarrolló la tomografía computarizada por haz de electrones (EBCT), considerada como la quinta generación de esta tecnología.

Este sistema se caracteriza por una configuración estática, es decir, sin componentes en movimiento, en la cual un haz de electrones se desplaza sobre cuatro detectores semicirculares ubicados alrededor del paciente. Asimismo, el autor destaca que una de sus principales ventajas es su alta resolución temporal, que oscila entre 33 y 100 ms, lo que la hace especialmente útil para la obtención de imágenes cardíacas. No obstante, su adopción fue limitada debido a dos inconvenientes: la trayectoria del haz se restringe a un arco de 220° y no coincide planarmente con los detectores, y la imposibilidad de usar colimadores anti-dispersión al ser el detector fijo.

Según Boone (2005): Con el objetivo de lograr una mayor resolución temporal y espacial, investigadores de la Clínica Mayo desarrollaron el sistema DSR (Reconstructor Espacial Dinámico). Este equipo alcanzaba una alta capacidad de adquisición, llegando a generar hasta 60 cortes volumétricos por segundo, con una resolución espacial isotrópica cercana a 1 mm. Además, podía producir grandes volúmenes de información,

aproximadamente 3 Gb en tan solo 20 segundos hacia finales de la década de 1970. No obstante, a pesar de su avanzado desarrollo para la época, este escáner no fue comercializado, debido principalmente a su gran peso, que superaba las 15 toneladas, y a su elevado costo, que ascendía a varios millones de dólares.

De acuerdo con Boone (2005), durante gran parte de la década de 1980 se registraron pocos avances relevantes en la tomografía computarizada, lo que llevó a considerar que esta tecnología había alcanzado su límite, especialmente debido al crecimiento de la resonancia magnética.

No obstante, el mismo autor señala que en 1989 se produjo un cambio importante con la aparición de la sexta generación de tomografía, conocida como tomografía espiral o helicoidal, desarrollada por Kalender y su equipo. Este tipo de tomografía se basa en la arquitectura de tercera generación, pero incorpora una diferencia clave: el desplazamiento continuo de la camilla del paciente mientras el sistema gira dentro del gantry, donde se encuentran el tubo de rayos X y los detectores.

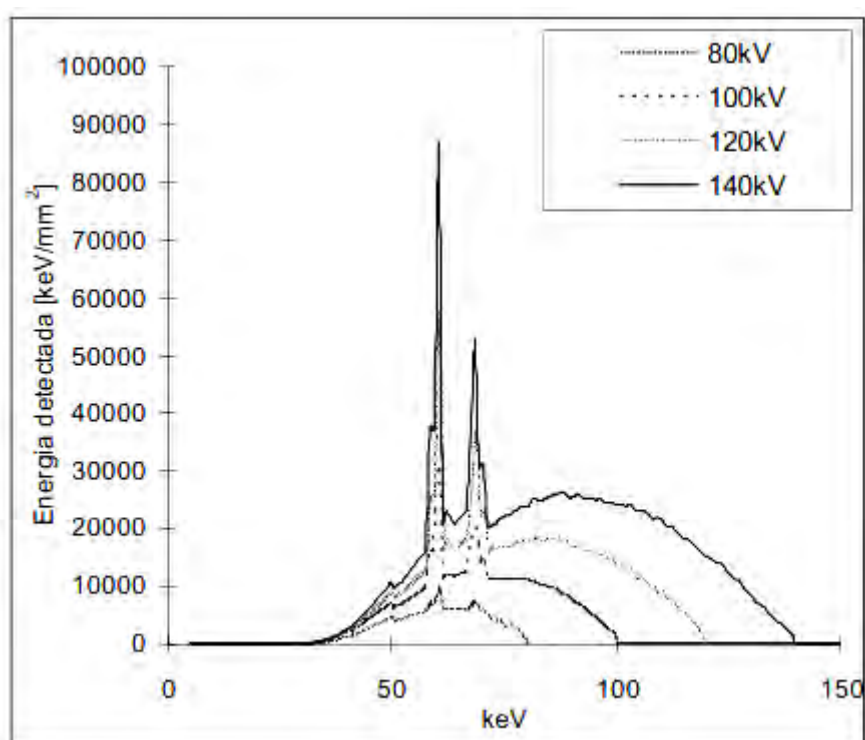
Este funcionamiento permite realizar mediciones de manera continua y rápida, lo que facilita la obtención de imágenes de regiones completas en un solo periodo corto de tiempo (entre 15 y 25 segundos), incluso durante una sola apnea del paciente. Esto resulta especialmente útil para estudiar órganos en movimiento. Para lograrlo, el sistema utiliza interpolaciones a lo largo del eje Z, estimando valores entre los datos adquiridos.

Un parámetro importante en este proceso es el *pitch* o avance, que relaciona el desplazamiento de la camilla en cada rotación del gantry con el grosor del corte. Generalmente, valores entre 1 y 1.5 permiten un buen equilibrio entre cobertura y calidad de imagen.

Por otro lado, Boone (2005) explica que la energía de los rayos X generados por el efecto Bremsstrahlung depende de la proximidad con la que los electrones pasan cerca del núcleo atómico, así como del voltaje aplicado en el tubo de rayos X. A medida que aumenta la energía, disminuye la probabilidad de interacción directa con el núcleo. Como resultado, el espectro de radiación presenta una forma triangular característica. Además, los rayos X de baja energía suelen ser absorbidos por el material del ánodo, lo que reduce su contribución al haz útil. Un ejemplo de este comportamiento se observa en el espectro obtenido al atravesar un objeto de 30 cm de diámetro con un voltaje de 100 kV.

Figura 09

Espectro de rayos X con múltiples niveles de energía, después que atraviesen 20 cm de agua, modificado según el voltaje utilizado al tubo emisor



Nota. Fuente: (Boone, 2005)

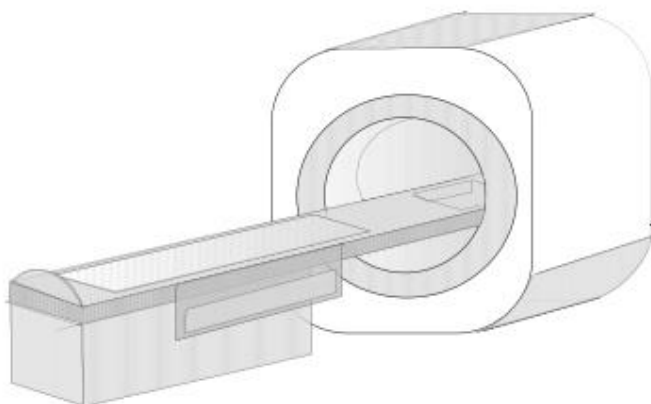
2.7.4.2. Sistema De Resonancia Magnética Nuclear (Rmn) Empleado Para Medicina.

Según Orozco (2006), el objetivo principal de un equipo de resonancia magnética, como herramienta de diagnóstico médico, es crear las condiciones necesarias para generar y controlar el fenómeno de la resonancia magnética nuclear dentro del cuerpo humano. Para ello, es importante comprender tanto los componentes del sistema como el papel que cumple cada uno en su funcionamiento.

Un equipo de resonancia magnética está formado por diversos elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos. Entre los principales se encuentran el imán superconductor, encargado de generar el campo magnético principal; las bobinas de homogeneización (shim), que permiten uniformizar dicho campo; las bobinas de gradiente, utilizadas para variar el campo magnético en el espacio; y las antenas de radiofrecuencia, responsables de emitir y recibir las señales. Todos estos componentes están conectados entre sí y son controlados por un sistema computacional que se encuentra fuera de la sala de exploración. La Ilustración 09 presenta las características principales de este sistema.

Figura 10

Resonador magnético (Orozco, 2006)



Nota. Fuente: Google. Imágenes

2.7.4.3.Efectos de los Armónicos. Martínez (2008) señala que: El crecimiento en la utilización de cargas no lineales, especialmente la integración de sistemas de transmisión en corriente continua y la presencia cada vez mayor de fuentes generadoras de armónicos, está provocando un incremento de problemas asociados a la distorsión armónica en los sistemas de potencia. Como consecuencia, se pueden presentar diversos efectos, entre los cuales destacan:

- Resonancia
- Incremento de las pérdidas
- Sobrecarga sobre el equipamiento instalado
- Alteraciones en cargas sensibles
- Repercusión económica

2.7.4.4. Resonancia

De acuerdo con Martínez (2008): La coexistencia de elementos capacitivos e inductivos en sistemas de distribución afectados por distorsión armónica puede causar resonancia. Este fenómeno resulta en impedancias extremadamente altas o bajas, lo que a su vez modifica los niveles de corriente y tensión en la red eléctrica.

2.7.4.5. Aumento de las Pérdidas

2.7.4.5.1. Pérdidas en los Conductores. La potencia activa transferida a una carga depende principalmente de la corriente asociada a la frecuencia fundamental. Sin embargo, cuando la corriente presenta componentes armónicas, el valor eficaz total resulta mayor que el correspondiente a la componente fundamental (Martínez, 2008). En este sentido, la presencia de corrientes armónicas incrementa las pérdidas por efecto Joule en los conductores por los que circula la corriente., además de causar un calentamiento que se aumenta en transformadores, equipos diversos y cables (Martinez, 2008).

2.7.4.5.2. Pérdidas de energía en máquinas asíncronas. Las tensiones armónicas aplicadas a las máquinas asíncronas generan corrientes en el rotor con frecuencias mayores a la frecuencia fundamental. Estas corrientes generan pérdidas adicionales proporcionales al cuadrado de la frecuencia $\frac{(V_h)^2}{h}$ (Martinez, 2008).

2.7.4.5.3. Pérdidas en los Transformadores. Martínez (2008) establece que la presencia de corrientes armónicas en los transformadores genera un incremento significativo en las pérdidas eléctricas. En particular, estas corrientes provocan un aumento de las pérdidas por efecto Joule en los devanados de cobre, así como de las pérdidas en el núcleo magnético, asociadas a las corrientes parásitas o de Foucault. Asimismo, la existencia de tensiones armónicas contribuye al incremento de las pérdidas en el núcleo debido al fenómeno de histéresis.

Desde un enfoque aproximado, se puede considerar que la disipación de energía en los devanados es proporcional al cuadrado del nivel de distorsión armónica total de corriente (THDI²), mientras que las pérdidas en el núcleo presentan una relación aproximadamente lineal con la distorsión armónica total de tensión (THDV) (Martínez, 2008).

2.7.4.6. Pérdidas de energía en los Condensadores. Las tensiones armónicas aplicadas a los condensadores provocan la circulación de corrientes armónicas cuya magnitud es directamente proporcional a la frecuencia de cada componente armónica. Estas corrientes adicionales generan pérdidas suplementarias en los condensadores. (Martinez, 2008).

2.7.4.7. Sobrecarga de Equipos Instalados

2.7.4.7.1. Generadores. Los generadores eléctricos que alimentan cargas no lineales tienden a experimentar una disminución en su capacidad operativa efectiva (derating), como consecuencia de las pérdidas adicionales generadas por las corrientes armónicas. Estas corrientes provocan distorsiones en los campos magnéticos internos de la máquina, alterando su comportamiento electromagnético, incrementando el calentamiento y reduciendo la eficiencia del generador. Esta reducción se estima en cerca del 10% si el generador alimenta un 30% de carga de tipo no lineal, lo que requiere sobredimensionar el generador (Martinez, 2008).

2.7.4.7.2. Transformadores. En general, los transformadores están diseñados para suministrar su potencia nominal bajo condiciones de operación ideales. Sin embargo, la presencia de distorsión armónica, principalmente en la corriente y en menor medida en la tensión, contribuye significativamente al incremento del calentamiento en estos equipos, afectando su desempeño térmico y operativo (Martínez, 2008).

En este contexto, para asegurar un funcionamiento eficiente ante la presencia de frecuencias superiores a la fundamental, los diseñadores suelen incorporar ciertas mejoras constructivas. Por ejemplo, se emplean conductores con transposición continua (CTC) en lugar de conductores sólidos convencionales, además de incrementarse el número de conductos de refrigeración, lo cual permite una mejor disipación del calor generado (Martínez, 2008).

Por otro lado, desde un punto de vista práctico, cuando el nivel de distorsión armónica de corriente supera el 5% respecto al valor fundamental, es recomendable considerar una reducción en la capacidad nominal del transformador (derating). Esto se debe a que las componentes armónicas incrementan las pérdidas internas y, en consecuencia, limitan la capacidad de operación segura del equipo (Martínez, 2008).

2.7.4.7.3. Máquinas Rotatorias. La presencia de armónicos tanto en la tensión como en la corriente puede generar una mayor disipación de energía en forma de calor, principalmente en los devanados y en el núcleo de las máquinas eléctricas. En este sentido, dichas pérdidas adicionales afectan el desempeño térmico y reducen la eficiencia del sistema.

Asimismo, en sistemas trifásicos, las corrientes armónicas de secuencia negativa originan la aparición de pares electromagnéticos opuestos en el rotor, lo que provoca esfuerzos mecánicos adicionales, vibraciones y posibles efectos adversos en la operación de la máquina (Martínez, 2008).

2.7.4.7.4. Conductores de Neutro. En sistemas trifásicos balanceados sin armónicos, las corrientes de línea se cancelan mutuamente en el neutro. Sin embargo, la distorsión armónica reduce este efecto, resultando en una corriente de neutro significativamente mayor, especialmente debido a los armónicos múltiplos de tres (Triplens), que pueden causar sobrecalentamiento (Martínez, 2008).

Bajo condiciones teóricas con presencia de armónicos (especialmente los múltiplos de 3), En presencia de armónicos, la corriente en el conductor neutro puede incrementarse, de modo que puede llegar a ser hasta 1.73 veces la corriente de fase. Si el neutro no está dimensionado para soportar esta corriente incrementada, sufrirá un calentamiento excesivo.

2.7.4.8. Perturbaciones en Cargas Sensibles

2.7.4.8.1. Efecto de la Deformación de la Tensión de Alimentación. La deformación en la señal de voltaje de suministro puede causar malfuncionamiento en equipos delicados, tales como:

- Dispositivos de regulación, tales como los de temperatura u otras variables, funcionan mediante el control continuo de condiciones para mantenerlas dentro de rangos establecidos.
- Equipos de cómputo y tecnología de la información
- Equipamiento utilizado para la supervisión y protección de sistemas eléctricos (ej. relés de sobrecarga, diferenciales) (Martinez, 2008)

2.7.4.8.2. Interferencia en Líneas Telefónicas. Las componentes armónicas pueden causar interferencias incluso en circuitos donde las corrientes operativas son de baja magnitud (como circuitos de señal o control), dependiendo de la proximidad entre cables de potencia y señal, el espaciamiento entre líneas y la frecuencia armónica (Martinez, 2008).

2.7.4.9. Impacto Económico

2.7.4.9.1. Pérdidas De Energías. El calentamiento resistivo se produce, en efecto, debido a la circulación de corrientes armónicas a través de conductores y componentes, lo que genera una mayor disipación de energía en forma de pérdidas adicionales (Martínez, 2008).

2.7.4.10. Costos De Mas De La Potencia Contratada. La existencia de corrientes armónicas eleva la potencia aparente total requerida por la instalación, lo que, a su vez, puede incrementar la potencia contratada y, en consecuencia, elevar el importe de la factura eléctrica, y las empresas distribuidoras podrían penalizar futuras perturbaciones armónicas (Martinez, 2008).

2.7.4.10.1. Error de Medición

La presencia de armónicos, en efecto, afecta de manera significativa la precisión de las lecturas en los instrumentos de medida, por lo que se requieren consideraciones especiales al momento de interpretar los valores obtenidos. En este contexto, el análisis se centra en instrumentos de uso común, como los medidores de energía eléctrica (Martínez, 2008, p. 59).

2.7.4.10.2. Medidores analógicos de tipo electrodinamométrico con indicación mediante

aguja. Sobre los Instrumentos de medición de bobina móvil de hierro, Martinez (2008) menciona: “Estos instrumentos, habituales en paneles industriales, operan bajo un principio que les permite indicar el valor cuadrático medio (RMS) que representa el valor efectivo de la forma de onda. Sin embargo, al incluir inductancias, su respuesta fidedigna suele limitarse hasta aproximadamente el 5º armónico. Su principal inconveniente es la calibración y el desgaste mecánico (roce en partes móviles), que puede introducir errores (generalmente indicando un valor inferior al real)” (p. 59).

2.7.4.10.3. Medidores Digitales con Rectificador a la Entrada.

En cuanto a los instrumentos digitales comunes, “Muchos instrumentos digitales incorporan rectificadores en su entrada, midiendo en realidad el valor medio de la onda rectificada, aunque estén calibrados para mostrar RMS en condiciones sinusoidales. Si la onda está distorsionada por armónicos, estos medidores tienden a indicar un valor inferior al verdadero valor eficaz. Por ejemplo, al medir corrientes de equipos como computadoras, el error puede ser de hasta un 30% por debajo del valor RMS real” (Martinez, 2008, p. 59).

2.7.4.10.4. Medidor de Verdadero Valor Efectivo (Rms).

Los instrumentos digitales de mayor calidad, a menudo denominados "True RMS", suelen emplear sensores térmicos (midiendo el calentamiento en una resistencia) o convertidores analógico-digitales rápidos con procesamiento adecuado. Estos métodos permiten medir el verdadero valor

eficaz (RMS) de la corriente o tensión, incluyendo el efecto de todas las componentes armónicas presentes (Martinez, 2008, p. 59).

2.8 Antecedentes

De Acuerdo al análisis documental sobre el estado de arte del presente estudio, se tienen los siguientes trabajos de investigación:

2.8.1 Internacionales:

La incorporación a gran escala de la Generación Distribuida (GD) en los sistemas de distribución eléctrica puede generar diversas problemáticas técnicas y operativas en la red y violaciones de los límites operativos, incluyendo sobrevoltajes, subvoltajes, pérdidas excesivas en las líneas, sobrecarga de transformadores y alimentadores, fallos en los sistemas de protección e incremento de los valores distorsión armónica. La cantidad de Generación Distribuida que puede ser conectada en un punto (nodo) respetando los límites técnicos aceptables se conoce como 'Hosting Capacity'

El suministro de energía eléctrica en la provincia de La Convención se encuentra integrado al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), el cual permite la operación coordinada de diversas centrales de generación a nivel nacional. En este contexto, la microcentral hidroeléctrica de Chuyapi y la central hidroeléctrica de Machupicchu forman parte de dicho sistema, contribuyendo al abastecimiento energético de la provincia dentro del marco del SEIN.

La potencia instalada a analizar de la infraestructura hospitalaria es de 1.5 veces del consumo de la ciudad de Quillabamba, La regulación de la frecuencia y del voltaje del sistema eléctrico está a cargo de la empresa concesionaria (ELSE SAA), Electro Sur Este SAA.

Se ha visto que la inserción de cargas no lineales afecta a la calidad de la energía en las redes de distribución eléctrica, entonces se realizó diversos estudios en diferentes lugares tanto en el Perú como en el extranjero utilizando diversos métodos para el control y corrección de armónicos, como también la reducción de pérdidas técnicas en el sistema de distribución en media tensión.

Impulsado por el avance tecnológico global y la disponibilidad de nuevos métodos de generación limpia, se ha observado un crecimiento en la generación distribuida instalada por los usuarios. Este estudio se enfocó en la generación fotovoltaica local, que permite a los usuarios cubrir su propia demanda energética y, a la vez, inyectar el excedente a la red. Por esta razón, se determina la necesidad de desarrollar un mapa de capacidad de alojamiento (hosting capacity) para asegurar que la integración de esta energía fotovoltaica no afecte negativamente la confiabilidad de la red eléctrica. [2]

Esta investigación fundamental utiliza simulaciones computacionales y un enfoque cuantitativo para abordar un problema de optimización, se plantea la minimización del número de compensadores estáticos de potencia reactiva (SVC) y la inversión asociada, garantizando al mismo tiempo que los voltajes se mantengan en el rango operativo deseado y que las líneas de transmisión puedan operar a su máxima capacidad. El modelo de optimización propuesto sirve para determinar la ubicación y el número adecuados de estos dispositivos. Su carácter exploratorio invita a su aplicación en diversos casos de estudio para validar y generalizar los hallazgos. [3]

Un sistema eléctrico se compone de cuatro segmentos principales: generación, transmisión, distribución y consumo. En la etapa de generación, se distinguen dos tipos: los generadores centralizados, que son grandes plantas (mayormente térmicas o hidroeléctricas) situadas generalmente lejos de las áreas de consumo, y los generadores distribuidos, como

paneles fotovoltaicos o turbinas eólicas, ubicados cerca de los puntos de carga.

Tradicionalmente, la capacidad instalada de la generación centralizada ha sido sustancialmente mayor que la distribuida, una característica marcada en el sistema eléctrico de Perú. No obstante, el impacto de la generación distribuida es cada vez más relevante y la tendencia actual apunta a una reducción de esta diferencia. [4]

Las herramientas de diagnóstico aplicadas permitieron detectar deficiencias en la organización, detalladas en el análisis previo. Para superar estas limitaciones, se desarrolló un Sistema de Gestión de la Calidad alineado con los requisitos establecidos en la norma ISO 9001:2015, garantizando el cumplimiento de estándares internacionales de calidad.

2.8.2 Nacionales y Locales

Información de la fuente: Corimanya León, M. & Arphi Huamani, F. O. (2018). *Filtro pasivo y armónicos de corriente en las instalaciones eléctricas del Hospital Regional, Clínica San Juan de Dios y UNSAAC* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].

2.9 Marco Normativo

2.9.1 Normas Técnicas de los Servicios Eléctricos.

Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Electricidad. (s. f.). *Normas técnicas de los servicios eléctricos*;

Ministerio de Energía y Minas. (1997). *Decreto Supremo N.º 020-97-EM que aprueba la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos*. Diario Oficial *El Peruano* (11 de octubre de 1997).

Ministerio de Energía y Minas. (1999). *Decreto Supremo N.º 009-99-EM*. Diario Oficial *El Peruano* (11 de abril de 1999).

Ministerio de Energía y Minas. (2000). *Decreto Supremo N.º 013-2000-EM*. Diario Oficial *El Peruano* (27 de julio de 2000).

Ministerio de Energía y Minas. (2001). *Decreto Supremo N.º 040-2001-EM*. Diario Oficial *El Peruano* (17 de julio de 2001).

Ministerio de Energía y Minas. (2006). *Decreto Supremo N.º 004-2006-EM*. Diario Oficial *El Peruano* (6 de enero de 2006).

Ministerio de Energía y Minas. (2006). *Decreto Supremo N.º 026-2006-EM*. Diario Oficial *El Peruano* (21 de abril de 2006).

Ministerio de Energía y Minas. (2008). *Decreto Supremo N.º 002-2008-EM*. Diario Oficial *El Peruano* (9 de enero de 2008).

Ministerio de Energía y Minas. (2009). *Decreto Supremo N.º 015-2009-EM*. Diario Oficial *El Peruano* (25 de febrero de 2009).

Ministerio de Energía y Minas. (2009). *Decreto Supremo N.º 059-2009-EM*. Diario Oficial *El Peruano* (22 de agosto de 2009).

Ministerio de Energía y Minas. (2010). *Decreto Supremo N.º 057-2010-EM*. Diario Oficial *El Peruano* (11 de septiembre de 2010).

Ministerio de Energía y Minas. (2011). *Decreto Supremo N.º 040-2011-EM*. Diario Oficial *El Peruano* (20 de julio de 2011).

La normativa vigente en el sector eléctrico está orientada a garantizar que la prestación del servicio eléctrico cumpla con niveles adecuados de calidad, de acuerdo con lo establecido en la legislación correspondiente. En este sentido, se busca asegurar que los usuarios reciban un suministro eléctrico continuo, confiable, oportuno y dentro de parámetros técnicos aceptables. Para ello, se establecen estándares mínimos de calidad que permiten evaluar el desempeño del sistema eléctrico. Bajo este marco, resulta pertinente analizar las principales disposiciones normativas que regulan los límites permisibles de distorsión armónica, entre las cuales se destacan las siguientes.

- NTCSE
- IEEE 519-1992

2.9.2 Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos.

Previo al 11 de octubre de 1997, en el Perú no se contaba con una regulación técnica formal que estableciera criterios específicos relacionados con la calidad del servicio eléctrico. Sin embargo, esta situación cambió con la aprobación del Decreto Supremo N.º 020-97-EM, mediante el cual el Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 1997) implementó la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos.

En este marco, la citada normativa incorpora en su Título V lo correspondiente a la “Calidad de Producto”, donde se establecen los lineamientos vinculados a la calidad del suministro eléctrico. Asimismo, se consideran de manera explícita las perturbaciones eléctricas, tales como el flicker y las distorsiones armónicas, las cuales son tratadas en la sección 5.3 del documento normativo (MINEM, 1997).

De igual manera, la regulación establece que el análisis de armónicos comprende las componentes desde el segundo hasta el cuadragésimo orden, definiendo así los rangos permitidos para su evaluación y control dentro del sistema eléctrico. En consecuencia, esta

normativa constituye el principal marco regulador en el ámbito nacional respecto a la generación de armónicos y la determinación de sus niveles de tolerancia en el sistema eléctrico peruano.

Para los propósitos de esta norma, se incluyen las armónicas desde la 2ª hasta la 40ª.

Por consiguiente, las fórmulas utilizadas para calcular los distintos factores de distorsión se describen de la siguiente manera:

- Distorsión armónica individual de tensión

$$D_{V_h} = \frac{V_h}{V_1} \times 100\% \quad (2.25)$$

Dónde:

V_h : representa la amplitud o valor eficaz de la componente armónica de orden h del voltaje.

V_1 : corresponde a la amplitud o valor eficaz de la componente fundamental del voltaje.

Distorsión armónica individual de corriente

$$I_{V_h} = \frac{I_h}{I_1} \times 100\% \quad (2.26)$$

Dónde:

I_h : representa la magnitud o valor eficaz correspondiente a la componente armónica de orden h de la corriente eléctrica.

I_1 : corresponde a la magnitud o valor eficaz de la componente fundamental de la corriente.

- Distorsión armónica total de voltaje

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2.27)$$

Dónde:

V_h : indica la magnitud o valor eficaz de la componente armónica de orden h del voltaje.

V_1 : representa la magnitud o valor eficaz de la componente fundamental del voltaje.

n : corresponde al orden máximo de armónicos que se considera en el análisis.

- Distorsión armónica total de corriente

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2.28)$$

Dónde:

I_h : es el valor eficaz de la componente armónica de orden h de la corriente.

I_1 : representa el valor eficaz de la componente fundamental de la corriente eléctrica.

n : indica el límite superior de las armónicas incluidas en el cálculo.

Limites en nuestro país de este caso:

La *Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos* establece los valores límites permitidos para parámetros como la tensión, la frecuencia y las perturbaciones presentes en el sistema eléctrico. En este marco normativo, los valores eficaces (RMS) de cada componente armónica de la tensión (V_i/V_1), así como el indicador de Distorsión Armónica Total (THD) en tensión, no deben exceder los límites especificados en las tablas correspondientes (MINEM, 1997).

Asimismo, la normativa considera para el análisis de calidad de energía la inclusión de las componentes armónicas comprendidas desde el segundo hasta el cuadragésimo orden, lo cual permite una evaluación más completa del comportamiento armónico del sistema eléctrico (MINEM, 1997).

Tabla 7

Valores límites de tolerancia para distorsiones armónicas de tensión

Rango de armónicos (n)	TOLERANCIA $ V_i $ o $ THD_v $ (% con referencia a la tensión nominal en el punto de medición)		
	Alta y muy alta tensión (%)	Media y tensión (%)	Baja
(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	$0.1+2.5/n$	$0.2+12.5/n$	
(armónicas impares múltiplos de 3)			
3	1.5	5.0	
9	1.0	1.5	
15	0.3	0.3	
21	0.2	1.5	
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	0.5	
Mayores de 12	0.2	0.2	
THD	3	8	

Nota. Fuente: (MINEM, 1997)

“Como se observa en la tabla 7, se establece que la calidad del suministro eléctrico es deficiente si los parámetros que miden las perturbaciones superan los umbrales definidos y están fuera de los rangos de tolerancia establecidos (MINEM, 1997).”

2.9.3 La norma IEEE Std 519-1992, desarrollada en los Estados Unidos de América.

La norma **IEEE Std 519-1992**, desarrollada por el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), es un estándar de referencia internacional originado en Estados Unidos que tiene como propósito principal limitar la presencia de armónicos individuales en los sistemas eléctricos. Su aplicación busca evitar niveles de distorsión inaceptables en el Punto de Acoplamiento Común (PCC), así como controlar la calidad de la energía entregada por las empresas suministradoras, reduciendo la influencia de la distorsión armónica en la red (IEEE, 1992; Ortmeier, 1985).

En este contexto, los límites máximos permitidos para la inyección de corrientes armónicas por parte de un equipo conectado al Punto de Conexión Común (PCC) dependen de dos factores fundamentales: la potencia nominal del equipo y la capacidad de cortocircuito del sistema eléctrico en dicho punto. Estos criterios permiten establecer niveles de compatibilidad entre las cargas y la red, conforme a las recomendaciones establecidas en la norma IEEE 519-1992 (IEEE, 1992).

Por otro lado, la **Tasa de Distorsión en la Demanda (TDD)** constituye un indicador utilizado para evaluar la distorsión de la corriente eléctrica en relación con la demanda total de carga. Este parámetro permite cuantificar el nivel de contaminación armónica asociado al consumo energético de un sistema, proporcionando una medida más representativa del impacto de las cargas no lineales en la red eléctrica (Ortmeier, 1985).

$$TDD\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} I_h^2}}{I_1} \quad (2.29)$$

Dónde:

I_1 : El valor indicado corresponde al pico de la corriente asociada a la frecuencia fundamental demandada por la carga en el Punto de conexión Común. Esta magnitud se determina durante intervalos de medición de 15 o 30 minutos, y su valor representativo se obtiene a partir del promedio de los máximos registrados en un periodo de evaluación de los últimos doce meses de operación del sistema eléctrico (Ortmeyer, 1985).

Relación de corto-circuito (R_{cc}):

$$R_{cc} = \frac{I_{cc}}{I_1} \quad (2.30)$$

$$I_{cc} = \frac{U_{nom}}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (2.31)$$

Dónde: U_{nom} El voltaje nominal corresponde a la tensión entre fases del sistema de suministro eléctrico, mientras que Z representa la impedancia equivalente del sistema en el Punto de conexión común. Estos parámetros permiten caracterizar la fortaleza del sistema eléctrico frente a perturbaciones armónicas (Ortmeyer, 1985).

El propósito principal de este criterio es controlar la inyección de corrientes armónicas, de tal manera que las componentes armónicas de tensión no excedan el 3% respecto a la componente fundamental. Asimismo, se establece que el índice de Distorsión Armónica Total (THD) de tensión debe mantenerse por debajo del 5% en sistemas eléctricos que no presentan fenómenos de resonancia (Ortmeyer, 1985).

Las Tablas 8 y 9 establecen los valores máximos admisibles de corrientes armónicas conforme a la norma IEEE Std 519-1992. Dichos límites se determinan en función del valor de referencia evaluado en el Punto de conexión común, lo cual permite regular el nivel de distorsión armónica inyectada al sistema eléctrico (Ortmeyer, 1985).

Tabla 08

Referencia utilizada para el establecimiento de los límites permisibles de corrientes armónicas.

Relación de cortocircuito en el punto de conexión común	Valor máximo permisible de la componente de tensión correspondiente a una frecuencia armónica específica (%)	Caso supuesto
10	2.5 -3.0	Sistema delicado
20	2.0 – 2.5	1 – 2 Clientes grandes
50	1.0 – 1.5	Pocos clientes relativamente grandes
100	0.5 – 1.0	5 - 20 Clientes medianos
1000	0.05 – 0.10	Muchos clientes pequeños

Nota. Fuente: (Ortmeyer, 1985)

La información presentada en la tabla evidencia la relación directa entre la fortaleza del sistema eléctrico, representada por la relación de cortocircuito en el Punto de Conexión Común (PCC), y los niveles permisibles de distorsión armónica en tensión. En sistemas con baja capacidad de cortocircuito, considerados eléctricamente débiles, se permite una mayor tolerancia a la presencia de armónicos debido a su limitada capacidad para absorber perturbaciones sin afectar significativamente la calidad de energía.

Tabla 09

Valores máximos admisibles para la inyección de corrientes armónicas en un sistema eléctrico.

SISTEMAS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN QUE OPERAN EN UN RANGO DE TENSIÓN COMPRENDIDO ENTRE 120 V Y 69 KV.						
Porcentaje máximo permitido de cada componente armónica de corriente en relación con una magnitud de referencia.						
I_{cc}/I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD (%)
<20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20-50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50-100	12	5.5	5	2	1	12
100-1000	12	5.5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2.5	1.4	20
Sistemas eléctricos de subtransmisión que operan en un rango de tensión comprendido entre 69 kV y 161 kV.						
<20	2	1	0.75	0.3	0.15	5
20-50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4
50-100	5	2.25	2	0.75	0.35	6
100-1000	6	2.75	2.5	1	0.5	7.5
>1000	7	3.5	3	1.25	0.7	20
Sistemas eléctricos de transmisión que operan a niveles de tensión superiores a 161 kV.						
<50	2	1	0.75	0.3	0.15	2.5
≥ 50	3	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75

Nota. Fuente: (Ortmeyer, 1985)

La tabla presentada evidencia que los límites permisibles de inyección de corrientes armónicas están directamente condicionados tanto por el nivel de tensión del sistema eléctrico como por la relación de cortocircuito en el punto de conexión común. En sistemas de distribución, donde predominan niveles de tensión más bajos y una mayor presencia de cargas no lineales, se observan valores más elevados de distorsión admisible, lo cual responde a la naturaleza más flexible de estos sistemas frente a perturbaciones armónicas.

2.10 Base Legal

El propósito de la *Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos* consiste en definir estándares mínimos de calidad del suministro eléctrico, así como las obligaciones que deben cumplir los agentes del sector eléctrico, en el marco regulatorio establecido por la Ley de Concesiones Eléctricas (Decreto Ley N.º 25844, 1992).

- **Perú (1992)** establece mediante el Decreto Ley N.º 25844, Ley de Concesiones Eléctricas, el marco normativo que regula las actividades del sector eléctrico, el cual fue publicado en el Diario Oficial *El Peruano* el 6 de noviembre de 1992, comprendiendo disposiciones aplicables en diversos artículos del régimen legal del sistema eléctrico.
- El **Ministerio de Energía y Minas (1993)** aprobó el Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas mediante el Decreto Supremo N.º 009-93-EM, publicado el 13 de febrero de 1993, el cual desarrolla los alcances operativos y técnicos de la ley, incluyendo disposiciones vinculadas a la operación, supervisión y regulación del sistema eléctrico nacional.
- Posteriormente, el **Ministerio de Energía y Minas (1995)** emitió la Resolución Ministerial N.º 365-95-EM/VME, mediante la cual se aprueba la escala de multas y penalidades aplicables en casos de incumplimiento de la Ley de Concesiones Eléctricas, su reglamento y normas complementarias, estableciendo criterios *sancionadores* dentro del marco regulatorio del sector eléctrico peruano.
- El Ministerio de Energía y Minas, a través de la Dirección General de Electricidad (1995), emitió la Resolución Directoral N.º 012-95-EM/DGE, mediante la cual se aprueba la Directiva N.º 001-95-EM/DGE. Esta normativa establece los procedimientos y criterios para la atención y resolución de reclamos presentados por los usuarios del servicio público de electricidad. La disposición fue publicada el 21 de diciembre de 1995 en el Diario Oficial *El Peruano*, y forma parte del marco regulatorio

orientado a garantizar la adecuada protección de los derechos de los usuarios del sistema eléctrico.

