



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

Análisis de armónicos de corriente para mejorar la calidad de
energía eléctrica en el hospital regional de Moquegua, Moquegua
2022

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Hernandez Meneses, Juan Jose (orcid.org/0000-0002-1086-051X)

ASESOR:

Mg. Díaz Rubio, Deciderio Enrique (orcid.org/0000-0001-5900-2260)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO - PERÚ

2023

Dedicatoria

Este trabajo de investigación está dedicado a quien en vida fue Juan Hernández Munarez, mi padre, quien fue el que deseó con todas sus fuerzas el poder ser partícipe de mis logros y llegar a verme profesional. Sé que donde estes, siempre me brindarás tu apoyo incondicional y sobre todo te sentirás orgulloso del profesional que llegaré a ser, porque siempre visualizaste todo esto.

Agradecimiento

Agradezco de todo corazón a mi madre, Anita Victoria Meneses López, por apoyarme durante tanto tiempo y es gracias a ella que yo puedo cumplir esta meta tan importante, sé que cometí muchas equivocaciones, pero nunca dejaste de confiar en mí, es por eso que nunca terminare de agradecerte, también agradezco a mi abuelo, Máximo Meneses Choque, quien fue el principal gestor de mi interés por la Ciencia y tecnología, es gracias a su pasión por la lectura y sus ganas de aprender, que pude ingresar en el hermoso mundo de la ciencia y tecnología.

Por último, agradecer al Hospital Regional de Moquegua, por permitirme realizar la ejecución de mi investigación, brindándome las herramientas y los profesionales con experiencia y capacidad necesarios para culminar con éxito la misma.

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	vi
Índice de gráficos y figuras.....	vii
Resumen.....	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	11
3.1. Tipo y diseño de investigación	11
3.1.1. Tipo de investigación.....	11
3.2. Variables y operacionalización.....	11
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis.....	11
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	12
3.5. Procedimientos	12
3.6. Método de análisis de datos	14
3.7. Aspectos éticos.....	14
IV. RESULTADOS.....	15
V. DISCUSIÓN.....	50

VI. CONCLUSIONES	54
VII. RECOMENDACIONES.....	55
VIII. REFERENCIAS.....	56
ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 1 .Flujo de caja del Hospital Regional de Moquegua (Presupuesto para el área de mantenimiento del Hospital).....	29
Tabla 2. Límites de distorsión actuales para sistema con clasificación de 120V a 69Kv.....	34
Tabla 3. Límites de distorsión actuales para sistema con clasificación de 120V a 69kV.....	44

Índice de gráficos y figuras

Figura 1 Flujograma de procedimientos.....	13
Figura 2. Medición del analizador de red PowerLogicTMPM8000.....	16
Figura 3. Variables medidas el día 21/11/2022 de la forma de onda en función de U/I/F.....	27
Figura 4 Variación de la onda sinusoidal de corriente en el tablero general N°01 (20/11/2022 13:14:01)	32
Figura 5. Gráfico de barras de armónicos de corriente del tablero general N°01 (20/11/2022 3:14:01).....	33
Figura 6. Tabla de armónico de corriente detectados en el tablero general N° 01.....	36
Figura 7. Gráfica de la distorsión de la demanda (TDD) en función al tiempo que se detectó en el tablero general N°01.....	36
Figura 8. Tabla de armónicos de corriente presentes en el tablero general N°02.	37
Figura 9 Distorsión de la demanda total TDD en función del tiempo, tablero general N°02.....	37
Figura 10. Variación de la onda sinusoidal de corriente en el tablero general N°02 (22/11/2022 09:52:00).....	38
Figura 11. Barra de representación de armónicos presentes en el tablero general N° 02 (22/11/2022 09:52:00).....	39
Figura 12. Distorsión de la onda sinusoidal en presencia de armónicos, del tablero general N 02.....	39
Figura 13. Diagrama de Fases del tablero general N°01.....	40
Figura 14. Diagrama de Fases del tablero general N°02.....	40
Figura 15. Variación de la onda sinusoidal de corriente en el tablero general N°01 (20/11/2022 13:14:01)	42

