

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Sistema de filtros para mejorar la calidad de la
energía eléctrica en la planta de producción de la
Cooperativa Agropia - 2021**

Hugo Barzola Meza
Cesar Ruben Ventura Gonzalo

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Dr. Joel Contreras Núñez

AGRADECIMIENTOS

A nuestra alma máter, Universidad Continental, quien nos cobijó entres sus aulas.

A nuestro asesor y docentes, quienes supieron impartir conocimientos necesarios para poder terminar este informe, pero sobre todo nos prepararon para afrontar el mundo profesional.

DEDICATORIA

A mis padres, quienes desde muy pequeño me supieron guiar con valores y responsabilidad, sin ellos no serían posible mis logros profesionales.

Hugo

A Dios, por darme la familia que tengo, por guiar mi camino y cuidar de la salud de mis seres queridos.

Cesar

ÍNDICE

Asesor.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Dedicatoria	iv
Índice	v
Índice de tablas.....	viii
Índice de figuras	ix
Resumen.....	xi
Abstract	xii
Introducción	xiii
CAPÍTULO I	15
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	15
1.1 Planteamiento y formulación del problema	15
1.1.1 Formulación del problema	18
1.1.1.1. Problema general	18
1.1.1.2. Problemas específicos.....	18
1.1.2. Objetivos.....	19
1.1.2.1. Objetivo general.....	19
1.1.2.2. Objetivos específicos.....	19
1.2. Justificación e importancia	19
1.2.1. Práctica.....	19
1.2.2. Teórica.....	20
1.2.3. Social	20
1.3. Hipótesis y descripción de las variables	20
1.3.1. Hipótesis general.....	20
1.3.2. Hipótesis específicas.....	20
1.3.3. Variables – operacionalización de variables	21
CAPÍTULO II	22
MARCO TEÓRICO.....	22
2.1. Antecedentes del problema	22
2.1.1. Antecedentes internacionales	22
2.1.2. Antecedentes nacionales	25
2.1.3. Antecedentes locales	32

2.2. Bases teóricas.....	33
2.2.1. Energía eléctrica.....	33
2.2.1.1. Definición	33
2.2.1.2. La electricidad.....	35
2.2.1.3. Parámetros eléctricos	35
2.2.1.4. La energía eléctrica en el Perú.....	44
2.2.2. Calidad de energía	45
2.2.2.1. Definición	45
2.2.2.2. Armónicos	47
2.2.2.3. Perturbaciones.....	55
2.2.2.4. Factor de potencia	60
2.2.2.5. La norma técnica de calidad de servicios eléctricos en el Perú NTCSE.....	61
2.2.3. Eficiencia energética	72
2.2.4. Sistema de filtros	73
2.2.4.1. Definición	73
2.2.4.2. Uso de los sistemas de filtros en los sistemas de potencia activos pasivos	74
2.2.4.3. Bloqueo de corrientes armónicos	74
2.2.4.4. Modificación de instalaciones	75
2.2.4.5. Sobredimensionamiento de los conductores.....	75
2.2.4.6. Tipos de filtros de armónicos.....	75
2.2.4.7. Condensadores	84
2.2.4.8. Limitadores de tensión.....	85
2.2.4.9. Instrumentos eléctricos.....	86
2.3. Definición de términos básicos	93
CAPÍTULO III	95
METODOLOGÍA.....	95
3.1. Metodología y alcance de la investigación	95
3.2. Tipo de investigación	95
3.3. Diseño de la investigación	96
3.4. Población y muestra.....	96
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	97

CAPÍTULO IV	99
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	99
4.1. Datos generales de la empresa	99
4.1.1. Ubicación de la empresa	99
4.1.2. Equipo utilizado	99
4.1.3. Procedimiento.....	100
4.2. Resultados del tratamiento y análisis de la información	100
4.2.1. Análisis del nivel de tensión	100
4.2.2. Análisis de la frecuencia	102
4.2.3. Análisis de los armónicos	103
4.2.3.1. Factor de distorsión total por efecto de las tensiones armónicas	103
4.2.4. Análisis de las perturbaciones.....	105
4.3. Pruebas de hipótesis.....	107
4.3.1. Hipótesis específica 1	107
4.3.2. Hipótesis específica 2.....	109
4.3.3. Hipótesis específica 3.....	110
4.3.4. Hipótesis específica 4.....	111
4.3.5. Hipótesis general.....	114
4.4. Discusión de resultados	118
Conclusiones	122
Recomendaciones	124
Lista de referencias	125
Anexos.....	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	21
Tabla 2. Notaciones científicas eléctricas	39
Tabla 3. Resistividad (ρ).....	39
Tabla 4. Resistencias	40
Tabla 5. Intensidad de corriente eléctrica (I)	41
Tabla 6. Parámetros de los armónicos más usuales	49
Tabla 7. Indicadores de la norma técnica de la electricidad	62
Tabla 8. Indicadores de calidad de tensión	64
Tabla 9. Tensiones armónicas	66
Tabla 10. Tensiones armónicas	67
Tabla 11. Los periodos de los registros e intervalos	100
Tabla 12. Tensiones	101
Tabla 13. Variación de frecuencia	102
Tabla 14. Valores de THD	104
Tabla 15. Valores de THDI	105
Tabla 16. Flicker	106
Tabla 17. Hipótesis específica 2.....	109
Tabla 18. Hipótesis específica 3.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de transformación de energía eléctrica.....	35
Figura 2. Comportamiento de la corriente.	37
Figura 3. Orientación de la corriente.	38
Figura 4. Resistencia eléctrica en un conductor.	39
Figura 5. Comportamiento de la potencia	42
Figura 6. Comportamiento de la potencia reactiva.....	43
Figura 7. Comportamiento de la potencia aparente	44
Figura 8. Características y actividades desarrolladas en el sector eléctrico.....	45
Figura 9. Ondas de tensión y corriente en fase.	47
Figura 10. Transitorios.....	57
Figura 11. Oscilograma de una corriente de rayo.	57
Figura 12. Sobrevoltaje debido a un impulso de voltaje.....	58
Figura 13. Perturbaciones Eléctricas.....	58
Figura 14. Proceso de generación de energía eléctrica.....	59
Figura 15. Triángulo de potencias eléctricas.....	61
Figura 16. Disturbios eléctricos.	63
Figura 17. Principio de utilización de un filtro pasivo.	78
Figura 18. Principio de utilización de un filtro activo.	80
Figura 19. Principio de utilización de un filtro híbrido.....	84
Figura 20. Formas ondas en un circuito antes y luego de un circuito limitador de tensión.	85
Figura 21. Multímetro digital.....	87
Figura 22. Voltímetros electromecánicos.	89
Figura 23. Voltímetros vectoriales.....	89
Figura 24. Voltímetros digitales.	90
Figura 25. Pinza amperimétrica.....	91
Figura 26. Analizador de redes trifásico.....	92
Figura 27. Equipos de la planta cooperativa Agropia.....	97
Figura 28. Variación de tensión de fase	101
Figura 29. Variación de frecuencia.....	102

Figura 30. Variación de frecuencia Factor total de distorsión de tensión armónica	103
Figura 31. Factor total de distorsión de corriente armónica	105
Figura 32. Índice de severidad por Flicker (PST).....	106
Figura 33. Onda de tensión antes de implementar el sistema de filtros	107
Figura 34. Onda de tensión después de implementar el sistema de filtros	107
Figura 35. Tasa de distorsión armónica y onda de tensión antes de implementar el sistema de filtros	108
Figura 36. Tasa de distorsión armónica y onda de tensión después de implementar el sistema de filtros	108
Figura 37. Distribución de los armónicos de tensión antes de implementar el sistema de filtros.....	109
Figura 38. Distribución de los armónicos de tensión después de implementar el sistema de filtros.....	110
Figura 39. Valores de potencia activa y reactiva antes de la implementación del sistema de filtros.....	112
Figura 40. Valores de potencia activa y reactiva después de la implementación del sistema de filtros.....	113
Figura 41. Modelado del sistema eléctrico de la cooperativa Agropia	115
Figura 42. Onda de tensión de fase antes de los filtros	115
Figura 43. Características de los armónicos antes de los filtros	115
Figura 44. Circuito incluyendo los filtros.....	116
Figura 45. Parámetros ingresados en simulink para el filtro de armónicos 3 y 5	116
Figura 46. Parámetros ingresados en Simulink para el filtro de armónicos 9 y 11.	117
Figura 47. Onda de tensión de fase después de implementar los filtros.	117
Figura 48. Características de los armónicos después de implementar los filtros.	118

RESUMEN

La presente investigación titulada “*Sistema de filtros para mejorar la calidad de la energía eléctrica en la planta de producción de la cooperativa Agropia, 2021*”, tiene como objetivo diseñar un sistema de filtros para mejorar la calidad de la energía eléctrica en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021. La investigación fue de tipo aplicada, de nivel explicativo, con un diseño experimental, tomando en cuenta como variable independiente al sistema de filtros y como variable dependiente a la calidad de energía. Se tomó en cuenta la medición de los parámetros eléctricos mediante un equipo analizador de redes eléctricas, parámetros medidos por el equipo marca Fluke, modelo 435-II, serie 20933129, que permitió medir valores instantáneos RMS, registrar las tensiones (V) monofásicas y tensiones trifásicas por cada fase; asimismo, registrar las corrientes (I) monofásicas y corrientes trifásicas por cada fase, identificar el desbalance de corriente (%), registrar la magnitud de la distorsión armónica de tensión THDV individuales, registrar los valores de las potencias aparente (kVA), activa (kW), reactiva (kVAR) y el factor de potencia trifásico. La investigación concluye que el sistema de filtros eléctricos propuesto acorde a los parámetros eléctricos analizados, permitirá mejorar la calidad de energía en la planta de producción de la cooperativa Agropia- 2021, teniendo evidencias como el incremento de la potencia activa, la reducción de la potencia reactiva que trae consigo el mejoramiento del factor de potencia y la reducción de la distorsión armónica total THD.

Palabras claves: armónicos, calidad de energía, filtro sintonizado, planta de producción

ABSTRACT

The research entitled "Filter system to improve the quality of electrical energy in the production plant of the Agropia cooperative - 2021", aimed to design a filter system to improve the quality of electrical energy in the production plant Agropia cooperative - 2021. The research was applied, explanatory level, with an experimental design, considering the filter system as an independent variable and energy quality as a dependent variable. To carry out the measurements of electrical parameters, an electrical network analyzer equipment was used, parameters measured by the Fluke brand equipment, model 435-II, series 20933129, which allowed us to measure instantaneous RMS values as in average registers, registers of single-phase and three-phase voltages per phase (V), current registers single-phase and three-phase per phase (I), current unbalances (%), individual THDV voltage harmonics, apparent power (kVA), active power (kW), reactive power (kVAR) and three-phase power factor. The investigation concludes the system of electrical filters proposed according to the electrical parameters analyzed will allow to improve the quality of energy in the production plant of the Agropia cooperative - 2021, having as evidence such as the increase in active power, the reduction of reactive power which brings with it the improvement of the power factor and the reduction of the total harmonic distortion THD.

Keywords: harmonics, power quality, production plant, tuned filter

INTRODUCCIÓN

La distorsión armónica excesiva es problemática, puede provocar un mal funcionamiento de un equipo y, en ciertas circunstancias, puede provocar problemas de conexión a la red de suministro. Ante esta situación, los sistemas filtros de armónicos están diseñados para atenuar los armónicos problemáticos dentro de los parámetros definidos o amortiguar las resonancias del sistema para evitar la amplificación de armónicos. A pesar de ello, se cree ampliamente que los filtros de armónicos son costosos y, por lo tanto, son la última opción para soluciones de calidad de energía, la respuesta es depende del sistema e implementación. El aumento y crecimiento de las cargas no lineales, como la electrónica de potencia, la demanda de filtros de armónicos activos ha aumentado en la mayoría de las redes. Además, un filtro de armónicos activo sigue siendo una excelente solución para situaciones muy específicas y ayuda a garantizar una buena calidad de energía eléctrica.

Toda organización dentro de su proceso productivo cuenta con maquinarias industriales y estas requieren de un funcionamiento continuo extremadamente precisas. Los problemas de calidad de la energía, como altos niveles de distorsión armónica, caídas de voltaje e interrupciones, pueden ser devastadores y provocar costosos tiempos de inactividad en la producción, desperdicio de material, daños en el equipo y, en última instancia, pérdida de producción. Ante ello, con la implementación de soluciones de mejora de la calidad de la energía, es posible obtener ahorros económicos y energéticos de la subestación mientras se mejoran los procesos industriales.

Asimismo, es adecuado conocer que cada dispositivo de corrección del factor de potencia y mitigación de armónicos tiene su lugar en el mercado. Saber que las ventajas y desventajas de cada solución proporciona soluciones optimizadas con los máximos beneficios para el usuario.

Respecto a ello, surge la importancia de realizar un estudio experimental, mediante el análisis de un sistema de filtros que ayuda a mejorar la calidad de la

energía eléctrica de una planta de producción. En este sentido, el presente trabajo de investigación se divide en 4 capítulos.

En el Capítulo I se desarrolla el planteamiento del estudio, en el Capítulo II se presenta el marco teórico, en el Capítulo III se detalla la metodología, en el Capítulo IV se presentan los resultados descriptivos e inferenciales. Finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

A causa del incremento y crecimiento de las cargas no lineales, la demanda de filtros de armónicos activos ha aumentado en la mayoría de las redes. Además, un filtro de armónicos activo sigue siendo una excelente solución para situaciones muy específicas. Estos incluyen grandes instalaciones de potencia, como instalaciones con hornos de arco eléctrico, hornos de inducción o equipos de soldadura (1). A través de la implementación de soluciones de progreso de la calidad de la energía, es posible obtener ahorros económicos y energéticos de la subestación mientras se mejoran los procesos industriales. Los procesos de producción masivo requieren máquinas industriales de funcionamiento continuo extremadamente precisas. Los problemas de calidad de la energía, como altos niveles de distorsión armónica, descensos de voltaje e interrupciones, pueden ser devastadores y provocar costosos tiempos de inactividad en la producción, desperdicio de material, daños en el equipo, en última instancia, pérdida de producción. Otro problema de calidad de la energía que suele perjudicar a estas instalaciones es el bajo factor de potencia, que incrementa las pérdidas de la instalación y los costes energéticos (2) .

La contaminación armónica es el resultado de armónicos en la electricidad. Estos armónicos son originados por cargas no lineales en la red. Por ejemplo, una lámpara LED. Dependiendo de la fuerza de la red (impedancia

de la red) y la magnitud de las corrientes armónicas, la tensión se distorsionará y la calidad de la tensión se deteriorará. Como resultado, el equipo conectado puede funcionar mal o fallar. Además, las corrientes armónicas pueden sobrecargar el equipo y los cables, dando como resultado pérdidas (de energía) y calentamiento innecesario de cables y componentes. El peor de los casos podría ser la acumulación de temperatura que provoque un incendio (1).

En 2015 la capacidad instalada en el mundo de generación de energía eléctrica ha sido de 6208 GW. Siendo el continente asiático en donde se instaló el 46 % de la energía total, seguida por Europa con el 23 %, Norteamérica con el 22 % y Sudamérica con un 4.5 %. en la que claramente se puede tener en conocimiento que la mayor capacidad de generación instalada fue en los países asiáticos (3). Asimismo, el continente que genera mayor energía en el mundo es Asia. Siendo China el principal productor de energía con una producción de 7,482 TWh por hora seguido por estados unidos con una producción de 4,385 TWh. En cuanto la producción en Sudamérica, Brasil es el país que encabeza la lista con una producción de 615 TWh. Perú tiene una producción de 4,899 GWh. Y un consumo de 4,500 GWh (3).

Un reporte de Osinergmin indica que cerca de 1800 GWh son consumidas por distribuidoras, otros 1400 GWh son consumidas por los grandes usuarios libres y cerca de 1000 GWh son consumidas por usuarios libres. Por otro lado, en el reporte del año 2020 se notó que hubo una caída en la demanda de energía eléctrica en un 23 % en los meses de marzo a mayo, esto a causa de la pandemia (4). Aparte de ello, la demanda de la energía eléctrica fuera del costo que esta puede tener también está en función a la calidad. La calidad de la energía está en función a la fuente de energía del cual es generada, dentro del parque de generación en el mundo está la generación por combustibles fósiles, hidroeléctricas, nuclear, solar, eólica y geotérmica (5).

De todas las fuentes mencionadas, en el Perú la producción de energía se da contando desde fuentes hidráulicas, térmicas, eólicas y solares, según el último reporte del año 2020 las centrales hidroeléctricas registraron una

producción de 2.790 GWh. Las centrales térmicas registraron una producción de 1691 GWh. Las centrales eólicas registraron una producción de 147 GWh y las fuentes solares registraron una producción de 74 GWh (5).

La calidad de energía es un factor muy importante que se tiene que considerar al momento de adquirir un suministro, el instituto *Electric Power Research Institute* lo define como “cualquier problema de potencia manifestado en la desviación de los parámetros eléctricos de sus valores ideales que ocasione falla o mala operación del equipo de un usuario”. Asimismo, para la IEEE el término de calidad hace referencia al comportamiento de los parámetros eléctricos como corriente y voltaje en un determinado tiempo y ubicación (6).

En el Perú, la calidad de energía está regularizado por la Norma Técnica de Calidad de los servicios Eléctricos (NTCSE) que fue aprobada en el año 1997, en esta norma se establecen los estándares mínimos que puedan garantizar la calidad de energía (7). Los parámetros que definen la calidad de energía eléctrica tomando en cuenta la norma técnica de calidad son las perturbaciones donde se debe tener en cuenta algunos parámetros de tensiones armónicas.

En cuanto a la generación y calidad de energía, haciendo mención de que esta influye en el desempeño de las operaciones de una empresa (maquinarias) en el distrito de Sapallanga de la provincia de Huancayo de la región Junín, se ubica la cooperativa Agropia que es una empresa agroindustrial dedicada a la producción de productos agroindustriales, siendo una de sus líneas la producción de *chips* de papas nativas para exportación, línea en la cual cuentan con quince maquinarias que en su mayoría cuentan con actuadores eléctricos (motores eléctricos, variadores de frecuencia, relés, etc.) quienes tienen un desempeño en función a la calidad de energía.

La cooperativa actualmente no cuenta con un sistema eléctrico que acceda a analizar la calidad de energía eléctrica, donde las máquinas que entran en funcionamiento sufren paradas inesperadas, algunos no tiene buen desempeño puesto que los actuadores eléctricos no cuentan con un suministro

apropiado, todo lo mencionado influye en los indicadores de producción, puesto que, a causa del mal desempeño de las máquinas no se llega a cumplir la producción ordenada; además, de la calidad del producto para exportar, se afecta la cooperativa.

Por todo lo expuesto, de la importancia de la energía, la generación y consumo en el mundo, el continente, y el Perú, la importancia de la calidad y su influencia en el desempeño de maquinarias en las operaciones de una organización, este estudio tiene como propósito, en principio, analizar la calidad de energía que es suministrada a la cooperativa, validar con la norma técnica de electricidad, y en función a ello realizar una propuesta de mejora que permita mejorar la calidad de energía eléctrica para un mejor desempeño de las maquinarias con la que cuenta en la línea de producción de *chips*.

1.1.1 Formulación del problema

1.1.1.1. Problema general

¿De qué manera el sistema de filtros propuesto influye en la calidad de la energía eléctrica en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021?

1.1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cómo influye el sistema de filtros propuesto en la forma de la onda de tensión en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021?
- ¿De qué manera influye el sistema de filtros propuesto en los niveles de armónicos más relevantes en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021?
- ¿De qué manera influye el sistema de filtros propuesto en el nivel de *flicker* causado por los interarmónicos en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021?
- ¿Cómo influye el sistema de filtros propuesto en el factor de potencia en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021?

1.1.2. Objetivos

Para los propósitos de la idea principal de esta tesis se proponen los siguientes objetivos.

1.1.2.1. Objetivo general

Determinar el efecto del sistema de filtros propuesto en la calidad de la energía eléctrica en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.

1.1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto del sistema de filtros propuesto en la forma de la onda de tensión en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.
- Determinar el efecto del sistema de filtros propuesto en los niveles de armónicos más relevantes en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.
- Determinar el efecto del sistema de filtros propuesto en el nivel de *flicker* causado por interarmónicos en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.
- Determinar el efecto del sistema de filtros propuesto en el factor de potencia en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.

1.2. Justificación e importancia

1.2.1. Práctica

Los resultados del estudio posibilitarán mejorar la calidad de energía en la planta de producción de la empresa Apropia y permitirá un mejor desempeño de las máquinas que conforman cada etapa de toda la cadena productiva, de igual manera incidirá en el cumplimiento de los indicadores de producción y la calidad del producto, así como se reducirán los costos de mantenimiento y las paradas inesperadas.

1.2.2. Teórica

La investigación se justifica teóricamente, puesto que, a partir del estudio de la calidad de energía con la que en la actualidad cuenta la cooperativa, se podrá conocer a mayor detalle el comportamiento de los parámetros eléctricos que influyen en la calidad de energía como son (corriente, voltaje, potencia y los armónicos). Esta investigación servirá como antecedente frente a futuras investigaciones en temas de calidad de energía y su importancia.

1.2.3. Social

La investigación se justifica socialmente porque servirá como fuente para próximas investigaciones y para la cooperativa Agropia. Además, los resultados de la investigación tendrán relevancia social, porque a partir de la mejora en el desempeño de las máquinas que conforman cada etapa de toda la cadena productiva se incrementarán las utilidades en beneficio directo de los asociados de la cooperativa Agropia y las personas que dependen económicamente de ellos.

1.3. Hipótesis y descripción de las variables

1.3.1. Hipótesis general

El sistema de filtros propuesto permitirá mejorar la calidad de la energía eléctrica en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.

1.3.2. Hipótesis específicas

- El sistema de filtros propuesto mejora la forma de la onda de tensión en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.
- El sistema de filtros propuesto disminuye el porcentaje de armónicos más relevantes en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.
- El sistema de filtros propuesto disminuye el nivel de *flicker* causado por interarmónicos en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.

- El sistema de filtros propuesto mejora el factor de potencia en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.

1.3.3. Variables – operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones
(VI) Sistema de filtros	“Son filtros de corriente, diseñados para atenuar los armónicos problemáticos dentro de los parámetros definidos o amortiguar las resonancias del sistema para evitar la amplificación de armónicos” (p. 15).	Registro de valores obtenidos a partir de la simulación en el software Simulink.	<ul style="list-style-type: none"> - Voltaje nominal - Frecuencia nominal - Potencia reactiva nominal - Frecuencia sintonizada
(VD) Calidad de energía	“Es la calidad de energía eléctrica como conjunto de características, técnicas y comerciales, inherentes al suministro eléctrico exigible en las normas técnicas y legales para el cumplimiento de las empresas eléctricas” (p. 9).	Registro de parámetros obtenidos mediante la instalación de un analizador de redes de acuerdo con la norma técnica de calidad de la energía eléctrica.	<ul style="list-style-type: none"> - Tensión - Armónicos - Perturbaciones - Factor de potencia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

La investigación "*Filtro activo de potencia para compensar la distorsión armónica de un sistema fotovoltaico autónomo*" (8), se basó en el diseño de un filtro activo de potencia, para lo cual se evidenció que los SFV autónomos interfieren en la calidad de energía dado a la producción de armónicos y ocasionando un mal funcionamiento de las cargas y vida útil. El filtro activo de potencia pretende ocasionar una señal de compensación sobre las armónicas no deseadas e interferir a través de una fase inversa mitigando las armónicas. Después de dimensionar los elementos del filtro activo, se procedió a simular e implementar. De la investigación se pudo concluir que el diseño del filtro activo de potencia agregó el censado de la señal y fases de señales para generar señales de compensación fundada en la potencia instantánea. Acerca de la implementación del filtro y mediante la simulación, se evidenció la disminución del factor armónico de 48.3 % a 2.61 %, cumpliendo con la IEEE596 americana y L0000-45 mexicana. Es decir, se pudo solucionar un problema real que puede darse para diversos sistemas fotovoltaicos de potencia distinta (8).

La investigación "*Comportamiento de las armónicas de voltaje y corrientes, debido a desbalances de líneas en un sistema eléctrico de potencia con cargas no lineales*" (9), se realizó en torno al análisis de los desbalances de voltaje para una fase de la red de repartición industrial que involucra filtros pasivos frente a la disminución armónica y revisión de potencia. La investigación toma en cuenta diversos niveles de abatimientos de voltaje y la condición de desbalance crítico. La situación de operatividad de los filtros armónicos se da por la sintonía de la atenuación en 5^a, 7^a, 11^a y 13^a armónica para la existencia del balance de red. El filtro está sometido a cambio de condición con los desbalances, lo que resulta para armónicas de secuencias cero, positiva y negativa. El estudio planteó las evaluaciones de índices armónicos por la IEEE519, sobre todo respecto a los desbalances. Como instrumento de análisis se empleó el software PSCAD. Para finalizar, se pudo concluir con la realización del estudio con filtros sintonizados de armónicas, donde los índices trifásicos de distorsión armónica son elevados. Además, para un sistema trifásico balanceado y con desfase de 120 grados se evidenció que las armónicas presentan una secuencia de sus respectivos fasores. Gracias al análisis del comportamiento del sistema contaminado se pudo demostrar el origen de otras armónicas que no estaban en la red balanceada. De la misma forma, gracias al empleo de las redes de secuencia se pudo definir el comportamiento de las armónicas por desbalances, siendo estas desbalanceadas de las de secuencia negativa y positiva (9).

La investigación "*Filtro activo de potencia para instalaciones bifásicas con capacidad de balance de corrientes*" (10), tiene un diseño basado en la propuesta de la utilización de dos topologías de inversores, representando filtros activos de potencia bifásicos. Estos últimos poseen mejor capacidad de compensación y brindan un mejor balance de la potencia activa con 180° y 120° entre fases. El problema se da debido a que en la actualidad se han presentado muchas cargas eléctricas de alto consumo, generando desbalances de corrientes para cada fase. En

Ecuador el cableado de la red en su mayoría es monofásico, o sea, con el tiempo y debido a la energía mayor requerida se añadió una segunda fase de soporte. El inconveniente observado fue que, en muchos hogares, la segunda fase se usa para artefactos de gran consumo como calentadores eléctricos o cocinas de inducción, mientras que la toma original es para lo restante de equipos. Ello genera la sobrecarga en una fase, sin una adecuada redistribución de cargas. En conclusión, se tuvo evidencia que el filtro activo de potencia propuesto para sistemas bifásicos puede ser de forma capaz, balancear la potencia para las fases; respecto al control, se fundamentó en un algoritmo y un controlador PI en función de un voltaje del bus estable DC. El APF se desarrolló para sistemas bifásicos de cableado trifásico, ello con variadas cargas no lineales. Igualmente, el THD de corriente disminuyó de 44 % a 9 % (10).

La investigación *“Estudio comparativo de cinco estrategias de compensación de armónicos en filtros activos de potencia”* (11), consistió en conocer el ejercicio de cinco algoritmos en condiciones de voltajes distorsionados. Consiste en la implementación de los algoritmos de potencia reactiva instantánea, compensación perfecta de armónicos, marco de referencia síncrono, factor de potencia unitario y algoritmo; proceso basado en la simulación Matlab. Adicionalmente se tuvo que emplear un sistema eléctrico de cargas lineales y no lineales, con lo cual se ha pretendido calcular la distorsión armónica general, la corriente de línea eficaz y el factor de potencia trifásico. Parte de la metodología también era registrar valores antes y después de la conexión a la red del filtro activo de potencia, ello por separado y con iguales condiciones. Para finalizar, se concluyó con la demostración del antes y después sobre la conexión del filtro activo de potencia, además del factor de potencia y la distorsión armónica. Adicionalmente, se pudo mostrar la forma de onda del voltaje del inversor para cada algoritmo empleado. Otro punto importante fue que el algoritmo con mejor desempeño fue el de compensación perfecta de armónicos, debido al empleo de un filtro que

pasa bajo, a fin de reducir las consecuencias de los armónicos de los voltajes (11).

En el artículo *“Análisis de la calidad de energía y el consumo de energía eléctrica durante las pruebas de garantía de las plantas industriales”* (12), se da a conocer las pautas el consumo de energía y el análisis de los estándares eléctricos que faciliten determinar cuanta buena es la energía en el sector industrial. Otro de los puntos importantes que da a conocer el investigador es acerca de los analizadores de redes trifásicos el cual detalla las características con las que esta debe contar para poder realizar un buen diagnóstico en cuanto a calidad de energía. Estas características generales de los analizadores de redes son la medición de Voltaje con una precisión de $\pm 0,5\%$, medición de corriente, medición de potencia, medición de energía consumida y generada, medición del factor de potencia, medición de armónicos de corriente y tensión, medición de la distorsión armónica total (thd) (12).

Por otro lado, el investigador hace mención que hay otras características adicionales que deben tener los instrumentos para medir la calidad de energía eléctrica, el cual estará en función a la característica de las empresas. Ente caso el investigador realizó la medición de la calidad de energía con un analizador de redes y un registrador en una empresa de producción de aceite. Entre las conclusiones más resaltantes se puede dar a conocer que todos los equipos no son apropiados para la medición de parámetros eléctricos para, con ello, validar la calidad de energía, ya que por ejemplo, una empresa de generación eléctrica tiene un comportamiento muy distinto a la de una de producción de productos de consumo masivo (12).

2.1.2. Antecedentes nacionales

En la investigación *“Selección de un sistema de filtros de armónicas para el mejoramiento de la calidad de energía eléctrica en la facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica - UNPRG”* (13), el propósito ha sido hacer una selección del sistema de filtros que disminuyan las consecuencias de

los armónicos y optimicen la energía eléctrica de la FIME-UNPRG. Por otro lado, el autor indica que se seleccionó un filtro activo cuya versatilidad permite reducir significativamente el valor del THDI generado en el centro de producción FIME donde se tiene una mayor incidencia, principalmente por los equipos de soldadura, pasando de un THDI de 96.12 % a un valor por debajo del 5 % (dentro de la norma), inyectando una intensidad de corriente de 50 A según características de fabricación del equipo aunque los cálculos realizados establecen 33.10 A (13).