- El Ministerio de Energía y Minas (1996), mediante la Resolución Ministerial N.º 405-96-EM/VME, aprobó la Norma Técnica DGE-016-T2/1996, la cual establece los criterios técnicos para el diseño, instalación y operación del alumbrado en vías públicas. Esta disposición normativa fue publicada el 28 de septiembre de 1996 en el Diario Oficial *El Peruano* y forma parte del marco regulatorio orientado a garantizar condiciones adecuadas de iluminación y seguridad en espacios públicos.

CAPÍTULO III

EVALUACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL HOSPITAL DE QUILLABAMBA

3.0 INTRODUCCION

El actual capítulo se realiza la evaluación del impacto producido por la incorporación de una carga hospitalaria de 1.8 MVA en el sistema de distribución de media tensión de 10 kV ubicado en el distrito de Santa Ana, provincia de La Convención, Cusco. El estudio se orienta a evaluar las repercusiones que dicha conexión genera sobre la calidad de energía del sistema eléctrico, considerando principalmente la distorsión armónica, las variaciones de tensión y la posible aparición de condiciones de resonancia en la red.

La incorporación de cargas de gran magnitud, como la correspondiente a un centro hospitalario, implica no solo un incremento significativo de la demanda, sino también la introducción de componentes no lineales asociadas a equipos médicos, Sistemas de alimentación eléctrica ininterrumpida (UPS, por sus siglas en inglés), dispositivos electrónicos y sistemas de automatización. Estas cargas generan corrientes no sinusoidales que, al establecer interacción con la impedancia equivalente del sistema de media tensión, producen distorsiones en la configuración de la característica de onda de la tensión eléctrica, afectando el desempeño global de la red.

En este contexto, el sistema eléctrico deja de comportarse como un sistema trifásico ideal, caracterizado por condiciones de equilibrio y formas de onda sinusoidales puras, dando lugar a la presencia de armónicos que pueden provocar efectos adversos tales como sobrecalentamiento de equipos, pérdidas adicionales, disparos intempestivos de protecciones y disminución de la vida útil de los componentes eléctricos.

La metodología propuesta en el presente capítulo se orienta a la evaluación del comportamiento del sistema eléctrico frente a la incorporación de una carga hospitalaria,

considerando para ello los niveles de distorsión armónica establecidos en la norma IEEE Std 519-1992. En este sentido, se plantea una secuencia estructurada de etapas que inicia con el levantamiento de información del sistema eléctrico, la cual comprende el análisis del diagrama unifilar y la caracterización de las cargas existentes; posteriormente, se continúa con la identificación de las condiciones de operación del sistema, y finalmente se culmina con la evaluación del impacto armónico en la red de media tensión.

Asimismo, el análisis se desarrolla tomando como punto de referencia la subestación de distribución que alimenta al hospital, la cual se encuentra conectada a una red de media tensión de 10 kV operada por la empresa concesionaria del servicio eléctrico. A partir de ello, se examina la interacción existente entre la red de media tensión y las cargas internas del establecimiento hospitalario, poniendo especial énfasis en aquellas de naturaleza no lineal, debido a que estas constituyen las principales fuentes de generación de distorsión armónica en el sistema eléctrico.

Por otro lado, se procede a identificar y clasificar las cargas no lineales según su nivel de aporte a la distorsión del sistema, diferenciando aquellas que generan un impacto significativo de aquellas cuyo efecto, aunque menor, resulta acumulativo en el comportamiento global de la red. En consecuencia, este enfoque metodológico permite obtener una visión integral del comportamiento armónico del sistema eléctrico bajo condiciones reales de operación con la incorporación de la nueva carga hospitalaria.

Finalmente, los resultados obtenidos en este capítulo permitirán establecer criterios técnicos para la evaluación de soluciones de mitigación de armónicos, tales como la implementación de filtros pasivos o activos, cuyo análisis y diseño serán desarrollados en el capítulo siguiente.

3.1 Metodología de evaluación del sistema eléctrico del hospital de Quillabamba

El actual capítulo tiene como propósito evaluar el impacto generado por la incorporación de una carga hospitalaria de aproximadamente 1.8 MVA en el sistema de distribución de media tensión de 10 kV ubicado en el distrito de Santa Ana, provincia de La Convención, Cusco. En este contexto, el análisis se enfoca en determinar las repercusiones que dicha integración produce sobre la calidad de energía eléctrica, con especial énfasis en la distorsión armónica tanto de corriente como de tensión.

Asimismo, es importante señalar que la incorporación de cargas de tipo hospitalario conlleva la presencia de una elevada cantidad de equipos electrónicos, entre los que destacan los sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS), equipos médicos especializados, sistemas de cómputo y dispositivos de automatización. Estos elementos presentan un comportamiento predominantemente no lineal, lo cual implica la generación de corrientes no sinusoidales que interactúan con la impedancia del sistema eléctrico.

Como consecuencia de esta interacción, se originan distorsiones en la forma de onda de la tensión, afectando directamente el desempeño global del sistema eléctrico y su calidad de suministro. En este sentido, para el desarrollo del análisis se propone una metodología estructurada, la cual está conformada por las siguientes etapas:

3.1.1. Levantamiento de información del sistema eléctrico

Incluye la recopilación del diagrama unifilar, características de los transformadores, niveles de tensión y cuadro de cargas.

3.1.2. Identificación y clasificación de cargas

Se clasifican cargas eléctricas lineales y no lineales, en función de su comportamiento eléctrico y su contribución a la generación de armónicos.

3.1.3. Modelamiento del sistema eléctrico

Se desarrolla un modelo del sistema en entorno MATLAB/Simulink, considerando la configuración real del hospital y sus transformadores.

3.1.4. Evaluación de distorsión armónica

Se determinan los niveles de distorsión armónica tanto de corriente (THDi) como de tensión (THDv), los cuales posteriormente son contrastados con los límites permisibles establecidos en la norma IEEE Std 519-1992, con el fin de evaluar el cumplimiento de los criterios de calidad de energía eléctrica.

3.1.5. Análisis del impacto en transformadores

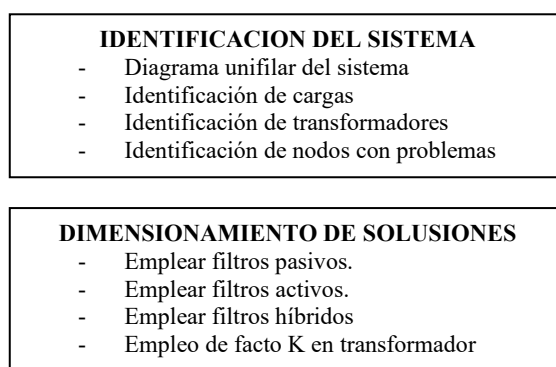
Se analiza el impacto de las corrientes armónicas en el comportamiento de los transformadores, empleando para ello el factor K como indicador de calentamiento adicional, así como los criterios de desclasificación establecidos para determinar la reducción de su capacidad nominal de operación.

3.1.6. Propuesta de solución

Se plantean alternativas de mitigación, como el uso de filtros pasivos y selección adecuada de transformadores.

Figura 11

Diagrama de flujo



<p>EVALUACION TECNICAS</p>

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Comparación de los resultados de los escenarios de solución con el escenario inicial. |
|---|

<p>CRITERIO DE SOLUCION</p>

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Aplicación del filtro en caso concreto - Simulación de la solución en cada caso concreto |
|---|

Nota. Elaboración Propia

- Núcleos magnéticos en transformadores y equipos rotatorios que necesitan de la tercera componente armónica de corriente para su excitación.
- El equipo de cómputo y los equipos de oficina operan mediante fuentes de alimentación que, al ser puentes rectificadores, poseen la inherente capacidad de producir frecuencias armónicas
- La corriente Inrush la característica [especificar qué característica del transformador] de los transformadores genera la segunda y cuarta componentes armónicas.
- Variadores de velocidad empleados en sistemas de ventilación, bombeo y control industrial.
- Interruptores electrónicos (estado sólido) utilizados para regular corrientes de control, luminosidad, temperatura, entre otras variables.
- Sistemas de alimentación regulados para dispositivos electrónicos.
- Dispositivos rectificadores basados en diodos o tiristores, utilizados en equipos como sistemas de soldadura, cargadores de baterías y otras aplicaciones de electrónica de potencia.
- Dispositivos compensadores estáticos de potencia reactiva.
- Equipos convertidores de corriente alterna a corriente continua (inversores).
- Se identificó la necesidad de efectuar un estudio de las fuentes de armónicos presentes en la red eléctrica del hospital, las cuales se detallan a continuación:

- Identificación de las cargas representativas del hospital
- Identificación de los transformadores.
- Análisis de los transformadores

Tabla 10

Niveles eficaces de las tensiones armónicas

ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA O THD	TOLERANCIA $ V_i $ o $ THD_v $ (% con respecto a la tensión nominal del punto de medición)	
	ALTA Y MUY ALTA TENSIÓN	MEDIA Y BAJA TENSIÓN
<i>(armónicas impares no múltiplos de 3)</i>		
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	$0.1+2.5/n$	$0.2+12.5/n$
<i>(armónicas impares múltiplos de 3)</i>		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	1.5
Mayores de 21	0.2	0.2
<i>(pares)</i>		
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	0.5
Mayores de 12	0.2	0.2
THD	3	8

Nota. Ref.: Elaboración Propia

Tabla 11*Límites de inyección de corrientes armónicas*

SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN (120V-69KV)						
TASA INDIVIDUAL ADMISIBLE EN RELACIÓN a (%)						
I_{cc}/I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD (%)
<20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20-50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50-100	12	5.5	5	2	1	12
100-1000	12	5.5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2.5	1.4	20
SISTEMAS DE SUBTRANSMISION (69Kv-161Kv)						
<20	2	1	0.75	0.3	0.15	5
20-50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4
50-100	5	2.25	2	0.75	0.35	6
100-1000	6	2.75	2.5	1	0.5	7.5
>1000	7	3.5	3	1.25	0.7	20
SISTEMAS DE TRANSMISIÓN (>161KV)						
<50	2	1	0.75	0.3	0.15	2.5
≥ 50	3	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75

Nota. Ref.: Elaboración Propia

3.2. Identificación del sistema eléctrico

El suministro eléctrico del Hospital de Quillabamba se realiza a través de una red de distribución en media tensión de 10 kV, desde la subestación de distribución correspondiente. La alimentación del hospital se realiza a través de la SED UP02, en dicha red se encuentran instalados dos transformadores de distribución, los cuales se detallan en la tabla correspondiente y se representan en el diagrama unifilar del sistema eléctrico.

Tabla 12

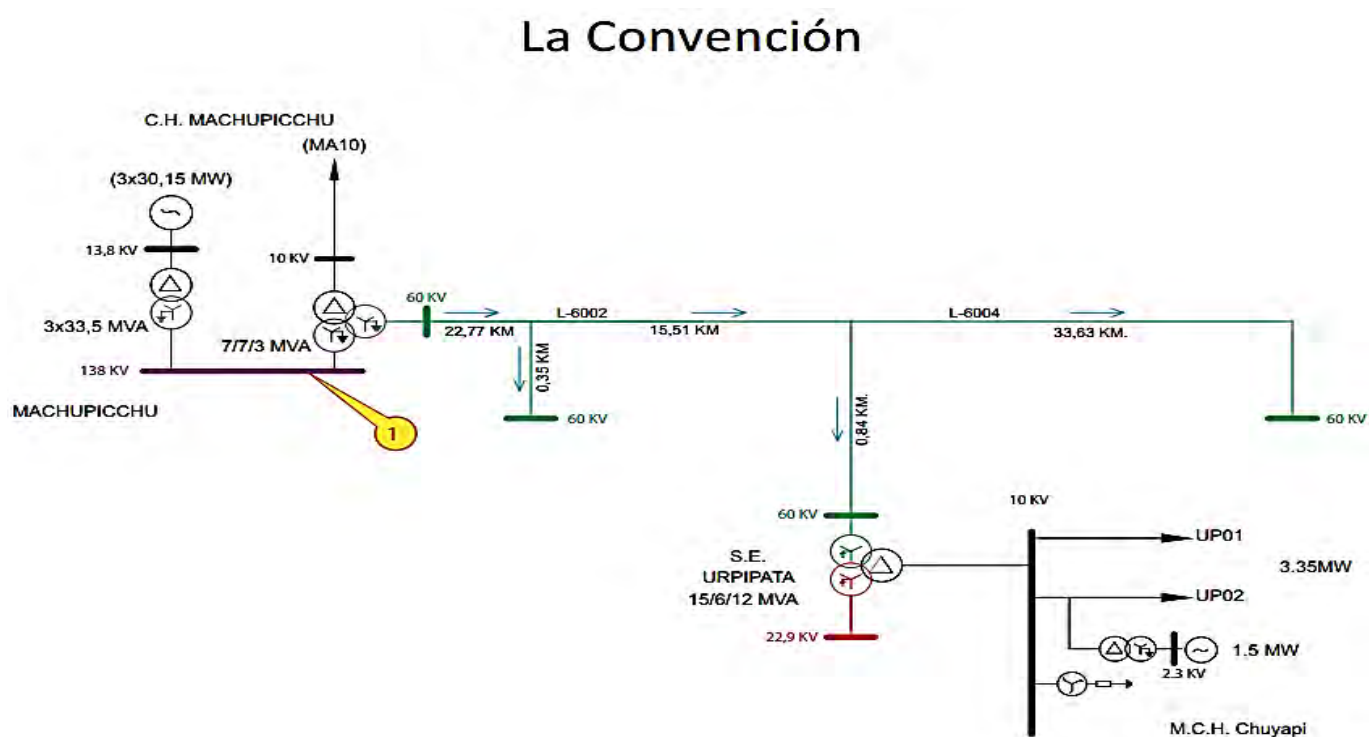
SEDs a realizar estudio y el análisis

N°	SED	ALIMENTADOR	POTENCIA	UBICACIÓN
01	TR-1	UP-02	1000 kVA	Av. Francisco Bolognesi S/N
02	TR-2	UP-02	800 kVA	Av. Francisco Bolognesi S/N

Nota. Ref.: Elaboración Propia

Figura 12

Diagrama unifilar de la Convención.



Nota. Ref.: Elaboración Propia

Figura 13

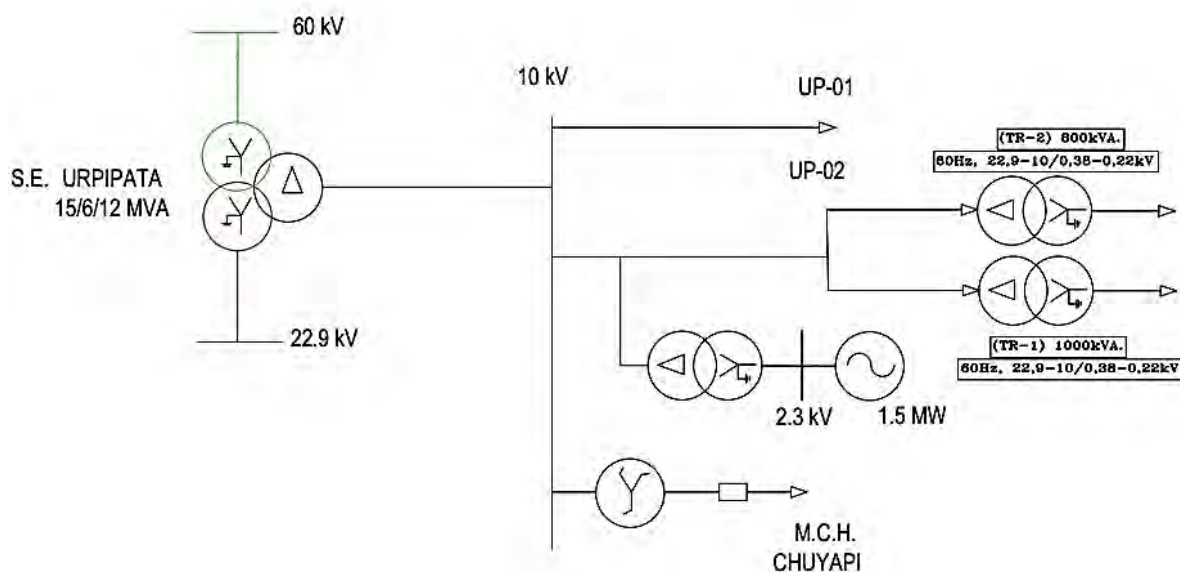
Diagrama del sistema eléctrico para la S.E.P – Quillabamba



Nota. Ref.: Elaboración Propia

Figura 14

Diagrama unifilar de Quillabamba.



Nota. Ref.: Elaboración Propia

La potencia total instalada en transformación es de 1.8 MVA, la cual abastece la demanda diversificada del hospital.

Es importante señalar que la potencia total instalada de cargas (≈ 2.4 MW) no representa la demanda simultánea, por lo que el sistema opera bajo condiciones de diversidad de carga, garantizando la compatibilidad con la capacidad instalada.

3.3. Identificación de las cargas del Hospital

El análisis de las cargas es fundamental para determinar la existencia de componentes armónicas en el sistema eléctrico.

3.3.1 Cargas eléctricas lineales

Las cargas lineales se caracterizan por mantener una relación directamente proporcional entre la tensión aplicada y la corriente que consumen, manteniendo formas de onda sinusoidales. Entre ellas se encuentran:

- Sistemas de electrobombas
- Instalaciones mecánicas
- Sistemas de climatización (sin variadores)
- Parte del transporte vertical

3.3.2 Cargas eléctricas no lineales

Las cargas no lineales consumen corrientes no sinusoidales, generando armónicos en el sistema. Entre ellas se encuentran:

- Equipamiento médico
- Sistemas de cómputo
- Data center y comunicaciones
- Sistemas UPS
- Equipos electrónicos

3.3.3 Análisis del cuadro de cargas

A partir del cuadro de cargas del hospital:

- Carga no lineal $\approx 45\%$
- Carga lineal $\approx 55\%$

- Esto indica una presencia significativa de fuentes generadoras de armónicos, especialmente en áreas críticas del hospital.

Tabla 13

Cuadro de Cargas del Hospital Quillabamba

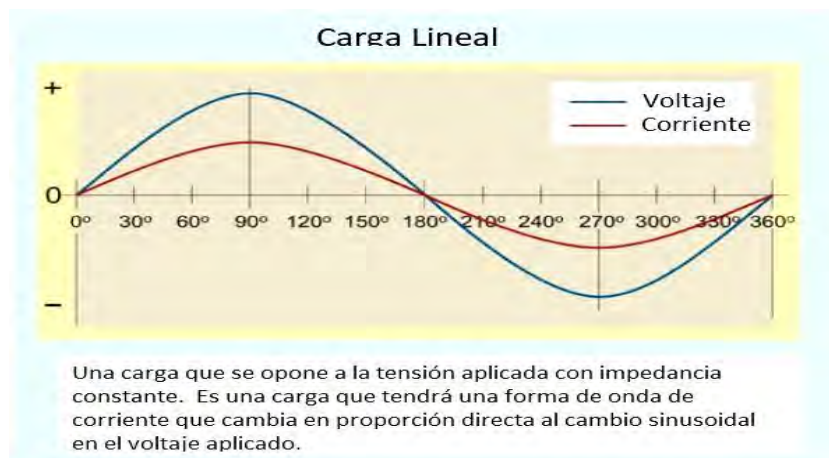
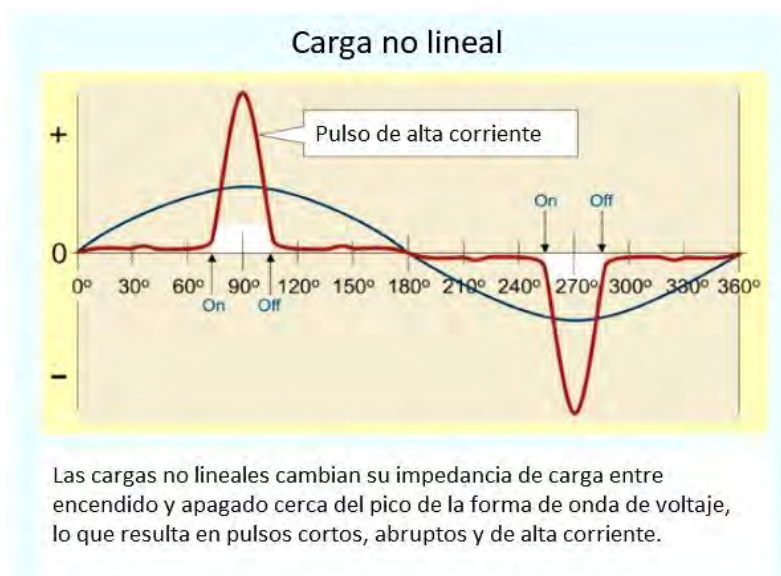
CARGA REPRESENTATIVAS DEL HOPITAL	
Descripción	KW
TOTAL, DE OTRAS CARGAS DEL HOSPITAL	1536.07
INSTALACIONES MECANICAS (GASES MEDICINALES, ETC)	72.51
COMUNICACIONES (DATACENTER) Y SEGURIDAD ELECTRONICA	53.39
EQUIPAMIENTO MEDICO Y OTROS	360.75
SISTEMA DE COMPUTADORAS	85.50
SISTEMA ELECTROBOMBAS SANITARIOS	104.35
TRANSPORTE VERTICAL	78.00
CARGA TOTAL DEL EDIFICIO	1085.71

Nota. Ref.: [Elaboración](#) Propia

Las cargas más representativas del hospital incluyen instalaciones mecánicas, equipamiento médico y sistemas de electrobombas. Estas cargas alteran la forma de onda ideal del sistema eléctrico, generando distorsiones que afectan la eficiencia, estabilidad y vida útil de los equipos conectados a la red., tales como el equipamiento médico, los sistemas de cómputo y las comunicaciones, las cuales incorporan dispositivos basados en electrónica de potencia.

Por otro lado, las instalaciones mecánicas y los sistemas de bombeo son considerados predominantemente como cargas lineales, aunque en algunos casos pueden presentar un comportamiento no lineal cuando operan mediante variadores de velocidad.

En este contexto, el estudio de los transformadores es esencial para determinar el grado de contaminación armónica presente en el sistema eléctrico, debido a que las corrientes distorsionadas producidas por las cargas no lineales pueden generar efectos negativos como incremento de la temperatura de operación, pérdidas adicionales en el núcleo y los devanados, así como una disminución de la vida útil de los equipos eléctricos.

Figura 15*Carga Lineal.**Nota. Ref: Elaboración Propia***Figura 16***Carga no-Lineal.**Nota. Ref.: Elaboración Propia*

La potencia instalada total bruta asciende a 1,536.07 kW; sin embargo, aplicando los factores de demanda y simultaneidad correspondientes a cada tipo de carga, la máxima demanda del edificio se reduce a 1,085.71 kW. Esta demanda total se distribuye entre los dos transformadores: SED 01 (TR-1) con una máxima demanda diversificada de 647.40 kW, y SED

02 (TR-2) con 538.52 kW. Las cargas de mayor relevancia para el análisis armónico son el equipamiento electromédico (360.75 kW), el sistema de electrobombas sanitarias (104.35 kW), las instalaciones mecánicas (72.51 kW) y el sistema de computadoras (85.50 kW), todas ellas de naturaleza no lineal.

3.3.4. Clasificación de Cargas por Comportamiento Eléctrico

3.3.4.1. **Cargas lineales (SED 01 — TR-1):** alumbrado convencional y de emergencia, tomacorrientes de estaciones de trabajo y alumbrado exterior perimetral. Estas cargas mantienen una relación proporcional entre tensión y corriente, sin introducir distorsión armónica significativa en el sistema.

3.3.4.2. **Cargas no lineales — SED 01 (TR-1):** equipamiento electromédico (tomógrafos, resonadores magnéticos), sistemas de computadoras, alumbrado electrónico (LED y fluorescente electrónico), sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS) y equipamiento de datacenter. Al incorporar dispositivos semiconductores en su funcionamiento, estas cargas absorben corrientes distorsionadas que contienen componentes armónicas de orden 5°, 7°, 11° y 13° como predominantes.

3.3.4.3. **Cargas no lineales — SED 02 (TR-2):** equipos de aire acondicionado con variadores de velocidad, electrobombas de agua potable y desagüe con arrancadores electrónicos, ascensores y montacamillas, equipos de rayos X estacionario y electrobombas de sistemas de abastecimiento. Estas cargas presentan un perfil armónico de alta magnitud, especialmente los variadores de velocidad y en los equipos de rayos X se identifican componentes cuya distribución se concentra principalmente en los órdenes 5°, 7°, 11° y 13°.

3.4. Reconocimiento de los transformadores que serán evaluados

Para llevar a cabo el análisis de distorsión armónica se identificaron los dos transformadores de distribución instalados en el Hospital de Quillabamba, conectados al alimentador UP02 de la SET Urpipata. Los parámetros técnicos de cada subestación se presentan a continuación

Tabla 14

SED a realizar el estudio y el análisis

Nº	SED	ALIMENTADOR	POTENCIA	UBICACIÓN
01	TR-1	UP-02	1000 kVA	Av. Francisco Bolognesi S/N
02	TR-2	UP-02	800 kVA	Av. Francisco Bolognesi S/N

Nota. Ref.: Elaboración Propia

3.4.1. Transformador TR-1 (1000 kVA)

Alimenta principalmente cargas sensibles y electrónicas:

- Equipamiento médico
- Computadoras
- Alumbrado
- Tomacorrientes
- Predominan cargas no lineales

Las características técnicas de la subestación de distribución TR-1 son las siguientes:

- Potencia nominal: 1,000 kVA
- Frecuencia de red: 60 Hz
- Relación de transformación nominal del transformador: 22,9/10 kV en el lado de alta tensión y 0,38/0,22 kV en el lado de baja tensión.
- El sistema eléctrico considerado es de tipo trifásico.
- Grupo de conexión: Dyn5

- La tensión de cortocircuito (V_{cc}) del transformador es del 5%.

Este transformador alimenta las cargas diversas del hospital, incluyendo sistemas informáticos, alumbrado de uso general, alumbrado especial médico, equipamiento electromédico y otras cargas de baja potencia, con una máxima demanda diversificada de 647.40 kW.

Tabla 15

Cargas del Hospital

Equipamiento informático (computadoras, servidores)	Ver expediente técnico	No lineal
Alumbrado y tomacorrientes generales	Ver expediente técnico	Lineal
Alumbrado de emergencia	Ver expediente técnico	Lineal
Tomacorrientes de estaciones de trabajo	Ver expediente técnico	Mixta
Alumbrado exterior perimetral	Ver expediente técnico	Lineal
Equipamiento electromédico (tomógrafos, RMN, UPS)	Ver expediente técnico	No lineal
MÁXIMA DEMANDA DIVERSIFICADA	647.40 kW	—

Nota. Ref. Elaboración Propia

3.4.2. Transformador TR-2 (800 kVA)

- Alimenta cargas de fuerza:
- Electrobombas
- Aire acondicionado
- Ascensores
- Predominan cargas lineales y mixtas

Esta separación permite evaluar de manera diferenciada la generación de armónicos en cada transformador.

Las características técnicas de la subestación de distribución TR-2 son las siguientes:

- Potencia nominal: 800 kVA
- Frecuencia de red: 60 Hz
- Relación de transformación nominal del transformador: 22,9/10 kV en el lado de alta tensión y 0,38/0,22 kV en el lado de baja tensión.
- El sistema eléctrico considerado es de tipo trifásico
- Grupo de conexión: Dyn5
- La tensión de cortocircuito (Vcc) del transformador es del 5%.

Este transformador alimenta las cargas de fuerza del hospital, incluyendo electrobombas de agua potable, desagüe y abastecimiento, equipos de aire acondicionado con variadores de velocidad, ascensores, montacamillas y equipos de rayos X estacionario, con una máxima demanda diversificada de 538.52 kW.

Tabla 16

Cargas de fuerza del Hospital

Equipos de aire acondicionado (con variadores de velocidad)	Ver expediente técnico	No lineal
Electrobombas de agua potable	Ver expediente técnico	No lineal
Electrobombas de desagüe	Ver expediente técnico	No lineal
Electrobombas de sistemas de abastecimiento	Ver expediente técnico	No lineal
Ascensores y montacamillas	Ver expediente técnico	No lineal
Rayos X estacionario	Ver expediente técnico	No lineal
Ascensores sin requerimiento de emergencia	Ver expediente técnico	No lineal
MÁXIMA DEMANDA DIVERSIFICADA	538.52 kW	—

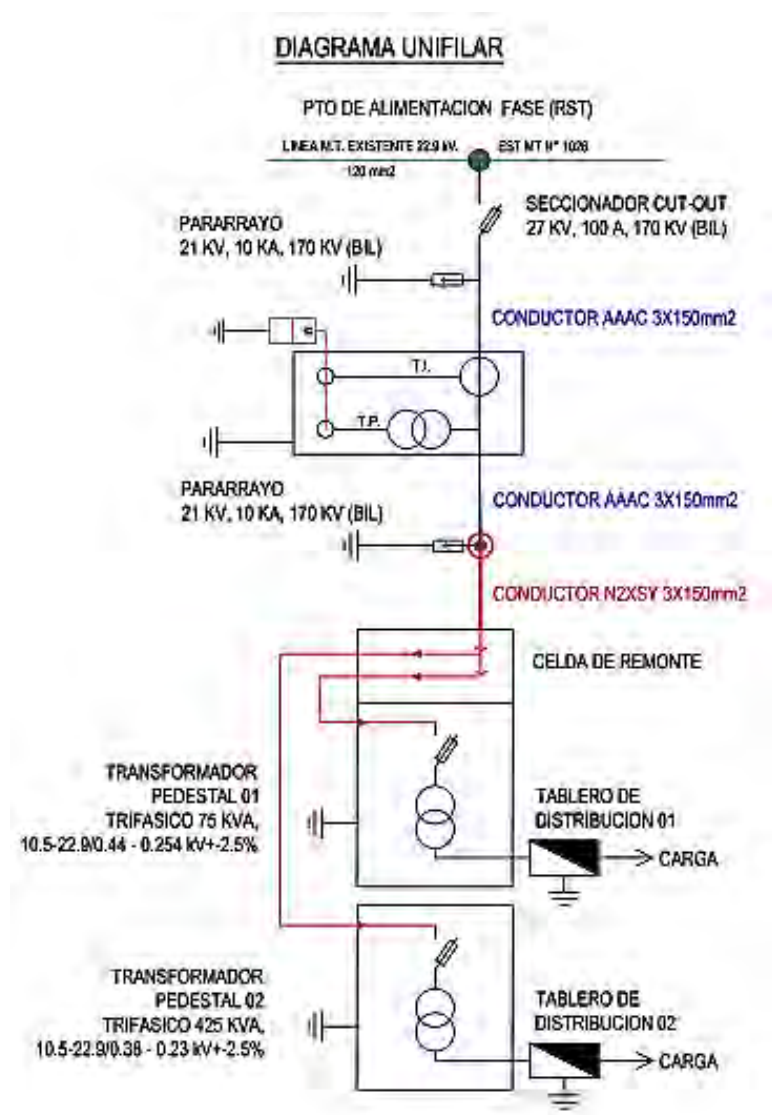
Nota. Ref. Elaboración Propia

3.4.3. Identificación del nodo de análisis

Se deben analizar los nodos en las ubicaciones que contengan cargas productoras de armónicos, las cuales podrían también estar absorbiendo armónicos originados en otras partes de la red. El nodo de análisis identificado es el SET Uripata UP02, donde se encuentran conectados los dos transformadores del Hospital de Quillabamba (TR-1 de 1,000 kVA y TR-2 de 800 kVA), Tal como se ilustra en el diagrama unifilar correspondiente de Quillabamba (Figura 17).

Figura 17

Representación unifilar del sistema de suministro eléctrico del Hospital de Quillabamba.



Nota. Ref.: Elaboración Propia

3.5. Conexión de los devanados del transformador trifásico Dyn5.

3.5.1. Análisis de grupo de conexión en transformadores trifásicos aplicados a Sistema de distribución

De acuerdo con la norma IEC 60076 establece que los transformadores deben contar con características técnicas específicas consignarse en una placa de datos fijada al equipo, lo que permite identificar de manera rápida la información esencial.

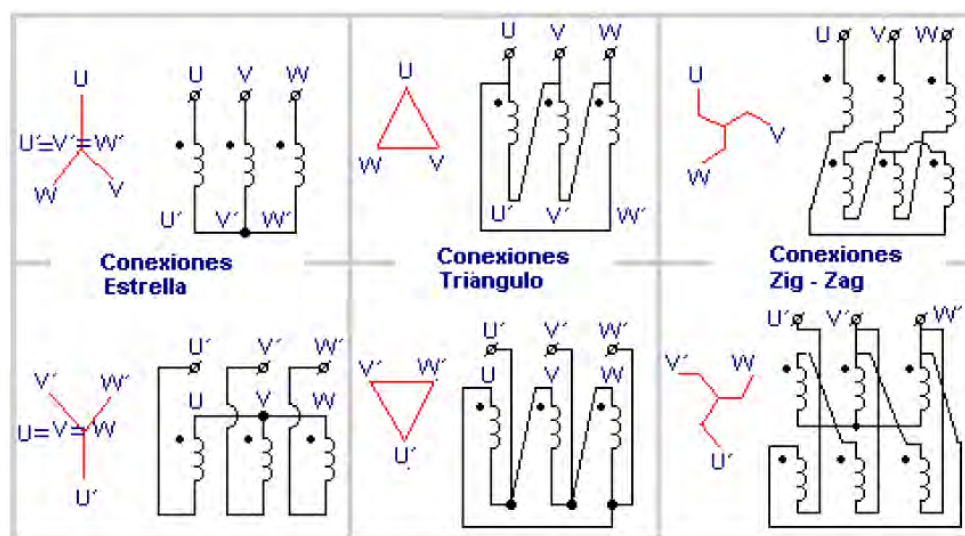
3.5.2. Manera en que se conectan los devanados de un transformador trifásico

En un transformador trifásico, es necesario unir los tres grupos de bobinas del lado primario y los tres del lado secundario. Para ello, se emplean las siguientes configuraciones:

1. **Conexión en estrella:** en esta disposición, los terminales de los devanados que poseen igual polaridad se conectan a un punto común denominado neutro. Esta configuración presenta dos formas de identificación de terminales: U, V, W y U', V', W'.
2. **Conexión Triángulo o Delta:** En esta configuración, los extremos de los devanados con polaridades opuestas se interconectan de manera secuencial, formando un circuito cerrado. Esta disposición permite dos posibles esquemas de conexión, dependiendo del sentido de la alimentación y la referencia de fases.
3. **Conexión Zigzag:** Corresponde a un tipo particular de conexión empleada comúnmente en el lado de baja tensión. Su principio consiste en dividir cada devanado secundario en dos mitades equivalentes. Posteriormente, una de estas mitades se conecta en configuración estrella, mientras que la otra se enlaza en configuración serie con las bobinas invertidas correspondientes a fases adyacentes, siguiendo un patrón de interconexión alternado y simétrico. Esta disposición permite mejorar el equilibrio de cargas y la reducción de armónicos.