Figura 16. Gráfico de barras de armónicos de corriente del tablero general N°01 (20/11/2022 13:14:01).....	43
Figura 17. Tabla de armónico de corriente detectados en el tablero general N° 01.....	45
Figura 18. Gráfica de la distorsión de la demanda (TDD) en función al tiempo que se detectó en el tablero general N°02.....	46
Figura 19. Gráfica de la distorsión de la demanda (TDD) en función al tiempo que se detectó en el tablero general N°02.....	47
Figura 20. Distorsión de la demanda total TDD en función del tiempo, tablero general N°02.....	47
Figura 21. Variación de la onda sinusoidal de corriente en el tablero general N°02 (22/11/2022 09:52:00).....	48
Figura 22. Barra de representación de armónicos presentes en el tablero general N° 02 (22/11/2022 09:52:00).....	49
Figura 23. Distorsión de la onda sinusoidal en presencia de armónicos, del tablero general N°02.....	49

Resumen

El presente trabajo de investigación titulado “Análisis de Calidad de Energía Eléctrica y presencia de Armónicos de Corriente en el Hospital Regional de Moquegua”, se realizó para analizar la calidad de energía eléctrica y evaluar la presencia de corrientes armónicas en el Hospital Regional de Moquegua durante el año 2022, con el fin de identificar sus efectos y proponer medidas de mitigación para mejorar la calidad eléctrica del sistema. En cuanto a la metodología utilizada es de tipo aplicada y de diseño no experimental transversal descriptivo ya que las variables serán fuente de estudio mas no de manipulación en la presente investigación.

Por último, en cuanto a los resultados, durante la investigación se utilizó un analizador de calidad eléctrica, siguiendo los protocolos dictaminados en la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos, a fin de determinar el análisis de las causas del problema; posterior se determinó que existieron armónicos de corriente presentes en la línea “I2”, dichos armónicos múltiplos del 3^{er} Orden fueron los causantes de que existiera un desbalance de corrientes en el sistema eléctrico, para eliminar estas fallas, se procedió a proponer filtros activos y avalado por los fabricantes.

Teóricamente como base fue el empleo de la norma IEEE 519-1992 y IEC61000-4-30; las cuales ayudaron a parametrizar los armónicos de corrientes presentes en las líneas.

Palabras clave:

Filtros de Armónicos, Armónicos, Electrónica de Potencia, Desbalance de cargas.

ABSTRACT

The present research work entitled "Analysis of the Quality of Electric Power and presence of Current Harmonics in the Regional Hospital of Moquegua", was carried out to analyze the quality of electric power and evaluate the presence of harmonic currents in the Regional Hospital of Moquegua during the year 2022, in order to identify its effects and propose mitigation measures to improve the electrical quality of the system. Regarding the technology used, it is of an applied type and of a descriptive cross-sectional non-experimental design since the variables will be a source of study but not of manipulation in the present investigation.

Finally, regarding the results, during the investigation an electrical quality analyzer was improved, following the protocols established in the Technical Standard for the Quality of Electrical Services, in order to determine the analysis of the causes of the problem; Later it was concluded that there were current harmonics present in the "I2" line, said multiple harmonics of the 3rd Order were the cause of the existence of a current imbalance in the electrical system, to eliminate these faults, we proceeded to propose active filters and endorsed by the manufacturers.

Theoretically as a basis was the use of the IEEE 519-1992 and IEC61000-4-30 standard; which helped to parameterize load imbalance of currents present in the lines.

Keywords:

Harmonic Filters, Harmonics, Power Electronics, Load imbalance.

I. INTRODUCCIÓN

Un elemento primordial para un buen desempeño de una subestación eléctrica es la calidad de suministro eléctricos presente en la misma, esta variable es indispensable; ya que, sin una buena calidad eléctrica se ocasionarán graves problemas como sobre tensiones y sobre corrientes que llevaron desde interrupciones en el suministro hasta deterioro de equipos debido a sobre cargas en el sistema (IEE Std 519-2014, 2014) .

En el Hospital Regional de Moquegua se realizó una inspección dentro de la sala de control de la subestación y se evidenció que el switch perteneciente a los pasos tres y cuatro del banco de condensadores se incineró debido a un arco eléctrico, esto nos dio una prueba de que existió fallas a nivel de protección del sistema, los cuales necesitaron de una atención primordial a nivel de calidad eléctrica del mismo; un segundo problema que incentivó a este estudio fue que, el estabilizador de tensión perteneciente al sistema de la subestación eléctrica salió constantemente de servicio debido a una mala estabilización de tensión, donde al realizar una inspección visual del equipo, se encontró que la tarjeta de control del estabilizador, tuvo un cortocircuito que daño todos los integrados presentes en la tarjeta.

El problema presentado en esta investigación fue de, ¿cómo las corrientes armónicas afectaron directamente a la calidad eléctrica del sistema del Hospital Regional de Moquegua?