El resultado de la investigación logró concluir que, se tiene manejo sencillo de las distorsiones en los diferentes ámbitos sujetos a estudio, debido a que los valores de corriente son relativamente bajos comparados con los que se presentan en una industria de envergadura o en un sistema de potencia (13).

En la investigación “*Estudio del mercado eléctrico peruano*” (14), el investigador justifica su trabajo porque cuenta con el suministro de energía eléctrica, fundamental para el desarrollo de cualquier actividad y es por lo que el estado trabaja arduamente para brindar el servicio mencionado, sin embargo, en los próximos años la demanda será mayor y se estima que para el año 2028 exista una crisis de abastecimiento del servicio eléctrico. Frente a ello, el investigador plantea que se desarrolle nuevas fuentes de energía e impulsar las que existen para que de esta manera se pueda abastecer la demanda de los próximos años a mediano plazo. La investigación tuvo como propósito principal “estudiar el mercado eléctrico peruano” (14).

En principio, el investigador explica la generación, la transmisión y la distribución de la energía eléctrica. Para ello, da a conocer el marco legal del sector eléctrico, donde explica la creación y función de Osinergmin. Por otro lado, menciona distintas fuentes de generación de que hay en el Perú como son las centrales hidroeléctricas, las termoeléctricas, las eólicas y las solares fotovoltaicas. En cuanto a la

demanda eléctrica, el investigador da a conocer que en los últimos años la demanda de energía en el Perú ha ido creciendo a un ritmo de 5.5 % en promedio. Otro de los puntos importantes en el trabajo de investigación es la tarifa de la distribución eléctrica. El investigador concluye que el Perú es un país que depende principalmente de recursos hidrotérmicos para la producción eléctrica, además de ello, en términos económicos, la energía en el Perú es cara (14).

La tesis "*Evaluación del comportamiento de voltajes y corrientes armónicas para la mejora del control en un alimentador de media tensión - casa concesionaria de un sistema de distribución*" (15), se desarrolló mediante un sistema experimental, según el debido protocolo de monitoreo y calibración, de la toma de datos del experimento como la lectura mediante instrumentos, y sobre la resolución mediante el análisis de onda, frecuencia y cuantificación energética. Las empresas concesionarias de electricidad, en la actualidad, tienen como exigencia legal las políticas de calidad buscando lograr en el estado estacionario una señal trifásica de voltaje con frecuencia constante. Sin embargo, con el desarrollo de la electrónica de potencia y la manufactura, se han distorsionado las señales, perturbando la calidad de la onda. La tendencia actual de la industria es de cierta forma reducir los niveles de las armónicas permisibles económicamente, pero seguros por medio del filtrado de estas señales. La tecnología ha dado lugar a filtros con tiristores que, si bien regulan la potencia, también minimizan el resultado de las armónicas. Las armónicas pueden distorsionar la potencia y también generar pérdida de energía minimizando el rendimiento de equipos y circuitos relacionados a la distribución eléctrica (15).

De la investigación se pudo concluir que las mejoras en la calidad del servicio podrían generar inconvenientes respecto a nuevos voltajes y corrientes armónicas. Estas últimas no se consideran componentes transitorias de las redes eléctricas, más bien se consideran señales de estado estacionario que no van de acuerdo con las características

normativas. La finalidad del control es lograr un comportamiento basado en corrientes de línea sinusoidales. Conservar la tensión del condensador en un rango apropiado, implica un control justo de la potencia activa de salida respecto al convertidor. La potencia media de salida del filtro activo, para cada periodo de la frecuencia se debe conservar baja en teoría, a fin de eliminar la transferencia amplia de energía del condensador de almacenamiento (15).

La investigación *“Análisis de las corrientes armónicas en baja tensión y su incidencia a la calidad del producto del Hospital Regional del Cusco, 2018”* (16), ha sido de nivel descriptivo, sin embargo, se tomó en cuenta que los resultados debían ser aplicables a diferentes circunstancias y escenarios relacionados. Igualmente se emplearon equipos de medición sobre parámetros de corriente, voltaje, frecuencia, potencia armónicas de secuencia y variación del THDi. La necesidad en la calidad de energía eléctrica, pues el objetivo de la empresa del rubro es brindar un producto satisfactorio para los usuarios. El comienzo del problema se da por la existencia en su mayoría de cargas no lineales, lo cual genera corrientes altamente contaminadas. Cuando esta última se propaga generará a su vez pérdidas de potencia, caídas de tensión y distorsiones armónicas. A fin de tener mejor calidad del producto, se proponen distintas soluciones asentadas en filtros pasivos y activos (16).

En este sentido, se pudo concluir que, gracias a la base de datos de las cargas, a las que alimentan las subestaciones, se pudo determinar que en las subestaciones del alimentador DO06, la polución armónica es preocupante con un 19 %, a pesar de su incremento lento. Asimismo, se pudo encontrar que, sobre las armónicas de tensión, en THD V no vulneran la normativa de calidad. Las componentes armónicas respecto a SED en THDi presentaron valores mayores al 20 %, rebasando el Standard IEEE519. Puntualmente, el filtro pasivo ha sido considerado como elemento de control, este mismo fue dimensionado concretamente para cada armónica 5°, 7°, 11° y 13°. Este sistema optimiza los

parámetros operativos tomando de referencia a la figura 151 corrección del factor de potencia. Es importante mencionar que la implementación del filtro pasivo ha ocasionado que el THDi se reduzca de un 22 % a un 5 %, mejorando considerablemente la calidad de energía (16).

En la investigación *“Estudio de la calidad de la energía eléctrica para mejorar la confiabilidad de activos y la productividad en la empresa Creditex S. A. A.”* (17) el objetivo fue establecer los factores que estén generando que la energía eléctrica sea baja y tenga efectos negativos en el nivel de seguridad de los equipos de producción. Por otro lado, el investigador logró establecer cómo se eligen los equipos, considerando los modelos creados por la empresa Schneider, a través de un estudio económico y de finanzas se lograron resultados positivos, “se disminuyó la capacidad activa en valores de 68.18 kW, y la potencia reactiva en valor de 204.83 kVAR. Beneficiando con noventa mil ciento cincuenta y cinco soles como consecuencia de la reducción de la potencia activa, y un beneficio de doscientos quince mil seiscientos seis soles cada año, por la optimización de la calidad de la energía, mediante estudios financieros se logró un tiempo de retorno de lo invertido de medio año (17).

Como resultado de la investigación se logró concluir que los factores que originan los armónicos son las cargas no lineales, y como solución la implantación de filtros de armónicos (17).

En la tesis *“Implementación de un sistema de compensación reactiva y filtrado de armónicos en la planta de producción de Clorox para mitigar los problemas de calidad de energía”* (18), se describe en principio el sistema eléctrico de cloro, en el cual detallan los problemas que tiene la empresa en cuanto al suministro de la energía, de mala calidad, el cual es caracterizada por la presencia de armónicos y sobretensiones, y alteraciones que afectan el factor de potencia. El objetivo principal de la investigación fue implementar un sistema de compensación reactiva,

filtrado de armónicos que mitigue los problemas de calidad de energía en el sistema eléctrico de la empresa Clorox (18).

En cuanto a la hipótesis de la investigación se plantea que implementado el sistema de compensación reactiva y filtrado de armónicos se mitigarán los problemas de calidad de energía en el sistema eléctrico de la empresa Clorox. Para iniciar la implementación del proyecto de la propuesta de mejora, se define el área de trabajo que en este caso fueron las subestaciones, eléctricas 1 y 2; luego de ello, se realiza la recolección de datos a través de un equipo electrónico un analizador de redes modelo Dranez Power Guide 4400. La primera prueba la realizaron en la subestación N1. En el cual se coloca el instrumento por una semana y la segunda prueba fue realizada en la subestación N2, de igual manera en un periodo de una semana. De la subestación N1 se obtuvo los siguientes resultados: factor de potencia de 0.9260, por debajo del valor referencial (> 0.957) y la tensión se encontró dentro de los límites establecidos en la NTCSE. En el caso de la subestación N2 el factor de potencia fue de 0.9055 y de igual manera por debajo del valor referencial (> 0.957). La tensión en ambos se encontró en los límites establecidos en la NTCSE (18).

Luego del diagnóstico se implementó una alternativa de solución para corregir los armónicos que en este caso fueron filtros, además de interruptores de protección; luego de la implementación de la propuesta de mejora y mediciones por una semana, se obtuvieron como resultado en ambas subestaciones que los parámetros eléctricos están dentro de los rangos establecidos por la NTCSE. Por otro lado, se logra mejorar el factor de potencia de las 2 subestaciones a 0.977. Entre las conclusiones más resaltantes se dan a conocer que el proyecto es viable, ya que se logra minimizar el consumo de energía y mejorar la calidad de energía, asimismo, el tiempo de recuperación de la inversión es de 2.1 años a 4.8 años para el proyecto implementado (18).

En la tesis *“Influencia sobre la tensión eléctrica en la calidad de suministro”* (19), el objetivo fue brindar una solución económica eficiente a los desniveles de tensión para, de esta manera, poder proteger a los equipos y brindar información necesaria a los usuarios sobre el uso adecuado de la energía. Por otro lado, los investigadores mencionan un punto muy importante en cuanto a la calidad de energía, el cual se mide en función al número de interrupciones que se realizan constantemente. Donde se puede ver reflejado en el desempeño de la máquinas (fallas, mantenimientos frecuentes) a causa de la mala calidad de energía. En este trabajo de investigación los investigadores tomaron como referencia información de empresas dedicadas a la distribución de luz. Para que con ello, los investigadores puedan corroborar parámetros como voltaje, interrupciones y de esta manera determinar la calidad de energía (19).

En principio, los investigadores definen las principales causas por la que se origina la mala calidad de energía como la red eléctrica y la instalación. Partiendo de ello, definieron los problemas energéticos que se presentan con mayor frecuencia y provocan daños considerables, asimismo, presentaron su respectiva alternativa de solución para problemas. Los problemas que diagnosticaron son los siguientes (19):

- Falta total del suministro por periodos prolongados. A causa de falta de mantenimiento del sistema eléctrico de toda la red (19).
- Falta total del suministro por periodos muy breves. A causa de las centrales de distribución, la solución que plantearon los investigadores fue implementar un UPS (19)”.
- Baja tensión de la red de energía suministrada en forma permanente e intermitente, causada por la línea de distribución por la baja capacidad de la red (19).
- Alta tensión de la energía suministrada en forma permanente e intermitente causada por un transformador mal dimensionado. Para estos dos últimos problemas los investigadores plantearon implementar un UPS con regulador integrado (19).

- Sobretensiones muy elevadas, causadas por el encendido y apagado de las cargas. Para ello plantearon implementar un regulador de voltaje, con limitadores de tensión (19).

Como resultado de la investigación lograron concluir que existe una fuerte implicancia entre la tensión y la calidad de energía, ya que ello influye en el desempeño de la maquinaria dentro de la planta, por ende la producción se ve afectada, además de los costos de mantenimiento con montos considerables (19).

2.1.3. Antecedentes locales

En la investigación “*Evaluación de la calidad de la energía en Radio Universitaria*” (20), el estudio fue de tipo descriptivo, causal y comparativo al analizar las mediciones de los armónicos de tensión y corriente. Ello con los límites según la NTCSE. Para definir la buena o deficiente calidad de energía, se han etiquetado por códigos con la intención de detectar cualquier tipo de curva. Según la evaluación NTCSE, se evaluó la tensión RMS en 15 minutos, así como las armónicas individuales y THD en 10 minutos. Se pudo concluir de los exámenes realizados la estación transmisora de la radio, que la tensión y los armónicos de tensión están dentro de los niveles de la NTCSE. Por el contrario, el THDi está fuera de lo establecido en la normativa mencionada. Se determinó que la calidad de energía no es correcta y que, del examen a los valores armónicos de tensión, no superan la tolerancia establecida por la NTCSE. De la evaluación a las corrientes armónicas, se detectó que el equipo electrónico dentro de receptores y transmisores generan la introducción de corriente armónica, generando que se supere lo tolerable según el estándar IEEE 519, resaltando la armónica de 5to orden en cuanto a variación de tensión y corriente (20).

En la investigación “*Descripción de los parámetros de la calidad de energía eléctrica del sistema de utilización de la clínica Rebagliati, Huancayo, 2020*”, (21), el tipo de estudio fue científico, descriptivo simple, para lo cual se empleó el análisis de 6025 mediciones de calidad por

medio del analizador Unilyzer 902 y el Telurómetro HR-521. Se consideró para los parámetros de calidad de energía eléctrica, la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos (NTCSE) y algunas reglas internacionales como la IEC 61000, IEEE1159-1995 (R2001) y IEEE 519-1992. Los registros de tensión son válidos para los límites de +/- 5 % según la NTCSE. Los relacionados al índice de severidad a corto plazo (PST), no están en el límite ($PST \leq 1$) según lo indica la NTCSE, asimismo, los de largo plazo (PLT), según la EN50-160 ($PLT \leq 1$) tampoco están dentro de los parámetros regulados por la mencionada norma. Adicionalmente, se observaron 140 transitorios impulsivos, lo cual fue ocasionado por las cargas inductivas y puesta a tierra deficientes. Respecto a las pruebas de medición con Unilyzer 902, se pudo concluir que la frecuencia medida se encuentra en los límites permitidos del +/- 0.6 % de la NTCSE. Igualmente, se detectó que los armónicos individuales de tensión (V_i) sí cumplen con lo establecido según la NTCSE. Por otro lado, se evidenció un desbalance de tensión del 3.4042 %, y sistemas de puesta a tierra deficientes.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Energía eléctrica

2.2.1.1. Definición

La energía eléctrica, es una fuente de energía secundaria generada por la conversión de fuentes primarias de energía como la fósil, nuclear, eólica o solar. Mantener el flujo de energía hacia los hogares y negocios estadounidenses es una necesidad crítica para la vida diaria y la vitalidad económica. El departamento de Energía trabaja para mantener la red a salvo de ataques físicos y cibernéticos; se asocia con los estados y otras partes interesadas para planificar una infraestructura más resistente que pueda resistir mejor los fenómenos meteorológicos extremos y apoya los esfuerzos para aumentar la eficiencia de la red y el almacenamiento de energía a medida que se conectan más fuentes de energía renovable (22).

La electricidad es el flujo de energía o carga eléctrica. La electricidad es una parte básica de la naturaleza y una de las formas de energía más utilizadas. La electricidad también se conoce como un portador de energía, lo que significa que se puede convertir en otras formas de energía, como la energía mecánica o el calor. Las fuentes de energía primaria son energías renovables o no renovables, pero la electricidad que se utiliza no es renovable ni no renovable (23).

La energía potencial eléctrica está presente cuando las cargas eléctricas positivas y negativas se separan entre sí, al igual que una batería. Cuando enciende un dispositivo que funciona con batería, como una linterna o un juguete, la energía potencial eléctrica almacenada en la batería se convierte en otras formas de energía, como sonido, movimiento mecánico, energía térmica y luz. Para un aparato eléctrico que enchufa, la energía potencial eléctrica se mantiene mediante un generador giratorio de una planta de energía, una presa hidroeléctrica o un molino de viento. Una celda solar almacena energía potencial eléctrica similar a una batería siempre que el sol brille sobre ella (24).

Es considerada como un fenómeno que se encuentra ligado de forma íntima con la vida y la materia; es decir, todo lo que se encuentra alrededor de las personas y lo que se observa del entorno ambiental. Asimismo, se encuentra compuesto por partículas y electrones que se encargan de girar alrededor de núcleos atómicos, las cuales se encargan de que se desenvuelvan los fenómenos electromagnéticos de forma adecuada para conseguir aprovechar la energía eléctrica de forma adecuada e implementarla en la población. También, es definida como la acción que da origen a los electrones para que consigan trasladarse de un punto hacia otro y consiga brindar electrones en un material que se encuentra escaso (25).

2.2.1.2. La electricidad

La electricidad “viene a ser una forma de energía, que está presente en la gran mayoría de actividades del hombre, esta se produce en las centrales eléctricas a partir de la transformación de una energía primaria (hidráulica, térmica, solar, nuclear, eólica, etc.) (26) (p.15). Luego se transporta mediante la electricidad hasta la parte principal de la población y la industria, transformándose en formas de energía diferentes (26).

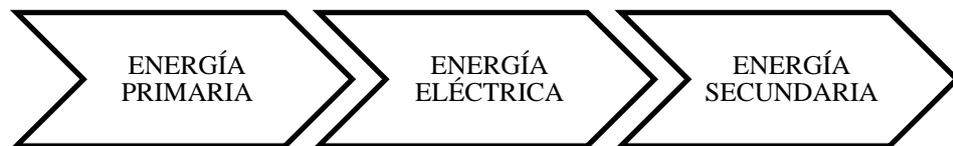


Figura 1. Proceso de transformación de energía eléctrica

2.2.1.3. Parámetros eléctricos

Las cantidades eléctricas básicas son corriente y voltajes, carga eléctrica, resistencia, capacitancia, inductancia y energía eléctrica. La electricidad es un flujo de libres electrones que contienen electricidad negativa desde un lugar de su exceso (el lugar con carga negativa) a un lugar de su deficiencia (el lugar con carga positiva) (27).

Los parámetros eléctricos proporcionan soluciones y análisis de los distintos conflictos que puedan desenvolverse en los sistemas de potencia y en el proceso de verificación del contrato de un suministro. Ello, permite identificar los valores que muestran las reactancias sincronizadas al eje cuadratura y al eje directo con el objetivo de establecer el valor máximo de la potencia reactiva que puede proveer una máquina (28).

a. Tensión o diferencia de potencial (V)

Es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico. El voltaje eléctrico es una diferencia de potencial entre dos lugares con cargas diferentes. El voltaje

proporciona la capacidad de mover cargas y, por lo tanto, hacer un trabajo. El voltaje también se denomina a veces fuerza electromotriz (EMF). El símbolo de voltaje es V o a veces U (V o de U, si el voltaje es cantidad variable de tiempo) y la unidad de medida es voltio (V) después de Alessandro Volta. La definición del SI es “el voltio es la diferencia de potencial entre dos puntos de un cable conductor que lleva una constante corriente de 1 amperio, cuando la potencia disipada entre estos puntos es igual a 1 vatio” (p. 6) (27).

El voltaje y la corriente eléctricos son manifestaciones del movimiento de la carga eléctrica, y pueden considerarse cantidades “activas”. Pueden transportar información en circuitos electrónicos. y sistemas o pueden considerarse solo una expresión de suministro y consumo de energía eléctrica. Métodos de medición e instrumentación (27).

Además, la tensión viene a ser un parámetro que resalta su importancia, porque la forma de la onda muestra diversos indicadores de la calidad de la energía, la medición permite identificar si existe parámetros bajos de tensión (29).

- **Tensión en componentes pasivos**

“La diferencia de las potencias que hay entre los terminales de un elemento pasivo está en función de las cualidades del elemento y de la fuerza de la corriente (29).

- **Tensión en una resistencia**

Viene dada por la ley de Ohm: $V = I \cdot R$

Las bobinas se utilizan en corriente alterna, que suelen modificar su tamaño con el tiempo, causando diferencias de potencias en sus terminales (29):

$$V = \frac{d\Phi_c}{dt} = \frac{dLi}{dt}$$

Si L es constante:

$$V = L \times \frac{di}{dt}$$

b. Corriente

La corriente es el flujo de carga y la carga fluye en una corriente. La corriente se informa como el número de cargas por unidad de tiempo que atraviesan un límite. Visualice la colocación de un límite a lo largo de un cable. Colóquese cerca del límite y cuente el número de cargas que pasan. Informe cuánta carga pasó a través del límite en un segundo. Se asigna un signo positivo a la corriente correspondiente a la dirección en la que se movería una carga positiva (27).

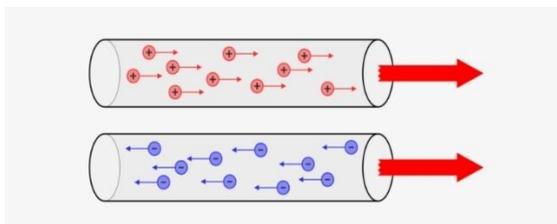


Figura 2. Comportamiento de la corriente. Tomada de <https://n9.cl/gu2hf>

Dado que la corriente es la cantidad de carga que atraviesa un límite en un período de tiempo fijo, se puede expresar matemáticamente utilizando la siguiente ecuación:

$$I = \frac{dq}{dt}$$

“Se denomina corriente eléctrica al desplazamiento continuo y ordenado de electrones a lo largo de un conductor” (p. 26).

“Sentido **real** de la corriente: del **polo –** al **polo +** del generador (a través del conductor)” (30).

Sentido convencional de la **corriente**: del polo + al polo – del generador (a través del conductor) (30).

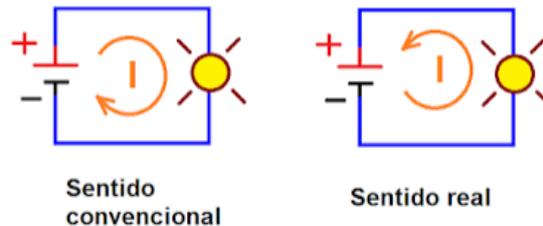


Figura 3. Orientación de la corriente. Tomada de <https://n9.cl/pcmbpu>

c. Resistencia

Las siguientes magnitudes eléctricas: resistencia, capacitancia e inductancia son pasivas cantidades. Describen el comportamiento y manifiestan propiedades de materiales y eléctricos, componentes en presencia de voltaje y corriente. La resistencia (símbolo R) es una cantidad eléctrica muy importante que indica cuánto. El voltaje es necesario para crear una cierta cantidad de corriente en un componente. La relación entre voltaje, corriente y resistencia viene dada por la ley de Ohm. La resistencia se mide en ohmios (símbolo Ω), el ohmio es la resistencia eléctrica entre dos puntos de un conductor cuando la diferencia de potencial constante es de 1 voltio (27).

$$R = \frac{V}{I}$$

- Resistencia eléctrica (R)

Viene a ser la oposición que se ofrece por un conductor que se recorre por la corriente.

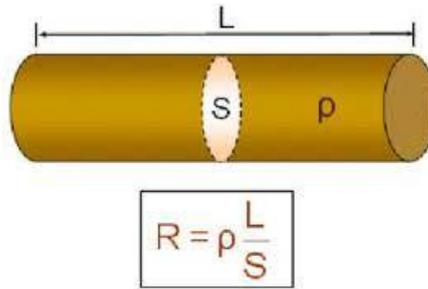


Figura 4. Resistencia eléctrica en un conductor. Tomada de <https://n9.cl/e1818>

Tabla 2. Notaciones científicas eléctricas

Prefijo	Símbolo	Factor	Equivalente		
Múltiplos	Exa	E	10^{18}	1000000000000000000	
	Peta	P	10^{15}	1000000000000000	
	Tera	T	10^{12}	1000000000000	
	Giga	G	10^9	1000000000	
	Mega	M	10^6	1000000	
	Kilo	k	10^3	1000	
	Hecto	h	10^2	100	
	Deca	da	10^1	10	
	Submúltiplos	Deci	d	10^{-1}	0.1
		Centi	c	10^{-2}	0.01
Mili		m	10^{-3}	0.001	
Micro		μ	10^{-6}	0.000001	
Nano		n	10^{-9}	0.000000001	
Pico		p	10^{-12}	0.000000000001	
Femto		f	10^{-15}	0.000000000000001	
Atto		a	10^{-18}	0.000000000000000001	

buscame en Google como Lizerindex

Nota: tomada de <https://n9.cl/6dxy6>

La resistencia de un conductor se ciñe en 4 factores:

- El tipo de material (resistividad)
- Su longitud
- El tipo de sección del conductor
- La temperatura

- Resistividad (ρ)

Es la capacidad que tiene un conductor para resistir la corriente (30).

Tabla 3. Resistividad (ρ)

Material	ρ ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
Cobre	0,0178
Aluminio	0,028
Hierro	0,13
Plata	0,016
Nicrom	1

Nota: tomada de <https://n9.cl/kun8p>

La resistencia de un conductor se calcula mediante la fórmula:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Donde:

ρ = constante de proporcionalidad

R = resistencia del conductor

S = sección transversal del conductor

Tabla 4. Resistencias

MAGNITUD	UNIDAD
R: resistencia eléctrica	Ohmios (Ω)
ρ : resistividad	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
l: longitud del conductor	metros (m)
s: sección del conductor	mm^2

Nota: tomada de <https://acmax.mx/resistividad>

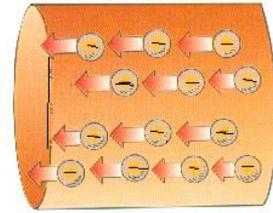
Para hacer mediciones de las resistencias se emplea el óhmetro; es preciso recalcar que en un circuito no debe haber energía que se conecte a este para hacer mediciones de la capacidad de resistencia (30).

d. Intensidad de corriente eléctrica (I)

La intensidad es la cantidad de electrones que se mueven por un conductor cada segundo.

Tabla 5. Intensidad de corriente eléctrica (I)

	Magnitud	Unidad
$I = \frac{Q}{t}$	I= intensidad de corriente	Amperio (A)
	Q= carga eléctrica	Culombios (C)
	t = tiempo	segundo (s)



Nota: tomada de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/ley-de-ohm/>

Cabe resaltar que el Amperio es una unidad tan grande que a menudo se utilizan submúltiplos:

- El miliamperio ($1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$)
- El microamperio ($1 \text{ }\mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$)
- El nanoamperio ($1 \text{ nA} = 10^{-9} \text{ A}$)

Según Osinergmin (31) “la intensidad de corriente se mide con el amperímetro, que debe conectarse en serie con el elemento cuya intensidad se quiere medir, de modo que todos los e- tengan que pasar por él” (p. 18) (31).

e. Potencia eléctrica (P)

“La potencia eléctrica es otro de los parámetros eléctricos indispensables dentro de la electricidad, la potencia eléctrica es el parámetro de la energía que se genera y la que se consume por un determinado tiempo en un circuito” (p. 9). La unidad de medida de la potencia eléctrica es el vatio. La potencia eléctrica se calcula a partir de la siguiente ecuación, el cual se muestra a continuación (32). En tanto, “la potencia es conocida como la mayoría de los aspectos físicos que consiguen variar la energía y el trabajo para obtener el resultado de parámetros con distintas variantes de salto” (33).

$$P = \frac{V \times I \times t}{t} = V \times I$$

Donde

P = potencia eléctrica (W) vatio

V = tensión eléctrica (V) Voltio

I = intensidad de corriente (A) Amperio

t = tiempo en segundos (s)

Potencia activa

La potencia activa es la capacidad de un circuito para transformar la energía eléctrica en trabajo. A este parámetro se le designa con la letra P y la unidad de medida es el (W). Asimismo, consiste en la estimación de la potencia monofásica de todos los medidores.

El cálculo de esta potencia se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$P = V \times I \times \cos \varphi$$

Donde

P = potencia eléctrica (W) vatio

V = tensión eléctrica (V) Voltio

I = intensidad de corriente (A) Amperio

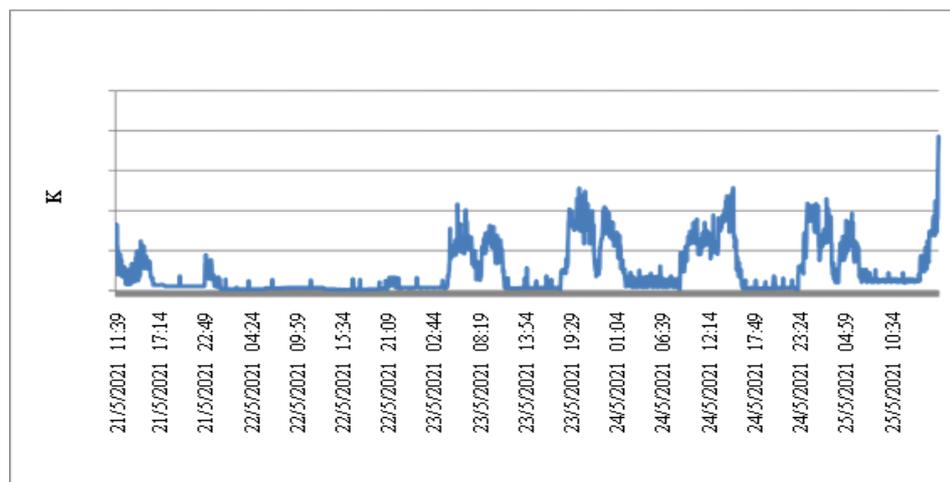


Figura 5. Comportamiento de la potencia

Potencia reactiva

“Esta potencia es la encargada de generar el campo magnético necesario para que las cargas inductivas tengan un correcto funcionamiento, esta potencia influye considerablemente en el desempeño de los motores” (p. 18). También, es la estimación de la potencia reactiva mediante fases o procesos que serán efectuados de distintas formas.

Este parámetro eléctrico tiene un valor nulo, su unidad de medida son los Voltamperios reactivos (VAR) y se les designa con la letra Q.

El cálculo de esta potencia se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$Q = V * I * \text{Sen } \varphi$$

Donde

Q = potencia reactiva (VAR) vatio

V = tensión eléctrica (V) Voltio

I = intensidad de corriente (A) Amperio

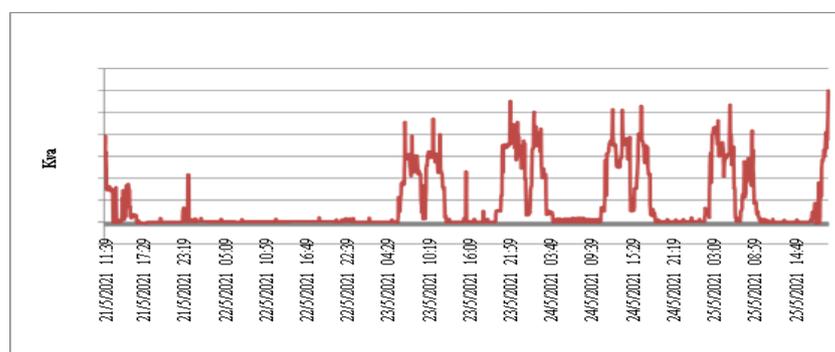


Figura 6. Comportamiento de la potencia reactiva.