Figura 18

Diagrama de conexiones de transformadores



Nota. Ref.: google imagenes

Durante la selección del transformador adecuado para una subestación, ya sea de instalación en interiores o exteriores, se establecen las especificaciones técnicas que se presentan en la ilustración correspondiente. En el caso de transformadores trifásicos, entre las características técnicas de mayor relevancia destacan la potencia nominal, los niveles de tensión en los devanados primario y secundario, además del nivel de aislamiento en ambos lados, la altitud de operación y el grupo de conexión, entre otros. Adicionalmente, se incorpora el esquema de conexiones del transformador como parte de su documentación técnica.

Respecto al grupo de conexión, es relevante que los profesionales comprendan su importancia como dato clave para el diseño y el funcionamiento del equipo; además, esta información es la referencia principal para saber la cantidad de terminales tanto en el lado de entrada de voltaje (primario) como en el de salida (secundario).

Figura 19

Diagrama del tipo de conexión de los transformadores de 800 kVA y 1000 kVA



Nota. Ref.: Elaboración Propia

3.5.3. Relevancia de la conexión Dyn5 para el análisis armónico

La configuración triángulo aplicada al devanado primario (D) de los transformadores Dyn5 tiene una implicancia técnica determinante para el análisis armónico del sistema: Impide la conducción de corrientes armónicas asociadas a la secuencia cero, correspondientes a los armónicos de orden múltiplo de tres (3°, 9°, 15°, entre otros) hacia la red de media tensión de 10 kV. Estas corrientes quedan confinadas al devanado en triángulo, circulando internamente sin propagarse aguas arriba hacia el alimentador UP02.

Por esta razón, los armónicos que se propagan efectivamente hacia el punto de conexión de común del sistema eléctrico. en la red de 10 kV son los de secuencia positiva y negativa: 5°,

7°, 11° y 13°, que son precisamente los órdenes de mayor magnitud identificados en los resultados de simulación presentados en las secciones 3.6 y 3.7 de este capítulo.

3.6.Factor K del Transformador

Para proteger los transformadores de los efectos de las corrientes armónicas, se evalúa el Factor K, definido por los laboratorios UL (Underwriter's Laboratories) como el parámetro que cuantifica la capacidad de un transformador para soportar corrientes armónicas sin deteriorarse ni exceder su temperatura operativa de diseño. Este factor se encuentra consignado en la placa de identificación del equipo o características de transformadores fabricados para operar con cargas no lineales.

Los transformadores convencionales no están diseñados para resistir el incremento de temperatura generado por las corrientes armónicas. Dependiendo de las circunstancias, puede ser necesario restringir la carga suministrada por el transformador hasta en un 50% de su potencia nominal. Para cuantificar esta reducción se aplica el procedimiento de desclasificación (derating), conforme a la norma ANSI C57.110.

3.6.1. Factor K del transformador

Para resguardar un transformador de los efectos armónicos, se puede optar por restringir su operación a condiciones de funcionamiento con carga inferior a la nominal. Los transformadores convencionales no están capacitados para resistir el incremento de temperatura generado por los armónicos. Dependiendo de las circunstancias, en algunos casos se hace necesario restringir la carga suministrada utilizando un transformador cuya operación alcanza hasta el 50 % de la potencia nominal. Aunque esta medida contribuye a atenuar el problema de los armónicos, reduce la capacidad operativa real del transformador.

Se puede utilizar transformadores de categoría los cuales han sido concebidos específicamente para operar cargas con los armónicos. Al diseñar un transformador K implica modificaciones de las siguientes:

- Sobredimensionamiento del núcleo primario con capacidad para soportar las corrientes armónicas de circulación.
- Aumento de la sección transversal del conductor neutro en el lado secundario, de manera que permita la evacuación de corrientes armónicas.
- Concebir núcleos magnéticos con una reducida densidad de flujo magnético con laminaciones con grano orientados.
- Emplear conductores cortos en paralelo en el arrollamiento del secundario para disminuir el efecto skin.

Frecuentemente, los transformadores que abastecen cargas no lineales experimentan sobrecalentamiento, incluso sin haber alcanzado su capacidad nominal en kVA [8].

Por consiguiente, es preciso desclasificar (derating) el transformador existente o bien utilizar un transformador diseñado para tolerar este aumento de temperatura. A este tipo de transformador se le conoce como transformador con clasificación K. Dicha clasificación está vinculada al "Factor K", un valor definido por los laboratorios UL (Underwriter's Laboratories) en Estados Unidos para cuantificar la capacidad de un transformador para soportar corrientes armónicas sin deteriorarse. [12,8].

El factor K se encuentra consignado en la placa de identificación del equipo o características de ciertos transformadores fabricados, reflejando su aptitud para suministrar energía a cargas no lineales sin sobrepasar la temperatura operativa para la que fueron diseñados [8], esto es:

$$Factor\ K = \sum_{h=1}^{\infty} \left(\frac{I_h}{I_{RMS}} \right)^2 h^2 \quad 4.2.4$$

En esta fórmula, la magnitud de corriente representa la corriente que es absorbida por una carga no lineal conectada al transformador. Los más usuales en relación a factores K para transformadores son 4 y 13, empleados primordialmente en el suministro a cargas rectificadoras

[8]. Estos transformadores especializados resultan de mayor costo que los modelos convencionales y se fabrican con factores K estándar que incluyen 1, 4, 7, 13, 20, 30 y 40. Cabe reiterar que su precio es superior al de los transformadores estándar [12].

Conforme a la normativa ANSI C57.110-1986, se definen los factores K siguientes: K-1, K4, K9, K13, K20, K30 y K40. Se presenta a continuación por la tabla que muestra una estimación del contenido armónico hasta el orden 15 para los factores K-4, K-13, K-20 y K-30, que son los más comunes. Es necesario considerar que estos valores son aproximados y podrían presentar diferencias en un sistema real; por lo tanto, el usuario debe seleccionar el factor K que mejor se ajuste a las características de su instalación [14].

Tabla 17

Cuadros de cargas con Factor K utilizados

CARGAS CON FACTOR K					
ÁRMONICA	Hertz	K-4	K-13	K-20	K-30
1	60	100.000 %	100.000 %	100.000 %	100.000 %
3	180	16.667 %	33.333 %	41.667 %	50.000 %
5	300	10.000 %	20.000 %	25.000 %	30.000 %
7	420	7.143 %	14.286 %	17.857 %	21.429 %
9	540	5.555 %	11.111 %	13.889 %	16.667 %
11	660	4.545 %	9.091 %	11.364 %	13.636 %
13	780	3.846 %	7.692 %	9.615 %	11.538 %
15	900	3.333 %	6.667 %	8.333 %	10.000 %

Nota. Ref.: Elaboración Propia. Valores estimados del contenido armónico hasta el orden 15

según la normativa ANSI C57.110-1986 para los factores K más utilizados en instalaciones industriales y hospitalarias.

Para regular el transformador se debe tomar una decisión qué factor K apropiado a asignar al proyecto, considerando que se planea instalar transformadores en un entorno con un determinado nivel de distorsión armónica, la tabla con determinadas cargas y su factor K

clasificada, considerando que en cada transformador tiene ciertas cargas identificadas y considere que clasificación del factor K corresponda al transformador.

Tabla 18

Factor K según las cargas típicas

Alumbrado con lámparas incandescentes	K-1
Calefacción por resistencia eléctrica	K-1
Motores sin estado solido	K-1
Control de los transformadores/dispositivos electromagnéticos de control	K-1
Motores generadores (Sin estado solido)	K-1
Descarga eléctrica de iluminación	K-4
UPS con filtro en la entrada	K-4
Soldadoras eléctricas	K-4
Equipos de calentamiento por inducción	K-4
PLC's y controles de estado solido	K-4
Equipos de telecomunicaciones	K-13
UPS sin filtro en la entrada	K-13
Circuitos de receptáculos múltiples en áreas de cuidados generales de salud, salones de escuelas ect.	K-13
Circuitos de receptáculos múltiples en pruebas u otras áreas de producción.	K-13
Cargas de computadoras	K-20
Circuitos de receptáculos múltiples dentro de salas de operación y recuperación de hospitales	K-20

Nota. Ref.: Elaboración Propia

La clasificación estándar según ANSI/IEEE C57.110-1986, se presenta de la siguiente manera:

- 1- Factor K-1: Corresponde a un transformador estándar diseñado para tolerar únicamente el calentamiento provocado por las pérdidas inherentes y las pérdidas adicionales por corrientes inducidas (pérdidas por Foucault) a 60 Hz, operando con una carga de corriente sinusoidal. Este tipo de unidad podría no estar preparado para soportar el calentamiento adicional generado por armónicos en su corriente de carga.
- 2- Factor K-4: Se refiere a un transformador capaz de entregar su potencia nominal en kVA sin experimentar sobrecalentamiento, incluso al alimentar una carga compuesta de corriente fundamental a 60 Hz (sinusoidal) por el 100% más los siguientes componentes armónicos:
 - 16% de la fundamental para el tercer armónico;

- 10% de la fundamental para el quinto;
- 7% de la fundamental para el séptimo;
- 5,5% de la fundamental para el noveno;
- Porcentajes menores hasta el armónico 25.

- 3- Factor K-9: Un transformador con clasificación K-9 tiene la capacidad de tolerar un 163% más de carga armónica en comparación con uno clasificado como K-4.
- 4- Factor K-13: Un transformador K-13 puede manejar hasta un 200% más de carga armónica que un transformador K-4.
- 5- Factor K-20, K-30, K-40: En estas categorías, un valor de factor K superior denota una mayor aptitud para operar con un contenido armónico de carga progresivamente mayor sin experimentar sobrecalentamiento.

Tabla 19

Magnitudes de Porcentajes de Inyección de Corriente Armónica

Orden Armónico	Transformador	Inversor	Horno de Arco
3	0.02	0.1	0.29
5	0.2	0.05	0.79
7	0.05	0.298	0.03
9	0.02	0.019	0.02

Nota. Ref.: Elaboración Propia. Para la parametrización del modelo de simulación del Hospital de Quillabamba se tomaron como referencia los valores de la columna "Transformador", por ser el tipo de carga que mejor representa el comportamiento electromédico e industrial del hospital. Estos valores fueron aplicados proporcionalmente a la potencia de cada subestación analizada.

Resultados del Factor K — Transformador TR-1 (1,000 kVA)

Parámetro	Símbolo	Nominal	Desclasificado (Déclassé)
Potencia	Sn	1,000 kVA	884 kVA
Tensión	Un	380 V	380 V
Corriente	In	1,519 A	1,343 A
Tasa de distorsión	THD-I	41.2%	—
Factor de desclasificación	k	0.884	12%
Potencia disponible	Sn'	884 kVA	—

Nota. Elaboración propia.

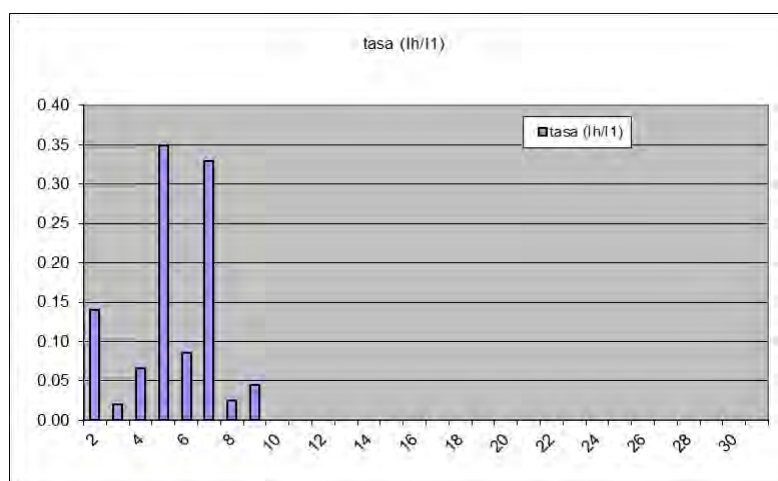
Resultados del Factor K — Transformador TR-2 (800 kVA)

Parámetro	Símbolo	Nominal	Desclasificado (Déclassé)
Potencia	Sn	800 kVA	668 kVA
Tensión	Un	380 V	380 V
Corriente	In	1,215 A	1,014 A
Tasa de distorsión	THD-I	51.5%	—
Factor de desclasificación	k	0.834	17%
Potencia disponible	Sn'	668 kVA	—

Nota. Elaboración propia.

Figura 21

Tasa de distorsión – corriente Transformador 800 kVA



Nota. Ref.: Elaboración Propia

Los resultados del análisis del Factor K evidencian que ambos transformadores experimentarán una reducción significativa de su capacidad operativa ante la presencia de cargas no lineales. El transformador TR-1 (1,000 kVA) opera efectivamente a 884 kVA, representando una reducción del 11.6% de su capacidad nominal. El transformador TR-2 (800 kVA) presenta una situación más crítica, con una capacidad disponible de solo 668 kVA, equivalente a una reducción del 16.5%.

Estos resultados confirman el requerimiento técnico de implementar acciones de atenuación o mitigación armónica antes de la puesta en servicio del hospital. Operar los

transformadores en estas condiciones sin filtros aceleraría su deterioro, incrementaría las pérdidas térmicas en los devanados y reduciría significativamente su vida útil, con las consiguientes implicancias económicas y operativas para el establecimiento de salud.

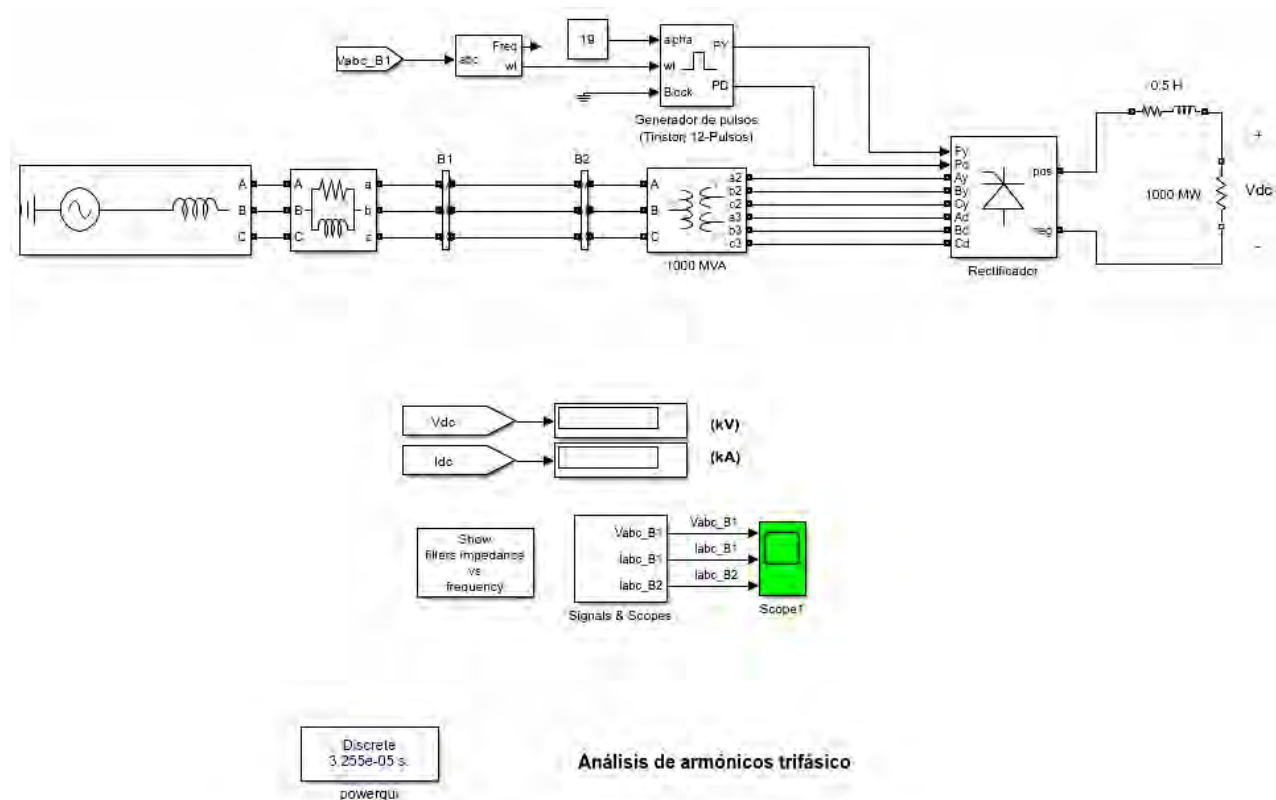
3.7.EVALUACIÓN MEDIANTE SIMULACIÓN – SED 01 (TR-1, 1000 kVA)

Para ello se han simulado las diferentes cargas de acuerdo al cuadro de cargas y el diagrama unifilar que se tiene en el proyecto.

Para la simulación de la subestación TR-1 se construyó el modelo eléctrico equivalente en MATLAB/Simulink, incorporando los parámetros del transformador, el cuadro de cargas lineales y no lineales, y la impedancia de la red de suministro. Las características del transformador simulado son las descritas en la sección 3.3. El diagrama de cargas y el diagrama unifilar para la SED 01 se presentan en las Figuras 22 y 23, respectivamente.

Figura 22

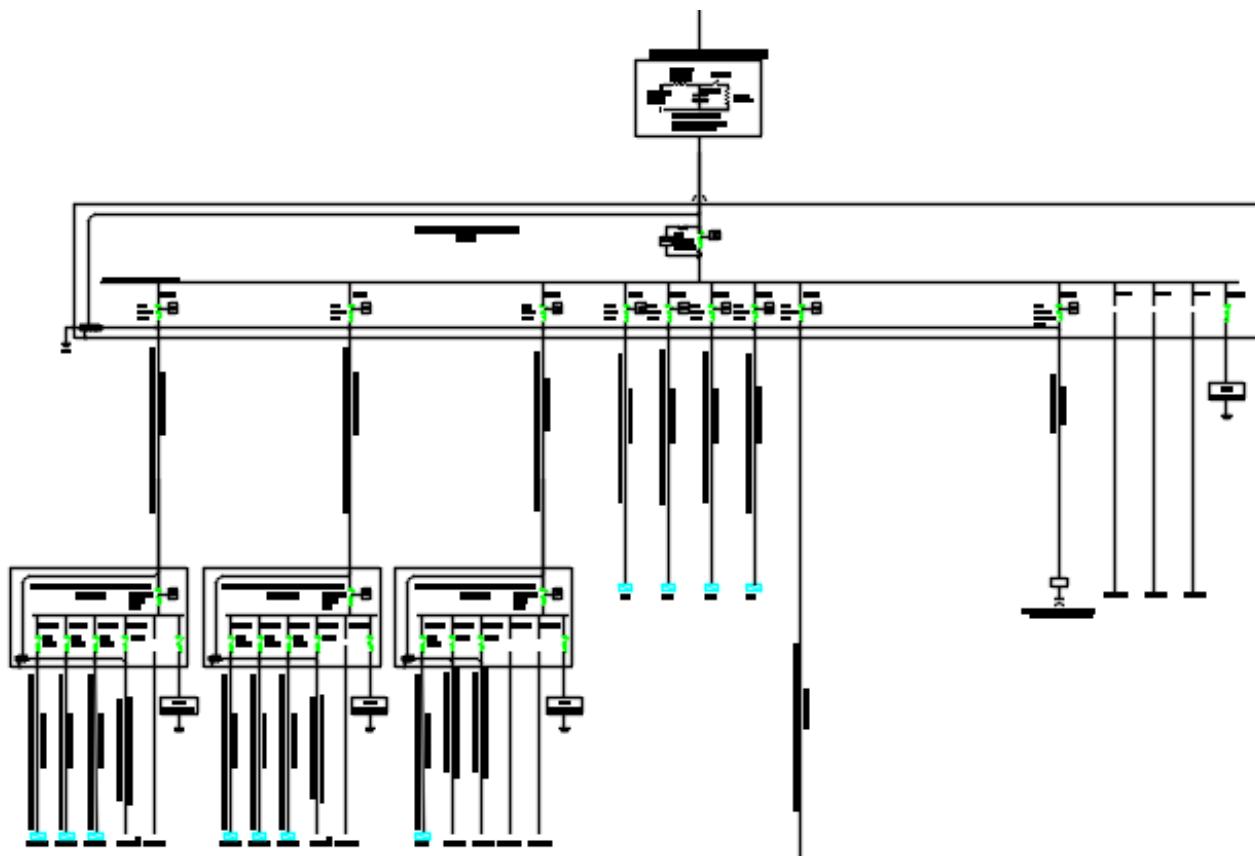
Diagrama de cargas para Transformador 1000 kVA



Nota. Ref.: Elaboración Propia

Figura 23

Diagrama unifilar para Transformador 1000 kVA



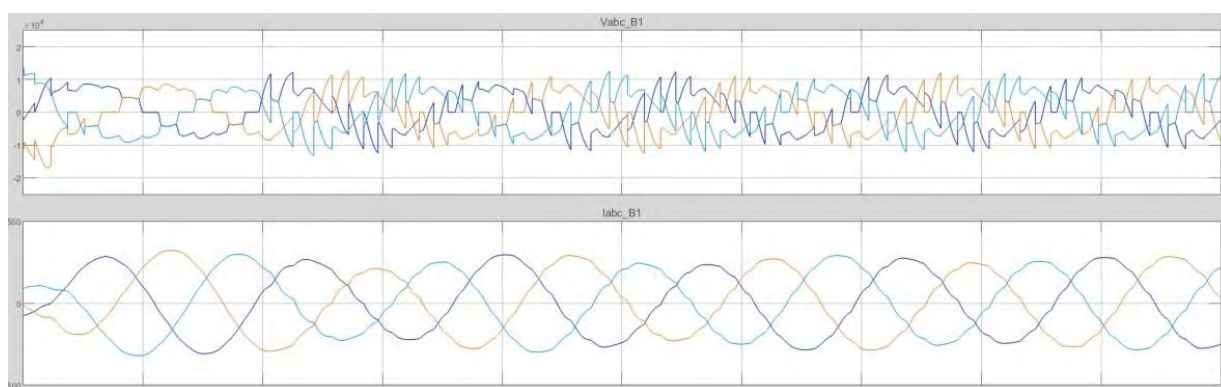
Nota. Ref.: Elaboración Propia

3.7.1. Resultados de THDV — SED 01 (1,000 kVA)

Las simulaciones de los perfiles de onda de tensión y corriente, que idealmente deberían ser sinusoidales, permiten visualizar el grado de distorsión que experimentan las señales ante la presencia de componentes correspondientes a armónicos. Las Figuras 24 y 25 muestran las formas de onda de tensión obtenidas en la simulación de la SED 01.

Figura 24

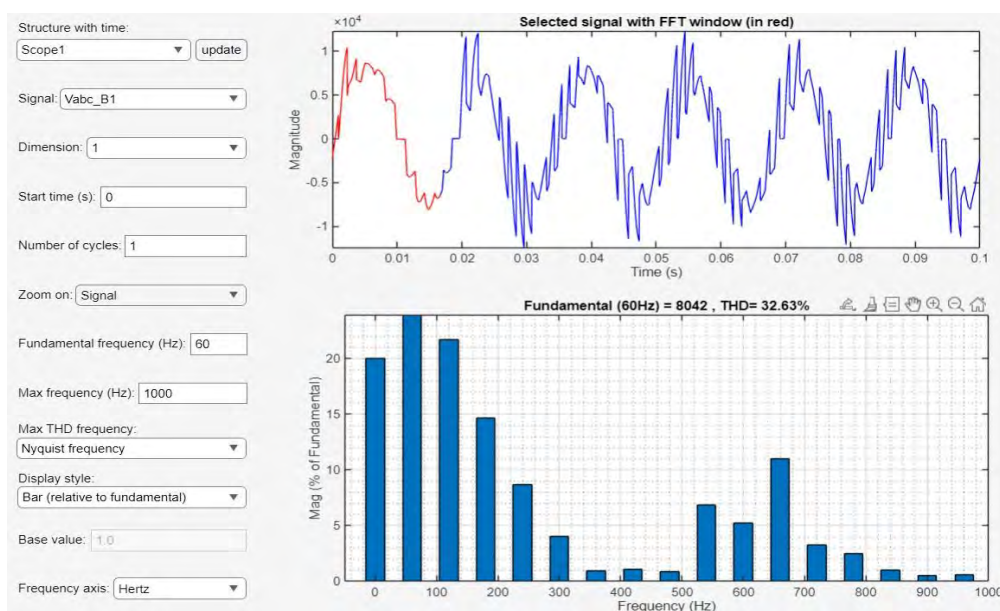
Presentación del osciloscopio para 1000KVA



Nota. Ref.: Elaboración Propia

Figura 25

Onda de tensión en la SED que incluyen componentes armónicas



Nota. Ref.: Elaboración Propia

La información derivada del proceso de simulación de la SED 01 (TR-1, 1,000 kVA) evidencian distorsión armónica crítica en el voltaje como también en la corriente. La magnitud de deformación armónica total de tensión alcanzó $THDV = 32.63\%$, superando en más de seis veces el límite máximo del 5% según lo dispuesto en la norma IEEE 519-2014 y la NTCSE. La Tabla 20 presenta los valores particulares de las componentes armónicas de tensión obtenidos.

Tabla 20

Efectos THDV=32.63%

THD = 32.63%			
0 Hz	DC	20.01%	90.0°
60 Hz	Fnd	100.00%	-28.8°
120 Hz	h2	21.73%	-2.3°
180 Hz	h3	14.65%	-28.1°
240 Hz	h4	8.67%	-56.7°
300 Hz	h5	4.03%	-85.8°
360 Hz	h6	0.93%	235.5°
420 Hz	h7	1.07%	56.5°
480 Hz	h8	0.84%	-65.6°
540 Hz	h9	6.85%	98.2°
600 Hz	h10	5.24%	-41.9°
660 Hz	h11	10.98%	-5.6°
720 Hz	h12	3.30%	-30.3°
780 Hz	h13	2.50%	269.3°
840 Hz	h14	1.03%	263.9°
900 Hz	h15	0.49%	-13.9°
960 Hz	h16	0.61%	-1.4°

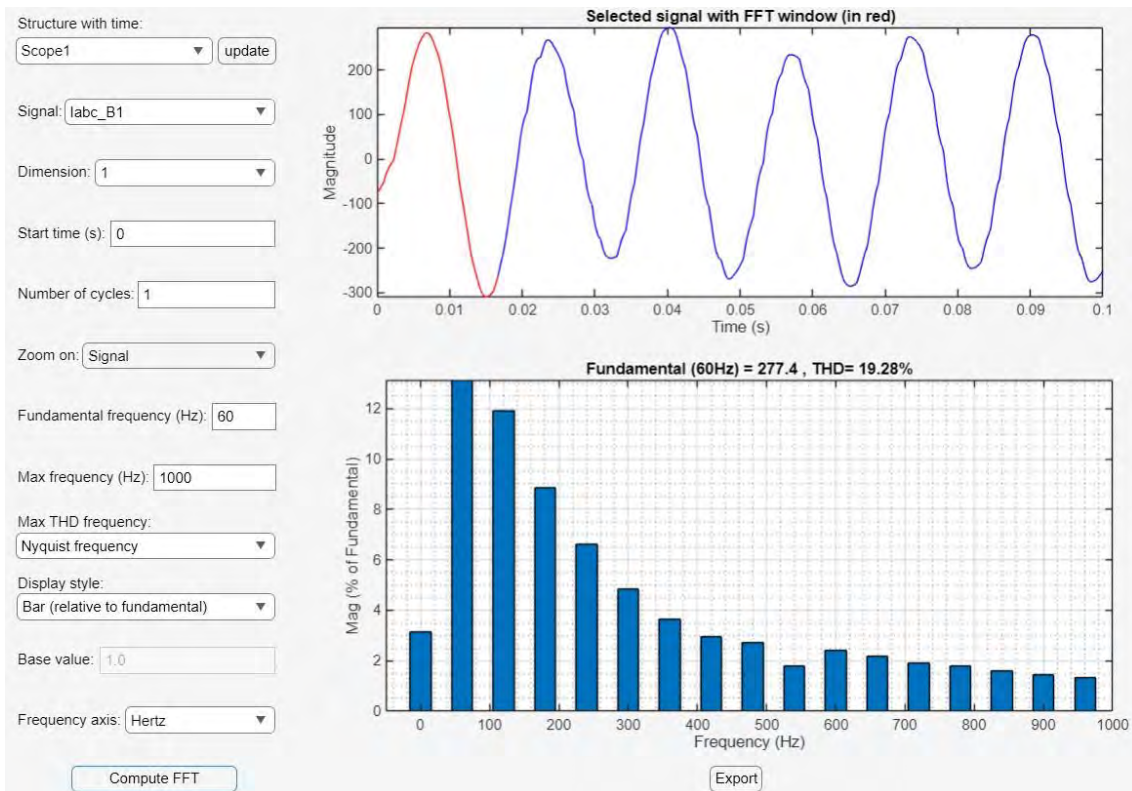
Nota. Ref.: Elaboración Propia

3.7.2. Resultados de THDI — SED 01 (1,000 kVA)

La magnitud de deformación armónica total de corriente obtenido fue $THDI = 19.28\%$, superando en aproximadamente cuatro veces el límite del 5% según lo dispuesto en la norma IEEE 519-2014. La Figura 26 presenta la forma de onda de corriente distorsionada y la Tabla 21 los valores individuales de las corrientes de carácter armónico.

Figura 26

Resultados de la característica de onda de corriente



Nota. Ref.: Elaboración Propia

Tabla 21

Resultados THDI=19.28%

THD = 19.28%			
0 Hz	DC	3.13%	90.0°
60 Hz	Fnd	100.00%	-50.9°
120 Hz	h2	11.92%	37.8°
180 Hz	h3	8.85%	23.1°
240 Hz	h4	6.62%	10.7°
300 Hz	h5	4.85%	3.3°
360 Hz	h6	3.65%	1.5°
420 Hz	h7	2.94%	3.9°
480 Hz	h8	2.74%	3.8°
540 Hz	h9	1.79%	0.4°
600 Hz	h10	2.42%	10.9°
660 Hz	h11	2.16%	24.9°
720 Hz	h12	1.90%	9.9°
780 Hz	h13	1.79%	4.5°
840 Hz	h14	1.58%	4.8°
900 Hz	h15	1.43%	6.4°
960 Hz	h16	1.34%	7.0°

Nota. Ref.: Elaboración Propia

3.7.3. Análisis de los armónicos predominantes — SED 01

La Figura 27 presenta la amplitud de los armónicos de tensión más notables correspondiente a la subestación SED 01. Se evidencia que los armónicos de orden 5°, 7°, 11° y 13° son los de mayor prominencia, en concordancia con el perfil de carga no lineal identificado. Las Figuras 28, 29, 30 y 31 muestran la fluctuación de la magnitud de deformación armónica total de tensión, la fluctuación del factor de potencia, el análisis espectral de la SED TR-1 y la fluctuación de la magnitud de deformación armónica de corriente, respectivamente.

El análisis individual de cada armónico de tensión, basado en los rangos permisibles de acuerdo con la NTCSE, permite identificar que los armónicos 5°, 7°, 11° y 13° superan los valores máximos permisibles, siendo el armónico de 5° orden (300 Hz) el de mayor magnitud relativa.

3.7.4. Análisis de los armónicos predominantes — SED 01

Se realizó el análisis de cada armónico de tensión de manera individual, basándose en los límites que fija la Normativa Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos (NTCSE). Los resultados numéricos obtenidos no fueron especialmente relevantes; sin embargo, se pudieron identificar algunos armónicos que destacan sobre los demás, los cuales son:

Figura 27

Armónicos sobresalientes

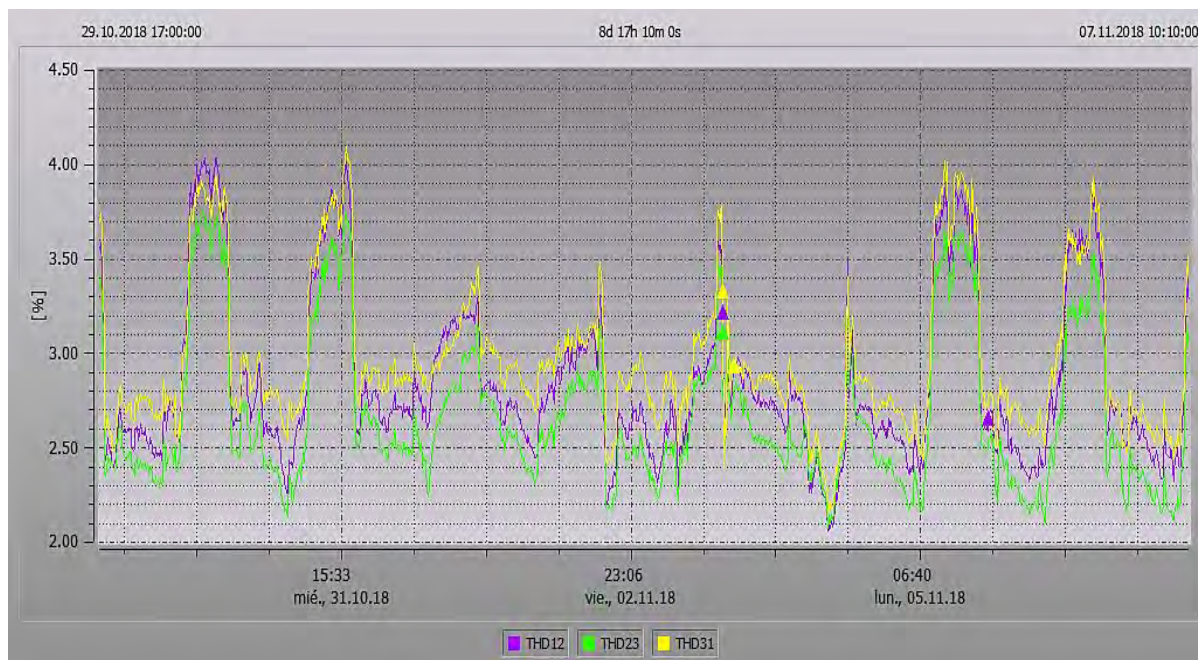


Nota. Ref.: Elaboración Propia

La Figura 27 presenta la amplitud de los armónicos de tensión más notables en la subestación SED 01. Se evidencia que los armónicos de orden 5°, 7°, 11° y 13° son los de mayor prominencia, en concordancia con el perfil de carga no lineal identificado. Las Figuras 28, 29, 30 y 31 muestran la fluctuación de la magnitud de deformación armónica total de tensión, la fluctuación del factor de potencia, el análisis espectral de la SED TR-1 y la fluctuación de la magnitud de deformación armónica de corriente, respectivamente.