La Hipótesis presentada en esta investigación fue de, determinar las corrientes armónicas que afectaron directamente a la calidad eléctrica del sistema del Hospital Regional de Moquegua.

Como evidencia científica para el apoyo de esta investigación, se tuvo la normativa IEEE Recomendaciones Practicas y Requerimientos para el control de armónicos en los sistemas eléctricos de potencia, donde se encuentra las recomendaciones para el control de armónicos, así como las posibles soluciones que fueron registradas gracias a casos aplicativos (IEE Std 519-2014, 2014).

Así mismo, también se tuvo como referencia a la Normativa española 61000-4-30, recomendados por la Normativa Europea estándar, la cual recomienda los

parámetros óptimos para controlar y minimizar el impacto causado por los armónicos de corriente y tensión en la calidad de suministro eléctrico.

La justificación teórica para el desarrollo de esta investigación, fue la de realizar un estudio para analizar el origen y los efectos de los armónicos de corriente en el sistema de distribución, a fin de mejorar la calidad eléctrica presente en el sistema.

La justificación técnica de esta investigación fue, ahondar en este problema, debido a que se necesita una regulación pertinente para los armónicos de corriente en baja tensión; ya que el aumento de componentes electrónicos y cargas no lineales hace que la mala calidad eléctrica sea un problema persistente en los centros médicos a nivel Nacional.

La justificación social, fue mejorar la calidad eléctrica en el sistema de distribución a fin de que se pueda mejorar la calidad del servicio de atención de las personas, debido las constantes fallas del suministro eléctrico, hacían que los equipos se deterioren y salgan de servicio constantemente, lo que implicaban una mala atención a la comunidad.

La justificación ambiental, fue que, debido a un mal control de la calidad eléctrica en el sistema, ocurría un gasto excesivo de energía para satisfacer la demanda, lo que conllevó un desaprovechamiento de la misma.

La justificación económica, fue la de economizar el gasto energético del Hospital Regional de Moquegua, debido a que la mala calidad eléctrica del sistema de distribución, afectaba directamente al consumo de energía, por lo que se necesitó un análisis exhaustivo a fin de mejorar el gasto energético.

El objetivo general de esta investigación fue Analizar Armónicos de Corriente para mejorar la Calidad de Energía Eléctrica en el Hospital Regional de Moquegua, Moquegua 2022, como objetivos específicos se tuvieron: i) Realizar un relevamiento de la infraestructura eléctrica del Hospital Regional de Moquegua para identificar y cuantificar la presencia de armónicos de corriente, ii) Proponer recomendaciones específicas para mitigar los problemas causados por los armónicos de corriente en el Hospital Regional de Moquegua, considerando tanto medidas correctivas como preventivas, iii) Evaluar los costos asociados a la implementación de soluciones para mitigar los armónicos de corriente, considerando tanto los aspectos técnicos como los económicos, y proponer alternativas que optimicen la relación costo-beneficio.

II. MARCO TEÓRICO

Para poder tener un mejor concepto claro acerca de la investigación de los armónicos de corriente, su control y su mitigación, se presentó los siguientes antecedentes y así mismo, artículos científicos, los cuales resumen mucho la investigación de la realidad problemática.

Como antecedentes internacionales se tiene a, (Li, y otros, 2018) Esta investigación se enfoca en los efectos de una sobretensión transitoria durante la energización de la línea con el uso de herramientas de control como el programa EMT. Para poder tener un mejor caso de estudio, se analizó los tiempos de cierre del interruptor automático, en función a una distribución estadística de la sobretensión para el recierre. Debido a esto, se puede determinar que la una sobretensión más severa aparece cuando la cuota del cable es del 20%; es decir que las sobretensiones pudieron alcanzar hasta 3,0 p.u., y su frecuencia llegó a alcanzar los 20,67 kHz, durante este estudio, también se puede incluir la influencia de la red fuente como característica de sobretensión de reconexión. Una de las principales conclusiones a las que llegan los autores es el efecto que nos entrega la impedancia de la fuente sobre la amplitud de una sobretensión producidos por una reconexión. Esto nos da una definición exacta de como a menor impedancia conduce una mayor energía producida por la red eléctrica. Es decir; se observa una severa sobretensión cuando la impedancia equivalente de la fuente es muy baja.

