

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMATICA
Y MECÁNICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TESIS:

**ANALISIS DE LAS CORRIENTES ARMONICAS EN BAJA TENSION
Y SU INCIDENCIA A LA CALIDAD DEL PRODUCTO DEL
HOSPITAL REGIONAL DEL CUSCO -2018**

PRESENTADO POR:

BR. WILLIAMS PALOMINO NOA

BR. VICTOR RAUL MENDOZA BOZA

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

ASESOR:

ING. EDGAR ZACARIAS ALARCON VALDIVIA

CUSCO – PERÚ

2019

PRESENTACIÓN

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

A la conclusión de mis estudios profesionales y en cumplimiento de las Normas establecidas para optar el título profesional de Ingeniero Electricista, pongo a su consideración el trabajo de tesis intitulado: “ANÁLISIS DE LAS CORRIENTES ARMÓNICAS EN BAJA TENSIÓN Y SU INCIDENCIA A LA CALIDAD DEL PRODUCTO DEL HOSPITAL REGIONAL DEL CUSCO - 2018”, Con el objetivo de contribuir al mejoramiento de la calidad de la energía eléctrica en el centro hospitalario mencionado.

Esperando que los señores dictaminantes y miembros del jurado, hagan llegar sus opiniones, sugerencias y críticas acerca del presente trabajo, que permitirá lograr la mejora del presente trabajo de tesis.

Los tesistas.

DEDICATORIA:

A mi Familia, a la persona especial que me acompaña y a todas aquellos amigos y amigas que han colaborados y brindado su apoyo incondicional en mi formación académica profesional, por haber cumplido una de mis metas y poder ser grande profesional de éxito.

Williams Palomino Noa

Con todo mi amor y cariño a mis señores padres, Erasmo y Felicitas, porque ellos supieron guiarme por el camino del bien y estuvieron siempre a mi lado brindándome su apoyo incondicional, para llegar a culminar mi carrera profesional.

A mis Hermanos por sus consejos y quienes han vivido de cerca los distintos procesos de mi vida, momentos felices y tristes que toda persona experimenta a lo largo de la vida.

A mi novia Jessica, por su apoyo y confianza. Que siempre estuvo conmigo, motivándome en cada paso de mi carrera profesional. Gracias amor.

Victor Raul Mendoza Boza

AGRADECIMIENTO:

A “Dios”, por brindarnos la oportunidad de vivir, darnos la fuerza espiritual para poder continuar y por permitirnos disfrutar cada momento de mi vida y guiarnos por el camino que ha trazado para nosotros.

Agradecemos a la “**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**” por cobijarnos en sus aulas universitarias y por darnos la oportunidad de formarnos tanto profesionalmente y como personas.

A nuestros docentes de la **UNSAAC**, quienes nos brindaron parte de sus conocimientos, por los valores inculcados en el trajinar de los años y por sembrar actitud, aptitud y espíritu emprendedor, que ahora son parte de nuestras raíces.

A los docentes de la Escuela profesional de Ingeniería eléctrica por participar sembrando conocimiento en nosotros, por brindarnos lo necesario para crecer profesionalmente.

Williams Palomino Noa

Victor Raul Mendoza Boza

INTRODUCCIÓN

La distorsión armónica ha sido un problema que ha estado presente desde los comienzos de la ingeniería eléctrica y cobra mayor significado en las últimas décadas, debido a la proliferación de cargas electrónicas que no tienen un comportamiento lineal, formadas principalmente por cargas constituidas por convertidores estáticos conectados directamente a la red eléctrica, que han incrementado extraordinariamente la existencia de corrientes no senoidales con alto contenido de armónicos.

Actualmente las redes eléctricas tienen que soportar la presencia de cargas no lineales como ordenadores, balastos electrónicos, variadores de velocidad, rectificadores o fuentes de alimentación que cimentan su funcionamiento en componentes de electrónica de potencia tales como diodos, tiristores, transistores, triac y diacs. Estos componentes son los causantes en general de las perturbaciones eléctricas y en particular de los armónicos.

La presencia de armónicos en las redes eléctricas ocasiona multitud de problemas, que pueden ser graves cuando su contenido es elevado como son: sobrecargas en los conductores de las fases, sobrecargas en el conductor de neutro, sobrecargas en sistemas pasivos de compensación de energía reactiva, sobrecargas y vibraciones en máquinas eléctricas conectadas a la red, disparo indebido de interruptores automáticos, mal funcionamiento de los relés de protección, mediciones erróneas en equipos de medida, presencia de perturbaciones en equipos de control, etc.

Todo ello hace que sea altamente recomendado evitar la creación de estos armónicos o cancelar la presencia de los mismos estando entre los métodos más utilizados los filtros pasivos debido a su simplicidad y economía, pero las cargas no lineales se caracterizan por su variabilidad en el tiempo de forma aleatoria y rápida.

El problema ha adquirido tal importancia que se ha creado una normativa reguladora de armónicos de corriente como la Norma UNE 61000, Norma IEC 61000 y Norma IEEE 519-1992, las cuales establecen recomendaciones y niveles admisibles para limitar el contenido o inyección de armónicos en las redes eléctricas.

RESUMEN

El uso de los dispositivos electrónicos en la industria, comercio, centro de salud y residencias, trajo consigo un aumento significativo de las perturbaciones que afectan la calidad del producto de la energía eléctrica, cuya consecuencia más notoria es la distorsión, de la forma de onda fundamental, sea ya de tensión o de corriente.

El concepto de calidad de energía eléctrica, ha ido tomando importancia cada vez más en las últimas décadas cobrando importancia y notoriedad dentro del ámbito de la ingeniería eléctrica, y hoy día, se ha convertido en motivo de interés el estudiar minuciosamente por parte de las generadoras, transmisoras y distribuidoras de energía eléctrica, con el propósito de entregar un producto satisfactorio a los consumidores finales. El origen de este problema se da por la presencia mayoritaria de cargas no lineales, cuyo resultado son las corrientes altamente contaminadas, que al propagarse por las redes eléctricas estas distorsionan, provocan distorsiones, caídas de tensión, y pérdidas de potencia, con un alto grado de distorsión armónica.

Para mejorar la calidad del producto, se han propuesto diferentes soluciones basadas unas en filtros pasivos y filtros activos. Estos filtros se pueden conectar en paralelo o en serie, dependiendo del tipo de carga a compensar. Las soluciones existentes tratan de evitar que estas corrientes se propaguen por la red, o en su defecto limitar la emisión de perturbaciones de forma que no afecte a los equipos o instalaciones conectadas a la red eléctrica.

En la presente tesis nos basaremos en bases conceptuales para implementar un modelo de filtro, para mitigar o compensar las perturbaciones existentes

En el capítulo I, se da a conocer los aspectos generales del presente trabajo de tesis, como planteamiento del problema, objetivos, justificaciones, hipótesis y otros aspectos inherentes a este capítulo.

En el capítulo II, se presenta toda la teoría necesaria correspondiente a los armónicos, su generación y sus efectos, así como el marco normativo existente tanto a nivel nacional e internacional, con respecto a la tolerancia permitida de las distorsiones armónicas.

En el capítulo III, se presenta un diagnóstico a las celdas de salida en baja tensión de las subestaciones 10021 y 10823, para establecer la calidad del producto existente, el comportamiento de sus componentes armónicas que ocasionan una distorsión en la forma de onda fundamental, para posteriormente establecer si cumplen o no los indicadores mínimos establecidas en las normas.

En el capítulo IV, se ha desarrollado un análisis de los filtros existentes, para posteriormente hacer una selección de la alternativa más viable para mejorar la calidad del producto de la energía eléctrica

En el capítulo V, Utilizando la herramienta informática simulink existente en el software matlab, se hizo la simulación insertando el filtro seleccionado, que nos permitió observar en que porcentaje disminuye la distorsión de la corriente contaminada, y contrastar los resultados con la hipótesis planteada.

ABSTRACT

The use of electronic devices in industry, commerce, health center and residences, brought about a significant increase in disturbances affecting product quality electric power, whose most notable consequence is the distortion of the waveform essential, whether voltage or current.

The concept of power quality, has been gaining importance increasingly in recent decades gaining importance and visibility within the field of electrical engineering, and today has become a matter of interest poring by generating, transmission and distribution of electricity, in order to deliver a satisfactory product to final consumers. The origin of this problem is given by the major presence of non-linear loads, which result are highly contaminated currents that propagate electric networks these distort, cause distortions, brownouts, and power losses, with a high degree harmonic distortion.

To improve product quality, different solutions have been proposed based on a passive filters and active filters. These filters can be connected in parallel or in series, depending on the type of load to compensate. Existing solutions try to prevent these currents from spreading through the network, or otherwise limit the noise emission so as not to affect the equipment or connected to the mains facilities.

In this thesis we will rely on a conceptual basis for implementing a filter model, to mitigate or compensate for the perturbations

Chapter I, disclosed the general aspects of this thesis, as problem statement, objectives, justifications, assumptions and other aspects inherent in this chapter.

In Chapter II, all related to harmonics necessary theory, its generation and its effects as well as the existing regulatory framework both at national and international level regarding the permitted tolerance of harmonic distortion arises.

Chapter III, a diagnosis output cells occurs at low voltage of the sub park 10021 and 10823, to establish the quality of the existing product, the behavior of their harmonic components causing a distortion in the fundamental waveform, to further establish whether they meet the minimum standards established indicators.

In Chapter IV, has developed an analysis of existing filters, later make a selection of the most viable alternative to improve product quality electric power

In Chapter V, using the existing IT tool in matlab Simulink software, simulation was made by inserting the selected filter, which allowed us to observe that percentage decreases distortion polluted stream, and compare the results with the hypothesis.

INDICE GENERAL

PRESENTACIÓN.....	II
DEDICATORIA:	III
AGRADECIMIENTO:	III
INTRODUCCIÓN	IV
RESUMEN	VI
ABSTRAC.....	VIII
INDICE GENERAL.....	X
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	XII
INDICE DE TABLAS	XIV
ÍNDICE DE FOTOS.....	XV
INDICE DE ABREVIATURAS	XVI
CAPITULO I.....	17
1.1 EL PROBLEMA	17
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.3 OBJETIVOS	19
1.4 HIPOTESIS	19
1.5 VARIABLES E INDICADORES	20
1.6 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	20
1.7 ANTECEDENTES.....	21
1.8 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	32
1.9 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	34
1.10 METODOLOGÍA.....	35
CAPITULO II.....	38
MARCO TEÓRICO Y NORMATIVO	38
2.1 CONCEPTOS GENERALES	38
2.2 DEFINICIÓN DE LOS ARMÓNICOS.....	38
2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS ARMÓNICOS.....	44
2.4 FUENTES DE GENERACIÓN DE ARMÓNICOS	45
2.5 EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS.....	62
2.6 IMPACTO ECONÓMICO.....	67
2.7 MARCO NORMATIVO.....	68

CAPITULO III.....	75
ANÁLISIS DE LAS CORRIENTES ARMÓNICAS EN BAJA TENSIÓN Y SU INCIDENCIA A LA CALIDAD DEL PRODUCTO DEL HOSPITAL REGIONAL DEL CUSCO.....	75
3.1 INTRODUCCIÓN	75
3.2. DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO ANALIZADOR DE REDES.....	76
3.3 EVALUACIÓN DE LA OPERACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL.....	84
3.4 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	86
3.5 ANÁLISIS SUBESTACIÓN DISTRIBUCIÓN 0010823	87
3.5.4 VARIACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA SED 0010823.....	96
3.6 ANÁLISIS SUBESTACIÓN DISTRIBUCIÓN SED 0010021	98
CAPITULO IV	108
ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PROPUESTA	108
4.1 INTRODUCCIÓN	108
4.2 FILTROS PASIVOS DE POTENCIA	109
4.3 FILTROS ACTIVOS DE POTENCIA	118
4.4 FILTROS HIBRIDOS (Arocas, 2005).....	122
4.5 CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL FILTRO PASIVO	126
4.6 DIMENSIONAMIENTO DEL FILTRO PASIVO.....	129
CAPITULO V	132
APLICACIÓN A SISTEMAS DE PRUEBA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA	132
5.1 CONSIDERACIONES PREVIAS	132
5.2 APLICACIÓN DEL FILTRO A CASO CONCRETO	132
5.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA	132
5.4 DIAGRAMA EQUIVALENTE DEL FILTRO Y LA RED ELÉCTRICA	133
5.5 SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS COMPONENTES ARMÓNICAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSION DEL HOSPITAL REGIONAL DEL CUSCO.....	134
5.6 SIMULACIÓN EN SISTEMA DE PRUEBA SED 0010823.....	134
5.7 SIMULACIÓN EN SISTEMA DE PRUEBA SED 0010021	141
CONCLUSIONES	150
RECOMENDACIONES	152
BIBLIOGRAFÍA	153
ANEXOS	155

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Alimentadores	33
Ilustración 2 Formación de una señal armónica	39
Ilustración 3 Triangulo de potencia de componentes armónicas	40
Ilustración 4 Señal fundamental más tercera armónica	43
Ilustración 5 Forma de onda de un conversor estático.....	46
Ilustración 6 Forma de onda de voltaje de un soldador de arco monofásico.....	47
Ilustración 7 Forma de onda de corriente de carga de una soldadura de arco monofásico.....	48
Ilustración 8 Característica del voltaje de arco vs corriente de arco para longitud de arco constante	49
Ilustración 9 Forma de onda típica de voltaje y corriente de un horno de arco	50
Ilustración 10 Onda de corriente y espectro de frecuencias en lámparas fluorescentes	52
Ilustración 11 Onda de corriente y espectro de frecuencias en computadoras	53
Ilustración 12 Onda de corriente en un equipo de sonido.....	54
Ilustración 13 Espectro de frecuencia de un equipo de sonido	54
Ilustración 14 Funcionamiento de los equipos de Rayos X y su funcionamiento	58
Ilustración 15 Espectro poli energético de rayos X, tras atravesar 20 cm de agua a diferentes potenciales aplicados en el tubo.....	61
Ilustración 16 Resonador magnético.....	62
Ilustración 17 analizador de redes PQ-BOX100.....	78
Ilustración 18 Descripción general del analizador de redes PQ-BOX100.....	80
Ilustración 19 Diagrama de tensión para red trifásica de baja tensión	81
Ilustración 20 Diagrama de conexión de tensión para red monofásica de baja tensión	82
Ilustración 21 Diagrama de conexión tensión a transformadores secundarios en redes de media y alta tensión	83
Ilustración 22 Diagrama de conexión Conexiones VT-CT.....	84
Ilustración 23 Comportamiento de la forma de onda de tensión y corriente con la presencia de componentes armónicas SED 0010823	88
Ilustración 24 Variación de THDv en los primeros 50 Armónicos SED 0010823.....	89
Ilustración 25 Armónicos sobresalientes	90
Ilustración 26 Variación de la tasa de distorsión armónica total de tensión SED 0010823	93
Ilustración 27 Variación del factor de potencia SED 0010823.....	97
Ilustración 28 Análisis de la SED 0010823	97
Ilustración 29 Variación de la tasa de distorsión armónica de corriente SED 0010823.....	98
Ilustración 30 Comportamiento de la forma de onda de tensión y corriente con la presencia de componentes armónicas SED 0010021	99
Ilustración 31 Variación de THDv en los primeros 50 Armónicos SED 0010021	100
Ilustración 32 Variación de THDi en los primeros 50 armónicos SED 0010021.....	103
Ilustración 33 Variación de la tasa de distorsión armónica de corriente SED 0010021.....	107
Ilustración 34 Variación del factor de potencia SED 0010021.....	107

Ilustración 35 Opciones para filtrado de corrientes armónicas.....	109
Ilustración 36 Posibles combinaciones de elementos en un filtro pasivo	110
Ilustración 37 Circuito monofásico con la implementación de un filtro pasivo serie	111
Ilustración 38 Arreglo de una sola rama de un filtro pasivo serie	112
Ilustración 39 Configuraciones de filtros pasivos paralelos	113
Ilustración 40 Circuito monofásico con la implementación de un filtro pasivo paralelo	113
Ilustración 41 Arreglo de una sola rama de un filtro pasivo paralelo	114
Ilustración 42 Arreglo de una sola rama de un filtro pasivo de segundo orden.....	115
Ilustración 43 Arreglo de una sola rama de un filtro pasivo de tercer orden.....	116
Ilustración 44 Arreglo de una sola rama de un filtro de tercer orden pasa alto	117
Ilustración 45 Filtros paralelos y filtros serie	119
Ilustración 46 Filtro activo serie	120
Ilustración 47 Filtrado activo paralelo con fuente de corriente	121
Ilustración 48 Filtrado activo paralelo con fuente de tensión	121
Ilustración 49 Filtrado activo en serie con la línea	123
Ilustración 50 Filtrado activo en serie con el filtro pasivo.....	124
Ilustración 51 Filtrado activo en paralelo con el filtro pasivo	125
Ilustración 52 Filtro sintonizado simple	131
Ilustración 53 Puente rectificador trifásico controlado con una carga equivalente	133
Ilustración 54 Circuito equivalente de la red y el filtro, Matlab Simulink	133
Ilustración 55 Interior del filtro, conexionado de los filtros para mitigar corrientes armónicas, Matlab Simulink.....	134
Ilustración 56 Conexión filtro pasivo SED 0010823	137
Ilustración 57 Forma de onda de corriente antes de la medición y después de la medición del filtro pasivo SED 0010823.....	140
Ilustración 58 Conexión filtro pasivo SED 0010021 Matlab Simulink.....	145
Ilustración 59 Forma de onda de corriente antes de la medición y después de la medición del filtro pasivo SED 0010021.....	148

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos De Equipos Biomédicos Malogrados	18
Tabla 2. Relación de SED para realizar el análisis	32
Tabla 3. Matriz de consistencia	37
Tabla 4. Tipos de armónicos	44
Tabla 5. Tipos de armónicos	45
Tabla 6. Contenido de armónicos en un horno de arco.....	49
Tabla 7. Valores de las tensiones armónicas eficaces.....	71
Tabla 8. Base para los límites de corrientes armónicas	73
Tabla 9. Alimentadores que salen de la subestación de Dolores pata	85
Tabla 10. SED para el estudio a realizar el análisis	86
Tabla 11. Análisis de armónicos de tensiones individuales SED 0010823	91
Tabla 12. Distorsión armónica total de tensión	92
Tabla 13. Máxima distorsión armónica de corriente %	94
Tabla 14. Análisis de armónicos de corrientes individuales SED 0010823	94
Tabla 15. Distorsión armónica total de corriente	96
Tabla 16. Análisis de armónicos de tensiones individuales SED 0010021	101
Tabla 17. Distorsión armónica total de tensión	102
Tabla 18. Máxima distorsión armónica de corriente %	104
Tabla 19. Análisis de armónicos de corrientes individuales SED 0010021	104
Tabla 20. Distorsión armónica total de corriente	106
Tabla 21. Parámetros de la carga SED 0010823.....	135
Tabla 22. Parámetros del sistema de prueba SED 0010823	136
Tabla 23. Tasa individual de distorsión de corriente SED 00100823.....	138
Tabla 24. Tasa de distorsión armónica total de corriente (THDI) SED 00100823.....	139
Tabla 25. Parámetros de la carga R, L, C para la 5ta armónica.....	142
Tabla 26. Parámetros del sistema de prueba SED 0010021	144
Tabla 27. Tasa individual de distorsión armónica de corrientes SED 0010021	146
Tabla 28. Tasa de distorsión armónica total de corriente (THDI) SED 0010021.....	147

ÍNDICE DE FOTOS

<i>Foto 1: Medición SED – 0010021.</i>	168
<i>Foto 2 : Medición SED – 0010021.</i>	168
<i>Foto 3 : Medición SED – 0010823.</i>	169
<i>Foto 4 : Medición SED – 0010823.</i>	169

INDICE DE ABREVIATURAS

PCC: Punto de conexión de carga

THD: Total harmonic distortion (Distorsión armónica total)

EMC: Compatibilidad electromagnética

NTCSE: Norma Técnica de Calidad de Servicios eléctricos

IEEE: Institute of Electrical Electronics Engineers

CENELEC: Comité Europeo para la Estandarización Electrotécnica

FAP: Filtro Activo de Potencia

UPQC: Unified Power Quality Conditioner

FACTS: Flexible AC Transmission System

VSI: Voltage source inverter (Inversor Alimentado con Tensión)

IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor (Transistor bipolar de puerta aislada)

PSD: Señal Digital del Procesador

SEIN: Sistema Eléctrico Interconectado Nacional

TPRI: Teoría de la Potencia Reactiva Instantánea

PWM: Pulse width Modulation (Modulación por anchura de pulsos)

TRIAC: Tríodo para Corriente Alterna

DIAC: Diodo para Corriente Alterna

TDD: Tasa de Distorsión en la Demanda

CD: Corriente Directa

SED: Subestación de Distribución

DO: Dolores pata

CEI: Comisión Electrotécnica Internacional

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 EL PROBLEMA

1.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A medida que la sociedad ha ido desarrollándose se ha incrementado más la presencia de las cargas no lineales, principalmente las de tipo electrónico, siendo cada vez más fácil encontrar cargas totalmente no lineales.

En el hospital regional del cusco, el uso de equipos especiales de control electrónico como son los tomógrafos, ecógrafos, equipos de rayos “X”, equipos de cómputo y de motores, llevan sistemas de control, ya sea para variar la velocidad, ahorrar energía o mejorar las prestaciones. Dentro del hospital regional del Cusco, la automatización ha hecho desaparecer los movimientos manuales y los ha sustituido por elementos distintos dotados de alimentación eléctrica.

Los equipos electrónicos toman la corriente eléctrica en forma de pulsos bruscos en vez de hacerlo en forma senoidal. Estos pulsos de corriente influyen en las formas de onda de tensión y corriente del sistema eléctrico de distribución, ocasionando la aparición de problemas en la red y en las cargas conectadas a ella; Teniendo como principal consecuencia la contaminación armónica de la red eléctrica.

La distorsión de la tensión debida a la circulación de las corrientes armónicas se está convirtiendo en uno de los mayores problemas para las empresas distribuidoras de energía eléctrica en los niveles de distribución.

El impacto en estos problemas se nota cada vez más en los clientes hospitalarios, industriales, comerciales y residenciales, obligando a los proveedores a incluir

características en los equipos que toleren estos problemas, elevando el costo del equipo.

Tabla 1. *datos de equipos biomédicos malogrados*

DATOS DE EQUIPOS						
<i>Nro.</i>	<i>Fecha</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Tipo</i>	<i>Marca y Modelo</i>	<i># Serie</i>	<i>Diagnóstico Del Equipo</i>
1	C/05/08/17	Sala 1	Monitor Multiparámetro	Datex Ohmeda Cardiocap/5	6260898	Fuente de alimentación dañado
2	C/11/09/17	Sala 1	Lámpara Cialítica Techo c/Satélite	Yamada 8250	AC3755	Cambiar diodos led de 5w,8 unidades se encuentran quemados
3	C/15/10/17	Sala 1	Desfibrilador	Nihon Kohden Tec 7521K	HA2826	Cargador dañado
4	C/22/11/17	Sala 2	Unidad de Electrocirugía	Mizuho TRC-1500B	91010196	Tarjeta de oscilación de alta frecuencia
5	C/15/12/17	Sala 3	Incubadora	Ohmeda IWS3400	HCCE50031	Cambio del motor de ventilación quemado
6	C/19/01/18	Recuperación	Pulsoxímetro	General Electric Trusat	CD06240 057SA	Fuente auxiliar malogrado
7	C/07/02/18	Recuperación	Bomba de Infusión	JMS OT-601	KO1430	Calibración de parámetros
8	C/13/03/18	Sala RN	Incubadora de Transporte	Fanem CF-3165	IT158TS	Tarjeta de PWM de ventilador malogrado
9	C/20/04/18	Sala RN	Incubadora Cerrada	Atom 850V	1122124	Tarjeta de control malogrado
10	C/09/05/18	Sala 4	Bomba de Infusión de un solo canal	Alaris	800283905	Tarjeta de sensores malogrado
11	C/26/06/18	Sala RN	Incubadora cerrada	Fanem 2186	CJ-2956	Tarjeta de lcd malogrado
12	C/17/07/18	Sala RN	Incubadora cerrada	Fanem 2186	CJ-2960	Fuente de alimentación malograda
13	C/14/08/18	UCI	Ventilador Pulmonar	Dräger Babylog 8000	ARYB-0116	Actualización de software
14	C/23/09/18	UCI	Aspirador de Secreciones	Cami New Hospirac350	4343	Rebobinado de motor

Nota. Fuente Hospital Regional Del Cusco

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA PRINCIPAL

¿La presencia de las corrientes armónicas en baja tensión incidirá en la calidad del producto del hospital regional del cusco -2018?

1. 2.2 PROBLEMA ESPECÍFICO

- ¿Los armónicos de corriente entonces incidirán en las redes del sistema eléctrico del Hospital Regional de Cusco?
- ¿Los diferentes tipos de filtros influirán en la reducción de las componentes armónicas de corrientes?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVOS GENERALES

¿Analizar la presencia de las corrientes armónicas en baja tensión que inciden en la calidad del producto del hospital regional del cusco -2018?

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar los armónicos de corriente para identificar la incidencia en las redes del sistema eléctrico del Hospital Regional de Cusco.
- Analizar y seleccionar los diferentes tipos de filtros para la reducir las componentes armónicas de corrientes.

1.4 HIPOTESIS

1.4.1 HIPÓTESIS GENERAL

Si se analiza la presencia de las corrientes armónicas en baja tensión entonces se identificara la incidencia en la calidad del producto del hospital regional del cusco - 2018.

1.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Si se evalúa los armónicos de corriente entonces identificaremos la incidencia en las redes del sistema eléctrico del Hospital Regional de Cusco.
- Si se analiza y selecciona los diferentes tipos de filtros entonces se reducirá las componentes armónicas de corrientes.

1.5 VARIABLES E INDICADORES

1.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

- Filtros y corrientes armónicas en baja tensión

1.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE

- Calidad del producto en el sistema eléctrico del hospital regional del cusco -2018.

1.6 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El presente trabajo pretende dar a conocer una solución a la presencia de armónicos en la señal eléctrica, la cual se adaptara automáticamente a los cambios de fluctuaciones en la red y en la carga, pudiendo mitigar armónicos de varios ordenes, y no son afectados por los cambios en las características de la red, eliminan los riesgos de resonancia entre el filtro y la impedancia de la red y son de reducido tamaño.

El aumento de los equipos electrónicos fue un fenómeno representativo de los últimos años, desde sus aplicaciones en la pequeña potencia, como alumbrado con balastos electrónicos y computadores personales, hasta aplicaciones de gran potencia como los variadores de velocidad, sistemas de alimentación ininterrumpida, se tiene una gran variedad de equipos diseñados para las exigencias actuales.

La relación del consumo electrónico se ha intensificado hasta ser similar al consumo de los equipos eléctricos clásicos. Equipos como ordenadores, balastos electrónicos, variadores de

velocidad, rectificadores o fuentes de alimentación, fundamentando su funcionamiento en componentes electrónicos de potencia, tales como diodos, tiristores, transistores, triac y diacs. Estos componentes son los causantes, en general, de las alteraciones eléctricas y en particular de los armónicos.

Estos equipos hacen que se simplifique el trabajo, que la cantidad y calidad de la producción aumente, pero el incremento de los mismos afecta al sistema eléctrico, ya que estas cargas no poseen un comportamiento lineal, por lo tanto han aumentado extraordinariamente la existencia de corrientes no sinusoidales con alto contenido de armónicos.

Actualmente ya no es idóneo hablar de energía activa y energía reactiva en el sentido convencional, cuyo concepto está establecido exclusivamente por el desfase entre las tensiones y corrientes, y tampoco es adecuado vincular el factor de potencia con el coseno del ángulo de desfase entre la tensión y la corriente, es decir con el $\text{Cos}\Phi$, puesto que esto solamente es válido cuando las formas de onda de las tensiones y corrientes son sinusoidales.

1.7 ANTECEDENTES

Para el desarrollo de la presente tesis no se tiene mucha experiencia en el presente tema a nivel regional para mitigar corrientes armónicos con filtros en redes de distribución, motivo por el cual se realiza dicho análisis.

Pero podemos mencionar como antecedentes los siguientes trabajos de Tesis:

Tema:

ANÁLISIS DE FILTROS PARA MITIGAR CORRIENTES ARMÓNICAS EN BAJA TENSIÓN DE LOS ALIMENTADORES DOLORESPATA: DO-04 Y DO-09 – CUSCO.

Autor:

Br. PERCY MORALES QUISPE.

Año:

2014

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar y seleccionar el filtro adecuado para la mitigación de corrientes armónicas en redes de distribución secundaria.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Evaluar la incidencia de los armónicos de corriente en las redes del sistema eléctrico.
- Desarrollar el análisis de diferentes tipos de filtros para la reducción de las componentes armónicas de corriente y seleccionar la más adecuada.
- Calcular y simular un filtro para la mitigación de componentes armónicas de corriente y su influencia en las redes del sistema eléctrico.

CONCLUSIONES:

- La empresa concesionaria ha elaborado una base de datos sobre el comportamiento de las cargas, a las que alimentan las sub estaciones de distribución en el ámbito de gestión, la evaluación de dicha información nos permite establecer que en las sub estaciones de los alimentadores DO04 YDO09, la pululación armónica alcanza un nivel preocupante del 23%, sin embargo se debe observar que este nivel se viene incrementando notablemente en los últimos años.
- Delos resultados obtenidos, las componentes armónicas de tensión, expresando mediante el parámetro THD, en todas las mediciones realizadas se observó que no transgreden la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos y tampoco las recomendaciones de la IEEE Std.519-1992.

- Las componentes armónicas de corriente son las más significativas en los diferentes SED, expresado mediante el parámetro THD, se tiene valores superiores al 20%, los cuales rebasan los límites establecidos por el estándar IEE 519-1992.
- Para alcanzar los niveles aceptables de la presencia de estas perturbaciones se ha considerado como elementos de control, la instalación de un filtro pasivo dimensionado para las armónicas 5°, 7°, 11° y 13°, el cual mejorara los parámetros operativos del sistema en forma global, tomando como función representativa la corrección del factor de potencia. Logrando así la incorporación del sistema a valores dentro de lo establecido por las normas vigentes.
- Con la implementación del filtro pasivo mediante la utilización del modelo implementado en el software utilizado se ha podido verificar, que el THDi se reduce de un considerable 22% a un nivel aceptable del 5%. La cual mejora la calidad de energía.
- La implementación de este tipo de filtros para mitigar las componentes armónicas de corriente, no requieren de una inversión económica alta.

Tema:

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE ERRORES EN RÉGIMEN NO- SINUSOIDAL EN CONTADORES DE ENERGÍA.

Autores:

Br. CALCI APAZA DAVID

Br. LICONA ZEGOBIA WILBERT

Año:

2010

OBJETIVOS.**OBJETIVOS GENERALES:**

Conocer, analizar y evaluar la magnitud de los errores generados en registro real de energía activa en un contador del tipo electromecánico de medición directa bajo el régimen No-sinusoidal o distorsión armónica.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Describir el principio físico-matemático de funcionamiento del contador de Inducción Activa.
- Evaluar un modelo matemático, para la simulación del error de registro de energía en contador de inducción Activa en presencia de formas de onda no sinusoidales.
- Realizar un análisis general de las características de los componentes electrónicos involucrados en el contador electrónico de energía Activa.
- Hacer una simulación con la ayuda de la herramienta Matlab y analizar los resultados en situaciones no sinusoidales del contador electromecánico.
- Evaluación sobre el uso de nuevas tecnologías en la medición de energía.

CONCLUSIONES:

- En la presente tesis se evalúa el desarrollo de un contador de energía eléctrica del tipo inductivo basado en el concepto de la potencia instantánea bajo el criterio de régimen No-sinusoidal o distorsión armónica.
- Se evalúa el impacto económico en la medición de la energía bajo los conceptos de potencia no sinusoidal, también se propone un modelo de medidor electrónico a utilizar, los contadores electrónicos modernos dentro de sus características indican principalmente el monitoreo de calidad de energía (distorsión de armónicos e inter armónicas) en tiempo real.
- De la simulación, el error de respuesta en frecuencia resulta que, el contador de energía registra solo 4% de 300 Hz y prácticamente no registra a los 1 KHz. esto es originado principalmente por el crecimiento de la impedancia del disco a altas frecuencias.

- De las simulación, el diferente registro por factor de potencia, es atribuido al hecho de que el flujo efectivo de tensión en el entre hierro, no está en cuadratura respecto de la tensión.
- Los errores registrados en el contador del tipo inducción, dependen de la distorsión de la corriente y voltaje, desfase entre cada voltaje y corriente armónica respecto de la fundamental, el nivel de carga y factor de potencia.
- De las pruebas referenciales de campo se concluye que, en presencia de armónicos existe una diferencia de registros de energía, para nuestro caso el contador electromecánico registró aproximadamente 2Kwh menos que el contador electrónico.
- Las medidas y resultados obtenidos nos aporta la información necesaria para conocer el funcionamiento de nuestra instalación, y poder buscar diferentes aplicaciones de mejora.
- La discrepancia entre el valor predicho y el calculado atreves de los datos experimentales y simulados con MATLAB demostrar variado la fase de los armónicos respecto a la fundamental el medidor electromecánico comete errores de registro de energía superior a los calculados.

Tema:

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS ARMÓNICOS EN LOS MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Autores:

Br. HURTADO Q. ANTONIO

Br. RODRÍGUEZ SÁNCHEZ ALFONSO

Año:

2008

OBJETIVOS.**OBJETIVO GENERAL:**

Analizar y evaluar las cargas no lineales para mejorar el nivel del comportamiento de las distorsiones armónicas tanto de tensión como de corriente, vista por el lado de los consumidores después del medidor de energía eléctrica. Ocasionadas por los elementos perturbadores en las instalaciones eléctricas interiores de los usuarios. Para una adecuada calidad de servicio en la energía eléctrica y una optimización de la lectura en los instrumentos registradores del consumo de energía.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Mediante el analizador virtual de armónicos. Medir las componentes de las distorsiones armónicas de tensión y corriente en las instalaciones eléctricas interiores. Vista por el lado del usuario después del medidor de energía eléctrica.
- Evaluar un estudio técnico y práctico para percibir los niveles permisibles de los armónicos en carga no lineales.
- Analizar el comportamiento del instrumento registrador de consumo de energía en presencia de armónicos.