Figura 28

Fluctuación de la magnitud de deformación armónica total de voltaje SED 1



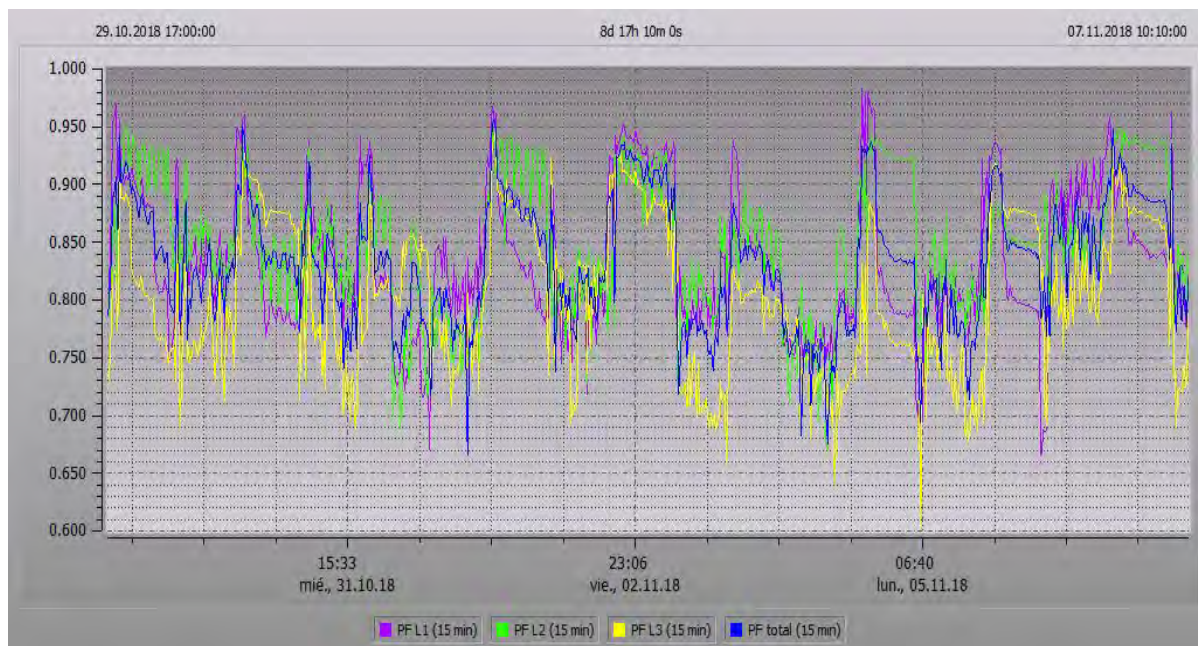
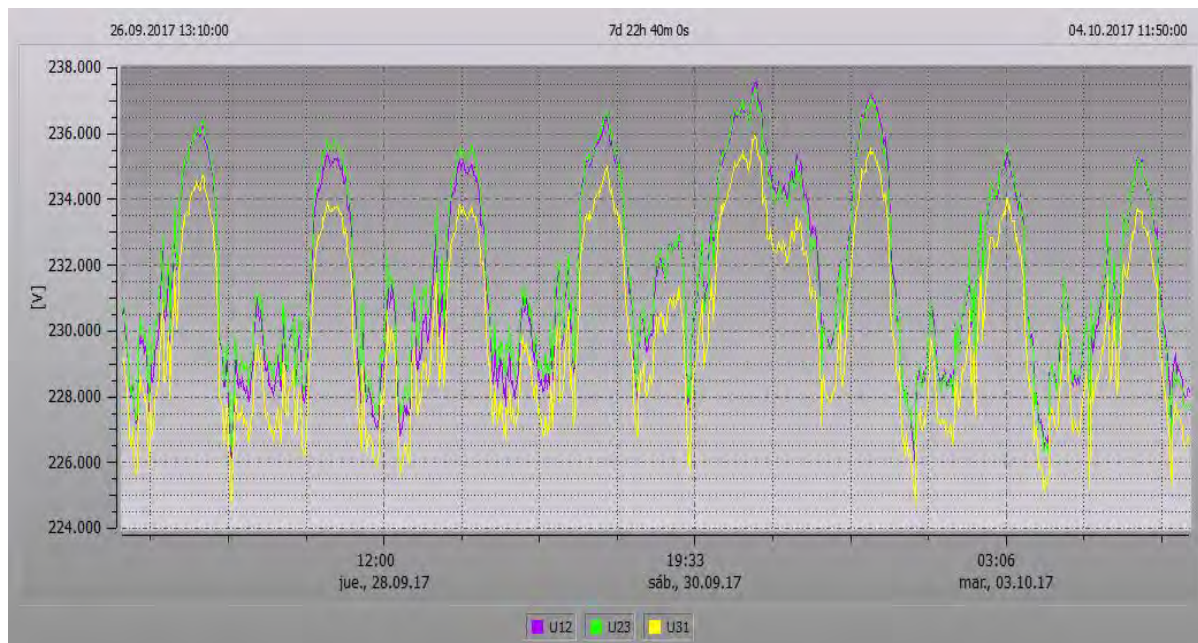
Nota. Ref.: Elaboración Propia

Figura 29

Fluctuación del factor de potencia SED TR-1



Nota. Ref.: Elaboración Propia

Figura 30*Análisis de la SED TR-1**Nota. Ref.: Elaboración Propia***Figura 31***Fluctuación de la magnitud de deformación armónica de corriente SED TR-1**Nota. Ref.: Elaboración Propia*

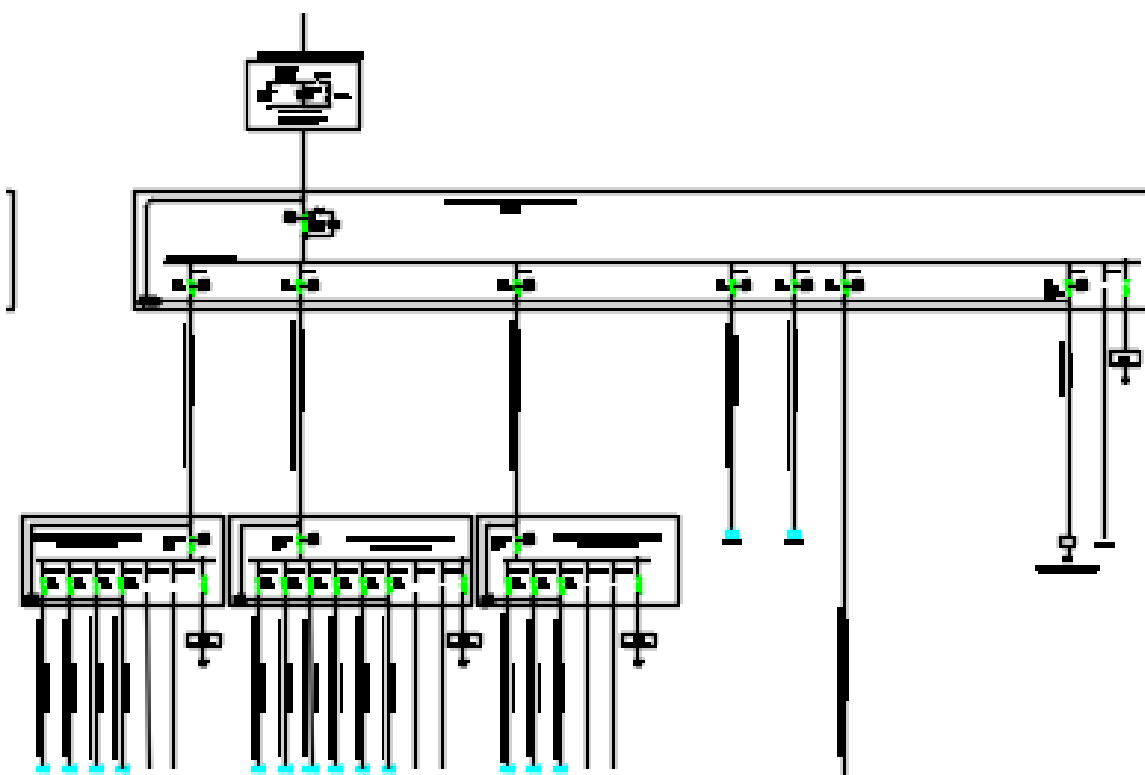
El análisis individual de cada armónico de tensión, basado en los rangos permisibles de acuerdo con la NTCSE, permite identificar que los armónicos 5°, 7°, 11° y 13° superan los valores máximos permisibles, siendo el armónico de 5° orden - (300 Hz) el de mayor magnitud relativa.

3.7.5. Evaluación mediante Simulación — SED 02 (TR-2, 800 kVA)

Para la simulación de la subestación TR-2 se construyó el modelo eléctrico equivalente en MATLAB/Simulink con los parámetros del transformador de 800 kVA y las cargas de fuerza del hospital detalladas en la Tabla 16. El diagrama unifilar para la SED 02 se presenta en la Figura 32.

Figura 32

Diagrama unifilar para Transformador 800 kVA



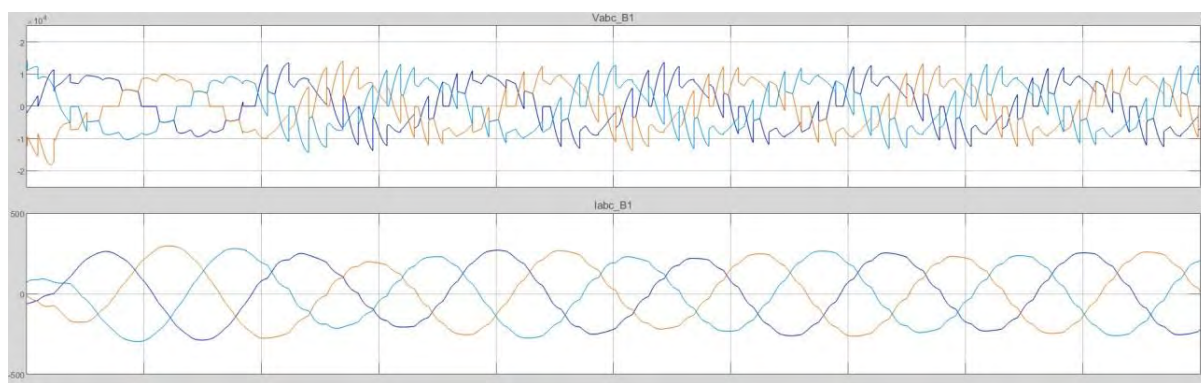
Nota. Ref.: Elaboración Propia

3.7.6. Resultados de THDV — SED 02 (800 kVA)

Las simulaciones de la SED 02 evidencian un comportamiento armónico similar al de la SED 01, con niveles de distorsión que superan ampliamente los límites normativos. La magnitud de deformación armónica total de tensión obtenido fue $THDV = 31.79\%$, superando en más de seis veces el límite del 5% de la norma IEEE 519-2014. La Tabla 22 presenta los valores individuales de las componentes armónicas de tensión.

Figura 33

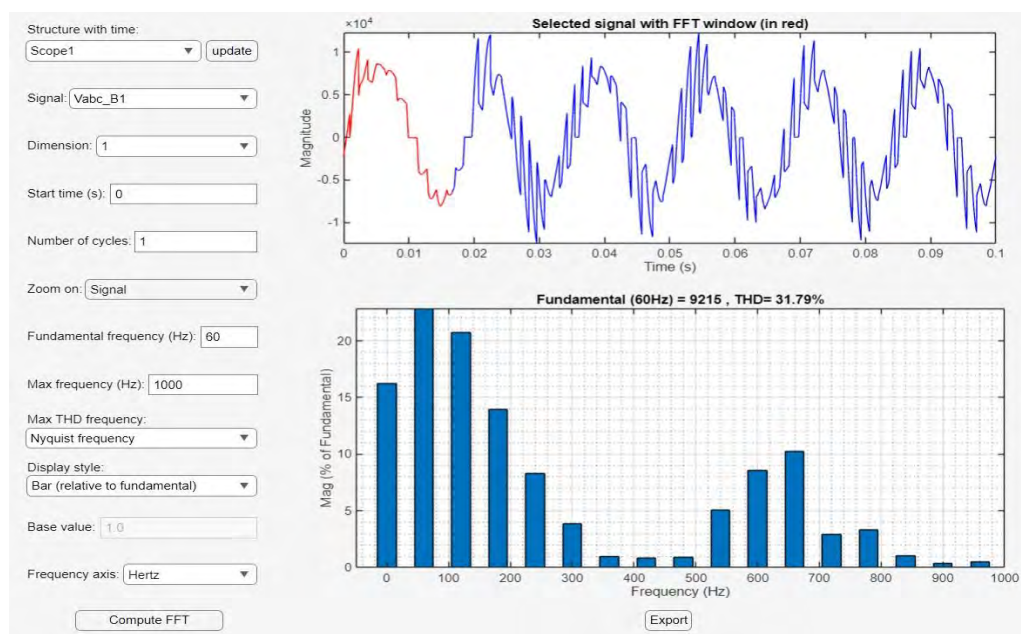
Presentación del osciloscopio para 800 KVA



Nota. Ref.: Elaboración Propia

Figura 34

Onda de tensión en la SED que incluyen componentes armónicas



Nota. Ref.: Elaboración Propia

Tabla 22

Efectos THDV=31.79%

THD = 31.79%			
0 Hz	DC	16.24%	90.0°
60 Hz	Fnd	100.00%	-27.6°
120 Hz	h2	20.76%	3.1°
180 Hz	h3	13.96%	-23.6°
240 Hz	h4	8.28%	-51.4°
300 Hz	h5	3.89%	-76.1°
360 Hz	h6	0.97%	-87.7°
420 Hz	h7	0.86%	31.7°
480 Hz	h8	0.91%	-27.2°
540 Hz	h9	5.10%	106.0°
600 Hz	h10	8.57%	-15.3°
660 Hz	h11	10.22%	18.0°
720 Hz	h12	2.89%	-66.6°
780 Hz	h13	3.29%	-83.1°
840 Hz	h14	1.01%	-81.3°
900 Hz	h15	0.34%	13.6°
960 Hz	h16	0.53%	30.5°

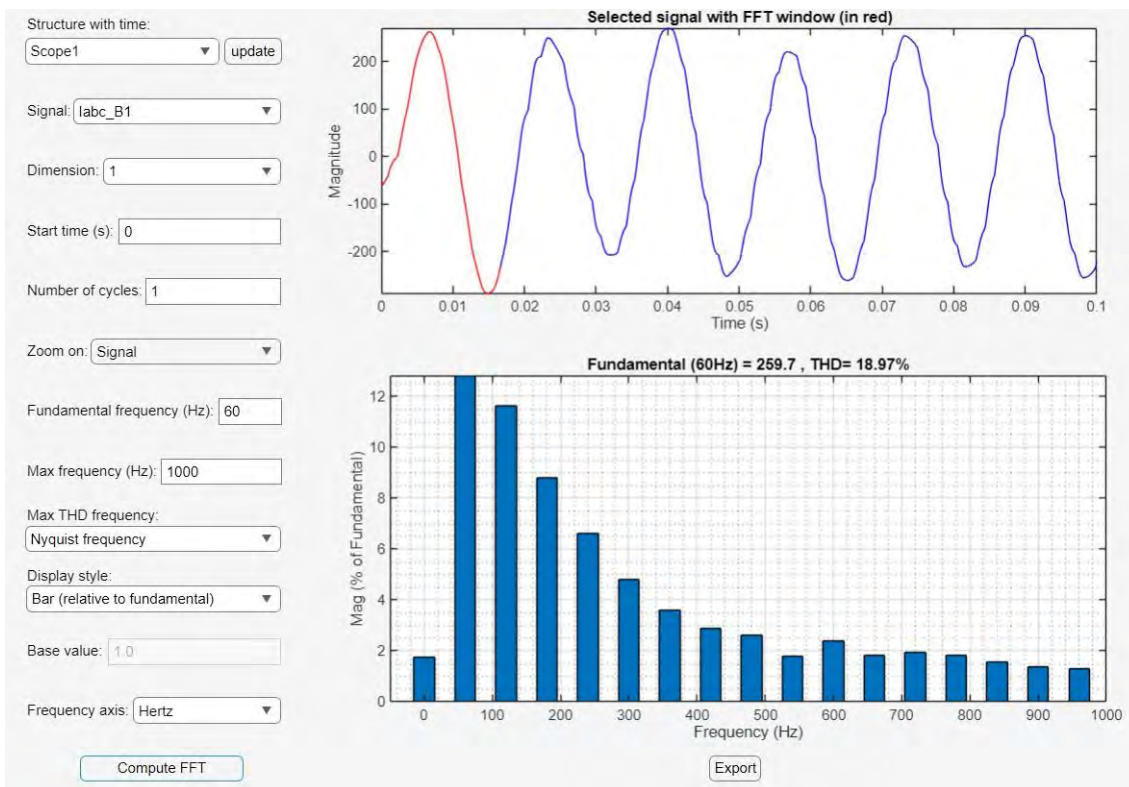
Nota. Ref.: Elaboración Propia, Resultados obtenidos mediante simulación en MATLAB/Simulink.

3.7.7. Resultados de THDI — SED 02 (800 kVA)

La magnitud de deformación armónica total de corriente obtenido para la SED 02 fue THDI = 18.97%, superando el límite normativo del 5% en aproximadamente cuatro veces. La Figura 35 presenta la forma de onda de corriente distorsionada y la Tabla 23 los valores individuales de las corrientes de carácter armónico, tomando como referencia el estándar IEEE Std-519.

Figura 35

Resultados de la forma de onda corriente en la SED afectada por componentes armónicas



Nota. Ref.: Elaboración Propia

Tabla 23

Resultados THDI=18.97%

THD = 18.97%			
0 Hz	DC	1.75%	90.0°
60 Hz	Fnd	100.00%	-47.8°
120 Hz	h2	11.65%	44.8°
180 Hz	h3	8.83%	27.1°
240 Hz	h4	6.61%	12.9°
300 Hz	h5	4.82%	4.4°
360 Hz	h6	3.60%	2.3°
420 Hz	h7	2.89%	4.2°
480 Hz	h8	2.63%	4.9°
540 Hz	h9	1.80%	-2.0°
600 Hz	h10	2.41%	22.5°
660 Hz	h11	1.81%	31.2°
720 Hz	h12	1.94%	6.7°
780 Hz	h13	1.83%	5.2°
840 Hz	h14	1.55%	5.2°
900 Hz	h15	1.38%	6.1°
960 Hz	h16	1.28%	6.8°

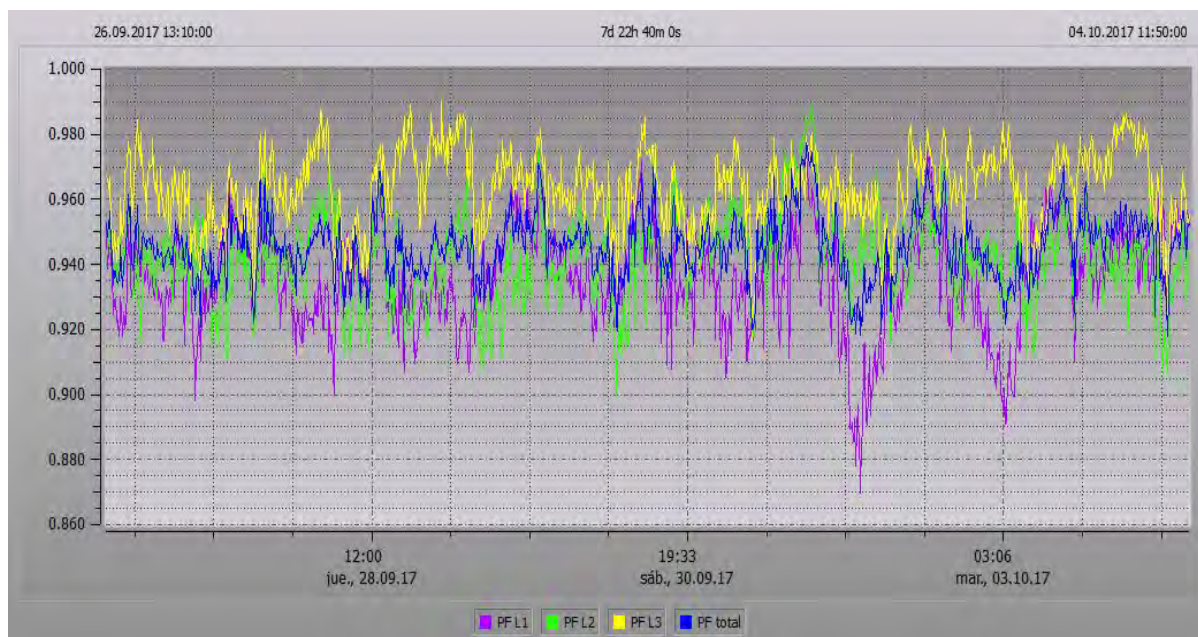
Nota. Ref.: Elaboración Propia, Resultados obtenidos mediante simulación en MATLAB/Simulink.

3.7.8. *Análisis de los armónicos predominantes — SED 02*

La Figura 36 muestra la fluctuación de la magnitud de deformación de los armónicos de corriente en la SED 02. Las componentes armónicas quinta, séptima, undécima y decimotercera son las de mayor relevancia para esta carga, en concordancia con el perfil de cargas de fuerza no lineales identificado. El análisis de las corrientes armónicas se ejecuta conforme a los límites del estándar IEEE Std-519.

Figura 36

Fluctuación de la magnitud de deformación de los armónicos de corriente SED -2



Nota. Ref.: Elaboración Propia

La determinación de la corriente de falla en el punto de acoplamiento común se efectúa a partir de la relación entre la tensión secundaria sin carga, la tensión de cortocircuito y la potencia asignada del transformador.. Para la SED 02 los valores obtenidos son: $I_{cc1} = 276.12 \text{ A}$ e $I_{cc3} = 798.86 \text{ A}$, con una relación de cortocircuito de 0.0345.

Figura 37

Fluctuación del factor de potencia SED-2



Nota. Ref.: Elaboración Propia

3.7.8.1. Característica de onda de tensión SED 1 – 800 KVA

Con base en los datos de la tabla 23, es posible apreciar los resultados que adquieren las componentes armónicas de la figura 34.

La ilustración 30 exhibe la magnitud de los armónicos de tensión más destacados presentes en la mencionada subestación de distribución, evidenciando que las componentes armónicas quinta, séptima, undécima y decimotercera son las de mayor relevancia para esta carga.

3.7.8.2. Característica de onda de corriente SED-2

En lo referente al análisis de las corrientes de carácter armónico, se empleará como base de referencia el estándar IEEE Std-519, dada su aplicabilidad específica a las corrientes armónicas.

La figura 37 representa el valor de las componentes armónicas de corriente detectados en la subestación, destacándose particularmente el tercer, quinto y séptimo armónico como los más predominantes en esta instalación.

De cual realizaremos el análisis de cada componente armónica de corriente, conforme a los valores especificados en la Norma IEEE Std-519. La tabla que sigue permite visualizar los valores más significativos de los armónicos de corriente.

La expresión matemática para determinar la corriente de falla o cortocircuito es la que se presenta a continuación:

$$I_{cc} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_0 \cdot U_{cc}} \quad (3.16)$$

U_0 = Tensión del secundario en vacío [KV]

U_{cc} = Tensión de cortocircuito

S = Potencia del transformador [KVA]

R_{cc} = Relación de corto-circuito

$$I_{cc} = \frac{550 \text{ KVA}}{\sqrt{3} * 0.23 \text{ KV} \cdot 0.05}$$

$$I_{cc} = 276.12 \text{ A}$$

$$I_L = 798.86 \text{ A } (I_{max})$$

$$R_{cc} = \frac{I_{cc}}{I_L} = 0.0345$$

3.7.8.3. Variación del factor de potencia SED-2

En la figura subsiguiente, se puede apreciar cómo fluctúa el factor de potencia a causa de la existencia de componentes armónicas.

3.8.RESUMEN COMPARATIVO DE RESULTADOS — SED 01 y SED 02

La Tabla 24 presenta el resumen comparativo de los indicadores asociados a la calidad energética obtenidos en la simulación de ambas subestaciones, contrastados con los límites normativos de la IEEE 519-2014 y la NTCSE.

Tabla 24

Resumen comparativo de resultados de simulación — SED 01 y SED 02

Indicador	SED 01 (1,000 kVA)	SED 02 (800 kVA)	Límite IEEE 519	Límite NTCSE	Estado
THDV (%)	32.63%	31.79%	5%	8%	EXCEDE
THDI (%)	19.28%	18.97%	5%	8%	EXCEDE
Factor de Potencia	0.87	0.87	≥ 0.95	≥ 0.90	BAJO
Armónico predominante	5°, 7°, 11°, 13°	5°, 7°, 11°, 13°	—	—	—

Nota. Elaboración propia. Resultados obtenidos mediante simulación en MATLAB/Simulink.

Los resultados obtenidos confirman la Hipótesis Específica 1 planteada en el Capítulo I: la inserción de la carga de 1.8 MVA del Hospital de Quillabamba genera niveles de THDI del 19.28% (SED 01) y 18.97% (SED 02), superando en aproximadamente cuatro veces el límite del 5% según lo dispuesto en la norma IEEE 519-2014. Los niveles de THDV de 32.63% y 31.79% exceden el límite normativo en más de seis veces, representando un riesgo operativo crítico para la infraestructura eléctrica y los aparatos médicos conectados. Asimismo, el factor de potencia de 0.87 en ambas subestaciones es inferior al mínimo recomendado de 0.95, evidenciando las repercusiones ocasionadas por las cargas no lineales sobre el comportamiento reactivo del sistema.

Estos resultados justifican técnicamente la necesidad de implementar medidas de mitigación armónica, cuyo análisis y desarrollo se desarrollan en los Capítulos IV y V de este trabajo de investigación.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

4.0 Introducción

En este análisis armónico, nos adentraremos en el estudio de las distorsiones de la característica de onda de la corriente y la tensión en un sistema eléctrico. Para ello, se propone un sistema alternativo de solución que se representa en un diagrama eléctrico. Este diagrama nos permitirá visualizar los respectivos componentes del sistema y las conexiones entre ellos, lo que nos ayudará a comprender mejor el cómo se comportan las corrientes y tensiones en condiciones normales y en existencia de armónicos.

En el análisis armónico nos permitirá:

La solución de las distorsiones de armónicos mediante un banco de capacitores para aminorar la generación de distorsiones en la señal.

Este análisis resulta crucial a fin de preservar el desempeño seguro y eficiente del sistema eléctrico, ya que los armónicos provocan.

- Alterar las condiciones de calidad del sistema eléctrico, ocasionando un aumento de pérdidas en el sistema eléctrico.
- Alterar las Provocar un desgaste prematuro en los equipos eléctricos a causa de las corrientes armónicas.
- Generar interferencias en otros equipos sensibles a las distorsiones de la señal.

A través de este análisis, buscamos obtener una comprensión profunda del sistema eléctrico y encontrar soluciones para elevar su nivel de rendimiento y prolongar su durabilidad.

Las técnicas destinadas a disminuir la presencia o los efectos de las corrientes armónicas en los sistemas eléctricos pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Aumentar el número de pulsos en los rectificadores o modificar la configuración de las cargas para que operen como convertidores de mayor cantidad de pulsos.
- Aplicar técnicas de inyección activa de corrientes en el bus de corriente continua, con el propósito específico de contrarrestar las componentes armónicas presentes en la corriente consumida.
 - Acomodar rectificadores PWM.
 - Acomodar filtros pasivos.
 - Acomodar filtros activos.
 - Acomodar filtros híbridos

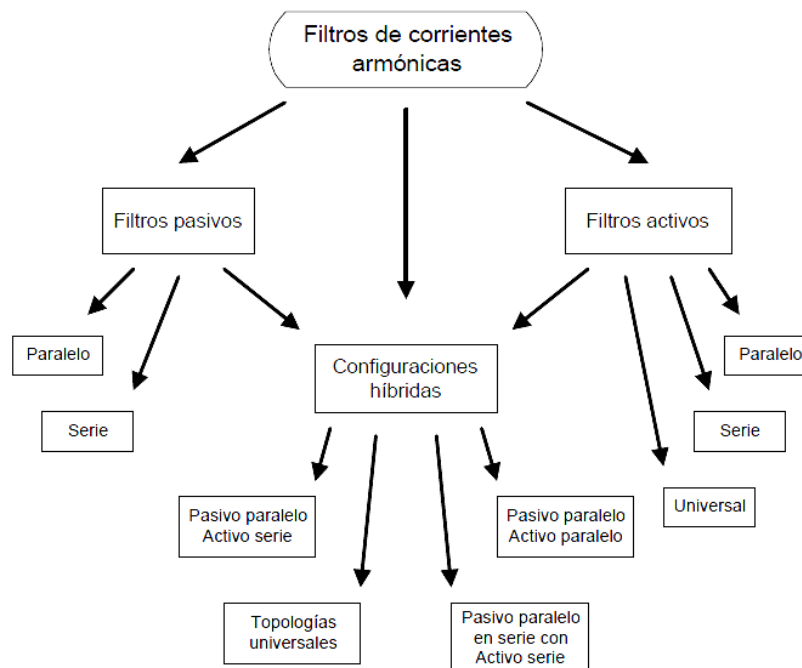
Las tres alternativas planteadas inicialmente requieren modificaciones en la arquitectura interna de los circuitos generadores de distorsión. Las últimas tres están dedicadas de una forma externa a solucionar el dicho problema, o limitar en el recorrido establecido al flujo de corriente armónica.

El presente capítulo desarrolla un análisis detallado de las alternativas fundamentadas en filtrado, presentando los criterios de diseño, el procedimiento de cálculo y la metodología de selección de cada configuración evaluada.

La figura 35 describe el esquema general de los métodos de filtrado de armónicos empleados en la actualidad.

Figura 38

Configuraciones actuales de sistemas de filtrado de corrientes armónicas.



Nota. Ref: google imagenes

Los filtros pasivos conllevan en este esquema componentes pasivos, como son condensadores, inductores y resistencias.

Los filtros activos conllevan topologías que desarrollan; esto fundamentados en estructuras de potencia que emplean técnicas PWM aplicadas a convertidores electrónicos.

La combinación de filtros activos y pasivos en configuraciones híbridas posibilita obtener mejores resultados en comparación con el uso independiente de cada uno.

Las soluciones híbridas integran ambas tecnologías en un mismo dispositivo, logrando un desempeño superior al que sería posible con cada una por separado, al combinar la robustez del filtrado pasivo con la adaptabilidad del activo.

4.1 Caso de estudio

Con el objetivo de llevar a cabo el estudio armónico, se construyó un modelo de circuito eléctrico equivalente que reproduce las condiciones reales del sistema bajo estudio. Para

modelar la generación de armónicos, se utilizaron fuentes de corriente ideales cuyos porcentajes de inyección por orden armónico se presentan en la Tabla 24. El modelo equivalente permite ejecutar un barrido de frecuencias y determinar los niveles de tensión nodal armónica presentes en el sistema, incorporando los valores de reactancias, impedancias y potencias expresados en valores por unidad (p.u.).

Tabla 24

Magnitudes de Inyección de Corriente Armónica según Tipo de Equipo

Orden Armónico	Transformador	Inversor	Horno de Arco
3	0.02	0.1	0.29
5	0.2	0.05	0.79
7	0.05	0.298	0.03
9	0.02	0.019	0.02

Nota. Ref.: [11].

4.2. FILTROS PASIVOS DE MAYOR APLICACIÓN

Dentro del conjunto de soluciones disponibles para el tratamiento de la distorsión armónica, los filtros pasivos ocupan un lugar destacado por su eficacia probada y su facilidad de implementación en redes trifásicas industriales y hospitalarias. El principio de operación de este sistema se fundamenta en la generación de rutas de muy baja impedancia ante determinadas frecuencias armónicas, de modo que las corrientes distorsionadas se desvían a través del filtro en lugar de circular por el sistema de potencia.

Un aspecto crítico en el diseño de estos dispositivos es que los armónicos de alta frecuencia tienden a fluir preferentemente hacia los bancos capacitivos implementados para optimizar el factor de potencia, generando sobrecorrientes que pueden dañar estos componentes. Para prevenir este fenómeno, se intercala una inductancia en serie con cada banco capacitivo, ajustando la frecuencia de resonancia resultante del conjunto L-C a un valor que no coincida con

ningún armónico del espectro de la carga. De esta manera se evita la amplificación de corrientes en la zona capacitiva del sistema de compensación.

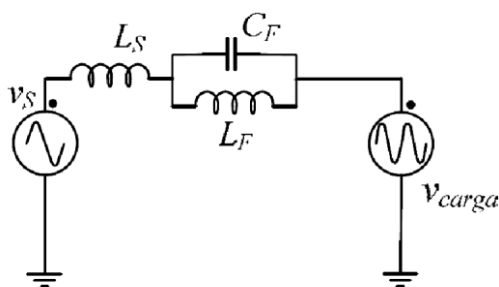
4.2.1. Tipos de filtros pasivos

4.2.1.1 Filtros pasivos en serie

Los filtros pasivos en serie son una solución efectiva para mitigar múltiples corrientes armónicas, pero deben diseñarse cuidadosamente para minimizar las pérdidas que generan a la frecuencia fundamental y aprovechar sus capacidades de reducción de armónicos múltiplo de 3. Entonces podemos decir que para tener una mejor calidad de energía sea una buena opción en sistemas trifásicos.

Figura 39

Filtro pasivo en serie.



Nota. Ref.: Elaboración Propia

Por lo tanto, los filtros pasivos pueden ser efectivos, obviamente en serie, para mitigar ciertas corrientes armónicas, su implementación sobrelleva riesgos de resonancia y distorsión de la tensión que limitan su aplicabilidad, principalmente en sistemas con cargas mixtas (perturbadoras y sensibles).

Esto resalta la importancia de analizar cuidadosamente la red de suministro eléctrico, sus condiciones de funcionamiento y las cargas asociadas antes de seleccionar la solución de filtrado más adecuada. En algunos casos, pueden ser más apropiados los filtros activos o híbridos esto para topa la calidad de energía y sus problemas de manera más efectiva.

4.2.1.2 Filtro pasivo en derivación

Los filtros pasivos de armónicos y compensación de reactiva se manejan con el objetivo de minimizar los impactos generados por las corrientes armónicas en las redes eléctricas de potencia. Estos filtros se componen de elementos pasivos como inductores y capacitores, y se clasifican en dos tipos principales:

Filtros sintonizados:

Consisten en un circuito LC serie que presenta baja impedancia a una frecuencia de resonancia específica, correspondiente a un armónico particular.