(Henrique Rodrigues, y otros, 2019) Estos autores determinan que la mejor forma de garantizar una mejor precisión en los relees de protección es mediante la utilización de filtros digitales para que desaparezca el ruido existente entre los fasores de tensión y corriente. Estos componentes deben contener únicamente una frecuencia deseada para asegurar que no exista distorsión en la obtención de estos datos. El método utilizado para filtrar estos problemas fue el método de mínimos cuadrados; ya que nos permite estimar la componente continua de una señal que ingresa a nuestro sistema. Estos autores llegan a la conclusión que, si bien es cierto los métodos de Fourier de media y de onda completa, llegan a eliminar los componentes de corriente continua, el filtro de mínimos cuadrados (LSM) reduce

considerablemente dichos componentes, si bien es cierto tienen como desventaja un error mucho mayor a la hora de la convergencia; esto puede ser compensado con su rapidez y su desempeño a la hora de realizar su trabajo.

(Ebadifard, Zaker, & Kazemi Kargar, 2019) estos autores nos presentan un nuevo método para la protección de relés de sobre corrientes basados en la electrónica de potencia, esto sin utilizar algún algoritmo matemático como por ejemplo el DFT. Esta nueva solución nos detecta rápidamente corrientes de falla para evitar fallos a nivel de componentes electrónicos. Dichos métodos se aplican en los convertidores los cuales muchas veces se ven afectado por los armónicos que entran a los relés protectores de sobre corriente. Luego de estas investigaciones, se deduce que el problema en estos armónicos encontrados es en función a la amplitud, más que la cantidad de armónicos presentes en el sistema. Luego su investigación, llegan a la conclusión que este nuevo filtro analógico, es capaz de proteger convertidores que contiene electrónica de potencia. Debido a que este filtro no necesita algoritmos para la detección de sobre corriente, no se ve afectado por los armónicos generados por los mismos convertidores ya sea durante el funcionamiento con fallas o sin ellas. Este filtro tiene un algoritmo capaz de detectar directamente el fallo con mucha rapidez evitando que ocurra una falla en los componentes electrónicos de potencia.

(Vaytelenok, 2019) El artículo presentado por el investigador nos da a conocer el funcionamiento de los elementos digitales (ED) de protección de relés de saturación de transformadores de corriente medida (ICT), que utilizan en algoritmos como filtros de Fourier midiendo señales instantáneas. Luego de estos modelamientos, se encontró que los algoritmos operacionales se detectó una falsa protección lo cual ocasionaría un fallo o una ralentización en el sistema, se determinó que, en función de un decremento de amortiguamiento de señal, los errores se reducen en todos los algoritmos, si bien es cierto esto aumenta las discontinuidades entre mínimos y máximos; lo que conlleva a una posibilidad de mejor tipo de arranque y posterior reposición de la protección.

(Kwon Hwang, Ki Song, & Gyu Jeong, 2018) comenta que una corriente de falla en una línea de transmisión puede contener varios componentes en corriente continua. El investigador citado nos propone una solución en función a una

transformada discreta de Fourier (DFT) que utiliza un filtro de respuesta de pulso finito de segundo orden para combinar múltiples DDC. El filtro de muestra (FIR) cumple con la función de minimizar el cálculo que se utiliza para la identificación. Como resultado, investigación es que teóricamente los componentes DDC y su polarización se pueden combinar en un DDC específico mediante un filtrado de muestra FIR y el uso de transformadas de Fourier de media onda y de onda completa.

(Mercado Polo, Peña, & Pacheco, 2017) Nos resumen un concepto de calidad de energía como la estabilidad que se debe presentar en los sistemas eléctricos (voltaje y frecuencia); así como el análisis de la distorsión de señales y la continuidad del servicio, se identificó los posibles problemas en función de cargas no lineales, las conmutaciones, las maniobras electromecánicas o alguna avería que resulte peligrosa; ya que afecta directamente en la calidad eléctrica en el sistema eléctrico. Estas deficiencias implican costos en términos de energía no aprovechada y tiempos inactivos producidos por una salida de servicio innecesario. Existe una relación que es de alto interés en la comunidad científica entre la calidad de energía y los sistemas de puesta a tierra, los cuales permiten mitigar perturbaciones de tipo transitorio que son ocasionadas por descargas eléctricas, las que producen sobretensiones a lo largo de dicho sistema.