CONCLUSIONES:

- De las pruebas recopiladas en el campo en tiempo real y luego procesadas en gabinete de una instalación eléctrica interior, vista por el lado del usuario después del medidor, para atenuar las distorsiones armónicas de corriente se diseñó el valor del filtro, pero en el mercado nacional no existen por no ser comerciales, para la solución al problema, siendo este de carácter básico de la investigación, se hizo uso del filtro RLC, anti resonante LC y condensadores de diferentes capacidades, lográndose valores significativos en I_{THDi} y corriente fundamental.

- Con respecto a las ondas fundamentales e individuales, al igual que sus valores de la corriente y tensión medidos en tiempo real. Siendo los armónicos más sobresalientes el 3°, 5° y 7°. Los que distorsionan la forma de onda de corriente y tensión, del total de los suministros un 64.70% predomina la 3° armónica y un 35.30% predomina la 5° armónica individual de tensión en su totalidad predomina la 5° armónica.
- El THDi se mitiga simultáneamente y también con valores reales diseñados, en el trabajo de tesis nos acondicionamos a los valores de filtro. Por lo que medimos en tiempo real el THDi aumenta sustancialmente, la corriente disminuye y el factor de potencia aumenta. Respecto al THDv este se mantiene.
- Las cargas no lineales utilizadas por los usuarios es diferente para cada vivienda.
- Corrientes y voltajes distorsionados producen errores en el medidor de inducción que dependen de distorsión de la corriente y voltaje. Desfasaje entre cada voltaje y sus corrientes armónica, nivel de carga y factor de potencia.
- La existencia de indicadores que permiten cuantificar y evaluar la distorsión armónica de las ondas de tensión y de corriente son el factor de potencia, el factor de distorsión y la tasa de distorsión armónica; en tal sentido las medidas realizadas con el analizador virtual de armónicos y cuyos resultados adjuntamos en el trabajo nos indica que el factor de potencia tiene valores bajos, ya que una indicación de la presencia significativa de armónicos es cuando el factor de potencia es diferente al $\cos\phi$.
- De esta manera, será beneficioso especialmente para los usuarios que utilizamos electrodomésticos con cargas no lineales donde el consumo de la energía eléctrica y/o lectura disminuye en un porcentaje mínimo. instalando un filtro anti resonante

LC en el tablero d distribución y conectado entre fases mitigando la 3° y/o 5° armónica de corriente.

Tema:

ANÁLISIS DE GENERACIÓN DE ARMÓNICOS EN LAS INSTALACIONES DEL HOSPITAL NACIONAL SUR ESTE ESSALUD CUSCO.

Autor:

Br. LUCIO GAMARRA SOTO

Año:

2007

OBJETIVOS:

OBJETIVO GENERAL.

Analizar la generación de armónicos en las instalaciones eléctricas del H.N.S.E. de Essalud-Cusco y plantear alternativas de solución para la eliminación de sus efectos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Analizar el problema de las perturbaciones armónicas teniendo consideración aspectos operativos y regulativos del sistema.
- Elaborar una metodología que permita identificar elementos generadores y receptores de las perturbaciones armónicas en el sistema.
- Elaborar una metodología que permita obtener la mejor solución técnica y económica que mitigue las perturbaciones armónicas en el sistema.

CONCLUSIONES:

- La perturbación armónica de corriente es la que existe en el sistema, los mismos que rebasan los niveles mínimos permitidos en todas las normas indicadas en el capítulo 2.
Siendo el principal generador el TG4, quien a su vez es el único elemento monitoreado que registra un nivel de perturbaciones armónicas de tensión, por encima de los límites mínimos permitidos, los mismos que son entre 5% y 10% según norma internacional.
- Para alcanzar los niveles aceptables de la presencia de estas perturbaciones se ha considerado como elementos de control, la instalación de un filtro pasivo dimensionado para la 5^o armónica, el cual que mejora los parámetros operativos del sistema en forma global, tomando como función representativa la regulación automática del factor de potencia. Logrando así la incorporación del sistema a valores dentro de lo establecido por las normas internacionales.
- La propuesta planteada sobre la optimización de los niveles tolerables de las perturbaciones armónicas a nivel conceptual, está basada en los criterios cualitativos de los sistemas eléctricos, debido a que una propuesta cuantitativa depende mucho del equipo que se instale para mejorar los niveles requeridos y tan solo se puede valorarla luego de evaluar el comportamiento del elemento con las correcciones del caso.
- La conclusión más directa que se puede sacar de este estudio es que no se puede invertir hasta conseguir mitigar completamente las perturbaciones armónicas, sino que hay que intervenir hasta obtener un nivel concreto que minimice los costos que originan su presencia, que en este caso en particular lo conforma el costo de

energía reactiva, las actividades de mantenimiento, postergaciones de actividades de laboratorio, etc.

Tema:

ANÁLISIS, MODELADO Y SIMULACIÓN DE ARMÓNICOS EL SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA EN LA CIUDAD DEL CUSCO.

Autores:

Br. CARLOS MIRANDA QUISPE

Br. RUBÉN YAPURA BAYONA

Año:

2007

OBJETIVOS:

OBJETIVO GENERAL:

Modelar, simular y analizar los armónicos en el sub sistema de distribución secundaria de la ciudad del cusco, y proponer alternativa de solución.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Proporcionar las bases teóricas y elementos matemáticos suficientes, para la interpretación de los armónicos.
- Indicar las fuentes generadoras y efectos provocados por los armónicos en el subsistema de distribución secundaria.
- Realizar mediciones en las cargas clasificadas: industrial, comerciales y residenciales.

- Modelar i simular el subsistema de distribución secundaria eléctrico, considerando armónicos, mostrado los THD en los diferentes puntos de medición.
- Analizar el resultado de los armónicos.
- Proponer la mejor alternativa técnica de solución para la atenuación de armónicos.

CONCLUSIONES:

- Se establece las ecuaciones matemáticas necesarias, para la evaluación de los armónicos presentes en el sub sistema de distribución secundaria. Y se plantea la ecuación de la serie de Fourier para la descomposición de las señales de onda. De tal manera, los armónicos se define como tensiones o corrientes sinusoidales con frecuencias múltiplos enteros de la frecuencia fundamental y la combinación de estos y de la senoide de frecuencia fundamental de lugar a forma de ondas distorsionadas.
- De los resultados obtenidos, se aprecia que las fuentes generadoras de armónicos son predominantes en las cargas no lineales, como: máquinas de soldadura, las lámparas fluorescentes, lámparas de descarga de alto rendimiento y los equipos electrónicos. El problema resulta más crítico en el caso de iluminación fluorescente, debido a la alta concentración de lámparas de este tipo.
- Las armónicas afectan el factor de potencia y pueden provocar que el sistema entre en resonancia a una determinada frecuencia, además incrementan las pérdidas en el sistema, como puede ser por el sobrecalentamiento de los conductores, transformadores. etc.
- El funcionamiento de los aparatos eléctricos, especialmente los de tipo electrónico puede verse afectado por el contenido armónico de la tensión de suministro.

- La circulación de las corrientes armónicas por las líneas de transporte del sub sistema de distribución, dan lugar al aparición de las caídas de tensiones armónicas en las impedancia de estas, también genera incrementos de pérdidas por efecto joule.
- Para la evaluación de las armónicas de tensión se tomó consideración, la norma técnica de calidad de los servicios eléctricos y para las armónicas de corrientes se tomó en consideración la norma IEEE – 519.

1.8 POBLACIÓN Y MUESTRA

Se considera como ámbito de estudio las instalaciones en baja tensión del hospital regional de la ciudad del Cusco, el cual es alimentado por dolores pata DO-06, que también alimentan parte de la ciudad del Cusco, perteneciente a la empresa concesionaria ELSE, dichas mediciones de distorsión armónica de corriente y tensión se realiza en el lado secundario de las subestación de distribución (SED)-10021 y subestación de distribución (SED)-10823, con analizadores de redes, las mediciones se tomaron en forma aleatoria para determinar la calidad de producto en corriente y tensión que la empresa concesionaria debe garantizar a sus usuarios.

Las SED analizadas para este trabajo de tesis están codificados de la siguiente manera:

Tabla 2. Relación de SED para realizar el análisis

N°	SED	ALIMENTADOR	UBICACION
01	10021	DO-06	Av. De La Cultura
02	10823	DO-06	Av. Víctor Raúl Haya de la Torre

DATOS OBTENIDOS EN CAMPO (ELABORACION PROPIA)

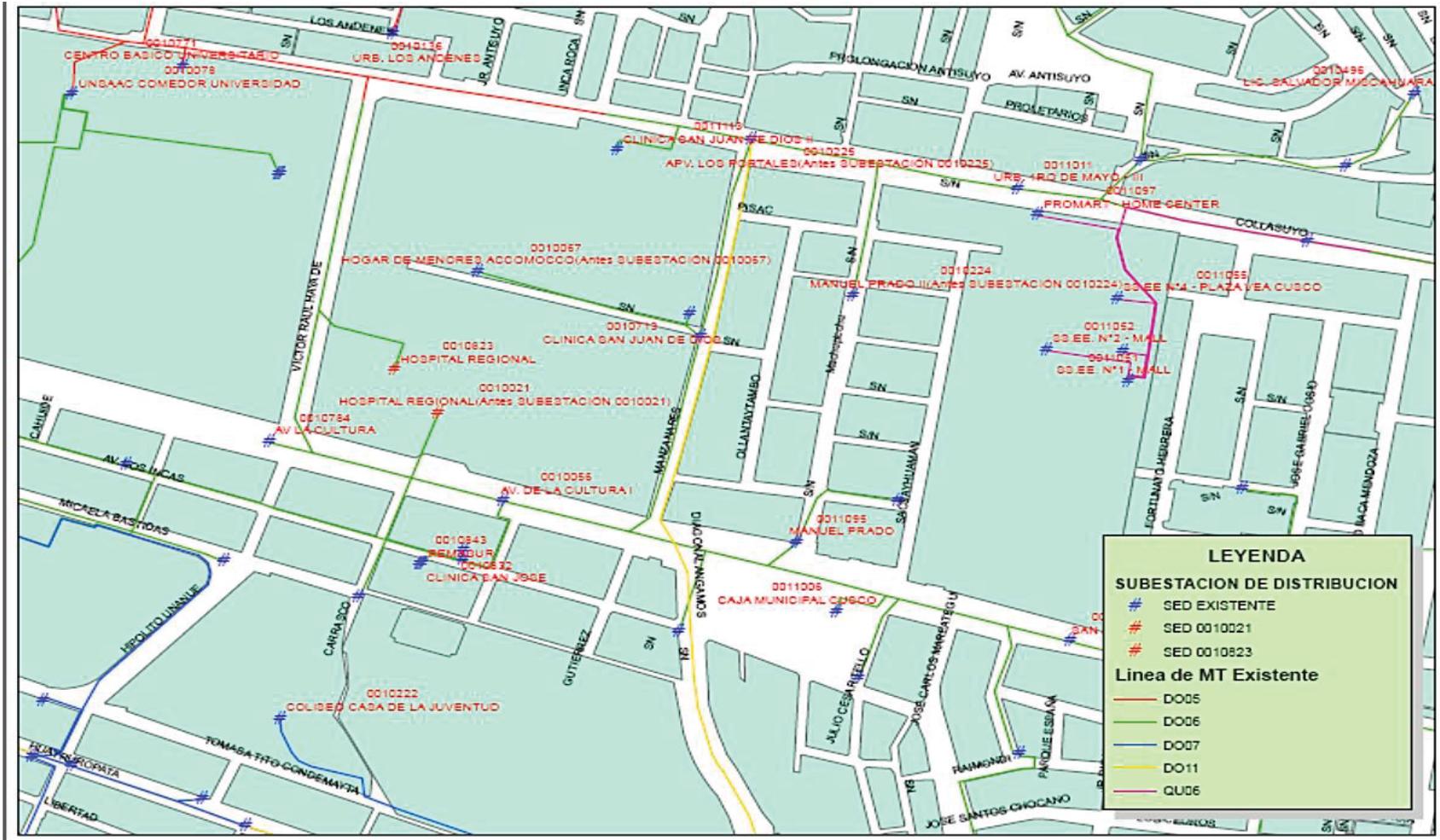


Ilustración 1 Alimentadores

1.9 ALCANCES Y LIMITACIONES

➤ ALCANCES

El presente trabajo de tesis comprende:

- Se solicitara información de datos técnicos concernientes a la ubicación, del alimentador DO-06, mediante la Oficina del SIG (Sistema Informático Geo referencial), de la empresa concesionaria Electro Sur Este S.A.A.
- Se procederá a evaluar los datos obtenidos del muestreo de las SED, que pertenecen al alimentador DO-06, y que son los siguientes:
 - SED 10021: Av. De la Cultura
 - SED 10823: Av. Víctor Raúl Haya de la Torre

Analizando los datos obtenidos nos permitirá evaluar la presencia de componentes armónicos y distorsiones en el lado secundario de dichas SED, para proponer la solución más óptima que nos permita enmarcar la calidad del producto en niveles operativos dentro del marco normativo.

➤ LIMITACIONES

Dentro de las principales limitaciones se tienen:

- El poco acceso a la información completa sobre los reportes de distorsiones de onda de tensión y corriente en el hospital regional del Cusco por parte de la empresa concesionaria de electricidad.
- Escasa información respecto al sistema eléctrico del hospital regional del cusco.
- En cuanto al filtro seleccionado para la mitigación de presencia de armónicos, será solo a nivel de diseño, para poder insertarlo en el programa SIMULINK, que nos permita apreciar la mejora de la calidad del producto.

1.10 METODOLOGÍA

1.10.1 TIPO Y DISEÑO DE ESTUDIO.

El nivel de una investigación viene dado por el grado de profundidad y alcance que se pretende con la misma, en consecuencia el nivel de la investigación a desarrollar es el Descriptivo porque se señala cómo es y cómo se manifiesta un fenómeno o evento, cuando se busca especificar las propiedades importantes para medir y evaluar aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a estudiar.

Estos resultados deberán ser aplicables a diferentes escenarios y extrapolables en el espacio y en el tiempo.

En lo referente a la delimitación temporal la investigación es Transversal o Sincrónica, porque cuando el estudio se circunscribe a un momento puntual, las mediciones realizadas nos permiten identificar y caracterizar la confiabilidad del sistema eléctrico estudiado.

Cuando investigamos los fenómenos sujetos a estudio, suelen producirse eventos al margen de la voluntad del investigador. Cuando no se puede ejercer su control, será si nos referimos a un caso que se produce después de los hechos y lo calificamos como ex post facto. La expresión “ex-post-facto” significa “después de hecho”, haciendo alusión a que primero se produce el hecho y después se analizan las posibles causas y consecuencias, por lo que se trata de un tipo de investigación en donde no se modifica el fenómeno o situación objeto de análisis (Bernardo, J. y Caldero, J.F., 2000) Estos autores también nos dicen que según Kerlinger, la investigación ex post-facto, es entendida como una búsqueda sistemática y empírica, en la cual el científico no tiene control directo sobre las variables independientes, porque ya acontecieron sus manifestaciones o por ser intrínsecamente manipulables.

Población y muestra.

1.10.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Población.

En lo referente a las delimitaciones especiales a la investigación se desarrollará en el ámbito del Hospital Regional del Cusco

Población: del Hospital Regional del Cusco,

Muestra.

Redes de distribución del Hospital Regional del Cusco

Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

1.10.3 TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Técnicas

Para la realización de la investigación se utilizará la técnica no experimental, que está integrada por un conjunto de actividades metódicas y técnicas que se realizan para recabar la información y datos necesarios sobre el tema a investigar y el problema a resolver.

Para recabar la información, se recurre a herramientas como consulta de fuentes secundarias de información, encuestas, pruebas estandarizadas.

Instrumentos de la investigación

Los instrumentos de investigación que se utilizaron en el presente trabajo son:

Equipos de medición con parámetros relacionados al sistema eléctrico, como son: voltaje, corriente, potencia (activa, reactiva, aparente), frecuencia, armónicos de secuencia: positiva, negativa y cero; y variación del THDi.

Reporte estadístico y técnico de la empresa concesionaria ELSE y de la oficina de mantenimiento del hospital regional.

Tabla 3. Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	METODOLOGIA	VARIABLES	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
<p>Problema principal.</p> <p>¿La presencia de las corrientes armónicas en baja tensión incidirá en la calidad del producto del hospital regional del cusco -2018?</p> <p>Problema específico.</p> <p>a) ¿Los armónicos de corriente entonces incidirán en las redes del sistema eléctrico del Hospital Regional de Cusco?</p> <p>b) ¿Los diferentes tipos de filtros influirán en la reducción de las componentes armónicas de corrientes?</p>	<p>Objetivos.</p> <p>Objetivo general.</p> <p>¿Analizar la presencia de las corrientes armónicas en baja tensión que inciden en la calidad del producto del hospital regional del cusco -2018?</p> <p>Objetivos específicos.</p> <p>a). Evaluar los armónicos de corriente para identificar la incidencia en las redes del sistema eléctrico del Hospital Regional de Cusco.</p> <p>b). Analizar y seleccionar los diferentes tipos de filtros para la reducir las componentes armónicas de corrientes.</p>	<p>Hipótesis.</p> <p>Hipótesis general.</p> <p>Si se analiza la presencia de las corrientes armónicas en baja tensión entonces se identificara la incidencia en la calidad del producto del hospital regional del cusco -2018</p> <p>Hipótesis específicas.</p> <p>a). Si se evalúa los armónicos de corriente entonces identificaremos la incidencia en las redes del sistema eléctrico del Hospital Regional de Cusco.</p> <p>b). Si se analiza y selecciona los diferentes tipos de filtros entonces se reducirá las componentes armónicas de corrientes.</p>	<p>Tipo de investigación.</p> <p>Investigación Descriptiva.</p> <p>Nivel de investigación.</p> <p>Ex post facto “después del hecho”</p> <p>Haciendo alusión a que primero se produce el hecho y después se analizan las posibles causas y consecuencias.</p> <p>Diseño de investigación.</p> <p>Diseño de Investigación es transversal o sincrónico</p> <p>Población y muestra.</p> <p>Las instalaciones del hospital regional de la ciudad del Cusco, el cual es alimentado por el DO-06, dichas mediciones de distorsión armónica de corriente y tensión se realiza en el lado secundario de las SED-10021 y SED-10823,</p> <p>Instrumentos de la investigación</p> <p>a).- Equipos de medición con parámetros relacionados al sistema eléctrico, como son: voltaje, corriente, potencia (activa, reactiva, aparente), frecuencia, armónicos de secuencia: positiva, negativa y cero; y variación del THDi.</p> <p>b).- Reporte estadístico y técnico de la empresa concesionaria ELSE y de la oficina de mantenimiento del hospital regional.</p>	<p>VARIABLES</p> <p>Variables.</p> <p>VARIABLES INDEPENDIENTES</p> <p>a)-Filtros y corrientes armónicas en baja tensión</p> <p>VARIABLES DEPENDIENTES</p> <p>a)- Calidad del producto en el sistema eléctrico del hospital regional del cusco -2018.</p>	<p>CONCLUSIONES</p> <p>1.- De los resultados obtenidos, las componentes armónicas de tensión, expresado mediante el parámetro THDv, en todas las mediciones realizadas se observó que no transgreden la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos y de la IEEE Std. 519 - 1992</p> <p>2.- Las componentes armónicas de corriente son las más significativas en las SED; motivo de estudio, expresado mediante el parámetro THDi se tiene valores superiores al 20%, los cuales rebasan los límites establecidos por la Standard IEEE 519 – 1992.</p> <p>3.-Para alcanzar los niveles aceptables de la presencia de estas perturbaciones, se ha considerado como elementos de control, la instalación de un filtro pasivo dimensionado para las armónicas 5°, 7°, 11° y 13°, el cual mejora los parámetros operativos del sistema en forma global.</p> <p>4.-Con la implementación del filtro pasivo mediante la utilización del modelo implementado en el software utilizado se ha podido verificar, que el THDi se reduce de un considerable 22% a un nivel aceptable del 5%. La cual mejora la calidad de energía.</p> <p>5.-La implementación de este tipo de filtros para mitigar las componentes armónicas de corriente, no requieren de una inversión económica alta.</p> <p>RECOMENDACIONES</p> <p>1.- Que Las autoridades de hospital regional del cusco tomen las acciones inmediatas para contar con un expediente técnico que permita observar los diagramas unifilares de las instalaciones eléctricas en alta y baja tensión del mencionado hospital.</p> <p>2.- Tomar las acciones correspondientes a la implementación del filtro seleccionado del presente trabajo, y así lograr la mejora de la calidad del producto.</p> <p>3.- En base al presente trabajo se sugiere que a corto plazo se haga un estudio de implementación de un filtro variable en función a la carga eléctrica suministrada.</p> <p>4.- Sería muy conveniente que, a futuro, se realice un estudio para la compensación de potencia reactiva aplicado a las demás subestaciones, de esta manera reducir la facturación por parte de la empresa concesionaria.</p>

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO Y NORMATIVO

2.1 CONCEPTOS GENERALES

Los sistemas eléctricos cuentan actualmente con una gran cantidad de componentes llamados no lineales, los cuales generan otras ondas de diferentes frecuencias con respecto a la frecuencia fundamental, originando el fenómeno conocido como generación de armónicos. Los armónicos son un fenómeno que es fuente de problemas tanto para los usuarios como para la entidad encargada de la prestación del servicio, produciendo diversas alteraciones nocivas en los equipos de la red.

2.2 DEFINICIÓN DE LOS ARMÓNICOS

“Los armónicos son tensiones o corrientes sinodales que poseen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia a la cual el sistema de alimentación está diseñado para operar” (Harper, 2002).

“Las formas de ondas distorsionadas pueden ser descompuestas en una suma de la señal de frecuencia fundamental y la distorsión armónica se origina debido al uso de cargas con impedancia no lineal de los equipos, materiales ferromagnéticos y en general al uso de equipos que necesiten realizar conmutaciones en su operación normal” (Harper, 2002).

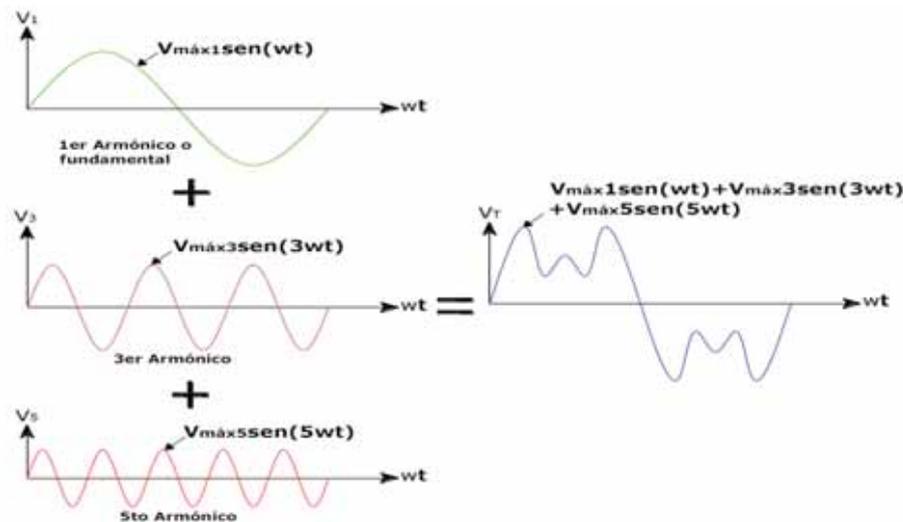


Ilustración 2 Formación de una señal armónica

(Harper, 2002)

INDICADORES ESENCIALES DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA

La existencia de indicadores permite cuantificar y evaluar la distorsión armónica de las ondas de tensión y corriente. Estos son los siguientes:

- Factor de potencia
- Espectro en frecuencia
- Tasa de distorsión armónica

“Estos indicadores son indispensables para la determinación de las acciones correctivas requeridas” (Harper, 2002).

FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia se define como la relación entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S) (Harper, 2002).

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{P_1 + P_h}{S} \quad (2.1)$$

En el área eléctrica, el factor de potencia es frecuentemente confundido con el coseno fi (CosΦ), cuya definición es:

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{S_1} \quad (2.2)$$

Dónde:

P = Potencia activa [W]

P_1 = Potencia activa del fundamental [W]

P_h = Potencia activa de componentes armónicas [W]

S = Potencia aparente [VA]

S_1 = Potencia aparente del fundamental [VA]

Por lo tanto el ($\cos\varphi$) se refiere únicamente a la frecuencia fundamental y en presencia de armónicos es diferente al factor de potencia (FP) (Harper, 2002).

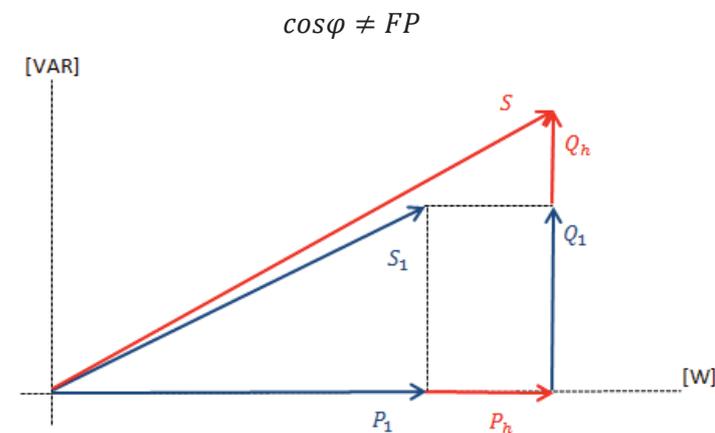


Ilustración 3 Triángulo de potencia de componentes armónicas

(Harper, 2002)

Dónde:

$$FP = \cos\varphi \times FP_{Dist} \quad (2.3)$$

FP_{Dist} = Factor de potencia de distorsión

$$FP_{Dist} = \frac{1}{\sqrt{(1^2 + THD_i^2)}} \quad (2.4)$$

Reemplazando (2.4) en (2.3) se obtiene que el factor de potencia en presencia de componentes armónicas sea:

$$FP = \cos\varphi \times FP_{Dist} = \cos\varphi * \frac{1}{\sqrt{(1^2 + THD_i^2)}} \quad (2.5)$$

POTENCIA ACTIVA (P)

La potencia activa P de una señal distorsionada por armónicos es la suma de las potencias activas correspondientes a las tensiones e intensidades del mismo orden. La descomposición de la tensión y la intensidad en sus componentes armónicas puede ser escrita como (Harper, 2002):

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \cos \varphi_h \quad (2.6)$$

Siendo φ_h el desfase entre la tensión y la intensidad del armónico de orden h.

Se supone que la señal no contiene componentes continuas. En ausencia de armónicos, la ecuación $P = V_1 I_1 \cos \varphi_1$ indica la potencia de señal sinusoidal, donde $\cos \varphi_1$ es igual a

(φ) (Harper, 2002).

En la expresión de la ecuación (2.6)

P = Potencia activa en presencia de armónicos. [W]

V_h = Voltaje eficaz de la armónica h. [V]

I_h = Corriente eficaz de la armónica h. [A]

φ_h = Es el desfasamiento entre la armónica h de voltaje y corriente [%]

POTENCIA REACTIVA (Q)

La potencia reactiva en presencia de armónicos viene dado por la ecuación general:

$$Q = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \sin \varphi_h \quad (2.7)$$

Dónde:

Q = Potencia reactiva en presencia de armónicos. [VAR]

V_h = Voltaje eficaz de la armónica h. [V]

I_h = Corriente eficaz de la armónica h. [A]

φ_h = Es el desfasamiento entre la armónica h de voltaje y corriente [%]

POTENCIA DE DISTORSIÓN (D)

Consideramos la potencia aparente S:

$$S = V_{rms} \cdot I_{rms} \quad (2.8)$$

$$S^2 = \left(\sum_{h=1}^{\infty} (V_h^2)\right)^2 \times \left(\sum_{h=1}^{\infty} (I_h^2)\right)^2 \quad (2.9)$$

Como consecuencia, en presencia de armónicos la relación $S^2 = P^2 + Q^2$ no es válida, se define la potencia de distorsión D de tal forma que:

$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$, de esta manera se define que:

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (2.10)$$

D = Potencia de distorsión [VA]

S = Potencia Aparente [VA]

P = Potencia Activa (media, promedio) [W]

Q = Potencia Reactiva [VAR]

TASA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA

Antes de analizar la manera en la que se evalúa la distorsión armónica en redes eléctricas vamos a indicar la representación matemática de una señal eléctrica en el dominio del tiempo. En nuestro caso tomaremos como armónico a la frecuencia múltiplo de una frecuencia fundamental que opera en la red de distribución eléctrica.

Si el voltaje y la corriente en una red eléctrica están definidos por:

$$v(t) = V \cdot \cos w_0 t \quad (2.11)$$

$$i(t) = I \cdot \cos w_0 t \quad (2.12)$$

Respectivamente, pero como en los sistemas eléctricos en estas señales podría darse la presencia de voltajes y corrientes armónicas, entonces el voltaje y la corriente se representan de la siguiente manera:

$$v(t) = V_1 \cos(w_0 t + \theta_1) + V_2 \cos(2w_0 t + \theta_2) + v_3 \cos(3w_0 t + \theta_3) + \dots \quad (2.13)$$

$$i(t) = I_1 \cos(w_0 t + \theta_1) + I_2 \cos(2w_0 t + \theta_2) + I_3 \cos(3w_0 t + \theta_3) + \dots \quad (2.14)$$

Que en forma compacta se podrían escribir como:

$$v(t) = \sum_{n=1}^k V_n \cdot \text{Cos}(nw_0t + \theta_n) \quad (2.15)$$

$$i(t) = \sum_{n=1}^k I_n \cdot \text{Cos}(nw_0t + \theta_n) \quad (2.16)$$

Dónde:

V_n : Se le define como la armónica de voltaje de orden n

I_n : Se le define como la armónica de corriente de orden n

θ_n : Se le define como el ángulo de la armónica de orden n

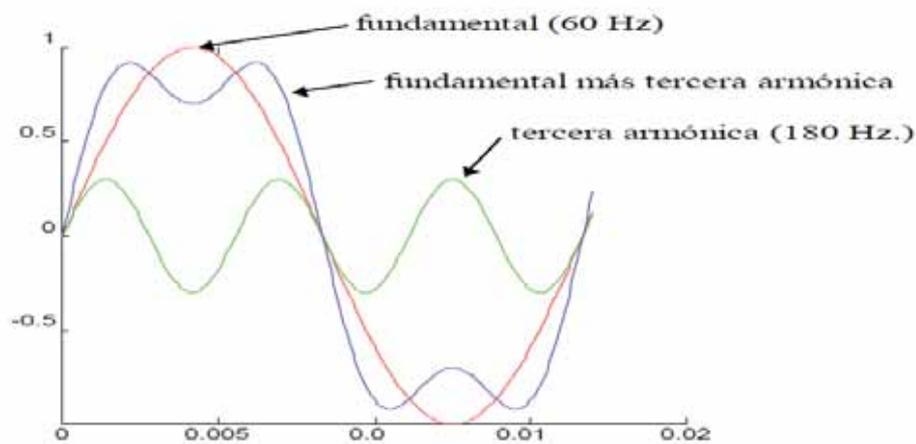


Ilustración 4 Señal fundamental más tercera armónica

(Harper, 2002)

Los valores de distorsión están definidos en porcentaje (%) de la cantidad eléctrica, estos valores son muy utilizados para conocer el grado de contaminación de las redes eléctricas de distribución (Harper, 2002).

DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL

“THD corresponde a Distorsión Total Armónica (tasa de distorsión armónica global). La tasa de distorsión armónica es frecuentemente utilizada para definir la importancia del contenido armónico de una señal alterna” (Harper, 2002).

Para una señal $y(t)$, la tasa de distorsión armónica está definida por la ecuación:

Cuando se trata con armónicos de tensión, la expresión se convierte en:

$$THD_v = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots}}{V_1} \times 100\% \quad (2.17)$$

Cuando se trata con armónicos de intensidad de corriente, la expresión se convierte en:

$$THD_i = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1} \times 100\% \quad (2.18)$$

Esta ecuación es equivalente a la mostrada a continuación, la cual es más directa y fácil de utilizar cuando se conoce el valor eficaz total:

$$TDH_I = \sqrt{\left(\frac{I_{RMS}}{I_1}\right)^2 + 1} \times 100\% \quad (2.19)$$

2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS ARMÓNICOS

Cada armónica tiene un nombre, frecuencia y secuencia (Tabla 3). La secuencia se refiere al giro del fasor con respecto a la fundamental (F), por ejemplo, en un motor de inducción, la armónica de secuencia positiva generaría un campo magnético que gira en la misma dirección que la fundamental (Ortmeyer, 1985).

Una armónica de secuencia negativa giraría en forma contraria. Las Armónicas 2a, 4a, 6a, 8a, etc., desaparecen cuando las ondas son simétricas (como se considera en la Tabla 4).

Cada armónico tiene asociado nombre, frecuencia y secuencia, de la siguiente forma:

Tabla 4. *Tipos de armónicos*

Nombre	Fundamental	2°	3°	4°	5°	6°	7°
Frecuencia	60	120	180	240	300	360	420 (Hz)
Secuencia	+	-	0	+	-	0	+

Armonicos en sistemas eléctricos
(Ortmeyer, 1985)

Normalmente, las ondas que circulan por la red tienen las mismas componentes positivas que negativas (simetría), con lo cual no suelen aparecer armónicos de orden par. Así, lo habitual es encontrarse con:

La secuencia se refiere al giro del fasor con respecto a la fundamental (F), expresado en otras palabras indica el sentido en que giraría el rotor de un motor, al ser excitado por esa señal.