Al conectarse en paralelo con la carga, desvían las corrientes armónicas hacia el filtro, evitando que circulen por la red.

La eficacia del filtrado depende de la impedancia de la red, lo cual es una desventaja.

Filtros de amortiguamiento:

Tienen una respuesta en frecuencia más amplia que los filtros sintonizados.

Están diseñados para presentar una impedancia relativamente baja en un rango de frecuencias que incluye varios armónicos.

Absorben y disipan las corrientes armónicas, evitando que se propaguen por la red.

Su eficacia es menos dependiente de la impedancia de la red.

Además de la función de filtrado de armónicos, estos filtros pasivos también pueden utilizarse para compensar parcialmente la potencia reactiva del sistema. Al conectarse en paralelo, los capacitores del filtro inyectan potencia reactiva, mejorando el factor de potencia.

Por lo que su diseño y respectiva selección de dichos filtros se basa en las necesidades de compensación de la potencia reactiva presente en el sistema y la magnitud de la batería de capacitores requerida.

Existen diferentes configuraciones para estos filtros son los siguientes:

4.2.1.3. Filtros sintonizados:

Está en sintonía con la dicha frecuencia que se necesita eliminar a través de la reactancia como los inductivos y capacitivos; a continuación, entonces los dichos filtros pasivos sintonizados son:

I. Filtro de una sintonía:

- Este filtro se sintoniza a una frecuencia armónica específica.
- Diseñado para una sola frecuencia armónica, presenta impedancia prácticamente nula a esa frecuencia gracias a la cancelación mutua de las reactancias inductiva y capacitiva.

- La impedancia mínima del filtro es similar al valor de la resistencia del inductor.

- Es una configuración simple y efectiva para eliminar un armónico en particular.

II. Filtro de doble sintonía:

- Este filtro de sintonía consiste en dos de ellos conectados en paralelo.

- Equivale funcionalmente a dos filtros de sintonía única en paralelo, pero con una topología más compacta que reduce el número total de inductores necesarios.

- La ventaja es que se reduce el número de inductores requeridos, lo cual es beneficioso para su aplicación en sistema de alta tensión, ya que estas tienen altas tensiones de impulso.

III. Filtro sintonizado automáticamente:

- Este tipo de filtro ajusta automáticamente su frecuencia de sintonía para reducir la desviación máxima de la frecuencia.

- El ajuste se realiza modificando la capacitancia o la inductancia mediante elementos conmutados controlados electrónicamente.

- Hace la medición el sistema encargado de regular la potencia reactiva asociada a frecuencias armónicas y usa esa información para ajustar los valores inductivos o capacitivos.

- Este método es utilizado comúnmente en convertidores de alta tensión de corriente continua. En resumen, cada uno de estos tipos de filtros presenta propiedades y beneficios particulares que deben tomarse en cuenta durante el diseño un sistema de compensación de armónicos y reactiva.

4.2.1.4 Filtros de amortiguamiento

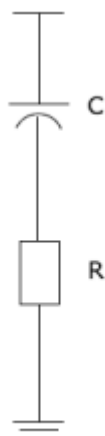
Son muy robustos esta característica hace que mejore las fluctuaciones térmicas, desviaciones de frecuencia y pérdidas de sintonía, son menos sensible, pero producen una frecuencia en resonancia esto cuando el sistema interactúa en paralelo; también hay grandes pérdidas que posee; comúnmente estos problemas mencionados precedentemente son muy pocos usados.

En seguida, los filtros de amortiguamiento son:

I. De primer Orden: Se necesita que sea de una magnitud grande el capacitor con una resistencia y tiene significativamente pérdidas que generan a la frecuencia fundamental.

Figura 40

Componentes para filtros de Primer Orden

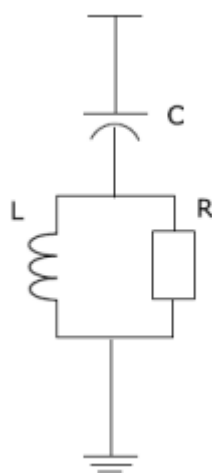


Nota. Ref.: Elaboración Propia

II. De segundo orden: la componente armónica es reducida en la frecuencia de sintonización y, además, las otras de mayor frecuencia esto debido a la baja impedancia, todo por el producto de la característica de amortiguación de la resistencia en paralelo.

Figura 41

Componentes para filtros de Segundo Orden

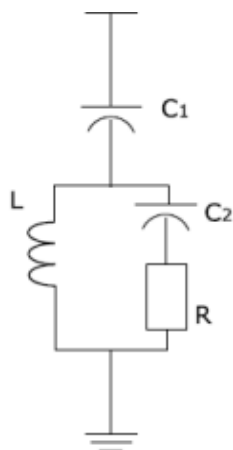


Nota. Ref.: Elaboración Propia

III. De tercer Orden: La adición de un condensador auxiliar C1 eleva la impedancia del filtro a la frecuencia fundamental, reduciendo notablemente las pérdidas respecto a los órdenes anteriores.

Figura 42

Componentes para filtros de Tercer Orden

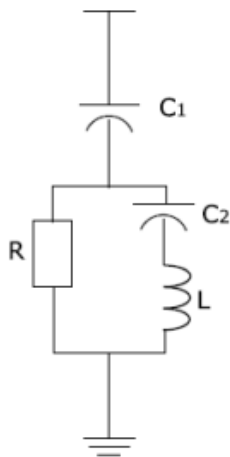


Nota. Ref.: Elaboración Propia

IV. Tipo C: Configuración especializada capaz de atenuar simultáneamente varias frecuencias armónicas, aunque presenta mayor sensibilidad ante desviaciones de la frecuencia nominal del sistema.

Figura 43

Componentes para filtros de múltiples frecuencias



Nota. Ref.: Elaboración Propia

La selección del tipo de filtro, su configuración y orden dependerá del análisis de las características armónicas del sistema, los armónicos a mitigar, los requerimientos de compensación de reactiva y otros factores del diseño del sistema eléctrico.

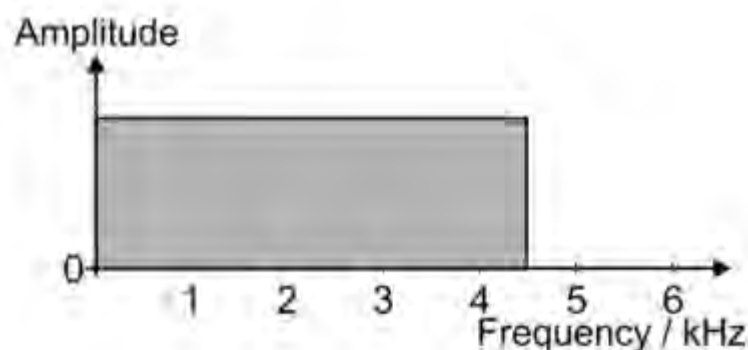
II. Con referencia a los diferentes tipos de filtros obtenidos de características y su funcionamiento, los filtros con aplicación más utilizadas, debemos tener en cuenta con claridad el tipo de sintonizado que posee, la configuración y el orden donde se va a instaurar, entonces se tiene tres categorías:

I. Filtro pasa bajos:

Las componentes de menor frecuencia se propagan sin afectación significativa, en contraste con las señales de alta frecuencia, que son bloqueadas, como se muestra en el diagrama siguiente su espectro de frecuencia, se dibuja para un Filtro pasa bajos (LPF) que las frecuencias superiores a 4.5 kHz son bloqueadas. Por lo que las frecuencias por debajo de 4.5 kHz, todas ellas pasan sin ningún cambio, por lo que posee dicha particularidad, y las frecuencias más altas son bloqueadas, así entonces no aparece ningún rastro de ellas en las salidas.

Figura 44

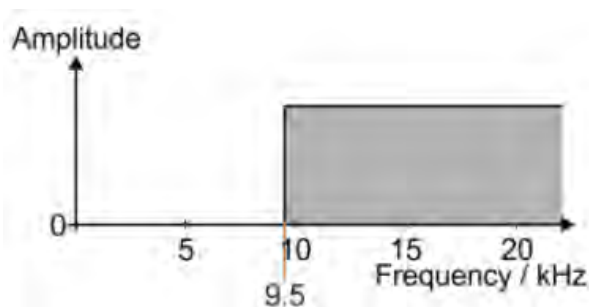
Filtros Pasa Bajos



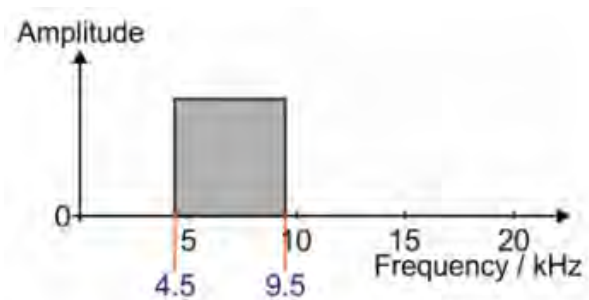
Nota. Ref.: Elaboración Propia

III. Filtro de paso alto:

Las altas frecuencias permiten que pasen sin ser afectados, pero las señales de alta frecuencia son bloqueadas. opera de manera inversa al anterior, bloqueando las frecuencias inferiores al límite de corte y dejando pasar libremente las componentes de alta frecuencia.

Figura 45*Filtros Paso alto**Nota. Ref.: Elaboración Propia***IV. Filtro de paso de banda:**

Lo característico de este tipo de filtro es que permite un cierto rango de banda sin ser afectados, entonces serán bloqueadas cualquier señal que posea con frecuencia más bajo o más alta por el respectivo filtro, por lo que únicamente permite el paso de todas señales con frecuencias comprendidas entre 4,5 kHz y 9,5 kHz sin presentar alteraciones delimita una ventana de frecuencias dentro de la cual las señales se transmiten sin modificación. Las componentes fuera de ese intervalo menores de 4,5 kHz o más de 9,5 kHz tanto las inferiores como las superiores al rango definido son suprimidas por el filtro.

Figura 46*Filtros Paso Banda**Nota. Ref.: Elaboración Propia*

4.3 VALIDAR LOS FILTROS PASIVOS DE MAYOR UTILIZACIÓN

Los filtros pasivos trifásicos actúan sobre las componentes armónicas de corriente asociadas al funcionamiento de cargas no lineales del sistema, ofreciendo trayectorias de muy baja impedancia que desvían estas componentes antes de que puedan propagarse hacia la red de distribución aguas arriba. Como beneficio adicional, los elementos capacitivos del filtro inyectan potencia reactiva inductiva de compensación, mejorando el factor de potencia visto desde el punto de acoplamiento común.

A continuación, por su mayor aplicación de estos filtros pasivos y por su buen funcionamiento, dando soluciones a los problemas de distorsión armónica, es menester basarnos para la simulación en Matlab.

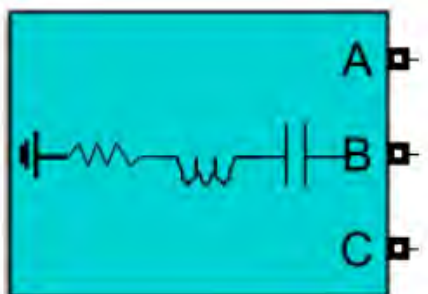
Estos filtros pasivos de mayor aplicación se proceden a realizar los cálculos de cada uno de sus parámetros, estudiaremos cada uno de los filtros pasivos que existen en Matlab a continuación:

4.3.1 FILTRO DE PASO DE BANDA DE UNA SINTONÍA

Este filtro pasivo origina una resonancia L C y la impedancia del circuito de filtrado disminuye hasta alcanzar un valor mínimo, el cual es el igual al de la resistencia.

Figura 47

Filtro paso de banda de una sintonía trifásico modelo en simulink de MATLAB



Nota. Ref.: Elaboración Propia

Fig. Filtro paso de banda de una sintonía trifásico modelo en simulink de MATLAB

Dónde:

-R es la resistencia.

-XL representa la reactancia inductiva asociada a la frecuencia resonante.

$$X_L = 2\pi f_1 L \quad (5)$$

-XC es la reactancia capacitiva a la frecuencia de resonancia.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f_1 C} \quad (6)$$

Mediante esta ecuación se define la frecuencia sintonizada del filtro:

$$f_1 = n f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (7)$$

Se calcula para la frecuencia de este filtro para la impedancia, como:

$$Z_n = R + j \left(n \cdot X_L - \frac{X_C}{n} \right) \quad (8)$$

Cuando ocurre el valor mínimo de impedancia a la frecuencia de sintonía, encajan con la frecuencia de sintonía del sistema de filtrado, entonces:

$$n = \sqrt{X_C / X_L} \quad (9)$$

Para hallar X_C y X_L , se obtienen a partir de la capacidad reactiva nominal asociada al condensador:

$$X_C = \frac{V_n^2}{Q_C n} \quad (10)$$

$$X_L = \frac{V_C}{n^2} \quad (11)$$

A fin de disminuir los armónicos de bajo orden mediante un factor de calidad elevado, se emplean los filtros de orden bajo, se define su potencia reactiva como:

$$Q = n \cdot \frac{X_L}{R} = \frac{X_C}{n \cdot R} \quad (12)$$

Para determinar la resistencia a través de la obtención del valor de potencia reactiva es de la siguiente manera:

$$R = n \cdot \frac{X_L}{Q} \quad (13)$$

Para calcular la frecuencia fundamental a través de la impedancia de este filtro, es de la siguiente manera:

$$Z_f = R + j(X_L - X_C) \quad (14)$$

La contribución de potencia reactiva del filtro en la frecuencia fundamental puede expresarse como:

$$Q_f \approx \frac{Vn^2}{X_L - X_C} = \frac{Vn^2}{X_C \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)} = Q_{cn} \frac{n^2}{n^2 - 1} \quad (15)$$

4.3.1 FILTRO DE PASO DE BANDA DE DOBLE SINTONIZADO

El Esta configuración combina un circuito LC serie con un circuito RCL en paralelo, donde cada rama se sintoniza a una frecuencia diferente (f_s y f_p). Ambas frecuencias (f_1 y f_2) de sintonía se seleccionan en las proximidades de la media geométrica entre los dos armónicos que se desea mitigar:

$$f_m = \sqrt{f_1 \cdot f_2} = \sqrt{f_p \cdot f_s} \quad (16)$$

Donde:

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (17)$$

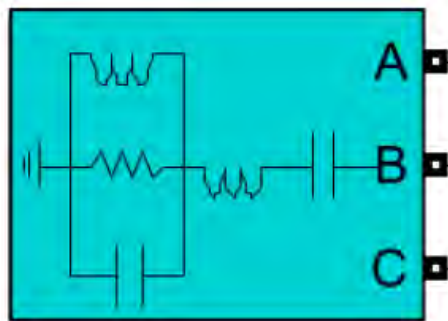
$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C_2}} \quad (18)$$

El parámetro de calidad asociado al filtro se define mediante el denominado factor de calidad de los elementos R y L en paralelo a la frecuencia geométrica media:

$$Q = \frac{R}{2\pi f_m L_2} \quad (19)$$

Figura 48

Filtro paso de banda de doble sintonizado trifásico modelo en simulink de MATLAB



Nota. Ref.: Elaboración Propia

Las reactancias del circuito ($X_{L1}, X_{C1}, X_{L2}, X_{C2}$) se calculan mediante las expresiones:

$$X_{ca} = X_{cb} = 2 \cdot X_{c1} \quad (20)$$

Se puede obtener:

$$X_{La} = \frac{X_{Ca}}{n_a^2} \quad (21)$$

$$X_{Lb} = \frac{X_{Cb}}{n_2^2} \quad (22)$$

Las reactancias inductivas, capacitivas, se calculan mediante las expresiones:

$$X_{C1} = \frac{X_{ca} \cdot X_{cb}}{X_{ca} + X_{cb}} \quad (23)$$

$$X_{L1} = \frac{X_{La} \cdot X_{Lb}}{X_{La} + X_{Lb}} \quad (24)$$

$$X_{C2} = \frac{(X_{ca} \cdot X_{cb} - X_{La} \cdot X_{Lb})^2}{(X_{ca} + X_{cb})(X_{La} + X_{Lb})^2} \quad (25)$$

$$X_{L2} = \frac{(X_{La} \cdot X_{Cb} - X_{Lb} \cdot X_{Ca})^2}{(X_{ca} + X_{cb})^2(X_{La} + X_{Lb})} \quad (26)$$

La resistencia de amortiguamiento R se determina con:

$$R = \frac{1}{2}(n_a + n_b)X_{L2} \cdot Q \quad (27)$$

La potencia reactiva Q1 aportada a la frecuencia fundamental se obtiene de:

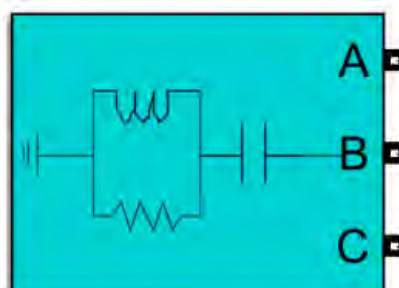
$$X_{ca} = X_{cb} = \frac{Vn^2}{Q_1} \left(\frac{n_a^2}{n_a^2 - 1} + \frac{n_b^2}{n_b^2 - 1} \right) \quad (28)$$

4.3.2 FILTRO DE PASO ALTO DE SEGUNDO ORDEN

Este filtro exhibe una impedancia cuasi-plana para los armónicos de orden superior, lo que le permite derivar eficazmente todas las componentes armónicas cuya frecuencia supere la frecuencia de corte establecida, sin requerir una sintonización precisa a cada armónico individual.

Figura 49

Filtro de paso alto de segundo orden trifásico modelo en simulink de MATLAB



Nota. Ref.: Elaboración Propia

La impedancia de este filtro se expresa como:

$$Z = \frac{R(jX_L.n)}{R+jX_L.n} - \frac{jX_C}{n} \quad (29)$$

El valor mínimo de impedancia se determina anulando la derivada del módulo al cuadrado de la impedancia respecto a la frecuencia normalizada n:

$$\frac{d}{dn} |Z(R, X_L, X_C, n)|^2 \quad (30)$$

El factor de calidad Q se define para esta topología como:

$$Q = n \cdot X_L \cdot R \quad (31)$$

Entonces obtenemos que:

$$2 \frac{(R^4 \cdot X_L^2 + 2 \cdot X_C \cdot R^2 \cdot X_L^3 - X_C^2 \cdot X_L^4)n^4 - 2(X_C^2 \cdot R^2 \cdot X_L^2)n^2 - X_C^2 \cdot R^4}{(R^2 + n^2 X_L^2)^2 \cdot n^3} = 0$$

Sustituyendo X_L :

$$X_L = \frac{Q}{n \cdot R} \quad (33)$$

La resistencia necesaria resulta ser la primera raíz real positiva del polinomio de segundo grado:

$$R = \frac{X_C}{(n \cdot Q) \left(\sqrt{(1+Q^2)^2 + 1} - 1 \right)} \quad (34)$$

4.3.3 FILTRO DE PASO ALTO (TIPO C)

La topología tipo C se distingue de otras configuraciones de paso alto por sus menores pérdidas a la frecuencia fundamental. Esto se logra disponiendo el inductor L2 en paralelo con el condensador C2, de forma que el circuito L2-C2 entra en resonancia a 60 Hz, cortocircuitando efectivamente la resistencia a esa frecuencia y haciendo que el filtro se comporte como un condensador puro para la componente fundamental:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}} \quad (35)$$

El valor de la resistencia de amortiguación R se encuentra determinado por el factor de calidad del sistema mediante:

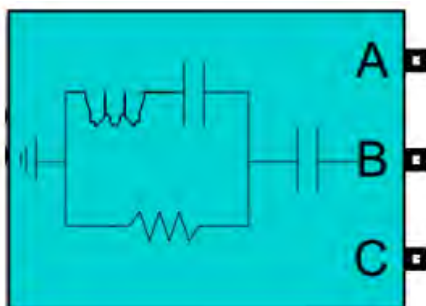
$$R = \frac{Q_f V^2}{n Q_r} \quad (36)$$

La impedancia del filtro a la frecuencia fundamental queda expresada como:

$$Z = \frac{jR \left(X_L \cdot n - \frac{X_{C2}}{n} \right)}{R + j \left(X_L \cdot n - \frac{X_{C2}}{n} \right)} - \frac{jX_{C1}}{n} \quad (37)$$

Figura 50

Filtro de paso alto tipo C trifásico modelo en simulink de MATLAB



Nota. Ref.: Elaboración Propia

La condición de resonancia entre X_L y X_{C2} a la frecuencia fundamental se expresa como:

$$X_L = X_{C2} \quad (38)$$

La resistencia R se determina como la primera raíz real y positiva del polinomio de segundo grado resultante:

$$R = \frac{X_c}{n^3(n^4 - 1)Q} \left((n^2(Q^2 + 2) - n^4 - 1) + \dots \right) + \sqrt{n^{12}(Q^4 + 2Q^2 + 2) - 2n^{10}(3Q^2 + 4) + n^8(4Q^2 + 11) + 2n^6(Q^2 - 2) - 2n^4(Q^2 + 2) + 4n^2 - 1} \quad (39)$$

Tabla 25

Valor de los componentes del filtro según su configuración.

	Single-Tuned	Double-Tuned	Second-Order, High-Pass	C-type, High-Pass
R	$\frac{1}{2\pi f_0 C Q_f}$	$2\pi f_m L_2 Q_f$	$2\pi m f_0 L Q_f$	$\frac{Q_f V^2}{n Q_r}$
L	$\frac{1}{C(2\pi m f_0)^2}$	$\frac{1}{C(2\pi f_s)^2}$	$\frac{1}{C(2\pi m f_0)^2}$	None
C	$\frac{Q_r}{2\pi f_0 V^2} * \frac{n^2 - 1}{n^2}$	$\frac{Q_r}{2\pi f_0 V^2} * \frac{\frac{f_0^4}{f_s^2} - f_0^2 \frac{f_1^2 + f_2^2}{f_s^2} + f_p^2}{f_p^2 - f_0^2}$	$\frac{Q_r}{2\pi f_0 V^2} * \frac{n^2 - 1}{n^2}$	$\frac{Q_r}{2\pi f_0 V^2}$
L ₂	None	$\frac{1}{C_2(2\pi f_p)^2}$	None	$\frac{1}{C_2(2\pi m f_0)^2}$
C ₂	None	$C \left(\frac{f_1^2 + f_2^2 - f_p^2}{f_s^2} - 1 \right)^{-1}$	None	$C(n^2 - 1)$

Nota. Elaboración propia.

**PROPUESTA DEL SISTEMA DE COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA
Y MEJORA DEL FACTOR DE POTENCIA**

BANCO DE CONDENSADORES – FILTROS PASIVOS

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

- Tensión de servicio : 400 V
- Tensión máxima de trabajo : 470 V
- Tensión nominal del sistema : 380/220 V
- Frecuencia nominal del sistema : 60 Hz
- Número de fases : 3 (3F)
- Conexión del banco : Delta.
- Potencia reactiva nominal: : 275 kVAR
225 kVAR
- Pasos : 25 + 2x50 +2x75 kVAR
: 25 + 50 +2x75 KVAR
- Nivel de aislamiento : 0.6 kV.
- Tolerancias de operación y de fabricación
- Sobrevoltaje continua : 110 % del valor nominal de tensión durante
8 horas diarias.
- Sobrecarga continua :30% de la corriente nominal
- Potencia reactiva máxima de operación : hasta 135% de la potencia
nominal (condiciones normales de operación)
- Tolerancia en la capacitancia : de -5 a +15% de la capacidad
nominal.
- Rango de temperatura ambiente : - 5 °C a +40°C).

Figura 51

(Referencial) Banco de condensadores en gabinete auto soportado.



Nota. Elaboración Propia.

ELEMENTOS CAPACITORES

- El dieléctrico de los capacitores será de polipropileno metalizado con tecnología de autoregeneración ("self-healing"), garantizando el aislamiento seco sin necesidad de líquido dieléctrico.
- Cada unidad capacitadora incorporará dispositivos de descarga permanentemente conectados en bornes, capaces de reducir la tensión residual a valores no superiores a 50 V dentro del primer minuto posterior a la desconexión.
- Las pérdidas dieléctricas deben mantenerse por debajo de 0.5 W/kVAR.
- Cada unidad incorporará dispositivos de protección interna: fusible de alta capacidad de ruptura (≥ 100 kA) y válvula de seguridad ante sobrepresión, ambos integrados en la unidad capacitadora. Cada elemento mencionado deben estar integrado en todas las unidades capacitivas, proporcionando protección total frente a fallas de baja y alta corriente presentes en el sistema.
- Los pasos de conmutación estarán protegidos con fusibles de capacidad interruptiva mínima de 100 kA, con margen del 65% sobre la corriente nominal del paso.

GABINETE

El conjunto de capacitores y elementos de control se alojará en un gabinete metálico dimensionado para las características nominales del banco, que responda a sus características (capacidad y tensión nominales).

Características

- Control de la temperatura y humedad
- Debe tener ventilación por convección natural.
- En situaciones donde sea necesaria la ventilación forzada, se deberá disponer de un sistema automatizado completo que incorpore ventiladores, sensores y demás dispositivos asociados. Bajo condiciones estándar, el banco de capacitores operará sin ventilación adicional. Sin embargo, al sobrepasarse los valores nominales de operación, el sistema de ventilación deberá entrar en funcionamiento para asegurar la protección del conjunto.
- Calentador de espacio termostático en la parte inferior del gabinete, para mantener la temperatura interior por encima del punto de rocío; tensión de alimentación 220 VAC.
- Diferencial térmico máximo entre interior del gabinete y temperatura ambiente exterior: 10 °C.
- El equipo deberá contar con ventilación natural de aire,

Conexión a tierra

- Dos puntos de conexión a tierra para gabinete autosoportado, compatibles con conductores de 33.62 mm² (2 AWG) hasta 67.43 mm² (2/0 AWG).
- Sujetería de acero con tratamiento Zinc-Cromo tropicalizado, con resistencia certificada en ensayo de cámara salina (96 horas).

Cables de alimentación

- La capacidad admisible de conducción de corriente debe alcanzar como mínimo el 135 % de la corriente nominal del banco capacitivo.
- El fabricante deberá indicar los calibres mínimos requeridos de conductor recomendados según la potencia y nivel de tensión del banco.
- Terminales de conexión de acceso frontal sin necesidad de ingresar al interior del gabinete.

Dispositivos de protección y aparente

- Interruptor termomagnético principal
 - o Corriente nominal mínima: 135% de la corriente del banco; tipo caja moldeada.
 - o Montaje integrado en el gabinete, con accionamiento desde el frente del equipo.
 - o Tensión nominal concordante con la del banco de capacitores.
 - o Mecanismo de disparo libre con cierre y apertura rápidos.
 - o Palanca de maniobra tipo lengüeta accesible desde el panel frontal.
- Sistema de control automático
 - o Sistema maestro de regulación del factor de potencia (varmetro) con relevadores temporizados y dispositivos auxiliares.
 - o Modo de operación seleccionable: manual / automático.
 - o Visualización de contenido armónico a través de un display.
- Transformador de corriente
 - o Relación de transformación para secundario de 5 A; bornera cortocircuitable en el panel de control.
- Disyuntores
 - o El calibre será seleccionado de modo que sea posible establecer el ajuste correspondiente de la protección térmica a

- Corriente de ajuste térmico: $1.36 \times I_n$ (equipos CLASIC) / $1.5 \times I_n$ (equipos CONFORT)

Según la expresión $I_n = Q_c / (U_n \times \sqrt{3})$, el término I_n representa la corriente nominal asociada al valor de U_n .

Ajuste magnético que permita el paso de transitorios de cierre de hasta $19 \times I_n$.

- Fusibles

Se usará fusibles tipo NH-00 de características:

- Calibre: $1.4 \times I_n$ (equipos CLASIC) / $1.6 \times I_n$ (equipos CONFORT)

Equipo de compensación automática

Compuesto de:

- Regulador de potencia reactiva con 6 pasos de conmutación
- Contactores de potencia calibrados para operar a $1.3 \times I_n$, utilizando contactos de cierre adelantado y resistencias asociadas de preinserción para limitar las corrientes de conexión a $60 \times I_n$.
- Condensadores (capacitores) de acuerdo con las especificaciones indicadas

Funciones complementarias

Se considerará:

- Medición de corriente total de la instalación mediante transformador de corriente dedicado.
- Medición de tensión de alimentación
- Alimentación del circuito de control: 230 VAC / 12 VDC.

Placa de datos

El banco llevará una placa de características técnicas permanente fabricada en acero con propiedades anticorrosivas o material inoxidable equivalente, con caracteres grabados en relieve de 5 mm de altura en idioma español. Se rechazarán placas adheridas o de tipo calcomanía.

Datos mínimos que debe contener la placa:

- Razón social del fabricante y nombre del producto.
- Modelo, referencia de catálogo y número de serie con fecha de fabricación.
- Potencia reactiva nominal (kVAR), número de fases y tipo de conexión.
- Tensión nominal (V), corriente nominal (A) y frecuencia nominal (Hz)
- Nivel básico de aislamiento al impulso (kV) y tipo de dieléctrico.
- Mecanismo interno de descarga, número de pasos y kVAR por paso
- Tipo de conexión.
- Tiempo mínimo entre desconexión y reconexión
- Peso, en kg.
- Altitud de operación máxima.
- Código de identificación del equipo con caracteres de 2 cm.

CAPÍTULO V

DESARROLLO DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN

5.0 APLICACIÓN A SISTEMAS DE PRUEBA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN

SECUNDARIA

5.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

Con el propósito de optimizar el funcionamiento del sistema eléctrico del Hospital de Quillabamba y neutralizar las consecuencias negativas de las corrientes armónicas sobre los equipos e instalaciones, el presente capítulo desarrolla un estudio detallado de las componentes armónicas que son incorporadas al sistema por cargas no lineales en la red de baja tensión. Para cuantificar estos efectos se recurre a la simulación computacional en MATLAB/Simulink, herramienta que permite determinar con precisión los índices de distorsión armónica predominantes en la corriente. Adicionalmente, se evalúa la capacidad del filtro pasivo diseñado para corregir la forma de onda de corriente, verificando el cumplimiento de los límites normativos y la mejora obtenida en la calidad de la energía suministrada.

5.2 APLICACIÓN DEL FILTRO A CASO CONCRETO

La construcción del modelo de simulación requiere definir con precisión cada uno de sus componentes constitutivos: la representación de la carga no lineal generadora de distorsión y el circuito del filtro pasivo de compensación. El modelo se parametriza con datos reales extraídos del proyecto del hospital, incorporando los transformadores de distribución y el cuadro de cargas completo como base para reproducir fielmente la distorsión de corriente que se produce en la instalación.

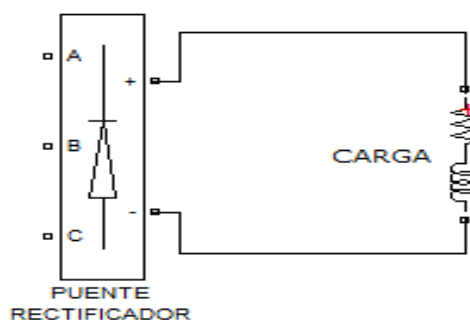
5.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA

El dimensionamiento correcto de un filtro pasivo exige conocer con precisión el perfil armónico de la corriente que se pretende compensar, lo que implica caracterizar adecuadamente el tipo de carga o el patrón de consumo de corriente asociado. El modelo de simulación se

estructura sobre un esquema que integra una carga que presenta un considerable contenido armónico y un sistema de filtrado pasivo correspondiente. Como elemento representativo de las cargas no lineales del hospital se emplea un rectificador trifásico controlado de tipo puente, conectado a una carga equivalente en paralelo, cuyo comportamiento reproduce con fidelidad el espectro armónico típico de los equipos electromédicos instalados.

Figura 52

Puente rectificador trifásico controlado con una carga equivalente



Nota. Elaboración Propia

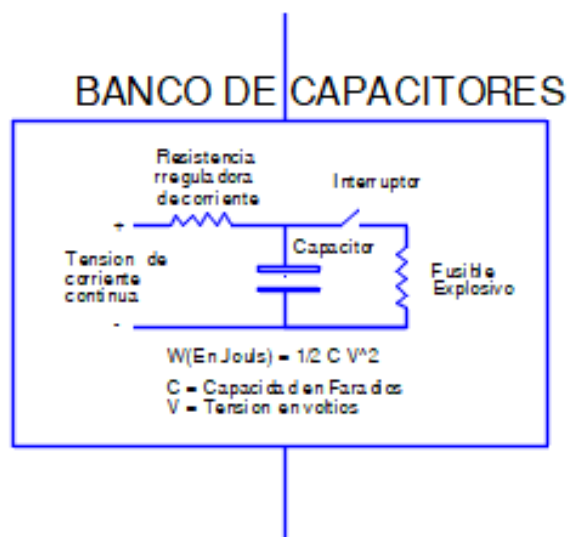
Tal como puede observarse en la Figura 52, el modelo de carga consta de un rectificador trifásico tipo puente conectado a una carga equivalente R-L dispuesta en paralelo con el rectificador, configuración que genera el espectro armónico característico de los sistemas electromédicos hospitalarios.

5.4 DIAGRAMA EQUIVALENTE DEL FILTRO Y LA RED ELÉCTRICA

La ilustración 50 muestra el modelo eléctrico equivalente asociado a la red eléctrica y al filtro pasivo que se utilizará en la simulación para este trabajo.