(Chupakhina, Martinovich, Zinoviev, & Skolota, 2017) Nos comentan que, para obtener un mejor control acerca de las variables presentes en la transmisión de energía eléctrica, se utilizan algoritmos que puedan procesar dichas variables a un ritmo mucho mayor. Esto valiéndose de métodos como las transformadas de Fourier, transformadas wavelet discreta, transformada S o algún método de trabajo de redes neuronales, que puedan clasificar estos tipos de distorsiones de voltajes. El resultado que obtuvieron de su investigación, es que, el mejor método que se puede utilizar para identificar ese tipo de características son las transformadas de Fourier, las transformadas de wavelet, la transformada S y la transformada Hilbert-Huang. Para describir el buen funcionamiento de estos métodos, depende mucho también el tipo de distorsión que tiene la onda, el tipo de ruido y una serie de combinaciones de factores. Mientras que, para asegurar la precisión y la rápida

operación de una detección en el sistema, la combinación de herramientas matemáticas toma cierto lugar.

Como antecedentes nacionales, se tuvieron a (Palomino Noa & Mendoza Boza, 2019), en donde se analizó las corrientes que incidieron en las redes del sistema eléctrico del Hospital Regional de Cuzco, a fin de encontrar la presencia de las corrientes armónicas en baja tensión, esto se realizó con el apoyo de un analizador de calidad, el cual parametrizó la distorsión armónica para determinar la presencia de corrientes armónicas, con lo cual se determinó que, efectivamente había contaminación en la calidad eléctrica del sistema, debido a armónicos de corriente, los cuales llegaron a una tasa de distorsión del 22%, para lograr eliminar la mayoría de estas corrientes armónicas, se implementó un filtro pasivo, el cual, disminuyó de un 22 a un 5% la tasa de distorsión armónica de corriente, como segundo antecedente nacional, se tuvo a (Esquivel Cornejo, Tipula Zambrano, & Yataco Vivas, 2021), quienes en su investigación, propusieron el analizar la calidad de energía del sistema eléctrico de potencia para la reducción de costos de electricidad en empresas productoras de hortalizas, para dicha investigación se realizó mediante analizadores de calidad eléctrica, así como análisis documental, lo que determinó que debido al aumento de pérdidas en conductores, reducción de eficiencia de operación en transformadores y motores, así como un bajo factor de potencia, contaminaron la calidad de energía eléctrica, concluyendo que para mejorar la calidad de energía eléctrica se necesitó filtros activos de armónicos.

Según la normativa (IEE Std 519-2014, 2014), nos define a los componentes armónicos de corriente como un componente de mayor orden que la frecuencia fundamental, esto se debe a que son producidos por cargas no lineales que afectan directamente el sistema. Según la normativa mencionada anteriormente, nos especifica que esta distorsión, no debe sobrepasar el 20% ya que al permanecer fuera de este rango, la distorsión armónica puede transformarse en pérdida de eficiencia energética, afectando el aislamiento de los conductores producto del sobrecalentamiento de equipos que producen cargas no lineales.

Para poder definir un concepto de calidad eléctrica, es un poco complicado, debido a que los parámetros utilizados por las recomendaciones que brindar algunos estándares (como el americano en el IEEE o la normativa IEC, la cual es

europea), no tienen un estándar único, cada uno se rige por las experiencias que se tuvieron en los diversos casos de estudio.

Sin embargo, estos estándares coinciden en el concepto de que, para que un sistema de distribución pueda soportar una alta distorsión de armónicos, es necesario que sea lo más robusto posible, es decir, que sea sobredimensionado y esté preparado para dichas distorsiones.

Para poder parametrizar la deformación de onda de la corriente eléctrica, debemos definirla matemáticamente, es decir, realizar mediciones de las variaciones de la onda sinusoidal de la cual está compuesta.

Para esto, necesitamos descomponer a cada una de sus corrientes de fases usando la transformada de Fourier:

$$I_R(t) = I_1 \sin(\omega t + \alpha_1) + I_3 \sin(3\omega t + \alpha_3) + I_5 \sin(5\omega t + \alpha_5) + \dots \dots \quad (1)$$

$$I_S(t) = I_1 \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3} + \alpha_1\right) + I_3 \sin\left(3\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) + \alpha_3\right) + I_5 \sin\left(5\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) + \alpha_5\right) + \dots \dots \quad (2)$$

$$I_T(t) = I_1 \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3} + \alpha_1\right) + I_3 \sin\left(3\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) + \alpha_3\right) + I_5 \sin\left(5\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) + \alpha_5\right) + \dots \dots \quad (3)$$

Es decir, se puede resumir estas sumatorias de corriente, en la siguiente ecuación solo para un sistema balanceado y simétrico.

$$I_n(t) = I_R(t) + I_S(t) + I_T(t) = \sum 3I_{6k+3} \sin((6k + 3)\omega t + \alpha_{6k+3}) \quad (4)$$

Lo que muestra la ecuación anterior, es que las corrientes en el neutro, estando en un sistema balanceado, es producido por componentes armónicos múltiplos de 3er orden (3,9,15, 21...) pertenecientes a las fases descritas anteriormente.