Secuencia directa (+) indica que el sentido de giro es el horario. Secuencia inversa (-) indica un sentido de giro anti horario. Secuencia cero (0) indica que no gira (Ortmeyer, 1985).

Dependiendo de su secuencia y rotación, los armónicos presentan diferentes efectos, como se muestra en la tabla 4:

1. Secuencia (+): Los armónicos de secuencia positiva o rotación directa tienden a hacer girar el motor en el mismo sentido que la componente fundamental, generando una sobre corriente que provoca el calentamiento del motor, iniciando deterioros en el aislamiento entre los devanados, reduciendo la vida útil del motor y aumentando el riesgo de averías en el mismo. También causan sobrecalentamiento en transformadores, cables, etc (Ortmeyer, 1985).
2. Secuencia (-): Los armónicos de secuencia negativa o rotación inversa hacen girar el motor en sentido contrario, provocando también calentamiento y la reducción de la vida útil de ejes y engranajes (Ortmeyer, 1985).
3. Secuencia (0): Los armónicos de secuencia cero no tiene sentido de rotación pero pueden causar calentamiento y producen una intensidad en el neutro. La secuencia de armónicas cero (múltiplos de la 3ra) son llamados "Triplens" (Ortmeyer, 1985).

Tabla 5. *Tipos de armónicos*

Nombre	Fundamental	3°	5°	7°	9°	11°	13°
Frecuencia	60	180	300	420	540	660	780 (Hz)
Secuencia	+	0	-	+	0	-	+

Armonicos en sistemas eléctricos
(Ortmeyer, 1985)

2.4 FUENTES DE GENERACIÓN DE ARMÓNICOS

En general, los armónicos son producidos por cargas no lineales, lo cual significa que su impedancia no es constante (está en función de la tensión). Estas cargas no lineales a pesar

de ser alimentadas con una tensión senoidal, adsorben una intensidad no senoidal, pudiendo estar la corriente desfasada un ángulo respecto a la tensión. Podemos clasificar las fuentes de generación de armónicos en las siguientes: (CIRCUTOR, 1989)

- Fuentes tradicionales de generación de armónicos.
- Fuentes de generación de armónicos en áreas hospitalarias.

2.4.1 FUENTES TRADICIONALES DE GENERACIÓN DE ARMÓNICOS

2.4.1.1 CONVERSORES ESTÁTICOS

La mayor aplicación de los convertidores estáticos está en los dispositivos variadores de velocidad para el control de motores. Estos dispositivos “control estáticos” se usan ahora en todos los motores industriales, ofreciendo mayor eficiencia, mejor control de la velocidad y mayor operación libre de mantenimiento que otros dispositivos convencionales (CIRCUTOR, 1989).

Los convertidores usan dispositivos de “Conmutación” de estado sólido para convertir la potencia de una frecuencia a otra (comúnmente entre CA y CC.). Estos dispositivos de “conmutación” pueden ser diodos, tiristores, GTO, o muchos otros dispositivos de electrónica de potencia. La forma de onda se puede ver en la ilustración 5 (CIRCUTOR,

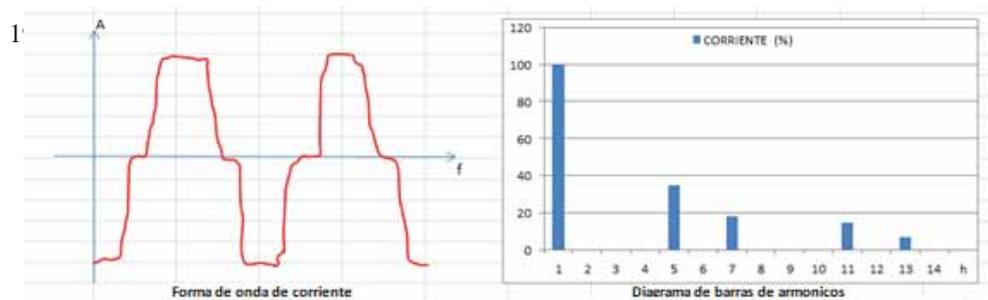


Ilustración 5 Forma de onda de un convertidor estático

(CIRCUTOR, 1989)

2.4.1.2 SOLDADORAS ELÉCTRICAS

Este tipo de máquinas estáticas es probablemente la principal fuente de distorsión de las formas de ondas en nuestro medio. Las soldadoras de tipo monofásico provocan la distorsión de onda de voltaje y corriente típica en la línea, las mismas que se muestra en las ilustraciones 6 y 7 (CIRCUTOR, 1989).

En estas ilustraciones, la deformación de la forma de onda de la corriente se debe al arco eléctrico producido por la soldadura eléctrica. Este parpadeo es muy bien absorbido por los motores cuando causan un incremento en sus pérdidas (CIRCUTOR, 1989).

En muchos de los sectores residenciales existen pequeños talleres los cuales utilizan soldadoras eléctricas, y aun cuando la capacidad de estos equipos es muy pequeña, su efecto se ve reflejado en el parpadeo de la luz eléctrica, la cual se hace evidente casi de inmediato en las viviendas contiguas al taller (CIRCUTOR, 1989).

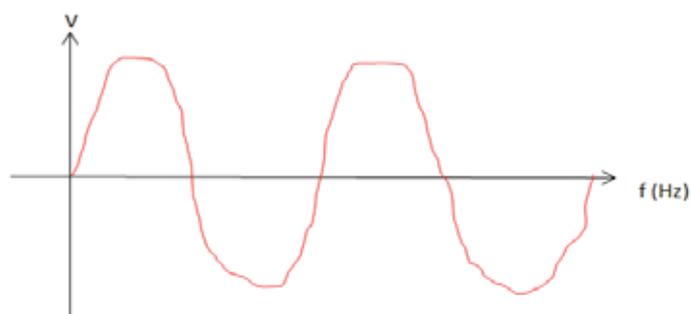


Ilustración 6 Forma de onda de voltaje de un soldador de arco monofásico

(CIRCUTOR, 1989)

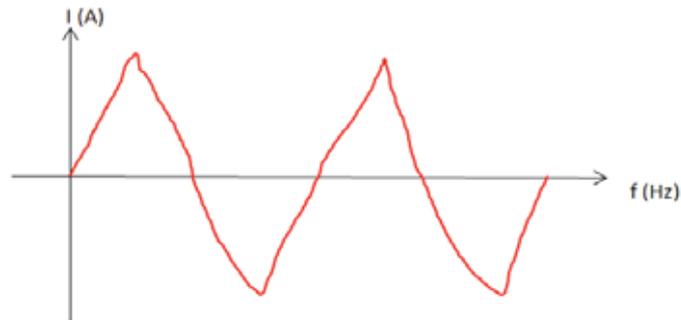


Ilustración 7 Forma de onda de corriente de carga de una soldadura de arco monofásico

(CIRCUTOR, 1989)

En si este tipo de máquinas no origina muchos armónicos al sistema, solo durante el arco eléctrico se originan estos, los armónicos más relevantes son el 3er y 5to armónico (CIRCUTOR, 1989).

2.4.1.3 HORNOS DE ARCO ELÉCTRICO

“Los armónicos producidos por los hornos de arco eléctrico usados para la producción de acero son impredecibles debido a la variación ciclo a ciclo del arco, particularmente cuando se perfora un nuevo trozo de acero. La corriente del arco no es periódica, y los análisis revelan un continuo espectro de frecuencias armónicas de órdenes enteros y no enteros” (Rodríguez Litz, 1992).

Sin embargo, las mediciones de armónicos han demostrado que las frecuencias armónicas de orden entero, particularmente las de bajo orden que comienzan con el segundo y terminan con el séptimo, predominan sobre las otras no enteras (Rodríguez Litz, 1992).

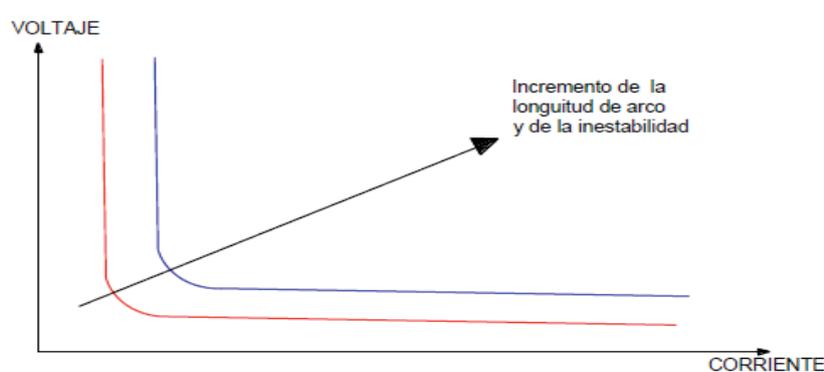
La tabla 5 Fuente: IEEE Std 519-1992, Cap.4.Horno de Arco, Pag 18, ilustra el contenido armónico típico de corriente del horno de arco en dos fases del ciclo de fundición en un horno de arco típico para la producción de acero (Rodríguez Litz, 1992).

Tabla 6. *Contenido de armónicos en un horno de arco*

CICLO DE FUNDICIÓN	CORRIENTE ARMÓNICA EN % DE LA			
HORNO DE ARCO	FUNDAMENTAL			
ORDEN DE ARMONICO	2	3	4	5
FUNDICIÓN INICIAL (arco activo)	77	5.8	2.5	4.2
REFINAMIENTO (arco estable)	0.0	2.0	0.0	2.1

(Rodríguez Litz, 1992)

“Se ha encontrado que la relación entre el voltaje, la corriente y la longitud del arco tienen una característica no-lineal como se observa en la ilustración 8 y que da lugar a la aparición de armónicas, distorsionando la onda de voltaje y corriente como se puede ver en la ilustración 9” (Rodríguez Litz, 1992).

Ilustración 8 *Característica del voltaje de arco vs corriente de arco para longitud de arco constante*

(Rodríguez Litz, 1992)

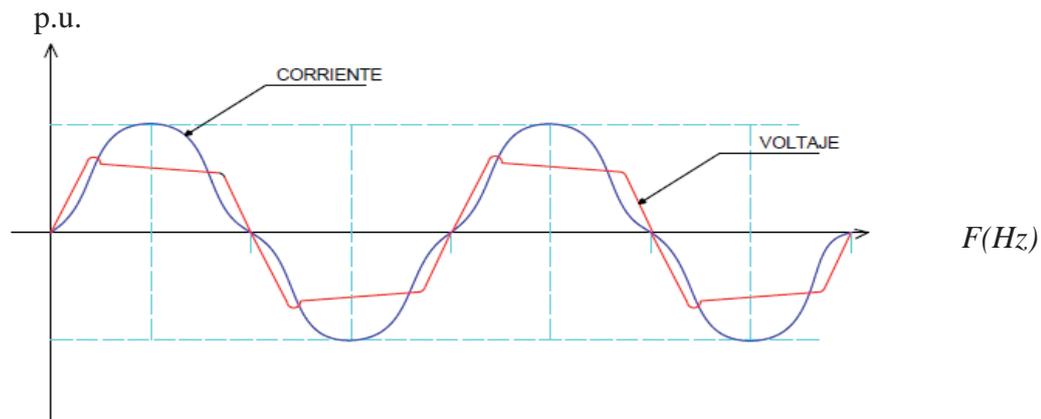


Ilustración 9 Forma de onda típica de voltaje y corriente de un horno de arco

(Rodríguez Litz, 1992)

2.4.1.4 MAQUINAS ROTATIVAS

“En lo que se refiere a las máquinas rotativas estas vienen a construir los motores tanto monofásicos como trifásicos, los cuales generan corrientes armónicas produciendo la deformación de onda senoidal” (Rodríguez Litz, 1992).

“Estos armónicos son producidos principalmente por los defectos que tiene los bobinados internos del motor o también debido al mal estado en que se encuentra las barras de los rotores. Si se trata de motores con rotor devanado la presencia de los armónicos se debe a que las resistencias del rotor no se encuentran debidamente balanceadas” (Rodríguez Litz, 1992).

“Las máquinas rotativas dan armónicos de rango elevado y amplitudes a menudo despreciables. Las pequeñas máquinas síncronas son, sin embargo generadoras de tensiones armónicas de 3er orden que pueden tener una incidencia sobre” (Rodríguez Litz, 1992):

- El calentamiento permanente de las resistencias de puesta a tierra del neutro de los alternadores;

- El funcionamiento de los relés amperimétricos de protección contra los defectos de aislamiento.

2.4.1.5 LÁMPARAS FLUORESCENTES

“Los balastos electrónicos se han popularizado en los últimos años debido a su fama de mejorar el rendimiento de las instalaciones fluorescentes” (CHAPMAN, 2001).

“En realidad sólo son un poco más eficientes que los buenos balastos magnéticos y, de hecho, la mayor parte de sus ventajas se deben a que la lámpara es más eficiente cuando trabaja a altas frecuencias más que al propio estabilizador electrónico” (CHAPMAN, 2001).

Su ventaja principal es que el nivel de luminosidad puede mantenerse durante una vida útil más larga mediante el control por realimentación de la corriente de funcionamiento; un método que reduce la eficiencia global de la vida útil. Su gran desventaja es que generan armónicos en la corriente de alimentación (CHAPMAN, 2001).

Actualmente se comercializan las lámparas fluorescentes compactas (CFL) como sustitutivas de las clásicas bombillas de filamento de tungsteno (CHAPMAN, 2001).

El alumbrado, por lámparas de descarga y tubos fluorescentes, es generador de corrientes armónicas (CHAPMAN, 2001).

Los tubos de la luz fluorescente son altamente no-lineales y dan lugar a corrientes armónicas impares de magnitud importante. En una carga trifásica de 4 hilos, las armónicas triples básicamente se suman en el neutro, siendo al 3a. la más dominante. En la siguiente ilustración 10 se muestran la forma de onda de corriente y su espectro de frecuencia (CHAPMAN, 2001).

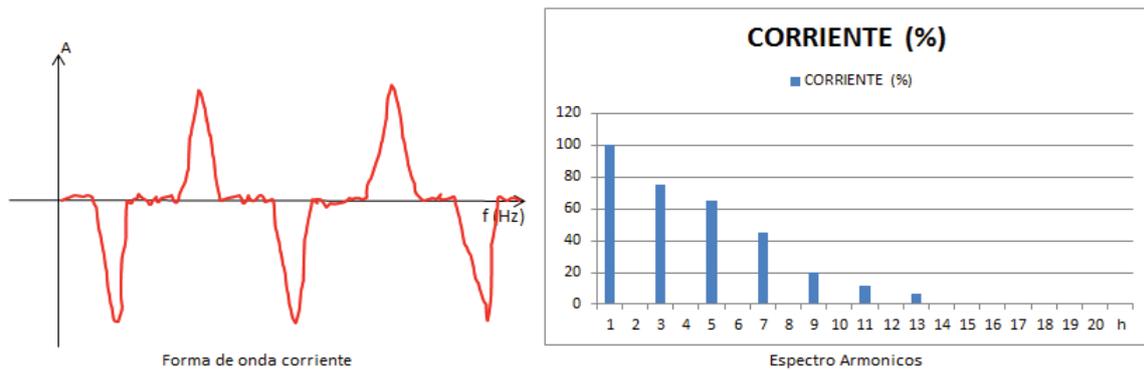


Ilustración 10 Onda de corriente y espectro de frecuencias en lámparas fluorescentes

(CHAPMAN, 2001)

2.4.1.6 COMPUTADORAS

“Son máquinas electrónicas que realizan varios trabajos a la vez y con una alta velocidad de procesamiento según las indicaciones del operador. Además estos aparatos se encuentran en casi todas las dependencias públicas, privadas, empresas de distintas índoles mercantiles y comerciales, en asuntos contables, estadísticos, médicos, control de procesos industriales, etc., ha hecho que exista una gran demanda en la utilización y adquisición de estos equipos.

Todos estos equipos están constituidos por componentes electrónicos de tipo analógico y digital. Todos los circuitos eléctricos de la computadora utilizan diodos, transistores, chips, resistencias, condensadores, tríodos, etc., que sirven para conformar las tarjetas electrónicas y que son prácticamente el cerebro de estas máquinas” (CHAPMAN, 2001).

“Todos estos elementos tienen la capacidad de generar señales armónicas provocando así la deformación de las ondas de voltaje y corrientes existentes en la red de alimentación” (CHAPMAN, 2001).

“Estas señales distorsionadas generadas por computadores afectan también a otros equipos que se encuentran funcionando cerca de él, por lo cual, se va a producir una reducción de la vida útil de estos equipos” (CHAPMAN, 2001).

La onda de corriente distorsionada se encuentra en la ilustración 11.

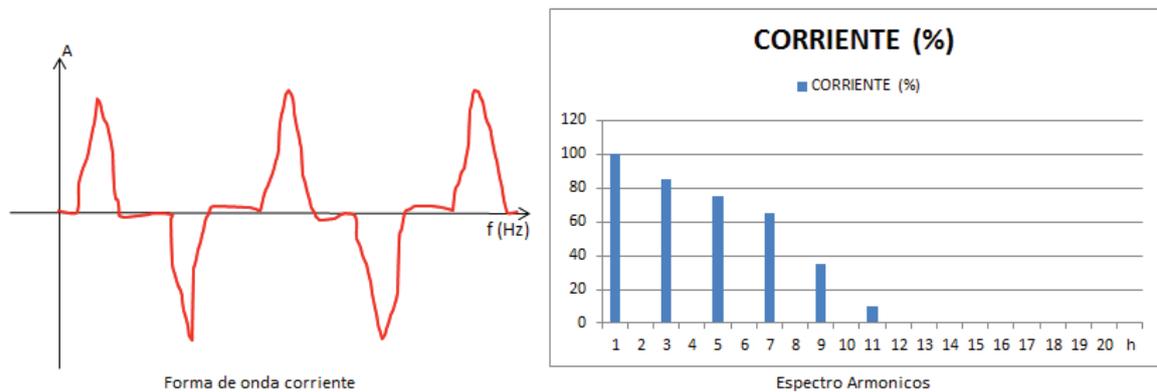


Ilustración 11 Onda de corriente y espectro de frecuencias en computadoras

(CHAPMAN, 2001)

2.4.1.7 CARGADOR DE BATERÍAS

“Las armónicas individuales que generan el circuito en un cargador de baterías dependen del voltaje inicial en la misma y el contenido armónico global varía de acuerdo al tiempo que involucra probabilidad aleatoria” (CHAPMAN, 2001). “Así como en televisores, radios, estéreos y otros artículos que emplean corriente directa, los cargadores de baterías producen corrientes de secuencia cero de armónicas triples, las cuales sobrecargan al circuito neutro. Para empeorar las cosas, la luz fluorescente también produce armónicas triples con la misma relación de fase. Más aún, el ángulo de fase de la tercera armónica no varía lo suficiente como para sumar cancelación de armónicas al operar varios cargadores de baterías, de tal manera que las terceras armónicas se suman casi algebraicamente” (CHAPMAN, 2001).

2.4.1.8 TELEVISORES Y EQUIPOS DE SONIDO

Con respecto a equipos eléctricos existen en el campo residencial, comercial e incluso industrial, como : televisores, computadoras, vhs, equipos de sonido, fax; todas estas vienen a constituirse fuentes generadoras de armónicos de pequeña y mediana potencia estos aparatos eléctricos adquieren una mayor importancia cuando un gran número de ellos se encuentran funcionando simultáneamente, provocado inyección de señales de armónicos en la red de distribución, lo cual va a producir una degeneración en la calidad de energía suministrada por la empresa eléctrica. En la siguiente ilustración 12 y 13 se muestran la forma de onda de un equipo de sonido y su espectro, los armónicos más relevantes son el 3, 5, 7, 9, 11 (CHAPMAN, 2001).

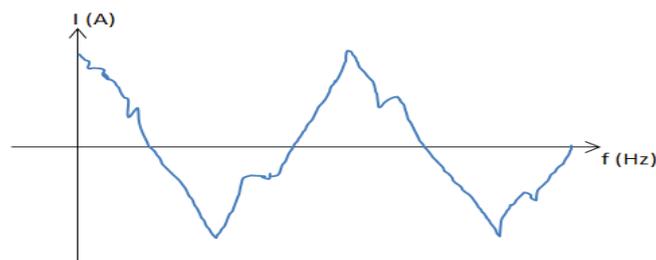


Ilustración 12 Onda de corriente en un equipo de sonido

(CHAPMAN, 2001)

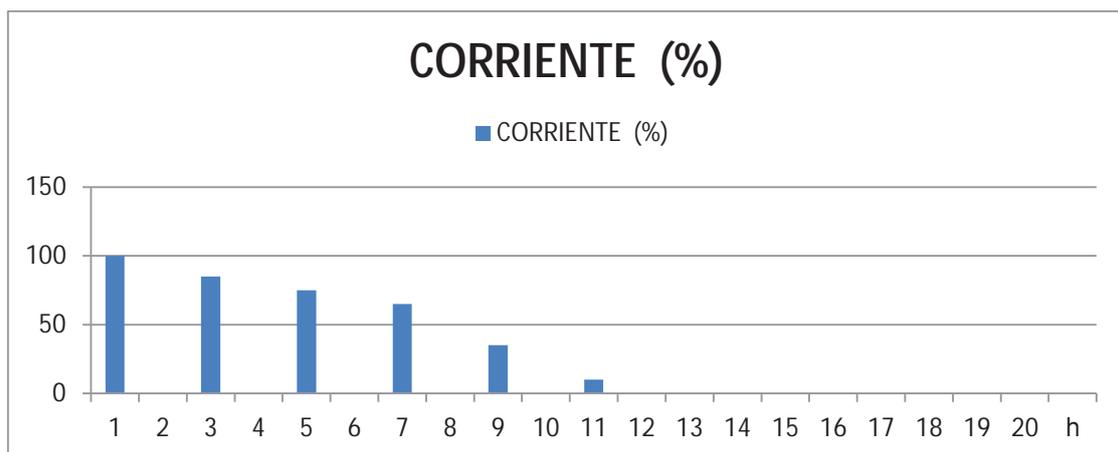


Ilustración 13 Espectro de frecuencia de un equipo de sonido

(CHAPMAN, 2001)

2.4.2 FUENTES DE GENERACIÓN DE ARMÓNICOS EN AREAS HOSPITALARIAS.

En la actualidad otras fuentes principales de distorsión armónica son los inversores y rectificadores con control de ángulo de fase.

2.4.2.1 EQUIPOS DE RAYOS X.

“Todos los equipos de rayos tienen un tubo que va a generar radiación ionizante X (Rayo X), el cual va a atravesar las estructuras del territorio maxilofacial, y se va a generar una imagen radiográfica que nos podrá orientar en el diagnóstico de nuestros pacientes”.

(H, BIBLIOTECA VIRTUAL UNIVERSAL, 2018)

Un equipo de rayos está compuesto por distintas partes:

✓ **Cabecal**

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

Es la parte más fundamental del equipo de Rayos ya que es aquí donde se van a generar las ondas de radiación (H, BIBLIOTECA VIRTUAL UNIVERSAL, 2018).

✓ **Brazo Articulado:** Es muy importante la mantención del brazo articular, ya que si Al momento de tomar la radiografía, este se mueve, no podremos tomar una buena radiografía; no le vamos a achuntar a la película, y en resumen, no va a resultar (H, BIBLIOTECA VIRTUAL UNIVERSAL, 2018).

Soporte: El soporte une o fija el equipo de rayos; en el caso de los equipos fijos, lo une a la muralla (H, BIBLIOTECA VIRTUAL UNIVERSAL, 2018).

COMANDOS SELECTORES (Panel de Control): Los comandos selectores o Panel de Control nos va a permitir prender/ apagar el equipo y modificar algunas variables de exposición. En los equipos más modernos, el panel de control es digital, y permite regular con más facilidad el tiempo de exposición de la radiografía. Para tomar las radiografías se utiliza un disparador. En algunos equipos, el panel de control está alejado de donde está el paciente, para proteger al operador de exposiciones sucesivas a los rayos X (H, BIBLIOTECA VIRTUAL UNIVERSAL, 2018).

REGULADORES DE VOLTAJE: “El regulador de voltaje permite mantener más o menos constante la actividad de corriente que le llega al equipo.

Todos los equipos de Rayos X cuentan con estos componentes; sin embargo, dependiendo de su función específica, estos componentes pueden variar en su forma y ubicación. Existen unos equipos llamados Ortopantomógrafos (Panorámicos) los cuales pueden realizar radiografías extra orales, es decir, no solamente de las piezas dentarias, sino que también de maxilar, mandíbula; es lo que comúnmente se conoce como radiografía panorámica.

Aunque este equipo sea distinto al típico equipo que mostraron 27 veces en las diapositivas y que servía para tomar radiografías intra orales (piezas dentarias), va a tener los mismos componentes, y solo va a variar su ubicación. Si se acuerdan, en los equipos convencionales de radiografías intra orales, la película está dentro de la boca del paciente, en cambio, en los Ortopantomógrafos, la película se encuentra detrás de la cabeza del paciente, en un aparato llamado porta chasis. En los equipos panorámicos ultramodernos, traen incorporados un brazo de extensión con un dispositivo especial llamado Cefalostato, el cual permite tomar radiografías a distancia o Telera dio grafías” (H, BIBLIOTECA VIRTUAL UNIVERSAL, 2018).

Los distintos equipos de Rayos X pueden ser clasificados en distintas categorías, según su regulación:

Regulables: Cuando uno va a realizar una radiografía, se puede “jugar” con los parámetros de exposición, los cuales son el Mili voltaje, Mili amperaje y Kilo voltaje, y además el tiempo de exposición. Por lo tanto, en estos equipos, el operador puede regular:

Parámetros de Exposición

Mili voltaje

Mili amperaje

Kilo voltaje

Tiempo de Exposición

En estos equipos, el Mili amperaje y el Kilo voltaje viene fijo de fábrica, y el operador puede modificar solamente el Tiempo de exposición. Por esta razón, también se les denomina Ciegos. Entonces, en los equipos No Regulables, lo único que puedo modificar es el Tiempo de Exposición (H, BIBLIOTECA VIRTUAL UNIVERSAL, 2018).

Según movilidad de los equipos: Estáticos: En estos equipos, se necesita la total inmovilidad del Cabezal, Plano de Proyección y del paciente, para realizar una buena toma radiográfica (H, BIBLIOTECA VIRTUAL UNIVERSAL, 2018).

Dinámicos: Necesito la inmovilidad del paciente, ya que va a existir un movimiento coordinado entre el tubo o cabezal y el plano de proyección. Un ejemplo de esto son los equipos Panorámicos. Anteriormente se mencionó que ciertos equipos dinámicos podían permite tomar telerradiografías; se podría considerar a esta parte como estática, pero deben quedarse con que el Orto pan tomógrafo es Dinámico (H, BIBLIOTECA VIRTUAL UNIVERSAL, 2018).

Según las zonas que abarcan: Se clasifican en:

Zonales: Abarcan un área determinada del territorio maxilofacial. Estos equipos tienen un soporte que permite tomar por ejemplo, radiografías retro alveolares (H, BIBLIOTECA VIRTUAL UNIVERSAL, 2018).

Panorámicos: Abarcan áreas más amplias, como los maxilares, ramas de la mandíbula, etc. por ejemplo, el orto pan tomógrafo

Según su instalación: Se clasifican en:

Fijos: Pueden ir empotrados en la pared (H, BIBLIOTECA VIRTUAL UNIVERSAL, 2018).

Móviles: Tienen un pedestal, pero tienen ruedas, lo cual permite cierto grado de movilidad dentro de la consulta (H, BIBLIOTECA VIRTUAL UNIVERSAL, 2018).

Portátiles: Pueden ser trasladados con facilidad.

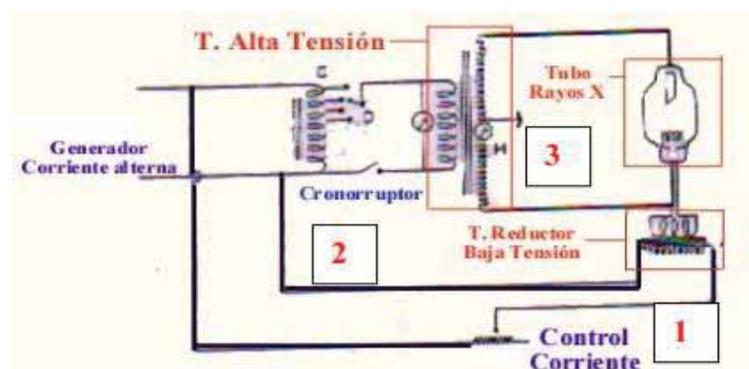


Ilustración 14 Funcionamiento de los equipos de Rayos X y su funcionamiento

(H, EQUIPOS DE RAYOS X Y SU FUNCIONAMIENTO, 2005)

2.4.2.2 EQUIPO TOMOGRAFO COMPUTARIZADO POR RAYOS X.

(Urrego, 2019)

“En 1980 se introdujo la tomografía por rayo de electrones EBCT (del inglés Electrón Beam CT), que constituye la quinta generación. El EBCT utiliza una arquitectura estacionaria (sin rotación), donde un rayo de electrones hace un barrido a lo largo de cuatro placas semicirculares que rodean al paciente” (Boone, 2005). “La mayor innovación de este escáner fue su alta resolución temporal (33 ms a 100 ms),

suficiente para tomar imágenes del corazón. Sin embargo, el uso de la EBCT ha sido limitado por dos desventajas: la trayectoria está limitada a un arco de 220°, y a un plano que no coincide con aquel de los detectores; y, por otro lado, no pueden introducirse colimadores anti-dispersión (del inglés anti-scatter), debido a que el detector es estacionario” (Boone, 2005).

“Persiguiendo una alta resolución temporal y espacial, investigadores de la Clínica Mayo construyeron el DSR (del inglés Dynamic Spatial Reconstructor), que contaba con una alta resolución temporal adquiriendo hasta 60 tajadas volumétricas por segundo; así como una resolución isotrópica de hasta 1 mm, y generando datos de hasta 3 Gb en solo 20 segundos en 1979. Este escáner, muy delante de las posibilidades técnicas de la época, contaba con 14 fuentes de rayos X y nunca se hizo comercial, entre otras porque pesaba más de 15 toneladas y un costo de varios millones de dólares” (Boone, 2005).

Durante la mayor parte de los años ochenta, aparecieron pocas innovaciones en la tomografía computarizada, lo que, incluso, llevó a especular que esta área de investigación estaba acabada, especialmente con el florecimiento de la resonancia magnética (Boone, 2005).

No obstante, 1989 resultó ser un año crucial, con la aparición de la sexta generación, cuando Kalender y sus colaboradores inventaron la tomografía en espiral (Boone, 2005).

La tomografía en espiral (o helicoidal) utiliza la arquitectura de tercera generación, pero se caracteriza porque hay un movimiento continuo de la camilla a través del gantry (parte del tomógrafo en continua rotación que contiene el tubo de rayos X y el arreglo de detectores).

Estos tomógrafos efectúan las mediciones en los bordes de la tajada y, como es necesario estimar el valor correspondiente al interior de la misma, requieren de la

interpolación de tajadas en el eje z. Este concepto permite un registro rápido de regiones de interés a lo largo del eje z, en algunos casos, durante una sola respiración sostenida del paciente (15 a 25 segundos), lo que permite tomar imágenes de órganos en movimiento. Una de las variables más importantes en la tomografía helicoidal (o de espiral) es el pitch (1), que relaciona la distancia d (en mm) que se desplaza la camilla en una rotación del gantry, y el espesor e (en mm) determinado por el colimador. Usualmente, el pitch se encuentra entre 1 y 1,5, para garantizar una cobertura aceptable del paciente y, al mismo tiempo, evitar que las tajadas sean interpoladas entre puntos muy lejanos (Boone, 2005).

$$\text{Pitch} = d/e$$

La energía de los rayos X de Bremsstrahlung es directamente proporcional a la proximidad del electrón al núcleo, y está determinada por el potencial del tubo de rayos X. La probabilidad de que un electrón impacte directamente el núcleo, decrece linealmente con el aumento de la energía. Por esa razón, el espectro de Bremsstrahlung tiene una forma triangular. Sin embargo, los rayos X de muy baja energía son absorbidos (filtrados) por el material del ánodo y tienen una alta probabilidad de no abandonar el tubo. En la Fig.14 se muestra un espectro de rayos X, tal como se registra en el detector tras atravesar un objeto de 30 cm de diámetro y aplicando 100 kv (Boone, 2005).

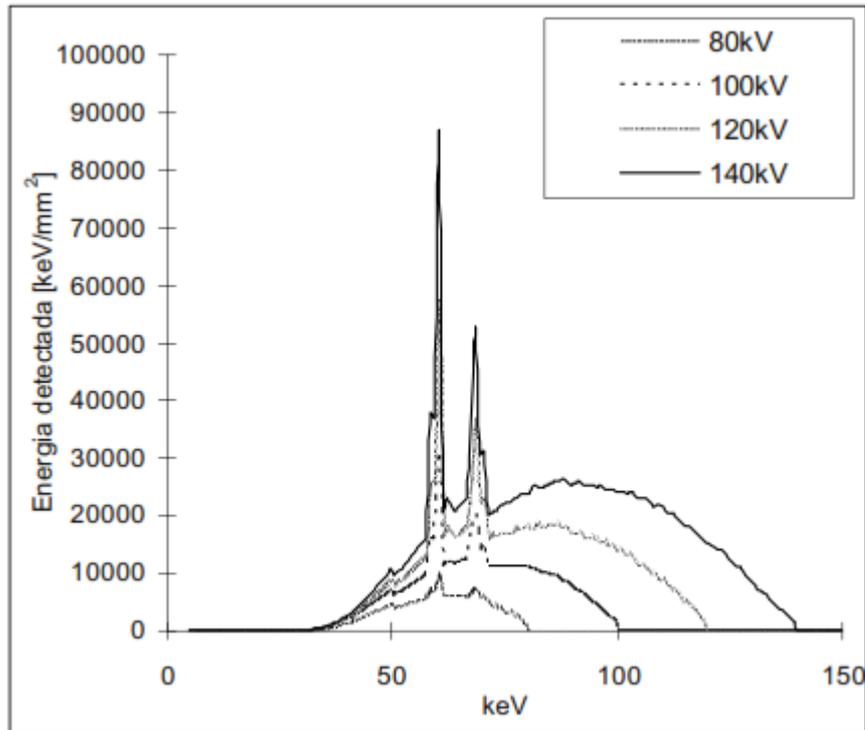


Ilustración 15 Espectro polienergético de rayos X, tras atravesar 20 cm de agua a diferentes potenciales aplicados en el tubo

(Boone, 2005)

2.4.2.3 EQUIPO DE RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR UTILIZADO EN MEDICINA.

La función principal de un equipo de resonancia magnética, como instrumento de ayuda en el diagnóstico médico, es la de crear las condiciones necesarias para generar y controlar el fenómeno de la RMN en el cuerpo humano.