Figura 53

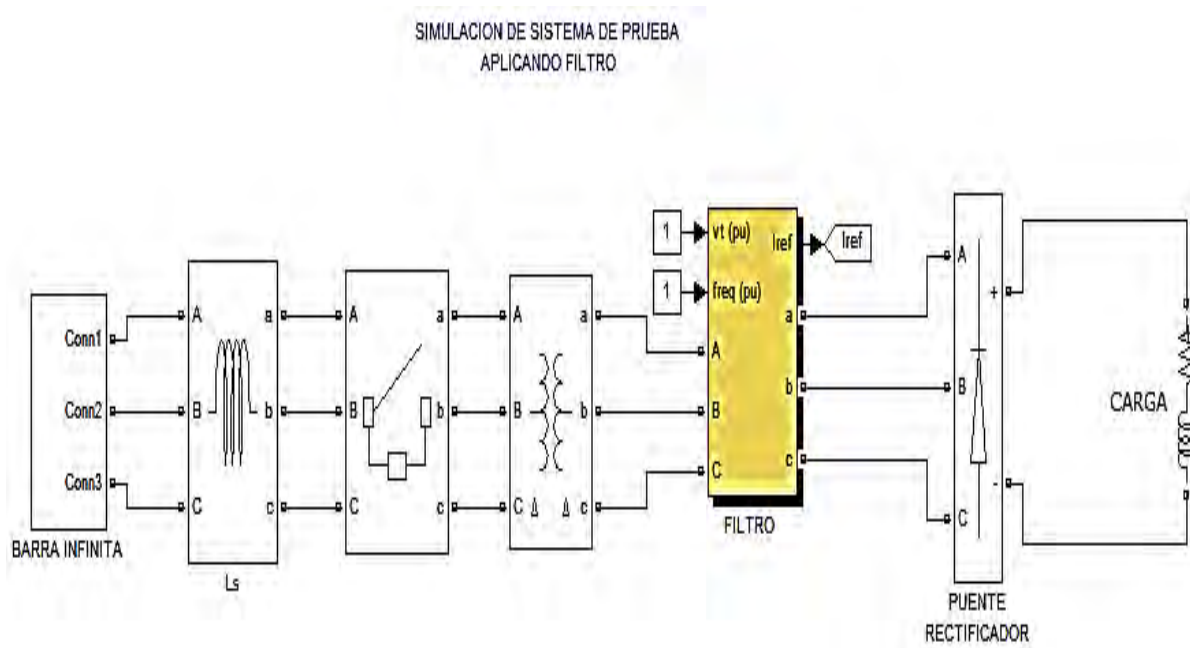
Circuito equivalente del Banco de Capacitores,



Nota. Elaboración Propia

Figura 54

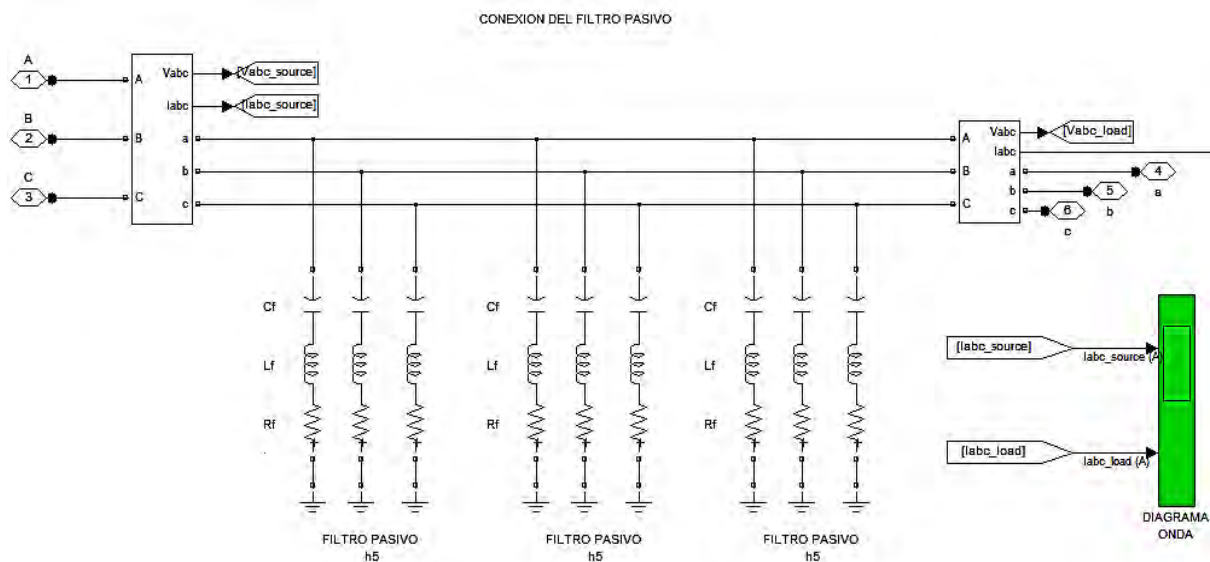
Circuito equivalente de la red y el filtro, Matlab Simulink



Nota. Elaboración Propia

Figura 55

Configuración interna y conexión de los filtros empleados en la mitigación de corrientes armónicas, modelo Matlab Simulink



Nota. Elaboración Propio

5.5 SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS COMPONENTES ARMÓNICAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSION DEL HOSPITAL DE QUILLABAMBA – LA CONVENCION – CUSCO.

El filtro pasivo implementado tiene como objetivo primordial atenuar las componentes armónicas de corriente comprendidas hasta el armónico de orden 20 (equivalente a 1200 Hz), reduciendo su magnitud hasta los valores más bajos que la topología del filtro permita alcanzar. La simulación se desarrolla íntegramente en MATLAB/Simulink, empleando como parámetros de entrada el consumo energético promedio registrado en cada subestación de distribución analizada.

5.6 SIMULACIÓN EN SISTEMA DE PRUEBA SED 0010823

Los parámetros del sistema eléctrico a compensar, tomando en cuenta los valores de C_f , L_f y R_f calculados según las ecuaciones mostradas del capítulo IV, se obtuvieron de la Tabla 16 y se utilizaron en la simulación del sistema de pruebas.

Tabla 26*Parámetros de la carga SED 01*

Fuente de circuito	Tensión	10./0.48- 0.22kV
Carga	Potencia activa	0.9 MW
	Potencia reactiva	0.436 MVAR

Nota. Fuente: Elaboración Propia**CÁLCULO DE PARÁMETROS R, L, C PARA LA 5ta ARMÓNICA**

$$X_c = \frac{1}{wC} = \frac{|V|^2}{Q_c} = \frac{480^2}{11.52 \times 10^3} = 20$$

$$C_5 = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_c} = \frac{1}{2 \times \pi \times 60 \times 20} = 1.326 \times 10^{-4} \text{f}$$

$$C_5 = 1.326 \times 10^{-4} \text{f}$$

$$C_5 = \mathbf{13.26 \mu\text{f}}$$

$$L_5 = \left[\frac{1}{2 \times \pi \times f \times h \times \sqrt{C_f}} \right]^2 = \left[\frac{1}{2 \times \pi \times 60 \times 5 \times \sqrt{1.326 \times 10^{-4}}} \right]^2$$

$$L_5 = 0.2124 \times 10^{-4} \text{H}$$

$$L_5 = \mathbf{2.124 \text{mH}}$$

$$X_{Lh} = w_h \times L_f = 2 \times \pi \times 60 \times 5 \times 0.2124 \times 10^{-4} \Omega$$

$$X_{Lh} = 0.040 \Omega$$

$$R_5 = \frac{X_{Lh}}{Q} = \frac{0.04}{20} = \mathbf{0.002 \Omega}$$

CÁLCULO DE PARÁMETROS R, L, C PARA LA 7ma ARMÓNICA

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{|V|^2}{Q_c} = \frac{480^2}{5.86 \times 10^3} = 39.317$$

$$C_7 = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_c} = \frac{1}{2 \times \pi \times 60 \times 39.317}$$

$$C_7 = 67.5 \times 10^{-4} \text{f}$$

$$C_7 = 675 \mu\text{f}$$

$$L_7 = \left[\frac{1}{2 \times \pi \times f \times h \times \sqrt{C_f}} \right]^2 = \left[\frac{1}{2 \times \pi \times 60 \times 7 \times \sqrt{67.5 \times 10^{-4}}} \right]^2$$

$$L_7 = 21.295 \times 10^{-4} \text{H}$$

$$L_7 = 212.95 \text{mH}$$

$$X_{Lh} = \omega_h \times L_f = 2 \times \pi \times 60 \times 7 \times 21.295 \times 10^{-4} \Omega$$

$$X_{Lh} = 5.616 \Omega$$

$$R_7 = \frac{X_{Lh}}{Q} = \frac{5.616}{20} = 0.2808 \Omega$$

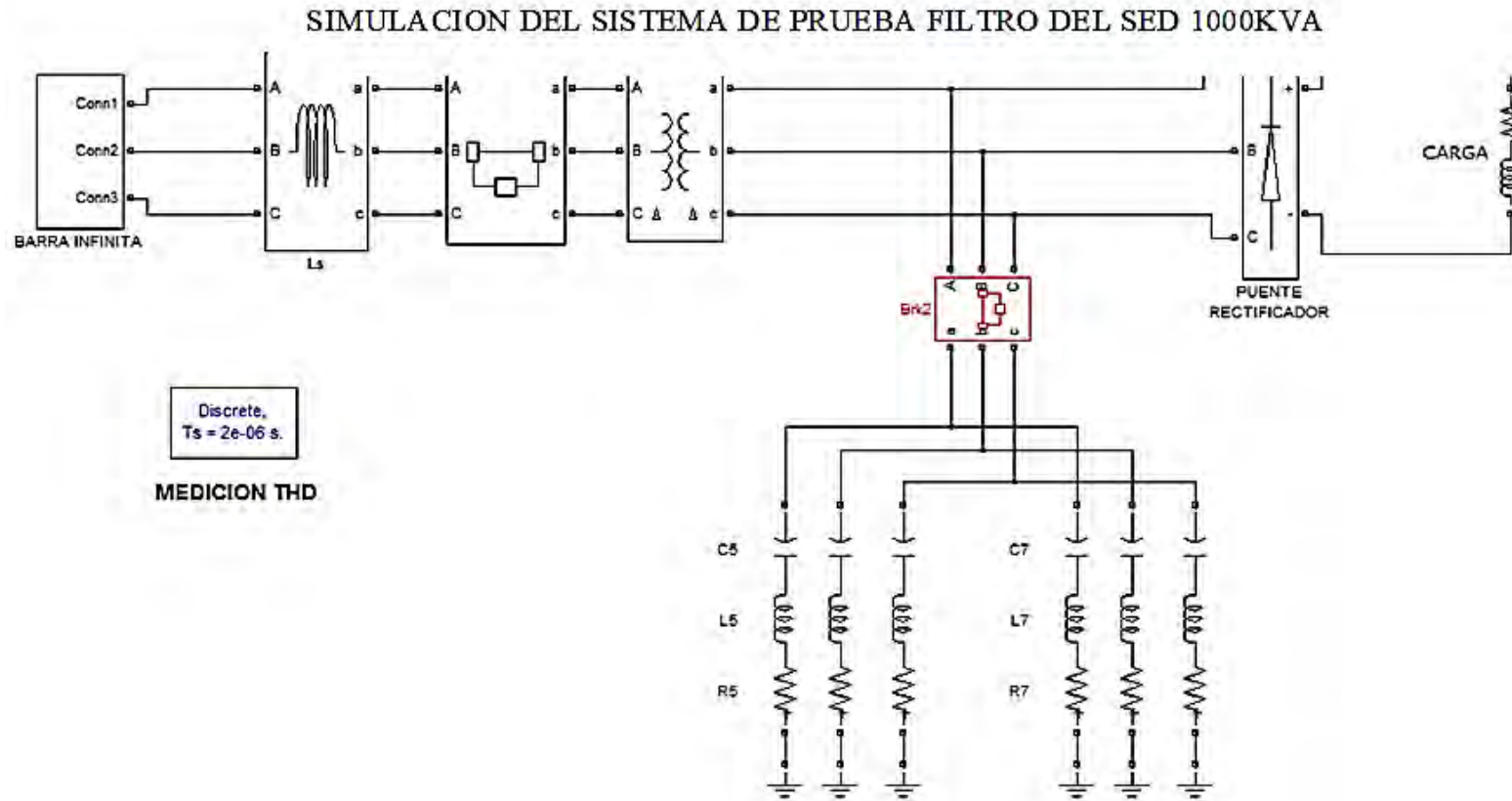
Tabla 27*Parámetros del sistema de prueba SED 01*

Fuente de circuito	Tensión	10.5/0.48-0.23 kV
carga	Potencia activa	381.142 KW
	Potencia reactiva	194.853 KVAR
	Capacidad rama 5	$C_5 = 13.26 \mu\text{F}$
Valores del filtro pasivo	Inductancia rama 5	$L_5 = 2.124 \text{ mH}$
	Resistencia rama 5	$R_5 = 0.002 \Omega$
	Capacidad rama 7	$C_7 = 675 \mu\text{F}$
	Inductancia rama 7	$L_7 = 212.95 \text{ mH}$
	Resistencia rama 7	$R_7 = 0.2808 \Omega$

Nota. Fuente: Elaboración Propia

Figura 56

Conexión filtro pasivo SED 01 – 1000 kVA



Nota. Elaboración Propia

Con los parámetros de la Tabla 27 cargados empleando la herramienta MATLAB/Simulink, se ejecutó la simulación para obtener los valores correspondientes a la distorsión armónica de corriente tanto individuales como totales — en cada una de las fases del sistema eléctrico. Los índices individuales se expresan como porcentaje respecto al valor de la componente fundamental a 60 Hz.

Tabla 28*Tasa individual de distorsión de corriente SED 01 – 1000 KVA*

Orden	Frecuencia	Tasa de distorsión			Tasa de distorsión			Tasa Admisible
		armónica individual			armónica individual			Según Norma
		sin FILTRO			aplicando el FILTRO			IEEE 519-1992
h	f(Hz)	Ih/i1(%)	Ih/i2(%)	Ih/i3(%)	Ih/i1(%)	Ih/i2(%)	Ih/i3(%)	Ih/if (%)
1	60	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
2	120	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.04	<= 7.00
3	180	0.01	0.03	0.03	0.03	0.06	0.07	<= 7.00
4	240	0.03	0.06	0.07	0.09	0.12	0.13	<= 7.00
5	300	18.61	18.62	18.58	4.00	4.00	4.02	<= 7.00
6	360	0.04	0.03	0.01	0.10	0.09	0.02	<= 7.00
7	420	9.85	9.85	9.85	2.03	1.97	2.02	<= 7.00
8	480	0.02	0.02	0.03	0.02	0.06	0.07	<= 7.00
9	540	0.00	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	<= 7.00
10	600	0.01	0.02	0.02	0.01	0.03	0.04	<= 7.00
11	660	2.28	2.29	2.29	1.55	1.58	1.54	<= 3.50
12	720	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	<= 3.50
13	780	2.64	2.63	2.65	1.66	1.68	1.67	<= 3.50
14	840	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	<= 3.50
15	900	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	<= 3.50
16	960	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	<= 3.50
17	1020	0.81	0.81	0.81	0.53	0.54	0.53	<= 2.50
18	1080	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	<= 2.50
19	1140	0.61	0.60	0.61	0.40	0.41	0.40	<= 2.50
20	1200	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	<= 2.50

Nota. Fuente: Popia MATLAB SIMULINK

El análisis de la Tabla 28 revela que, previo a la instalación del filtro, el sistema incumple los límites de la normativa IEEE 519-1992 específicamente para los armónicos de quinto orden (300 Hz) y séptimo orden (420 Hz), que registran tasas individuales de 18.61% y 9.85% respectivamente, muy superiores al límite del 7%. Tras la conexión del filtro pasivo,

todos los órdenes armónicos se sitúan dentro de los límites normativos, validando la eficacia técnica de la solución implementada.

Tabla 29

Índice de distorsión armónica total de corriente (THDi) SED 01 -1000KVA

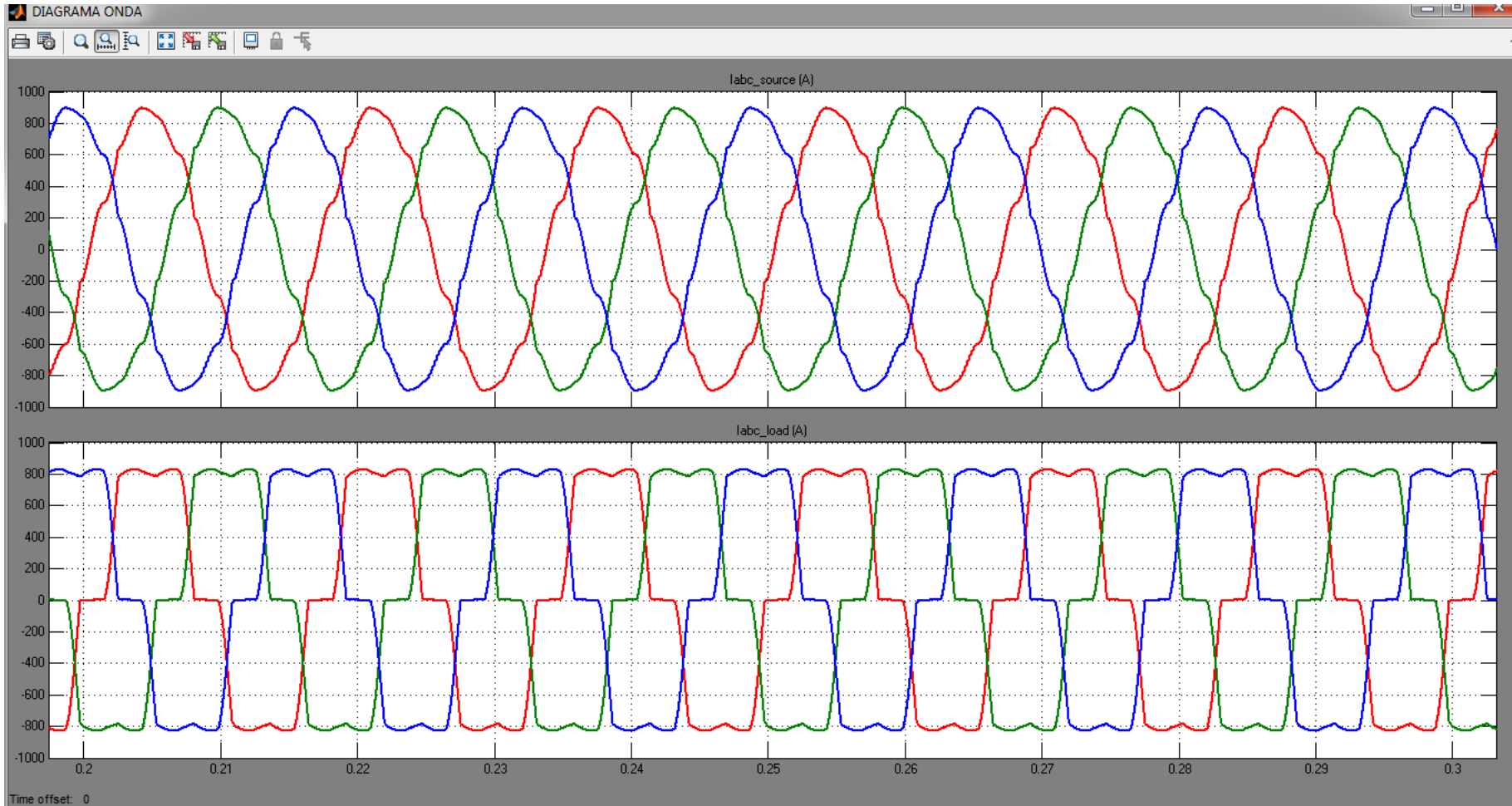
Fase	THDi sin filtro	THDi con FILTRO
A	21.70%	5.51%
B	21.71%	5.52%
C	21.68%	5.53%

Nota. Fuente: Propia MATLAB SIMULINK

La Tabla 29 presenta la disminución del índice de distorsión armónica total de corriente (THDi) al utilizar el filtro pasivo. Esta mejora se visualiza en la Ilustración 48, donde se observa la corrección de la característica de onda de corriente tras la aplicación del filtro.

Figura 57

Forma de onda de corriente medido antes y después de la intervención del filtro pasivo SED 0010823



Nota. Elaboración Propia

CALCULO $\cos\varphi$ SED 02 – 800 KVA

El factor de potencia según Ecu (2.3) se tiene que:

Sin Filtro	Con Filtro
$FP = \cos\varphi \times FP_{Dist}$	
$FP = 0.87$	$FP = 0.98$
$FP_{Dist} = \frac{1}{\sqrt{(1^2 + THD_i^2)}}$	$FP_{Dist} = \frac{1}{\sqrt{(1^2 + THD_i^2)}}$
$FP_{Dist} = \frac{1}{\sqrt{(1^2 + 0.2170^2)}}$	$FP_{Dist} = \frac{1}{\sqrt{(1^2 + 0.0551^2)}}$
$FP_{Dist} = 0.977$	$FP_{Dist} = 0.998$
$\cos\varphi = \frac{FP}{FP_{Dist}}$	$\cos\varphi = \frac{FP}{FP_{Dist}}$
$\cos\varphi = \frac{0.870}{0.977}$	$\cos\varphi = \frac{0.980}{0.998}$

$$\cos\varphi = 0.890$$

$$\cos\varphi = 0.982$$

Dónde:

FP_{Dist} = Factor de potencia de distorsión

FP = Factor de potencia

5.7 SIMULACIÓN EN SISTEMA DE PRUEBA SED 02 – 800 KVA

Para la simulación del segundo sistema de prueba se utilizaron los datos consignados en la Tabla 25. Los parámetros del filtro (C_f , L_f , R_f) se calcularon aplicando las ecuaciones Ecu. 4.10 a Ecu. 4.15 del Capítulo IV, adaptando los valores a las condiciones de carga específicas de la SED 02.

Tabla 30*Parámetros de la carga R, L, C para la 5ta armónica*

Fuente de circuito	Tensión	10.0/0.230 KV
	Potencia activa	720 KW
Carga	Potencia reactiva	384 KVAR

Nota. Fuente: PROPIA**CÁLCULO DE PARÁMETROS R, L, C PARA LA 5^{ta} ARMÓNICA**

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{|V|^2}{Q_c} = \frac{230^2}{18.98 \times 10^3} = 2.78$$

$$C_5 = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_c} = \frac{1}{2 \times \pi \times 60 \times 2.78} = 9.54 \times 10^{-4} \text{f}$$

$$C_5 = 9.54 \times 10^{-4} \text{f}$$

$$C_5 = 95.4 \mu\text{f}$$

$$L_5 = \left[\frac{1}{2 \times \pi \times f \times h \times \sqrt{C_f}} \right]^2 = \left[\frac{1}{2 \times \pi \times 60 \times 5 \times \sqrt{9.54 \times 10^{-4}}} \right]^2$$

$$L_5 = 2.953 \times 10^{-4} \text{H}$$

$$L_5 = 29.53 \text{mH}$$

$$X_{Lh} = \omega_h \times L_f = 2 \times \pi \times 60 \times 5 \times 2.953 \times 10^{-4}$$

$$X_{Lh} = 0.556 \Omega$$

$$R_5 = \frac{X_{Lh}}{Q} = \frac{0.556}{20} = 0.0278 \Omega$$

CÁLCULO DE PARÁMETROS R, L, C PARA LA 7^{ma} ARMÓNICA

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{|V|^2}{Q_c} = \frac{230^2}{8.398 \times 10^3} = 6.299$$

$$C_7 = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_c} = \frac{1}{2 \times \pi \times 60 \times 6.299}$$

$$C_7 = 4.21 \times 10^{-4} \text{f}$$

$$C_7 = 42.1 \text{ }\mu\text{f}$$

$$L_7 = \left[\frac{1}{2 \times \pi \times f \times h \times \sqrt{C_f}} \right]^2 = \left[\frac{1}{2 \times \pi \times 60 \times 7 \times \sqrt{4.21 \times 10^{-4}}} \right]^2$$

$$L_7 = 3.414 \times 10^{-4} \text{ H}$$

$$L_7 = 34.14 \text{ mH}$$

$$X_{Lh} = \omega_h \times L_f = 2 \times \pi \times 60 \times 7 \times 3.414 \times 10^{-4}$$

$$X_{Lh} = 0.9 \text{ }\Omega$$

$$R_7 = \frac{X_{Lh}}{Q} = \frac{0.9}{20} = 0.045 \text{ }\Omega$$

CÁLCULO DE PARÁMETROS R, L, C PARA LA 11^{va} ARMÓNICA

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{|V|^2}{Q_c} = \frac{230^2}{3.638 \times 10^3} = 14.54$$

$$C_{11} = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_c} = \frac{1}{2 \times \pi \times 60 \times 14.54}$$

$$C_{11} = 1.825 \times 10^{-4} \text{f}$$

$$C_{11} = 18.25 \text{ }\mu\text{f}$$

$$L_{11} = \left[\frac{1}{2 \times \pi \times f \times h \times \sqrt{C_f}} \right]^2 = \left[\frac{1}{2 \times \pi \times 60 \times 11 \times \sqrt{1.825 \times 10^{-4}}} \right]^2$$

$$L_{11} = 3.189 \times 10^{-4} \text{ H}$$

$$L_{11} = \mathbf{31.89 \text{ mH}}$$

$$X_{Lh} = w_h \times L_f = 2 \times \pi \times 60 \times 11 \times 3.189 \times 10^{-4}$$

$$X_{Lh} = 1.321 \Omega$$

$$R_{11} = \frac{X_{Lh}}{Q} = \frac{1.321}{20} = \mathbf{0.066 \Omega}$$

Tabla 31

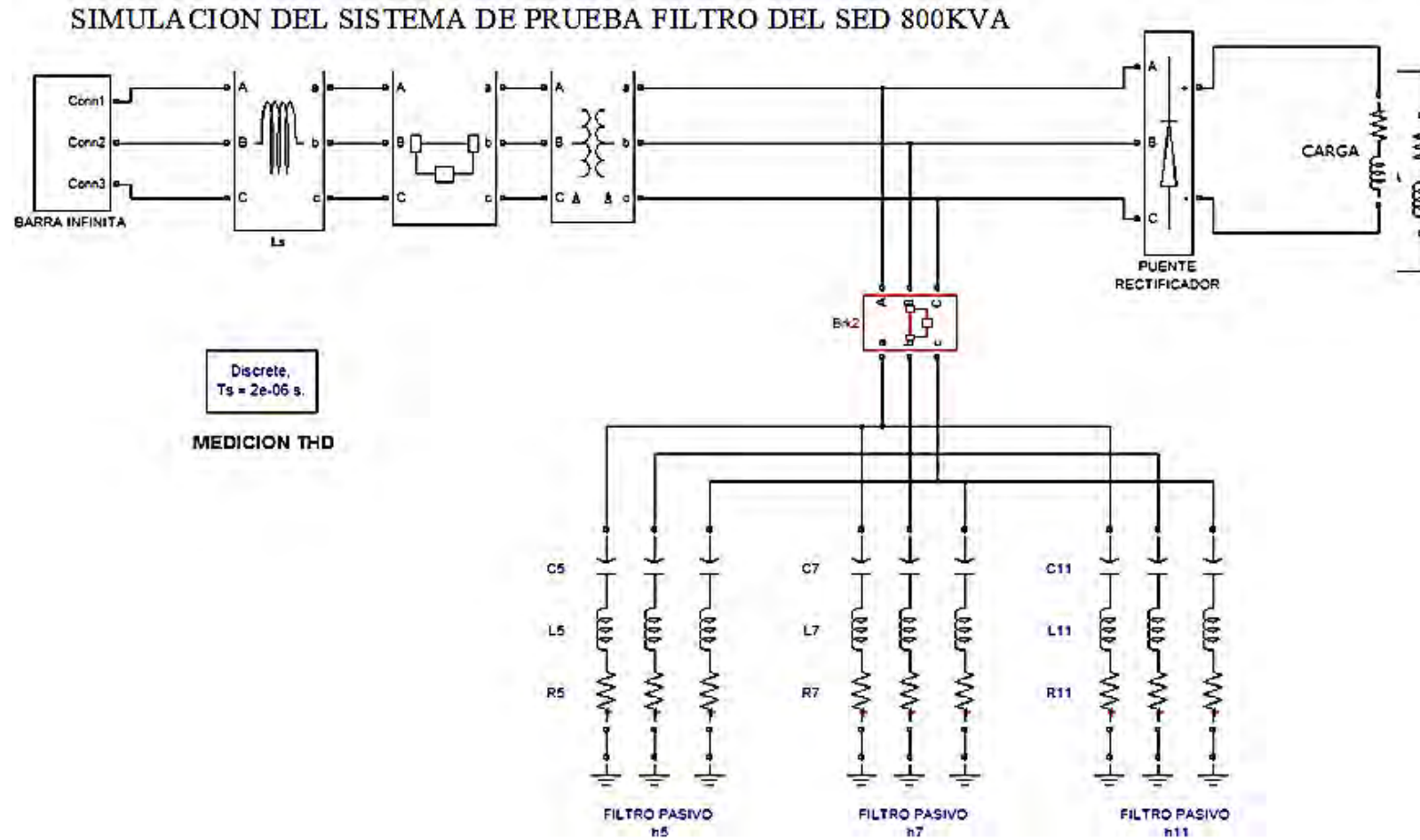
Parámetros del sistema de prueba SED 02

Fuente de circuito	Tensión	10.5/0.23 KV
carga	Potencia activa	555.016 KW
	Potencia reactiva	297.352 KVAR
	Capacidad rama 5	C ₅ = 95.4 μF
	Inductancia rama 5	L ₅ = 29.53 mH
	Resistencia rama 5	R ₅ = 0.0278 Ω
Valores del filtro pasivo	Capacidad rama 7	C ₇ = 42.1 μF
	Inductancia rama 7	L ₇ = 34.14 mH
	Resistencia rama 7	R ₇ = 0.045 Ω
	Capacidad rama 11	C ₁₁ = 18.25 μF
	Inductancia rama 11	L ₁₁ = 31.89 mH
	Resistencia rama 11	R ₁₁ = 0.066 Ω

Nota. Fuente: Propia

Figura 58

Conexión filtro pasivo SED 02 -800 KVA Matlab Simulink



Nota. Elaboración Propia

Se simuló el sistema en Matlab/Simulink, utilizando los parámetros de la Tabla 31, para comparar los índices de distorsión armónica de corriente. Esta tabla presenta los límites individuales de cada armónico según la normativa IEEE 519-1992, así como las tasas de distorsión armónica individual y total (antes y después de la aplicación del filtro pasivo) para cada fase. Las tasas individuales se calcularon con respecto a la fundamental (60 Hz).

Tabla 32

Tasa individual de distorsión armónica de corrientes SED 02 – 800 KVA

Orden	Frecuencia	Tasa de distorsión			Tasa de distorsión			Tasa
		armónica individual			armónica individual			Admisible
		sin FILTRO			aplicando el FILTRO			Según Norma IEEE 519- 1992
h	f(Hz)	I _h /i ₁ (%)	I _h /i ₂ (%)	I _h /i ₃ (%)	I _h /i ₁ (%)	I _h /i ₂ (%)	I _h /i ₃ (%)	I _h /i _f (%)
1	60	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
2	120	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	< 7.00
3	180	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	< 7.00
4	240	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	< 7.00
5	300	18.74	18.76	18.73	2.44	2.45	2.47	< 7.00
6	360	0.03	0.04	0.01	0.05	0.05	0.02	< 7.00
7	420	10.46	10.45	10.45	1.56	1.57	1.57	< 7.00
8	480	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	< 7.00
9	540	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	< 7.00
10	600	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02	0.02	< 7.00
11	660	5.03	5.03	5.03	0.67	0.68	0.66	< 3.50
12	720	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	< 3.50
13	780	2.69	2.68	2.69	0.86	0.86	0.86	< 3.50
14	840	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	< 3.50
15	900	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	< 3.50
16	960	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	< 3.50
17	1020	0.78	0.78	0.78	0.32	0.32	0.33	< 2.50
18	1080	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	< 2.50
19	1140	0.46	0.46	0.46	0.20	0.20	0.19	< 2.50
20	1200	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	< 2.50

Nota. Elaboración Propia.

La Tabla 32 muestra que, sin el filtro pasivo, la corriente no se ajusta a los límites establecidos por la norma IEEE 519-1992 para los armónicos de quinto orden (300 Hz), séptimo orden (420 Hz) y onceavo orden (660 Hz). Sin embargo, con el filtro conectado, se observa cumplimiento de la norma para estos armónicos. Estos resultados demuestran la efectividad del filtro pasivo en la compensación de armónicos de corriente.

Tabla 33

Tasa de distorsión armónica total de corriente (THDi) SED 0010021

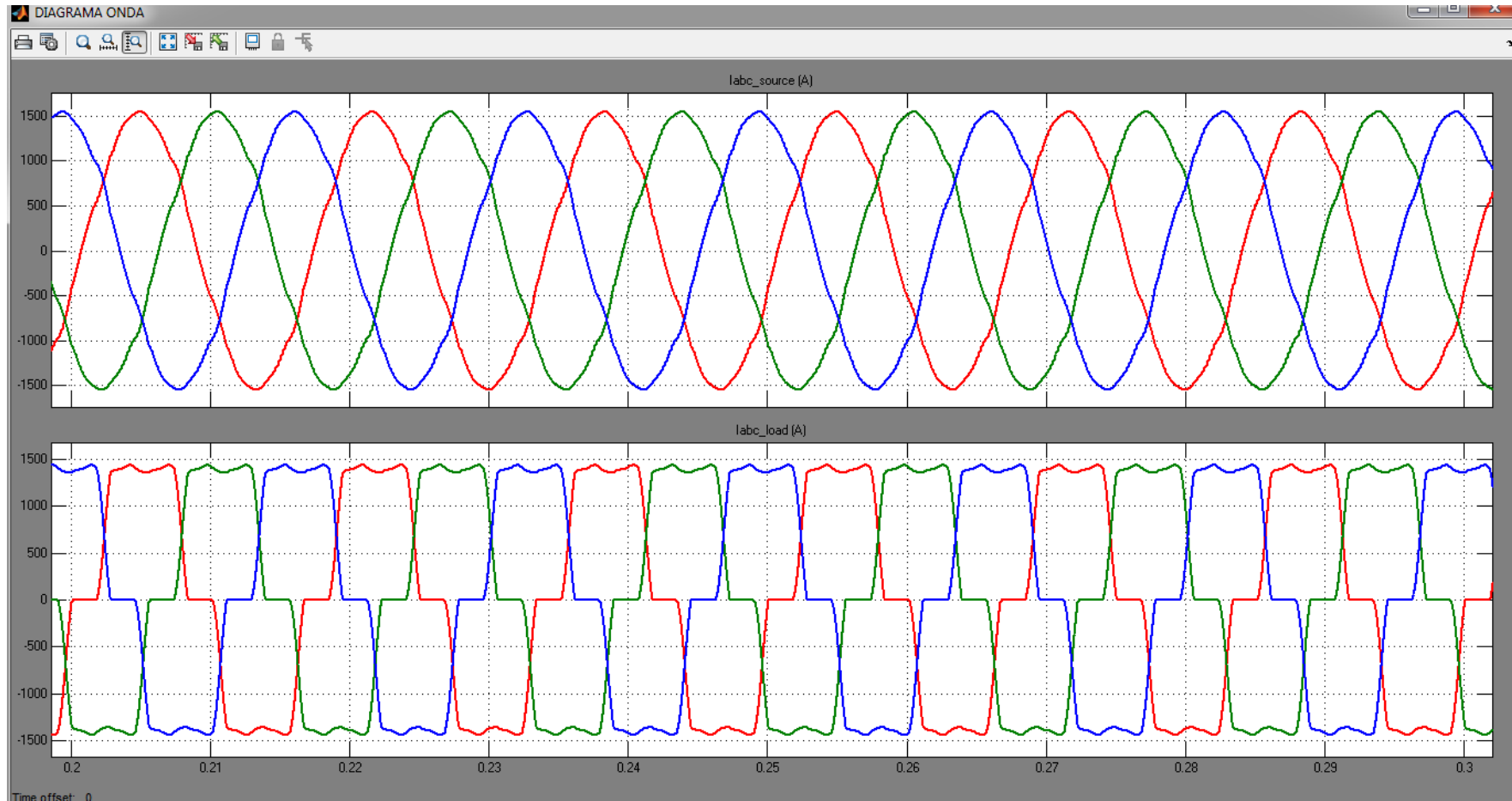
Fase	THDi sin filtro	THDi con FILTRO
A	22.24%	3.14%
B	22.25%	3.15%
C	22.23%	3.17%

Nota. Fue Propia Matla bSimulink

Los datos de la Tabla 33 cuantifican la mejora lograda en la SED 02: el THDi se reduce de 22.24% a 3.14% en la fase A, de 22.25% a 3.15% en la fase B y de 22.23% a 3.17% en la fase C. Estos valores, netamente por debajo del valor límite de 5 % establecido en la norma IEEE 519-2014, acreditan el cumplimiento normativo y la efectividad del sistema de filtrado implementado para esta subestación.