Potencia aparente

“La potencia aparente es la suma de la energía que genera un determinado circuito en un intervalo de tiempo, esta potencia es

utilizada para la generación de campos magnéticos” (p. 9). Este parámetro eléctrico se mide en voltamperios y se designa con la letra S. El cálculo de esta potencia se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$S = V * I$$

Donde

S = potencia aparente (VA) vatio

V = tensión eléctrica (V) Voltio

I = intensidad de corriente (A) Amperio

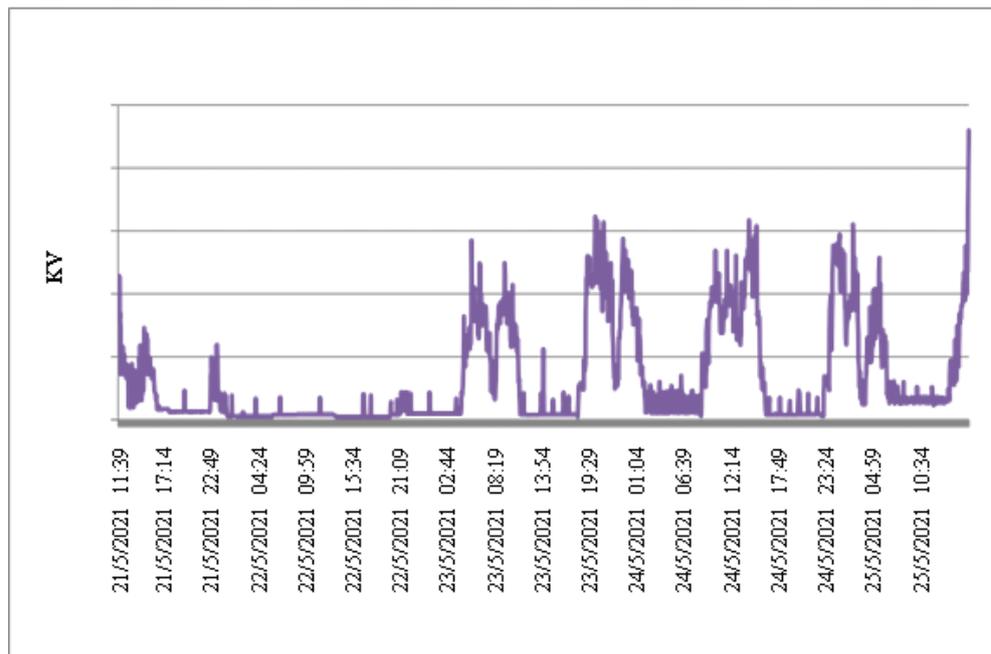


Figura 7. Comportamiento de la potencia aparente

2.2.1.4. La energía eléctrica en el Perú

Características:

- “Según el punto de vista técnico – económico, las actividades que realizan en el sector eléctrico comprenden: generación, transmisión, distribución, comercialización y la operación del sistema” (34).

- “La generación eléctrica se caracteriza por ser la primera actividad de la cadena productiva de la energía eléctrica” (34).
- “El transporte se realiza mediante las líneas de transmisión”.
- “La actividad que se encarga de llevar la energía eléctrica desde el sistema de transmisión al consumidor final se denomina distribución eléctrica” (34).
- “Finalmente, la comercialización eléctrica, la cual se clasifica en mayorista, es decir, se trata de la comercialización que existe entre generadores y distribuidores; minorista, se trata de la comercialización a usuarios se encuentra a cargo del operador” (34).
- En el Perú, el operador del sistema es el Comité de Operación Económica del Sistema (COES) (34).

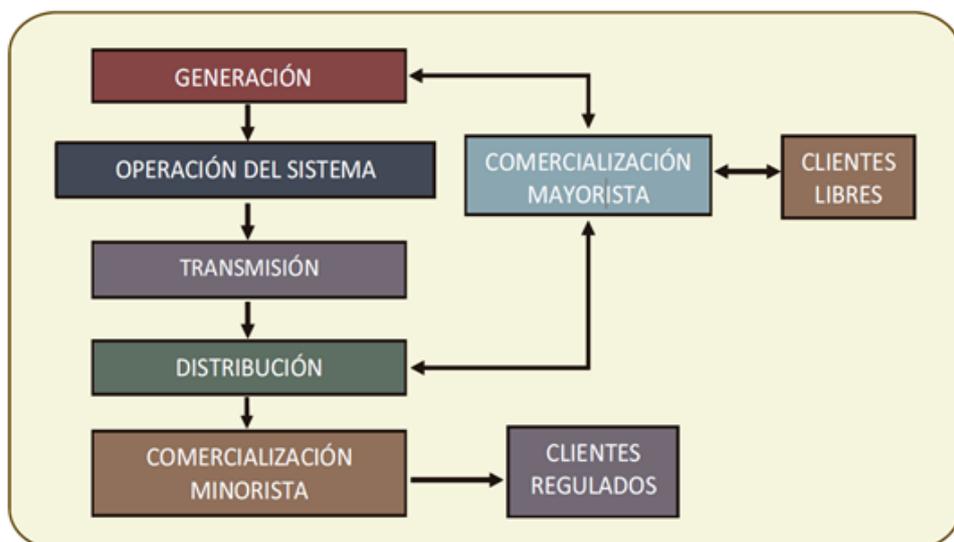


Figura 8. Características y actividades desarrolladas en el sector eléctrico. Tomada de <https://n9.cl/zbm2w>

2.2.2. Calidad de energía

2.2.2.1. Definición

“La calidad de servicio de energía es el conjunto de características, técnicas y comerciales, inherentes al suministro eléctrico exigible en las normas técnicas y legales para el cumplimiento de las empresas” (31).

“La calidad de energía se encuentra dentro de distintos fenómenos electromagnéticos, los cuales se caracterizan especialmente por la corriente eléctrica y la tensión que hay en ella” (35). Asimismo, se refiere específicamente al proceso de evaluar los distintos parámetros existentes de la energía, basándose en la forma de la onda, la frecuencia, la simetría de las señales y la amplitud de la corriente y la tensión. Es así como, la calidad de energía puede ser afectada, se encuentra relacionada con los distintos fenómenos existentes de electromagnetismo que sucede durante el proceso de redes eléctricas (36).

Sin la energía eléctrica la economía se vería estancada y se generarían crisis. Por eso es vital saber gestionarla eficiente y eficazmente. “Es en este contexto que, el concepto de calidad de la energía ha evolucionado en la última década a escala mundial, que va más allá de una simple continuidad o confiabilidad del servicio” (36).

Los parámetros primordiales que determinan un suministro de energía eléctrica son la tensión de alimentación (U) y la corriente (I).

“La calidad de voltaje está referida a un voltaje ideal, la cual es una onda senoidal a una sola frecuencia constante, y un concepto complementario sería también la calidad de corriente, el cual también es referido a una corriente ideal bajo los parámetros definidos a voltaje” (p. 14). Un requerimiento adicional es que esta onda senoidal esté en fase con el voltaje (36).

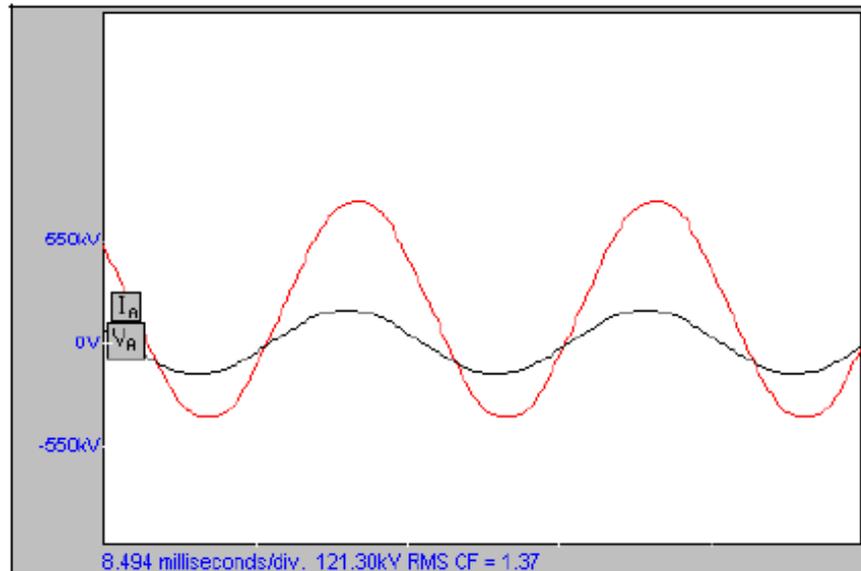


Figura 9. Ondas de tensión y corriente en fase. Tomada de <https://n9.cl/0o4o1>

2.2.2.2. Armónicos

Los armónicos son distorsiones de la onda, que alteran su característica normal (sinusoidal) original. Los armónicos son definidos como pulsos abruptos, que forman ondas de corriente distorsionadas (37).

Son considerados como una frecuencia periódica existente sobre ondas, las cuales consiguen ser denominadas frecuencias que proporcionan señales de ondas que provienen de la energía eléctrica. En tanto, es necesario mencionar que los armónicos se encuentran susceptibles al cruce existente entre el cero de voltaje y otros aspectos de la misma onda mediante la aparición de distorsiones que consiguen afectar el proceso de forma adecuada (37).

a. Origen de los armónicos

Las principales causas de las distorsiones armónicas son (38):

- ✓ Las reactancias electromagnéticas y electrónicas
- ✓ Equipos eléctricos para soldar

- ✓ Equipos electrónicos que se conectan a la red monofásica
- ✓ Las reactancias electromagnéticas para lámparas
- ✓ Arrancadores electrónicos
- ✓ Variadores de velocidad

b. Efectos de los armónicos en la red eléctrica (39)

- ✓ Mejora de la potencia que se transportará
- ✓ Disparo intempestivo de interruptores automáticos
- ✓ Conductores sobrecargados
- ✓ Vibraciones y sobrecargas en las máquinas
- ✓ Desarrollo de inestabilidades en el sistema eléctrico
- ✓ Relés de protección inactivos
- ✓ Reducción de la impedancia de los condensadores ($X_C = 1/\omega \cdot C$), lo que genera deficiencias de la batería autorregulada que se instala para corregir la potencia cuando se causa el fenómeno resonante $X_L = X_C$, esta situación es explicada con más detalle en el apartado D (39).
- ✓ Malas mediciones de los equipos de medida
- ✓ Las compañías eléctricas analizan las penalizaciones que se aplicarán en las instalaciones que generen armónicos, de igual forma que lo hacen para aquellas que generan energía reactiva (39).

c. Parámetros de los armónicos

Los armónicos se clasifican por tres parámetros: orden, frecuencia y secuencia que se encargan de definir la tarea del armónico que corresponde a las redes eléctricas (39).

En el caso específico de las baterías de condensadores para corregir la potencia, perjudican a los que se caracterizan por su secuencia negativa (38).

Tabla 6. Parámetros de los armónicos más usuales

<i>Orden</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Secuencia</i>
<i>1</i>	50	+
<i>2</i>	100	-
<i>3</i>	150	0
<i>4</i>	200	+
<i>5</i>	250	-
<i>6</i>	250	0
<i>7</i>	350	+
<i>8</i>	400	-
<i>9</i>	450	0
...
<i>n</i>	<i>50·n</i>	...

Nota: tomada de Armónicos, orígenes, y parámetros

d. Los principales efectos de los armónicos son los siguientes

- Sobrecalentamiento en los conductores especialmente en la línea neutra de las instalaciones.
- Reducir el factor de potencia de una instalación, genera envejecimiento, además de la destrucción de un banco de condensadores utilizados para su corrección.
- Pueden generar disparos intempestivos de los interruptores automáticos y diferenciales.
- Deterioro de la onda de tensión y corriente, generando como consecuencia un mal desempeño de los actuadores eléctricos (aparatos eléctricos).
- Calentamiento, y daño a los aislantes además de los dispositivos de protección de las cargas eléctricas.

Además, “los armónicos son voltajes y corrientes con frecuencias múltiplos enteros de la frecuencia fundamental (60 Hz)”. Los armónicos son generados por las cargas no lineales (26).”

e. Medidas de los armónicos THD FD

El THD se interpreta como: “qué proporción de la señal de 60 Hz representa de la señal distorsionada” (39).

Se tienen valores de THD para tensión y corriente, lo cual permite conocer la distorsión armónica total. El THDI se genera por las cargas, mientras que el THDV es generado por la fuente como resultado de una corriente muy distorsionada, lo cual indica que cuanto mayor carga distorsionante se presenta en un sistema, se tiene una mayor probabilidad de que se produzca distorsión armónica de tensión (39).

f. Descomposición serie de Fourier

“Es un método matemático para la transformación de una señal que está en función al tiempo a una de frecuencia” (39).

“La amplitud de cada armónico en función al rango. Este análisis es muy importante, ya que, gracias a ello, se conoce el porcentaje de participación de los armónicos y en base a ello, tomar decisiones para la eliminación o reducción de estos armónicos” (39).

g. Efecto *Skin*

“Hay que tomar en consideración que la distribución de la corriente en la sección transversal de un conductor solo es uniforme cuando se trata de corriente directa, sin embargo, en corriente alterna a medida que la frecuencia aumenta, la distribución es menos uniforme” (39). “A medida que aumenta la frecuencia por la presencia de armónicos, las corrientes armónicas tienden a circular a través de una fina corona en la periferia exterior del conductor, reduciendo la sección eficaz del mismo y provocando su sobrecalentamiento, como resultado de las

pérdidas por efecto Joule, I^2R . Este fenómeno es denominado efecto *skin*" (39).

h. Disparos intempestivos de los sistemas de protección

La impedancia de los condensadores disminuye a medida que aumenta la frecuencia. "De esta manera, los armónicos de alta frecuencia dan lugar a corrientes a tierra a través de los condensadores, los cuales pueden dar lugar al disparo de las protecciones diferenciales" (39).

i. Efectos y solución de los armónicos

Sobredimensionamiento de conductores y platinas. Utilización de un neutro para cada fase (39).

Utilización de transformadores de aislamiento: "este método consiste en utilizar transformadores de aislamiento, los cuales están diseñados a la medida de la aplicación como" (p. 14):

- "Tamaño de la carga
- "Espectro emitido por la misma
- "Impedancia de la fuente, etc.

"Con blindajes y efectos capacitivos en el núcleo, para impedir el paso de altas frecuencias hacia el lado de la fuente, normalmente la relación es de 1/1."

j. Interarmónicos

Son fenómenos eléctricos que, a diferencia de los armónicos de tensión y corriente, tienen frecuencias que no son múltiplos de la frecuencia fundamental. Estos pueden presentarse como frecuencias discretas o como espectros en el ancho de banda (39).

Las principales fuentes de interarmónicos son los ciclos convertidores, convertidores estáticos de frecuencia, motores de inducción y dispositivos de arco.”

k. Ruido

Amplitud baja, corriente baja, disturbios de alta frecuencia”

Causas

- “Suministros eléctricos conmutados, otras cargas, puesta a tierra inadecuada.

Efectos

- “Errores de software y bloqueo del sistema.”

Soluciones

- “Transformador de aislamiento
- “Estabilizador UPS en línea
- “Supresor TVSS/filtro
- “Recablear la carga o trasladar la fuente de ruido”

I. Fuentes generadoras de los armónicos (ejemplos)

- Electrónica de potencia

Rectificadores (transforman CA en CC)

- De gran potencia: utilizados en la industria de la reducción de metales y transmisión de alta tensión en corriente continua.”
- De mediana potencia: utilizados en la industria de fabricación, para el control de motores, y también en aplicaciones de trenes eléctricos.”
- De baja potencia: utilizados en las fuentes de alimentación de ciertos artefactos electrónicos de uso domiciliario.”

- **Convertidores de hornos arco**

“El horno de arco por ser una carga eléctrica de características no lineales, es una fuente de generación de corrientes armónicas en forma aleatoria. Los hornos de arco se consideran más como generadores de armónicos de voltaje que de corriente, apareciendo típicamente todos los armónicos (2º, 3º, 4º, 5º, etc.), pero predominando los impares con valores típicos con respecto a la fundamental”.

- **Convertidor estático en la red trifásica**

Los convertidores estáticos (diodos y tiristores) son generadores de corrientes armónicas. Cuando se dice que es estático se hace referencia a su capacidad de emplear semiconductores para convertir, considerando que al inicio de la electrónica de potencia la energía se convierte a través de electro mecanismos y máquinas giratorias.

- **Variador de velocidad, convertidor de baja potencia**

Los variadores de velocidad son equipos que sirven para el control de los motores y son utilizados en todos los sectores de producción.”

- **Máquinas rotativas**

Las máquinas rotativas producen armónicos de orden elevado y de amplitud normalmente despreciable. Las pequeñas máquinas síncronas son, sin embargo, generadores de armónicos de tercer orden que pueden tener una incidencia sobre:”

- “El calentamiento permanente de las resistencias de puesta a tierra del neutro de los alternadores.”
- “El funcionamiento de los relés amperimétricos de protección contra defectos de aislamiento.”

m. Efectos de los armónicos (instantáneos, retardados)

- Efecto de calentamiento de los conductores neutro y otros equipos

El “calentamiento” es una consecuencia de los armónicos. Este sobrecalentamiento es patente en conductores, máquinas eléctricas y protecciones.

- Efecto disparo intempestivo de las protecciones

Las protecciones magnetotérmicas disparan de forma intempestiva ante la presencia de armónicos, aunque la corriente no exceda del valor de disparo, por dos posibles motivos:”

- Disparo térmico por sobrecalentamiento excesivo por el efecto *skin*.”
- Disparo magnético por el excesivo valor de pico de la corriente.”

- Efecto resonancia

Este efecto produce voltajes y corrientes de magnitud considerablemente más alta que en el caso de no haber resonancia.

Considerando que la reactancia de los capacitores disminuye a medida que haya más frecuencia, tendrá un comportamiento sumidero para corrientes que tengan altos niveles de frecuencia armónica. Esta consecuencia aumenta el esfuerzo dieléctrico y los grados de calentura dentro del capacitor. No se considera que el calentamiento sea un problema dado que hay capacitores que fueron elaborados con laminillas que disminuyen, notablemente, las pérdidas.

A pesar de que el diseño laminado del dieléctrico de los capacitores hace posible que se den voltajes altos, estos generan que la vida útil se vea reducida y fatiguen el dieléctrico cuando es sometido a sobretensiones por largos periodos de tiempo.

2.2.2.3. Perturbaciones

a. Perturbaciones eléctricas

Se denominan perturbaciones eléctricas a “cualquier problema manifestado en el voltaje o desviaciones de frecuencia que ocasionan una falla u operación inadecuada del equipo eléctrico” (26).

b. Clasificación de las perturbaciones de red

“Según se define en la norma EN-50.160, los principales parámetros de tensión en MT o BT de la red que pueden verse alterados por algún tipo de perturbaciones son:

- Amplitud
- Forma de onda
- Simetría del sistema trifásico
- Frecuencia

“

Todos ellos pueden ser afectados de forma transitoria (sin ninguna cadencia de repetición determinada) o periódica. Por otro lado, la duración puede ser de fracciones de ciclo, varios ciclos, incluso periodos de varios segundos o minutos (26).”

c. Perturbaciones: variación de frecuencia

Es la desviación de la frecuencia principal de su valor nominal específico (26).

“La frecuencia del sistema está relacionada con la velocidad de rotación de los generadores que abastecen el sistema” (26).

“Como consecuencia del balance dinámico entre la generación y la carga existen variaciones de la frecuencia” (26).

“Las variaciones que salen de los límites aceptados, generalmente son causadas por los sistemas de transmisión cuando sale un bloque grande de carga o un generador” (26).

“Las variaciones son consecuencia de que las cargas que están abasteciendo por generadores salen de servicio”. En tal caso el *Governor* debe actuar para la regulación correspondiente” (26).

d. Causas y efectos

- Cambio en la velocidad de las máquinas rotativas.
- Los filtros armónicos sufren un efecto distorsionador.
- Alteración de los equipos electrónicos que utilizan la frecuencia como referencia de tiempo.”
- Fuertes vibraciones de las turbinas de las centrales eléctricas.”
- Posible inadecuado funcionamiento de instalaciones de autogeneración.”

e. Perturbaciones: desbalance

“El sistema trifásico de tensión o corriente está perfectamente equilibrado cuando sus tres fases (R, S y T) tienen un desplazamiento angular de 120° entre ellas y los módulos de sus vectores tienen la misma magnitud” (26).

f. Transitorios

Este término se utiliza en el estudio de los cambios en el sistema de potencia y para hacer denotaciones de lo que es una situación no deseada. Tiene efectos como daños a los microprocesadores digitales, al aislamiento de los conductores, en sistemas de iluminación electrónica y desconexiones constantes de equipos sensibles.

- **Clasificación:**

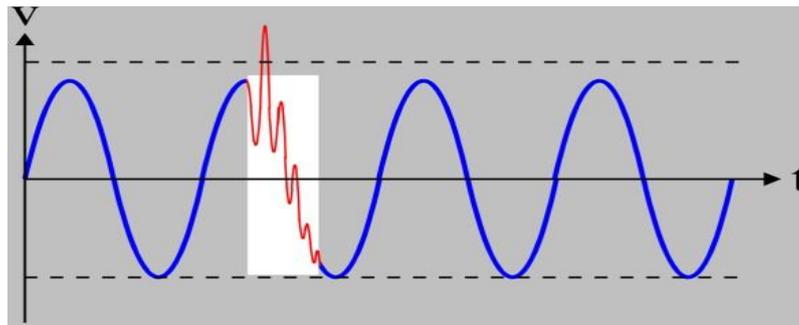


Figura 10. Transitorios. Tomada de <https://n9.cl/z8aek>

• **Transitorios impulsivos**

Un transitorio impulsivo implica un cambio radical de la tensión a una frecuencia diferente de la principal, su polaridad tiene una sola dirección.

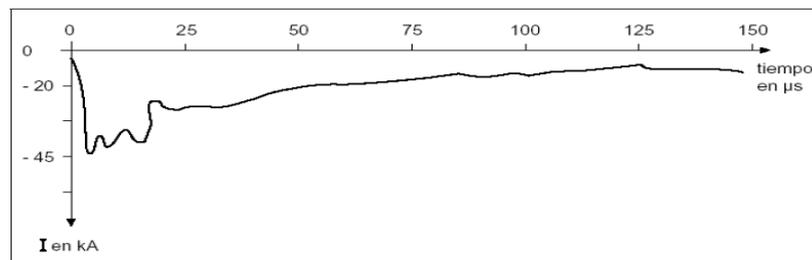


Figura 11. Oscilograma de una corriente de rayo. Tomada de <https://n9.cl/1gm7p>

- **Causas**

- Caída de rayos en zonas de altos índices isocerámicos.
- Fallas en las conexiones a tierra de los circuitos de potencia, líneas y circuitos de señal.
- Falsos contactos en instalaciones eléctricas.
- Conmutación en el arranque de motores.

- **Soluciones**

- Instalación de puestas a tierras.
- Supresores de picos.
- Transitorios oscilatorios: es una variación súbita de voltaje o corriente o ambos, puede ser positivo y negativo (oscilatorio).

- Causas

- Apertura o cierre de un contacto.
- Conexión y desconexión de bancos de condensadores.
- Arranque de equipo industrial pesado.
- Descargas atmosféricas (rayos, relámpagos) en los circuitos de potencia.

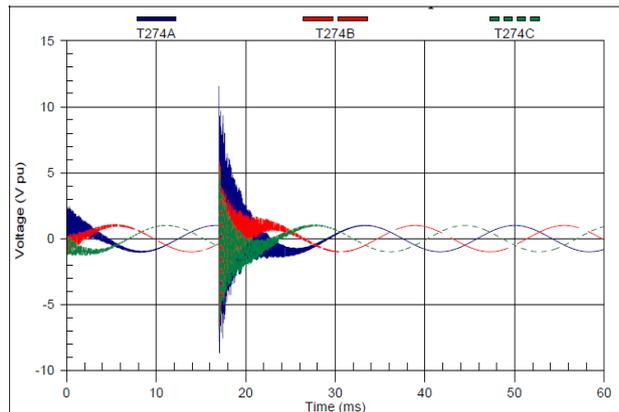


Figura 12. Sobrevoltaje debido a un impulso de voltaje. Tomada de <https://n9.cl/ufgnt>

g. Perturbaciones eléctricas

Se denominan perturbaciones eléctricas a “cualquier problema manifestado en el voltaje o desviaciones de frecuencia que ocasionan una falla u operación inadecuada del equipo eléctrico” (26).

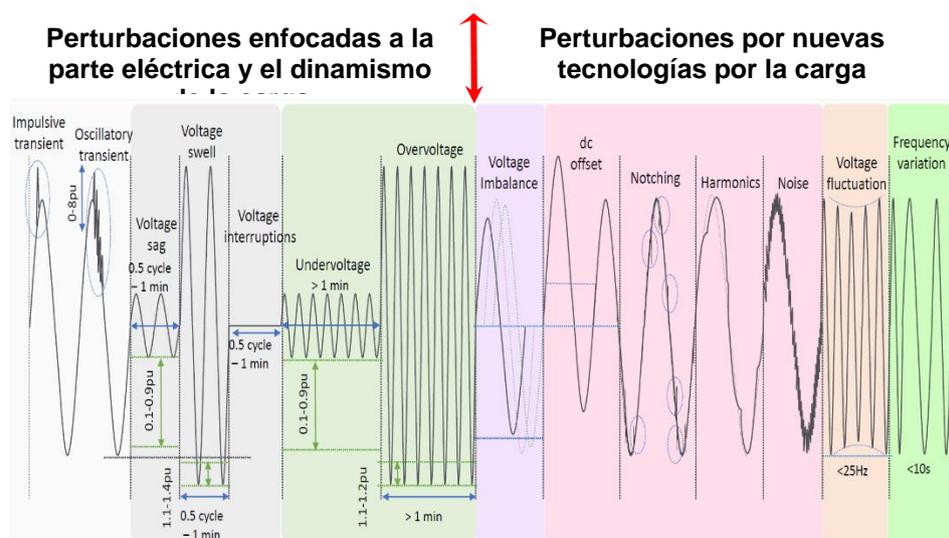


Figura 13. Perturbaciones Eléctricas. Tomada de <https://n9.cl/03b02>

h. Mala calidad de energía

Proceso de generación de energía y ubicación de la mala calidad de energía.

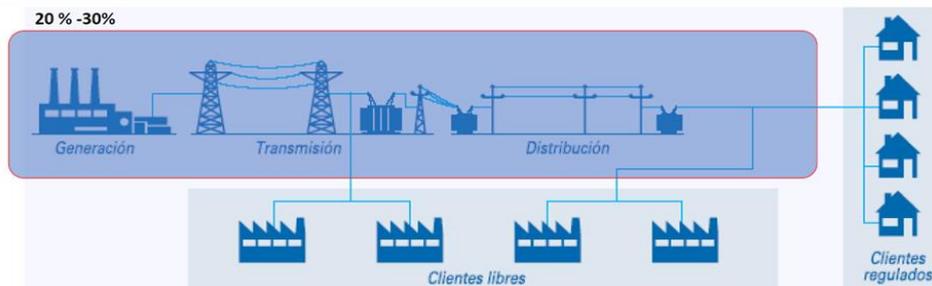


Figura 14. Proceso de generación de energía eléctrica. Tomada de <https://n9.cl/rk9fl>

- Entre el 20 al 30 % de mala calidad es parte del sistema de potencia.
- Entre el 70 y 80 % de mala calidad se genera en el usuario final (clientes libres y residenciales).

i. Clasificación de las perturbaciones de red

Según se define en la norma EN-50.160, los principales parámetros de tensión en MT o BT de la red que pueden verse alterados por algún tipo de perturbaciones son:

- Amplitud
- Forma de onda
- Simetría del sistema trifásico
- Frecuencia

Los mencionados pueden verse perjudicados transitoriamente o de manera constante.

Asimismo, el tiempo que dure puede ser de fracciones de ciclo, más de un ciclo, o incluso periodos compuestos por más de

un segundo o minuto. En base a estas diversas opciones, las perturbaciones son llamadas de manera diferente.

2.2.2.4. Factor de potencia

Es comprendida como trabajo consumido, energía o trabajo producido en un tiempo específico, el cual se ve involucrado en los circuitos eléctricos de una unidad de potencia como el vatio y se encuentra relacionada con la intensidad, tensión y aplicación en un circuito (40). También, es otro de los parámetros eléctricos indispensables dentro de la electricidad, la potencia eléctrica de que se consume por un determinado tiempo en un circuito. En tanto, el factor descrito consiste en el trabajo realizado por desplazar cargas eléctricas (31).

El factor de potencia es aquel que durante un proceso de transformación de energía eléctrica consigue aprovechar dicha energía llevada como trabajo. Por tanto, el valor ideal es 1, el cual pretende indicar que las energías que ha sido consumida por los distintos aparatos se convirtieron en trabajo. En cambio, al hablar de factores de potencia menos a las unidades descritas con anterioridad consiguen evidenciar un significado aún mayor del consumo necesario de energías con la finalidad de producir un trabajo importante y útil (40).

En consecuencia, el factor de potencia es la correspondencia entre la potencia activa en watts y la potencia aparente en volt – amperes, ello con la finalidad de lograr la descripción de la correlación entre la potencia total consumida y la potencia de trabajo. De ello, se establece que la unidad de medida de la potencia eléctrica es el vatio (31).