En este capítulo se describirá cada uno de los principales componentes que forman parte de un equipo de RMN, proporcionando las bases físicas de su funcionamiento y la función que realizan.

Un resonador magnético es un sistema de dispositivos mecánicos, eléctricos y electrónicos compuesto por los siguientes componentes: un imán superconductor, un

sistema de bobinas compensadoras, un sistema de bobinas de gradiente y un sistema de antenas emisor-receptor denominado: sonda de radiofrecuencia.

Todos los elementos que conforman el resonador están conectados de forma mecánica y electrónica, y los mismos son controlados por medio de una computadora que se encuentra en el exterior de la sala de examen. En la ilustración 16 se muestra la característica de un resonador magnético utilizado en el diagnóstico médico por

imágenes (Orozco, 2006).

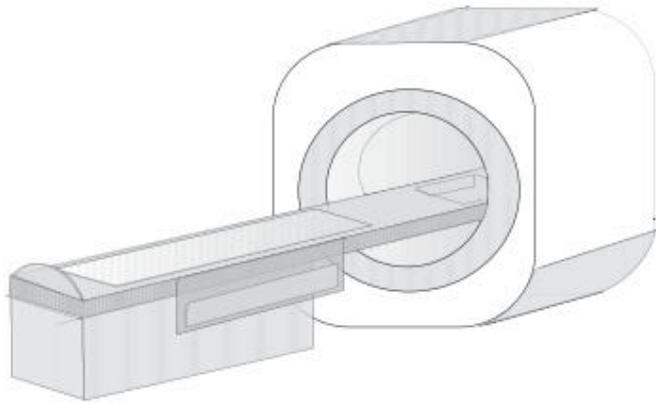


Ilustración 16 Resonador magnético

(Orozco, 2006)

2.5 EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS

El aumento en el uso de las cargas no lineales esencialmente, la adhesión de sistemas de transmisión de CD y el incremento de diversas fuentes de generación de armónicos está causando un incremento de problemas armónicos en los sistemas de potencia. Algunos efectos son (Martinez, 2008):

- Resonancia
- Aumento de las pérdidas
- Sobrecarga en los equipos instalados
- Perturbaciones en cargas sensibles
- Impacto económico

2.5.1 RESONANCIA

La utilización de dispositivos tanto capacitivos como inductivos en sistemas de distribución que estén contaminados de distorsión armónica provoca el fenómeno de la resonancia, teniendo como resultado valores extremadamente altos o bajos de impedancia. Estas variaciones en la impedancia modifican la corriente y la tensión en el sistema de distribución eléctrica (Martinez, 2008).

2.5.2 AUMENTO DE LAS PÉRDIDAS

2.5.2.1 PÉRDIDAS EN LOS CONDUCTORES

La potencia activa transmitida a una carga depende de la corriente fundamental, cuando la corriente absorbida por la carga contiene armónicos el valor eficaz (I_{RMS}) de la corriente es superior, a la corriente fundamental (I_1) (Martinez, 2008).

Las corrientes armónicas provocan un aumento de las pérdidas de Joule en todos los conductores por los que circulan y un aumento adicional en la temperatura de transformadores, equipos y cables (Martinez, 2008).

2.5.2.2 PÉRDIDAS EN LAS MAQUINAS ASÍNCRONAS

Las tensiones armónicas aplicadas sobre maquinas asíncronas provocan la circulación de corriente de frecuencias superiores a la frecuencia fundamental en el

rotor. Estas corrientes provocan pérdidas suplementarias proporcionales a $\frac{(vh)^2}{h}$ (Martinez, 2008).

2.5.2.3 PÉRDIDAS EN LOS TRANSFORMADORES

“Las corrientes armónicas que circulan en los transformadores provocan un aumento de las perdidas en las bobinas por efecto Joule y de las pérdidas del hierro debidas a las corrientes de Foucault. Además las tensiones armónicas causan perdidas en el hierro debido a la histéresis” (Martinez, 2008).

Una aproximación, se puede considerar que las pérdidas en las bobinas varían con el cuadrado de la THD de corriente y las perdidas en el núcleo varían linealmente en función de la THD de tensión (Martinez, 2008).

2.5.2.4 PÉRDIDAS EN LOS CONDENSADORES

Las tensiones armónicas aplicadas a los condensadores provocan la circulación de corrientes proporcionales a la frecuencia de los armónicos. Estas corrientes causan pérdidas suplementarias (Martinez, 2008).

2.5.3 SOBRECARGA DE LOS EQUIPOS INSTALADOS

2.5.3.1 GENERADORES

Los generadores que alimentan cargas no lineales generalmente sufren el distanciamiento o falta de concordancia entre los campos magnéticos en el generador, debidos a las perdidas suplementarias creadas por las corrientes armónicas. Este distanciamiento o falta de concordancia es del orden del 10% para un alternador que alimenta un 30% de carga no lineales y de allí la necesidad de sobredimensionar al generador para su correcta funcionabilidad (Martinez, 2008).

2.5.3.2 TRANSFORMADORES

“Los transformadores se diseñan para entregar la potencia requerida a las cargas conectadas a él, la distorsión armónica de la corriente en particular y de voltaje contribuyen en forma significativa al calentamiento de los transformadores” (Martinez, 2008).

“Para diseñar los transformadores de potencia que puedan trabajar con frecuencias mayores que la fundamental el diseñador debe hacer distintas variantes en el diseño, como por ejemplo utilizar cables continuos transpuestos en lugar de conductores sólidos y también ampliar el número de ductos de enfriamiento” (Martinez, 2008).

“Como regla general, un transformador en el que la corriente de distorsión armónica excede el 5%, es un candidato a ser degradado por efecto de las frecuencias armónicas” (Martinez, 2008).

2.5.3.3 MÁQUINAS ROTATORIAS

La presencia de componentes armónicas tanto de voltaje como de corriente puede ocasionar pérdidas de potencia por calentamiento tanto en los devanados como en el núcleo estático y rotórico. Además, la naturaleza secuencial (corriente armónica de secuencias negativa) de algunas corrientes armónicas en los sistemas trifásicos produce pares antagónicos en el rotor (Martinez, 2008).

2.5.3.4 CONDUCTORES DE NEUTRO

En sistemas trifásicos balanceados sin contenido armónico, las líneas de corriente están desfasados 120° , cancelándose unas con las otras resultando todo esto en una corriente muy pequeña. Sin embargo cuando hay distorsión en cualquiera de

las fases, los armónicos de las corrientes aumentan y el efecto de cancelación es reducido. El resultado es típicamente una corriente de neutro que es significativamente mayor que lo planeado. Los armónicos "Triplens" (múltiplos de tres) son un aditivo en el neutro y pueden rápidamente causar un sobrecalentamiento peligroso (Martinez, 2008).

En teoría la corriente máxima que el neutro debería cargar es 1.73 veces la corriente de fase. Si no es dimensionado correctamente, esto resultara en un sobrecalentamiento.

2.5.4 PERTURBACIONES EN CARGAS SENSIBLES

2.5.4.1 EFECTO DE LA DISTORSIÓN DE LA TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN

La distorsión de la fuente de alimentación puede perturbar el funcionamiento de aparatos sensibles como:

- Dispositivos de regulación (temperatura, etc.)
- Material informático
 - Dispositivos de control y monitorización (relés de protección) (Martinez, 2008)

2.5.4.2 PERTURBACIONES EN LÍNEAS TELEFÓNICAS

Los armónicos generan perturbaciones en los circuitos con la circulación de corrientes bajas. El grado de perturbación depende de la distancia de avance en paralelo de los cables de potencia y de señal, la distancia entre las líneas y la frecuencia de los armónicos (Martinez, 2008).

2.6 IMPACTO ECONÓMICO

2.6.1 PÉRDIDAS ENERGÉTICAS

El efecto Joule, inducido por las corrientes armónicas en los conductores y equipos, causa pérdidas energéticas adicionales (Martinez, 2008).

2.6.2 COSTOS ADICIONALES DE POTENCIA CONTRATADA

La presencia de corrientes armónicas provoca que se incremente el nivel de potencia contratada y consecuentemente, el costo de la facturación. Lo que es más las empresas distribuidoras de energía tenderán a penalizar en el futuro a quienes produzcan perturbaciones armónicas (Martinez, 2008).

2.6.3 ERROR DE MEDICIÓN

“La presencia de armónicos afecta severamente la lectura de los instrumentos, lo que implica tomar en cuenta diversas preocupaciones al realizar una lectura.

El análisis que se realiza a continuación se refiere a los instrumento de uso frecuente como los medidores de energía eléctrica” (Martinez, 2008).

2.6.3.1 INSTRUMENTOS DE AGUJA DE TIPO ELECTRODINAMOMÉTRICO

“Estos instrumentos son los de uso más común en tableros industriales, su principio de funcionamiento es tal que indican el verdadero valor efectivo (RMS) de la onda. Dado que emplean inductancias y solo consideran usualmente hasta la 5ta armónica en forma fidedigna. Su mayor problema se relaciona con la calibración ya que, al existir piezas mecánicas giratorias, el roce provoca un error (registran menor valor) de lectura” (Martinez, 2008).

2.6.3.2 INSTRUMENTOS DIGITALES CON RECTIFICADOR A LA ENTRADA

“La gran mayoría de los instrumentos digitales a la entrada disponen de rectificadores de modo tal que lo que realmente miden es el valor medio de la onda rectificada. Por cierto, si la onda es senoidal el instrumento es de buena precisión. Si la onda contiene armónicos, el instrumento mide un valor inferior al valor eficaz. En la medición de corrientes como las registradas en computadores, el instrumento mide un 30% menos que el valor efectivo (RMS) de la corriente” (Martinez, 2008).

2.6.3.3 INSTRUMENTO DE VERDADERO VALOR EFECTIVO (RMS)

“En general en estos instrumentos de tipo digital, se emplea un sensor que registra la elevación de temperatura en una resistencia por la cual circula la corriente a medir. Por tanto, el instrumento mide el verdadero valor efectivo de corriente (o de voltaje) incluyendo todas las componentes armónicas. Debido a que se mide un fenómeno térmico el instrumento no es apto para medir consumos de rápida variación. Otros equipos de mayor calidad realizan la medición empleando un convertidor analógico-digital” (Martinez, 2008).

2.7 MARCO NORMATIVO

La norma tiene la facultad de asegurar un nivel satisfactorio de la prestación de los servicios eléctricos a que se refieren dichas disposiciones legales, debe de garantizarse a los usuarios un suministro eléctrico continuo, adecuado, confiable y oportuno. Fijando de esta manera estándares mínimos de calidad (Martinez, 2008).

Existen varias organizaciones tanto nacionales como internacionales trabajando conjuntamente con ingenieros, fabricantes de equipos y organizaciones investigativas para

proponer las normas y pautas gobernantes, prácticas recomendadas y los límites de distorsión armónica. (Martinez, 2008).

El principal objetivo de las normas es proveer una guía común a todas las partes involucradas para trabajar juntas con el fin de asegurar la compatibilidad entre los equipos de uso final y los sistemas de distribución de energía eléctrica (Martinez, 2008).

A continuación nos centraremos en el análisis de las principales normas que gobiernan, los valores límites de armónicos, entre las cuales tenemos las siguientes normas:

- NTCSE
- IEEE 519-1992

NTCSE- NORMA TÉCNICA DE CALIDAD DE LOS SERVICIOS ELÉCTRICOS,

Hasta antes del 11 de octubre de 1997, nuestro país no contaba con una Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos, es por ello que mediante el decreto supremo N° 020-97-EM, publicado el 11 de octubre de 1997 (MINEM, 1997).

Se aprueba la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos, en el cual contempla en el título quinto sobre la Calidad de Producto y el numeral 5.3, trata sobre las perturbaciones y dentro de los cuales se trata solamente sobre los flicker y las armónicas (MINEM, 1997).

Hoy en día en nuestro país se aplica la normalización sobre los niveles de tolerancia para la generación de armónicos que regirán al sistema eléctrico nacional. En esta tesis se mostraran algunas normas internacionales sobre armónicos (MINEM, 1997).

Para efectos de esta norma se consideran las armónicas comprendidas entre la 2° y 40° armónica de tensión. Por lo tanto las expresiones que determinan los factores de distorsión se define como:

- Distorsión individual de voltaje

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

Dónde:

V_h : Amplitud o valor efectivo de la armónica, h-ésima de voltaje

V_l : Amplitud o valor efectivo de la fundamental de voltaje

Distorsión individual de corriente

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

Dónde:

I_h : Amplitud o valor efectivo de la armónica, h-ésima de corriente

I_l : Amplitud o valor efectivo de la fundamental de corriente

- Distorsión de armónica total de voltaje

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

Dónde:

V_h : Amplitud o valor efectivo de la armónica, h-ésima de voltaje

V_l : Amplitud o valor efectivo de la fundamental de voltaje

n : Máxima armónica a considerar

- Distorsión de armónica total de corriente

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

Dónde:

I_h : Amplitud o valor efectivo de la armónica, h-ésima de corriente

I_l : Amplitud o valor efectivo de la fundamental de corriente

n : Máxima armónica a considerar

Los límites para el caso de nuestro país:

La Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos contempla los niveles y rangos para diferentes parámetros tales como: tensión, frecuencia y perturbaciones (flicker y armónicos).

En la siguiente tabla se muestran los valores de las Tensiones Armónicas los valores eficaces (RMS) de las Tensiones Armónicas Individuales (V_i) y los THD, expresado como porcentaje de la tensión nominal del punto de medición respectivo, no deben superar los valores límite (V_i' y THD') indicados en la siguiente tabla (MINEM, 1997).

Para efectos de esta Norma, se consideran las armónicas comprendidas entre la dos (2°) y la cuarenta (40°), ambas inclusive (MINEM, 1997).

Tabla 7. Valores de las tensiones armónicas eficaces

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 TENSION	MEDIA Y BAJA TENSION
<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

(MINEM, 1997)

Nota: se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si los indicadores de las perturbaciones medidas se encuentran fuera del rango de tolerancia establecidas en este numeral (MINEM, 1997).

NORMA IEEE Std 519-1992, (Estados Unidos de Norte America)

Esta norma, originaria de Estados Unidos, es más didáctica y general que los estándares IEC-61000-3-2 y IEC-61000-3-4. El objetivo que persigue la recomendación se centra en dos focos: redactar las pautas para la limitación de la polución armónica debida a los consumos individuales de energía eléctrica con el fin de evitar una distorsión armónica de la tensión de suministro en el PCC inadmisibles, y limitar la distorsión armónica de la tensión de suministro ofrecida por las compañías eléctricas (Ortmeyer, 1985).

Los límites de inyección de polución armónica de los equipos en el PCC están directamente relacionados por la potencia de los mismos, y de la potencia de corto-circuito en el mismo PCC. A continuación se muestran definiciones de interés de parámetros utilizados por la recomendación IEEE-519-1992. Tasa de distorsión en la demanda (TDD): expresa la distorsión de la corriente consumida en función de la demanda de energía (Ortmeyer, 1985).

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

Dónde:

I_l : corresponde al máximo valor de la corriente a frecuencia fundamental demandada por la carga (durante 15 o 30 minutos) en el PCC, y se calcula a partir de la media de los máximos valores que se han producido en los últimos 12 meses de consumo (Ortmeyer, 1985).

Relación de corto-circuito (R_{cc}):

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

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

Dónde: U_{nom} Es la tensión nominal entre fases del sistema de alimentación y Z es la impedancia del sistema en el PCC (Ortmeyer, 1985).

De una manera general, el objetivo de la norma es limitar la inyección de corrientes armónicas de forma que en la tensión de alimentación del sistema eléctrico de potencia no aparezcan componentes armónicas mayores al 3% de la amplitud de la onda de tensión de alimentación a frecuencia fundamental. A su vez, se persigue que el valor del THD de la tensión de alimentación sea menor del 5% en sistemas donde no existe resonancia paralelo a una frecuencia específica (Ortmeyer, 1985).

En las tablas 7 y 8 se muestran las bases para la limitación de corrientes armónicas según IEEE-519-1992 en función del valor de R_{cc} en el PCC (Ortmeyer, 1985).

Tabla 8. Base para los límites de corrientes armónicas

<i>Relación de cortocircuito en el PCC</i>	<i>Voltaje máximo individual de frecuencia armónica (%)</i>	<i>Caso supuesto</i>
<i>10</i>	<i>2.5 - 3.0</i>	<i>Sistema delicado</i>
<i>20</i>	<i>2.0 - 2.5</i>	<i>1 - 2 Clientes grandes</i>
<i>50</i>	<i>1.0 - 1.5</i>	<i>Pocos clientes relativamente grandes</i>
<i>100</i>	<i>0.5 - 1.0</i>	<i>5 - 20 Clientes medianos</i>
<i>1000</i>	<i>0.05 - 0.10</i>	<i>Muchos clientes pequeños</i>

(Ortmeyer, 1985)

Tabla 8. Límites de inyección de corrientes armónicas

SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN (120V-69KV)						
I_{cc}/I_L	TASA INDIVIDUAL ADMISIBLE EN RELACIÓN a (%)					TDD (%)
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	
<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

(Ortmeyer, 1985)

CAPITULO III

ANÁLISIS DE LAS CORRIENTES ARMÓNICAS EN BAJA TENSIÓN Y SU INCIDENCIA A LA CALIDAD DEL PRODUCTO DEL HOSPITAL REGIONAL DEL CUSCO.

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realizara la evaluación de la presencia de armónicos en baja tensión del hospital regional del Cusco. De las SED – 10021 y de SED – 10823, de los sub sistemas de distribución secundario del alimentador DO-06, principalmente el comportamiento que las cargas no lineales ocasionan en la operación del sub sistema y la calidad de producto; el comportamiento de sus componentes armónicas que ocasionan en la operación normal, posteriormente ver la situación en la que se encuentra operando el sistema, también ver la necesidad de buscar una adecuada solución para disminuir estos efectos ocasionados, para al final utilizar un filtro adecuado para una compensación armónica de corriente el cual se verá en el capítulo V.

Se tomara como muestra las mediciones de los SED – 10021 y de SED – 10823, ya que el proceso es similar para cualquier otro transformador, estos están ubicados en distintos lugares dentro del HOSPITAL REGIONAL DEL CUSCO del mismo alimentador DO-06, pertenecientes al sistema eléctrico de distribución de la ciudad, comprenderá la descripción, datos generales, mediciones establecidas y todo el análisis necesario para la su compensación. Los datos y mediciones son obtenidos a partir de los registros que tiene la oficina de control de calidad de energía de la empresa Electro Sur Este S.A. Ya la empresa Electro Sur Este S.A realiza cronogramas mensuales de mediciones para el control de calidad del producto en la ciudad del cusco, de tal forma el equipo técnico de la empresa realizan dichas mediciones, los cuales se realizan en:

Puntos de medición en suministros de BT

Esta medición se realiza en las salidas de las barras de baja tensión de las sub estaciones contempladas en el estudio, que van hacia el tablero general de cada servicio, con el fin de apreciar los parámetros eléctricos inherentes al sistema eléctrico motivo del estudio.

Las mediciones la realizan por un periodo de 7 días calendarios, en intervalos de tiempo de 10 minutos según establece la norma técnica de calidad de los servicios eléctricos (NTCSE) (MINEM, 1997).

Las mediciones en las subestaciones de distribución, se realiza en los bornes de salida del secundario del transformador, con el fin de ver la calidad de servicio que ofrece la empresa concesionaria, los cuales se realizan con diferentes tipos de analizadores de redes entre ellas se cuenta con el analizador de redes PQ-Box 100.

El analizador de redes PQ-Box 100, es el equipo que nos permitirá poder ver el comportamiento de las componentes armónicas en el sistema eléctrico del hospital regional del Cusco, las cuales son necesarias para poder analizar la necesidad o no, de mitigar corrientes armónicas en el sistema eléctrico; y posteriormente, poder decidir por el tipo de filtro que se adecue a las necesidades del hospital materia de estudio

3.2. DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO ANALIZADOR DE REDES

3.2.1 ANALIZADOR PQ-BOX 100

La PQ-Box 100 es un potente analizador portátil de redes eléctricas, un medidor de potencia y una grabadora de fenómenos transitorios. El objetivo del desarrollo fue facilitar el uso de un instrumento de medición extremadamente robusto y de muy alta precisión.

La PQ-Box 100 se desarrolló para el servicio móvil (clase de protección IP65) y es adecuada para realizar mediciones en la red pública (CAT IV), así como mediciones

en entornos industriales con rangos de tensión de medición y alimentación muy amplios.

El instrumento cumple las exigencias de la última versión de la norma sobre equipos de medición IEC61000-4-30 (segunda edición 2015) para un aparato de la clase A.

El PQ-Box 100 provee una memoria de gran capacidad de 2 GB. De este modo, es posible inspeccionar los valores medidos en amplios periodos de tiempo de hasta 12 meses. En caso de fallo de la alimentación, el sistema de alimentación interno proporciona suministro eléctrico al analizador de red durante 20 segundos. El dispositivo resiste eventos de este tipo varias veces seguidas, dado que la batería está diseñada para durar varios minutos. La alimentación puede suministrarse con tensión de CA o de CC a través del circuito de medición o mediante un suministro eléctrico independiente. El dispositivo funciona con la versión 4.7.3 del sistema operativo libre FreeRTOS. El código fuente del sistema operativo actual está disponible en www.FreeRTOS.org (GMBH&CO.K, 2014).

Funciones:

Evaluación de la calidad de la tensión de acuerdo con las normas EN 50160, CEI 61000-2-2 y CEI 61000-2-4 en redes de baja y media tensión (GMBH&CO.K, 2014).

- Función de registrador de errores (solo en la versión "expert")
- Análisis de carga; medición de energía o Análisis de las señales de telemando
- Precisión de tensión de medición
- Determinación de intervalos de integración
- Resaltar valores de medición para eventos
- Armónicos e Inter armónicos
- Flicker

- Frecuencia
- Asimetría de tensión de red
- Registro de eventos
- Sincronización



Ilustración 17 analizador de redes PQ-BOX100

Introducción a las funciones de registro de datos: El PQ-Box 100 combina diversas funciones simultáneas de registro para proporcionar resúmenes e información detallada a través de un equipo a fin de crear informes y análisis: 0 Los valores promedio (1) de un intervalo de medición definido por el usuario (de 1 segundo a 30 minutos) se almacenan y se pueden consultar en un equipo en forma de gráficas de líneas, mediante las funciones de visualización Registro permanente del software. Asimismo, en cada intervalo de medición se registran los valores RMS de 10 ms máximos y mínimos para la frecuencia, la tensión, la corriente y la potencia (GMBH&CO.K, 2014).

Los eventos se capturan cuando los valores superan el umbral seleccionado por el usuario.

Los eventos límite quedan capturados como registros de texto con indicación de hora y fecha si se trata de 333cambios lentos o rápidos de tensión, alteraciones de frecuencia, flicker, desequilibrios de tensión, THD de tensión o determinados límites de armónicos de tensión (GMBH&CO.K, 2014).

Los registros de osciloscopio son registros de ondas de alta velocidad de tensión y corrientes semejantes al registro de fallos. Estos eventos se pueden activar mediante los eventos de cambio de tensión o corriente (es posible seleccionar los umbrales superior e inferior, así como los límites de los intervalos). El usuario podrá configurar la hora del registro y los eventos anteriores al disparo (GMBH&CO.K, 2014).

El registro de RMS de 10 ms constituye una vista alternativa al registro de osciloscopio. Los valores RMS de medio ciclo de la tensión y la corriente se registran y se muestran en forma de gráfica de líneas. Los eventos de RMS de 10 ms disponen de una configuración independiente para el umbral, el disparo previo y el registro – De manera opcional, es posible registrar las señales de telemando como datos de alta velocidad (GMBH&CO.K, 2014).

(1) Cada uno de los valores RMS de medio ciclo (valor de 10 ms) se mide a intervalos definidos por el usuario. El promedio se registra al final de cada intervalo (GMBH&CO.K, 2014).

Evaluación de los datos de medición: Es posible transferir los datos registrados al equipo de análisis a través de la interfaz USB. Para la lectura de los datos, es posible alimentar el dispositivo mediante la interfaz USB del equipo, ya que no es necesaria una fuente de alimentación externa. El dispositivo se suministra con un software de análisis integral orientado al usuario que se puede instalar en el número de equipos que se desee. En nuestro sitio web (www.a-eberle.de) encontrará actualizaciones gratuitas. El software ofrece numerosas opciones de visualización y análisis, como el análisis de carga, la detección de fallos de redes y el análisis completo en tiempo real. Es posible generar informes automáticos estandarizados de acuerdo con las normas EN 50160 y CEI 61000-2- 2/2-4 (GMBH&CO.K, 2014).

3.2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ANALIZADOR DE REDES PQ-BOX

100



Ilustración 18 Descripción general del analizador de redes PQ-BOX100

3.2.3 CONEXIÓN DEL PQ-Box 100

Conecte el conector de 7 clavijas del conjunto de tenazas de corriente deseado al PQ-Box 100. El dispositivo reconoce automáticamente las tenazas de corriente estándar, por lo que el intervalo de medición se ajusta de manera automática. Asegúrese de que los cables de medición y las tenazas de corriente estén correctamente conectados, es decir, bien ajustados y en la dirección correspondiente. Las tenazas disponen de flechas que indican la dirección. Estas deben apuntar desde la fuente de alimentación hacia el consumidor o la carga para que se produzcan lecturas de suministro "positivas" (GMBH&CO.K, 2014). Conecte los cables de medición de la tensión en el punto deseado.

Esta versión dispone de cuatro entradas de tensión, por lo que mide la tensión del conductor neutro a tierra (GMBH&CO.K, 2014). La conexión PE, correspondiente al cable verde, deberá conectarse en todas las mediciones. Si no se dispone de conductores de PE en el punto de medición, se deben conectar juntas la conexión N y

la PE del analizador de redes al conductor N. Es posible alimentar el dispositivo de medición con un sistema de 400 V CA mediante la tensión del conductor a tierra.

3.2.4 CONEXIÓN DE TENSION PARA RED TRIFASICA DE BAJA

TENSION

Posibilidad de lograr el suministro eléctrico conectando el dispositivo al circuito de medición L-N, L-L (o de forma externa) si se sitúa en los siguientes valores: 100 V a 280 V CA 140 V a 240 V CC.

En la ilustración 19 se muestra la conexión en una red trifásica de 4 conductores:

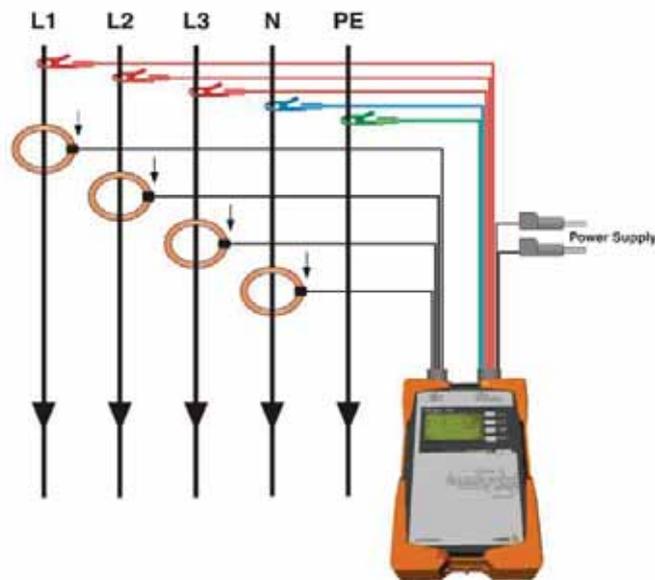


Ilustración 19 Diagrama de tensión para red trifásica de baja tensión

3.2.5 CONEXIÓN DE TENSION PARA RED MONOFÁSICA DE BAJA

TENSION.

En la ilustración 20 se muestra el Conexionado para mediciones monofásicas:

- En las mediciones monofásicas, cambie la configuración
- Conecte los cables de tensión L1, N y PE
- Si no se dispone de PE, junte los conductores N y PE

- Conexión a un hilo.

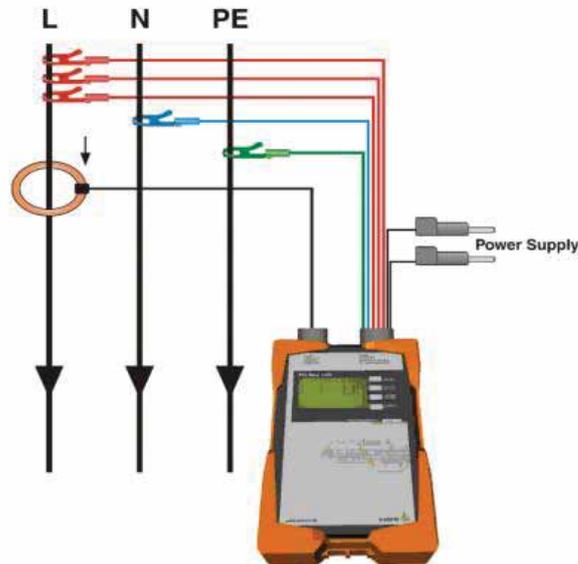


Ilustración 20 Diagrama de conexión de tensión para red monofásica de baja tensión

3.2.6 CONEXIÓN DE TENSIÓN A TRANSFORMADORES SECUNDARIOS EN REDES DE MEDIA Y ALTA TENSIÓN

El PQ-Box 100 también se puede alimentar mediante la tensión secundaria del transformador de tensión. No obstante, a fin de evitar el efecto de la retroalimentación en los valores de medición ocasionado por la alimentación del dispositivo, se recomienda emplear una fuente de alimentación externa (GMBH&CO.K, 2014).

Posibilidad de lograr el suministro eléctrico conectando el dispositivo al circuito de medición L- L (o de forma externa) si se sitúa en los siguientes valores: 100 V a 280 V CA 140 V a 240 V CC (GMBH&CO.K, 2014).

El PQ-Box 100 dispone de cuatro entradas de tensión, por lo que permite medir la tensión de neutro a tierra.

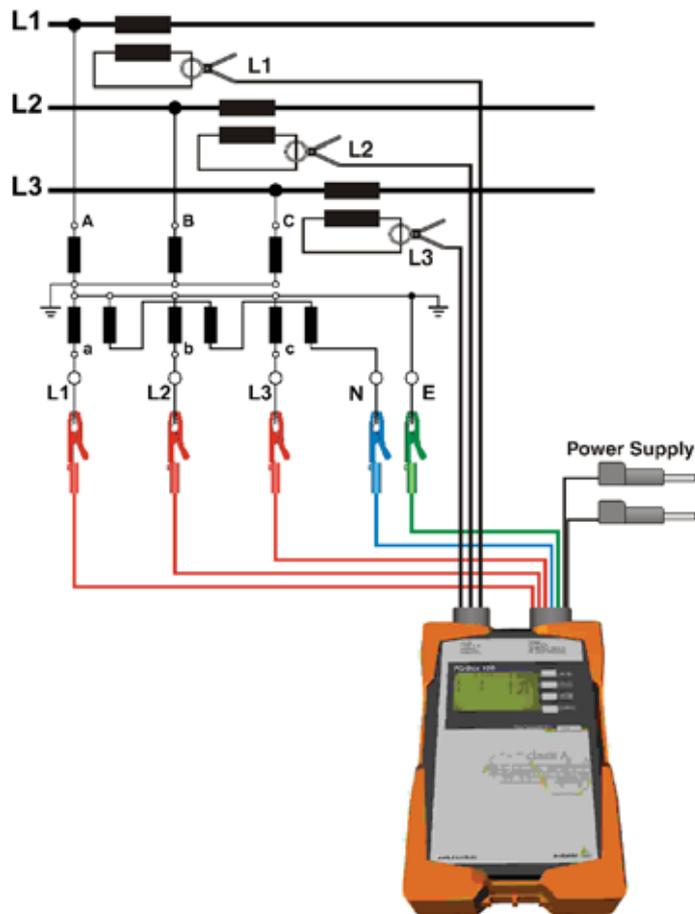


Ilustración 21 Diagrama de conexión tensión a transformadores secundarios en redes de media y alta tensión

3.2.7 CONEXIONES VT-CT:

Para los transformadores de tensión con conexiones en delta abierto o si se utiliza una conexión de dos vatímetros (circuito Aron) mediante los transformadores de corriente, seleccione la configuración adecuada en los ajustes del PQ-Box 100 (GMBH&CO.K, 2014).