Figura 59

Forma de onda de corriente medido antes y después de la intervención del filtro pasivo SED 02 – 800KVA



Nota. Elaboración Propia

CALCULO $\cos\varphi$ SED 02 – 800 KVA

Se tiene que el factor de potencia según Ecu (2.3) se tiene que:

$$FP = \cos\varphi \times FP_{Dist}$$

Sin Filtro	Con Filtro
$FP = 0.86$	$FP = 0.98$
$FP_{Dist} = \frac{1}{\sqrt{(1^2 + THD_i^2)}}$	$FP_{Dist} = \frac{1}{\sqrt{(1^2 + THD_i^2)}}$
$FP_{Dist} = \frac{1}{\sqrt{(1^2 + 0.2224^2)}}$	$FP_{Dist} = \frac{1}{\sqrt{(1^2 + 0.0314^2)}}$
$FP_{Dist} = 0.976$	$FP_{Dist} = 0.999$
$\cos\varphi = \frac{FP}{FP_{Dist}}$	$\cos\varphi = \frac{FP}{FP_{Dist}}$
$\cos\varphi = \frac{0.860}{0.976}$	$\cos\varphi = \frac{0.980}{0.999}$
$\cos\varphi = 0.881$	$\cos\varphi = 0.981$

Dónde:

FP_{Dist} = Factor de potencia de distorsión

FP = Factor de potencia

CONCLUSIONES

La investigación desarrollada abordó de manera sistemática el fenómeno de la distorsión armónica en el sistema eléctrico de distribución del Hospital de Quillabamba. A partir del marco normativo vigente y de los resultados obtenidos mediante simulación computacional en MATLAB/Simulink, se presentan a continuación las principales conclusiones del estudio:

1. La distorsión armónica de tensión, evaluada mediante el índice THD_V , se mantuvo en los rangos permitidos admisibles establecidos tanto por la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos del Perú (NTCSE) como por el estándar internacional IEEE Std. 519 en todas las condiciones de operación analizadas, por lo que este parámetro no representa un problema crítico en el sistema estudiado.

2. Las componentes armónicas de corriente, caracterizadas mediante el índice THD_I , resultaron ser el problema dominante en el sistema. Los valores obtenidos superaron el 20% en ambas subestaciones de distribución — muy por encima del límite del 5% fijado por la norma IEEE 519-1992 — confirmando que las cargas no lineales del hospital generan un nivel de contaminación armónica inaceptable bajo la normativa vigente.

3. La solución técnica seleccionada para llevar los índices armónicos a niveles normativamente admisibles consiste mediante la instalación de filtros pasivos ajustados a los órdenes 5°, 7°, 11° y 13°. Esta medida mejora de manera integral los parámetros operativos del sistema, incluyendo la corrección del factor de potencia, y permite cumplir en concordancia con los límites fijados por la normativa peruana e internacional vigente.

4. • Los resultados derivados de la simulación implementada en MATLAB/Simulink verificaron que la implementación del filtro pasivo logra reducir el THD_I desde valores en torno al 22% hasta niveles inferiores al 5%, alcanzando el cumplimiento pleno de la normativa IEEE 519-2014 y demostrando que la calidad de la energía eléctrica suministrada mejora de forma significativa.

5. Desde el enfoque económico, la implementación de filtros pasivos orientados a la mitigación de armónicos no requiere una inversión de gran magnitud, lo que convierte a esta alternativa en una solución técnicamente viable y económicamente justificable para el contexto del establecimiento de salud analizado.

RECOMENDACIONES

1. Llevar a cabo un diagnóstico integral de todo el sistema eléctrico de la zona de influencia, con el objetivo de determinar las subestaciones y nodos de mayor vulnerabilidad ante la distorsión armónica y priorizarlos en los planes de intervención futuros.
2. En el corto plazo, extender el análisis de compensación de potencia reactiva al resto de las subestaciones del sistema, con el objetivo de reducir los costos de facturación asociados a la energía reactiva y evitar penalizaciones por parte de la empresa distribuidora Electro Sur Este S.A.A.
3. Ampliar los estudios de calidad de energía eléctrica en la región de Cusco hacia otros parámetros de perturbación no considerados en el presente trabajo, como el flicker (fluctuación de tensión), las caídas de tensión (voltage sags), los transitorios de conmutación y los niveles de iluminación, con el fin de obtener un diagnóstico integral del desempeño de la red eléctrica regional.
4. Establecer un programa de monitoreo continuo del espectro armónico en el sistema eléctrico del hospital, especialmente conforme se incorporen nuevas cargas no lineales asociadas al crecimiento de la infraestructura médica, dado que el incremento progresivo de la demanda puede elevar los índices de distorsión por encima de los límites actualmente cumplidos.
5. Proponer a los organismos reguladores del sistema eléctrico peruano, la implementación formal de las armónicas de corriente como parámetro regulado dentro

de la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos, estableciendo límites específicos, mecanismos de monitoreo y un régimen de penalidades aplicable a los usuarios que superen los niveles admisibles.

Bibliografía.

- [1] Pérez Barriga, M. A. (2020). Diseño de un sistema de gestión de la calidad para mejorar la continuidad del servicio. *Revista Pakamuros*, 1(1), 7.
- [10] electricaplicada.com. (s.f.). Cálculo armónicos corriente voltaje THDi THDv TDD. Recuperado de <https://electricaplicada.com/calculo-armonicos-corriente-voltaje-thdi-thdv-tdd/>
- [2] Fabian, G. C. K. (2021). Análisis Hosting Capacity en los alimentadores de la inserción de armónicos (Tesis de pregrado). Latacunga.
- [3] Ramirez, J. (2021). Compensación reactiva en redes eléctricas de transmisión basado en la inserción de armónicos. *Revista ID Tecnológico*, 1(1), 4.
- [4] García Sáenz, J. A. (2021). Diseño de un algoritmo de control para recursos de los armónicos (Tesis de pregrado). Costa Rica.
- [5] Samper, M. E. (2021). Aplicación para la evaluación técnica de la “Capacidad de inserción de cargas eléctricas” (Informe técnico). Instituto de Energía Eléctrica, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, 1(1), 2.
- [6] Rosentino Jr, A. J. P., Gondim, I. N., Reis, A., & Oliveira, J. C. (2015). A Critical Analysis of the Harmonic Distortion Procedure Applied to Wind Farm Connection.
- [7] Ministerio de Energía y Minas-Dirección General de Electricidad. (s.f.). Normas Técnicas De Los Servicios Eléctricos.
- [8] Arcila, J. D. (s.f.). Armónicos en sistemas eléctricos. INGENIERÍA ESPECIALIZADA S.A. Recuperado de
- [9] Arcila, J. D. (2019). Armónicos en sistemas eléctricos. INGENIERÍA ESPECIALIZADA S.A. Recuperado de https://www.ingenieros.es/files/proyectos/Armonicos_en_sistemas_elctricos.pdf
https://www.ingenieros.es/files/proyectos/Armonicos_en_sistemas_elctricos.pdf

- [10] electricaplicada.com. (s.f.). Cálculo armónicos corriente voltaje THDi THDv TDD.
Recuperado de <https://electricaplicada.com/calculo-armonicos-corriente-voltaje-thdi-thdv-tdd/>
- [11] Arocas, M. L. (2005). Filtros activos: Introduccion y aplicacion. Universal.
- [12] Boone, J. M. (2005). Technique factors and their relationship to radiation dose in pendant geometry breast CT. *Medical Physics*, 32(12), 3755-3768.
- [13] Chapman, D. (2001). Armonicos causas y efectos. Cooper.
- [14] Circutor. (1989). Guia de calidad de energia electrica. Omega.
- [15] Cols, H. Y. (2004). Metodología de la investigación en las APSS. Planeta.
- [16] H., F. D. (2005). Equipos de rayos X y su funcionamiento. Universal.
- [17] H., F. D. (2018, November 8). Biblioteca Virtual Universal. <https://www.biblioteca.org.ar> (
- [18] Harper, G. E. (2002). El ABC de la calidad de la energia electrica. Limusa S.A.
- [19] Martinez, D. A. (2008). Factores que afectan la calidad de la energía y su solución [Doctoral dissertation, Instituto Politécnico Nacional].
- [20] MINEM. (1997). Norma tecnica de calidad de servicios electricos. MINEM.
- [21] Ortmeyer, T. M. (1985). The effects of power system harmonics on power system equipment and load. In *Proceedings of the 1985 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference* (pp. 25-37). IEEE.
- [22] Orozco, G. A. (2006). Teoria y aplicacion de un resonador magnetico en el campo de la fisica medica como generador de imagenes del interior del cuerpo humano para diagnostico medico. F&G.
- [23] Rodríguez Litz, L. A. (1992). Estudio y aplicación de la norma IEEE 519-1992 en la medición, análisis y eliminación de armónicos en sistemas industriales. Caso: CUAO Campus Valle del Lile. En [Nombre de las Actas o Publicación IEEE donde apareció]

- (pp. 18-35). IEEE. (Nota: Se necesita el nombre específico de las Actas o la publicación de IEEE donde se publicó este trabajo).
- [24] Tapia, D. F. (2014). Propuesta para la corrección de corrientes armónicas en los sistemas de distribución eléctrica de media tensión dirigida a la parte industrial de la ciudad de Cuenca [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Cuenca].
- [25] Urrego, M. A. (2019). Ingeniería biomédica: ¿Una subdisciplina o un campo multidisciplinario? *Biomédica*, 39(1), 35-43.
- [26] Zacarias, G. E. (2009). Aplicación de filtros activos [Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería].
-

ANEXOS

ANEXO 2: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Título: EFECTOS DE LA INSERCIÓN DE UNA CARGA DE 1.8 MVA, DEL HOSPITAL DE QUILLABAMBA, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE EN LA LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN DE 10 KV. - SANTA ANA, LA CONVENCIÓN, CUSCO 2024							
Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Operacionalización				Escala de medición
			Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Unidad	
V.I. Carga de 1.8 MVA	Incorporación de una carga de gran magnitud correspondiente al Hospital de Quillabamba en la red de media tensión de 10 kV – Santa Ana	Condición del sistema eléctrico de media tensión al considerar la conexión de una carga de 1.8 MVA, analizada mediante simulación computacional	Potencia Total	Potencia aparente	Cuadro de cargas	MVA	Razón
			Perfil armónico	% inyección por orden	IEEE 519 / Datos del proyecto	%	Razón
V.D. Armónico de corriente en el sistema eléctrico de media tensión de 10kV	Los armónicos de corriente en el sistema eléctrico de media tensión de 10 kV son componentes de corriente de frecuencia múltiplo de la frecuencia fundamental que se generan por la inserción de cargas no lineales, alterando el	Los armónicos de corriente en el sistema eléctrico de media tensión de 10 kV se evaluarán mediante simulación computacional del sistema eléctrico del Hospital de Quillabamba, analizando el comportamiento armónico del sistema a través del espectro armónico de corriente, la	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Unidad	
			Corriente	THDI	Simulación Matlab	%	Razón
			tensión	THDV	Simulación Matlab	%	Razón
			potencia	Factor de potencia	Simulación Matlab	Adimensional	Razón

	comportamiento armónico del sistema eléctrico, degradando la calidad de corriente y requiriendo la aplicación de mecanismos de mitigación mediante filtros pasivos y activos para reducir sus efectos.	calidad de corriente mediante la distorsión armónica total de corriente (THDi) y la mitigación de dichos armónicos mediante la reducción porcentual del THDi obtenida con la aplicación de filtros pasivos y activos, bajo condiciones de operación en estado estacionario.					
V. INTERVINENTE Filtros pasivos y activos.	Dispositivos eléctricos diseñados para mitigar los armónicos de corriente y mejorar el desempeño del sistema eléctrico.	Aplicación de filtros pasivos y activos diseñados, calculados e implementados en el modelo del sistema eléctrico mediante simulación, con la finalidad de reducir los efectos generados por la inserción de la carga de 1.8 MVA	Diseño	Parámetros R, L, C	Cálculo analítico / Simulación)	Ω , H, F	Nominal

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: EFFECTOS DE LA INSERCIÓN DE UNA CARGA DE 1.8 MVA, DEL HOSPITAL DE QUILLABAMBA, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE EN LA LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN DE 10 KV. - SANTA ANA, LA CONVENCION, CUSCO 2024						
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	PROBLEMA DE ESTUDIO	PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES Y DIMENSIONES	DISEÑO METODOLÓGICO
Calidad de energía, distorsión de armónicos de corriente.	Es el impacto de los efectos de la inserción de una carga de 1.8 MVA, del hospital de Quillabamba, en la Línea de media tensión de 10 KV. – Santa Ana, la Convención, Cusco 2024	<u>Problema general</u> ¿En qué medida la inserción de una carga de 1.8 MVA del Hospital de Quillabamba en el sistema de distribución en media tensión de 10 kV del distrito de Santa Ana, provincia de La Convención, Cusco, incrementa los niveles de distorsión armónica de corriente y de tensión en el punto de acoplamiento común, y en qué grado la aplicación de	<u>Hipótesis general</u> La inserción de una carga de 1.8 MVA del Hospital de Quillabamba en el sistema de distribución en media tensión de 10 kV del distrito de Santa Ana incrementa los niveles de distorsión armónica total de corriente (THDI) por encima del límite del 5% establecido por la norma IEEE 519, afectando la	<u>Objetivo General</u> Evaluar los efectos de la inserción de una carga hospitalaria de 1.8 MVA en el sistema eléctrico de distribución en media tensión de 10 kV del distrito de Santa Ana, provincia de La Convención, Cusco, mediante el análisis de los armónicos de corriente generados y la simulación	<u>Variables Independientes</u> <u>Inserción de una carga de 1.8 MVA (Hospital de Quillabamba)</u> <u>Dimensiones</u> <ul style="list-style-type: none"> Potencia total (MVA) Perfil armónico (%) 	<u>Enfoque</u> Cuantitativo <u>tipo de investigación</u> Aplicada <u>nivel de investigación</u> Descriptivo-explicativo <u>Diseño</u> No experimental-transversal <u>Método</u> Científico Analítico Descriptivo Explicativo Simulación

		filtros pasivos sintonizados permite su mitigación conforme a los límites establecidos por la norma IEEE 519 y la NTCSE?	calidad de la energía eléctrica en el punto de acoplamiento común	computacional de alternativas de mitigación.		
OBJETO DE ESTUDIO Armónicos de Corriente		<p><u>Problemas específicos</u></p> <p>1. ¿Cómo influyen los efectos de la inserción de la carga de 1,8 MVA del hospital de Quillabamba en la calidad de corriente de la línea de media tensión de 10 Kv – Santa Ana, La Convención, Cusco?</p> <p>2. ¿Cómo influye los filtros pasivos y activos en los</p>	<p><u>Hipótesis específica</u></p> <p>1. La inserción de la carga de 1.8 MVA del Hospital de Quillabamba genera niveles de THDI que superan los límites normativos permitidos (5% según IEEE 519 y NTCSE) en la línea de media tensión de 10 kV del distrito de Santa Ana, La</p>	<p><u>Objetivos Específicos</u></p> <p>1. Cuantificar el impacto de la inserción de la carga de 1.8 MVA del Hospital de Quillabamba sobre los niveles de distorsión armónica total de corriente (THDI) y de tensión (THDV) en la línea de media tensión de 10 kV del distrito de Santa Ana, La Convención,</p>	<p><u>Variables dependientes</u></p> <p>Armónicos de corriente</p> <p><u>Dimensiones</u></p> <p>1. Corriente (%) 2. tensión (%) 3. potencia</p> <p><u>Variable interviniente</u></p> <p>Filtros</p> <p><u>Dimensiones</u></p> <p>Diseños de Filtro (kVA_r/A, %)</p>	<p><u>Población y muestra</u></p> <p>Unidad de análisis y alcance del estudio</p> <p>La unidad de análisis de la presente investigación es el sistema eléctrico de distribución del Hospital de Quillabamba, comprendiendo sus dos subestaciones de distribución (SED 01 de 1000 kVA y SED 02 de 800 kVA) y el alimentador UP02 de la SET Uripata en la red de media tensión de 10 kV del distrito de Santa Ana, La Convención, Cusco.</p> <p>Dado que el estudio se basa en simulación computacional de un sistema eléctrico determinístico y específico —no en muestreo estadístico de una población de sistemas— no se aplica muestreo probabilístico. El análisis comprende la totalidad del sistema modelado bajo las condiciones de operación proyectadas para el Hospital de Quillabamba, incluyendo su cuadro de cargas completo y los dos transformadores de distribución identificados. Los escenarios de simulación cubren el estado de operación</p>

		<p>efectos de la inserción de una carga de 1,8 MVA del hospital de Quillabamba sobre las corrientes armónicas del sistema eléctrico de media tensión de 10 Kv?</p>	<p>Convención, Cusco.</p> <p>2. La aplicación de filtros pasivos sintonizados para los órdenes armónicos 5, 7, 11 y 13 reduce el THDI a valores inferiores al 5%, en conformidad con los límites establecidos por la norma IEEE 519 y la NTCSE, mejorando simultáneamente el factor de potencia del sistema a valores superiores a 0.95.</p>	<p>Cusco.</p> <p>2. Evaluar la eficacia técnica de la aplicación de filtros pasivos sintonizados y filtros activos en la mitigación de los armónicos de corriente generados por la carga del Hospital de Quillabamba, en contraste con los límites normativos establecidos por la norma IEEE 519 y la NTCSE.</p>	<p>en régimen permanente con y sin filtros de mitigación armónica.</p> <p>TÉCNICA Y HERRMIENTA DE RECOLECCION DE DATOS: Fuentes primarias y secundarias Técnicas: 1. Análisis Documental 2. Simulación Computacional 3. Análisis de Escenarios 4. Análisis comparativo Herramientas 1. Software de Simulación (Matlab/Simulink) 2. Bloques de medición eléctrica del entorno de simulación 3. Herramientas de análisis armónico integradas 4. Modelado de filtros pasivos y activos. (en simulación) Fuentes primarias 1. Resultados de simulación del sistema eléctrico de 10 KV – Santa Ana. 2. Datos de corriente y tensión obtenidos de los bloques de medición en Matlab/Simulink 3. Resultados de análisis armónico (THDi, espectro armónico, factor de potencia verdadero) 4. Resultados comparativos con y sin filtro pasivos y activos. Fuentes secundarias 1. Normas técnicas (IEEE 519, IEEE 1459 y IEC 61000) 2. Artículos científicos sobre armónicos, calidad de energía.</p>
--	--	--	--	--	--

					<p>3. Tesis universitaria relacionadas con análisis armónica y simulación</p> <p>4. Manuales técnicos de Matlab/Simulink y Simscape Electrical</p> <p>5. Libro de calidad de corriente (Alexander Kusko & Marc T. Thompson)</p> <p>TÉCNICA DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS</p> <p><u>Análisis de datos</u></p> <p>Estadística descriptiva</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Media 2. Desviación estándar 3. Tablas de frecuencia 4. Histogramas 5. Curvas de comportamiento modal <p><u>Procesamiento de Datos</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tablas dinámicas de Excel 2. Power BI (visualización) <p>Matriz de desiciones</p>
--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración Propia Ref. Matriz de Consistencia – Dimensiones: Agudelo; Vega

CRONOGRAMA GANTT

EFFECTOS DE LA INSERCIÓN DE UNA CARGA DE 1.8 MVA, DEL HOSPITAL DE QUILLABAMBA, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE EN LA LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN DE 10 KV. - SANTA ANA, LA CONVENCION, CUSCO 2024

CRONOGRAMA DE TRABAJO – DIAGRAMA DE GANTT

Actividad	Fase	Inicio (Mes)	Fin (Mes)	Duración	% Avance	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Planificación general y revisión bibliográfica	Planeación	1	2	2	100						
Definición del problema, objetivos e hipótesis	Planeación	1	1	1	100						
Marco teórico (armónicos, calidad de energía)	Planeación	1	3	3	80						
Diseño metodológico y variables	Modelado	2	3	2	50						
Modelamiento preliminar del sistema en MATLAB	Modelado	3	4	2	40						
Trabajo de campo: mediciones THDI/THDV	Campo	3	4	2	60						
Procesamiento de datos y análisis técnico	Simulación	4	5	2	45						
Simulación avanzada: filtros activos/pasivos	Simulación	4	6	3	30						
Validación de resultados vs IEEE/NTCSE	Simulación	5	6	2	20						
Redacción de resultados y discusión	Redacción	5	6	2	20						
Conclusiones y recomendaciones técnicas	Redacción	6	6	1	10						
Correcciones finales con asesor	Redacción	6	6	1	0						
Edición final del documento	Redacción	6	6	1	0						
Preparación y práctica de sustentación	Redacción	6	6	1	0						

Para el cálculo de los parámetros R, L, C de cualquier filtro elaboramos el sig. Programa en el software MATLAB - guide

Código del programa:

```
function varargout = filtrosogui(varargin)
% FILTROSGUI MATLAB code for filtrosogui.fig
%   FILTROSGUI, by itself, creates a new FILTROSGUI or raises the
existing
%   singleton*.
%
%   H = FILTROSGUI returns the handle to a new FILTROSGUI or the handle
to
%   the existing singleton*.
%
%   FILTROSGUI('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in FILTROSGUI.M with the given input
arguments.
%
%   FILTROSGUI('Property','Value',...) creates a new FILTROSGUI or
raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs
are
%   applied to the GUI before filtrosogui_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property
application
%   stop. All inputs are passed to filtrosogui_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help filtrosogui

% Last Modified by GUIDE v2.5 13-Jan-2019 21:56:18

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @filtrosogui_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @filtrosogui_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before filtrosogui is made visible.
function filtrosogui_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
```

```

% hObject    handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to filtrosgui (see VARARGIN)

% Choose default command line output for filtrosgui
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes filtrosgui wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = filtrosgui_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text

```

```
%      str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2 as a
double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
%      str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit3 as a
double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit4 as text
%      str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit4 as a
double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit5 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit5 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit6 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit6 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit7 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit7 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit8 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit8 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit9_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit9 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit9 as a
double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit9_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit10_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit10 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit10 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit11_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit11 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit11 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit11 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit11_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit11 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.

```

```

%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
h=str2double(get(handles.edit13,'string'));
w=str2double(get(handles.edit2,'string'));
f=str2double(get(handles.edit3,'string'));
V=str2double(get(handles.edit4,'string'));
Qc=str2double(get(handles.edit5,'string'));
%(4.10) velocidad angular
Wh=2*pi*f*h
%(4.11) reactancia capacitiva
Xc=(V^2)/Qc
%(4.12) el valor del capacitor del filtro
Cf=1/(2*pi*f*Xc)
%(4.13) valor del inductor del filtro
Lf=((1/(2*pi*f*h*sqrt(Cf))))^2
%(4.14)
Xlh=Wh*Lf
Q=20
%(4.15) resistencia del filtro
Rf=Xlh/Q
set(handles.edit6,'string',Wh);
set(handles.edit7,'string',Xc);
set(handles.edit8,'string',Cf);
set(handles.edit9,'string',Lf);
set(handles.edit11,'string',Xlh);
set(handles.edit10,'string',Rf);

function edit13_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit13 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit13 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit13 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit13_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit13 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

Input	Output
valor h	5
valor w	
frecuencia	60
tension nominal	220
potencia reactiva que el filtro	0.001152
frecuencia angular (Wh)	1884.96
valor del inductor del filtro(Lf)	4457.81
reactancia capacitiva(Xc)	4.20139e+07
resistencia del filtro(Rf)	420139
valor del capacitor del filtro(Cf)	6.31358e-11
Xlh	8.40278e+06

Programa para graficar los armónicos

```

function varargout = armonics(varargin)
% ARMONICS MATLAB code for armonics.fig
%   ARMONICS, by itself, creates a new ARMONICS or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = ARMONICS returns the handle to a new ARMONICS or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   ARMONICS('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in ARMONICS.M with the given input
arguments.
%
%   ARMONICS('Property','Value',...) creates a new ARMONICS or raises
the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs
are
%   applied to the GUI before armonics_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property
application
%   stop. All inputs are passed to armonics_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

```

```

% Edit the above text to modify the response to help armonics

% Last Modified by GUIDE v2.5 27-Jan-2019 11:47:21

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @armonics_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @armonics_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before armonics is made visible.
function armonics_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to armonics (see VARARGIN)

% Choose default command line output for armonics
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes armonics wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = armonics_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on selection change in listBox1.
function listBox1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to listBox1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns listBox1
contents as cell array
%         contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from listBox1

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function listBox1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to listBox1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: listBox controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

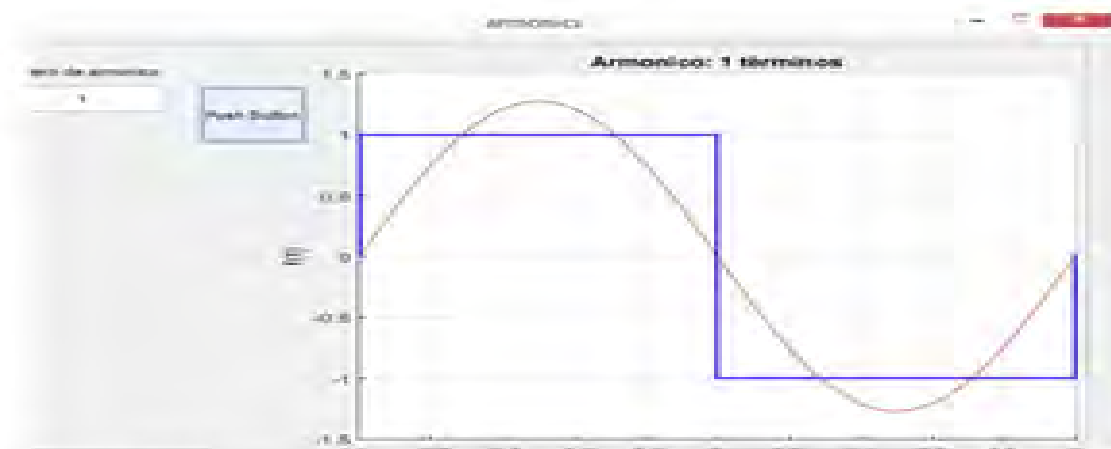
% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
n=str2double(get(handles.edit1,'string'));
hold on
x=[-1 -1 0 0 1 1];
y=[0 1 1 -1 -1 0];
plot(x,y,'b','linewidth',1.5)
x=linspace(-1,1,100);
y=zeros(length(x),1);
for i=1:length(x)
    y(i)=0;
    for k=1:2:n

```

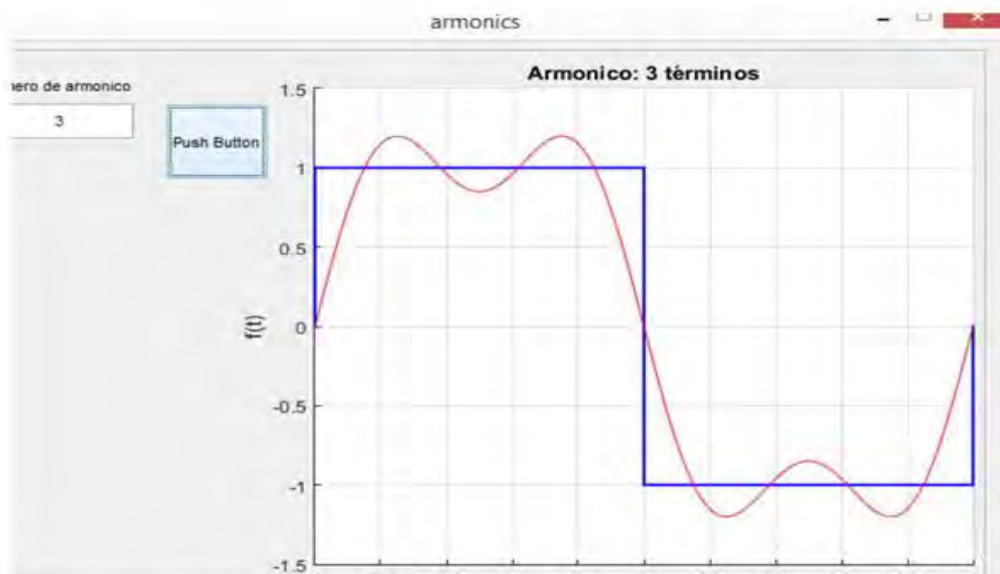
```