Definiendo a ρ_1 a la relación entre la corriente de línea y corriente de fase como:

$$\rho_1 = \frac{I_N}{I_f} = \frac{\sqrt{\sum (3I_{6k+3})^2}}{\sqrt{\sum (3I_{6k+1})^2 + \sum (3I_{6k+3})^2 + \sum (3I_{6k+5})^2}} \quad (5)$$

Se observa que ρ_1 aumenta en presencia de un armónico de tercer orden, a su vez que disminuye con la presencia del primero y quinto orden en la fase. Suponiendo que las corrientes armónicas, solo contienen armónicos impares, se deduce que la relación entre la corriente de neutro y fase resultante es:

$$\rho_1 = 3 \frac{q}{\sqrt{1+q^2+q^4}} \quad (6)$$

Si reemplazamos el ρ_1 en función del índice de distorsión armónica total de corriente (THD_i) de la siguiente forma, quedaríamos con la siguiente expresión:

$$\rho_2 = 3 \frac{THD_i}{\sqrt{1+THD_i^2}} \quad (7)$$

Esta última ecuación se puede cumplir bajo la premisa de tener armónicos impares y como predominante al tercer armónico, alcanzando un máximo de 1,73 siempre y cuando el índice de distorsión de corriente es del 70.7%.

Para poder determinar las corrientes armónicas, (AENOR, 2014) nos defina a la corriente base y la medida de la distorsión armónica, para darnos una ecuación, la cual nos define el cálculo de una corriente armónica en la siguiente expresión:

$$I_{resultante\ armonica} = I_{base} * \frac{THD_i}{\sqrt{1-THD_i^2}} \quad (8)$$

Donde: la corriente resultante, $I_{resultante\ armonica}$, es igual a la corriente base medida, THD_i distorsión armónica total de corriente, esta ecuación dará el valor exacto de la corriente armonica, durante la medición de la distorsión de onda que se da en un momento dado.

Así mismo, necesitamos la ecuación para el cálculo de la corriente necesaria que el filtro activo inyectara a la red de distribución. Según (IEE Std 519-2014, 2014), no determina la siguiente expresión:

$$I_{filtro\ activo} = \sqrt{I_{resultante\ armonica}^2 + I_{pot\ reactiva}^2 + I_{equilibrado\ de\ fases}^2} \quad (9)$$

De la cual se define a $I_{\text{pot reactiva}}$ como la relación entre la potencia Reactiva y el voltaje de la fase, también definimos a la $I_{\text{equilibrio de fases}}$, dicho valor viene de la expresión:

$$I_{\text{equilibrado de fases}} = \frac{|I_{\text{max}} - I_{\text{min}}|}{I_{\text{prom}}} * 100 \quad (10)$$

Para desarrollar estas expresiones matemáticas, se necesitó de la medición constante del analizador de calidad, el cual debió calibrar a mediciones de intervalos de 15 minutos aproximadamente.

Uno de los puntos importantes también para esta investigación, es valorizar la solución que se dará al problema a investigar, saber si es rentable o no, así como si esa recuperación de flujo de caja es viable para la ejecución de dicho proyecto, para lo cual necesitamos definir las variables del VAN y el TIR.

Se puede definir el VAN como la variable encargada de determinar la viabilidad de un proyecto en el tiempo, esto en función de los ingresos y egresos que se tuviera, disminuyéndole la inversión del equipo, esto para ver si después de algún tiempo este equipo generó alguna ganancia para la empresa (en este caso sería el Hospital Regional de Moquegua).

$$VAN = -A + \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+r)^n} = 0 \quad (11)$$

Donde definimos como A (a la inversión inicial del sistema), C_n (al flujo de la caja anual) y a r (como la tasa de descuento o TIR), N (número total de periodos), n (año de los beneficios para cada periodo). Dichas variables mencionadas anteriormente determinarán si la adquisición del equipo mencionado anteriormente, es económicamente viable para el hospital.