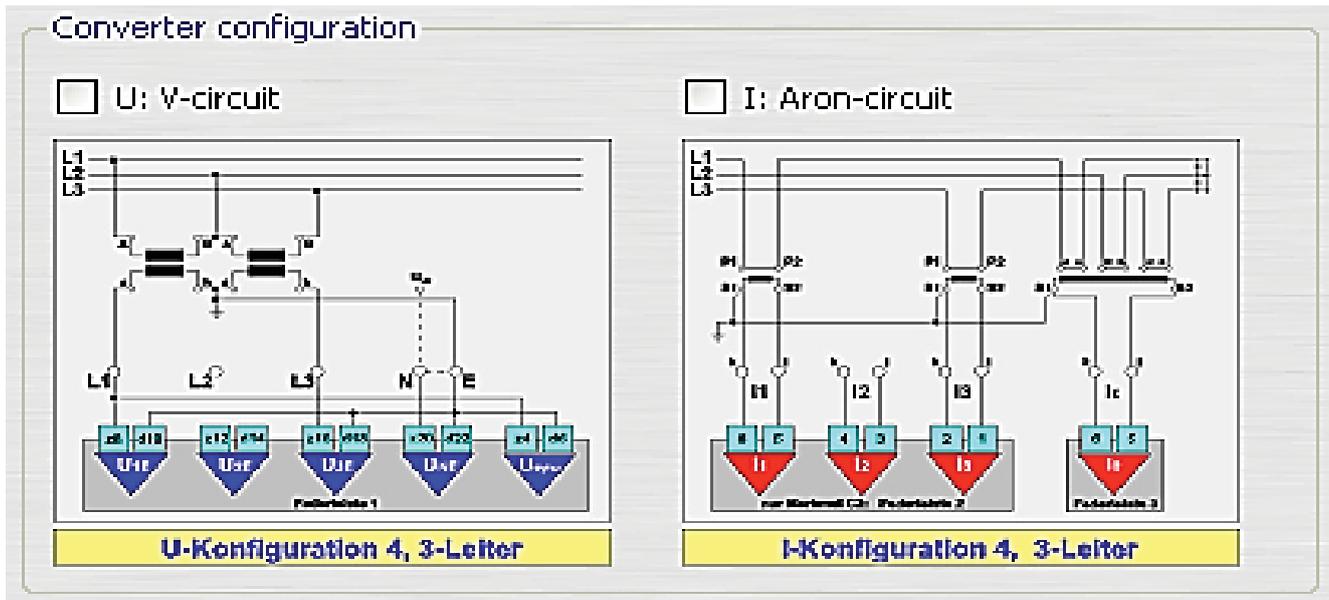


Ilustración 22 Diagrama de conexión Conexiones VT-CT

3.3 EVALUACIÓN DE LA OPERACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL

3.3.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO ACTUAL

El sistema eléctrico del Hospital regional del Cusco, obtiene su energía en media tensión sistema trifásico, Subterráneo, es un sistema calificado como un “Sector Típico II”, de características mayormente urbano y es parte del sistema de alimentación de Dolores pata como se muestra en la tabla 9, siendo este el alimentador DO-06 de 10.5 Kv, que abastece de energía a sus dos SED, con una tarifa MT-4, con una potencia contratada en sus dos SED menores a 200 KW, su sistema de medición en baja tensión es del tipo electrónico. En el trabajo de tesis la evaluación y el análisis de las corrientes armónicas será en el lado del secundario de los SED.

3.3.2 SUBESTACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DOLORESPATA

Se encuentra ubicada en el barrio de dolores pata prácticamente en el centro de la ciudad, los nueve alimentadores que parten de allí son de vital importancia porque alimentan el centro histórico y los distritos de Santiago y Wanchaq, estos

alimentadores soportan la mayor carga del sistema eléctrico de la ciudad, además abarcan las zonas rurales de Corcca y Ccorao; esta Subestación es administrada por la Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A, EGEMSA.

Tabla 9. Alimentadores que salen de la subestación de Dolores pata

Alimentador	S.E.T	kV.	Zonas Importantes
DO01	Dolorespata	10.5	Av. Antonio Lorena, Almudena, Independencia, Picchu Alto, Corcca, Taticica, Ilaullipata Sacsayhuaman
DO02	Dolorespata	10.5	Huancaro, Zarzuela Manahuañonca, La Estrella, Chocco, Herapata, Huamancharpa, Cachona
DO03	Dolorespata	10.5	Av. el Sol, Palacio de Justicia, Banco de la Nación, Plaza de Armas, Saphy, Arcopata, Av. Apurímac, Huaynapata.
DO04	Dolorespata	10.5	Av. Huascar, Mercado Wanchaq, San Agustín, San Blas, Sapantiana, Sacsayhuaman, Tambomachay
DO05	Dolorespata	10.5	Infancia, Estadio Garcilaso, Ucchullo, Tahuantinsuyo, Balconcillo, Alto los Incas, Huayrapunco
DO06	Dolorespata	10.5	Av. Los Incas, Mariscal Gamarra, AvCollasuyo, Unsaac, Hospital Regional, Magisterio, Marcavalle, Santa Rosa, Santa Mónica
DO07	Dolorespata	10.5	Progreso, Huayruopata, Estadio Garcilaso, Hospital Seguro social, Vía Expresa, Parque Industrial, Santa Úrsula.
DO08	Dolorespata	10.5	Ttio, Arahuary, Viva el Perú, Primero de Enero Terminal Terrestre, El Molino, Margen Derecha, Molleray
DO09	Dolorespata	10.5	Av. Ejército, Coripata, Santiago, Calle Ayacucho, Plaza San Francisco, Calle Pera

FUENTE ELSE

3.3.3 IDENTIFICACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES PARA SU ANÁLISIS

Para el diagnóstico y análisis de la operación del sistema eléctrico actual se toma como muestra algunas subestaciones instaladas en el centro de la ciudad del

cusco. En dichas subestaciones la empresa concesionaria ELECTRO SUR ESTE S.A.A, realizo la instalación de los analizadores de redes para la medición de la calidad de servicio, se utilizó el analizador PQ-Box 100, de las cuales se ha tomado los datos de las mediciones para este trabajo de tesis.

Tabla 10. SED para el estudio a realizar el análisis

N°	SED	ALIMENTADOR	UBICACIÓN
01	0010021	DO06	Av. La cultura
02	0010823	DO06	Av. Víctor Raúl Haya de la Torre

ELSE

3.4 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

La oficina de División y Operaciones de ELECTRO SUS ESTE S.A.A, junto con su equipo técnico realizaron la instalación de los equipos de los cuales se tomó las mediciones realizadas que como se sabe se realizó con la finalidad de evaluar y ver la presencia de los armónicos en el sub sistema de distribución secundario para su compensación correspondiente. Para el análisis de datos se toma en cuenta los siguientes parámetros de los armónicos:

- El armónico relativo de tensión (%).
- El armónico relativo de corriente (%).
- La distorsión armónica total de tensión, el THDv (%).
- La distorsión armónica total de corriente, el THDi (%).
- Factor de potencia, $\cos\Phi$.

Los parámetros de armónicos mencionados, nos permite ver el efecto de las cargas en el subsistema de distribución, la operación de los transformadores y analizar si la presencia de los armónicos afecta al sub sistema de distribución secundario. Dichos parámetros serán analizados para cada transformador, de igual manera, cual es la componente armónica que más afecta a dicho subsistema y así mismo ver si la incorporación de filtros pasivos es una

manera de disminuir los efectos que las cargas no lineales ocasionan a la operación normal en el sistema.

3.5 ANÁLISIS SUBESTACIÓN DISTRIBUCIÓN 0010823

Características de la SED.

- Ubicación : Av. Víctor Raúl Haya de la Torre
- Potencia : 640 KVA
- Relación de transformación : 10.5/0.380 KV
- Sistema : trifásico
- Grupo de transformación : Dyn5
- Vcc : 5%

Según el reporte obtenido del equipo analizador en la SED en cual se realizó con el objetivo de evaluar la presencia de armónicos, se verá el orden de los armónicos que más distorsiona la señal de onda de tensión y corriente.

3.5.1 FORMA DE ONDA DE TENSIÓN Y CORRIENTE SED 0010823

Con el analizador de redes PQ-Box 100 se puede verificar el comportamiento de la forma de onda sinusoidal de tensión y corriente en el punto de medición, el cual nos permite apreciar como es la distorsión de las señales de onda frente a la presencia de las componentes armónicas. En las siguientes ilustraciones 23 se puede apreciar la distorsión de onda en la subestación mencionada en la cuales se realizó la medición.

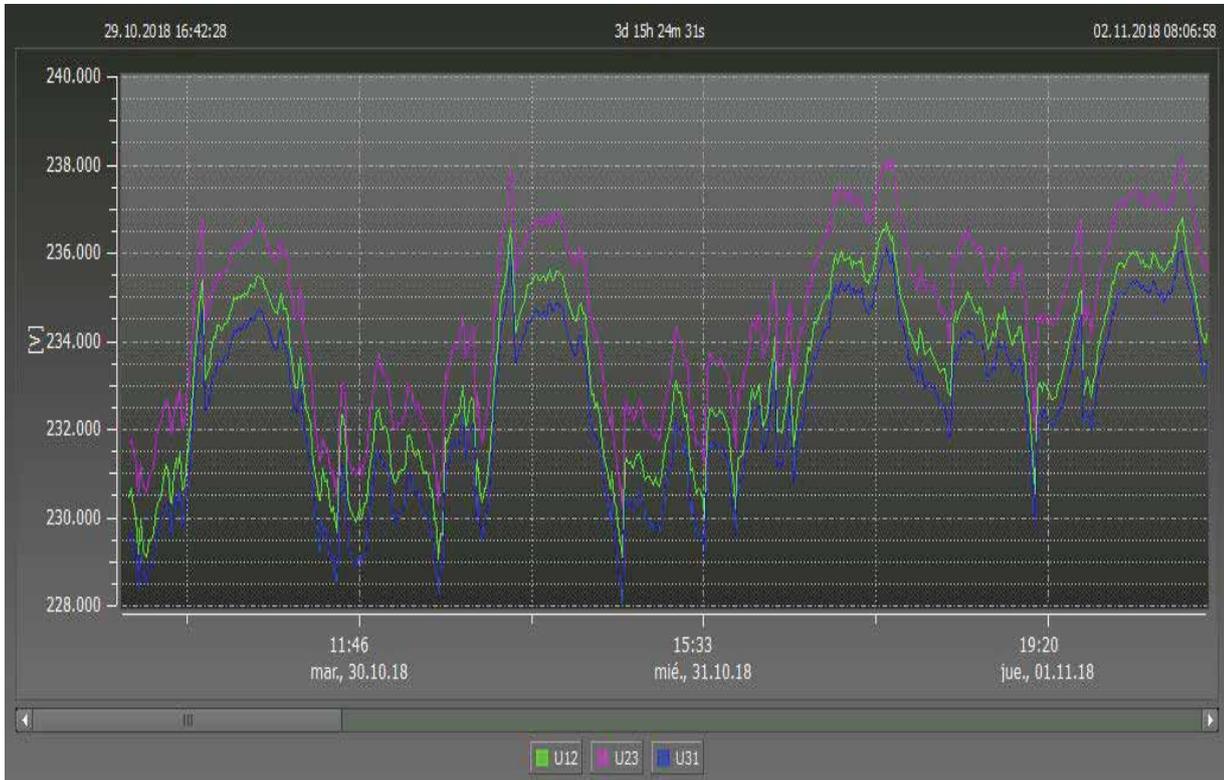


Ilustración 23 Comportamiento de la forma de onda de tensión y corriente con la presencia de componentes armónicas SED 0010823

3.5.2 FORMA DE ONDA DE TENSIÓN Y CORRIENTE SED 0010823

Según los datos registrados en la tabla 11, podemos visualizar los valores que optan las componentes armónicas de la ilustración 24.

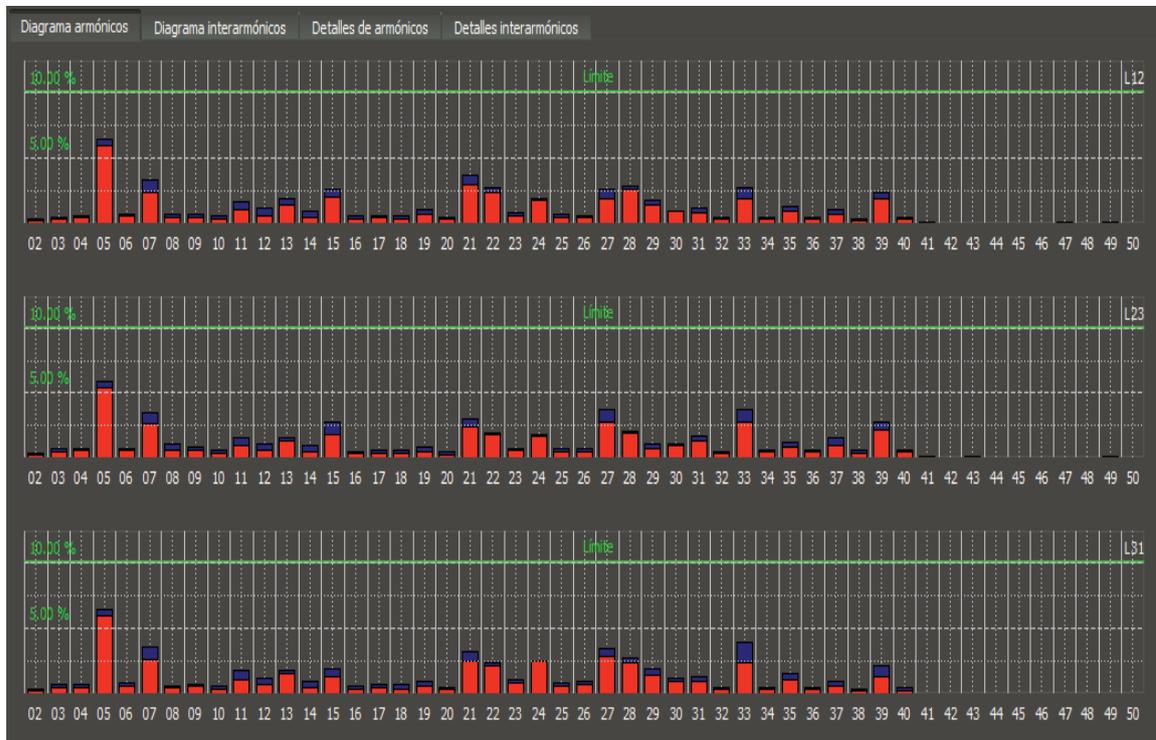


Ilustración 24 Variación de THDv en los primeros 50 Armónicos SED 0010823

En la ilustración 25, se muestra la magnitud de los armónicos sobresalientes de tensión que presenta dicha subestación de distribución, podemos apreciar que el 3^{er} armónico, 5^{to} armónico, 7^{mo} armónico, 11^{vo} armónico y 13^{vo} armónico son los más sobresalientes en esta carga.

De esta manera hacemos el análisis de los armónicos de tensión individual, de acuerdo con los valores establecidos en la Norma técnica de calidad de servicios eléctricos (NTCSE), dichos valores obtenidos no son tan significativos. Pero se aprecia los armónicos sobresalientes las cuales son:



Ilustración 25 Armónicos sobresalientes

Tabla 11. Análisis de armónicos de tensiones individuales SED 0010823

ARMONICO		TENSION				Secuencia(+,-,0)
H	V1 (h),(%)	V2 (h),(%)	V3 (h)(%)	Vh - NORMA (%)		
2	0.103	0.096	0.101	2.000	Negativa	
3	0.247	0.362	0.39	5.000	Cero	
4	0.062	0.068	0.067	1.000	Positiva	
5	3.873	3.558	3.896	6.000	Negativa	
6	0.036	0.038	0.041	0.500	Cero	
7	1.686	1.738	1.786	5.000	Positiva	
8	0.037	0.055	0.031	0.500	Negativa	
9	0.106	0.127	0.116	1.500	Cero	
10	0.028	0.028	0.031	0.500	Positiva	
11	0.569	0.532	0.613	3.500	Negativa	
12	0.024	0.021	0.024	0.200	Cero	
13	0.564	0.486	0.54	3.000	Positiva	
14	0.018	0.019	0.018	0.200	Negativa	
15	0.079	0.083	0.059	0.300	Cero	
16	0.011	0.009	0.011	0.200	Positiva	
17	0.131	0.126	0.148	2.000	Negativa	
18	0.013	0.012	0.015	0.200	Cero	
19	0.163	0.123	0.147	1.150	Positiva	
20	0.01	0.009	0.009	0.200	Negativa	
21	0.073	0.062	0.064	2.000	Cero	
22	0.03	0.021	0.026	5.000	Positiva	
23	0.129	0.102	0.164	1.000	Negativa	
24	0.039	0.037	0.052	6.000	Cero	
25	0.115	0.105	0.132	0.500	Positiva	
26	0.012	0.015	0.019	5.000	Negativa	
27	0.054	0.076	0.07	0.500	Cero	
28	0.058	0.042	0.055	1.500	Positiva	
29	0.115	0.072	0.124	0.500	Negativa	
30	0.02	0.021	0.023	3.500	Cero	
31	0.07	0.105	0.08	0.200	Positiva	
32	0.01	0.011	0.01	3.000	Negativa	
33	0.055	0.076	0.079	0.200	Cero	
34	0.01	0.012	0.009	0.300	Positiva	
35	0.07	0.066	0.083	0.200	Negativa	
36	0.01	0.011	0.009	2.000	Cero	
37	0.056	0.085	0.054	0.200	Positiva	
38	0.008	0.011	0.007	1.150	Negativa	
39	0.047	0.055	0.043	0.200	Cero	
40	0.01	0.012	0.009	2.000	Positiva	
41	0.062	0.065	0.057	5.000	Negativa	
42	0.009	0.011	0.008	1.000	Cero	
43	0.051	0.07	0.034	6.000	Positiva	
44	0.009	0.008	0.005	0.500	Negativa	
45	0.045	0.047	0.023	5.000	Cero	
46	0.008	0.008	0.006	0.500	Positiva	
47	0.065	0.047	0.041	1.500	Negativa	
48	0.007	0.007	0.006	0.500	Cero	
49	0.072	0.086	0.027	3.500	Positiva	
50	0.007	0.007	0.005	0.200	Negativa	

ELSE

El 3^{er} armónico, perteneciente a la secuencia cero con valores de $V_1 = 0.247\%$, $V_2 = 0.362\%$, $V_3 = 0.390\%$, no superan el valor de 5.00% establecida según la norma.

El 5^{to} armónico, perteneciente a la secuencia negativa con valores de $V_1 = 3.873\%$, $V_2 = 3.558\%$, $V_3 = 3.896\%$, tampoco superan el valor de 6.00% establecida según la norma.

El 7^{mo} armónico, perteneciente a la secuencia positiva con valores de $V_1 = 1.686\%$, $V_2 = 1.738\%$, $V_3 = 1.786\%$, Tampoco superan el valor de 5.00% establecida según la norma.

El 11^{vo} armónico, perteneciente a la secuencia negativa con valores de $V_1 = 0.569\%$, $V_2 = 0.532\%$, $V_3 = 0.613\%$, Tampoco superan el valor de 3.50% establecida según la norma.

El 13^{vo} armónico, perteneciente a la secuencia positiva con valores de $V_1 = 0.564\%$, $V_2 = 0.486\%$, $V_3 = 0.540\%$, Tampoco superan el valor de 3.00% establecida según la norma.

Los armónicos de orden $h = 2^{do}, 4^{to}, 6^{to}, 8^{vo}, 9^{no}, 10^{mo}, 12^{vo}, 14^{vo}, \dots, 20^{vo}$. No presentan valores significativos para los límites establecidos en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos, tal como se muestra en el perfil del espectro de tensiones.

De esta manera se concluye que los armónicos 5^{to} y 7^{mo}, son los más sobresalientes para esta carga medida, pero no son perjudiciales porque no superan los valores límites establecidos en la norma (NTCSE).

Tabla 12. Distorsión armónica total de tensión

THD _v (%)	V_1	V_2	V_3
Max.	3.873	3.558	3.896
Min.	0.007	0.007	0.005
Prom.	0.185	0.180	0.191

Registrador ELSE



Ilustración 26 Variación de la tasa de distorsión armónica total de tensión SED 0010823 <

3.5.3 ARMÓNICOS DE CORRIENTE SED 0010823

Para el análisis de las armónicas de corriente, tomaremos en consideración la Norma IEEE Std-519, debido a que esta norma es aplicada para las corrientes armónicas.

En la tabla 13, se muestra la magnitud del armónico de corriente que presenta dicha subestación, en la cual se aprecia que el: 3^{er} armónico, 5^{to} armónico y 7^{mo} armónico son los más sobresalientes en esta subestación.

De esta manera hacemos el análisis de los armónicos de corrientes individuales, de acuerdo a los valores establecidos en la Norma IEEE Std-519. En la siguiente tabla podemos apreciar los valores sobresalientes de los armónicos de corriente.

La fórmula para calcular la corriente de cortocircuito es la siguiente:

$$I_{cc} = \frac{S}{\frac{\sqrt{3} \cdot U_0}{U_{cc}}} \quad (3.15)$$

Dónde:

U_0 = Tensión del secundario en vacío [KV]

U_{cc} = Tensión de cortocircuito

S = Potencia del transformador [KVA]

R_{cc} = Relación de corto-circuito

$$I_{cc} = \frac{\frac{640 \text{ KVA}}{\sqrt{3} * 0.38 \text{ kV}}}{0.05}$$

$$I_{cc} = 19.45 \text{ A}$$

$$I_L = 667.95 \text{ A } (I_{max})$$

$$R_{cc} = \frac{I_{cc}}{I_L} = 0.0291$$

Tabla 13. Máxima distorsión armónica de corriente %

SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN (120V-69KV)						
TASA INDIVIDUAL ADMISIBLE EN RELACIÓN a (%)						
I_{cc}/I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	THD (%)
<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

(Ortmeyer, 1985)

Tabla 14. Análisis de armónicos de corrientes individuales SED 0010823

ARMONICO	ANALISIS DE ARMONICOS DE CORRIENTES INDIVIDUALES				
H	I1 (H), (%)	I2 (H), (%)	I3 (H), (%)	I - Norma (%)	Secuencia (+,-,0)
2	0.917	1.034	0.587	7.000	Negativa
3	4.704	6.154	5.211	7.000	Cero
4	0.388	0.407	0.351	7.000	Positiva
5	21.524	22.834	22.684	7.000	Negativa
6	0.229	0.235	0.222	7.000	Cero
7	12.821	13.639	13.860	7.000	Positiva
8	0.156	0.157	0.158	7.000	Negativa
9	1.356	1.981	1.782	7.000	Cero
10	0.116	0.118	0.123	7.000	Positiva
11	3.578	3.159	4.017	3.500	Negativa
12	0.142	0.095	0.107	3.500	Cero
13	2.888	3.072	3.696	3.500	Positiva
14	0.107	0.087	0.088	3.500	Negativa
15	1.055	1.142	0.841	3.500	Cero

16	0.065	0.054	0.054	3.500	Positiva
17	2.327	1.633	1.881	2.500	Negativa
18	0.093	0.067	0.090	2.500	Cero
19	1.375	1.428	1.594	2.500	Positiva
20	0.075	0.067	0.065	2.500	Negativa
21	0.656	0.726	0.481	7.000	Cero
22	0.280	0.196	0.167	7.000	Positiva
23	1.714	1.082	1.261	7.000	Negativa
24	0.461	0.230	0.307	7.000	Cero
25	1.172	0.943	1.147	7.000	Positiva
26	0.436	0.456	0.479	7.000	Negativa
27	0.153	0.231	0.233	7.000	Cero
28	1.089	0.890	0.756	7.000	Positiva
29	0.373	0.241	0.328	7.000	Negativa
30	0.652	0.710	0.852	3.500	Cero
31	0.150	0.246	0.221	3.500	Positiva
32	0.063	0.062	0.058	3.500	Negativa
33	0.425	0.476	0.551	3.500	Cero
34	0.058	0.068	0.059	3.500	Positiva
35	0.658	0.549	0.507	3.500	Negativa
36	0.057	0.056	0.060	2.500	Cero
37	0.363	0.513	0.432	2.500	Positiva
38	0.038	0.060	0.050	2.500	Negativa
39	0.334	0.299	0.273	2.500	Cero
40	0.051	0.065	0.056	7.000	Positiva
41	0.398	0.284	0.435	7.000	Negativa
42	0.043	0.045	0.039	7.000	Cero
43	0.194	0.352	0.257	7.000	Positiva
44	0.035	0.046	0.038	7.000	Negativa
45	0.205	0.249	0.232	7.000	Cero
46	0.031	0.039	0.037	7.000	Positiva
47	0.394	0.228	0.305	7.000	Negativa
48	0.036	0.034	0.031	7.000	Cero
49	0.195	0.287	0.211	3.500	Positiva
50	0.030	0.032	0.027	3.500	Negativa

Registrador ELSE

- El 3^{er} armónico, de secuencia cero con valores de $I_1 = 4.704\%$, $I_2 = 6.154\%$, $I_3 = 5.211\%$, correspondiente a $h < 11^{vo}$. No supera al valor límite de 7%, en las tres fases.

- El 5^{to} armónico, de secuencia negativo con valores de $I_1 = 21.524\%$, $I_2 = 22.834\%$, $I_3 = 22.684\%$ correspondiente a $h < 11v_0$. Supera al valor límite de 7%, en las tres fases.
- El 7^{mo} armónico, de secuencia positivo con valores de $I_1 = 12.821\%$, $I_2 = 13.639\%$, $I_3 = 13.680\%$ correspondiente a $h < 11v_0$, supera el valor límite de 7%, en las tres fases.

Los armónicos de orden $h = 2^{do}, 4^{to}, 6^{to}, 8^{vo}, \dots, 20^{vo}$. No presentan valores significativos para los límites establecidos en la Norma IEEE Std-519, tal como se muestra en el perfil de espectro de corrientes armónicas.

En esta subestación el armónico más sobresaliente sería el armónico 5^{to}, 7^{mo} y es muy perjudicial por que supera el límite de armónico de corriente establecido según norma.

Viendo la distorsión y el análisis de las componentes armónicas, se ve la necesidad de utilizar el filtro pasivo para una compensación armónica de corriente cual se verá en el capítulo V.

Tabla 15. Distorsión armónica total de corriente

THD _i (%)	I_1	I_2	I_3
Max.	21.524	22.834	22.684
Min.	4.704	6.154	5.211
Prom.	12.821	13.639	13.680

Registrador ELSE

3.5.4 VARIACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA SED 0010823

En la siguiente ilustración podemos visualizar de cómo es la variación del factor de potencia debido a la presencia de componentes armónicas.



Ilustración 27 Variación del factor de potencia SED 0010823

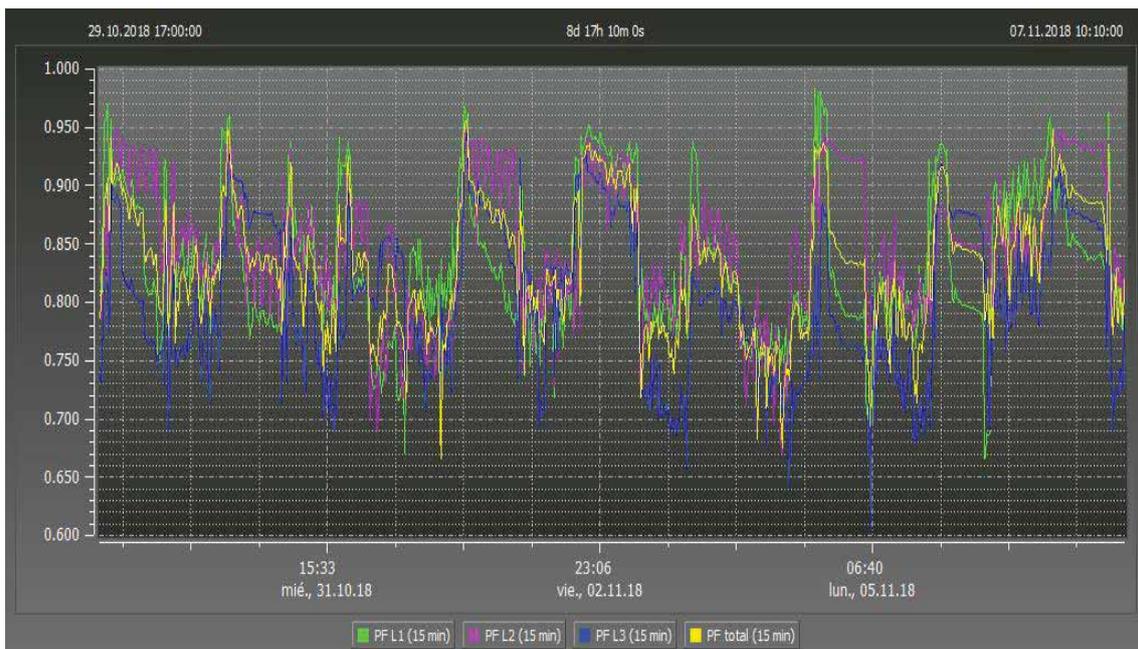


Ilustración 28 Análisis de la SED 0010823

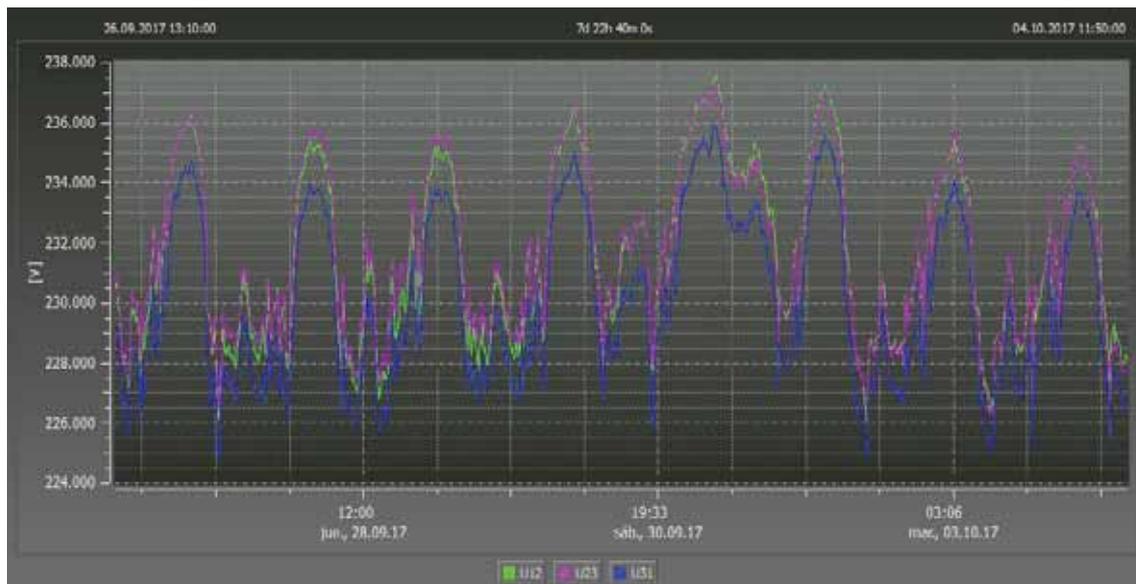


Ilustración 29 Variación de la tasa de distorsión armónica de corriente SED 0010823

3.6 ANÁLISIS SUBESTACIÓN DISTRIBUCIÓN SED 0010021

Ubicación	:	Av. De la cultura
Potencia	:	550 KVA
Relación de transformación	;	10.5/220
Grupo de conexión	:	Yd11
Sistema	:	trifásico
Vcc	:	5.3%

Según el reporte obtenido del equipo analizador en la SSEE 0010021, el cual se realizó con el objetivo de evaluar la presencia de armónicos, se verá el orden de los armónicos que más distorsiona la señal de onda de tensión y corriente.

3.6.1 FORMA DE ONDA DE TENSIÓN Y CORRIENTE SED 0010021

Con el analizador de redes PQ-Box 100 se puede verificar el comportamiento de la forma de onda sinusoidal de tensión y corriente en el punto de medición, el cual nos permite apreciar como es la distorsión de las señales de onda frente a la presencia de las componentes

armónicas. En los siguientes gráficos se puede apreciar las distorsiones de onda en la subestación en la cual se realizó la medición.

3.6.2 ARMÓNICOS DE TENSIÓN SED 0010021

Según los datos registrados podemos visualizar los valores que optan las componentes armónicas

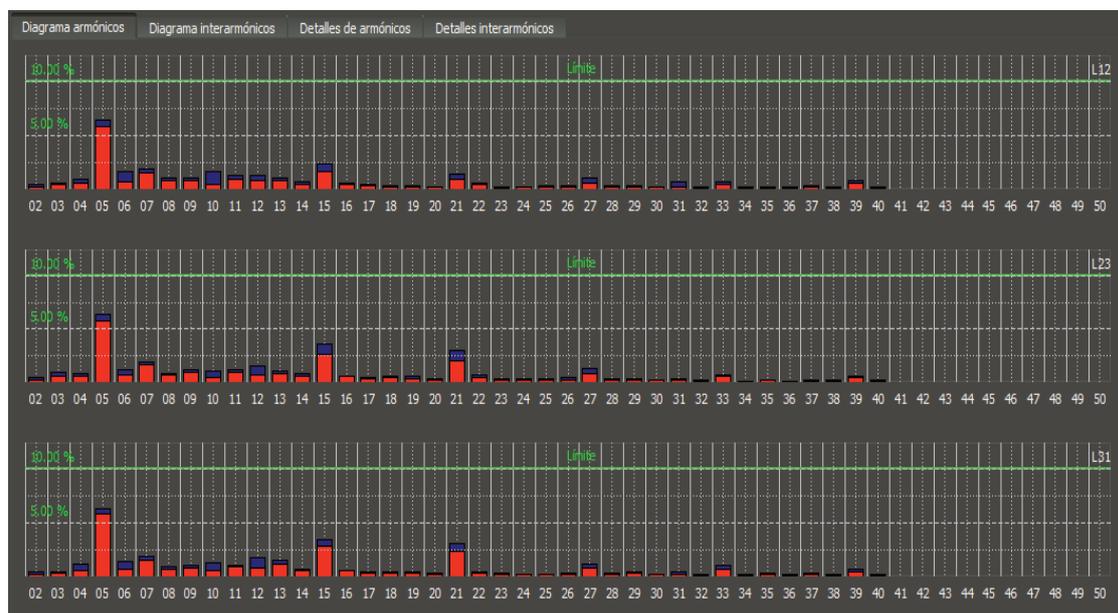


Ilustración 30 Comportamiento de la forma de onda de tensión y corriente con la presencia de componentes armónicas SED 0010021

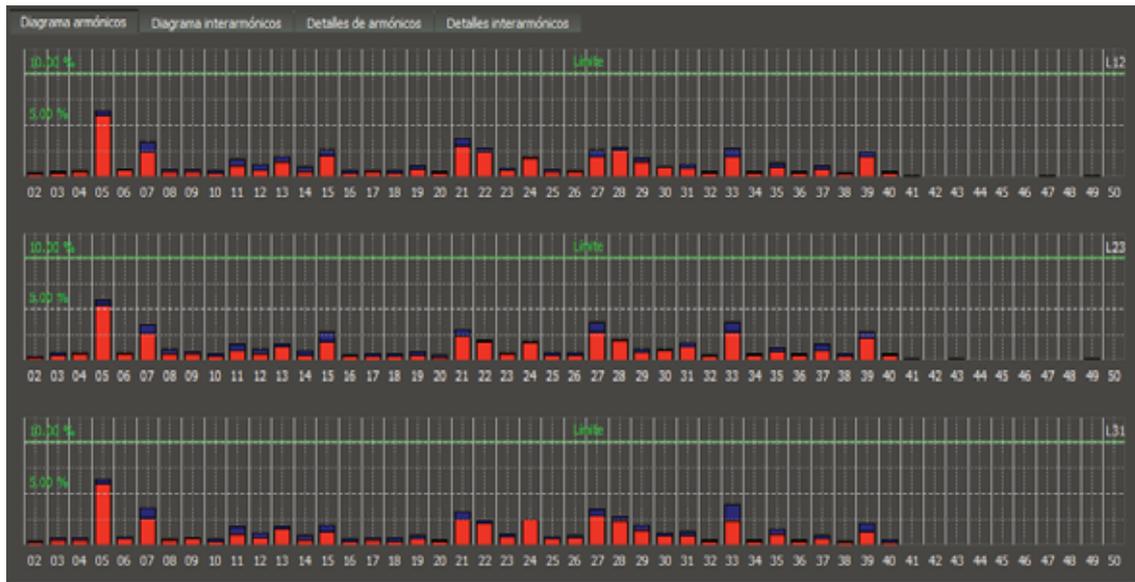


Ilustración 31 Variación de THDv en los primeros 50 Armónicos SED 0010021

En la ilustración 31, muestra la magnitud del armónico de tensión que presenta dicha sub estación de distribución, podemos apreciar que el 3^{er} armónico, 5^{to} armónico, 7^{mo} armónico, 11^{vo} armónico y 13^{vo} armónico son los más sobresalientes en esta carga.