La potencia eléctrica se calcula a partir de la siguiente ecuación el cual se muestra a continuación:

$$P = \frac{V * I * t}{t} = V.I$$

Donde

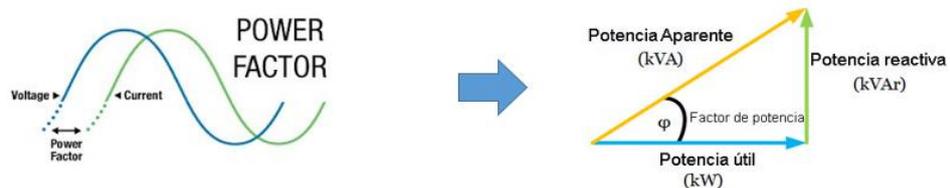
P = potencia eléctrica (W) vatio

V = tensión eléctrica (V) Voltio

I = intensidad de corriente (A) Amperio

t = tiempo en segundos (s)

De este modo, el factor mencionado se debe expresar en términos genéricos como la no correspondencia entre la corriente de voltaje y el desfaseamiento, ya que al ser empleado actúa como un indicador de un correcto aprovechamiento de la energía eléctrica. Consiguiendo, la posibilidad de una utilización de los valores existentes entre 0 – 1.0 y tomando como el valor máximo del factor de potencia en valor 1.0, identificando un correcto aprovechamiento de la energía mencionada (31).



$$FP = \cos \phi$$

Figura 15. Triángulo de potencias eléctricas. Tomada de <https://n9.cl/ee7ml>

2.2.2.5. La norma técnica de calidad de servicios eléctricos en el Perú NTCSE

“Según el organismo Supervisor de la inversión en energía y minería (Osinergmin) la norma técnica de calidad de los servicios eléctricos (NTCSE) el cual fue aprobado por decreto Supremo N.º 020-97-EM es quien regula la calidad del servicio y las obligaciones” de las organizaciones de electricidad y los clientes que operan bajo el régimen de la Ley de Concesiones Eléctricas, bajo el decreto Ley N.º 25844 (31).

Esta norma técnica dentro de sus reglamentos exige lo siguiente a las empresas que brindan el suministro de energía eléctrica:

- Brindar una buena calidad de producto: tensiones sin perturbaciones, frecuencia.

Para brindar una adecuada calidad de energía según las normas técnicas para esta investigación se toma en cuenta la calidad de producto y la calidad de suministro.

Asimismo, la norma técnica de electricidad supervisa los siguientes indicadores el cual se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 7. Indicadores de la norma técnica de la electricidad

Item	Aspecto	Indicador supervisado	Valor Limite
1	Tensión	CMRT: Cumplimiento de las mediciones requeridas por la NTCSE.	100.00%
2	Tensión	CCIT: Cumplimiento del correcto cálculo de indicadores y montos de compensaciones por calidad de tensión.	98.00%
3	Tensión	CPCT: Cumplimiento del pago de compensaciones por mala calidad de tensión.	100.00%
4	Tensión	VLMT: Veracidad en el levantamiento de la mala calidad de tensión.	100.00%
5	Interrupción	CCII: Correcto cálculo de indicadores y monto de compensaciones por interrupciones.	98.00%
6	Interrupción	CPCI: Cumplimiento del pago de compensaciones por mala calidad de interrupciones.	100.00%
7	Contraste	CMRC: Cumplimiento de la cantidad de contrastes requeridos por la NTCSE.	100.00%

Nota: tomada de <https://n9.cl/8pie4>

Osinergrmin establece que, si durante una supervisión el resultado de un indicador evaluado supera los valores límites establecidos, se le corresponde iniciar un proceso sancionador con una determinada multa.

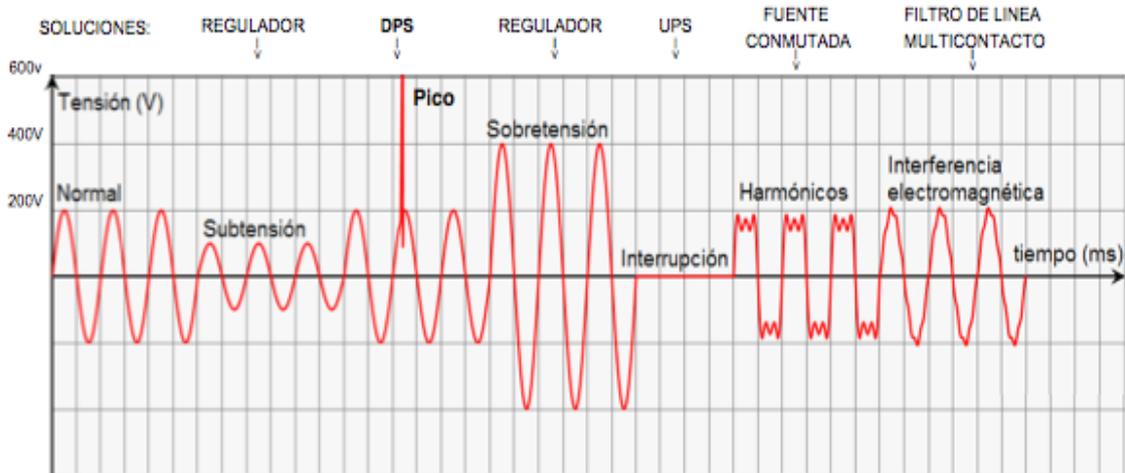


Figura 16. Disturbios eléctricos. Tomada de <https://n9.ci/63eiv>

A. Calidad de producto

- Calidad de tensión

Indicador de calidad. “El indicador para evaluar la tensión de entrega, en un intervalo de medición (k) de quince minutos de duración, se expresa como un porcentaje de la tensión nominal del punto”:

$$\Delta V_k (\%) = (V_k - V_N) / V_N \cdot 100 \% ; \text{ (expresada en \%)}$$

Tolerancias. “Las tolerancias admitidas sobre las tensiones nominales de los puntos de entrega de energía, en todas las etapas y en todos los niveles de tensión, es de hasta el ± 5.0 % de las tensiones nominales de tales puntos” (31).

Tabla 8. Indicadores de calidad de tensión

NTCSER
Actual SDT SER

Indicador de calidad
El periodo de medición es por un lapso mínimo de medición de 48 horas continuas.
En intervalos de medición de 15 minutos de duración, el indicador de calidad se calcula de la siguiente manera:

$$\Delta V_K(\%) = \frac{(V_K - V_N)}{V_N} \times 100 \%$$

$V_K =$ *Valor eficaz de la tensión medido en el punto de entrega*
 $V_N =$ *Valor de la tensión nominal*
Acápites 4.0.2 y 4.1.1

Tolerancias
“Las tolerancias admitidas son $\pm 6\%$ para Media Tensión (MT), y $\pm 7,5\%$ para Baja Tensión (BT)”.
“Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si la cantidad de Intervalos de Medición que resultan fuera del rango de tolerancias es superior al 5% del total de Intervalos de Medición”.
Acápite 4.1.2

Nota: tomada de <https://n9.cl/sexxe>

- Calidad de frecuencia

Indicadores de calidad. para medir la calidad el indicador principal es la frecuencia de entrega, en un intervalo de medición (k) de quince minutos de duración, es la diferencia (Δf_k) entre la media (f_k) de los valores instantáneos de la frecuencia, medidos en un punto cualquiera de la red de corriente alterna no aislado del punto de entrega en cuestión, y el valor de la frecuencia nominal (f_N) del sistema (3). Este indicador, denominado variaciones sostenidas de frecuencia, está expresado como un porcentaje de la frecuencia nominal del sistema:

$$\Delta f_k (\%) = (f_k - f_N) / f_N \cdot 100 \%; \text{ (expresada en \%)}$$

“Adicionalmente, se controlan las variaciones súbitas de frecuencia (VSF) por intervalos de un minuto; y la integral de variaciones diarias de frecuencia (IVDF). Ambos indicadores se definen en función de la frecuencia instantánea $f(t)$ ” de la siguiente manera”:

(*) Rectificado por **fe de erratas**, publicada el 17.10.97

(*) Numeral modificado por el Artículo 3 del Decreto Supremo N.º 009-99-EM, publicado el 11-04-99, cuyo texto es el siguiente:

$$IVDF = r + S_{24h} (f(t) - f_N) dt; \text{ (expresada en: ciclos)}$$

Donde

r: "es la suma algebraica de los valores de la integral que aparece como segundo término en el miembro derecho de la fórmula N.º 5, para cada uno de los días del año calendario, anteriores al día en que se evalúa la IVDF" (3).

Tolerancias. "Las tolerancias admitidas para variaciones sobre la frecuencia nominal, en todo nivel de tensión" (3), son:

- Variaciones sostenidas (Δf_k (%)): ± 0.6 %
- Variaciones súbitas (VSF'): ± 1.0 Hz.
- Variaciones diarias (IVDF'): ± 12.0 ciclos (*)

(*) Numeral modificado por el Artículo 3 del Decreto Supremo N.º 009-99-EM, publicado el 11-04-99, cuyo texto es el siguiente:

- Variaciones diarias (IVDF'): ± 600.0 ciclos

- Calidad de perturbaciones

Indicadores de calidad. Se consideran los siguientes indicadores de calidad:

- a) Para *Flicker*: "el índice de severidad por *Flicker* de corta duración (**Pst**) definido de acuerdo a las Normas IEC.
- b) Para armónicas: "las tensiones armónicas individuales (**Vi**) y el factor de distorsión total por armónicas (**THD**).

Estos indicadores (**Pst**, V_i , THD) “se evalúan separadamente para cada intervalo de medición de diez minutos durante el período de medición de perturbaciones, que como mínimo será de 7 días calendario continuos.

c) Tensiones armónicas. Los valores eficaces (RMS) de las tensiones armónicas individuales (V_i) y los THD, expresado como porcentaje de la tensión nominal del punto de medición respectivo, no deben superar los valores límite (V_i' y THD') indicados en la siguiente tabla. Para efectos de esta norma, se consideran las armónicas comprendidas entre la dos y la cuarenta, ambas inclusive (3).

Tabla 9. Tensiones armónicas

ORDEN (n) DE LA ARMONICA ó THD	TOLERANCIA V_i' o THD' (% con respecto a la Tensión Nominal del punto de medición)	
	Para tensiones mayores a: 60 kV	Para tensiones menores o iguales a: 60 kV
(Armónicas Impares no múltiplos de 3)		
5	2	6
7	2	5
11	1.5	3.5
13	1.5	3
17	1	2
19	1	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
mayores de 25	$0.1 + 2.5/n$	$0.2 + 2.5/n$
(Armónicas Impares múltiplos de 3)	1.5	5
39	1	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
mayores de 21	0.2	0.2
(Pares)		
2	1.5	2
4	1	1
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5

Nota: tomada de <https://n9.cl/hk66b>

(*) Numeral modificado por el Artículo 3 del Decreto Supremo N.º 009-99-EM, publicado el 11-04-99, cuyo texto es el siguiente:

Tabla 10. Tensiones armónicas

ORDEN (n) DE LA ARMONICA ó THD	TOLERANCIA V_i o THD' (% con respecto a la Tensión Nominal del punto de medición)	
	Alta y muy Alta Tensión	Media y Baja Tensión
Armónicas Impares no múltiplos de 3)		
5	2	6
7	2	5
11	1.5	3.5
13	1.5	3
17	1	2
19	1	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
mayores de 25	0.1 + 2.5/n	0.2 + 12.5/n
(Armónicas Impares múltiplos de 3)		
3	1.5	5
9	1	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
mayores de 21	0.2	0.2
(Pares)		
2	1.5	2
4	1	1

Nota: tomada de <https://n9.cl/hk66b>

El factor de distorsión total por armónicas (THD) está definido como:

$$THD = (\sqrt{\sum_{i=2...40} (V_{2i} / V_{2N})}). 100\%$$

Donde

V_i. Es el valor eficaz (RMS) de la tensión armónica "i" (para i = 2 ... 40) expresada en Voltios.

V_N. Es la tensión nominal del punto de medición expresada en Voltios.

Para calificar si la energía eléctrica es de mala calidad, se muestran cuando las perturbaciones se encuentran fuera del rango de tolerancias por un tiempo superior al 5 % del período de medición. Cabe señalar que las perturbaciones son medidas por separado (3).

B. Calidad de suministro

- Interrupciones

Esta se muestra en función de la continuidad del servicio eléctrico a los clientes, es decir, según las interrupciones del servicio.

- Para evaluar la calidad de suministro, “se toma en cuenta indicadores que miden el número de interrupciones del servicio eléctrico, su duración y la energía no suministrada a consecuencia de ellas” (3).
- “Las interrupciones pueden ser causadas, entre otras razones, por salidas de equipos de las instalaciones del suministrador u otras instalaciones que lo alimentan” (p. 16), en otros casos por el mal funcionamiento, que hayan sido programadas oportunamente (3).

“Para efectos de la norma, no es interrupción el suministro cuya duración es menor de tres minutos, tampoco los casos de fuerza mayor debidamente comprobados calificados como tales por la autoridad” (3).

- Indicadores de la calidad de suministro. “La calidad de suministro se evalúa mediante dos indicadores que se calculan para períodos de control de un semestre” (p. 19).

a) Número total de interrupciones por cliente por semestre (N) (3).

b) Duración total ponderada de interrupciones por cliente (D), viene a ser la adición de las duraciones individuales durante un período de control de un semestre:

$$D = \sum(K_i * d_i); \text{ (expresado en: horas)}$$

Donde

d_i . Es la duración individual de la interrupción i .

K_i . Son factores de ponderación de la duración de las interrupciones por tipo:

- Interrupciones programadas en redes* : $K_i = 0.5$
- Otras : $K_i = 1.0$ (*)

* El término, “interrupciones programadas se refiere exclusivamente a mantenimiento o ampliación de redes, programadas oportunamente, y notificadas a los clientes con una anticipación mínima de cuarenta y ocho horas, con horas precisas de inicio y culminación de trabajos” (*)

(*) Numeral modificado por el Artículo 2 del Decreto Supremo N.º 013-2000-EM, publicado el 27-07-2000, cuyo texto es el siguiente:

- Indicadores de la calidad de suministro. La calidad de suministro se evalúa utilizando los siguientes dos indicadores que se calculan para períodos de control de un semestre.

a) Número total de interrupciones por cliente por semestre (N) durante un período de control de un semestre:

N = número de Interrupciones; (expresada en:
interrupciones /semestre).

“El número de interrupciones programadas por expansión o reforzamiento de redes que deben incluirse en el cálculo de este indicador, se ponderan por un factor de cincuenta por ciento (50 %)” (3).

b) Duración total ponderada de interrupciones por cliente (D)

“Es la sumatoria de las duraciones individuales ponderadas de todas las interrupciones en el suministro eléctrico al cliente durante un período de control de un semestre:

$$D = \sum (K_i \cdot d_i); \text{ (expresada en: horas)}$$

Donde

d_i . Es la duración individual de la interrupción i .

K_i . Son factores de ponderación de la duración de las interrupciones por tipo:

- Interrupciones programadas* por expansión o reforzamiento:

$K_i = 0.25$

- Interrupciones programadas* por mantenimiento: $K_i = 0.50$

- Otras: $K_i = 1.00$

El término “interrupciones programadas” se refiere exclusivamente a actividades de “expansión o reforzamiento de redes o mantenimiento de redes ()

(*) Numeral modificado por el Artículo 1 del Decreto Supremo N.º 040- 001-EM publicado el 17-07-2001, cuyo texto es el siguiente:

- Indicadores de la calidad de suministro. “La calidad de suministro se evalúa utilizando los siguientes dos indicadores que se calculan para períodos de control de un semestre” (3).

a) Número total de interrupciones por cliente por semestre (N)

Es el número total de interrupciones en el suministro de cada cliente durante un período de control de un semestre:

$N = \text{número de Interrupciones; (expresada en: interrupciones / semestre)}$.

“El número de interrupciones programadas por expansión o reforzamiento de redes que deben incluirse en el cálculo de este indicador, se ponderan por un factor de cincuenta por ciento (50 %)” (3).

b) Duración total ponderada de interrupciones por cliente (D)

“Es la sumatoria de las duraciones individuales ponderadas de todas las interrupciones en el suministro eléctrico al cliente durante un período de control de un semestre” (p. 28):

$$D = \sum(k_i, * d_i); \text{ (expresada en: horas)}$$

Donde:

d_i : es la duración individual de la interrupción i .

K_i : son factores de ponderación de la duración de las interrupciones por tipo:

- Interrupciones programadas* por expansión o reforzamiento:
 $K_i = 0.25$
- Interrupciones programadas* por mantenimiento: $K_i = 0.50$
- Otras: $K_i = 1.00$

* El término “interrupciones programadas” se refiere exclusivamente a actividades de expansión o reforzamiento de redes; o mantenimiento de redes, ambas programadas oportunamente, sustentadas ante la autoridad y notificadas a los clientes con una anticipación mínima de cuarenta y ocho horas, señalando horas exactas de inicio y culminación de trabajos” (3).

Si existiese diferencia entre la duración real y la duración programada de la interrupción, para el cálculo de la duración total ponderada de interrupciones por cliente (D) se considera, para dicha diferencia de tiempo (Δ):

$K_i = 0$; si la duración real es menor a la programada.

$K_i = 1$; si la duración real es mayor a la programada.

“No se considerará para el cálculo de los indicadores N y D, las interrupciones por rechazo de carga por mínima frecuencia, las cuales se rigen según lo dispuesto en los numerales 6.1.8, 6.1.9 y la décimo tercera disposición final de la norma” (3).

- Tolerancias. Las tolerancias en los indicadores de calidad de suministro para clientes conectados en distinto nivel de tensión son:

Número de Interrupciones por Cliente (N')

- “Clientes en Muy Alta y Alta Tensión: 2 Interrupciones/semestre”
- “Clientes en Media Tensión: 4 Interrupciones/semestre”
- “Clientes en Baja Tensión: 6 Interrupciones/semestre”

Duración total ponderada de interrupciones por cliente (D')

- “Clientes en Muy Alta y Alta Tensión: 4 horas/semestre”
- “Clientes en Media Tensión: 7 horas/semestre”
- “Clientes en Baja Tensión: 10 horas/semestre”

2.2.3. Eficiencia energética

La eficiencia energética se refiere al rendimiento físico de usos finales específicos o servicios energéticos como iluminación, calefacción, refrigeración y accionamiento de motores. Se logra una mayor eficiencia energética reemplazando, mejorando o manteniendo los equipos

existentes para reducir la cantidad de energía necesaria. La eficiencia energética se mide generalmente por la cantidad de salida por unidad de entrada de energía (millas por galón o lúmenes por vatio, por ejemplo). Debido a que la energía es uno de varios factores de producción (trabajo, capital y materiales son otros), las mejoras en la eficiencia energética contribuyen a una mayor eficiencia energética. Productividad energética y eficiencia económica (41).

2.2.4. Sistema de filtros

Para comprender los conceptos básicos de los filtros de armónicos pasivos, primero se observa cómo funcionan los sistemas de transmisión de motores. Los filtros de armónicos están diseñados para atenuar los armónicos problemáticos dentro de los parámetros definidos o amortiguar las resonancias del sistema para evitar la amplificación de armónicos. Los motores que funcionan con corriente alterna necesitan fuentes de alimentación especiales que suministran energía para arrancar y detener el motor sin problemas. Asimismo, una vez que un motor está en funcionamiento, muchas aplicaciones requieren ajustar su velocidad y par para adaptarse a diferentes cargas mecánicas. Los accionamientos de frecuencia variable (VFD) proporcionan una fuente de alimentación que puede ofrecer arranque / parada gradual y velocidad / par variable. Al ajustar la frecuencia de la corriente enviada a un motor, un VFD controla su velocidad (42).

2.2.4.1. Definición

“Es un elemento que discrimina una determinada frecuencia o gama de frecuencias de una señal eléctrica que pasa a través de él, pudiendo modificar tanto su amplitud como su fase” (42).

El uso de filtros de armónicos en sistemas de potencia tiene dos objetivos:

- Prevenir la entrada de armónicos de voltaje y corriente desde agentes contaminantes al resto del sistema eléctrico.

- Proveer al sistema toda o parte de la potencia reactiva que éste necesita.

2.2.4.2. Uso de los sistemas de filtros en los sistemas de potencia activos pasivos

“Controlar la corriente de línea en tiempo real y procesar las armónicas medidas como señales digitales en un procesador digital de señales” (DSP: *digital signal processor*). La salida del DSP controla un modulador de ancho y pulso (PWM: *Pulse with modulated*) que a través de reactores de línea inyectan corrientes armónicas con la fase exactamente opuesta a aquellas que están siendo filtradas.

Ventajas

- Compensan las corrientes armónicas y el factor de potencia de la carga.
- No produce resonancia en el sistema.
- Tienen capacidad de eliminar interarmónicas y armónicas no convencionales como 2^a, 4^a, 6^a, etc.
- No se sobrecargan.

Desventaja

- El costo es elevado

2.2.4.3. Bloqueo de corrientes armónicas

Método diseñado “a la medida” de la aplicación como”:

- Tamaño de la carga.
- Espectro emitido por la misma.
- Impedancia de la fuente, etc.

Con blindajes y efectos capacitivos en el núcleo, para impedir el paso de altas frecuencias hacia el lado de la fuente, normalmente la relación es de 1/1.

2.2.4.4. Modificación de instalaciones

Las principales soluciones a la sobrecarga del conductor neutro son las siguientes:

- El uso de conductores neutros separados para cada fase.
- Realizar la duplicación de las secciones del conductor neutro.
- Hay que evitar conectar un receptor sensible en paralelo con cargas no lineales o perturbadoras.
- Hacer uso adecuado de los equipos, es decir, cuando se tiene un equipo de gran potencia fuertemente perturbador, es mejor conectarlo directamente desde un transformador MT/BT independientemente.

2.2.4.5. Sobredimensionamiento de los conductores

- Se muestra el balance de cargas.
- La disminución mínima de la longitud de los circuitos.
- El aumento de la sección de los conductores de fase.
- Aumento de cantidad de circuitos finales.

2.2.4.6. Tipos de filtros de armónicos

a) Filtro pasivo PHF

“Un componente de filtro pasivo es una combinación de capacitores e inductores que están sintonizados para resonar en una sola frecuencia, o a través de una banda de frecuencias. En los sistemas de energía, los filtros pasivos se utilizan para suprimir las corrientes armónicas y disminuir la distorsión de voltaje que aparece en las partes sensibles del sistema. Los filtros pasivos funcionan mostrando diferentes valores de impedancia en la frecuencia resonante. Un filtro conectado en serie debe presentar

una alta impedancia a la frecuencia armónica que debe bloquearse” (43).

Aunque es posible una configuración en serie, es más común conectar filtros en paralelo. Esta configuración de derivación desvía las corrientes armónicas a tierra y, al mismo tiempo, proporciona potencia reactiva, que puede utilizarse para corregir el factor de potencia. Como tales, los filtros de derivación pasivos están diseñados para ser capacitivos a la frecuencia fundamental. Los filtros de armónicos pasivos son filtros en serie (lo que significa que la corriente pasa a través del filtro) que se utilizan para reducir o mitigar los armónicos a niveles tolerables según lo definido por IEEE-519 (43).

Componentes

Los filtros pasivos utilizan los siguientes elementos para 'filtrar' (o limpiar) la onda de corriente:

- Reactor de entrada
- Reactor de salida
- Reactor de derivación
- Condensador

Ventajas

Los filtros pasivos tienen muchas ventajas sobre los filtros de armónicos activos que están disponibles en el mercado hoy. Algunos de ellos proporcionan un mejor rendimiento alimentando un variador de 6 pulsos que utilizan solo variadores de 12 o 18 pulsos. Además de proporcionar un mejor rendimiento, presentan costo mucho menor y ocupará una cantidad de espacio sustancialmente menor. Junto con una huella física y financiera más baja, los filtros armónicos pasivos tienen estabilidad garantizada y tienen poco o ningún consumo de energía (44).

La instalación de un filtro de armónicos pasivo entre la red eléctrica y el VFD protege la red de la distorsión armónica producida por el variador. La combinación de VFD y filtro armónico pasivo reduce la distorsión armónica general de entrada, lo que le ayuda a mantener el cumplimiento de IEEE-519. El funcionamiento de un sistema de accionamiento de motor sin un filtro de armónicos puede causar varios problemas (42):

- Si está alimentado por un generador, un alto nivel de armónicos reflejados puede causar disparos molestos no deseados.
- Los niveles elevados de distorsión armónica lo obligan a reducir el tamaño de su generador para compensar. La reducción de potencia del generador puede ser de hasta 3 veces la potencia nominal deseada.
- El sistema de accionamiento del motor podría estar enviando una distorsión armónica significativa a la red pública, lo que afectaría el cumplimiento de IEEE519.
- La distorsión armónica puede afectar a otros equipos conectados al mismo sistema de red.

Unidad de frecuencia variable (VFD)

Los motores de CA funcionan a su máxima eficiencia cuando funcionan con energía sinusoidal limpia. Sin embargo, los VFD producen ondas cuadradas moduladas. El ancho de pulso de estas ondas cuadradas es variable. Esto se conoce como PWM, modulación de ancho de pulso. Los VFD también pueden controlar la amplitud de cada onda cuadrada (42).

Alimentar un motor con ondas cuadradas puede parecer una mala idea. Sin embargo, los VFD mantienen un control tan fino sobre el ancho y la amplitud de las ondas cuadradas que adquieren la apariencia (como se ve en un osciloscopio) de aproximaciones bastante buenas de una onda sinusoidal. Sin embargo, incluso los VFD más sofisticados no logran igualar la pureza de una verdadera

onda sinusoidal. Estos variadores de frecuencia producen distorsión o "**ruido**" tanto en la entrada como en la salida del variador. Ahí es donde entran los filtros de armónicos pasivos (42).

Principio de funcionamiento

Un circuito LC adaptado a cada frecuencia de armónicos a filtrar, en paralelo con el módulo productor de armónicos. El mismo circuito de derivación toma los armónicos y no deja que circulen por el sistema (45).

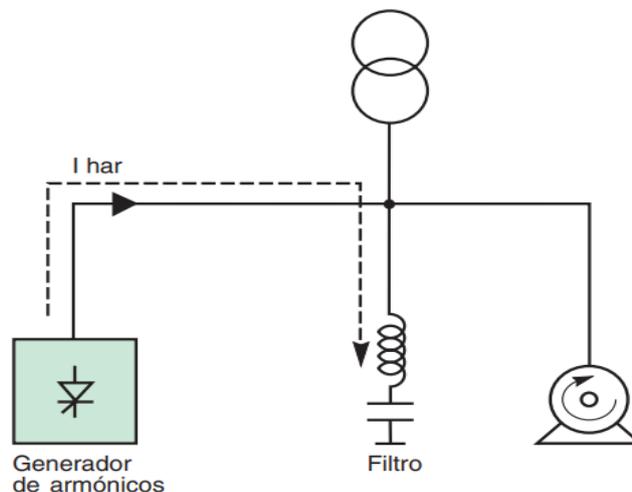


Figura 17. Principio de utilización de un filtro pasivo. Tomada de <https://n9.cl/1rawx>

b) Filtro activo AHF

Los filtros de armónicos activos son filtros paralelos (lo que significa que la corriente no pasa por el filtro) que se utilizan para reducir o mitigar los armónicos a niveles tolerables según lo definido por IEEE519. Los filtros activos utilizan un conjunto de transistores y condensadores para filtrar (o limpiar) la onda de corriente inyectando corrientes inversas para cancelar los componentes armónicos no deseados. Los filtros activos son significativamente más caros que los filtros pasivos y ocupan más espacio. El tamaño es un factor inmenso en el diseño de sistemas hoy en día y debe tenerse en cuenta al decidir qué tipo de filtro de

armónicos es el adecuado para usted. Los filtros activos pueden funcionar con varias unidades; cuando el filtro activo alcanza su límite, no se sobrecargará. Además, si un filtro activo se rompe, no detendrá el motor (ya que la corriente no pasa por el filtro); simplemente no filtrará la onda actual (44).

Se puede introducir un filtro de armónicos activo como una solución para varios tipos diferentes de problemas de calidad de la energía. La aplicación más común es la reducción de la contaminación armónica dentro de las instalaciones eléctricas. Un filtro de armónicos activo ayuda a garantizar una corriente "**limpia**". Debido al aumento y crecimiento de las cargas no lineales, como la electrónica de potencia, la demanda de filtros de armónicos activos ha aumentado en la mayoría de las redes. Además, un filtro de armónicos activo sigue siendo una excelente solución para situaciones muy específicas. Estos incluyen grandes instalaciones de potencia, como instalaciones con hornos de arco eléctrico, hornos de inducción o equipos de soldadura (1).

Ventajas

Muchos filtros de armónicos tienen un tiempo de respuesta muy rápido, por lo que la contaminación armónica y las averías se detectan y eliminan casi de inmediato antes de que causen daños o problemas.

El tipo de contaminación en el que se enfocará el filtro se puede elegir configurando los parámetros correctamente. También es posible establecer el grado en que se debe eliminar esta contaminación. El filtro de armónicos activo es dinámico y se ajusta continuamente a las circunstancias cambiantes. Los parámetros del filtro de armónicos activo también se pueden ajustar posteriormente. Esto hace que el filtro esté preparado para el futuro y sea eficaz durante toda su vida útil. La reducción de las corrientes

armónicas y la contaminación reduce considerablemente la posibilidad de que se produzcan averías y problemas. Una ventaja adicional es el hecho de que un filtro de armónicos activo reduce la absorción de energía reactiva y el desgaste del equipo. Esto da como resultado un mayor ahorro de costes (1).

Principio de funcionamiento

“Se muestra un ejemplo de filtro activo subsanando la corriente armónica:

$$i_{har} = -i_{act}$$

El filtro activo reimplanta en fase contrapuesta los armónicos que transitan por la carga, de modo que la corriente de línea de sinusoidal se mantiene (45).