También podemos definir el TIR como el segundo indicador, el cual nos determina cuan rentable puede llegar a hacer este equipo, ya que debemos tener en cuenta que este equipo económicamente tiene que generar un interés positivo para su financiación.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación fue de tipo aplicada; ya que se utilizó teorías científicas y normativas certeras, que fueron adquiridas durante la formación académica, para cubrir teorías necesarias en el desarrollo de la investigación (CONCYTEC, 2018); tuvo un enfoque cuantitativo porque las variables serán medidas numéricamente.

3.1.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación fue de tipo no experimental ya que se observaron y midieron las variables mas no se manipularon; asimismo fue de tipo transversal descriptivo ya que se realizó en un momento específico y determinado que sirvió para analizar los resultados descriptivamente (Hernández, et al. 2010).

3.2. Variables y operacionalización

Variable Independiente: Armónicos de corriente eléctrica

Variable Dependiente: Calidad de energía eléctrica

3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

3.3.1. Población

La población de la presente investigación estuvo compuesta por el área de generación eléctrica del Hospital Regional de Moquegua, ubicado en la provincia Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, en el año 2022.

3.3.2. Muestra

Para la muestra de esta investigación, se utilizaron los tableros generales N°01, N°02 de la subestación eléctrica del hospital Regional de Moquegua, estos tableros fueron seleccionados intencionalmente, debido a que presentan fallas en su funcionamiento, este tipo de selección es no probabilístico.

3.3.3. Muestreo

Para la investigación, se utilizó un muestreo no probabilístico por conveniencia; esto debido a que se seleccionó los tableros generales para realizar el análisis de calidad correspondiente, dicha falla es la que se analizó durante esta investigación.

3.3.4. Unidad de análisis

Se utilizó como unidad de análisis, los tableros generales pertenecientes al área de la subestación eléctrica, ubicado en el hospital Regional de Moquegua, provincia de mariscal Nieto, departamento de Moquegua, en el año 2022.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La investigación tuvo como técnica la observación, ya que; se observó daños a los componentes físicos del banco de condensadores, así mismo, se encontró daños a las tarjetas de control de los estabilizadores de tensión; el instrumento que se aplicó fue la ficha de observación que mostró una idea de cuánto es la variación en la distorsión de onda de corriente que estuvo sucediendo en el suministro eléctrico, también dio una idea de cómo es la calidad eléctrica del suministro que está en la subestación eléctrica; se utilizó fichas de análisis de datos, ya que sirvieron de guías para los procedimientos que regula el fabricante encontrando así cuales son los valores óptimos y también los valores máximos que soportó el equipo, lo que consecuentemente conllevó a la idea de posibles fallos que puedan tener las unidades de muestreo.

Es importante mencionar que se validó el instrumento de medición para demostrar su validez a través del juicio de expertos; esta mostró que efectivamente cumplió con todas las condiciones para su aplicación ya que tuvo consistencia y claridad para el estudio; por lo tanto, el dictamen del juicio de expertos tuvo una opinión “aplicable” dado que se comprobó su claridad y coherencia de la misma.

3.5. Procedimientos

En primer lugar, para realizar la investigación, fue importante conocer a fondo las dos variables estudiadas, por un lado, se analizó la variable “armónicos de corriente eléctrica” y por otro lado “calidad de energía eléctrica”; las cuales fueron analizadas a través del instrumento de medición; una vez obtenidos los resultados de las fichas de observación se procedió a sistematizarla.