De esta manera hacemos el análisis de los armónicos de tensión individual, de acuerdo con los valores establecidos en la Norma técnica de calidad de servicios eléctricos (NTCSE), dichos valores obtenidos no son tan significativos. Pero se aprecia los armónicos sobresalientes las cuales son:

Tabla 16. Análisis de armónicos de tensiones individuales SED 0010021

ARMONICO	TENSION			TENSION	
	V1(h),(%)	V2(h),(%)	V3(h),(%)	Vh - norma (%)	secuencia(+,-,0)
H					
2	0.09	0.105	0.103	2.000	Negativa
3	0.318	0.493	0.256	5.000	Cero
4	0.095	0.084	0.12	1.000	Positiva
5	3.91	3.834	3.818	6.000	Negativa
6	0.087	0.061	0.072	0.500	Cero
7	0.968	0.961	0.94	5.000	Positiva
8	0.052	0.044	0.049	0.500	Negativa
9	0.161	0.173	0.158	1.500	Cero
10	0.082	0.057	0.066	0.500	Positiva
11	0.45	0.416	0.399	3.500	Negativa
12	0.025	0.031	0.036	0.200	Cero
13	0.337	0.326	0.458	3.000	Positiva
14	0.015	0.018	0.016	0.200	Negativa
15	0.071	0.108	0.103	0.300	Cero
16	0.012	0.013	0.013	0.200	Positiva
17	0.091	0.096	0.098	2.000	Negativa
18	0.008	0.012	0.01	0.200	Cero
19	0.056	0.095	0.077	1.150	Positiva
20	0.006	0.008	0.006	0.200	Negativa
21	0.028	0.061	0.063	2.000	Cero
22	0.007	0.008	0.006	5.000	Positiva
23	0.037	0.048	0.049	1.000	Negativa
24	0.005	0.006	0.006	6.000	Cero
25	0.056	0.055	0.044	0.500	Positiva
26	0.006	0.009	0.006	5.000	Negativa
27	0.021	0.026	0.025	0.500	Cero
28	0.008	0.006	0.007	1.500	Positiva
29	0.024	0.026	0.027	0.500	Negativa
30	0.005	0.004	0.004	3.500	Cero
31	0.04	0.02	0.028	0.200	Positiva
32	0.004	0.004	0.004	3.000	Negativa
33	0.015	0.015	0.022	0.200	Cero
34	0.004	0.004	0.004	0.300	Positiva
35	0.013	0.016	0.018	0.200	Negativa
36	0.004	0.003	0.004	2.000	Cero
37	0.02	0.012	0.017	0.200	Positiva
38	0.004	0.004	0.004	1.150	Negativa
39	0.017	0.012	0.014	0.200	Cero
40	0.004	0.004	0.004	2.000	Positiva
41	0.013	0.014	0.014	5.000	Negativa
42	0.004	0.004	0.004	1.000	Cero
43	0.012	0.01	0.01	6.000	Positiva
44	0.004	0.004	0.004	0.500	Negativa
45	0.008	0.009	0.012	5.000	Cero
46	0.004	0.004	0.004	0.500	Positiva
47	0.013	0.013	0.013	1.500	Negativa
48	0.004	0.004	0.004	0.500	Cero
49	0.014	0.013	0.01	3.500	Positiva
50	0.004	0.004	0.004	0.200	Negativa

El 3^{er} armónico, perteneciente a la secuencia cero con valores de:

$V_1 = 0.318\%$, $V_2 = 0.493\%$, $V_3 = 0.256\%$, no superan el valor de 5.00% establecida según la norma.

El 5^{to} armónico, perteneciente a la secuencia negativa con valores de:

$V_1 = 3.91\%$, $V_2 = 3.834\%$, $V_3 = 3.818\%$, Tampoco superan el valor de 6.00% establecida según la norma.

El 7^{mo} armónico, perteneciente a la secuencia positiva con valores de $V_1 = 0.968\%$, $V_2 = 0.961\%$, $V_3 = 0.94\%$, tampoco superan el valor de 5.00% establecida según la norma.

El 11^{vo} armónico, perteneciente a la secuencia negativa con valores de $V_1 = 0.45\%$, $V_2 = 0.416\%$, $V_3 = 0.399\%$, tampoco superan el valor de 3.50% establecida según la norma.

El 13^{vo} armónico, perteneciente a la secuencia positiva con valores de $V_1 = 0.337\%$, $V_2 = 0.326\%$, $V_3 = 0.458\%$, tampoco superan el valor de 3.00% establecida según la norma.

Los armónicos de orden $h = 2^{do}, 4^{to}, 6^{to}, 8^{vo}, 9^{no}, 10^{mo}, 12^{vo}, 14^{vo}, \dots, 20^{vo}$. No presentan valores significativos para los límites establecidos en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos, tal como se muestra en el perfil del espectro de tensiones.

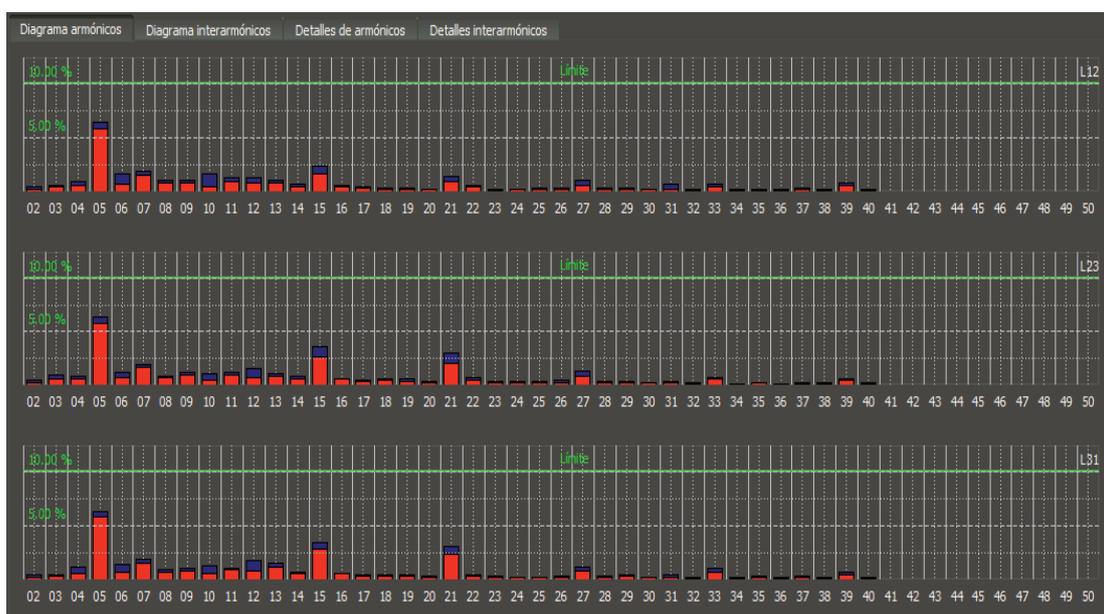
De esta manera se concluye que los armónicos 5^{to} y 7^{mo}, son los más sobresalientes para esta carga medida, pero no son perjudiciales porque no superan los valores límites establecidos en la norma (NTCSE).

Tabla 17. Distorsión armónica total de tensión

THD _v (%)	V_1	V_2	V_3
Max.	3.91	3.834	3.818
Min.	0.0004	0.003	0.004

Prom.	0.148	0.150	0.148
Registrador ELSE			

Ilustración 32 Variación de THDi en los primeros 50 armónicos SED 0010021



3.6.3 ARMÓNICOS DE CORRIENTE SED 0010021

Para el análisis de las armónicas de corriente, tomaremos en consideración la Norma IEEE Std-519, debido a que esta norma es aplicada para las corrientes armónicas.

En la ilustración 32, muestra la magnitud del armónico de corriente que presenta dicha subestación, en la cual se aprecia que el: 3^{er} armónico, 5^{to} armónico y 7^{mo} armónico son los más sobresalientes en esta subestación.

De esta manera hacemos el análisis de los armónicos de corrientes individuales, de acuerdo a los valores establecidos en la Norma IEEE Std-519. En la siguiente tabla podemos apreciar los valores sobresalientes de los armónicos de corriente.

La fórmula para calcular la corriente de cortocircuito es la siguiente:

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

U_0 = Tensión del secundario en vacío [KV]

U_{cc} = Tensión de cortocircuito

S = Potencia del transformador [KVA]

R_{cc} = Relación de corto-circuito

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

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

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

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

Tabla 18. Máxima distorsión armónica de corriente %

SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN (120V-69KV)						
TASA INDIVIDUAL ADMISIBLE EN RELACIÓN a (%)						
I_{sc}/I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	THD (%)
<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

(Ortmeyer, 1985)

Tabla 19. Análisis de armónicos de corrientes individuales SED 0010021

ARMONICO	Análisis de armónicos de corrientes individuales				
H	I1(h),(%)	I2(h),(%)	I3(h),(%)	Ih norma(%)	Secuencia(+,-,0)
2	3.363	4.116	2.677	7.000	Negativa
3	22.362	15.149	17.452	7.000	Cero
4	1.015	1.286	1.274	7.000	Positiva
5	36.792	32.082	32.468	7.000	Negativa

6	0.782	0.635	0.603	7.000	Cero
7	15.373	17.673	14.311	7.000	Positiva
8	0.989	0.706	0.672	7.000	Negativa
9	4.898	5.199	6.189	7.000	Cero
10	1.634	1.043	0.849	7.000	Positiva
11	11.829	12.894	7.736	3.500	Negativa
12	1.207	0.93	0.891	3.500	Cero
13	9.577	5.712	8.3	3.500	Positiva
14	0.39	0.431	0.379	3.500	Negativa
15	1.955	1.997	3.14	3.500	Cero
16	0.226	0.329	0.323	3.500	Positiva
17	1.314	1.785	1.953	2.500	Negativa
18	0.137	0.183	0.227	2.500	Cero
19	0.916	1.337	1.467	2.500	Positiva
20	0.103	0.139	0.137	2.500	Negativa
21	0.787	0.677	1.219	7.000	Cero
22	0.116	0.129	0.131	7.000	Positiva
23	0.729	0.705	0.69	7.000	Negativa
24	0.058	0.088	0.102	7.000	Cero
25	0.65	0.586	0.886	7.000	Positiva
26	0.057	0.112	0.127	7.000	Negativa
27	0.32	0.316	0.367	7.000	Cero
28	0.116	0.139	0.141	7.000	Positiva
29	0.359	0.298	0.32	7.000	Negativa
30	0.062	0.062	0.054	3.500	Cero
31	0.302	0.389	0.266	3.500	Positiva
32	0.039	0.038	0.042	3.500	Negativa
33	0.224	0.164	0.236	3.500	Cero
34	0.037	0.032	0.034	3.500	Positiva
35	0.191	0.153	0.19	3.500	Negativa
36	0.052	0.04	0.038	2.500	Cero
37	0.219	0.191	0.13	2.500	Positiva
38	0.044	0.04	0.054	2.500	Negativa
39	0.158	0.143	0.124	2.500	Cero
40	0.033	0.033	0.043	7.000	Positiva
41	0.168	0.132	0.156	7.000	Negativa
42	0.026	0.028	0.03	7.000	Cero
43	0.11	0.103	0.084	7.000	Positiva
44	0.028	0.032	0.03	7.000	Negativa
45	0.098	0.098	0.101	7.000	Cero
46	0.031	0.029	0.028	7.000	Positiva
47	0.153	0.165	0.155	7.000	Negativa
48	0.029	0.032	0.03	7.000	Cero
49	0.152	0.184	0.13	3.500	Positiva
50	0.025	0.024	0.025	3.500	Negativa

Registrador ELSE

El 5^{to} armónico, de secuencia negativo con valores de $I_1 = 36.792\%$, $I_2 = 32.082\%$, $I_3 = 32.468\%$ correspondiente a $h < 11\nu_0$. Supera al valor límite de 7%, en las tres fases.

El 7^{mo} armónico, de secuencia positivo con valores de $I_1 = 15.373\%$, $I_2 = 17.673\%$, $I_3 = 14.311\%$ correspondiente a $h < 11$ vo. Supera el valor límite de 7%, en las tres fases.

El 11^{vo} armónico, de secuencia negativo con valores de $I_1 = 11.829\%$, $I_2 = 12.894\%$, $I_3 = 7.736\%$, correspondiente a $h \leq 11$. Supera al valor límite de 3.5%, en las tres fases.

Los armónicos de orden $h = 2^{do}, 4^{to}, 6^{to}, 8^{vo}, 9^{no}, 10^{mo}, 12^{vo}, 13^{vo}, 14^{vo}, 20^{vo}$. No presentan valores significativos para los límites establecidos en la Norma IEEE Std-519, tal como se muestra en el perfil de espectro de corrientes armónicas.

En esta subestación el armónico más sobresaliente sería el armónico 5^{to}, 7^{mo}, y 11^{vo}. Es muy perjudicial por que supera el límite de armónico de corriente establecido según norma. Viendo la distorsión y el análisis de las componentes armónicas, se ve la necesidad de utilizar el filtro pasivo para una compensación armónica de corriente cual se verá en el capítulo V.

Tabla 20. Distorsión armónica total de corriente

THD _i (%)	I_1	I_2	I_3
Max.	36.792	32.082	32.468
Min.	0.025	0.024	0.025
Prom.	2.454	2.220	2.184

Registrador ELSE

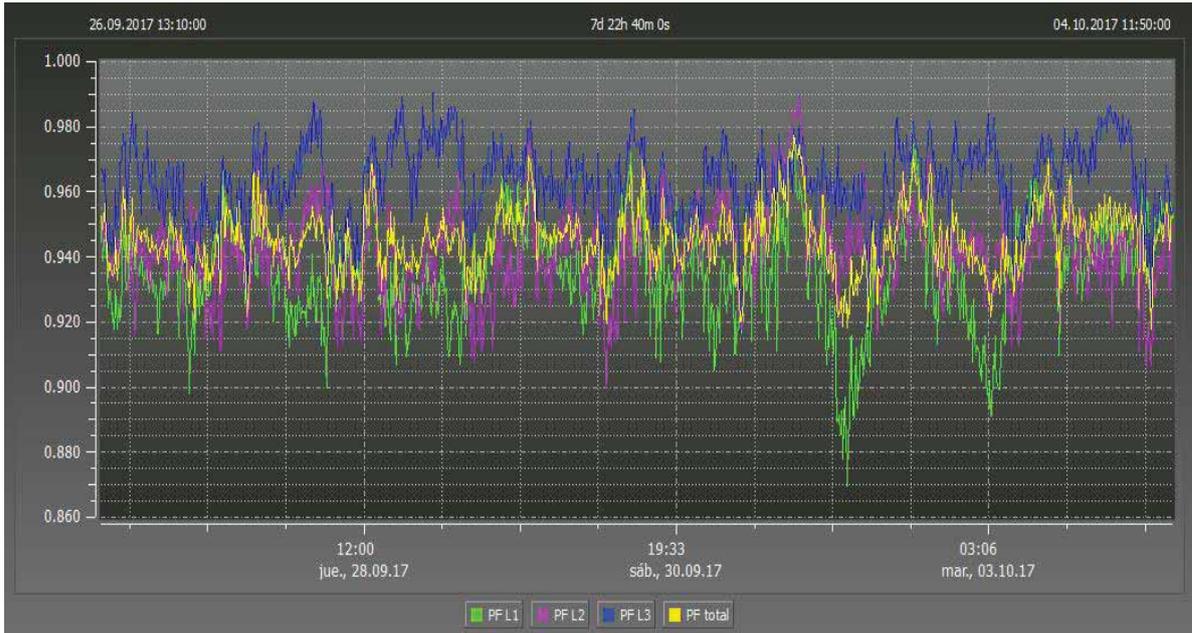


Ilustración 33 Variación de la tasa de distorsión armónica de corriente SED 0010021

VARIACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA SED 0010021

En la siguiente ilustración podemos visualizar de cómo es la variación del factor de potencia debido a la presencia de componentes armónicas.

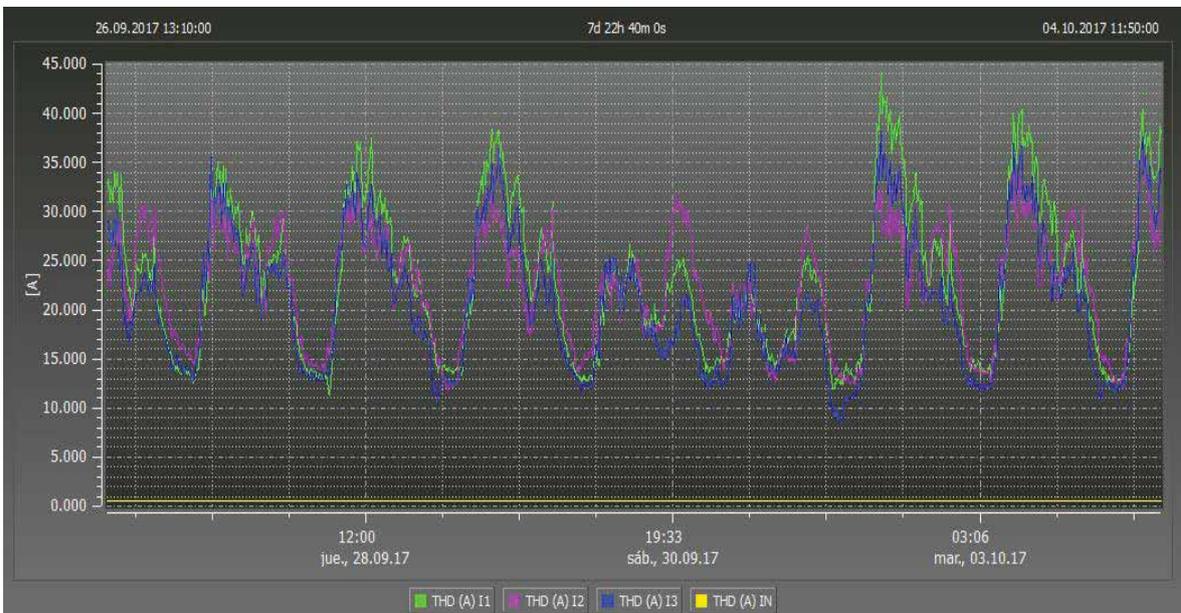


Ilustración 34 Variación del factor de potencia SED 0010021

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PROPUESTA

4.1 INTRODUCCIÓN

Para evitar la sobrecarga y asegurar la calidad de la tensión y corriente de la red existente en el hospital regional del Cusco, pueden utilizarse diversos métodos de mitigación de armónicos, para mejorar la calidad del producto.

Las soluciones para reducir la magnitud o el efecto de las corrientes armónicas en una red eléctrica en general, pueden ser los siguientes:

- Aumentar el número de pulsos de los rectificadores, o la configuración de cargas para que estas se comporten como convertidores con un mayor número de pulsos.
- Utilizar técnicas de inyección de corrientes del lado de tensión en CD, para así reducir el contenido de corrientes armónicas.
- Emplear rectificadores PWM.
- Emplear filtros pasivos.
- Emplear filtros activos.
- Emplear filtros híbridos

Las tres primeras opciones implican una modificación en la topología del circuito que genera las corrientes armónicas. Las tres últimas son medidas externas para tratar de corregir el problema, o encerrar en una trayectoria definida al flujo de corriente armónica.

En este capítulo se realizara un análisis de las técnicas basadas en filtros pasivos y filtros activos de corrientes armónicas, así como el cálculo y selección de componentes de la alternativa a seleccionar.

En la ilustración 35 se presenta un esquema general de los sistemas de filtrado de corrientes armónicas que existen en la actualidad.

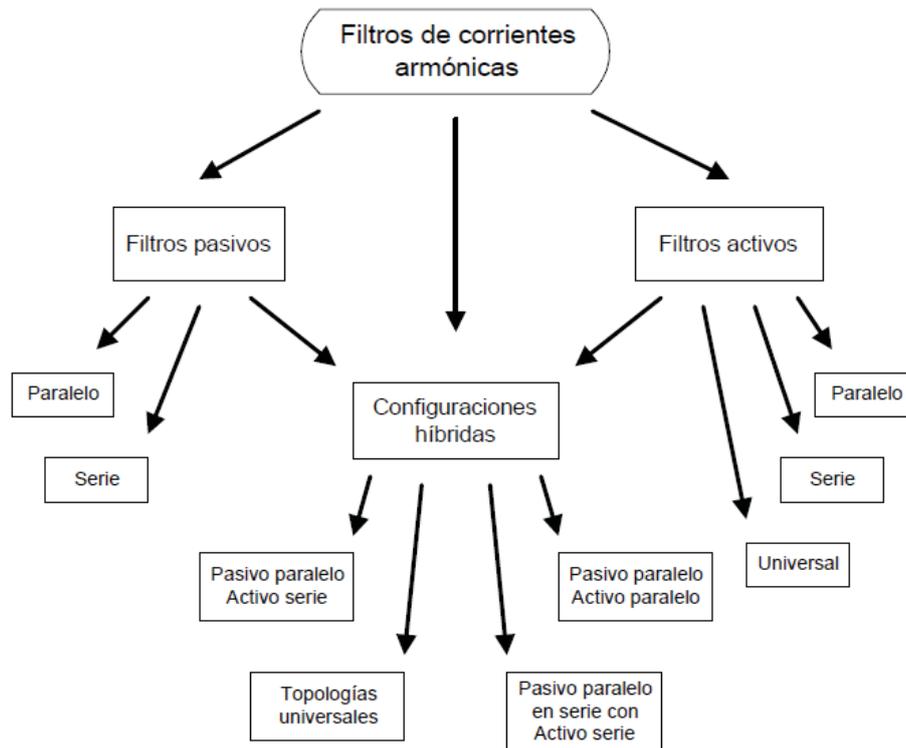


Ilustración 35 Opciones para filtrado de corrientes armónicas

Los filtros pasivos basan su esquema en elementos pasivos, tales como inductores, condensadores y resistencias.

Las topologías de los filtros activos emplean convertidores electrónicos basados en estructuras de potencia con patrones PWM.

Las configuraciones híbridas emplean una combinación de estructuras pasivas y estructuras activas, tratando de que el conjunto tenga un mejor desempeño que sus partes.

Las soluciones basadas en filtros pasivos, filtros activos y/o filtros híbridos están relacionadas con la complejidad del problema a solucionar, el costo de implementación práctica y la confiabilidad deseada. No es posible pensar en una solución genérica, adecuada para cualquier tipo de aplicación.

4.2 FILTROS PASIVOS DE POTENCIA

Los filtros pasivos basan su funcionamiento en proporcionar a las corrientes armónicas un camino de una impedancia mucho menor que la red exterior, actuando como sumidero de las mismas. Están formados por componentes pasivos (resistencias,

condensadores y reactancias), empleándose principalmente tres tipos: filtro tipo LC paralelo, filtro pasa-alto (LCR o LR), combinación de filtros (Tapia, 2014).

El filtro pasivo de potencia es un sistema que es utilizado en la industria con el objetivo de disminuir las perturbaciones en las redes eléctricas, se puede utilizar el filtro pasivo de dos formas: Ya sea reduciendo la circulación de la perturbación que genera la carga no-lineal en dirección de la fuente, o reduciendo la circulación de la perturbación desde la fuente hacia la carga en el caso de que la fuente ya posea problemas con la calidad de su energía (Tapia, 2014).

Además, este sistema puede proveer a la red eléctrica toda, o parte de la potencia reactiva que éste necesita.

El filtro pasivo de potencia se caracteriza por estar compuesto de elementos pasivos, pudiendo ser estas diferentes combinaciones de tipo inductivo y capacitivo, dependiendo de la necesidad (Tapia, 2014).

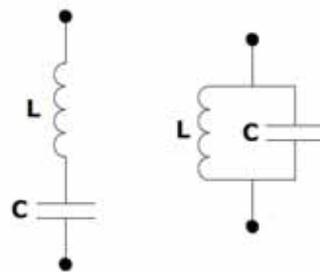


Ilustración 36 Posibles combinaciones de elementos en un filtro pasivo

Cada arreglo de filtro pasivo de potencia puede poseer más de una rama de elementos pasivos, ya que cada rama es sintonizada para suprimir la distorsión que ocasiona un solo armónico (Tapia, 2014).

Y como ya es sabido, cuando los elementos capacitivos e inductivos pertenecen a un sistema eléctrico que trabaja con energía alterna, estos presentan una impedancia particular al paso de la corriente en función de la frecuencia de la misma, a esta impedancia se la conoce como reactancia (Tapia, 2014).

4.2.1 TIPOS DE FILTROS PASIVOS

Dependiendo del tipo de distorsión armónica que se presente en la red eléctrica, “ya sea si necesitamos suprimir los armónicos que genera alguna carga no - lineal para que la distorsión armónica que se encuentran ya en el voltaje de la fuente, no afecte a las cargas que se necesitan conectar en la red eléctrica, poseemos dos configuraciones de filtro pasivo de potencia que nos ayudan a suprimir estos problemas” (Tapia, 2014).

De acuerdo a la configuración del filtro y su aplicación, el filtro pasivo puede ser clasificado en dos tipos de acuerdo al propósito particular.

- Filtros Pasivos Serie.
- Filtros Pasivos Shunt o paralelo.
-

4.2.1.1 FILTROS PASIVOS SERIE

Se le denomina filtro pasivo serie, ya que la implementación en el circuito se lo realiza en serie a la carga no - lineal.

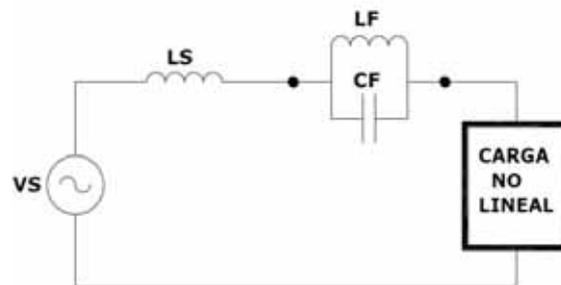


Ilustración 37 Circuito monofásico con la implementación de un filtro pasivo serie

La estructura de una rama del filtro serie consta de un elemento inductivo y un elemento capacitivo ambos conectados en paralelo.

En la Ilustración 38 presenta una impedancia Z_F en sus terminales la cual está dada por la ecuación:

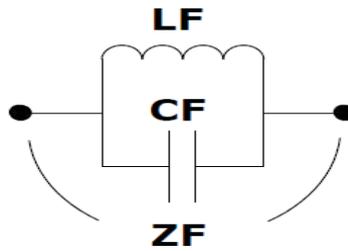


Ilustración 38 Arreglo de una sola rama de un filtro pasivo serie

$$Z_F = \frac{jX_{LF} \times jX_{CF}}{jX_{LF} + jX_{CF}} \quad (4.1)$$

Si el denominador de la ecuación es igualada a 0 el filtro presentaría en sus terminales un valor de impedancia infinito, de esta forma podemos calcular nuestro filtro para que se comporte como un circuito abierto para la señal que tenga la frecuencia que iguale al denominador a cero, evitando así el paso de la perturbación, [Ecu. 4.2].

$$jX_{LF} + jX_{CF} = 0 \quad (4.2)$$

De aquí llegamos a la ecuación para encontrar la frecuencia que hará resonar al filtro; para el caso del circuito LC paralelo, resonará presentando una resistencia infinita en sus terminales, [Ecu. 4.3].

$$\omega_h = \frac{1}{\sqrt{L \times C}} \quad (4.3)$$

De esta forma el filtro pasivo serie, evita el paso de la señal que esté compuesta por la frecuencia a la que el filtro se encuentre sintonizado, disminuyendo la circulación de la perturbación de la señal que se encuentra en la fuente hasta la carga.

4.2.1.2 FILTROS PASIVOS SHUNT O PARALELO

Existe una gran variedad de configuraciones de filtros pasivos, pero las más utilizadas son los “Filtros Sintonizados Simples” y los “Pasa Altos”, tal como se muestra en la ilustración 39

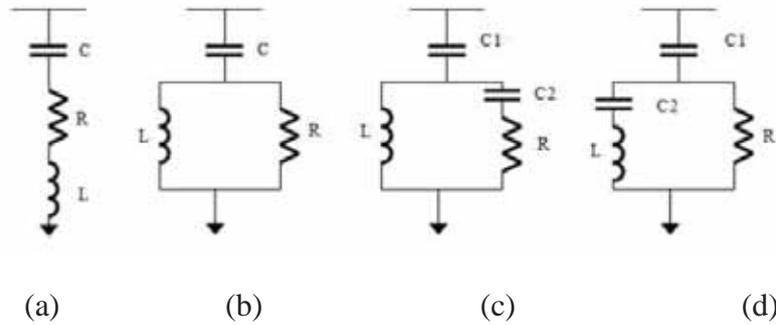


Ilustración 39 Configuraciones de filtros pasivos paralelos

- Filtro sintonizado simple
- Filtro Pasa Alto de segundo orden
- Filtro Pasa Alto de tercer orden
- Filtro de Tercer orden Pasa Alto

4.2.2 FILTRO SINTONIZADO SIMPLE

Es un filtro que está sintonizado a una única frecuencia, estando formado por una reactancia en serie con un banco de condensadores. Esta es la configuración de menor costo, pero exige una selección cuidadosa del valor de la reactancia, al objeto de no desplazar la resonancia del sistema hacia un armónico particular.

Se lo denomina filtro pasivo paralelo, ya que la implementación en el circuito se realiza en paralelo con la carga no lineal, tal como se muestra en la ilustración 4.6.

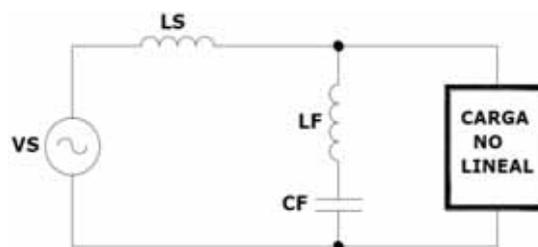


Ilustración 40 Circuito monofásico con la implementación de un filtro pasivo paralelo

La estructura de una rama del filtro pasivo Shunt o paralelo consta de un elemento inductivo y un elemento capacitivo, ambos conectados en serie.

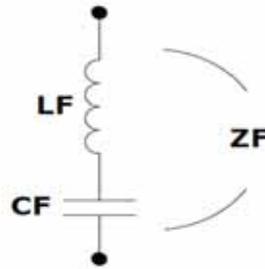


Ilustración 41 Arreglo de una sola rama de un filtro pasivo paralelo

El filtro Shunt paralelo presenta una impedancia Z_F en sus terminales, la cual está dada por la ecuación:

$$Z_F = jX_{LF} + jX_{CF} \quad (4.4)$$

Como el objetivo del filtro Shunt paralelo es servir como un camino de descarga hacia tierra para las señales armónicas, la impedancia total del filtro debería ser cero, i de esta manera obtenemos la siguiente ecuación:

$$jX_{LF} = jX_{CF} \quad (4.5)$$

De aquí llegamos a la ecuación para encontrar la frecuencia que hará resonar al filtro, para el caso del circuito LC serie, resonará presentando una resistencia mínima en sus terminales [Ecu. 4.6].

$$\omega_h = \frac{1}{\sqrt{L \times C}} \quad (4.6)$$

Para disminuir la perturbación de varias componentes armónicas se debe utilizar varias ramas, cada rama del filtro pasivo se debe sintonizar a una frecuencia de las corrientes armónicas que conforman la perturbación, de esta forma la rama presentara un camino de mínima impedancia para que la corriente armónica sea descargada hacia tierra. Así, la configuración del filtro paralelo evita que las señales de perturbación viajen hacia la fuente, estas perturbaciones son conocidas como armónicas de corriente.

4.2.3 FILTRO PASA ALTO DE SEGUNDO ORDEN

Este filtro, al igual que el sintonizado simple, se sintoniza a alguna frecuencia específica; pero debido a que posee una característica amortiguada producto de la resistencia en paralelo con la inductancia, presenta una baja impedancia para la frecuencia de sintonía y superiores a ésta. O sea que, absorbe corrientes armónicas si existen, de frecuencias desde la de sintonía en adelante. Para frecuencias menores a la sintonía, el filtro presenta impedancias altas.