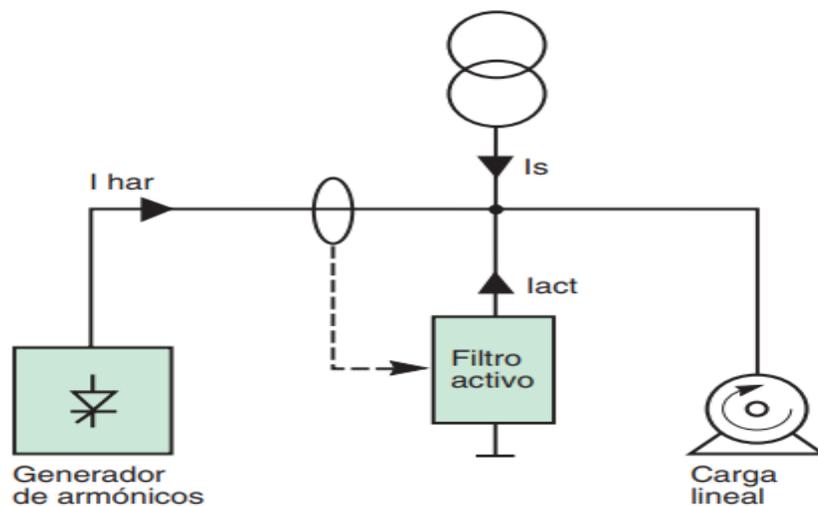


Figura 18. Principio de utilización de un filtro activo. Tomada de <https://n9.cl/fx48d>

Resultado

Un transformador o generador tiene una impedancia relativamente alta, en comparación con el resto de una instalación, especialmente para las frecuencias más altas que componen los armónicos. Si estas corrientes armónicas fluyen a través de

cualquier impedancia, introducirán voltajes armónicos. Cuanto mayor sea la impedancia, mayores serán los voltajes armónicos. Especialmente cuando se inducen en la fuente de alimentación principal, estos voltajes armónicos pueden acceder a la instalación total y causar problemas importantes. Estos se explican en “contaminación armónica” (1).

Cuando las corrientes armónicas son contrarrestadas por el filtro armónico activo, ya no pueden fluir a través de ciertas partes de la instalación eléctrica, el transformador o generador en particular. Cuando las corrientes armónicas ya no fluyan a través de estas áreas específicas de alta impedancia de la instalación eléctrica, ya no se inducirán voltajes armónicos y la calidad de la energía mejorará en gran medida. Para obtener los mejores resultados de filtrado, el filtrado debe realizarse lo más cerca posible de la fuente de contaminación (1).

c) Filtro híbrido

Los filtros de armónicos híbridos son una combinación de tecnologías pasivas y activas en la que la sección pasiva se usa para filtrar armónicos de orden bajo, generalmente el quinto y el séptimo, y el filtro activo está dirigido solo a armónicos de orden superior, minimizando el tamaño y el costo de la solución general (46).

Activo + Pasivo = Híbrido

Componentes

Los filtros híbridos se basan en combinaciones de un filtro activo, un trifásico transformador (o tres transformadores monofásicos), y un filtro pasivo que consta de dos transformadores monofásicos filtros sintonizados a las frecuencias de quinto y séptimo armónico y un filtro de paso alto de segundo orden sintonizado alrededor de la frecuencia del undécimo

armónico. Aunque estos filtros híbridos son ligeramente diferentes en configuración del circuito, son casi iguales en principio de funcionamiento y rendimiento de filtrado (47).

Ventajas

Esta combinación con el filtro pasivo permite reducir significativamente la calificación del filtro activo. La tarea del filtro activo no es compensar las corrientes armónicas producido por el rectificador de tiristores, pero para lograr un aislamiento armónico entre el suministro y la carga. Como resultado, no se produce ninguna resonancia armónica y no fluye corriente armónica en el suministro. El filtro híbrido proporciona los beneficios de rendimiento de los filtros activos y pasivos. Otra ventaja es que el filtro activo híbrido es comparativamente menos costoso que un filtro activo (47).

Una combinación de filtros activos y pasivos puede ser la mejor solución para reducir el costo de inversión y, al mismo tiempo, poder hacer frente a cargas dinámicas. Los filtros de armónicos activos se están volviendo más baratos y muy competitivos en comparación con otras soluciones de mitigación activa. En algunas aplicaciones que no son demasiado dinámicas, un filtro armónico pasivo tiene mucho sentido para reducir la inversión. En tal aplicación, el filtro armónico pasivo se enfoca en el componente armónico dominante. Esta solución la utiliza actualmente, por ejemplo, la industria automotriz alemana en sus líneas de producción. Una empresa alemana de soluciones de calidad de energía ideó un sistema que permite una combinación flexible de filtros de armónicos activos y filtros de armónicos pasivos para permitir la solución más flexible y rentable para cada proyecto (48).

Clasificación de filtros híbridos

Los filtros híbridos combinan varios filtros pasivos o activos y su estructura puede ser de topología en serie o en paralelo o una combinación de los dos. Se pueden instalar en sistemas distorsionados monofásicos, trifásicos de tres cables y trifásicos de cuatro cables. El circuito pasivo realiza una acción de filtrado básica en las frecuencias armónicas dominantes (por ejemplo, 5^o o 7^o) mientras que los elementos activos, mediante un control preciso, mitigan los armónicos superiores. Esto reducirá de manera efectiva el tamaño y el costo general del filtrado activo.

En la literatura, existen diferentes clasificaciones de filtros activos e híbridos según la potencia nominal, el sistema de suministro (por ejemplo, número de cables y fases), topología (por ejemplo, conexión en derivación o en serie), número de elementos (pasivos y activos), velocidad de respuesta, configuración del circuito de potencia, parámetro(s) del sistema a compensar, enfoque de control y técnica de estimación de la señal de referencia. La clasificación de los filtros híbridos se basa en el sistema de suministro con la topología como una subclasificación adicional. Si hay un máximo de tres filtros (pasivos y activos) en cada fase, entonces se esperan 156 tipos de filtros híbridos para sistemas monofásicos de dos cables, redes de CA trifásicas de tres cables y trifásicas de cuatro cables. Son 52 tipos de topologías de filtros híbridos para sistemas monofásicos de dos cables. Estas topologías se pueden ampliar fácilmente para ilustrar los otros 104 tipos de filtros híbridos para sistemas trifásicos (49).

Principio de funcionamiento

Esta novedosa solución de filtrado junta las ventajas de sus filtros elementos y proporciona un adecuado comportamiento abarcando un buen rango de potencia (45).

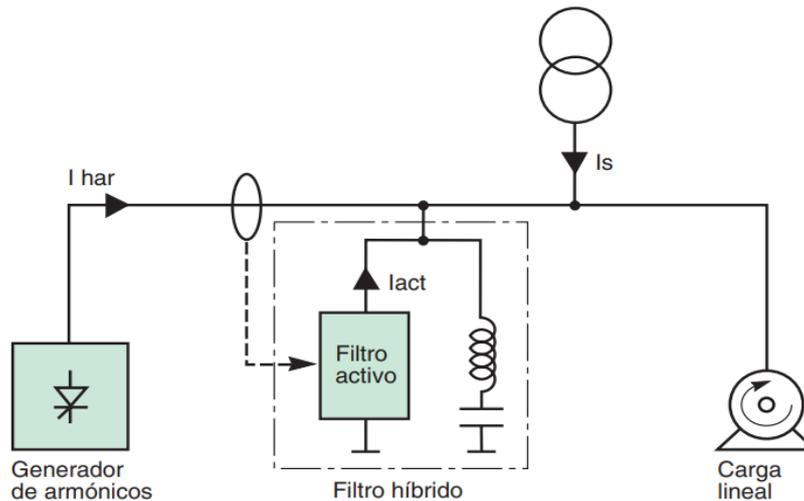


Figura 19. Principio de utilización de un filtro híbrido. Tomada de <https://n9.cl/80h8v>

2.2.4.7. Condensadores

“El condensador es un dispositivo que almacena energía a través de un campo eléctrico, este dispositivo está conformado por dos conductores próximos uno a otro y se encuentran separados por un aislante, lo cual permite que puedan ser cargados con el mismo valor”. Un banco de condensador es adecuado para su empleo en subestaciones de baja y media tensión y lugares donde se necesite compensar la energía reactiva (factor de potencia).

Son considerados como los elementos con mayor importancia en los circuitos modernos, lo cual permite a un equipo que se mantenga actualizado. “En tanto, permite el almacenamiento de energía eléctrica sin el requerimiento de presenciar distintas obstrucciones químicas, las cuales pueden llegar a ser básicas o ácidas”. Es así como, los condensadores se encuentran compuestos por dos conductores que se encuentran ubicados de forma cercana uno con el otro sin la necesidad de mantener un contacto (50).

Por consiguiente, “los condensadores al conseguir actuar como medios de conducción de energía eléctrica se centrarán en

la carga de signos opuestos; a través de fuerzas electrostáticas que consiente el mantenimiento de diferencias potenciales entre ellos mismos” (p. 18). De este modo, en el momento en que los conductores consigan ser tangentes mediante los circuitos, ya que los electrones tienen el rol de fluir desde el conducto negativo cargado hasta el conductor positivo cargado (50).

2.2.4.8. Limitadores de tensión

“Los limitadores de tensión son circuitos que a través de una determinada configuración de dispositivos se logra eliminar tensiones (Voltaje) que no son útiles para el desempeño de las distintas cargas. A través de este circuito se logra que a un circuito le lleguen únicamente parámetros eléctricos deseados dentro de un determinado rango.

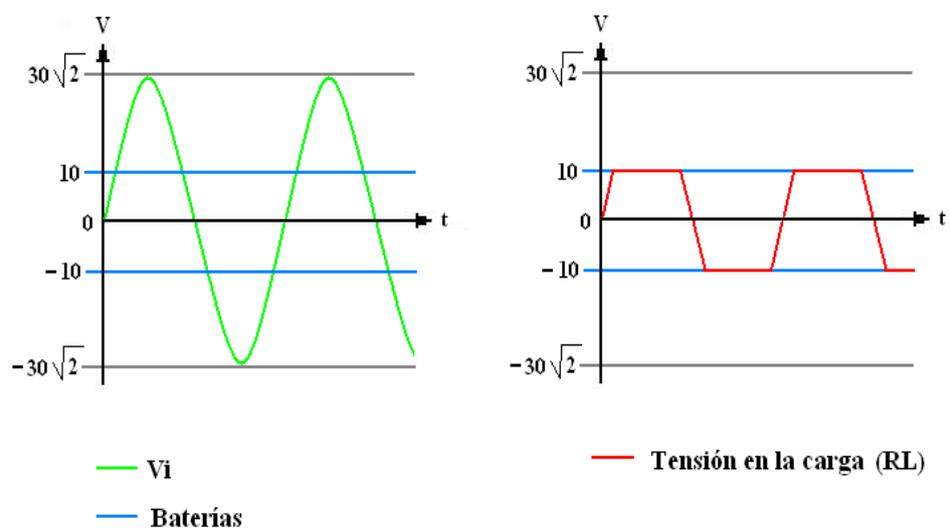


Figura 20. Formas ondas en un circuito antes y luego de un circuito limitador de tensión. Tomada de <https://n9.cl/rbwdf>

Por tanto, “los motores individuales y los motores en serie que se encuentran dentro de una planta de energía deben de estar diseñados para conseguir adherir distintos dispositivos que proporcionen limitar la energía y su velocidad, ello con la finalidad de que las características que posee se conviertan en inherentes y

logren que la conexión mecánica conseguida del mismo motor sea seguro para implantar límites seguro de tensión” (51).

También, los centros de control de los motores mencionados deben tener acceso a una conexión direccionada a un sistema con la capacidad de desenvolver un cortocircuito más elevado a comparación de la que puede soportar. “Ello, infiere en el lugar en dónde se implementan los fusibles que actúan como limitadores de la corriente por un lado de la fuente de barra, la cual evidencia una resistencia y valor de complicación ante el interruptor. Ello, con la finalidad de establecer la máxima característica del camino que recorre el fusible limitado de la corriente eléctrica”. Asimismo, los conectores neutros que se encuentran en las distintas maquinarias de la planta de energía eléctrica deben poseer limitantes de tensión al ser introducidos en la tierra y conseguir una instalación eficiente (51).

2.2.4.9. Instrumentos eléctricos

Los instrumentos eléctricos son equipos que son utilizados para comparar magnitudes eléctricas tomando como referencia un valor patrón. Los instrumentos más utilizados en campo de la electricidad son los que se describe a continuación:

- **Voltímetro**

El voltímetro es un instrumento que permite medir el voltaje en un determinado punto de conexión en un circuito. Para la medición de instrumento debe ser en paralelo, y siempre se debe tener la naturaleza de la corriente, ya que puede ser (AC-DC). “También, es considerado como aquel instrumento que tiene la finalidad de medir las discrepancias del potencial existente entre dos puntos de circuitos, los cuales pueden ser: el cerrado y el de polos abiertos”. Asimismo, se debe señalar que para conseguir

identificar las medidas de diferencia del potencial del voltímetro se debe colocar en paralelo (52).

Ello, significa que la derivación debe estar posicionado sobre los puntos entre los que se desea realizar la medida. “Es así como, los instrumentos que se encuentran basados en las respuestas electromagnéticas de las corrientes que evidencian poca intensidad es necesario que se emplee lo descrito mediante un aparato que alcanza la fuerza requerida para adquirir un desplazamiento de la aguja que actúa como un indicador”. Por consiguiente, se finaliza en la necesidad de adquirir un instrumento con mucha resistencia hacia infinito (52).



Figura 21. Multímetro digital. Tomada de <https://n9.cl/f03ig>

- Funciones de un voltímetro

“El voltímetro consta de una resistencia muy alta, conformada por un hilo fino de muchas espiras que forma una bobina (52).

En tanto, los voltímetros se encuentran clasificados según la función que realizan, los cuales pueden ser:

- Voltímetro digital, el cual permita brindar indicaciones numéricas sobre las tensiones mediante el uso de una pantalla tipo LCD. Asimismo, suele evidenciar tributos adicionales como la

posibilidad de detener el valor de pico, una memoria que guarda cada dato conseguido, la localización de información verdadera de forma eficaz RMS y conseguir seleccionar de forma automática funcionalidades (52).

- Voltímetro electrónico, permiten añadir amplificadores que consiguen proporcionar mayores impedancias de acceso y una mayor sensibilidad de los conseguidos mediante su implementación (52).
- Voltímetro electromecánico, manifiesta la esencia que se encuentra constituida por el galvanómetro que consigue denotar una escala que consigue ser graduada en voltios. Además, existen demás modelos que permiten efectuar una separación entre las corrientes alternas de señal y las continuas, siendo medidas de forma independiente (52).

- **Tipos de voltímetro**

“Se puede tener en cuenta diversos tipos de voltímetros y estos varían dependiendo su funcionamiento, dependiendo la escala que usan o la forma de mostrar los resultados. A continuación, se muestran los diversos tipos de voltímetros (52).

- **Voltímetros electromecánicos**

“Constan de un galvanómetro con una escala graduada en voltios. Se puede adaptar a corriente continua o corriente alterna” (52).



Figura 22. Voltímetros electromecánicos. Tomada de <https://n9.cl/eksuf>

- **Voltímetros vectoriales**

“Utilizado en corrientes con microondas, ya que permiten mostrar también la fase en que se encuentran” (52).



Figura 23. Voltímetros vectoriales. Tomada de <https://n9.cl/vbjhk>

Si es como los 4 de la primera imagen (arriba). Si la escala es hasta 500 V.

- **Voltímetros digitales**

“Son voltímetros que permiten una lectura de la medición de forma numérica en una pantalla y no con una aguja indicadora” (52).



Figura 24. Voltímetros digitales. Tomada de <https://n9.cl/x9uao>

Pinza amperimétrica

La pinza amperimétrica es otro instrumento eléctrico que permite medir la corriente en distintos puntos de un determinado circuito, antes de la medición se debe ajustar el rango de medición del parámetro teniendo en cuenta el rango de la magnitud eléctrica dentro de un determinado circuito. Además, es considerado como un instrumento que se encuentra destinado a valorar la intensidad existente en las corrientes eléctricas, las cuales efectúan un recorrido por las ramas de los circuitos. Es así como, los amperímetros necesitan realizar una interrupción en la rama de un punto de energía para lograr intercalar el aparato. Ello, con el propósito de que la corriente consiga recorrer su interior y se conecte en serie (52).

Por otro lado, el amperímetro analógico se suele edificar mediante la implementación del microamperímetro que actúa como un aparato base para conseguir efectuar una conexión con resistencia de forma paralela. En tanto, la resistencia mencionada al unirse con las características del aparato que actúa como base logra efectuar una definición de las medidas que consigue identificar el instrumento descrito. En consecuencia, suelen disponer diversas escalas que no permiten modificar las potencias

y las corrientes de los circuitos que serán instalados, lo cual brinda un indicio de que las corrientes que son medidas son existentes incluso antes de ser conectadas a algún aparato eléctrico (52).



Figura 25. Pinza amperimétrica. Tomada de <https://n9.cl/a4v21>

- **Analizador de redes trifásicas**

El analizador de redes trifásicas es aquel instrumento que permite medir las variaciones de parámetros eléctricos tales como: corriente, voltaje, potencia. Para, a partir de la medición, analizar el comportamiento y contrastar los resultados.

Considerado como un dispositivo portátil de índole eléctrico que consigue aportar en la solución de conflictos sobre un sistema de repartición de distintas energías de forma detallada, segura y rápida. Pues, al ser un instrumento portátil evidencia un diseño que involucra una tecnología avanzada sobre los procesadores de señales digitales y los circuitos integrados. Es así como, evidencia componentes de un superficial montaje de nivel profesional y una interfaz ante el usuario para que consiga ser manejado de forma sencilla (53).

Por tanto, el instrumento descrito permite medir y valorar las distintas señales eléctricas de corriente y tensión durante un tiempo real; a través de la implementación de cables de prueba y pinzas para alcanzar a conectar la parte superior de una unidad. Permitiendo la visualización de datos y de curvas numéricas en

diferentes tipos de tensiones como la tensión de corrientes, la tensión de línea y la tensión de voltaje (53).

De esta manera, consigue:

- Identificar la existencia de elevación de la corriente sobre el neutro.
- Localizar la presencia de sobrecalentamiento de los cables y motores.
- Permite generar armónicos de tensión mediante la interacción de la impedancia con el sistema de distribución.
- Identificar el riesgo de penalización causado por una potencia baja como factor principal.
- Localizar fallas y resonancias condensadoras.
- Identificar deficiencias en redes PC como el Spike 200 kHz.
- Mostrar absurdos sobre la tensión como picos o huecos.
- Localizar algún salto de interruptores o perjudica iones en los fusibles.
- Identifica desequilibrios en la tensión.



Figura 26. Analizador de redes trifásico. Tomada de <https://n9.cl/p61sl>

2.3. Definición de términos básicos

- **Accionamientos de Frecuencia Variable (VFD).** Proporcionan una fuente de alimentación que puede ofrecer arranque / parada gradual y velocidad / par variable. Al ajustar la frecuencia de la corriente enviada a un motor, un VFD controla su velocidad (42).
- **Calidad de servicio de energía.** “Son las características y técnicas inherentes al suministro eléctrico exigible en las normas técnicas y legales para el cumplimiento de las empresas eléctricas (31).
- **Corriente.** Es el flujo de carga y la carga fluye en una corriente. La corriente se informa como el número de cargas por unidad de tiempo que atraviesan un límite (27).
- **Eficiencia energética.** Se refiere al rendimiento físico de usos finales específicos o servicios energéticos como iluminación, calefacción, refrigeración y accionamiento de motores (41).
- **Energía eléctrica.** Es una fuente de energía secundaria generada por la conversión de fuentes primarias de energía como la fósil, nuclear, eólica o solar (23).
- **Filtro pasivo.** Es una combinación de capacitores e inductores que están sintonizados para resonar en una sola frecuencia, o a través de una banda de frecuencias (43).
- **Filtros de armónicos activos.** Son filtros paralelos (lo que significa que la corriente no pasa por el filtro) que se utilizan para reducir o mitigar los armónicos a niveles tolerables según lo definido por IEEE519 (44).
- **Filtros de armónicos híbridos.** Son una combinación de tecnologías pasivas y activas (46).

- **Filtros de armónicos.** Están diseñados para atenuar los armónicos problemáticos dentro de los parámetros definidos o amortiguar las resonancias del sistema para evitar la amplificación de armónicos (42).
- **Potencia eléctrica.** Es el parámetro que conoce la energía que se genera y la que se consume por un determinado tiempo en un circuito.
- **Resistencia (R).** Es una cantidad eléctrica muy importante que indica cuánto resiste (27).
- **Tensión eléctrica.** Es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico (27).
- **Ventajas del AHF.** Muchos filtros de armónicos tienen un tiempo de respuesta muy rápido, por lo que la contaminación armónica y las averías se detectan y eliminan casi de inmediato antes de que causen daños o problemas (1).
- **Ventajas del PHF.** Algunos de ellos proporcionan un mejor rendimiento alimentando un variador de 6 pulsos que utilizan solo variadores de 12 o 18 pulsos (44).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Metodología y alcance de la investigación

Según Bernal y Espinoza, el método científico conforma un conjunto de procedimientos y técnicas particulares necesarias para dar solución a un problema de investigación (54; 55). En este sentido, el presente estudio hizo uso de diversos procedimientos de indagación que ayudaron a resolver y explicar si un sistema de filtros ayuda a mejorar la calidad de la energía eléctrica de una planta de producción. En la investigación se aplicó el método científico analítico-sintético, porque para el desarrollo del estudio se aislaron los diferentes circuitos de la planta de producción, posteriormente se volvió a integrar para realizar el análisis respectivo.

Alcance de la investigación

Hernandez et al. indican que los estudios de alcance explicativos no solo describen o relacionan las variables, su función real es responder a las causas de los eventos y fenómenos (56). De esta forma, no solo se describe y relaciona el sistema de filtros y la calidad de la energía eléctrica, sino que también se explica la dependencia en base a los resultados obtenidos.

3.2. Tipo de investigación

La presente investigación fue de tipo aplicada. Lino menciona que este tipo de estudio está basado en las teorías previas, y depende de sí para su

desarrollo (57). Es por lo que la presente fue realizada en base a conocimiento previo y diversas teorías de autores reconocidos cuyo rubro es la ingeniería electrónica, el sistema de filtros y la calidad de la energía eléctrica. Asimismo, fue muy sustancial la selección de estos conceptos, los cuales se seleccionaron con detalle y cuidado. Las consecuencias de ser aplicada son también importantes para desarrollar una alternativa de solución que permita mejorar la calidad de energía eléctrica dentro de la planta de producción de la cooperativa Agropia (56).

3.3. Diseño de la investigación

Según Hernandez et al. es un diseño experimental y transversal donde implica la recolección de datos en un periodo de tiempo y la manipulación intencionalmente de una o más variables independientes (supuestas causas), para luego analizar sus consecuencias en la variable dependiente (supuestos efectos o varianza). En pocas palabras, este diseño busca descubrir influencias o un posible efecto (56). En efecto, la presente indagación experimental, manipula intencionalmente la situación, al implementar el uso de sistemas de filtros en una planta de producción a nivel de simulación en el software Simulink. Ello a fin de obtener resultados de consecuencia e influencia sobre la calidad de la energía eléctrica (56).



Donde

X: variable independiente (*sistema de filtros*)

Y: variable dependiente (*calidad de energía*)

M: observación del efecto o ausencia de este

3.4. Población y muestra

Según Sánchez et al. “una población es un conjunto de elementos con cualidades similares. Estos integrantes pueden ser objetos o personas, siendo sus características relacionadas al área específica” (58).

La población de la presente investigación está compuesta por todas las mediciones cada 15 minutos (según NTCSE) obtenidas por el analizador de redes en el período de 1 año que asciende a 35040 mediciones.

La muestra en estudio estuvo compuesta por las mediciones obtenidas con el analizador de redes en el período de 7 días de acuerdo con la NTCSE, fue de tipo no probabilístico por conveniencia y se tuvo un total de 672 mediciones.

A continuación, en la siguiente figura se tienen todos los equipos de la planta de la cooperativa Agropia, a quienes se realizaron las mediciones con el analizador de redes durante 7 días para obtención de la muestra en estudio.

COOPERATIVA DE PRODUCTORES AGROPIA												
MANTENIMIENTO ELECTRICO DE LA PLANTA AGROPIA												
ROL DE MOTORES Y EQUIPOS DE LA PLANTA DE PROCESOS DE LA COOPERATIVA AG												
			Nº VARIADORES	Nº MOTORES	POTENCIA							
ITEM	SECCION/UBICACIÓN	MARCA	UNIDAD	UNIDAD	HP	KW	I nom.	I trab.	RPM	TABLET	LUMINARIAS	PROCESO PRODUCTIVO
1	COMPRESORA DE ENVASADORA	NO TIENE	0	1	SPL		6.6		3450	1	4 EQUIPOS FLUORESCENTE 2*40W Y LAMPARAS AHORRADORES 3*20W	SECCION SELECCIÓN Y LAVADO DE PRODUCTOS
2	COMPRESORA DE DOSIFICACION DE FRITURA	NO TIENE	0	1	7.5	5.5	12		1740	1		
3	BOMBA DE AGUA	NO TIENE	0	1	1.5	1.2	7.5		3450			
4	INYECTORES DE PURIFICACION DE AIRE	NO TIENE	0	2	1.5		4.8		1750	1		
5	FAJA TRANSPORTADORA DE NACHOS	ABB	1	1						1		
6	RODILLO Y CORTADOR DE EMPAQUES	MITSUBISH	1	1						1		
7	MAQUINA LAVADORA DE PAPAS	NO TIENE	0	1	1.5		6.08		1730	1		
8	MAQUINA REBANADORA DE PAPAS	MITSUBISH	1	1						1		
9	BOMBA LAVADORA DE REBANADOS	MITSUBISH	1	1	1	0.75	7		3450	1		
10	MOTOR DE FAJA ABASTECIMIENTO	SIEMENS	1	1		0.55	2.7		1700	1	3 LAMPARAS DE LED DE 150W	SECCION FRITURA
11	MOTOR QUEMADOR	SIEMENS	1	1						1		
12	VIBRADOR SELECCION DE PRODUCTOS	NO TIENE	0	2								
13	RESA ROTATORIO CLASIFICACION DE PRODUCTOS	SIEMENS	1	1						1		
14	MAQUINA SELLADORA	SIEMENS	1	1						1	3 LAMPARAS DE LED DE 150W	SECCION EMPACADO
15	EXTRACTORES DE HUMO DE ACEITE	NO TIENE	0	2						1		
16	BOMBA DE VACIO	SIEMENS	1	1	1.5	1.1	5.7		2300	1		
17												
18												
19												
20												
21												
TOTAL			9	19						14	6 LAMPARAS 4 EQUIPOS FLUORESCENTES 2*40W 4 FOCOS AHORRADORES DE 20W	

Figura 27. Equipos de la planta cooperativa Agropia

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Según Díaz, la observación es la acción de observar un objetivo claro, y preciso. En la observación, el investigador concede su deseo de observar y el motivo, para lo cual prepara cuidadosamente los elementos necesarios, ello a fin de ponerse en contacto con el hecho o fenómeno de investigación (59). En este

sentido, la investigación tuvo una meta precisa, respecto al deseo de conocer y describir la influencia de un sistema de filtros de la energía eléctrica para una planta de producción.

En la presente investigación se usó la técnica de la observación para lo cual fue necesario la instalación del instrumento de medición analizador de redes marca Flucke modelo 435- II el cual tiene certificado de calibración LPE – 047 – 2021 otorgado por el Instituto Nacional de Calibración a través del Laboratorio de Potencia y Energía con expediente número 1041825. Del mismo modo, el instrumento empleado para recolectar los datos fue una ficha de observación *ad hoc* elaborado por los autores, considerando todos los indicadores de las dimensiones y variables de investigación, como tensión.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Datos generales de la empresa

4.1.1. Ubicación de la empresa

Las instalaciones de la cooperativa agraria Agropia, se encuentran ubicadas en la calle Cahuide S/N, Tres Esquinas, Sapallanga, Huancayo.

El suministro de energía eléctrica está a cargo de Electrocentro. El nivel de tensión actual del suministro es de 220 V.

4.1.2. Equipo utilizado

“Para llevar a cabo las mediciones de parámetros eléctricos se empleó un equipo analizador de redes eléctricas.

“Los parámetros medidos por el equipo *fluk*, modelo 435-II tanto en valores instantáneos RMS como en registros promedio son:

- Registros de tensiones monofásicas y trifásicas por fase (V)
- Registros de corrientes monofásicas y trifásicas por fase (I)
- Desbalances de corrientes (%)
- Armónicas de tensión THDV individuales
- Potencia aparente (kVA)
- Potencia activa (kW)

- Potencia reactiva (kVAR)
- Factor de potencia trifásicas

4.1.3. Procedimiento

“Para evaluar las condiciones de carga y la influencia de la calidad de energía sobre la operación de los equipos dentro de la instalación, se han efectuado los registros de las siguientes variables de la instalación:

- Registros de tensiones trifásicas por fase (V)
- Registros de corrientes trifásicas por fase (I)
- Potencia aparente (kVA)
- Potencia activa (kW)
- Potencia reactiva (kVAR)
- Factor de potencia

Los periodos de los registros e intervalos de medición fueron:

Tabla 11. Los periodos de los registros e intervalos

Punto de medición	Tensión	Equipo	Fecha inicio	Fecha término	Intervalo
Tablero eléctrico TG	220 VAC	Fluke Mod. 435-II	21/5/2021 11:39 h	28/5/2021 10:59 h	15 min

4.2. Resultados del tratamiento y análisis de la información

4.2.1. Análisis del nivel de tensión

En el figura 28 se muestra la variación del nivel de tensión del tablero eléctrico general durante el período de medición.