        y(i)=y(i)-4*sin(k*pi*x(i))/(k*pi);
    end
end
plot(x,y, 'r');
title(sprintf('Armonico: %i términos',n))
xlabel('t');
ylabel('f(t)')
grid on
hold off

```



Gráfica de la ecuación fundamental con la primera armónica cabe resaltar que esta grafica solo es para una de las fases.



Gráfica para la tercera armónica donde se observa la perturbación que tiene la onda fundamental

características eléctricas para el material hasta 24 kV de aislamiento

Potencia asignada (kVA)	25	50	100	160	250	400	630	800	1000	1250	1600	2000	2500		
tensión primaria asignada	de 6 kV hasta límite máximo de 24 kV incluida regulación														
tensión secundaria:	B1	231 ó 242 V													
	B2	400 ó 420 V													
regulación sin tensión	(±2.5%, ±5%), (±2.5%, + 5%, + 7.5%)														
grupo de conexión	Yzn11	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
	Dyn11	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
pérdidas en vacío (W)	por carga a 75°C	115	190	320	460	650	930	1300	1550	1700	2130	2600	3100	3800	
tensión de cortocircuito (%)		4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6		
corriente en vacío	100% Un	4.0	3.5	2.5	2.3	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	
	110% Un	8.5	7.5	6.0	5.5	5.0	4.8	4.5	4.0	3.6	3.0	2.5	2.4	2.3	
caída de tensión a plena carga	cosφ = 1	2.85	2.26	1.81	1.54	1.37	1.22	1.1	1.18	1.22	1.25	1.23	1.18	1.23	
	cosφ = 0.8	3.96	3.77	3.58	3.43	3.33	3.25	3.18	4.44	4.47	4.49	4.48	4.44	4.48	
Rendimiento	carga 100%	96.84	97.48	97.97	98.27	98.46	98.64	98.78	98.81	98.79	98.77	98.79	98.84	98.80	
	cosφ = 0.8	96.08	96.88	97.48	97.85	98.09	98.30	98.47	98.52	98.50	98.46	98.50	98.56	98.51	
	carga 75%	97.36	97.89	98.29	98.53	98.70	98.84	98.96	99.00	99.00	98.97	99.00	99.04	99.01	
	cosφ = 0.8	96.72	97.37	97.87	98.17	98.37	98.56	98.70	98.75	98.75	98.72	98.76	98.80	98.77	
	carga 50%	97.73	98.17	98.51	98.70	98.84	98.98	99.07	99.12	99.14	99.13	99.16	99.18	99.18	
	cosφ = 0.8	97.18	97.73	98.14	98.38	98.56	98.72	98.84	98.91	98.93	98.91	98.95	98.98	98.97	
	carga 25%	97.52	97.97	98.31	98.51	98.65	98.80	98.93	98.98	99.07	99.06	99.09	99.14	99.13	
	cosφ = 0.8	96.92	97.48	97.90	98.14	98.32	98.50	98.66	98.73	98.84	98.82	98.87	98.92	98.92	
	ruido dB(A)	potencia acústica Lwa	52	49	53	59	62	65	67	68	68	70	71	73	75

Fuente: Schneider Electric, SA

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL TRANSFORMADOR Y EQUIPOS

2.21.15 PRUEBAS DE CALIDAD

Las Celdas deben cumplir la ISO 9001 e ISO 14001 que aseguran la calidad y protección. Las celdas deben ser reciclable en un 90-95%.

NOTA:

Estas pruebas deben de ser realizadas con la presencia del supervisor de obra y un representante del propietario.

2.21.16 PRUEBAS DE CALIDAD

Los fusibles de MT a ser instalados en la unidad funcional protección del transformador hasta 24 kV protegerán transformadores de 800 Y 1000 kVA.

Serán con percutor tipo medio, según la IEC 282-1 para realizar la apertura tripolar del seccionador interruptor y las dimensiones de los fusibles corresponderán al tipo I establecido en apéndice D de la IEC 282-1 de un largo de 600 mm.

2.22 TRANSFORMADOR TIPO SECO DE (800 Y 1000 KVA, 10/0,38-0,22 KV CON CELDAS DE TRANSFORMACION)

Transformador seco encapsulado

El transformador es un dispositivo que convierte la energía eléctrica alterna de un cierto nivel de tensión, en energía alterna de otro nivel de tensión, basándose en el fenómeno de la inducción electromagnética. Está constituido por dos bobinas de material conductor, devanadas sobre un núcleo cerrado de material ferromagnético, pero aisladas entre sí eléctricamente. La única conexión entre las bobinas la constituye el flujo magnético común que se establece en el núcleo. El núcleo, generalmente, es fabricado bien sea de hierro o de láminas apiladas de acero eléctrico, aleación apropiada para optimizar el flujo magnético. Las bobinas o devanados se denominan *primario* y *secundario* según correspondan a la entrada o salida del sistema en cuestión, respectivamente. También existen transformadores con más devanados; en este caso, puede existir un devanado "terciario", de menor tensión que el secundario.

Los transformadores de tipo seco encapsulado al vacío están diseñados a prueba de humedad y son adecuados para funcionar en ambientes húmedos o muy contaminados. Son los transformadores idóneos para funcionar en ambientes que presenten una humedad superior al 95 % y en temperaturas por debajo de los -25 °C.


 CARLOS HIPÓLITO GARCÍA HUAYANEY
 INGENIERO ELECTRICISTA
 Reg. del Colegio de Ingenieros N° 43056

2.22.1 Núcleo magnético

Se realizan las uniones con capas escalonadas para garantizar un rendimiento óptimo y unos niveles de ruido mínimos. El acero magnético se corta a lo largo, de forma secuencial y se escalona automáticamente,

Garantizando la precisión dimensional y el entrelazado de láminas perfecto de todo el escalonamiento.

2.22.2 El devanado de alta tensión

Consta de un disco descendente continuo con conductor de cinta de aluminio y aislamiento de doble capa. Los devanados están colados al vacío con resina epoxi. Se han llevado a cabo pruebas de análisis en régimen transitorio para verificar la distribución del esfuerzo eléctrico a través de los devanados confirmando la mayor resistencia de nuestro diseño.

2.22.3 El devanado de baja tensión

Están hechos de banda de aluminio y de una banda aislante previamente impregnada con resina. Después del proceso de devanado la bobina se endurece en un horno y como consecuencia se obtiene un devanado extremadamente compacto, capaz de resistir los esfuerzos dinámicos que produce un cortocircuito.

2.22.4 El proceso de encapsulado

Es una operación fundamental en el procedimiento de fabricación y deberá realizarse y controlarse en las condiciones más estrictas a fin de garantizar un aislamiento y características mecánicas óptimas.

Por un lado, los devanados se colocan en un horno de precalentamiento y se mantienen dentro hasta que la temperatura del molde alcanza la temperatura de encapsulado. Por otro lado, la mezcla de resina se prepara en una planta de mezcla continua. Los componentes se mezclan juntos justo antes del proceso de encapsulado. En el paso siguiente, las bobinas precalentadas pasan a la cámara de colada al vacío. Una vez que se ha alcanzado el vacío en la cámara, la resina se vierte en los moldes. Los componentes se mezclan juntos justo antes del proceso de encapsulado. De esta forma, la viscosidad de la mezcla de resina cuando se vierte en los moldes, es muy baja, llenando los espacios y permitiendo alcanzar el nivel más bajo de descargas parciales. Tras finalizar el proceso de colado las bobinas se colocan en el horno de endurecimiento a fin de que el gel resinoso se seque y endurezca obteniendo de esta forma sus propiedades finales.

La última norma europea aplicable al diseño del transformador de devanado colado al vacío, la EN 60726 (2003), especifica un nivel máximo de descargas parciales de 10 pC.



CARLOS HIPÓLITO GARCÍA HUAYANEY
INGENIERO ELECTRICISTA
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 48966

2.22.5 Características de los Transformadores:

Marca	
Procedencia	
Tipo	
Potencia nominal continua	: 800 kVA (1000 kVA)
Relación de transformación	: 10/0.38-0.22 kV
Tensión nominal en vacío	: 12 KV
Tensión nominal en vacío	: 0,40-0.23 kV (secundario)
Tensión de cortocircuito	: 6 %
Frecuencia	: 60 Hz
Nº de fases	: 3
Grupo de conexión	: Dyn5
Conmutador	: $\pm 2 \times 2,5$ %
Niveles de aislación	: 12 kV (primario)
Niveles de aislamiento	: 1-3 kV (secundario)
Enfriamiento	: AN
Servicio	: continuo
Nivel de ruido (presión acústica)	: 60Db (A)
Tipo arrollamiento	: Encapsulado en molde/encapsulado por inmersión
Servicio	: continuo
Peso	: 2000 kg (2300kg)
Núcleo	: de hierro laminado en frío
Instalación	: Interior
Altitud máxima	: 1200 m.s.n.m.
Temperatura de referencia	: 120 °C
Perdidas en vacío	: 1780 W (2000 W)
Material de arrollamiento	: Aluminio o cobre
Corriente de vacío	: 1.5 %
Valor de descargas parciales	: < 10 pC
Clase ambiental/climática/fuego	: E2-C2-F1 (CESI)
Temperatura ambiente	: 40°C
Clase térmica	: F
Sobre temperatura	: 100°C
Dimensiones	: 850x1500x1780 mm – 1000x1550x1870 mm (ancho x profundidad x altura)


 CARLOS HIEDUTO GARCIA HUAYANEY
 INGENIERO ELECTRICISTA
 Reg. del Colegio de Ingenieros N° 46556

Acabado núcleo magnético	: RAL 905
Acabado de armaduras	: Zincadas en caliente
Acabado de ruedas	: Zincadas en caliente
Acabado de envolvente	: RAL 7032 (beige)

2.22.6 Accesorios

- Tres termorresistencias al platino PT 100 Ohm (una por cada bobina de tensión) y una Central de control de temperatura (Relé y termómetro digital)
- Una envolvente metálica (Celda metálica), con grado de protección IP-52. Las dimensiones de la celda son: 1900 x 1050 x 1950 mm – 2050 x 1100 x 2200 mm
- Conmutador de tomas de regulación en vacío: $\pm n2 \times 2,5\%$
- Placa de características según normas IEC
- Cáncamos de elevación
- Conectores para la puesta a tierra
- 04 ruedas bidireccionales orientables a 90°
- Enganches para los desplazamientos horizontales.

2.22.7 Normas

Debe cumplir los requisitos según la normativa para las clases E2 C2 F1

- IEC 905 (sobrecargas para transformadores secos)
- IEC 76-1 (transformadores de potencia, parte 1, generalidades)
- IEC 76-2 (transformadores de potencia, parte 2, calentamiento)
- IEC 60076-3 (transformadores de potencia, parte 3, niveles de aislación, pruebas dieléctricas y distancia aislante en aire)
- IEC 60076-5 (transformadores de potencia, parte 5, capacidad de resistencia al cortocircuito)
- IEC 60076-10 (transformadores de potencia, parte 10, determinación del nivel de ruido)
- IEC 60270 (técnicas de prueba en alta tensión-medida de descargas parciales)
- HD 538.1 S1 (transformador trifásico de distribución tipo seco desde 100 a 2500 kVA, con una tensión máxima no superior a 36 Kv)



CARLOS HIPÓLITO GARCÍA HUAYANEY
INGENIERO ELECTRICISTA
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 46966

2.22.8 Pruebas y Test

Los transformadores a suministrarse deberán ser probados individualmente en fábrica de acuerdo a las pruebas de rutina y eventualmente pruebas especiales, si se solicitase expresamente en la etapa de pedido.

Al término de las pruebas de aceptación se deberá adjuntar a cada transformador un folleto específico de Test.

La Entidad puede reservarse el derecho (bajo su cargo y en coordinación con el fabricante-proveedor), de participar en los test de las salas de prueba en el país de fabricación, y poder efectuar, con previo aviso, visitas de inspección antes y durante el curso de la ejecución del pedido.

2.22.8.1 Pruebas de rutina:


- Medida de la resistencia de los devanados : IEC 60076-1
- Medida de la relación de transformación y control de la polaridad y de las conexiones : IEC 60076-1
- Medida de tensión de cortocircuito y de las pérdidas Debido a la carga : IEC 60076-1
- Medida de las pérdidas en vacío y de la corriente En vacío : IEC 60076-1
- Medida de aislamiento con tensión aplicada : IEC 60076-3
- Medida de aislamiento con tensión inducida : IEC 60076-3
- Medida de las descargas parciales : IEC 60076-11

2.22.8.2 Pruebas especiales:

- Prueba impulso tipo rayo : IEC 60076-3
- Prueba de calentamiento : IEC 60076-2
- Medida de nivel de ruido : IEC 60076-10
- Prueba de resistencia al cortocircuito : IEC 60076-11

2.22.8.3 Pruebas de calidad:

Los transformadores deben cumplir la ISO 9001 e ISO 14001 que aseguran la calidad y protección.



 CARLOS HIPOLYTO GARCIA HUAYANEY
 INGENIERO ELECTRICISTA
 Reg. del Colegio de Ingenieros N° 48966

NOTA:

Las pruebas deben de ser realizadas con la presencia del supervisor de obra y un representante del propietario.

2.22.9 La celda de transformación para el transformador

Deberán cumplir:

- Gabinete del tipo autosoportado, uso interior.
- La estructura es empernable y son fabricadas en planchas de fierro LAF de 3mm de espesor con 5 dobleces, recubierta con paneles metálicos atornillados fabricados con planchas de fierro laminados LAF de 2,5 mm de espesor, en la parte superior se encuentran los cáncamos y en los perfiles inferiores las perforaciones para el anclaje de los mismos.
- Las puertas fabricadas con planchas de fierro LAC de 2.5mm de espesor. Contará con un sistema de bisagras para apertura hasta de 120°C, llevan dispositivo de cerradura tipo Unikey con llave.
- Los gabinetes son sometidos a un tratamiento anticorrosivo de decapado y fosfatizado por inmersión en caliente y un recubrimiento con pintura electrostática en polvo del tipo epoxi poliéster textura color beige RAL 7032.
- Las puertas de las celdas de transformación deberán tener un sistema de enclavamiento mecánico con las celdas de salida por fusibles de tal forma que éstas podrán ser operadas si y solo si el seccionador de la celda de fusibles se encuentra abierta.
- La celda contará con barra de tierra de 5x30mm ubicada en la parte posterior inferior.

2.23 Señalizaciones

Para el caso de celdas que posean las unidades funcionales de Remonte y Protección del transformador deberán contar con un control de presencia o ausencia de tensión mediante un divisor capacitivo y un indicador de neón por fase y por cada una de las unidades funcionales.

Los divisores capacitivos serán del tipo HR de acuerdo a la IEC 31243-5. La indicación local de presencia de tensión será del tipo fijo con mecanismo antirrobo, además, junto a los indicadores fijos se dispondrá de conexiones para la conexión mediante ficha banana de un multímetro portátil (tester) para la verificación redundante de presencia de tensión y la realización de pruebas de concordancia de fases entre los cables de alimentación de potencia conectados en las distintas

celdas; deberá incluirse un conector de tierra junto a las tres de fases para facilitar las medidas mencionadas anteriormente.

2.24 Elementos auxiliares de protección y maniobra.

La entidad penitenciaria, contara con los siguientes equipos para la puesta en servicio y futuras maniobras en su subestación particular, el cual se deberá colocar en un gabinete cercano a la subestación.

2.24.1 Pértiga

Pértiga telescópica, tipo tropicalizada para trabajo pesado, de material aislante de alta resistencia mecánica a la tracción y a la flexión, con espiga para accionar los seccionadores unipolares sin carga, con las siguientes características:

Tensión nominal	: 24 kV
Corriente nominal	: 400 A
Nivel básico de aislamiento	: 150 kV
Longitud	: 1,6m

2.24.2 Revelador de tensión

Será un instrumento de prueba, que emplea el gradiente del campo electrostático, a medida que se aproxime al conductor energizado. Vendrá provisto con luces centellantes y sonidos audibles que alerten al operador.

Vendrá provisto con un selector de rango de la tensión a probar (0-24 kV), la alimentación será con baterías alcalinas de 9.0 V.

2.24.3 Varillas extractoras de fusibles de alta tensión

Se proveerá de una varilla aislante hasta 24 kV, vendrá provistas con muelas de extracción, adecuadas para fusibles de alta tensión que se prevén, tendrán una longitud mínima de 1335 mm y vendrán provisto de una pantalla intermedia de no menos de 12 cm de diámetro, la muela de extracción permitirá fusibles de hasta 80 mm de diámetro.

2.24.4 Banco de maniobras

Consistente en una plataforma de 0,80 x 0,80m de material aislante de 40mm de espesor, aproximadamente de modo que pueda resistir un peso de 100 kg.

La plataforma será soportada por cuatro aisladores con tacos de caucho de resistencia mecánica a la compresión, impacto y dureza con pieza de fijación a la plataforma.

- Tensión Nominal : 45 kV
- Capacidad de aislamiento (BIL) : 150 kVp.



CARLOS HIPÓLITO GARCÍA HUAYANA
INGENIERO ELECTRICISTA
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 48966

2.24.5 Zapatos dieléctricos

Un par de la talla del operador, con suela y tacos de jebe de alto aislamiento eléctrico, los que deberán ser clavados con clavijas de madera o cocidos, no se permitirán clavos o partes metálicas.

Fabricados según normas NTP 241.004 y NTP241.016.

2.24.6 Casco

El casco dieléctrico fabricados según norma ANSI Z89.1-1997, clase E, tipo II, serán de polietileno de alta densidad, no inflamable, resistente al impacto y a la penetración, no permite la absorción del agua.

2.24.7 Guantes

Un par de guantes N° 10, de jebe u otro material aislante para uso eléctrico a una tensión nominal de 24 kV, Clase 3.

2.24.8 Piso de jebe

De ancho y largo de acuerdo a dimensiones del ambiente interior de la subestación, mínimo de 0.49 mm de espesor aproximado, de una sola pieza, superficie liza, según indicaciones del CNE.

2.24.9 Señalización cartilla

En cada celda llevara la señalización en las puertas con el símbolo de presencia de corriente eléctrica, y leyenda "ALTA TENSIÓN PELIGRO DE MUERTE", en letras y símbolos de color rojo con fondo amarillo.

Se colocara una cartilla en idioma castellano con instrucciones de primeros auxilios en caso de accidentes por contacto eléctrico, de dimensiones no menor de: 1,00 x 0,80m

2.24.10 Diagrama unifilar

En marco de aluminio protegido con acrílico indicado en las celdas de media tensión, así como en los tableros generales de baja tensión.

2.24.11 Lentes de seguridad

Anteojos de policarbonato 56 CL, con protección lateral y patilla fija, la montura y las lunas serán a la medida de cada trabajador.

Se fabricaran según las normas internacionales ANSI Z87.1-1989


 CARLOS HIPÓLITO GARCÍA HUAYANEY
INGENIERO ELECTRICISTA
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 48966

ESQUEMA ELECTRICO TRAFOMIX

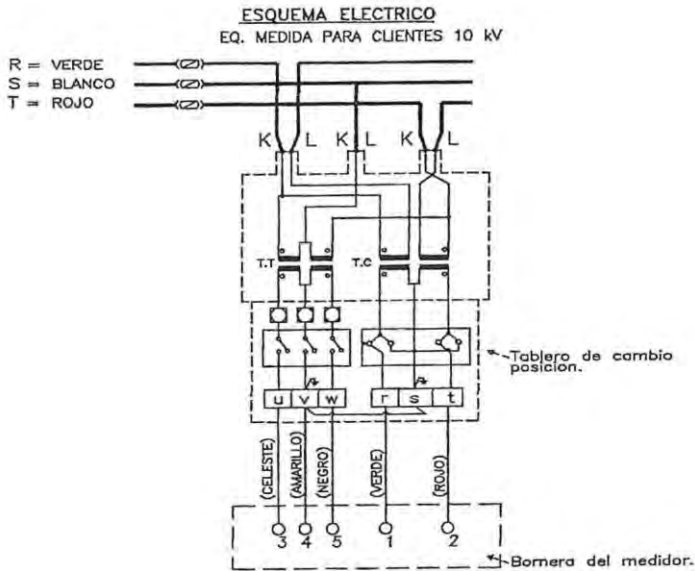


TABLA I
TRANSFORMADOR DE MEDIDA COMBINADO
DE TENSION Y CORRIENTE- 10 KV (TRAFOMIX)

TABLA 1		
POTENCIA (KW)	RELACION DE TRANSFORMAC.	TRAFOMIX
>700 Y ≤ 1000	100/5 A	
> 1500	200/5 A	TMEA-33

TABLA II
TERMINALES PARA EXTERIORES
SEGUN SECCION -10 KV

TIPO PMI
- ACOMETIDA Y SALIDA SUBTERRÁNEA (N2XSY)

CARLOS HIPOLITO GARCIA HUAYANEY
 INGENIERO ELECTRICISTA
 Reg. del Colegio de Ingenieros N° 48966

CONEXIÓN EN M.T. 10kV EN PUESTO DE MEDICIÓN A LA INTEMPERIE (PMI)

SISTEMA DE UTILIZACION EN MEDIA TENSION 10KV PARA EL SUMINISTRO ELECTRICO AL HOSPITAL
QUILLABAMABA - CUSCO

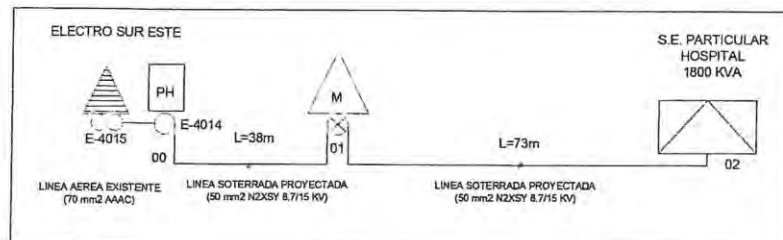
CONCESIONARIO: ELECTRO SUR ESTE S.A.A.	ESQUEMA ELECTRICO TRAFOMIX	DISEÑO: FECHA: ENERO 2018 DEPARTAMENTO: CUSCO PROVINCIA: LA CONVENCION DISTRITO: SANTA ANA	ESCALA: 5/E LAMINA N°: L-03
ESPECIALISTA: CARLOS GARCIA HUAYANEY ING. ELECTRICISTA CIP: 48966			

005353

Relación entre la tensión nominal de la red y la tensión mas elevada para el material	
Tensión nominal de la red U_n (kV)	Tensión mas elevada para el material U_m (kV)
3	3.6
6	7.2
10	12
15	17.5
20	24
30	36


2.3 DIAGRAMA DEL SISTEMA ELECTRICO

El diagrama del sistema eléctrico comprende la estructura existente del punto de diseño (P00), la estructura de protección y seccionamiento existente (P01), la estructura de medición a la intemperie proyectada (PMI) y la subestación particular proyectada.



2.4 DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA

El transformador o los transformadores seleccionados están en función de la máxima demanda solicitada del proyecto.

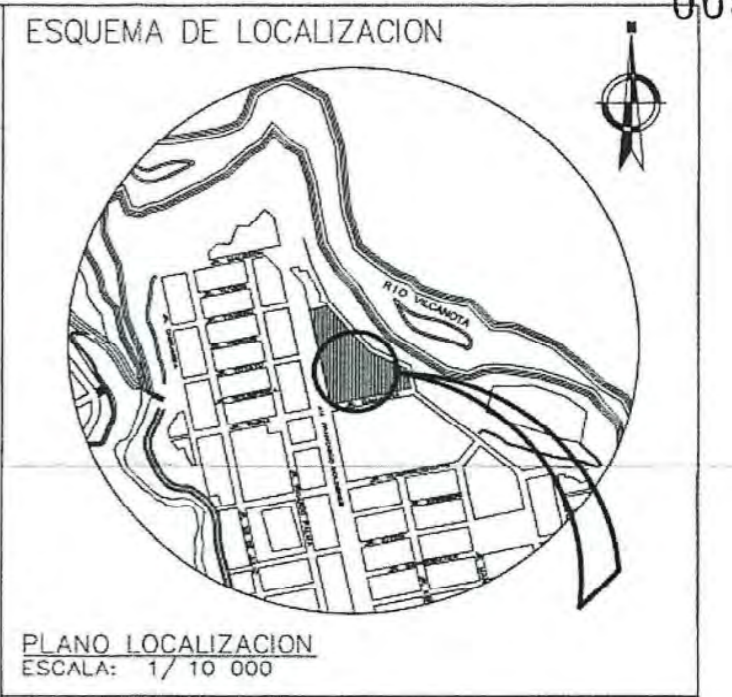
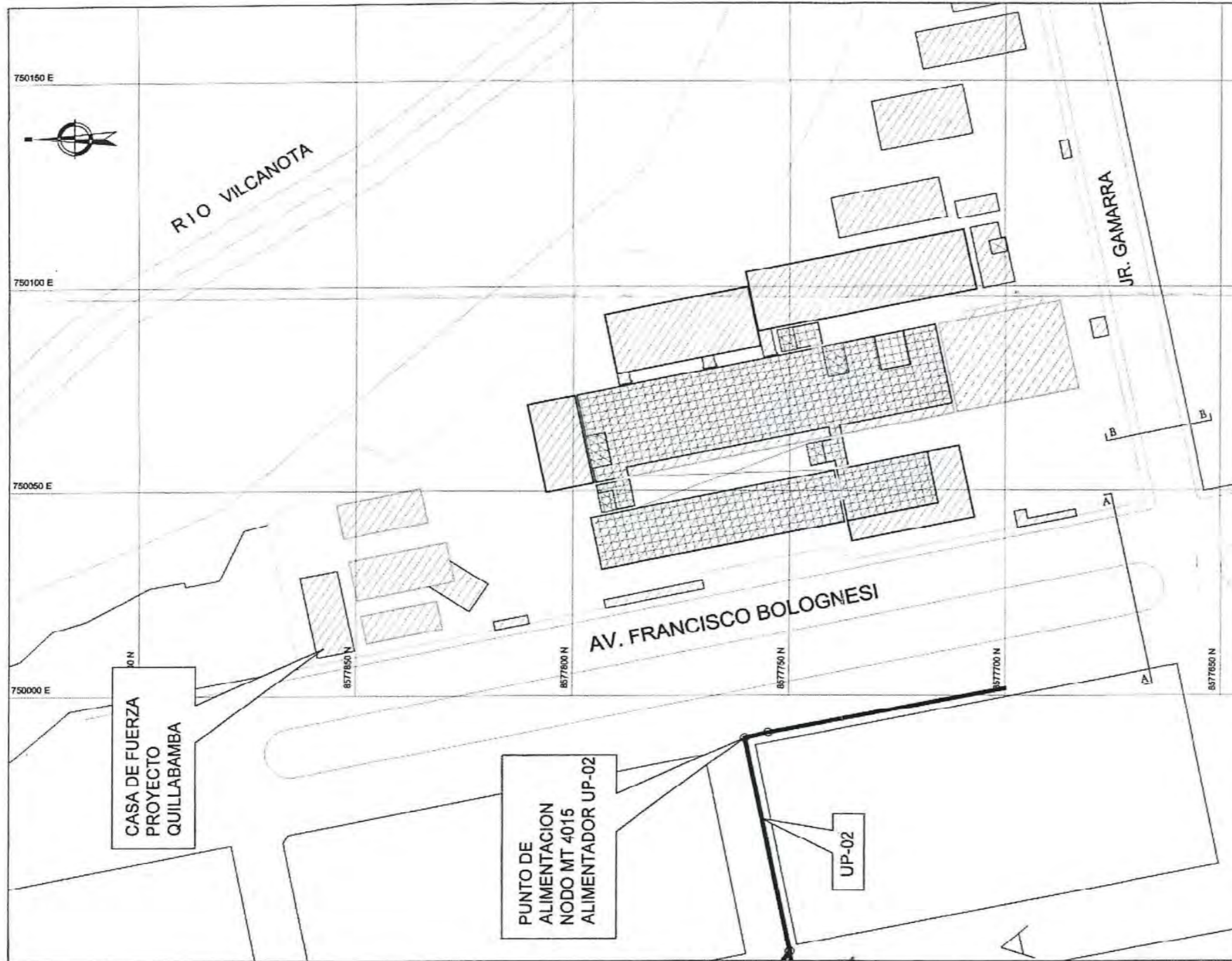

 CARLOS HIPÓLITO GARCÍA HUAYANEY
 INGENIERO ELECTRICISTA
 Reg. del Colegio de Ingenieros N° 48966

005352

CUADRO DE CARGAS ESTIMADO PROYECTO HOSPITAL QUILLABAMBA						
EDIFICADA (BASADO EN DIMENSIONES EXTERNAS): CNE-U SECCION 50						
AREA TOTAL EDIFICADA	15,291	m ²				
AREA DE ALTA INTENSIDAD	893	m ²				
PASOS		DESCRIPCION	P.I. (KW)			
1.00		CARGA BASICA DEL HOSPITAL: 20w/m ² x At(m ²)	305.82			
2.00		CARGA EN AREAS DE ALTA INTENSIDAD: 100w/m ² x Aa i n t(m ²)	89.30			
3.00		TOTAL DE OTRAS CARGAS DEL HOSPITAL	2048.09			
	3.01	SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO	995.60			
	3.02	INSTALACIONES MECANICAS(GASES MEDICINALES,ETC)	96.68			
	3.03	DIAGNOSTICO POR LA IMAGEN	44.00			
		COMUNICACIONES (DATA CENTER) Y SEGURIDAD ELECTRONICA	71.18			
	3.04	EQUIPAMIENTO MEDICO Y OTROS	481.00			
	3.05	SISTEMA DE COMPUTADORAS	114.00			
	3.06	ALUMBRADO EXTERIOR	2.50			
	3.07	SISTEMA ELECTROBOMBAS SANITARIO	139.13			
	3.08	TRANSPORTE VERTICAL	104.00			
4.00		LA CARGA TOTAL DEL EDIFICIO	2443.21			
5.00		CARGA TOTAL DEL EDIFICIO MENOS CUALQUIER CARGA DE AIRE ACONDICIONADO	1447.61			
CALCULO DE FACTORES DE DEMANDA			P.I (KW)	F.D. (%)	M.D. (KW)	
1.00		CARGA TOTAL DE AIRE ACONDICIONADO (CON F.D. SECCION 270)	995.60	75.00	746.70	
2.00		CALCULO DE LA CARGA POR m ²				0.095 KW/m ²
3.00		CALCULO DE LA CARGA PARA LOS PRIMEROS 900m ² del área: Kw/m ² *900m ²	85.20	80.00	68.16	
4.00		CALCULO DE LA CARGA restante : K/m ² *(A total-900)m ²	1362.41	65.00	885.57	
		CARGA TOTAL	2443		1700 kW	


 CARLOS HIPÓLITO GARCÍA HUAYANEY
 INGENIERO ELECTRICISTA
 Reg. del Colegio de Ingenieros N° 48966

PLANOS EN MEDIA TENSION



ENTIDAD:
PRONIS
 Programa Nacional de Inversiones en Salud
PROGRAMA NACIONAL DE INVERSIONES EN SALUD

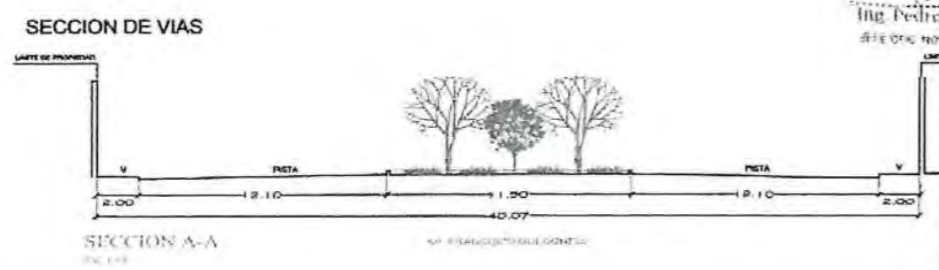
ZONIFICACION : OTROS USOS

DEPARTAMENTO : CUSCO
 PROVINCIA : LA CONVENCION
 DISTRITO : SANTA ANA
 DIRECCION : AV. FRANCISCO BOLOGNESI
 C/N JR. GENERAL GAMARRA

FIRMA PROP.:
 FIRMA Y SELLO PROJ.:
 ARQ. GLADYS HISHIKAWA MIGITA
 CAP: 2889

PROYECTO:
 "MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DE LOS SERVICIOS DE SALUD DEL HOSPITAL QUILLABAMBA, EN LA LOCALIDAD QUILLABAMBA, DISTRITO SANTA ANA, PROVINCIA LA CONVENCION Y DEPARTAMENTO DE CUSCO"
 CODIGO SNIP N° 268462

PLANO: LOCALIZACION Y UBICACION
 ESCALA: INDICADA
 FECHA: ENERO-2018
 LAMINA: U-01



Electro Sur Este S.A.R.L.
 Ing. Pedro Sarmiento Cuba
 CIP: 45401
 INGENIERO EN ELECTRICIDAD Y ESTANDARIZACION

Ing. Juan Paul Gonzalez Delgado
 CIP: 147 87218
 REVISOR DE PROYECTOS

Electro Sur Este S.A.R.L.
CONFORMIDAD DE PROYECTO
 Por: ALVARO
 RESOLUCION: GP 013 - 2018 - CP/SU
 FECHA: 01-28-2018

Ing. Carlos Hipólito Gardía Huananay
 INGENIERO ELECTRICISTA
 Reg. del Colegio de Ingenieros N° 45966

PLANO DE UBICACION
 ESC.: 1/750

DIAGRAMA UNIFILAR SUBESTACION PROYECTADA

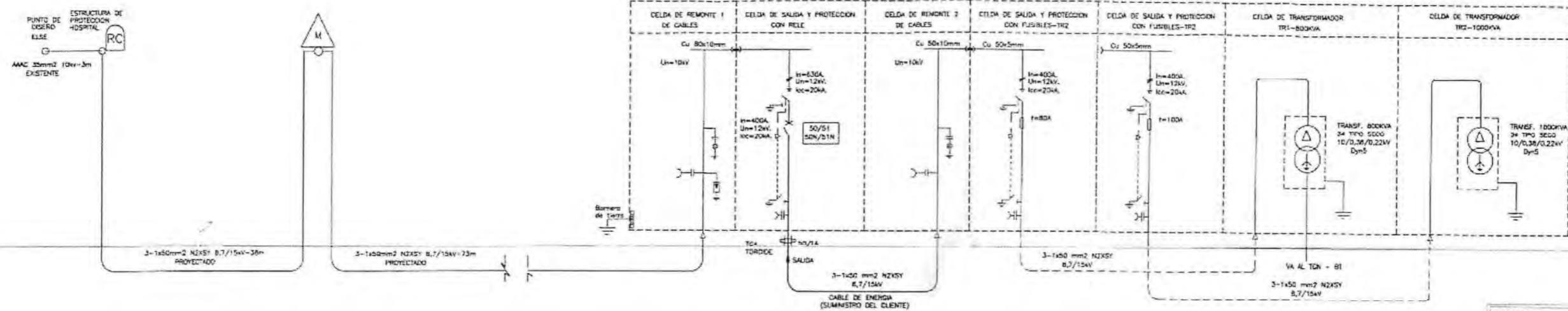
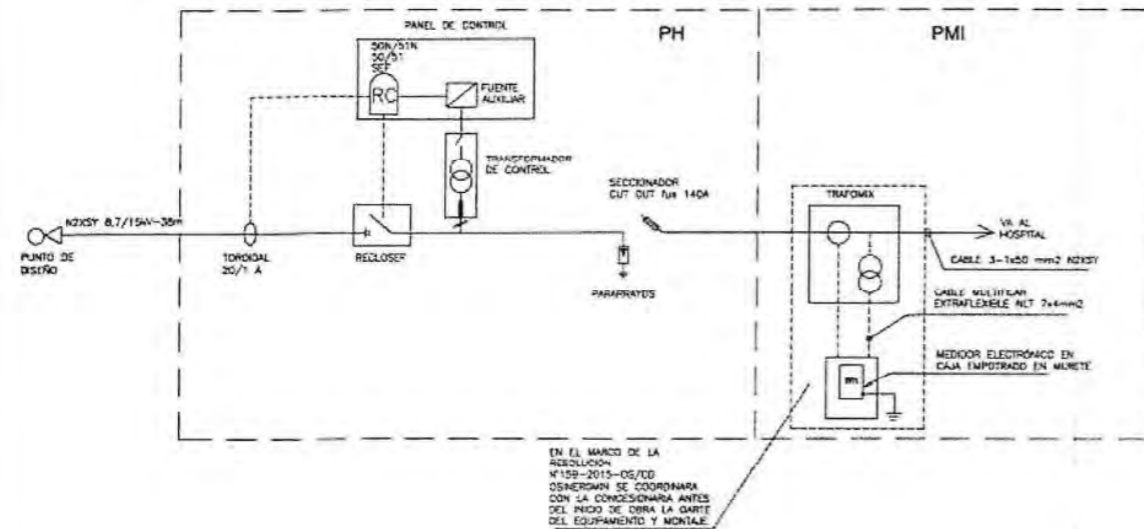


DIAGRAMA UNIFILAR SISTEMA DE PROTECCION Y PMI



EN EL MARCO DE LA RESOLUCION N°159-2015-05/CD OSERENAM DE COORDINAR CON LA CONCESIONARIA ANTES DEL INICIO DE OBRA LA PARTE DEL EQUIPAMIENTO Y MONTAJE

NOTA: Icc Cut Out para la protección contra CC (en coordinación con el rele en la zona de conexión 10kV)

CELDA DE PROTECCION PRINCIPAL: CP
 CELDA DE PROTECCION CON INTERRUPTOR EN VACIO, SECCIONADOR BAJO CARGA EN GAS SF6
 01 RELE RE PROTECCION 50/51, 50V/51N
 03 TCA DE PROTECCION Y MEDICION
 01 TRANSFORMADOR DE CORRIENTE TOROIAL PARA PROTECCION HOMOPOLAR
 03 TCA DE PROTECCION Y MEDICION
 01 MANUJADOR DE POTOS

SIMBOLO	DESCRIPCION DIAGRAMA UNIFILAR PROT-PMI
	TRANSFORMADOR DE TENSION
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE DE LINEA
	CARRO PORTAFUSIBLE DEL TIPO FINO
	POZO DE PUESTA A TIERRA
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE TOROIAL, TENSION DE SERVICIO 0,72kV, PRIMARIO 50A-100A, SECUNDARIO 1 A
	POZO DE PUESTA A TIERRA
	PMI (PUNTO DE MEDICION A LA INTEMPERIE)
	PUNTO DE DISEÑO ESTRUCTURA EXISTENTE
	SECCIONADOR CUT OUT 100A, 15kV, 110 kVBL
	MEDIDOR ELECTRONICO
	DESCARGADOR DE SOBRETENSIONES

SIMBOLO	DESCRIPCION DEL DIAGRAMA UNIFILAR S.E.
	TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION DE 800KVA Y 1000KVA.
	TERMINAL INTERIOR TIPO CORTO PARA CONEXION DE CABLE
	SECCIONADOR-INTERRUPTOR DE POTENCIA EN SF6, 24kV, 400A, Icc=20kA, RL= 125kV, CON FUSIBLES DE ALTO PODER DE RUPTURA CON SECCIONADOR DE PUESTA A TIERRA Y APERTURA AUTOMATICA CUANDO SE FUNDE UNO DE LOS FUSIBLES, CON INDICADOR DE PRESENCIA DE TENSION, CON MODULO DE COMUNICACION
	INDICADOR DE PRESENCIA DE TENSION.
	CABLE SECCO TIPO N2XSY-1400 mm2 N2XSY 8,7/10kV
	PUESTA A TIERRA
	BARRA DE COBRE

ENTIDAD
PRONIS
 Proyectos e Instalaciones de Infraestructura en Salud

CONSEJERÍA
 D + M ARQUITECTOS SAC

PROYECTO
 SISTEMA DE UTILIZACION EN TI PARA EL MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DE LOS SERVICIOS DE SALUD DEL HOSPITAL QUELLABAMBA EN LA LOCALIDAD DE QUILLABAMBA, DISTRITO DE SANTA ANA, PROVINCIA DE CONDESUYO, DEPARTAMENTO DE CUELLCO. CODIGO 9187N2842

ESPECIALIDAD:
 INSTALACIONES ELECTRICAS

DESCRIPCION:
 DIAGRAMA UNIFILAR

ESPECIALISTA:
 CARLOS H. GARCIA HUAYANAY INGENIERO ELECTRICISTA CP 48992

SELLO Y FIRMA:

JEFE DE PROYECTO:
 ARD EDUARDO RAJE DEKTE MORMOTO CAP 2536

SELLO Y FIRMA:

UBICACION:
 DISTRITO: DUSO LA CONDESAÑA SANTA ANA

LÁMINA:
 IE.SU-03

FECHA:
 01-25-2017

Electro Sur Celo S.R.R.
 CONFORMIDAD DE PROYECTO
 DISEÑO ELECTRICO
 RESOLUCION CP 013 3011 - CPSU
 FECHA 01-25-2017

Electro Sur Celo S.R.R.
 CONFORMIDAD DE PROYECTO
 DISEÑO ELECTRICO
 RESOLUCION CP 013 3011 - CPSU
 FECHA 01-25-2017