La estructura de una rama del filtro paso alto (LCR) consta de un elemento inductivo en paralelo con una resistencia y de un elemento capacitivo ambos conectados en serie.

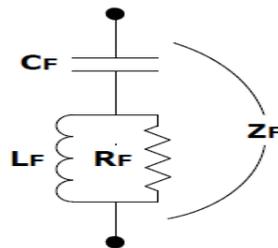


Ilustración 42 Arreglo de una sola rama de un filtro pasivo de segundo orden

El filtro pasa alto (LCR) presenta una impedancia Z_F en sus terminales, la cual está dada por la ecuación 4.7.

$$Z_F = jX_{CF} + \left(\frac{1}{R_F} + \frac{1}{jX_{LF}} \right)^{-1} \quad (4.7)$$

4.2.4 FILTRO PASA ALTO DE TERCER ORDEN

El filtro de tercer orden reduce las pérdidas, debido al aumento de su impedancia a la frecuencia fundamental por la presencia del condensador C_{2F} ; el valor nominal de este condensador es muy reducido en comparación con el de C_{1F} .

La estructura de una rama del filtro paso-alto de tercer orden se muestra en la siguiente ilustración.

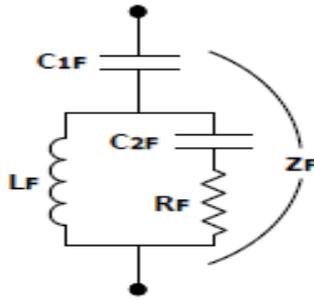


Ilustración 43 Arreglo de una sola rama de un filtro pasivo de tercer orden

El filtro pasa alto de tercer orden presenta una impedancia Z_F en sus terminales, la cual está dada por la ecuación 4.8:

$$Z_F = jX_{C1F} + \left(\frac{1}{R_F + jX_{C2F}} + \frac{1}{jX_{LF}} \right)^{-1} \quad (4.8)$$

4.2.5 FILTRO DE TERCER ORDEN PASA ALTO

Las características del filtro tipo-C se encuentran entre las de los filtros de segundo y tercer orden. Su principal ventaja es una considerable reducción de las pérdidas debido a que C_{2F} y L_F están sintonizados en serie a la frecuencia fundamental y R_F cortocircuitada; como consecuencia, este filtro es más susceptible a desviaciones de la frecuencia y de los valores de los componentes.

Tiene características similares al filtro pasa-altos, con la ventaja de que el resistor no consume potencia a la frecuencia fundamental. Se utiliza donde se requiere un amortiguamiento considerable en filtros sintonizados al 5to armónico, o por debajo de este. Se emplea a menudo en aplicaciones de hornos de arco eléctrico o ciclo convertidores, para impedir la amplificación de armónicos de bajo orden y armónicos no enteros. La estructura de una rama del filtro tipo C, se muestra en la ilustración 44.

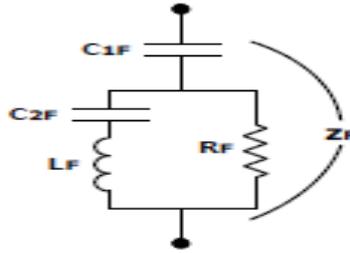


Ilustración 44 Arreglo de una sola rama de un filtro de tercer orden pasa alto

El filtro tipo C presenta una impedancia Z_F en sus terminales la cual está dada por la ecuación:

$$Z_F = jX_{C1F} + \left(\frac{1}{R_F} + \frac{1}{jX_{LF} + jX_{C2F}} \right)^{-1} \quad (4.9)$$

4.2.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS FILTROS PASIVOS

4.2.6.1 VENTAJA DE LOS FILTROS PASIVOS

- Atenúa un amplio espectro de frecuencias armónicas de acuerdo a la elección del valor de la resistencia, sin la necesidad de subdivisión en ramas paralelas.
- Es muy robusto frente a problemas de pérdida de sintonía comparada con el filtro sintonizado simple.

4.2.6.2 DESVENTAJA DE LOS FILTROS PASIVOS

- Origina una frecuencia de resonancia paralela al interactuar con la red.
- Las pérdidas en la resistencia y en el inductor son generalmente altas.
 - Para alcanzar un nivel similar de filtrado (de una armónica específica), que el sintonizado simple, el filtro pasa altos necesita ser diseñado para una mayor potencia reactiva. (Zacarias, 2009)

4.3 FILTROS ACTIVOS DE POTENCIA

Para librarse de estos problemas, que son característicos de los filtros pasivos, es necesario emplear un sistemas de compensación, tanto para los armónicos como para la energía reactiva convencional, que se auto adecuen a las variaciones que se produzcan en cuanto a su contenido y valor. A estos sistemas de compensación se les denomina Filtros Activos de Potencia (FAP), y están compuestos por convertidores estáticos de potencia, conectados en serie o paralelo con la carga contaminante que, mediante los algoritmos de control apropiados, actúan como fuentes de corriente o de tensión, cancelan de forma instantánea los armónicos de ambos tipos y se auto adaptan a la variación de los mismos.

A estos FAP, además de la función de eliminación de armónicos, también se les dota de otras funciones, como son: la compensación total o parcial de energía reactiva, el equilibrado de corrientes de fases y la cancelación de la corriente de neutro. Las topologías del circuito de potencia son diversas y están basadas en sistemas activos puros o bien híbridos. Los primeros constan exclusivamente de convertidores estáticos, mientras que en los segundos el filtro lo compone una sección pasiva complementada con filtrado activo. La utilización de unos tipos u otros depende de la aplicación, potencia, etc. En todos los casos es necesario tener una medida de las componentes de corriente o tensión que contribuyen a la potencia no activa, obtenidas a partir de las lecturas de las corrientes y tensiones en el punto de conexión de la carga. La definición de potencia no activa, cuando las formas de onda de tensión y corriente no son sinusoidales, es un tema polémico que ha sido discutido por algunos autores tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia. No obstante, independientemente del acierto de tales teorías, debe tenerse en cuenta que el objetivo final a perseguir es minimizar la corriente que debe circular por el sistema eléctrico para alimentar a las cargas que la precisen, es decir, transportar exclusivamente la potencia activa, que es la que se transforma finalmente en trabajo útil, que tiene carácter conservativo y cuyo significado físico es indiscutible.

4.3.1 TIPOS DE FILTROS ACTIVOS DE POTENCIA (Arocas, 2005)

Los filtros utilizados para la reducción de perturbaciones en la red eléctrica se pueden clasificar de varias formas. En primer lugar, se pueden separar entre filtros en conexión serie y filtros en conexión paralelo.

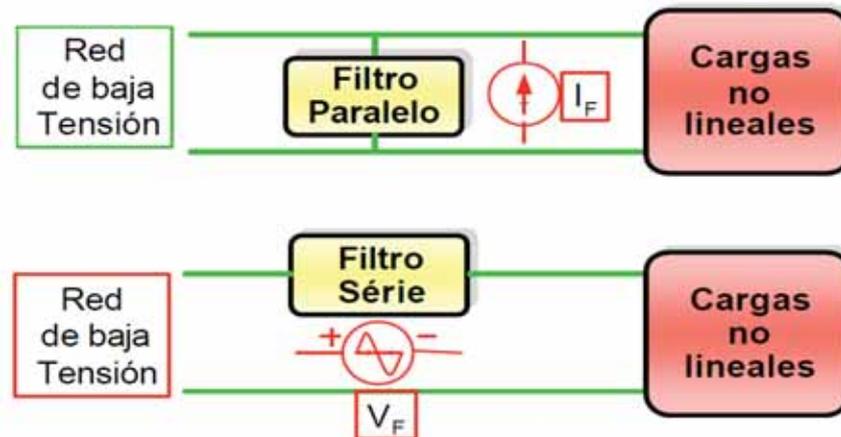


Ilustración 45 Filtros paralelos y filtros serie

4.3.1.1 FILTRO ACTIVO EN CONEXIÓN SERIE (Arocas, 2005)

El filtro activo se sitúa en serie entre la red y la carga, aportando la tensión necesaria para que la corriente por la línea esté desprovista de armónicos. En realidad el sistema actúa como una impedancia variable, cuyo valor es idealmente nulo para la componente fundamental de corriente e infinita para todas las demás componentes. Hay que destacar que el convertidor está actuando como fuente de tensión, aportando el valor necesario para conseguir la impedancia deseada según el contenido de armónicos de la carga.

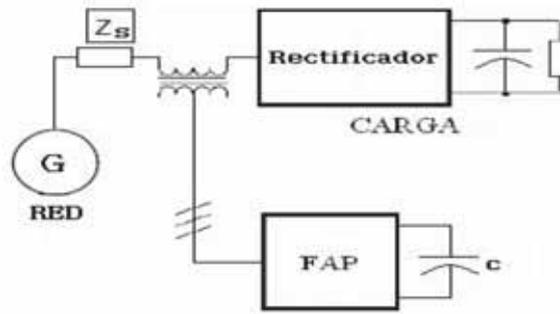


Ilustración 46 Filtro activo serie

El circuito constituido por el filtro activo serie y la carga es un sistema dual respecto al FAP paralelo, en donde la dualidad se establece por el intercambio de las posiciones serie en lugar de paralelo y por actuar como fuente de tensión en lugar de como fuente de corriente. Esta topología no es la más utilizada, y en todo caso se acompaña normalmente de un sistema de filtrado pasivo complementario.

4.3.1.2 FILTRO ACTIVO EN CONEXIÓN PARALELO

Es la estructura más conocida y permite, además de la cancelación de armónicos de corriente, hacer corrección del factor de potencia, equilibrar las corrientes de línea en el caso de conexión de cargas desequilibradas y cancelar la corriente de neutro de la red, en los casos de redes con neutro. El FAP se sitúa en paralelo con la carga generadora de armónicos en el punto de conexión de la carga (PCC). El principio de funcionamiento consiste en inyectar a la red, en este punto y en contrafase, las corrientes armónicas generadas en la carga, de modo que queden absolutamente anuladas por suma de corrientes en el nudo formado.

Se precisa un sistema de almacenamiento de energía en c.c. y un convertidor estático que transfiera esta energía bidireccionalmente entre c.a y c.c. El convertidor estático debe actuar como fuente de corriente y su estructura puede ser una de las citadas anteriormente. En la Ilustración 47 Se muestra una estructura de convertidor del tipo de corriente, con almacenamiento inductivo de energía.

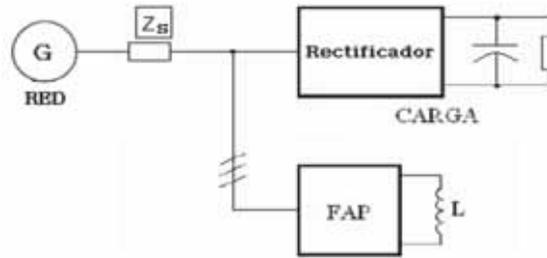


Ilustración 47 Filtrado activo paralelo con fuente de corriente

Dado que la energía asociada a los armónicos es de carácter no activo, la potencia requerida por el convertidor es teóricamente nula y, en la práctica, sólo hay que aportar la debida a las pérdidas en los semiconductores y otros elementos no ideales. Este convertidor, que trabaja con PWM a alta frecuencia, va dotado de un sistema de control cuyo algoritmo de regulación hace un seguimiento de la corriente en la carga, determina el contenido de armónicos y genera las consignas de mando a los semiconductores para inyectar las corrientes armónicas en contrafase y conseguir su cancelación. Pero la estructura más utilizada es la basada en un convertidor de tensión, que trabaja en modo de control por corriente, en donde la energía se almacena en un condensador situado en el lado de c.c. del convertidor.

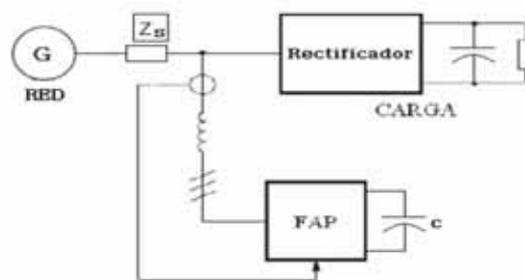


Ilustración 48 Filtrado activo paralelo con fuente de tensión

La filosofía de la cancelación sigue siendo la de inyección de corriente en paralelo y en contrafase con los armónicos presentes en la carga, por lo tanto, el método es conceptualmente idéntico al anterior.

4.3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS FILTROS ACTIVOS DE POTENCIA

4.3.2.1 VENTAJA DE LOS FILTROS ACTIVOS DE POTENCIA

- A diferencia de los filtros pasivos los filtros activos de potencia al estar compuestos por una fuente de corriente controlada pueden suministrar corrientes de cualquier amplitud, fase y frecuencia pudiendo adaptarse a las condiciones cambiantes de la carga y de la propia red eléctrica sin producir resonancia con el filtro.

4.3.2.2 DESVENTAJA DE LOS FILTROS ACTIVOS DE POTENCIA

- La gran desventaja de los filtros activos es que para que funcionen necesitan una fuente de alimentación.
- Como los filtros activos utilizan Amplificadores Operacionales en sus circuitos, estos tienen un límite para la frecuencia de uso y en consecuencia los filtros también lo tendrán.
- No es posible utilizar filtros activos en sistemas o circuitos en donde se requiera tener una alta potencia. Esta es una clara desventaja de estos filtros.
- Otra desventaja es que la amplificación de la señal de entrada tiene como límite el nivel de la fuente de alimentación.

4.4 FILTROS HIBRIDOS (Arocas, 2005)

El filtrado híbrido consta de un sistema de filtrado pasivo convencional apoyado por un filtro activo situado en diferentes posiciones en relación con el filtro pasivo. Esta combinación optimiza el sistema de cancelación pasiva, evita los problemas de resonancias

entre los componentes del filtro pasivo y la impedancia de línea y permite potencias de filtrado elevadas a un coste inferior al del filtrado activo puro.

4.4.1 TIPOS DE FILTROS HIBRIDOS

Según la conexión entre el sistema pasivo y el sistema activo, pueden considerarse las siguientes estructuras básicas:

- Filtro activo en serie con la línea
- Filtro activo en serie con el filtro pasivo
- Filtro activo en paralelo con el filtro pasivo.

4.4.2 FILTRO ACTIVO EN SERIE CON LA LINEA (Arocas, 2005)

El filtro activo se comporta como una impedancia variable situada entre la línea y la carga, de tal modo que la impedancia es nula para la componente fundamental y de carácter resistivo y elevado para los armónicos. El filtro activo actúa como un "aislador de armónicos". Como la sección de filtro activo se instala en serie con la red, y bloquea el paso de armónicos desde y hacia ella, los armónicos generados en la carga necesariamente circularán por el filtro pasivo. De este modo la tensión en el lado de línea del filtro activo serie es teóricamente la correspondiente a la frecuencia fundamental.

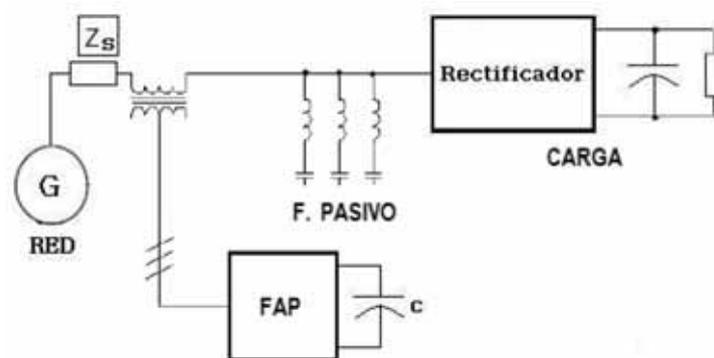


Ilustración 49 Filtrado activo en serie con la línea

El filtro activo está formado por un convertidor PWM de tensión conectado en serie con la línea a través de un transformador (booster). El secundario de este transformador se dimensiona para la totalidad de la corriente nominal de la carga, aunque la tensión que debe soportar es la debida a las componentes armónicas, mientras que es nula para la componente fundamental. La ventaja de este sistema es que el grueso de la cancelación corre a cargo del filtro pasivo y el filtro activo se dimensiona para una potencia de tan sólo el 2% al 5% de los VA de la carga, con lo cual es menos costoso que un filtro activo puro, que debe asumir la totalidad de la potencia de cancelación.

4.4.3 FILTRO ACTIVO EN SERIE CON UN FILTRO PASIVO

(Arocas, 2005) indica: Este es un método similar al anterior en donde la sección correspondiente al filtro activo está situada en serie con el filtro pasivo. El filtro activo está constituido por un convertidor estático PWM de tensión conectado en serie con el filtro pasivo a través de un transformador.

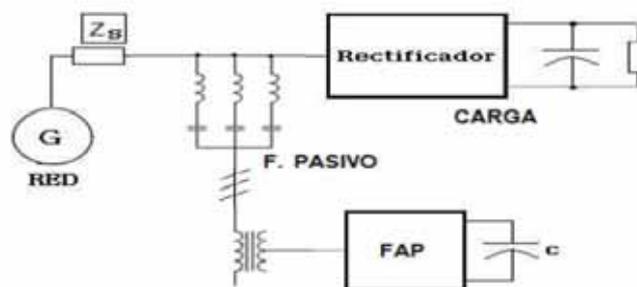


Ilustración 50 Filtrado activo en serie con el filtro pasivo

Se comporta como una fuente de tensión variable, cuyo valor es teóricamente nulo para la frecuencia fundamental y de igual valor al de las componentes armónicas de tensión en la carga. Por ello, la tensión en el punto de conexión del filtro, es la correspondiente a la frecuencia fundamental, como en el caso anterior. El filtro activo

presenta impedancia nula a la componente fundamental y variable para las componentes armónicas.

4.4.4 FILTRO ACTIVO EN PARALELO CON EL FILTRO PASIVO

Como se puede suponer, el sistema principal de filtrado es pasivo, sintonizado con los armónicos más bajos y de mayor contenido. En paralelo con el filtro pasivo hay un filtro activo de corriente o tensión encargado de eliminar los armónicos de frecuencias más elevadas.

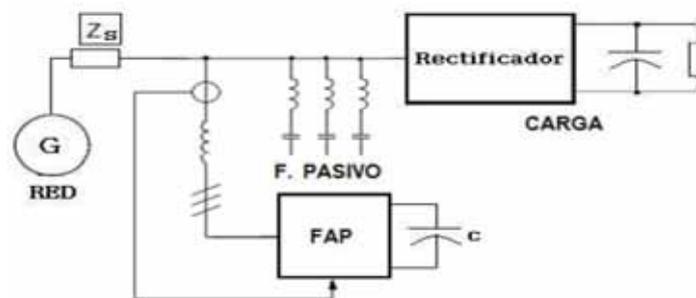


Ilustración 51 Filtrado activo en paralelo con el filtro pasivo

4.4.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS FILTROS HIBRIDOS

4.4.5.1 VENTAJA DE LOS FILTROS HIBRIDOS

- A diferencia de los filtros pasivos y los filtros activos de potencia, pueden suministrar corrientes de cualquier amplitud, fase y frecuencia, así como tensiones de diferentes amplitudes. Pudiendo adaptarse a las condiciones cambiantes de la carga y de la propia red eléctrica sin producir resonancia con el filtro.

4.4.5.2 DESVENTAJA DE LOS FILTROS HIBRIDOS

- La gran desventaja de los filtros híbridos es el tamaño de los filtros y su alto costo.
- La instalación de los filtros híbridos tiene un elevado costo, así como el mantenimiento.

- No es posible utilizar filtros híbridos en sistemas que requiera tener una alta potencia. Esta es una clara desventaja de estos filtros.
- Otra desventaja es que la amplificación de la señal de entrada tiene como límite el nivel de la fuente de alimentación.

4.4.6 SELECCIÓN DEL FILTRO TECNICA Y ECONOMICAMENTE

ADAPTADO.

- De acuerdo a las ventajas y desventajas de los filtros mencionados líneas arriba, se llega a la conclusión, de acuerdo a las características particulares del sistema eléctrico en baja tensión del hospital regional del Cusco, optaremos por la selección de un filtro pasivo.

4.5 CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL FILTRO PASIVO

La utilización de un filtro como solución al problema de armónicos requiere del análisis detallado. Entre los criterios de selección del filtro pasivo se tiene los siguientes puntos.

4.5.1 SEGÚN LA FUNCIÓN QUE CUMPLE CADA CONFIGURACIÓN DEL FILTRO PASIVO

Para diseñar el filtro de armónicas trifásico, es necesario efectuar un análisis de las posibles configuraciones a implementar, para las cuales existen características distintas de desempeño en frecuencia que se pueden ajustar específicamente al problema planteado.

Con este criterio se puede sintonizar un filtro a la frecuencia específica que genera mayor distorsión y “atrapar” la componente de la onda caracterizada por ésta frecuencia, con lo que se logra el aislamiento de la red.

Para el caso en estudio se toman como bases los siguientes tipos generales de filtros y sus características específicas, que permiten un diseño que se adapta a la supresión de la distorsión armónica.

Filtros pasivos sintonizados: Se utilizan para atenuar armónicas impares como la 5ta, 7ma, 11va, 13va. Se pueden sintonizar a una sola frecuencia, dos o más frecuencias.

Se utilizan para filtrar armónicas de orden alto y cubren un rango amplio de frecuencias. También permite filtrar órdenes de armónica bajos (como la tercera).

En la selección de la configuración de filtro a utilizar en aplicaciones específicas, es necesario analizar el espectro para concluir si es conveniente atenuar un orden específico o varios órdenes adyacentes de contenido armónico.

Por ejemplo, si tenemos una distorsión total THD= 21.7% en la SED 0010823, y analizando el espectro de frecuencias observamos que la 5ta y 7ma armónica predominan entonces podemos decir, es mucho más conveniente colocar un filtro de sintonización simple, pues los otros órdenes son casi despreciables.

4.5.2 TAMAÑO DEL FILTRO.

Dependiendo del tipo de filtro que vayamos a emplear en la atenuación de armónicos el tamaño puede ser relativamente grande o pequeño, como podemos diferenciar notablemente cuando se utilice un filtro pasivo conectado en paralelo es menor, ya que los filtros pasivos cumplen la misma función que el filtro activo, pero el tamaño del filtro activo es sumamente superior debido a todas las componentes electrónicas y controladores que tienen estos filtros activos y que necesitan de una fuente de energía para poder hacer la compensación de componentes armónicas.

Ya que también el tamaño de un filtro se define en razón de la potencia reactiva de los condensadores a la frecuencia fundamental. Normalmente, la potencia del condensador utilizado se determina de los requisitos de potencia reactiva de la carga.

4.5.3 COSTO DEL FILTRO

Uno de los aspectos más importantes en lo económico es su costo de fabricación, ya que el costo de un filtro depende de muchos factores importantes como es:

- Tipo de filtro.
- Tamaño de la carga.
- Tipo de material a utilizar.
- Eficacia del filtro.
- Aplicación del filtro.

Este tipo de filtro la inversión inicial, instalación y mantenimiento es más económico respecto a los demás filtros.

Considerando el nivel de perturbación de las SED se tiene q las componentes armónicas que se presentan son la 5^{ta}, 7^{ma}, 11^{va} armónica, y no varía mucho la contaminación de componentes armónicas en las SED estudiadas.

4.5.4 FACILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE FILTROS

En la actualidad los filtros pasivo son los más fáciles de construir debido a que simplemente están formado por elementos pasivos como (resistencias, condensadores y bobinas) sin embargo su aplicación es muy limitada.

Mientras que los filtros activos presentan más ventajas que los filtros pasivos, la construcción de este es compleja ya que consta de elementos pasivos y activos

(sensores, tarjetas de acondicionamiento, circuitos integrados, dispositivos eléctricos y electrónicos, etc.).

Sin embargo los filtros híbridos debido a su mejor respuesta dinámica con la carga presentan mejores características que los dos filtros anteriores, pero la construcción de este es muy complicada y compleja, ya que este tipo de filtro es la combinación de los dos filtros anteriores.

4.5.5 EL NÚMERO DE ARMÓNICOS DEL SISTEMA A ATENUAR

Dependiendo del número de armónicos existentes en el sistema, se puede determinar la cantidad de filtros (filtro sintonizado o dual) que se podrían ubicar para obtener una atenuación de las componentes armónicas.

Un criterio más práctico consiste en diseñar un filtro para reducir las distorsiones a niveles aceptables, a partir de una norma.

4.6 DIMENSIONAMIENTO DEL FILTRO PASIVO

Para este trabajo de tesis se ha seleccionado el filtro pasivo sintonizado, dicho filtro paralelo proveen un paso alternativo de muy baja impedancia para las frecuencias armónicas y consiste en una rama compuesta por elementos RLC en conexión paralela con el sistema de alimentación, entre otros.

El filtro paralelo presenta mayores ventajas debido a que dicho filtro es más económico, solo transporta las corrientes armónicas para las que fue sintonizado, proporciona la potencia reactiva al sistema.

4.6.1 CALCULO DE PARÁMETROS DEL FILTRO PASIVO

Este tipo de filtro elimina una determinada armónica, consiste en un banco de condensadores conectado en serie con un inductor y resistencia.

Dichos elementos se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$\omega_h = 2 \times \pi \times f \times h \quad (4.10)$$

Dónde:

h: Es el armónico al cual se requiere sintonizar

ω : Es la frecuencia angular

f: Es la frecuencia fundamental

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{|V|^2}{Q_c} \quad (4.11)$$

Dónde:

X_c : Es la reactancia capacitiva

Q_c : Es el valor de la potencia reactiva que el filtro va a suministrar en cada rama.

V: Es la tensión nominal

$$C_f = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_c} \quad (4.12)$$

$$L_f = \left[\frac{1}{2 \times \pi \times f \times h \times \sqrt{C_f}} \right]^2 \quad (4.13)$$

$$X_{Lh} = \omega_h \times L_f \quad (4.14)$$

$$R_f = \frac{X_{Lh}}{Q} \quad (4.15)$$

Dónde:

C_f : Es el valor del capacitor del filtro

L_f : Es el valor del inductor del filtro

R_f : Es el valor de la resistencia del filtro

Q: Es el factor de calidad del filtro

El factor de calidad del filtro, determina la forma de la característica de impedancia y hace que esta sea más o menos estrecha o abrupta. El valor promedio del factor de calidad para baja tensión es $10 \leq Q \leq 50$ usándose prácticamente un valor de 20, para

alta tensión es $50 \leq Q \leq 150$. Según estudios realizados y experiencias en el diseño del filtro pasivo, los fabricantes de filtros utilizan un valor promedio del factor de calidad de 20 para filtros de baja tensión.

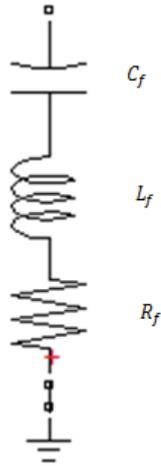


Ilustración 52 Filtro sintonizado simple

CAPITULO V

APLICACIÓN A SISTEMAS DE PRUEBA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA

5.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

En este capítulo, visto lo realizado en el capítulo III y viendo la necesidad de reducir los efectos que puedan ocasionar las inyección de corrientes armónicas, se realizara el análisis de las componentes armónicas que inyecta la carga hacia la red eléctrica mediante una simulación del modelo propuesto en el programa MatLab SIMULINK[7] para ver como disminuyen los grados de distorsión armónica sobre todo de corriente, como también se comprobara la eficacia del filtro pasivo al compensar la señal de corriente.

5.2 APLICACIÓN DEL FILTRO A CASO CONCRETO

Antes de implementar el modelo de la planta hay que definir la planta, como es lógico por lo que a continuación se van a definir tanto la carga generadora de armónicos y también el propio filtro pasivo para eso se implementara el modelo con datos actuales de las cargas tanto del transformador generador como de la carga que produce la distorsión de corriente.

5.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA

Para poder diseñar un filtro pasivo es necesario conocer el contenido armónico de corriente que se desea compensar. Para ello se debe conocer la carga o en su defecto el contenido armónico de la corriente que absorbe.

El esquema propuesto para el desarrollo de la simulación consiste de una carga de alto contenido armónico y el filtro pasivo. En el siguiente esquema se representa un puente rectificador trifásico con una determinada carga equivalente.

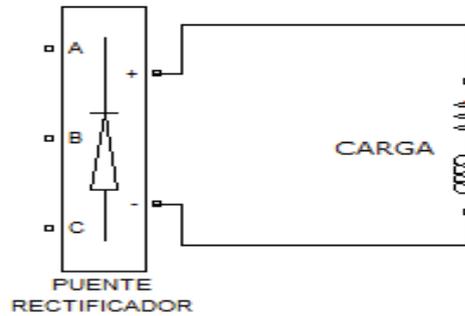


Ilustración 53 Puente rectificador trifásico controlado con una carga equivalente

Como se puede observar en la ilustración 53, la carga está formada por un puente rectificador trifásico con una carga equivalente paralelo a dicho rectificador.

5.4 DIAGRAMA EQUIVALENTE DEL FILTRO Y LA RED ELÉCTRICA

Como podemos apreciar en la ilustración 54 se muestra un circuito equivalente de la red eléctrica y el filtro pasivo a utilizar, en el cual se hará la simulación para nuestro trabajo de tesis.

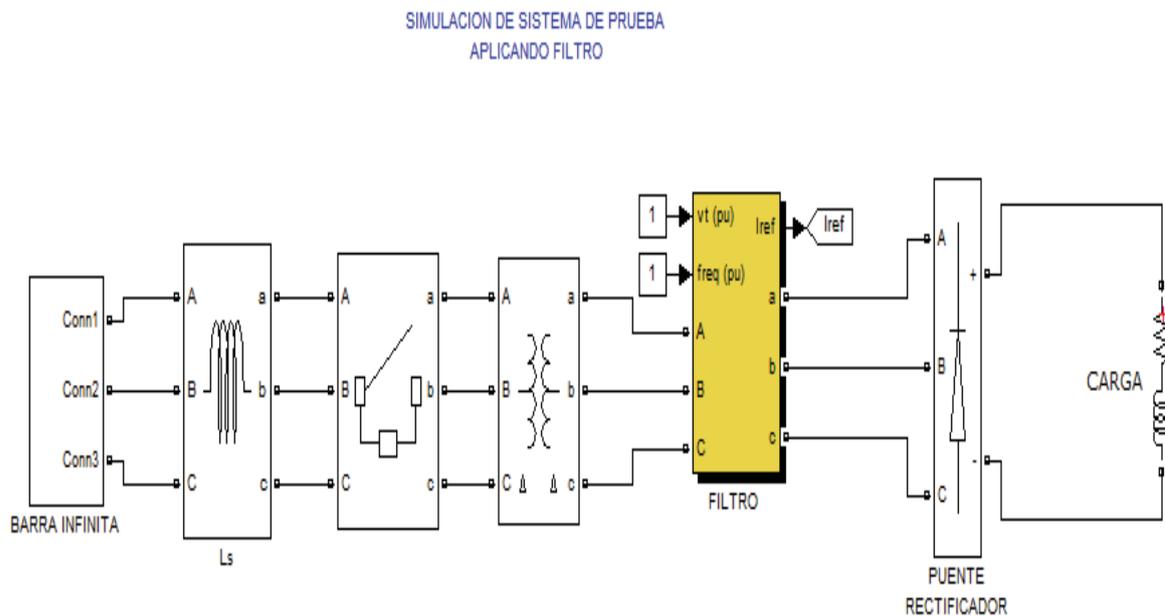


Ilustración 54 Circuito equivalente de la red y el filtro, Matlab Simulink

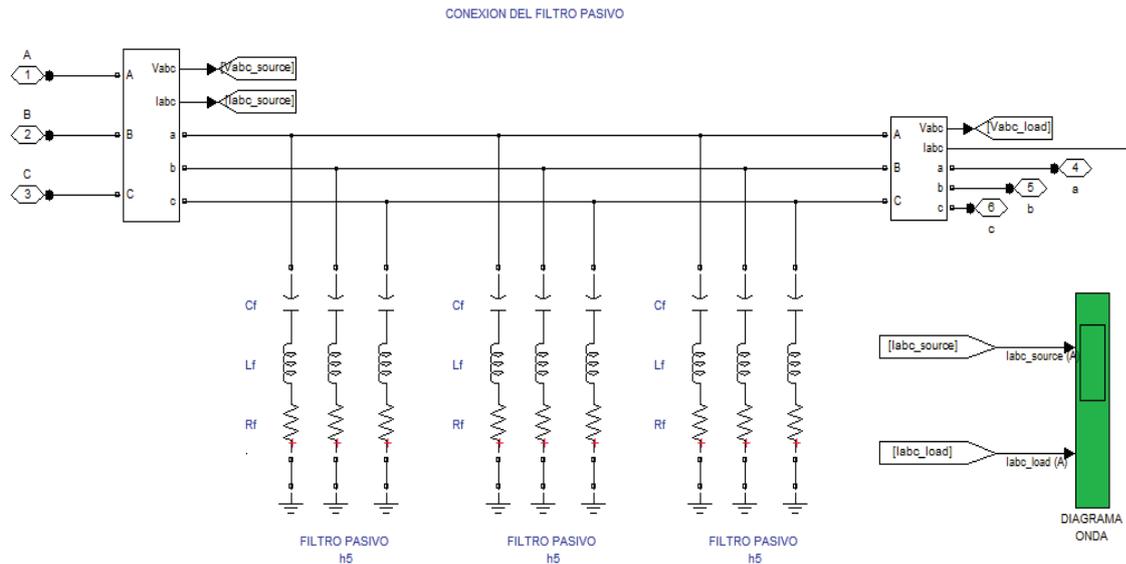


Ilustración 55 Interior del filtro, conexión de los filtros para mitigar corrientes armónicas, Matlab Simulink

5.5 SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS COMPONENTES ARMÓNICAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSION DEL HOSPITAL REGIONAL DEL CUSCO

El objetivo principal del filtro pasivo es compensar las componentes armónicas de corriente hasta el armónico de orden 20 es decir hasta los 1200 Hz, atenuándolos en la medida de lo posible.