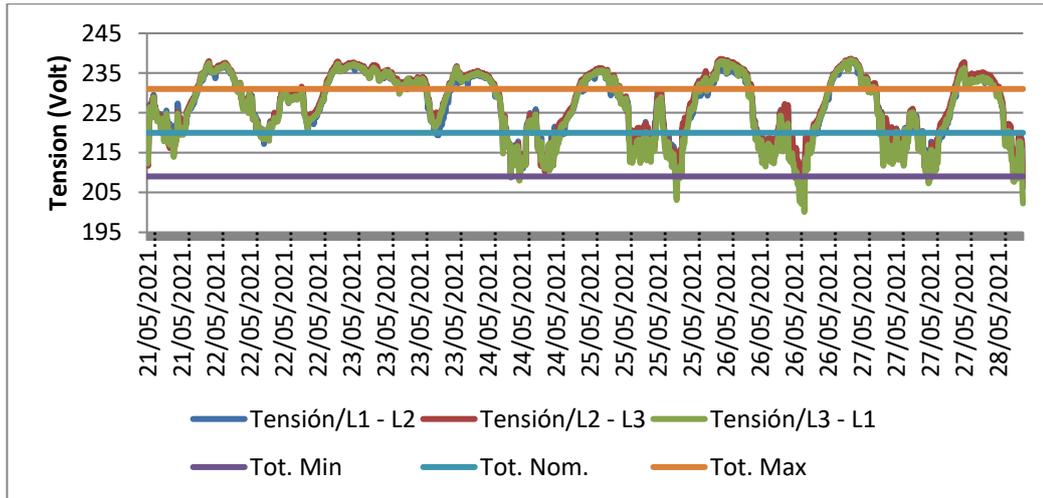


Figura 28. Variación de tensión de fase

En la figura 28 se observa que la tensión media máxima en el punto de medición alcanzó un valor de 238.60 V en la fase V23 el día 27/5/2021, 02:09 h y una mínima tensión de 200.09 voltios en la fase V31 el día 26/5/2021 17:14 h.

De las figuras obtenidas con el analizador de redes se observa que la tensión máxima del sistema es de 238.60 V y la tensión mínima es de 200.09 V. De acuerdo a la norma, la tensión no debe ser superior al 5 % de la tensión nominal (231 V) y tampoco inferior al 5 % de la tensión nominal (209 V).

De los registros obtenidos en las mediciones se tiene el siguiente cuadro resumen, los valores que se muestran a continuación son del periodo de operación normal de la instalación:

Tabla 12. Tensiones

Valores	Fase V(L1 - L2)	Fase V(L2 - L3)	Fase V(L3 - L1)	Trifásica V123
Promedio máximo	237.98	238.60	238.30	238.29
Promedio mínimo	204.79	206.75	200.09	203.88

De acuerdo a la figura 28 y tabla 12 se observa que muy pocas veces se tiene en la planta la tensión nominal (220 V), casi siempre se encuentra por encima o por debajo de ese valor, la mayor parte del tiempo

está por encima del valor nominal y en múltiples ocasiones se encuentran valores superiores al máximo permitido por la normatividad vigente (231 V), también no muy pocas veces se tiene valores por debajo del mínimo permitido por la normatividad vigente (209 V); esto incide en la eficiencia de los equipos, asimismo tiene un impacto en la vida útil.

4.2.2. Análisis de la frecuencia

En la figura 29 se muestra la variación de la frecuencia, durante el período de medición. “Las tolerancias admitidas para variaciones sobre la frecuencia nominal, en todo nivel de tensión (alta, media y baja) según la norma técnica de calidad de los servicios eléctricos (NTCSE) (DS N.º 020-97-EM numeral 5.2.3)”, son:

Variaciones súbitas (VSF): ± 1.0 Hz. Variaciones sostenidas (Δf_k): $\pm 0.6\%$.

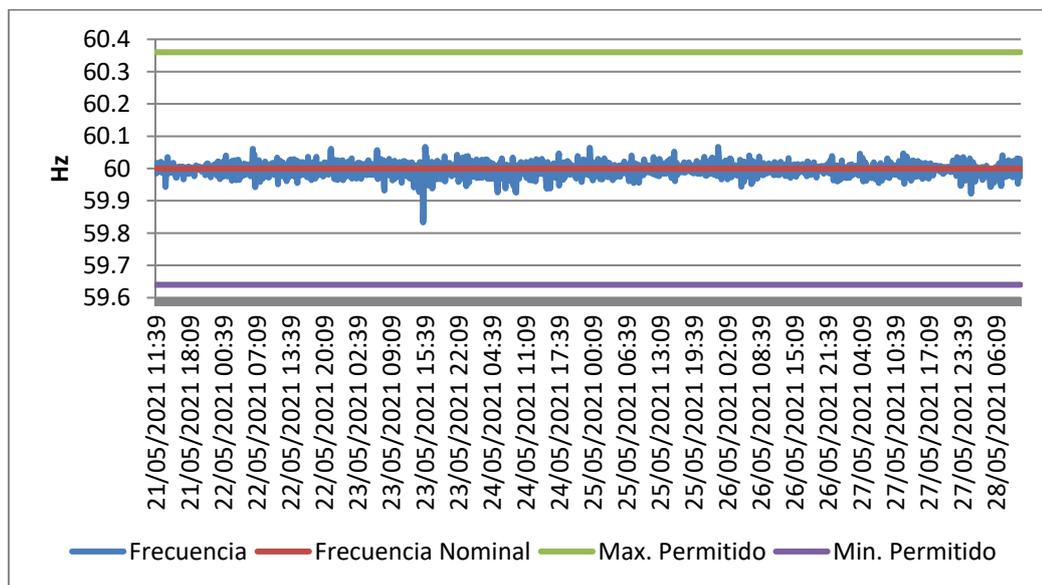


Figura 29. Variación de frecuencia

Tabla 13. Variación de frecuencia

Valores	Frecuencia (Hz)
Máximo	60.07
Promedio	60.00
Mínimo	59.83

De acuerdo con la figura 29 y la tabla 13, se muestra que la variación de la frecuencia industrial no supera los límites de tolerancia permitida, tanto para variaciones súbitas (60 ± 1 Hz) y tampoco supera los límites permitidos para variaciones sostenidas (60 ± 0.36 Hz) a lo largo del periodo de medición por los equipos analizadores; es decir, las variaciones de frecuencia en la red se encuentran dentro de los valores permitidos por la normatividad vigente del Perú.

4.2.3. Análisis de los armónicos

4.2.3.1. Factor de distorsión total por efecto de las tensiones armónicas

“La distorsión total de armónicas de tensión (THDV) en el caso más crítico durante el periodo de operación normal es de 6.74 %. Considerando el suministro en baja tensión, no supera el 8 % establecido según la NTCSE (figura 30).

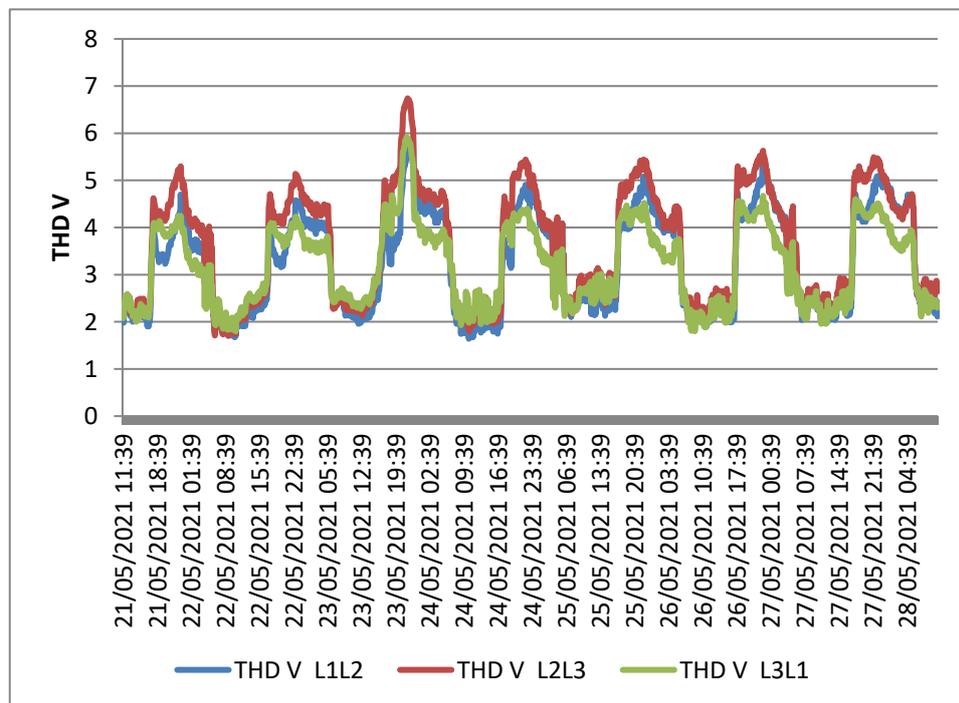


Figura 30. Variación de frecuencia Factor total de distorsión de tensión armónica

Tabla 14. Valores de THD

Valores	THD V12 (%)	THD V23 (%)	THD V31 (%)
Máximo	5.73	6.74	5.92
Promedio	3.29	3.62	3.20
Mínimo	1.64	1.70	1.80

De la figura 30 se aprecia que el nivel máximo de distorsión armónica en tensión es de 6.74 % en la fase V23. Esto indica que los niveles de distorsión son mínimos. En la tabla 14 se muestra el resumen para el factor de distorsión total de armónicas de tensión (THDV).

Las armónicas individuales de tensión han estado dentro de las tolerancias permisibles establecidas en la NTCSE, la tasa total de tensión armónica (THDV) en el caso más crítico alcanzó un valor de 6.74 %. Cabe indicar que la tolerancia para el THDV establecida en la NTCSE para Media y Baja Tensión es del 8 %.

4.2.3.2 Factor de distorsión total por efecto de las corrientes armónicas

En la figura 31 se observa que el factor de distorsión total de armónicas de corriente (THDI) en el caso más crítico alcanza el valor de 82.56 %.

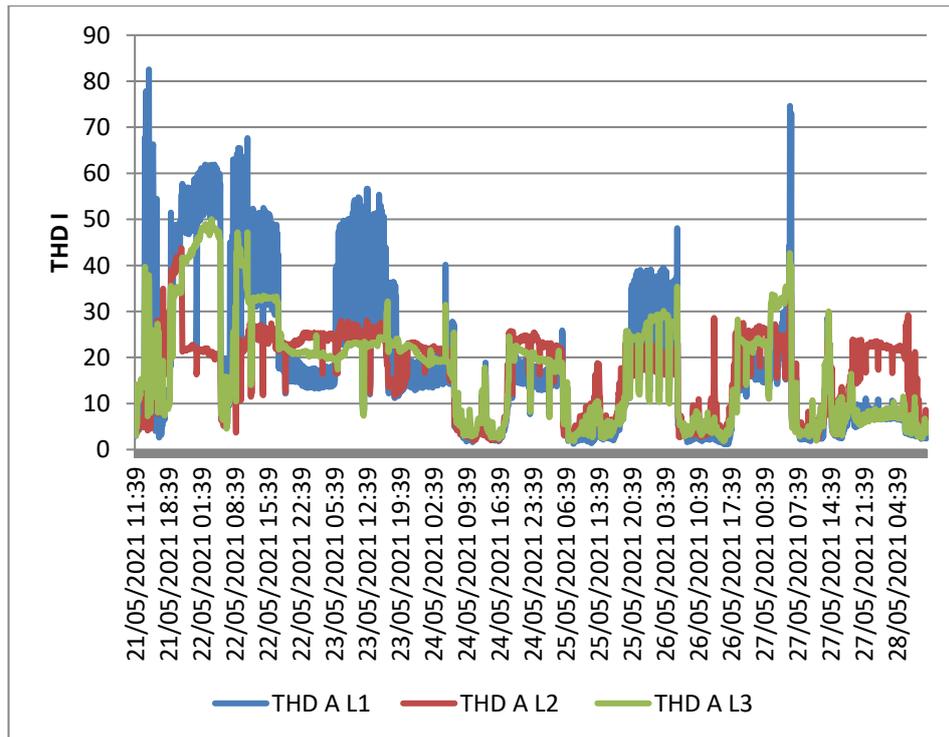


Figura 31. Factor total de distorsión de corriente armónica

A continuación, “se muestra el cuadro de resumen en valores porcentuales para el factor de distorsión total de armónicos de corriente (THDI), los valores que se muestran a continuación son del periodo de operación normal de la instalación:

Tabla 15. Valores de THDI

Valores	THD I A (%)	THD I B (%)	THD I C (%)
Máximo	82.56	43.77	50.05
Promedio	18.23	16.84	17.47
Mínimo	1.16	1.94	1.86

4.2.4. Análisis de las perturbaciones

En la figura 32 se muestra la variación del índice de severidad por *Flicker* registrado durante el periodo de medición.

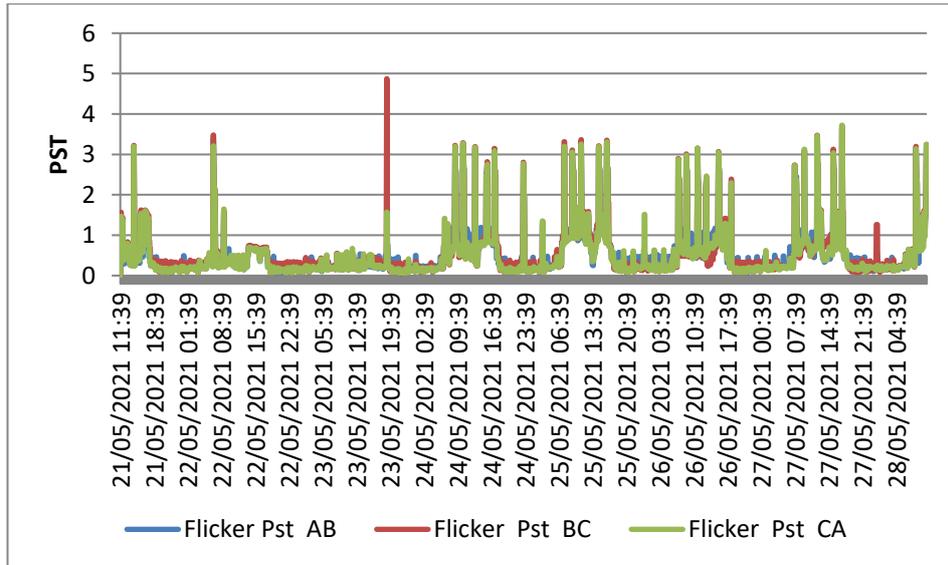


Figura 32. Índice de severidad por Flicker (PST)

En la figura 32 se observa que los valores de *Flicker* promedio son mayores a 1 Pst, por ello, se dice que sobrepasa lo establecido por la NTCSE durante el período total de medición; también se observa un pico que alcanzó un valor máximo de 4.87 Pst ocurrido en el instante 23/5/2021 18:54 h.

Tabla 16. *Flicker*

Valores	Flicker L1L2 PST	Flicker L2L3 PST	Flicker L3L1 PST
Máximo	3.63	4.87	3.72
Promedio	0.55	0.53	0.49
Mínimo	0.00	0.00	0.00

En la tabla 16 se muestra un resumen de los niveles de *Flicker* durante el período total de medición, los valores que se muestran a continuación corresponden a cada fase y son del periodo de operación normal de las instalaciones, donde resalta el valor máximo de 4,87 y el mínimo es cero.

4.3. Pruebas de hipótesis

4.3.1. Hipótesis específica 1

El sistema de filtros propuesto mejora la forma de la onda de tensión en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.

Para probar la hipótesis se analizaron los gráficos de las ondas de tensión, así como la tasa de distorsión armónica antes y después de la implementación del sistema de filtros propuesto.

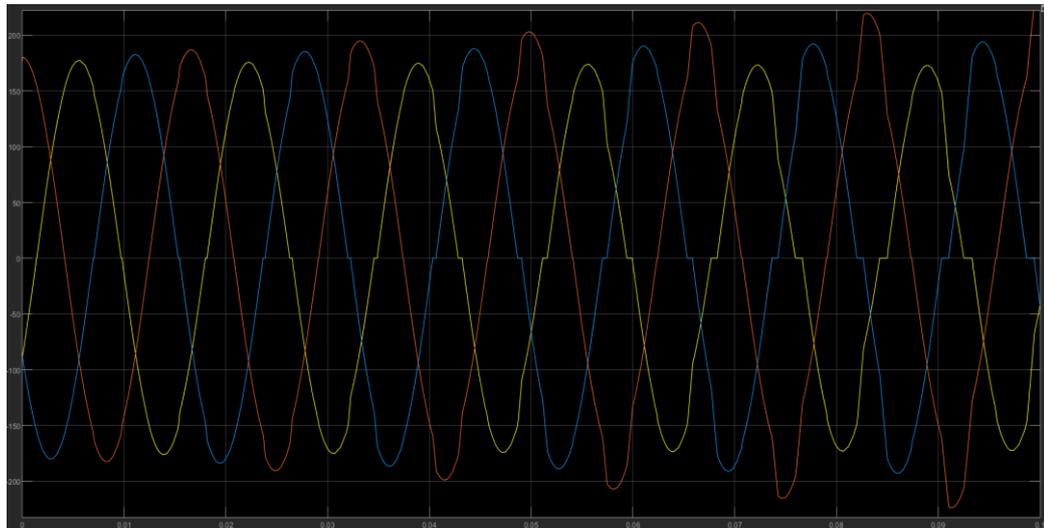


Figura 33. Onda de tensión antes de implementar el sistema de filtros

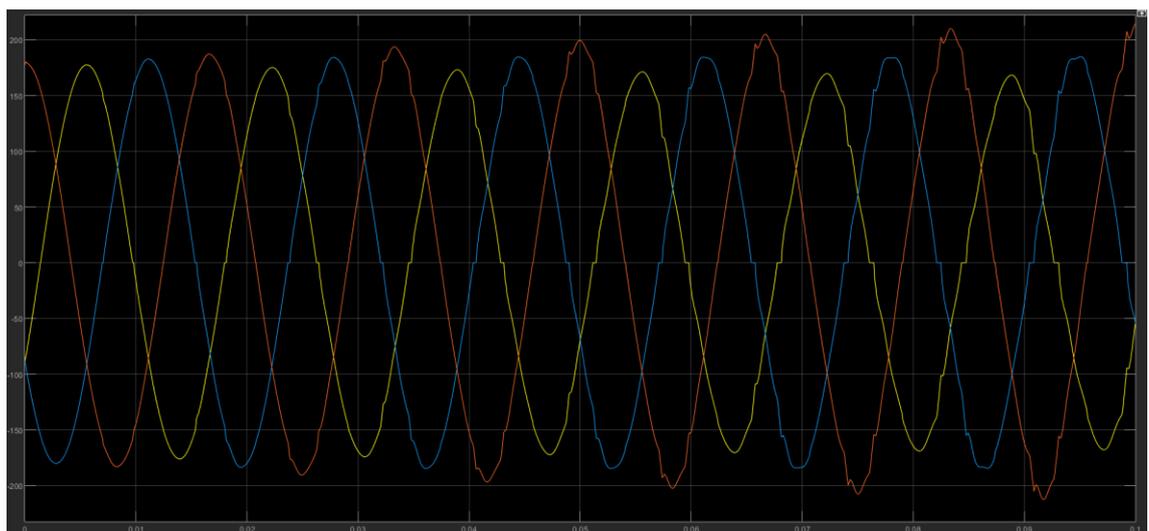


Figura 34. Onda de tensión después de implementar el sistema de filtros

Observando las figuras 33 y 34, se nota que la forma de onda mejora después de la implementación del sistema de filtros; es decir, se acerca un poco más al modelo de onda senoidal. Estos resultados son corroborados determinando la tasa de distorsión armónica.

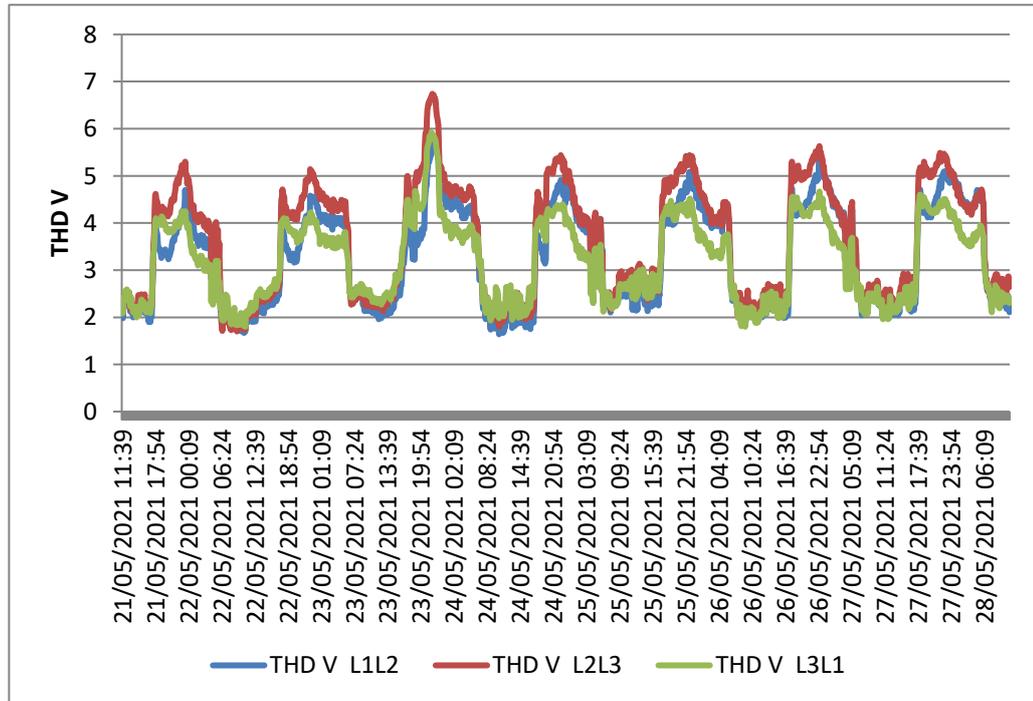


Figura 35. Tasa de distorsión armónica y onda de tensión antes de implementar el sistema de filtros

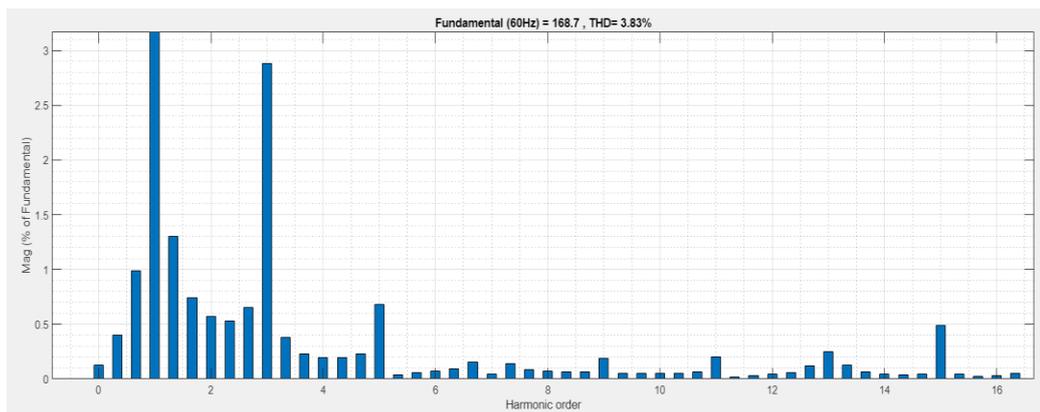


Figura 36. Tasa de distorsión armónica y onda de tensión después de implementar el sistema de filtros

A partir de la figura 35 con los datos antes de implementar el sistema de filtros que muestran la tasa de distorsión armónica de 6,74 y

la figura 36 obtenido con el software Simulink, se confirma que el sistema de filtros mejora la forma de la onda de tensión debido a que el valor de la distorsión armónica total (THD) después de implementar el sistema de filtros es menor al valor obtenido antes de implementar los filtros (3,83 % < 6,74 %) con lo cual queda demostrada la hipótesis que establecía que el sistema de filtros propuesto mejora la forma de la onda de tensión en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.

4.3.2. Hipótesis específica 2

El sistema de filtros propuesto disminuye el porcentaje de armónicos más relevantes en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.

Para probar la hipótesis se analizan los valores de los armónicos antes y después de la implementación del sistema de filtros y luego evaluar su efectividad, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 17. Hipótesis específica 2

Frecuencia	Armónico	Antes	Después
180 Hz	h3	5,29	2,88
300 Hz	h5	1,98	0,68
420 Hz	h7	0,19	0,04
540 Hz	h9	1,53	0,19
660 Hz	h11	1,12	0,20

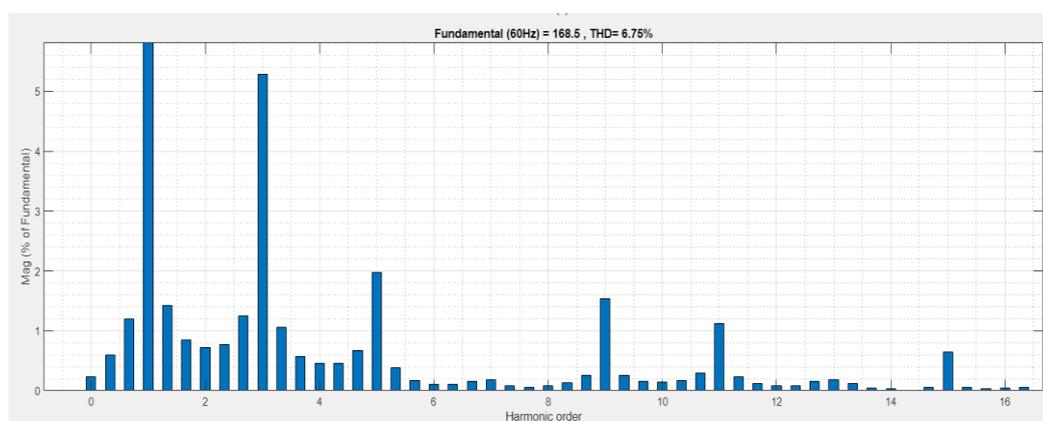


Figura 37. Distribución de los armónicos de tensión antes de implementar el sistema de filtros

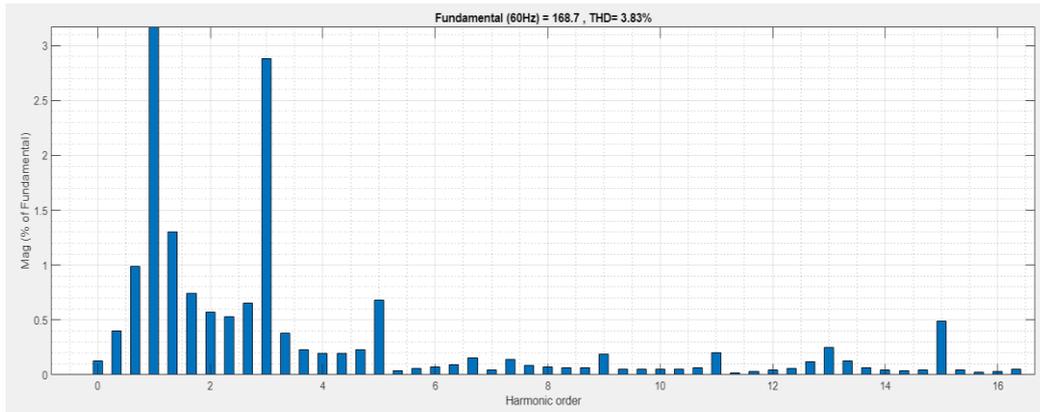


Figura 38. Distribución de los armónicos de tensión después de implementar el sistema de filtros

De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla 17, así como las figuras 37 y 38 se puede observar los armónicos más relevantes que se presentan en el sistema eléctrico de la planta y además se afirma que en todos los casos el valor de los porcentajes de armónicos es pequeño, los cuales se ven reflejados en la tasa de distorsión armónica. Asimismo, se demuestra que el sistema de filtros propuesto disminuye los armónicos más relevantes y prácticamente desaparecen los armónicos 7 y 9 con lo cual queda demostrada la hipótesis que establecía que el sistema de filtros disminuye el porcentaje de armónicos más relevantes en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.

4.3.3. Hipótesis específica 3

El sistema de filtros propuesto disminuye el nivel de *Flicker* causado por interarmónicos en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.

Para probar la hipótesis se analizan los valores de los interarmónicos antes y después de la implementación del sistema de filtros; para ello se tiene en cuenta la conclusión a la que llegó Alfaro (60). En su investigación “*Influencia de los interarmónicos sobre el nivel de Flicker en la red eléctrica de la ciudad de Trujillo*” que el 73,10 % de variación de los Pst es explicado por los interarmónicos. Los resultados

obtenidos a partir de la simulación en el software Simulink son los siguientes:

Tabla 18. Hipótesis específica 3

Frecuencia	Antes	Después
20 Hz	0,59 %	0,40 %
40 Hz	1,19 %	0,99 %
80 Hz	1,43 %	1,30 %
100 Hz	0,85 %	0,74 %
140 Hz	0,77 %	0,53 %
160 Hz	1,24 %	0,65 %
200 Hz	1,06 %	0,38 %
...
980 Hz	0,06 %	0,05 %

De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla 18, se observa que los porcentajes de los diferentes interarmónicos han disminuido significativamente después de implementar el sistema de filtros, en algunos casos la disminución es más de la mitad, esto permite concluir de acuerdo con Alfaro que los valores Pst disminuirán, es decir, la percepción de parpadeo a corto plazo (*Flicker*) será menor, con lo cual queda demostrada la hipótesis que establecía que el sistema de filtros disminuye el nivel de *Flicker* causado por interarmónicos en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.

4.3.4. Hipótesis específica 4

El sistema de filtros propuesto mejora el factor de potencia en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.

Para probar la hipótesis se analizan las potencias activas y reactivas que fueron simuladas con el software Simulink antes y después de la implementación del sistema de filtros; y a partir de estos valores se determinará el factor de potencia y se realizará la comparación.

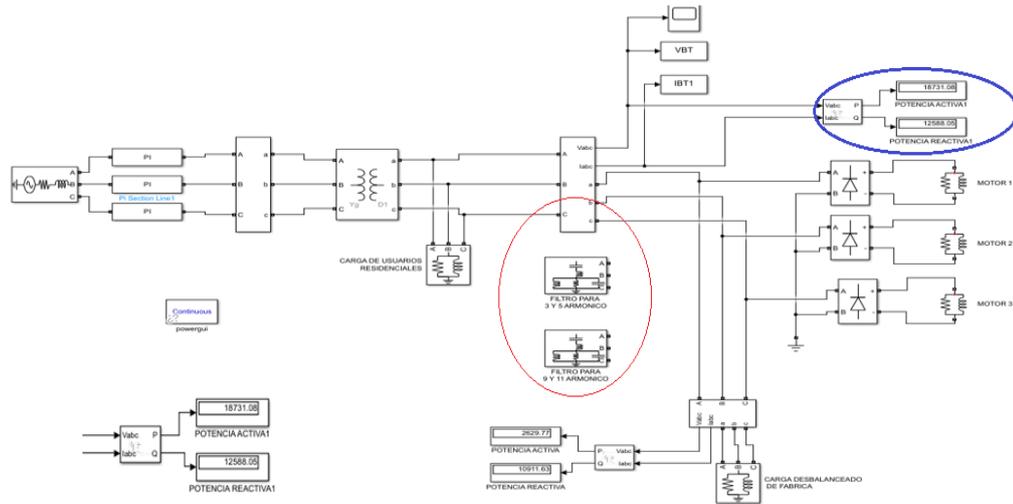


Figura 39. Valores de potencia activa y reactiva antes de la implementación del sistema de filtros

Determinación del factor de potencia antes de la implementación del sistema de filtros:

La potencia activa tiene el valor de 18471,08 W

La potencia reactiva tiene el valor de 12588,05 VAR

Entonces, el factor de potencia será:

$$FP_A = \cos(\arctg(12588,05/18471,08)) = 0,826$$

$$FP_A = 0,826$$

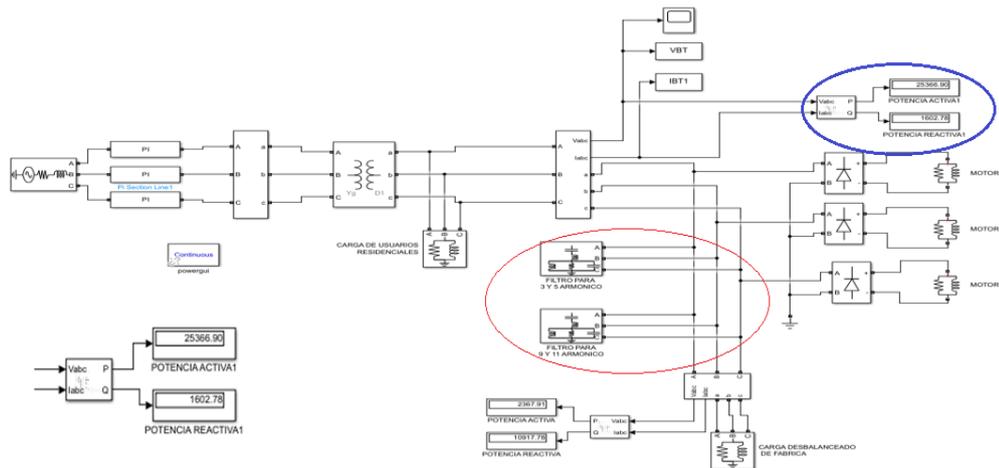


Figura 40. Valores de potencia activa y reactiva después de la implementación del sistema de filtros

Determinación del factor de potencia antes de la implementación del sistema de filtros:

La potencia activa tiene el valor de 25366,90 W

La potencia reactiva tiene el valor de 1602,78 VAR

Entonces el factor de potencia será:

$$FP_D = \cos(\arctg(1602,78/25366,90)) = 0,998$$

$$FP_D = 0,998$$

El factor de potencia antes de la implementación del sistema de filtros da un valor relativamente bueno $FP_A = 0,826$, sin embargo, tener un factor de potencia superior a 0,95 permitirá un mejor desempeño de las máquinas e incremento de la vida útil, reducción de pérdidas térmicas, entre otros; el valor que se obtuvo después de la implementación del sistema de filtros es excelente, porque llega un valor casi ideal de $FP_D = 0,998$, es decir, se comprueba la hipótesis que el sistema de filtros mejora el factor de potencia en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.

4.3.5. Hipótesis general

El sistema de filtros propuesto permitirá mejorar la calidad de la energía eléctrica en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.

Para probar la hipótesis, se realizaron dos simulaciones en el software Simulink; en primer lugar, utilizando los datos obtenidos de las condiciones actuales los cuales se muestran en la estadística descriptiva y a continuación se realizó una nueva simulación a partir de la implementación de los filtros diseñados, los resultados obtenidos en ambos casos serán comparados y permitirán validar la hipótesis.

Modelado en Simulink con las condiciones actuales

Características

Barra infinita

- Generador de 13.2 kV
- Línea primaria de 8 km
- Transformador de 500 kVA, 13.8/0.22 kV
- Carga de usuarios residenciales 80 kW

Carga lineal

- Potencia activa: 2 kW
- Potencia reactiva inductiva: 10 kVAR

Carga no lineal

- 3 arrancadores suaves para motores
- Potencia: 5.5 kW de cada motor

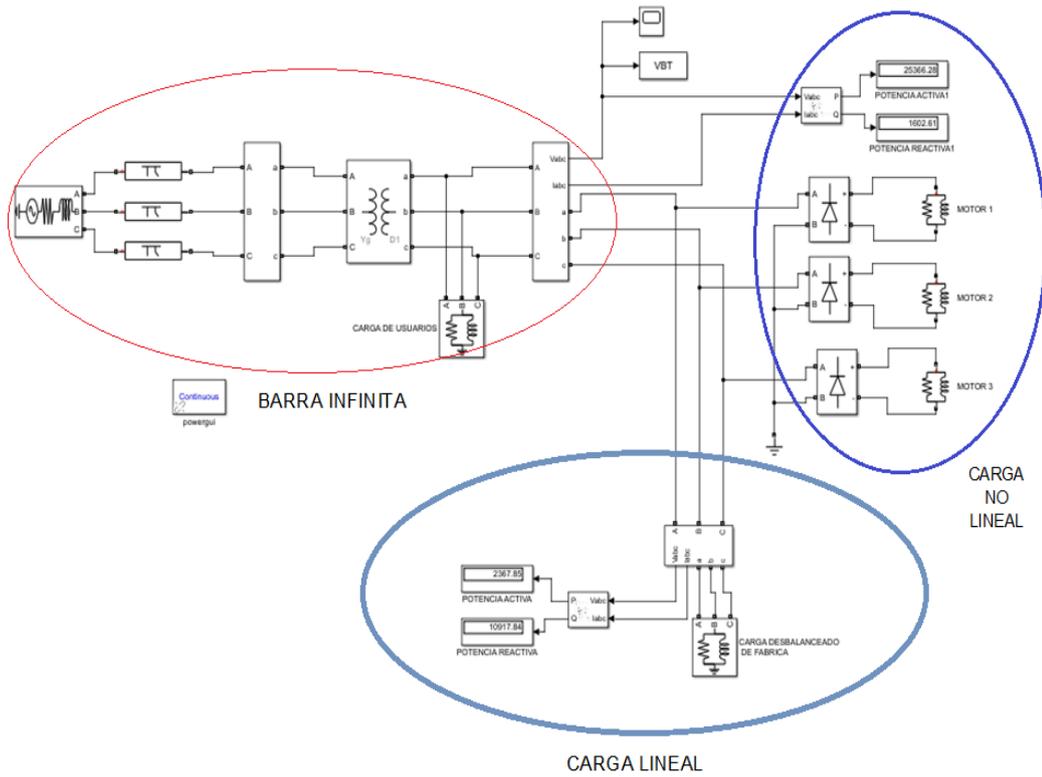


Figura 41. Modelado del sistema eléctrico de la cooperativa Agropia

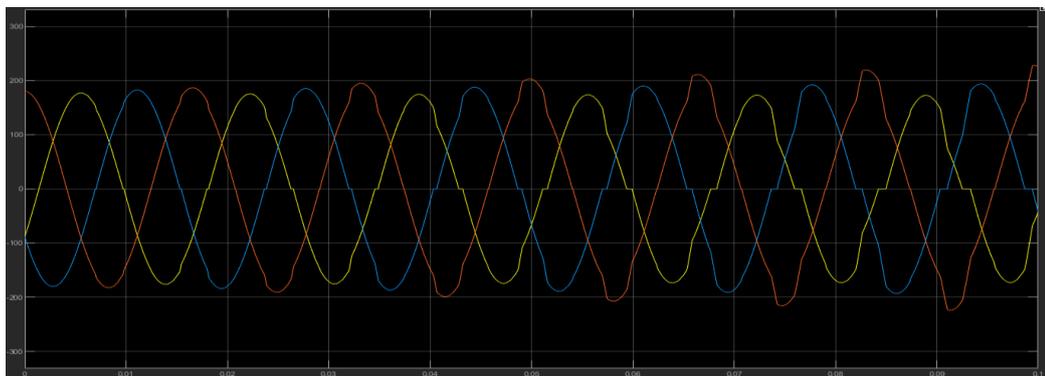


Figura 42. Onda de tensión de fase antes de los filtros

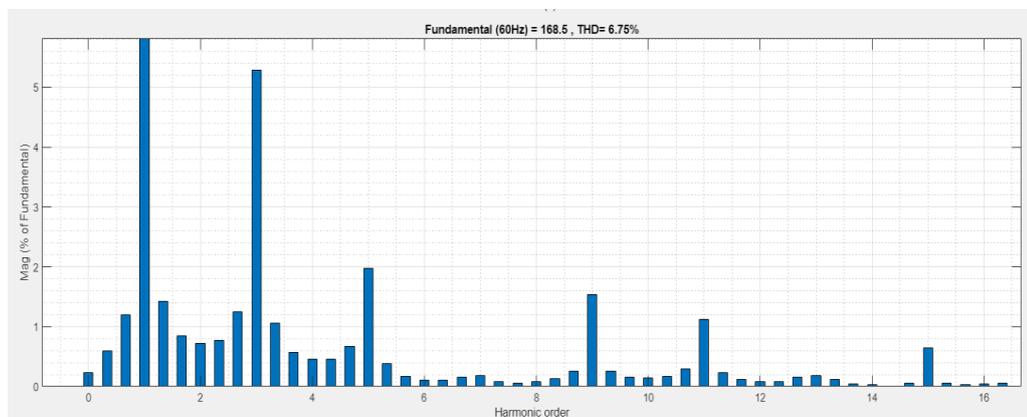


Figura 43. Características de los armónicos antes de los filtros

Conclusión: se debe mitigar el 3, 5, 9 y 11 armónico, compensando 12 kVAR de potencia reactiva.

Dimensionamiento del filtro

Filtro 1: sintonizado para el 3 y 5 armónico con 5 kVAR

Filtro 2: sintonizado para el 9 y 11 armónico con 5 kVAR

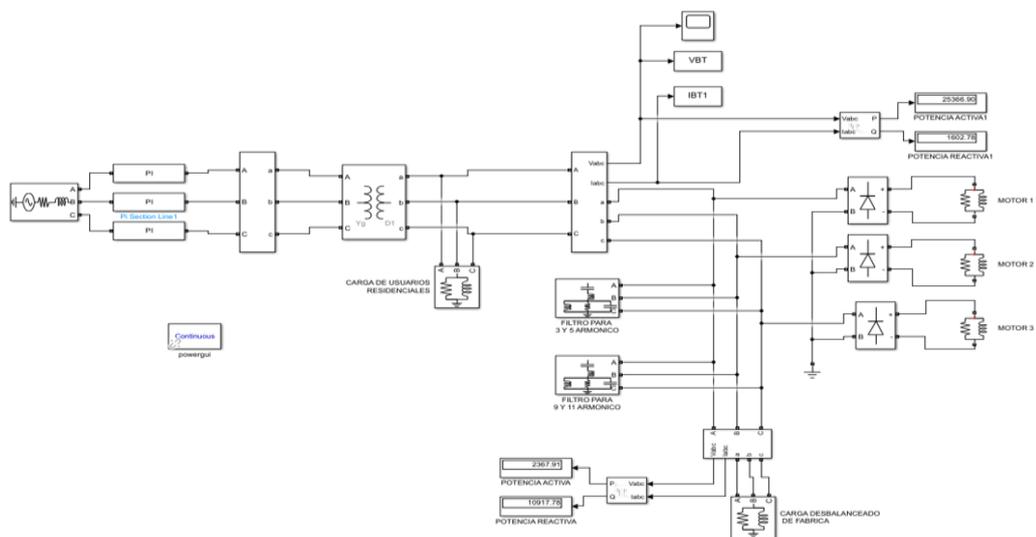


Figura 44. Circuito incluyendo los filtros

The screenshot shows the 'Block Parameters: FILTRO PARA 3 Y 5 ARMONICO' dialog box. The title is 'Three-Phase Harmonic Filter (mask) (link)'. The description states: 'Implements a three-phase harmonic filter. The filter is built up from passive RLC components. Their values are computed using the specified nominal reactive power, tuning frequency (ies) and quality factor.'

Parameters:

- Type of filter: Double-tuned
- Filter connection: Y (grounded)
- Nominal L-L voltage and frequency [Vn(Vrms) fn(Hz)]: [220 60]
- Nominal reactive power (var): 5e3
- Tuning frequencies [Fr1 (Hz) Fr2 (Hz)]: [3*60 5*60]
- Quality factor (Q): 16
- Measurements: None

Buttons: OK, Cancel, Help, Apply

Figura 45. Parámetros ingresados en simulink para el filtro de armónicos 3 y 5

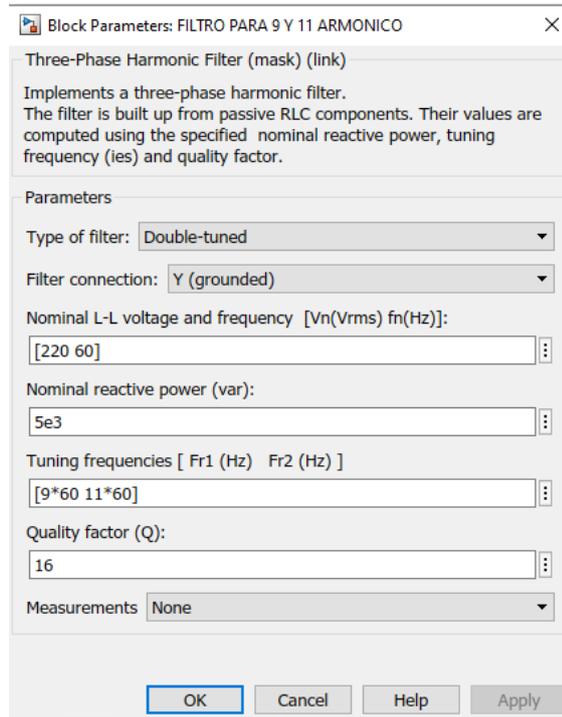


Figura 46. Parámetros ingresados en Simulink para el filtro de armónicos 9 y 11. Tomada de los parámetros de filtros

Resultados después de implementar los filtros

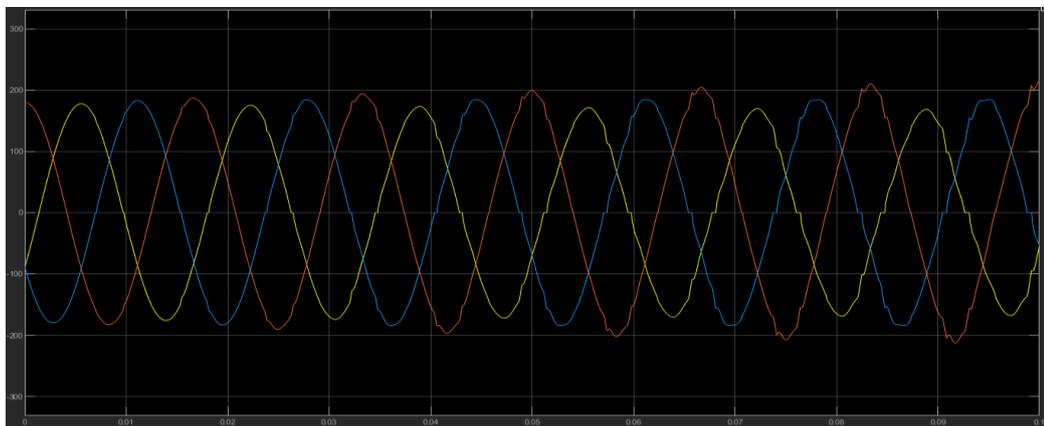


Figura 47. Onda de tensión de fase después de implementar los filtros. Tomada del comportamiento de filtros

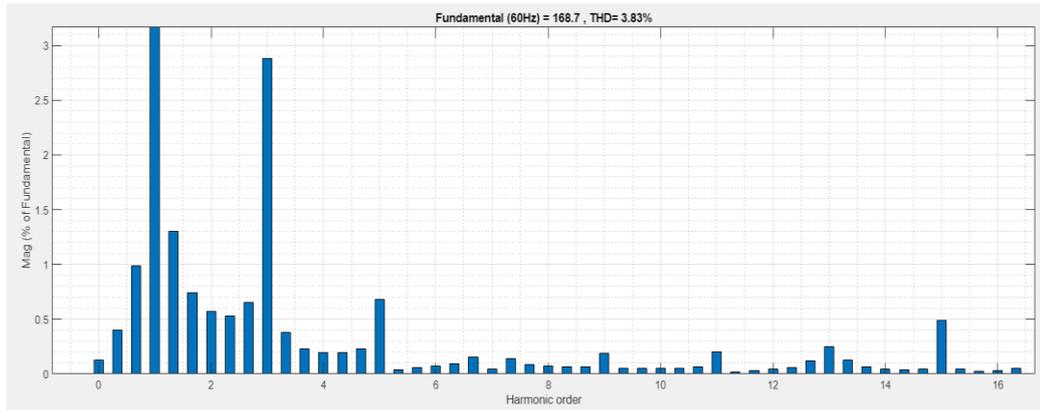


Figura 48. Características de los armónicos después de implementar los filtros. Tomada de los parámetros de filtros

De acuerdo con los resultados mostrados en la figura 39 antes de implementar los filtros y los resultados mostrados en las figuras 40 después de implementar los filtros; se tiene un aumento de la potencia activa (antes: 18.4 kW y ahora: 25.4 kW), de igual manera existe una reducción de la potencia reactiva (antes: 12.6 kVAR y ahora: 1.6 kVAR); asimismo, el factor de potencia mejoró sustancialmente pasando de $FP_A = 0,826$ a $FP_D = 0,998$, finalmente existe una reducción de THD de voltage (antes: 6.75 % y ahora: 3.83 %); estos resultados evidencian que el sistema de filtros propuesto mejora la calidad de la energía eléctrica en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021; con lo cual queda demostrada la hipótesis.

4.4. Discusión de resultados

En cuanto al análisis de los niveles de tensión en la planta de la empresa cooperativa Agropia, de acuerdo a la figura 28 y tabla 12 se observa que muy pocas veces se tiene en la planta la tensión nominal (220 V), casi siempre se encuentra por encima o por debajo de ese valor, la mayor parte del tiempo está por encima del valor nominal y en múltiples ocasiones se encuentran valores superiores al máximo permitido por la normatividad vigente (231 V), también en varias ocasiones se tiene valores por debajo del mínimo permitido por la normatividad vigente (209 V). Los hallazgos coinciden con los de Pacara et al. en su tesis “*Influencia sobre la tensión eléctrica en la calidad de suministro*” (19), donde llegaron a la conclusión de que existe una baja tensión de la red de

energía suministrada en forma permanente e intermitente, causada por la línea de distribución por la baja capacidad de la red; asimismo, se tiene presencia de sobretensiones muy elevadas, causadas por el encendido y apagado de las cargas; para resolver el problema plantearon implementar un regulador de voltaje, con limitadores de tensión. Sin embargo, los resultados son diferentes a los obtenidos por Corzo en su tesis "*Descripción de los parámetros de la calidad de energía eléctrica del sistema de utilización de la clínica Rebagliati – Huancayo, 2020*" (21), donde demuestra que los registros de tensión obtenidos son válidos para los límites de +/- 5 % según la NTCSE.

Respecto a la variación de frecuencia, de acuerdo con la figura 29 y la tabla 13, se muestra que la variación de la frecuencia industrial no supera los límites de tolerancia permitida, tanto para variaciones súbitas (60 ± 1 Hz) y tampoco supera los límites permitidos para variaciones sostenidas (60 ± 0.36 Hz) a lo largo del periodo de medición por los equipos analizadores; es decir las variaciones de frecuencia en la red se encuentran dentro de los valores permitidos por la normatividad vigente de Perú. Los resultados coinciden con los de Corzo en su tesis "*Descripción de los parámetros de la calidad de energía eléctrica del sistema de utilización de la clínica Rebagliati – Huancayo, 2020*" (21), donde demuestra que respecto a las pruebas de medición con Unilyzer 902, se pudo concluir que la frecuencia medida se encuentra en los límites permitidos del +/- 0.6 % de la NTCSE.

En cuanto a la distorsión armónica, a partir de la figura 30 se aprecia que el nivel máximo de distorsión armónica en tensión es de 6.74 % en la fase V23. Esto indica que los niveles de distorsión son mínimos. Las armónicas individuales de tensión han estado dentro de las tolerancias permisibles establecidas en la NTCSE, la tasa total de tensión armónica (THDV) en el caso más crítico alcanzó un valor de 6.74 %. Cabe indicar que la tolerancia para el THDV establecida en la NTCSE para Media y Baja Tensión es del 8 %. Los resultados coinciden con los de Cueva y Orellana en su tesis "*Evaluación de la calidad de la energía en Radio Universitaria*" (20), donde se pudo concluir de los exámenes realizados la estación transmisora de la radio, que la tensión y los

armónicos de tensión están dentro de los niveles de la NTCSE. También se coincide con los obtenidos por Palomino y Mendoza en su tesis “*Análisis de las corrientes armónicas en baja tensión y su incidencia a la calidad del producto del Hospital Regional del Cusco, 2018*” (16), donde afirman que se pudo encontrar que, sobre las armónicas de tensión, en THDv no vulneran la normativa de calidad.

Según el análisis de perturbaciones, en la figura 32 se observa que los valores de *Flicker* promedio son mayores a 1 Pst, por ello se dice que sobrepasa lo establecido por la NTCSE durante el período total de medición; también se observa un pico que alcanzó un valor máximo de 4.87 Pst ocurrido en el instante 23/5/2021 18:54 h. Los resultados son similares a los de Corzo en su tesis “*Descripción de los parámetros de la calidad de energía eléctrica del sistema de utilización de la clínica Rebagliati – Huancayo, 2020*” (21), demuestra que lo relacionado al índice de severidad a corto plazo (PST), no están en el límite ($PST \leq 1$) según lo indica la NTCSE, asimismo, los de largo plazo (PLT), según la EN50-160 ($PLT \leq 1$) tampoco están dentro de los parámetros regulados por la mencionada norma.

En cuanto a la calidad de la energía eléctrica, de acuerdo con los resultados mostrados en las figuras 39 y 40 (antes y después de implementar los filtros respectivamente), se tiene un aumento de la potencia activa (antes: 18.4 kW y ahora: 25.4 kW), de igual manera existe una reducción de la potencia reactiva (antes: 12.6 kVAR y ahora: 1.6 kVAR); asimismo, el factor de potencia mejoró sustancialmente pasando de $FPA = 0,826$ a $FPD = 0,998$, finalmente de acuerdo con los resultados mostrados en las figuras 43 y 48 se puede notar que existe una reducción de THD de voltaje (antes: 6.75 % y ahora: 3.83 %); estos resultados evidencian que el sistema de filtros propuesto mejora la calidad de la energía eléctrica en la planta de producción de la cooperativa Agropia. Los resultados son similares a los obtenidos por Ramírez en su tesis “*Implementación de un sistema de compensación reactiva y filtrado de armónicos en la planta de producción de Clorox para mitigar los problemas de calidad de energía*” (18), donde plantea que implementando el sistema de compensación

reactiva y filtrado de armónicos se mitigaran los problemas de calidad de energía en el sistema eléctrico de la empresa Clorox, "y luego del diagnóstico se implementan los filtros para corregir los armónicos además de interruptores de protección; luego de la implementación de la propuesta de mejora y mediciones por una semana se obtuvo como resultado en ambas subestaciones que los parámetros eléctricos están dentro de los rangos establecidos por la NTCSE, se logra mejorar el factor de potencia de las 2 subestaciones a 0.977; finalmente, se concluye que el proyecto es viable, ya que se logra minimizar el consumo de energía y mejorar la calidad de energía, asimismo el tiempo de recuperación de la inversión es de 2.1 años.

CONCLUSIONES

1. El sistema de filtros eléctricos propuesto acorde a los parámetros eléctricos analizados permitirá mejorar la calidad de energía en la planta de producción de la cooperativa Agropia- 2021, esto se concluye a partir de las evidencias como el incremento de la potencia activa, la reducción de la potencia reactiva que trae consigo el mejoramiento del factor de potencia y la reducción de la distorsión armónica total THD.
2. El sistema de filtros propuesto mejora la forma de la onda de tensión en la planta de producción de la cooperativa Agropia, esto se concluye a partir de que el valor de la distorsión armónica total (THD) después de implementar el sistema de filtros es menor al valor obtenido antes de implementar los filtros (3,83 % < 6,74 %).
3. El sistema de filtros propuesto disminuye el porcentaje de armónicos más relevantes en la planta de producción de la cooperativa Agropia, se arriba a esta conclusión a partir de que el valor de los armónicos 3,5,9 y 11 disminuyen sustancialmente después de la implementación, pasando de 5,29, 1,98, 1,53 y 1,12 a 2,88, 0,68, 0,19 y 0,20 respectivamente.
4. El sistema de filtros propuesto disminuye el nivel de *Flicker* causado por interarmónicos en la planta de producción de la cooperativa Agropia, esto se concluye a partir de que los porcentajes de los diferentes interarmónicos han disminuido significativamente después de implementar el sistema de filtros y en algunos casos la disminución es más de la mitad.
5. El sistema de filtros propuesto mejora el factor de potencia en la planta de producción de la cooperativa Agropia, se llega a esta conclusión después de comprobar el incremento de la potencia activa y la disminución de la potencia reactiva, lo que trajo consigo que el factor de potencia se incremente de $FP_A = 0,826$ hasta $FP_D = 0,998$.

6. Las mediciones del nivel de tensión se encuentran fuera de los parámetros permitidos por la norma, en el caso de la tensión L1-L2 el 40.4 % superan los valores permitidos, en L2-L3 el 42.8 % y en L3-L1 el 41,7 %; en todos los casos el valor de la frecuencia se encuentra dentro de los parámetros permitidos por la norma (59,64 Hz – 60,36 Hz), específicamente el 100 % de los valores se encuentran en el rango de 59,833 Hz a 60,067 Hz; los valores de distorsión armónica total en la mayoría de casos se encuentran muy por debajo de lo permitido por la norma; los valores del índice de severidad por *Flicker* en promedio son mayores a 1 Pst, por ello se dice que sobrepasa lo establecido por la NTCSE durante el período total de medición.

RECOMENDACIONES

1. Realizar monitoreos esporádicos de las diferentes magnitudes eléctricas (tensión, frecuencia, armónicos, perturbaciones) con la finalidad de prevenir deficiencias en la calidad de la energía eléctrica que traiga consigo paralizaciones intempestivas en los equipos, así como funcionamiento no adecuado.
2. Implementar el sistema de filtros eléctricos propuesto previa evaluación económica, debido a que las diferentes magnitudes medidas se encuentran dentro de los rangos permitidos por la norma, teniendo en cuenta que toda inversión debe tener un retorno económico y ser rentable.
3. Implementar un estabilizador también conocido como regulador de voltaje, que permita mantener un flujo de corriente estable para proteger a los aparatos eléctricos conectados a él contra problemas como sobrevoltaje, caída de tensión y en general variaciones de voltaje; previamente debe realizarse una evaluación económica.

LISTA DE REFERENCIAS

1. **HyTEPS.** HyTEPS Netherlands. *Energy Saving Power Quality Active Harmonic Filter* . [En línea] 2001. [Citado el: 21 de 8 de 17.] <https://hyteps.com/products/active-harmonic-filter/>.
2. **TUOMALA, Kari.** Merus Power . [En línea] Merus TM STATCOM , 17 de julio de 2020 . [Citado el: 8 de 18 de 2021.] <https://www.meruspower.fi/merus-active-harmonic-filters-printing-machines-bring-benefits-save-money/>.
3. **Osinergmin.** *Anuario estadístico mundial de energía 2020*. Lima : Enerdata, 2020.
4. —. *La industria de la electricidad en el Perú*. [En línea] Estudios Económicos. [Citado el: 12 de 2 de 2021.] https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Paginas/PageNotFoundFoundError.aspx?requestUrl=http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economic.
5. **Ministerio de Energía y Minas.** *Principales Indicadores del sector eléctrico a nivel nacional*. [En línea] 2020. [Citado el: 12 de 2 de 2021.] <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/1%20Cifras%20preliminares%20del%20Sector%2>.
6. **Empresa de Domótica Córdoba.** *Calidad de energía eléctrica*. [En línea] IECOR. [Citado el: 2020 de 2 de 12.] <https://www.iecor.com/calidad-de-energia-electrica/>.
7. **Ministerio de Energía y Minas.** *Norma técnica de calidad de los servicios técnicos*. Lima : Ministerio de Energía y Minas, 2021.
8. **CABALLERO, C., y otros.** *Filtro activo de potencia para compensar la distorsión armónica de un sistema fotovoltaico autónomo*". 9, Bolivia : Revista Tecnológica Ecorfan, 2016, Vol. 3. 9 76-84.
9. **GONZÁLEZ, L., HUERTA, F. y SELLSCHOPP, F.** *Comportamiento de las armónicas de voltaje y corrientes, debido a desbalances de líneas en un sistema eléctrico de potencia con cargas no lineales*. 2, México : Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo, 2016, Vol. 2. ISSN: 2448-623X.