Esta simulación se realiza en el programa MatLabSimulink. Tomando como datos para la simulación de la carga el consumo promedio de cada SED analizado.

5.6 SIMULACIÓN EN SISTEMA DE PRUEBA SED 0010823

Para la simulación en el sistema de pruebas se toma como datos los valores de la tabla 21 en la cual se indican los valores de los principales parámetros del sistema a compensar, los valores de Cf, Lf, Rf son calculados de acuerdo a las ecuaciones Ecu. 4.10 - Ecu. 4.15 del capítulo IV.

Tabla 21. Parámetros de la carga SED 0010823

Fuente de circuito	Tensión	10.5/0.48- 0.22KV
Carga	Potencia activa	114.42 KW
	Potencia reactiva	52.13 KVAR
Fuente: ELSE		

CÁLCULO DE PARÁMETROS R, L, C PARA LA 5ta ARMÓNICA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tabla 22. Parámetros del sistema de prueba SED 0010823

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 μF
Valores del filtro pasivo	Inductancia rama 5	L ₅ = 2.124 mH
	Resistencia rama 5	R ₅ = 0.002 Ω
	Capacidad rama 7	C ₇ = 675 μF
	Inductancia rama 7	L ₇ = 212.95 mH
	Resistencia rama 7	R ₇ = 0.2808 Ω

Fuente: Propia

SIMULACION DE SISTEMA DE PRUEBA APLICANDO FILTRO SED 0010823

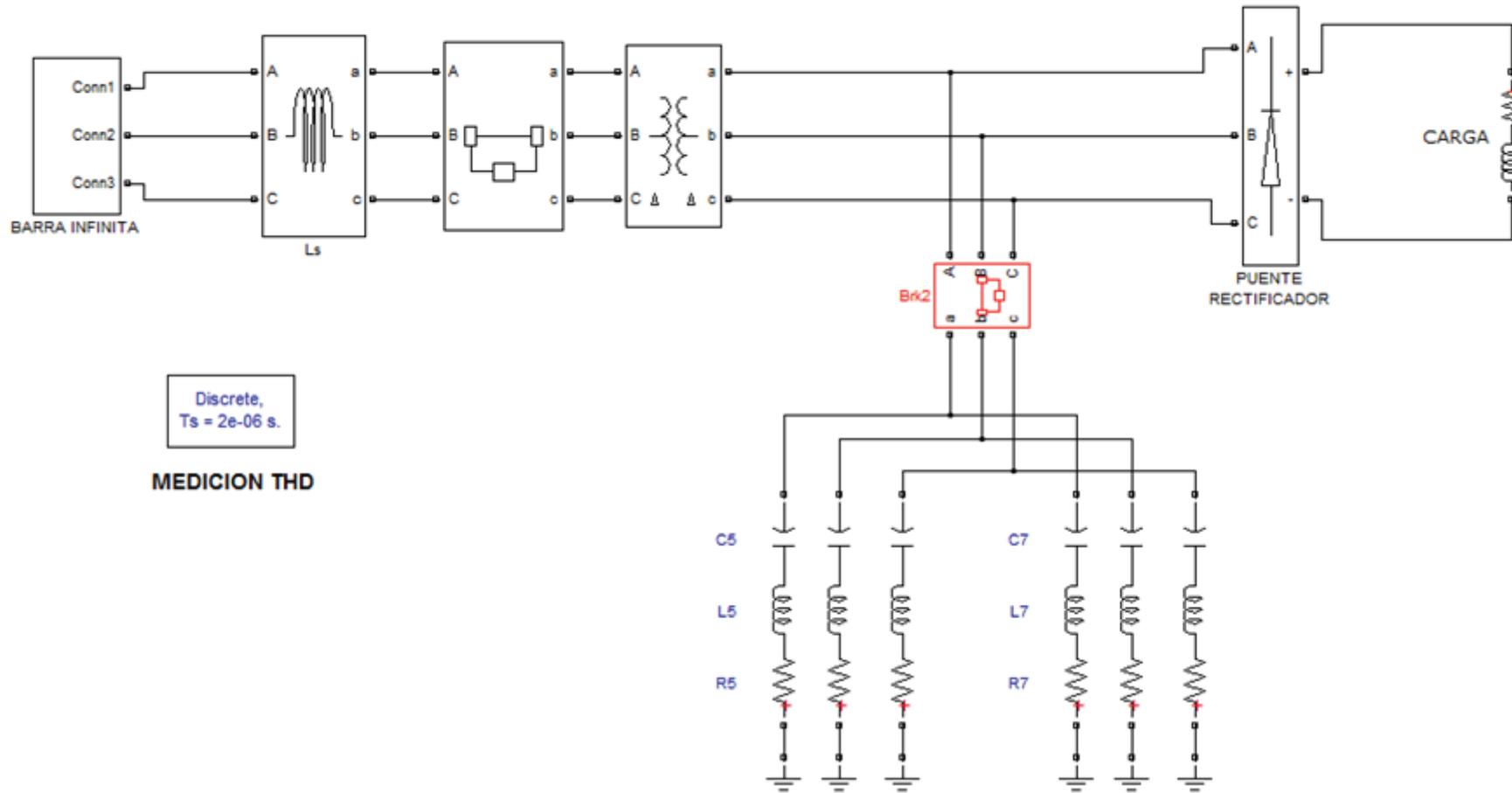


Ilustración 56 Conexión filtró pasivo SED0010823

Para realizar la comparación de la tasa de distorsión armónica de corriente se ha realizado la simulación del sistema en el entorno MatlabSimulink, con los valores mencionados en la tabla 23. A continuación se mide la tasa de distorsión armónica individual y la distorsión armónica total que produce la carga para cada fase del sistema.

Las tasas individuales de cada armónico se miden con respecto a la magnitud de la componente fundamental de 60 Hz.

Tabla 23. Tasa individual de distorsión de corriente SED 00100823

Orden	Frecuencia	Tasa de distorsión			Tasa de distorsión			Tasa Admisible
		armónica individual sin FILTRO			armónica individual aplicando el FILTRO			Según Norma 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

Fuente: Popia MATLAB SIMULINK

Observando la tabla 24 se infiere que la corriente cuando el filtro pasivo esta desconectado, en el caso concreto que se estudia en esta tesis, no cumple la norma IEEE 519-1992 para los armónicos, quinto (300 Hz), séptimo (420 Hz). Una vez conectado el filtro pasivo la norma cumple para los armónicos quinto, séptimo. Por lo tanto, la compensación de armónicos de corriente mediante el Filtro Pasivo obtiene resultados satisfactorios.

Tabla 24. Tasa de distorsión armónica total de corriente (THDI) SED 00100823

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

Fuente: Propia MATLAB SIMULINK

En la tabla 24 se puede apreciar cómo es que disminuye la tasa de distorsión armónico total de corriente (THDi), cuando se hace uso del Filtro Pasivo. En la siguiente ilustración 57 se puede apreciar cómo se corrige la forma de onda de corriente cuando se aplica el filtro pasivo.

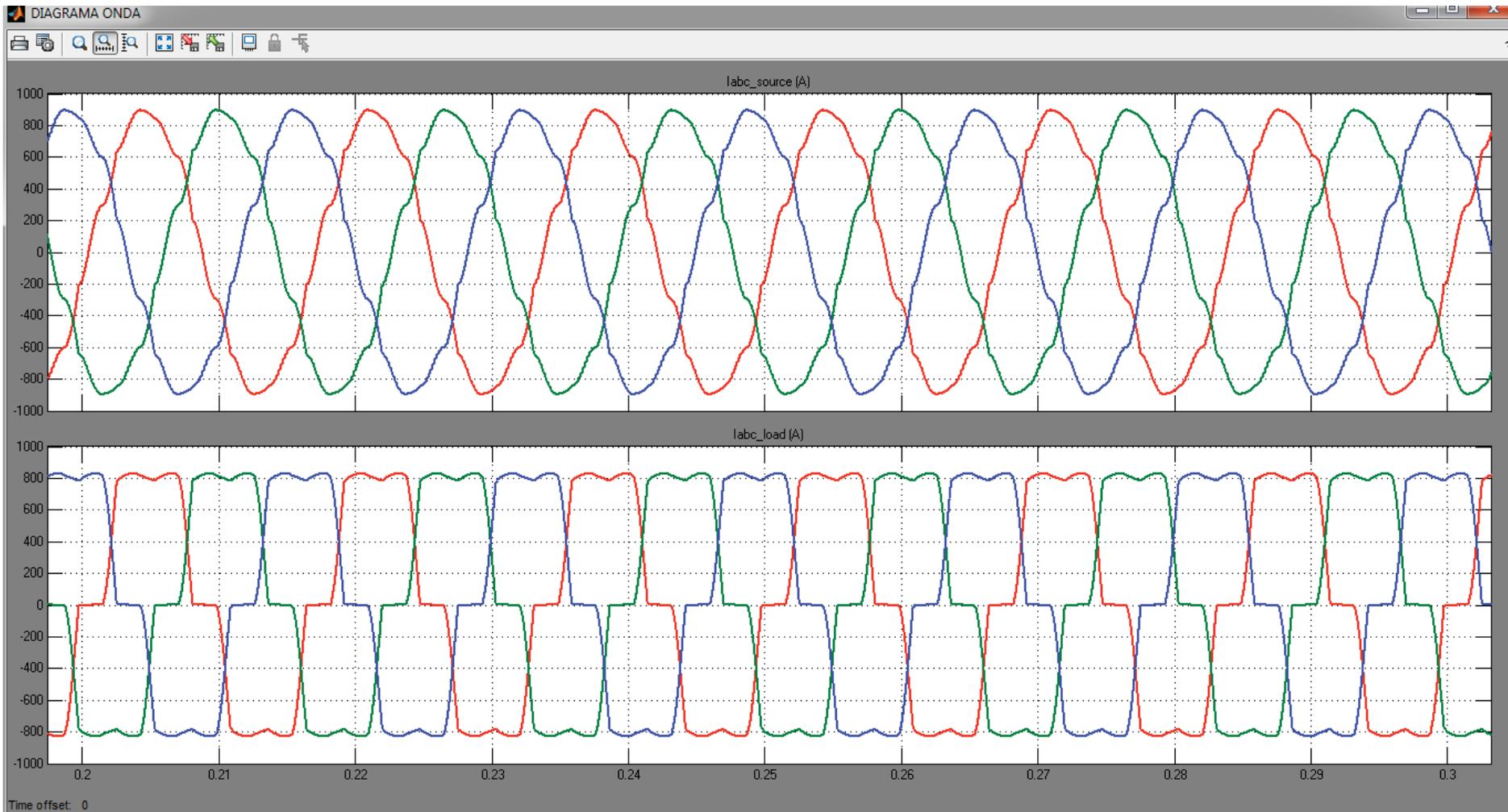


Ilustración 58 Forma de onda de corriente antes de la medición y después de la medición del filtro pasivo SED 0010823

CALCULO $\cos\phi$ SED 0010823

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

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

Sin Filtro

$$FP = 0.87$$

$$FP_{Dist} = \frac{1}{\sqrt{(1^2 + THD_i^2)}}$$

$$FP_{Dist} = \frac{1}{\sqrt{(1^2 + 0.2170^2)}}$$

$$FP_{Dist} = 0.977$$

$$\cos\phi = \frac{FP}{FP_{Dist}}$$

$$\cos\phi = \frac{0.870}{0.977}$$

$$\cos\phi = 0.890$$

Con Filtro

$$FP = 0.98$$

$$FP_{Dist} = \frac{1}{\sqrt{(1^2 + THD_i^2)}}$$

$$FP_{Dist} = \frac{1}{\sqrt{(1^2 + 0.0551^2)}}$$

$$FP_{Dist} = 0.998$$

$$\cos\phi = \frac{FP}{FP_{Dist}}$$

$$\cos\phi = \frac{0.980}{0.998}$$

$$\cos\phi = 0.982$$

Dónde:

FP_{Dist} = Factor de potencia de distorsión

FP = Factor de potencia

5.7 SIMULACIÓN EN SISTEMA DE PRUEBA SED 0010021

Para la simulación en el sistema de pruebas se toma como datos los valores de la tabla 25 en la cual se indican los valores de los principales parámetros del sistema a compensar, los valores de Cf, Lf, Rf son calculados de acuerdo a las ecuaciones Ecu. 4.10 - Ecu. 4.15 del capítulo IV.

Tabla 25. Parámetros de la carga R, L, C para la 5ta armónica

Fuente de circuito	Tensión	10.5/0.230 KV
	Potencia activa	204.24 KW
Carga	Potencia reactiva	93.06KVAR

Fuente: ELSE

CÁLCULO DE PARÁMETROS R, L, C PARA LA 5^{ta} ARMÓNICA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tabla 26. Parámetros del sistema de prueba SED 0010021

Fuente de circuito	Tensión	10.5/0.23 KV
carga	Potencia activa	555.016 KW
	Potencia reactiva	297.352 KVAR
	Capacidad rama 5	$C_5 = 95.4 \mu\text{F}$
	Inductancia rama 5	$L_5 = 29.53 \text{ mH}$
	Resistencia rama 5	$R_5 = 0.0278 \Omega$
	Capacidad rama 7	$C_7 = 42.1 \mu\text{F}$
	Inductancia rama 7	$L_7 = 34.14 \text{ mH}$
	Resistencia rama 7	$R_7 = 0.045 \Omega$
Valores del filtro pasivo	Capacidad rama 11	$C_{11} = 18.25 \mu\text{F}$
	Inductancia rama 11	$L_{11} = 31.89 \text{ mH}$
	Resistencia rama 11	$R_{11} = 0.066 \Omega$

Fuente: Propia

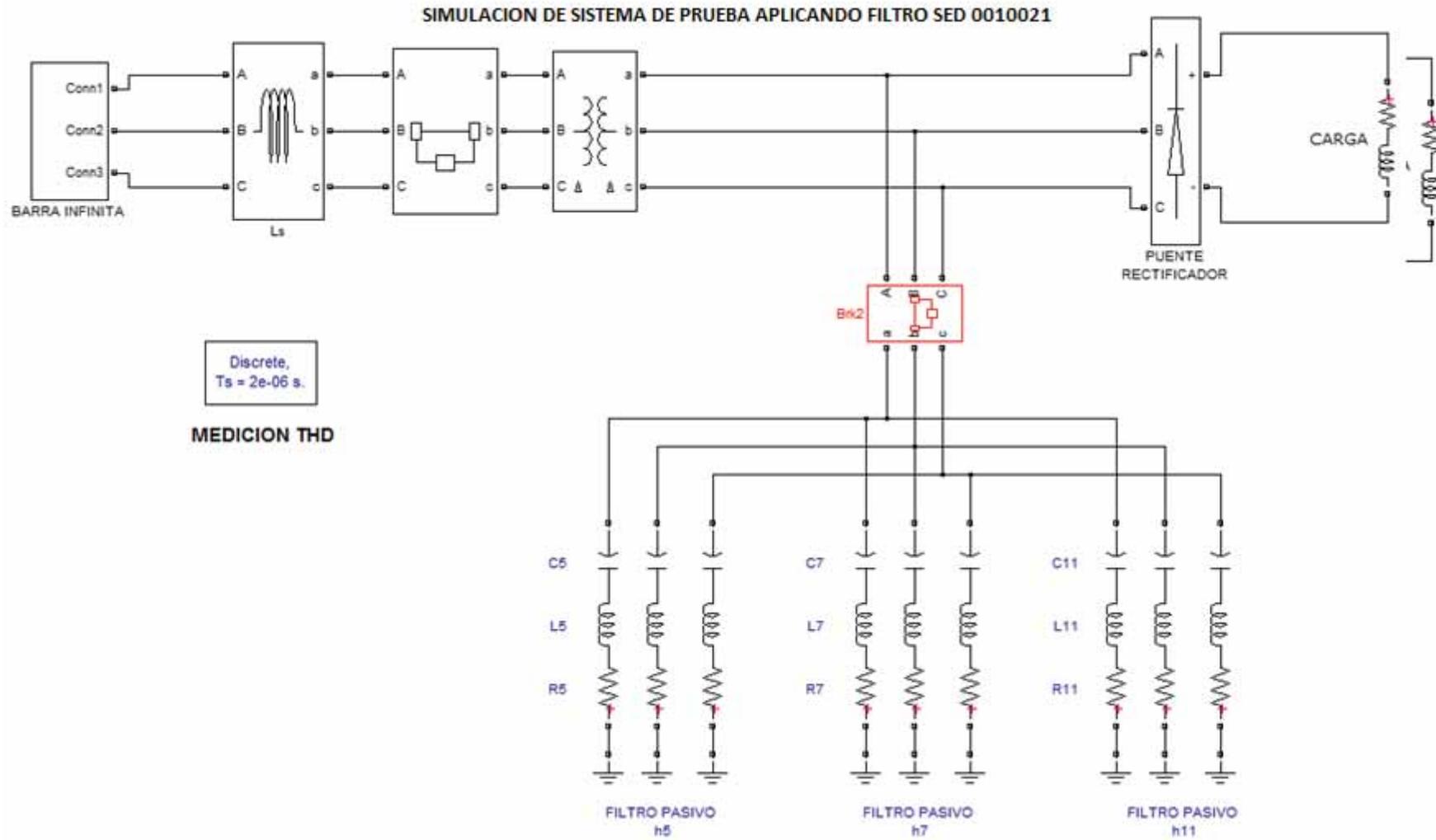


Ilustración 59 Conexión filtro pasivo SED 0010021 Matlab Simulink

Para realizar la comparación de la tasa de distorsión armónica de corriente se ha realizado la simulación del sistema en el entorno MatlabSimulink, con los valores mencionados en la tabla 27. A continuación se mide la tasa de distorsión armónica individual y la distorsión armónica total que produce la carga para cada fase del sistema.

La tabla 27 muestra la tasa individual de cada componente armónico admisible en el peor de los casos, según la norma IEEE 519-1992. Así mismo, expone la tasa individual de cada corriente armónica antes de la medición del filtro pasivo y después de la medición del filtro pasivo.

Las tasas individuales de cada armónico se miden con respecto a la magnitud de la componente fundamental de 60 Hz.

Tabla 27. Tasa individual de distorsión armónica de corrientes SED 0010021

Orden	Frecuencia	Tasa de distorsión			Tasa de distorsión			Tasa Admisible Según Norma IEEE 519-1992
		armónica individual			armónica individual			
		sin FILTRO			aplicando el FILTRO			
h	f(Hz)	I_h/i1(%)	I_h/i2(%)	I_h/i3(%)	I_h/i1(%)	I_h/i2(%)	I_h/i3(%)	I_h/if(%)
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

Observando la tabla 27 se infiere que la corriente cuando el FILTRO esta desconectado, en el caso concreto que se estudia en esta tesis, no cumple la norma IEEE 519-1992 para los armónicos, quinto (300 Hz), séptimo (420 Hz), onceavo (660 Hz). Una vez conectado el Filtro pasivo la norma se cumple para los armónicos quinto, séptimo, onceavo. Por lo tanto la compensación de armónicos de corriente mediante el Filtro Pasivo obtiene resultados satisfactorios.

Tabla 28. 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%

FUENTE: Propia MatlabSimulink

En la tabla 28 se puede apreciar cómo es que disminuye la tasa de distorsión armónico total de corriente (THDi), cuando se hace uso del Filtro. En la siguiente ilustración 58 se puede apreciar cómo se corrige la forma de onda de corriente cuando se aplica el Filtro.

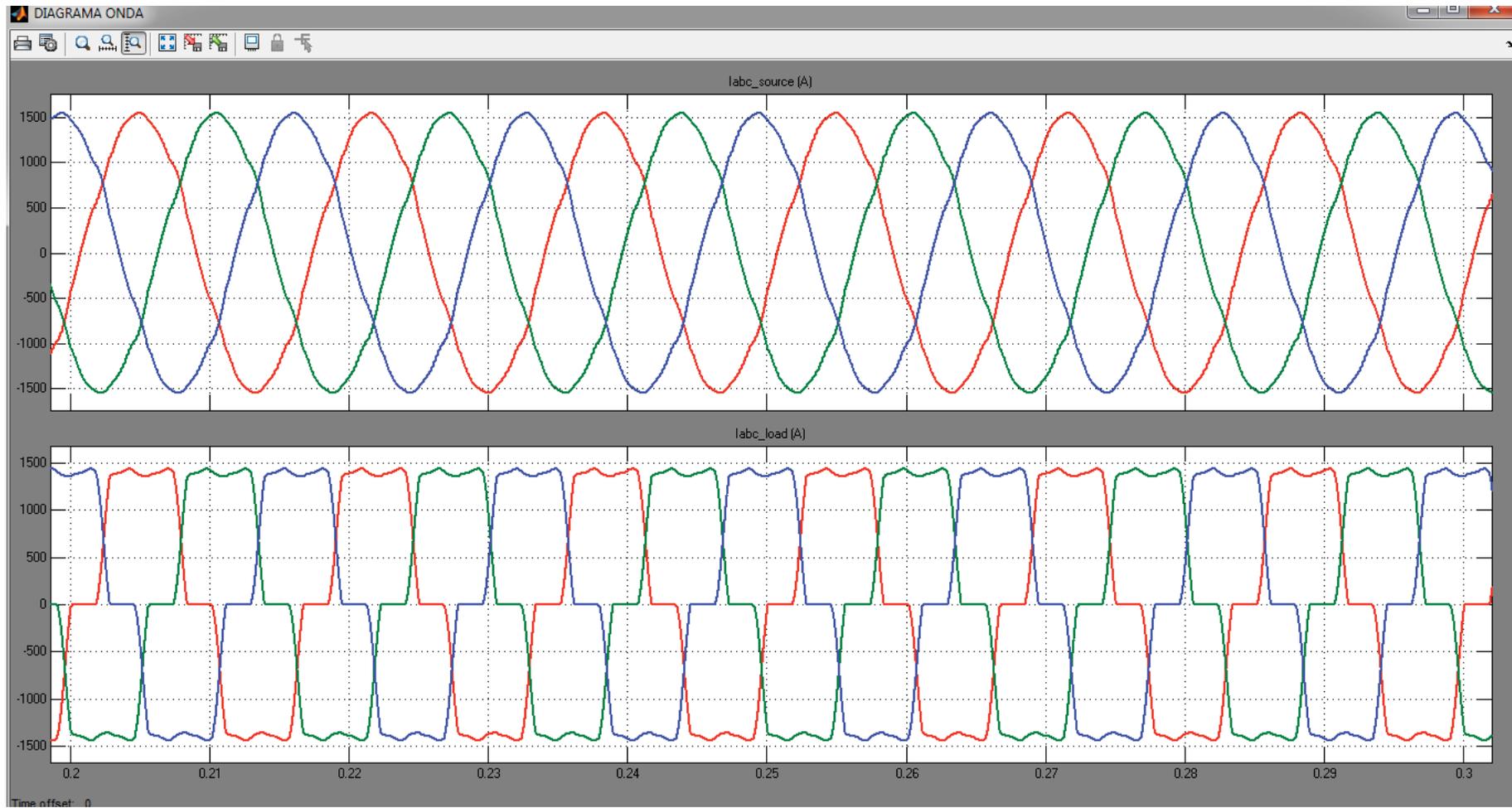


Ilustración 60 Forma de onda de corriente antes de la medición y después de la medición del filtro pasivo SED 0010021

CALCULO $\cos\phi$ SED 0010021

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

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

Sin Filtro

$$FP = 0.86$$

$$FP_{Dist} = \frac{1}{\sqrt{(1^2 + THD_i^2)}}$$

$$FP_{Dist} = \frac{1}{\sqrt{(1^2 + 0.2224^2)}}$$

$$FP_{Dist} = 0.976$$

$$\cos\phi = \frac{FP}{FP_{Dist}}$$

$$\cos\phi = \frac{0.860}{0.976}$$

$$\cos\phi = 0.881$$

Con Filtro

$$FP = 0.98$$

$$FP_{Dist} = \frac{1}{\sqrt{(1^2 + THD_i^2)}}$$

$$FP_{Dist} = \frac{1}{\sqrt{(1^2 + 0.0314^2)}}$$

$$FP_{Dist} = 0.999$$

$$\cos\phi = \frac{FP}{FP_{Dist}}$$

$$\cos\phi = \frac{0.980}{0.999}$$

$$\cos\phi = 0.981$$

Dónde:

FP_{Dist} = Factor de potencia de distorsión

FP = Factor de potencia

CONCLUSIONES

En la presente tesis se han abordado el análisis de componentes armónico en sistemas eléctricos de potencia. La problemática derivada de la existencia de componentes armónicos en las redes de distribución, a partir de la definición y normativas que cuantifican y limitan la distorsión de las componentes a niveles tolerables para el sistema y los receptores, en este sentido se pueda concluir que:

1. La empresa concesionaria ha elaborado una base de datos sobre el comportamiento de las cargas, a las que alimentan las sub estaciones de distribución en el ámbito de gestión, la evaluación de dicha información nos permite establecer que en las sub estaciones del alimentador DO06, la polución armónica alcanza un nivel preocupante del 19%, sin embargo se debe observar que este nivel se viene incrementando notablemente en los últimos años.
2. De los resultados obtenidos, las componentes armónicas de tensión, expresado mediante el parámetro THD_v , en todas las mediciones realizadas se observó que no transgreden la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos y tampoco las recomendaciones de la IEEE Std. 519 - 1992
3. Las componentes armónicas de corriente son las más significativas en los diferentes SED; expresado mediante el parámetro THD_i se tiene valores superiores al 20%, los cuales rebasan los límites establecidos por la Standard IEEE 519 – 1992.
4. Para alcanzar los niveles aceptables de la presencia de estas perturbaciones se ha considerado como elementos de control, la instalación de un filtro pasivo dimensionado para las armónicas 5°, 7°, 11° y 13°, el cual mejorará los parámetros operativos del sistema en forma global, tomando como función representativa la

corrección del factor de potencia. Logrando así la incorporación del sistema a valores dentro de lo establecido por las normas vigentes.

5. Con la implementación del filtro pasivo mediante la utilización del modelo implementado en el software utilizado se ha podido verificar, que el THDi se reduce de un considerable 22% a un nivel aceptable del 5%. La cual mejora la calidad de energía.
6. La implementación de este tipo de filtros para mitigar las componentes armónicas de corriente, no requieren de una inversión económica alta.

RECOMENDACIONES

1. Proponer el desarrollo de un estudio integral para la ubicación de los puntos o subestaciones que presenten mayor peligro para el sistema.
2. Sería muy conveniente que, a futuro, se realice un estudio para la compensación de potencia reactiva aplicado a las demás subestaciones, de esta manera reducir la facturación por parte de la empresa concesionaria.
3. Se recomienda ampliar el estudio de calidad de energía en la Ciudad del Cusco, respecto a otros parámetros intervinientes, como son: alumbrado, flickers, huecos de tensión, etc.
4. Se sugiere continuar con el estudio y monitoreo de armónicos, conforme va creciendo la demanda, ya que a futuro se pueden insertar más cargas no lineales, las cuales incrementarían el índice de distorsión armónica.
5. Se recomienda que la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos debe considerar las armónicas de corriente como un parámetro importante, de esta manera se regularía dicha distorsión, y por ende establecer las penalizaciones a quienes corresponda.

BIBLIOGRAFÍA

- Arocas, M. L. (2005). *Filtros Activos: Introduccion y Aplicacion*. España: Universal.
- Boone, J. M. (2005). Technique factors and their relationship to radiation dose in pendant geometry breast CT. *Medical physics*, 1909-9762.
- CHAPMAN, D. (2001). *Armonicos causas y efectos*. españa: cooper.
- CIRCUTOR. (1989). *Guia de Calidad de Energia Electrica*. España: Omega.
- Cols, H. Y. (2004). *Metodología de la Investigación en las APSS*. Chile: Planeta.
- GMBH&CO.K, A. E. (2014). *MANUAL PARA EL ANALISIS DE REDES PQ BOX 100*. ESPAÑA: A-EBERLE.
- H, F. D. (2005). *EQUIPOS DE RAYOS X Y SU FUNCIONAMIENTO*. ESPAÑA: UNIVERSAL.
- H, F. D. (JUEVES de NOVIEMBRE de 2018). *BIBLIOTECA VIRTUAL UNIVERSAL*.
Obtenido de [HTTPS://WWW.BIBLIOTECA.ORG.AR](https://www.biblioteca.org.ar)
- Harper, G. E. (2002). *El ABC de la calidad de la Energia Electrica*. Mexico: Limusa S.A.
- Martinez, D. A. (2008). Factores que Afectan la Calidad de la Energía y su Solución.
Doctoral dissertation, Instituto Politecnico Nacional.
- MINEM. (1997). *NORMA TECNICA DE CALIDAD DE SERVICIOS ELECTRICOS*. PERU: MINEM.
- 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*. Guatemala: F&G.
- Ortmeyer, T. M. (1985). The Effects of Power System Harmonics on Power System Equipmen and Load. *IEEE*, 25-37.
- 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. *IEEE*, 18-35.
- 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. *Universidad Católica de Cuenca*.
- Urrego, M. A. (2019). Ingeniería Biomédica ISNNN. *Biomédica A*, 35-43.

Zacarias, G. E. (2009). *Aplicación de filtros activos*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

ANEXOS

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 = filtrosgui(varargin)
% FILTROSGUI MATLAB code for filtrosgui.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 filtrosgui_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property
application
%   stop. All inputs are passed to filtrosgui_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 filtrosgui

% 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', @filtrosgui_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @filtrosgui_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 filtrosgui is made visible.
function filtrosgui_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,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    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,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    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

```

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

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 harmonics

% 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

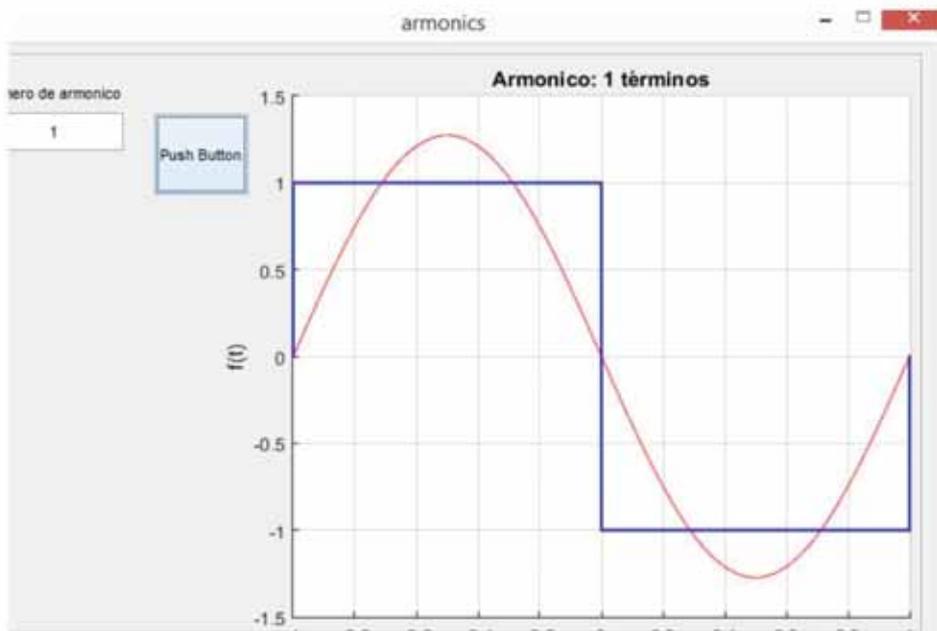
% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
n=str2double(get(handles.edit1,'string'));
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

```

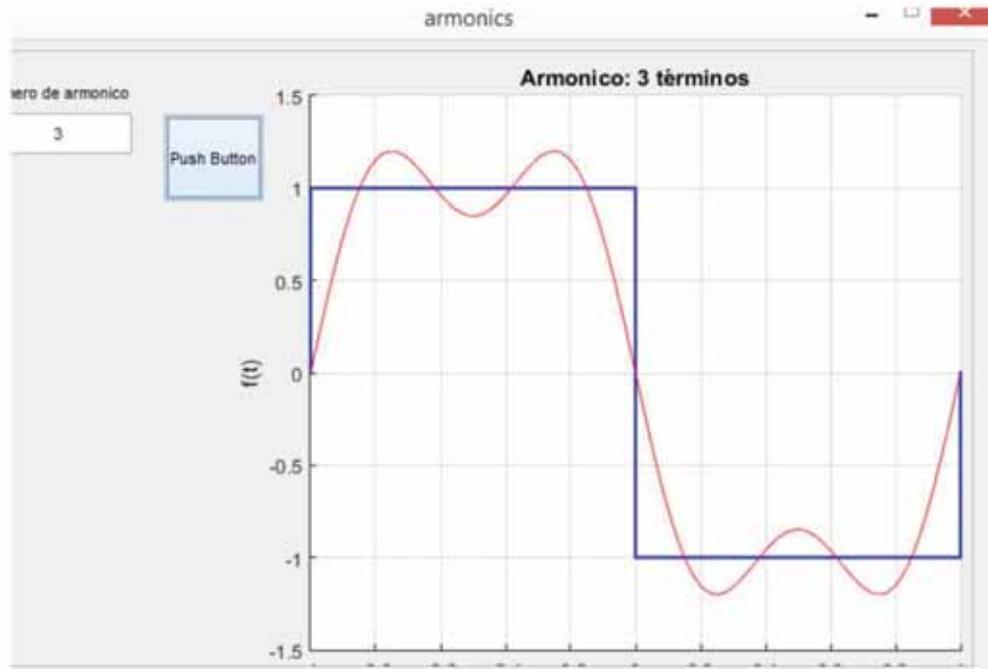
```

        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

```



Grafica de la ecuación fundamental con la primera armónica cabe resaltar que esta grafica solo es para una de las fases.



Grafica para la tercera armónica donde se observa la perturbación que tiene la onda fundamental

PANEL FOTOGRAFICO DE MEDICIONES



Foto 1: Medición SED – 0010021.



Foto 2 : Medición SED – 0010021.



Foto 3 : *Medición SED – 0010823.*



Foto 4 : *Medición SED – 0010823.*