10. **FAJARDO, M., VIOLA, J. y QUIZHPI, F.** *Filtro activo de potencia para instalaciones bifásicas con capacidad de balance de corrientes.* 1, Ecuador : Revista Técnica "Energía" del Ecuador, 2016, Vol. 14. ISSN 1390-5074..
11. **MARULANDA, Jesser, ESCOBAR, Andrés y ALZATE, Alfonso.** *Estudio comparativo de cinco estrategias de compensación de armónicos en filtros activos de potencia.* 52, Colombia : Revista "Tecnura", 2016, Vol. 21. Doi: 10.14483.
12. **ALEKSANDER, Nikolic.** *Analysis of the quality of energy and the consumption of electrical energy during the guarantee tests of the industrial plants.* Europa : s.n., 2017, Vol. VI.
13. **YUPANQUI, Carlos.** *Selección de un sistema de filtros de armónicas para el mejoramiento de la calidad de energía eléctrica en la facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica - UNPRG.* Lambayeque : s.n., 2021.
14. **ROMERO, Racso.** *Estudio del mercado eléctrico peruano.* Lima : Universidad de Ingeniería y Tecnología, 2020.
15. **PAZ, J.** *Evaluación del comportamiento de voltajes y corrientes armónicas para la mejora del control en un alimentador de media tensión - casa concesionaria de un sistema de distribución.* Lambayeque : Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo, 2019.
16. **PALOMINO, W. y MENDOZA, V.** *Análisis de las corrientes armónicas en baja tensión y su incidencia a la calidad del pr.* Cusco : Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 2019.
17. **OLIVARES, Jhonan.** *Estudio de la calidad de la energía eléctrica para mejorar la confiabilidad de activos y la productividad en la empresa Creditex S. A. A.* Trujillo : s.n., 2018.
18. **RAMÍREZ, Bryan.** *Implementación de un sistema de compensación reactiva y filtrado de armónicos en la planta de producción de Clorox para mitigar los problemas de calidad de energía.* Lima : Universidad Nacional del Callao, 2017.
19. **PACARA, Y., TICOMA, A. y TELLO, J.** *Influencia sobre la tensión eléctrica en la calidad de suministro.* Lima : Universidad Nacional del Callao, 2013.
20. **CUEVA, P y ORELLANA, W.** *Evaluación de la calidad de la energía en Radio Universitaria.* Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019.

21. **CORZO, A.** *Descripción de los parámetros de la calidad de energía eléctrica del sistema de utilización de la clínica Rebagliati, Huancayo, 2020.* Huancayo : Universidad Continental, 2021.
22. **Department of Energy U. S.** Science innovation, electric power. *U. S gov.* [En línea] Washington DC. [Citado el: 21 de 8 de 17.]
<https://www.energy.gov/science-innovation/electric-power>.
23. **Energy Information Administration U. S.** Electricidad explicada. [En línea] U.S. Gov, 18 de marzo de 2021. [Citado el: 21 de 8 de 17.]
<https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/>.
24. **Main Street Stevens Point.** *What is Energy?* . [En línea] University of Wisconsin-Stevens Point . [Citado el: 21 de 8 de 17.]
<https://www.uwsp.edu/cnr-ap/KEEP/nres633/Pages/Unit1/Section-B-Two-Main-Forms-of-Energy.aspx>. WI 54481-3897 .
25. **Comunidad de Madrid.** *La electricidad: el recorrido de la energía.* Cataluña : Dirección General de Industria, Energía y Minas, 2002. B-41679-2002.
26. **JEAN, Joseph.** *Los armónicos y la calidad de la energía eléctrica.* Francia : s.n., 1830.
27. **ŠALIGA, Ján.** Measurements of electrical quantities. *Department of Electronics and Multimedia Telecommunication.* [En línea] Technical University of Košice, Slovak Republic . [Citado el: 21 de 08 de 17.]
<https://www.eolss.net/sample-chapters/c05/E6-08-29.pdf>.
28. **REYES, Oscar, y otros.** *Sistemas para el cálculo de parámetros eléctricos y eficiencia energética para generadores hidroeléctricos de gran capacidad.* s.l. : Boletín IIE, 2012.
29. **NICARAGUA, Roger y RIVERA, Fernando.** *Propuesta de Metodología Para el Análisis y Estudio de la Calidad de la Energía Eléctrica.* Managua : s.n., 2017.
30. **ORCA, Antonio.** *La electricidad.* 2015.
31. **Osinergmin.** Supervisión de la Norma Técnica Urbana NTCSE. [En línea] Presidencia del Consejo de Ministros. [Citado el: 21 de 8 de 17.]
<https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/electricidad/calidad>.

32. **GONZÁLES, Gabriel, y otros.** *Medición de las magnitudes de potencia y energía eléctrica bajo las nuevas condiciones de los sistemas eléctricos.* 1, Bucaramanga : Revista UIS Ingenierías, 2009, Vol. 8. 1657-4583.
33. **DEORSOLA, Marcos y MORCELLE, Pablo.** *Circuitos eléctricos.* Buenos Aires : s.n., 2017. 978-950-34-1487-3.
34. **DAMMERT, Alfredo, MOLILELLI, Fiorella y CARBAJAL, Max.** *Fundamentos técnicos y econpomicos del sector eléctrico peruano.* Lima : s.n., 2011. 978-612-46124-0-4.
35. **MERCADO, Verena, BERNARDO, José y PACHECO, Luis.** *Calidad de la energía eléctrica bajo la perspectiva de los sistemas de puesta a tierra.* 2, s.l. : Ciencia e Ingeniería, 2017, Vol. 38. 1316-7081 2244-8780.
36. **ÁNGEL, Miguel y ORDÓÑEZ, Gabriel.** *Calidad de la energía eléctrica: diseño y construcción de un prototipo como alternativa para la monitorización de interrupciones y caídas de tensión.* 2, Bucaramanga : VIS Ingenierías, 2005, Vol. 4.
37. **DARIEL, José.** *Armónicos en sistema eléctricos.* s.l. : IEB S.A., 2008.
38. **PÁUCAR, Fredy.** *Armónicos.* Huancayo : s.n., 2018.
39. —. *Armónicos en los sistemas eléctricos.* 2019.
40. **SEAT.** *Conceptos Básicos de Electricidad.* Barcelona : SEAT, 2001. 63807971001.
41. **MAHESWARAN, D., JEMBU, K. y ADITHYA, W.** *Energy Efficiency in Electrical Systems.* India : International Conference on Power Electronics, 2012 .
42. **CTM Magnetics.** CTM Magnetics. *The basics of passive harmonic filters.* [En línea] CTM, 15 de february de 2021. [Citado el: 21 de 8 de 17.] <https://ctmmagnetics.com/the-basics-of-passive-harmonic-filters/>
43. **PSCAD X4.** PSCAD X4 (v4.6) . *Passive Filter Design.* [En línea] Online Help, 10 de 5 de 2018. [Citado el: 21 de 8 de 17.] https://www.pscad.com/webhelp/Master_Library_Models/Passive/Filters/Passive_Filter_Design.html
44. **MTE Corporation.** MTE Corporation. *What Are Passive Harmonic Filters?* [En línea] 13 de april de 2018. [Citado el: 21 de 8 de 17.]

<https://www.mtecorp.com/blog/2018/04/13/what-are-passive-harmonic-filters/>.

45. **Schneider Electric.** *Guía técnica de la distribución eléctrica en Baja tensión.* Germany : Schneider Electric, 2001.
46. **Enspec.** *Electrical engineering company.* [En línea] [Citado el: 21 de 8 de 16.] <https://www.enspecpower.com/about-us/>
47. **NPR.** NPR Group of institutions . *Hybrid Active Filters For Harmonic Filtering.* [En línea] Unique Creations Software. [Citado el: 21 de 8 de 17.] http://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/electrical_engineering/Hybrid_Active_Filters_For_Harmonic_Filtering.pdf.
48. **Active Harmonic Filters Germany.** Active Harmonic Filters. *Resonance damping using Active Harmonic Filter.* [En línea] 18 de February de 2021. [Citado el: 17 de 08 de 21.] <https://activeharmonicfilter.net/>
49. **MOHAMMAD, Ewald.** *Power Quality in Power Systems and Electrical Machines (Second Edition).* 2001. doi: 10.1016/B978 .
50. **VÁSQUEZ, Optaciano.** *Capacitancia, dieléctricos y polarización.* 2007.
51. **Ministerio de Energía y Minas.** *Código nacional de electricidad (suministro 2011).* Lima : Ministerio de Energía y Minas, 2011.
52. **SÁNCHEZ, Jaime.** *Uso, aplicación y manejo de instrumentos digitales .* Callao : s.n., 2012.
53. **RINCÓN, Iván, CADENA, William y FLÓREZ, Marco.** *Diseño y construcción de un analizador de redes eléctricas para sistemas trifásicos de bajo voltaje .* 2, s.l. : I+D Revista de Investigaciones, 2015, Vol. 6. 22561676.
54. **BERNAL, César.** *Metodología de la investigación.* Colombia : PEARSON, 2010.
55. **ESPINOZA, Ciro.** *Metodología de investigación tecnológica.* Huancayo : Imagen Grafica SAC, 2010.
56. **HERNANDEZ, S, FERNANDEZ, C y BAPTISTA, L.** *Metodología de la Investigación.* Mexico : McGraw Hill, 2014.
57. **LINO, Juan.** *Metodología de la investigación científica.* Lima : s.n., 2009.

58. **SÁNCHEZ, Hugo, REYES, Carlos y MEJÍA, Katia.** *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística.* Lima : Universidad Ricardo Palma, 2018.
59. **DIAZ, Lidia.** *La observación.* México : Universidad Nacional Autónoma De México Facultad de Psicología , 2011.
60. **GARCIA, A.** *Influencia de los Interarmonicos sobre el nivel del flicker en la red electrica.* Trujillo : Universidad Nacional de Trujillo, 2012.

ANEXOS

Anexo 1
Matriz de Consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Metodología	Muestra	Técnicas e instrumentos
<p>Problema general: ¿De qué manera el sistema de filtros propuesto influye en la calidad de la energía eléctrica en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021?</p> <p>Problemas específicos ¿Cómo influye el sistema de filtros propuesto en la forma de la onda de tensión en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021?</p> <p>¿De qué manera influye el sistema de filtros propuesto en los niveles de armónicos más relevantes en la planta de</p>	<p>Objetivo general: Determinar el efecto del sistema de filtros propuesto en la calidad de la energía eléctrica en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.</p> <p>Objetivos específicos Determinar el efecto del sistema de filtros propuesto en la forma de la onda de tensión en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.</p> <p>Determinar el efecto del sistema de filtros propuesto en los niveles de armónicos más relevantes en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.</p>	<p>Hipótesis general: El sistema de filtros propuesto permitirá mejorar la calidad de la energía eléctrica en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.</p> <p>Hipótesis específicas El sistema de filtros propuesto mejora la forma de la onda de tensión en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.</p> <p>El sistema de filtros propuesto disminuye el porcentaje de armónicos más relevantes en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.</p>	<p>Sistema de filtros (VI) -Filtro pasivo PHF -Filtro activo AHF -Filtro híbrido</p> <p>Calidad de energía (VD) -Tensión -Perturbaciones -Factor de potencia</p>	<p>Tipo de investigación Aplicada</p> <p>Nivel de investigación Explicativo</p> <p>Método general: Científico</p> <p>Diseño: Experimental</p>	<p>Población: Todas las mediciones cada 15 minutos (según NTCSE) obtenidas por el analizador de redes en el período de 1 año que asciende a 35040 mediciones.</p> <p>Muestra: Mediciones obtenidas con el analizador de redes en el período de 7 días de acuerdo con la NTCSE, con un total de 672 mediciones</p> <p>Muestreo: no probabilístico.</p>	<p>Técnicas: Observación</p> <p>Instrumentos: Ficha de observación</p>

producción de la cooperativa Agropia – 2021?	Determinar el efecto del sistema de filtros propuesto en el nivel de <i>Flicker</i> causado por interarmónicos en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.	El sistema de filtros propuesto disminuye el nivel de <i>Flicker</i> causado por interarmónicos en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.
¿De qué manera influye el sistema de filtros propuesto en el nivel de perturbaciones en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021?	Determinar el efecto del sistema de filtros propuesto en el factor de potencia en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.	El sistema de filtros propuesto mejora el factor de potencia en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.
¿Cómo influye el sistema de filtros propuesto en el factor de potencia en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021?	Determinar el efecto del sistema de filtros propuesto en el factor de potencia en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.	El sistema de filtros propuesto mejora el factor de potencia en la planta de producción de la cooperativa Agropia – 2021.

Anexo 3

Data

Vrms ph-ph AB Med	Vrms ph-ph BC Med	Vrms ph-ph CA Med	Corriente A Med	Corriente B Med	Corriente C Med	Frecuencia Med	Potencia Activa Total Med	VA full clásico Total Med
214.76	213.87	212.28	32.6	26	31	59.984	8160	100
217.9	215.83	216.5	23.4	21.7	25.4	59.997	5730	2830
213.76	211.68	212.45	31.2	29.5	32.4	60.018	8310	2370
216.84	214.43	215.24	21.6	20.3	23.9	59.986	5460	2830
220.53	219.05	219.68	22	21.7	25	59.998	5580	2110
224.03	222.99	222.51	21.6	17.4	20.7	60.006	4710	2240
227.13	226.67	226.42	9.5	8.2	9.9	59.994	1950	2040
224.54	225.77	224.48	14.2	13.4	10.4	59.99	3540	1090
226.11	226.38	225.04	11.6	9.1	9.6	60.009	2520	980
226.54	226.67	224.76	13.6	7.6	11	60.005	2790	1140
224.48	226.27	223.73	18.4	13.3	12.4	59.994	4620	1370
225.68	227.61	225.58	17	13.3	11.5	59.996	4320	1300
228.24	228.54	226.4	14.3	7.9	11.3	60.021	3060	1230
226.87	228.43	226.17	16	12.2	11.3	59.999	3930	1470
226.83	228.53	227.09	15.1	13.3	10.7	59.991	3780	1280
229.55	229.12	228.88	9.4	7.8	9.4	59.986	1770	1110
228.11	228.38	227.74	9.9	9.6	9.4	59.997	2070	1130
224.18	225.05	224.92	11.2	13	9.4	60.009	2970	1060
226.8	226.79	226.34	9.5	8.9	9.2	59.992	1950	840
225.41	225	224.61	9	7.3	9	59.99	1680	1040
225.33	225.84	225.56	10.5	11.3	9.2	59.987	2520	1060
223.89	224.72	223.73	12.8	11.7	10	60.016	3000	930
225.24	224.87	224.51	8.8	7.1	9	60.005	1650	990
224.2	223.62	222.82	11.6	7.3	10.6	59.943	2160	1040
224.58	223.85	223.59	3.2	3.3	4.3	59.973	840	1260
224.79	224.12	223.79	1.8	2.4	3.2	60	780	180
224.29	223.63	222.83	4.2	2.5	5.7	59.992	1140	70
224.02	223.46	223	1.6	2.4	3.1	59.99	750	230
224.77	224.37	223.62	1.4	2.4	3.1	60.035	750	70

VAR Clás. AB Med	VAR Clás. BC Med	VAR Clás. CA Med	VAR Clás. Total Med	PF Clásico Total Med	DPF Clásico AB Med	DPF Clásico BC Med	DPF Clásico CA Med	DPF Clásico Total Med	THD V AB Med	THD V BC Med
300	0	10830	2830	2060	2040	6930	0.75	0.68	0.74	0.83
2060	2040	8700	2370	1850	2260	6480	0.65	0.57	0.71	0.68
1850	2260	11430	2830	2370	2650	7860	0.73	0.68	0.75	0.74
2370	2650	8040	2110	1640	2070	5820	0.67	0.59	0.75	0.69
1640	2070	8550	2240	1840	2350	6420	0.65	0.56	0.73	0.65
1840	2350	7230	2040	1560	1690	5280	0.61	0.52	0.65	0.67
1560	1690	3600	1090	850	1020	2970	0.54	0.44	0.59	0.6
850	1020	4920	980	1350	820	3150	0.71	0.83	0.64	0.7
1350	820	3900	1140	930	810	2880	0.63	0.59	0.57	0.75
930	810	4260	1370	850	650	2880	0.65	0.59	0.54	0.85
850	650	5820	1300	1330	550	3180	0.79	0.84	0.65	0.94
1330	550	5550	1230	1340	640	3210	0.78	0.83	0.64	0.91
1340	640	4530	1470	880	630	2970	0.68	0.62	0.54	0.91
880	630	5220	1280	1230	680	3180	0.75	0.77	0.61	0.89
1230	680	5160	1110	1370	810	3270	0.73	0.82	0.63	0.77
1370	810	3540	1130	880	1010	3030	0.5	0.41	0.52	0.57
880	1010	3780	1060	1020	1010	3090	0.54	0.52	0.55	0.57
1020	1010	4380	840	1290	990	3120	0.68	0.81	0.64	0.59
1290	990	3600	1040	940	980	2970	0.54	0.5	0.55	0.57
940	980	3300	1060	800	940	2790	0.51	0.42	0.55	0.6
800	940	4020	930	1130	970	3030	0.62	0.67	0.6	0.59
1130	970	4380	990	1150	840	2970	0.66	0.71	0.62	0.67
1150	840	3240	1040	780	940	2760	0.51	0.41	0.55	0.59
780	940	3810	1260	800	870	2940	0.56	0.46	0.54	0.7
800	870	1230	180	-70	140	240	0.74	0.87	0.77	0.95
-70	140	990	70	-150	40	-30	0.8	0.94	0.85	1
-150	40	1470	230	-180	0	60	0.77	0.87	0.8	0.99
-180	0	960	70	-160	50	-30	0.79	0.93	0.83	0.99
-160	50	930	60	-170	50	-60	0.78	0.94	0.82	0.99

Pst AB	Pst BC	Pst CA
0.45	0.57	0.63
0.44	0.82	0.62
0.38	0.53	0.41
0.36	0.83	0.48
0.36	0.68	0.4
0.38	0.42	0.45
1.28	0.86	1.77
0.81	0.65	1.76
0.6	0.94	1.54
0.62	1.16	1.5
0.57	0.67	1.46
0.49	0.63	1.41
0.69	1.17	1.65
0.74	0.72	1.81
0.89	0.64	2.03
1.49	1.09	2.43
1.33	0.83	2.29
1.14	0.61	2.2
1.34	0.93	2.32
1.51	1.25	2.47
1.39	0.77	2.48
1.17	0.75	2.37
1.61	1.31	2.61
1.43	1.25	2.39
3.47	3.48	4.86
5.55	4.79	5.82
3.29	4.36	3.9
5.28	4.78	5.28
7.17	4.5	5.02

Anexo 4
Fotos





Anexo 5

Permiso para el acceso a las instalaciones de la cooperativa Agropia con fines de académicos y de investigación

QUISPE REMUZGO JUSTINO
JEFE DE MANTENIMIENTO
2016142033unh.edu.pe

Sapallanga, el 19/05/21

A:
ING. QUISPE CLEMENTE SILVEZTRE
GERENTE
COOPERATIVA AGRARIA AGROPIA
Presente.

Asunto: Solicitud de ingreso para elaboración de tesis

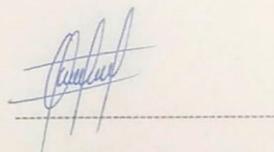
Estimado. ING. QUISPE CLEMENTE SILVEZTRE

El motivo de la presente es para solicitar respetuosamente permiso de ingreso a las siguientes personas Sr. Cesar Rubén Ventura Gonzalo identificado con DNI 42995588 Y SR. Hugo Barzola Meza identificado con DNI 41862840 el día 21 de mayo del presente año a las 9:00 am.

El Sr. Cesar Rubén Ventura Gonzalo Y Sr. Hugo Barzola Meza, quienes están realizando un estudio de investigación con carácter científico y tecnológico, para lo cual se realiza esta solicitud de ingreso para la planta procesadora AGROPIA.

Esperando una respuesta positiva a la presente.

Me suscribo.



QUISPE REMUZGO JUSTINO
JEFE DE MANTENIMIENTO



Certificado de calibración para la recopilación de la información como soporte del instrumento



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Metrología

Laboratorio de Potencia y Energía

Certificado de Calibración

LPE - 047 - 2021

Página 1 de 5

Expediente	1041825	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)</p> <p>La Dirección de Metrología custodia, conserva y mantiene los patrones nacionales de las unidades de medida, calibra patrones secundarios, realiza mediciones y certificaciones metrológicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú. (SLUMP).</p> <p>La Dirección de Metrología es miembro del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) y participa activamente en las Intercomparaciones que éste realiza en la región.</p> <p>Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.</p>
Solicitante	ALOR INNOVA SAC	
Dirección	Av Los Alisos 1023	
Instrumento de Medición	ANALIZADOR DE REDES	
Marca	FLUKE	
Modelo	435	
Número de Serie	20933129	
Fecha de Calibración	2021-02-15	

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de Metrología del INACAL. Certificados sin firma digital y sello carecen de validez.

	Responsable del área	Responsable del laboratorio
		
	Dirección de Metrología	Dirección de Metrología

Instituto Nacional de Calidad - INACAL
Dirección de Metrología
Calle Las Camellas Nº 017, San Isidro, Lima - Perú
Telf.: (01) 640-8820 Anexo 1501
Email: metrologia@inacal.gob.pe
Web: www.inacal.gob.pe

Puede verificar el número de certificado en la página:
<https://aplicaciones.inacal.gob.pe/sim/verificar/>



INACAL
INSTITUTO NACIONAL
de Calidad

Metrología
Laboratorio de Potencia y Energía

Certificado de Calibración LPE – 047 – 2021

Página 2 de 5

Método de Calibración

Calibración efectuada por comparación con nuestro calibrador patrón, en las funciones de potencia, tensión y corriente

Lugar de Calibración

Laboratorio de Electricidad
Calle La Proxa N° 150 - San Borja, Lima

Condiciones Ambientales

Temperatura	23.3°C ± 0.3°C
Humedad Relativa	63.8% ± 2.6%

Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Calibración
Patrones de referencia de FLUKE	Calibrador Fluke 5520A	FLUKE N° EVL047008

Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de la Dirección de Metrología - INACAL.
Los errores presentados corresponden al promedio de cinco mediciones para cada punto de medida considerado.



INACAL

Instituto Nacional
de Calidad

Metrología

Laboratorio de Potencia y Energía

Certificado de Calibración LPE – 047 – 2021

Página 3 de 5

Resultados de Medición

FUNCIÓN TENSIÓN ALTERNA (60 Hz)

INSTRUMENTO		TENSION APLICADA	RESULTADOS	
FASES	LECTURA		ERROR	INCERTIDUMBRE
L1 - N	30,05 V	29,980 V	0,07 V	0,01 V
L2 - N	30,04 V	29,980 V	0,06 V	0,01 V
L3 - N	30,08 V	29,980 V	0,08 V	0,01 V
L1 - N	100,02 V	100,017 V	0,00 V	0,02 V
L2 - N	100,01 V	100,017 V	-0,01 V	0,02 V
L3 - N	99,99 V	100,017 V	-0,03 V	0,02 V
L1 - N	220,03 V	220,074 V	-0,04 V	0,03 V
L2 - N	220,00 V	220,069 V	-0,06 V	0,03 V
L3 - N	219,98 V	220,046 V	-0,07 V	0,03 V
L1 - N	380,04 V	380,09 V	-0,04 V	0,10 V
L2 - N	380,00 V	380,12 V	-0,12 V	0,10 V
L3 - N	379,96 V	380,09 V	-0,13 V	0,10 V
L1 - N	440,05 V	440,12 V	-0,07 V	0,11 V
L2 - N	439,99 V	440,14 V	-0,15 V	0,11 V
L3 - N	439,96 V	440,10 V	-0,14 V	0,11 V

FUNCIÓN CORRIENTE ALTERNA (60 Hz)

INSTRUMENTO		CORRIENTE APLICADA	RESULTADOS	
FINZA	LECTURA		ERROR	INCERTIDUMBRE
L1	20,0 A	19,9962 A	0,0 A	0,6 A
	100,0 A	99,950 A	0,4 A	0,6 A
	350,0 A	349,755 A	1,2 A	0,7 A
L2	20,0 A	19,9462 A	0,1 A	0,6 A
	100,0 A	99,900 A	0,4 A	0,6 A
	350,0 A	349,755 A	1,2 A	0,7 A
L3	20,0 A	19,8962 A	0,1 A	0,6 A
	100,0 A	99,550 A	0,5 A	0,6 A
	350,0 A	349,855 A	1,1 A	0,7 A

FLUKE 435 | 1: Finza con serie SN: 205310109-230988
 | 2: Finza con serie SN: 205310118-230985
 | 3: Finza con serie SN: 205310110-230988
 | 4: Finza con serie SN: 205310089-230988



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad

Metrología

Laboratorio de Potencia y Energía

Certificado de Calibración LPE – 047 – 2021

Página 4 de 5

FUNCIÓN POTENCIA

FASE 1 (220 V a 60 Hz)

INSTRUMENTO	POTENCIA APLICADA		RESULTADOS		
	LECTURA	FRECUENCIA	VALOR	ERROR	INCERTIDUMBRE
	4,42 kW	60 Hz	4,400 kW	0,02 kW	0,06 kW
	22,06 kW	60 Hz	22,000 kW	0,06 kW	0,06 kW
	77,28 kW	60 Hz	76,999 kW	0,28 kW	0,10 kW

FASE 2 (220 V a 60 Hz)

INSTRUMENTO	POTENCIA APLICADA		RESULTADOS		
	LECTURA	FRECUENCIA	VALOR	ERROR	INCERTIDUMBRE
	4,41 kW	60 Hz	4,400 kW	0,01 kW	0,06 kW
	22,09 kW	60 Hz	22,000 kW	0,09 kW	0,06 kW
	77,28 kW	60 Hz	76,999 kW	0,29 kW	0,10 kW

FASE 3 (220 V a 60 Hz)

INSTRUMENTO	POTENCIA APLICADA		RESULTADOS		
	LECTURA	FRECUENCIA	VALOR	ERROR	INCERTIDUMBRE
	4,42 kW	60 Hz	4,400 kW	0,02 kW	0,06 kW
	22,11 kW	60 Hz	22,000 kW	0,11 kW	0,06 kW
	77,25 kW	60 Hz	76,999 kW	0,25 kW	0,10 kW

Errores máximos permitidos del instrumento (Accuracy = Exactitud, según el fabricante):

Tensión:	1 V a 600 V	± 0,1 % de la tensión nominal
Corriente:	0,5 A a 6000 A	± 0,5 % + 5 cuentas
Potencia:	0 kW - 6000 MW	± 1 % + 10 cuentas



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad

Metrología

Laboratorio de Potencia y Energía

Certificado de Calibración

LPE – 047 – 2021

Página 5 de 5

Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición", segunda edición, julio del 2001 (Traducción al castellano efectuada por Indecopi, con autorización de ISO, de la GUM, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", corrected and reprinted in 1995, equivalente a la publicación del BIPM JCGM:100 2008, GUM 1995 with minor corrections "Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement").

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Recalibración

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

DIRECCION DE METROLOGIA

El Servicio Nacional de Metrología (actualmente la Dirección de Metrología del INACAL), fue creado mediante Ley N° 23560 el 6 enero de 1983 y fue encomendado al INDECOPi mediante Decreto Supremo DS-024-93 ITINCI.

El 11 de julio 2014 fue aprobada la Ley N° 30224 la cual crea el Sistema Nacional de Calidad, y tiene como objetivo promover y garantizar el cumplimiento de la Política Nacional de Calidad para el desarrollo y la competitividad de las actividades económicas y la protección del consumidor.

El Instituto Nacional de Calidad (INACAL) es un organismo público técnico especializado adscrito al Ministerio de Producción, es el cuerpo rector y autoridad técnica máxima en la normativa del Sistema Nacional de la Calidad y el responsable de la operación del sistema bajo las disposiciones de la ley, y tiene en el ámbito de sus competencias: Metrología, Normalización y Acreditación.

La Dirección de Metrología del INACAL cuenta con diversos Laboratorios Metroológicos debidamente acondicionados, instrumentos de medición de alta exactitud y personal calificado. Cuenta con un Sistema de Gestión de la Calidad que cumple con las siguientes Normas internacionales vigentes ISO/IEC 17025; ISO 17034; ISO 27001 e ISO 37001; con lo cual se constituye en una entidad capaz de brindar un servicio integral, confiable y eficaz de aseguramiento metrológico para la industria, la ciencia y el comercio brindando trazabilidad metrológicamente válida al Sistema Internacional de Unidades SI y al Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP).

La Dirección de Metrología del INACAL cuenta con la cooperación técnica de organismos metrológicos internacionales de alto prestigio tales como: el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania; el Centro Nacional de Metrología (CENAM) de México; el National Institute of Standards and Technology (NIST) de USA; el Centro Español de Metrología (CEM) de España; el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de Argentina; el Instituto Nacional de Metrología (INMETRO) de Brasil; entre otros.

SISTEMA INTERAMERICANO DE METROLOGIA- SIM

El Sistema Interamericano de Metrología (SIM) es una organización regional auspiciado por la Organización de Estados Americanos (OEA), cuya finalidad es promover y fomentar el desarrollo de la metrología en los países americanos. La Dirección de Metrología del INACAL es miembro del SIM a través de la subregión ANDIMET (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela) y participa activamente en las Intercomparaciones realizadas por el SIM.