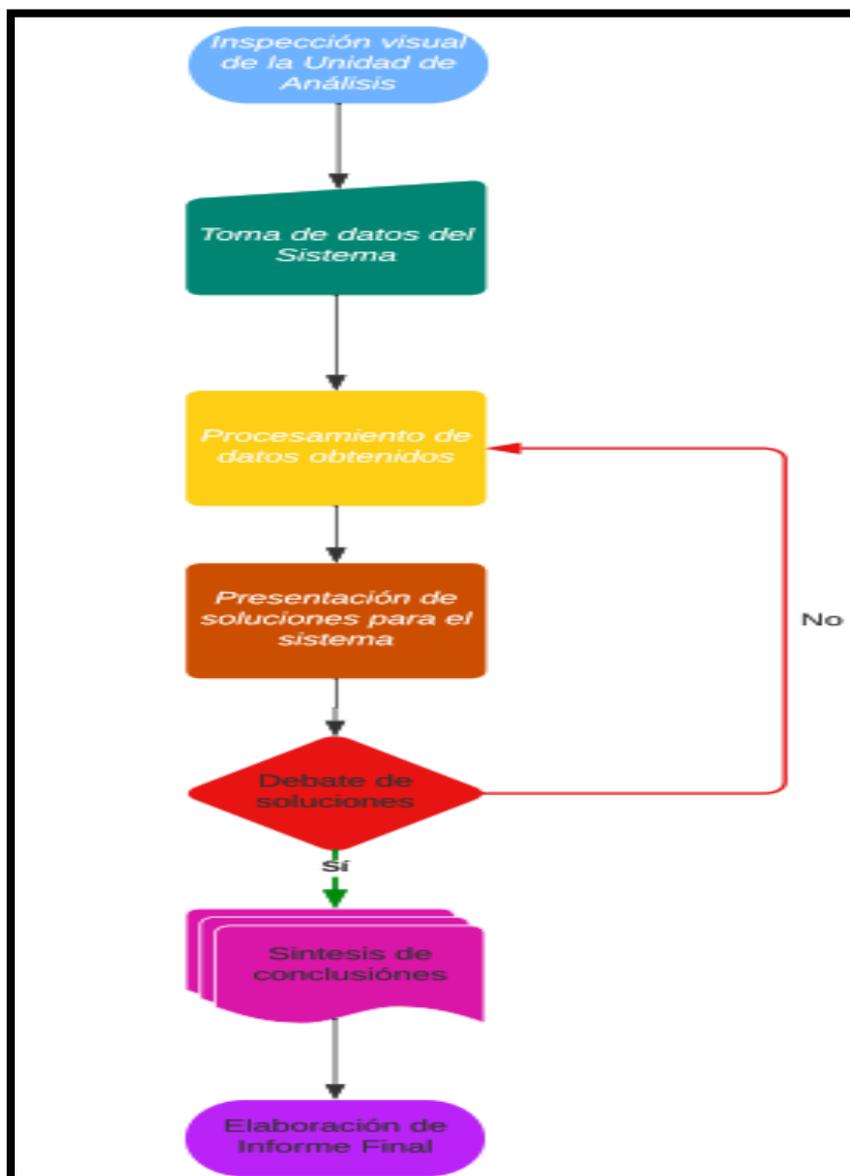
Toda la información recolectada fue con la debida autorización por parte de las áreas correspondientes ejecutivas del Hospital Regional de Moquegua, donde tuve autorización según mi cronograma tres veces por semana presencialmente;

exactamente ingresé al área de subestación eléctrica de la unidad de análisis; como primera fecha, se inspeccionó visualmente alguna falla a nivel de protección y se realizó un registro de los instrumentos de medición propios de los tableros, esto a fin de que se pudiese obtener más información acerca del comportamiento del suministro eléctrico en la subestación, posteriormente se utilizó las fichas de observación para tener un

procesamiento adecuado de las variables estudiadas a fin de obtener una solución al problema planteado.

Figura 1

Flujograma de procedimientos



3.6. Método de análisis de datos

El método de análisis que se aplicó fue la observación sobre el analizador de calidad que realizó mediciones de distorsión de onda lo que conllevó a predecir los armónicos de corriente que afectaron la calidad de energía eléctrica del sistema, en las posteriores fechas para el procesamiento de datos se obtuvo la ayuda del programa PowerView, el cual estuvo incluido en el instrumento de medición; dichos datos fueron ingresados en una hoja tabulada de Excel que plasmo las mediciones tomadas por el instrumento, este procedimiento tuvo una duración de siete días ininterrumpidos, debido a que este es un condicional propuesto por la Norma de Calidad de Servicios Eléctricos, dicha normativa es fundamental para que pueda ser homologado dicho estudio.

3.7. Aspectos éticos

Según el Código de ética del Investigador Científico UCV tiene definido los principios y normas que fueron aceptados y respetados en el desarrollo de la investigación demostrando la integridad y calidad de la misma.

En el desarrollo de la investigación se mostró el conocimiento total de normas y procedimientos éticos establecidos a nivel global; como la honestidad, respeto, la confidencialidad, derechos reservados de autor; por último, se hace mención que el estudio estuvo desarrollado en concordancia a la normativa APA 7ma edición donde se mostró la correcta citación y respeto por autores bibliográficos que tuvieron participación necesaria en el desarrollo.

IV. RESULTADOS

4.1 Realizar un relevamiento de la infraestructura eléctrica del Hospital Regional de Moquegua para identificar y cuantificar la presencia de armónicos de corriente.

Para poder obtener información acerca del problema de investigación, se llegó a la determinación de analizar qué tipo de variables estuvieron involucradas durante el proceso, para esto se tuvo que analizar y hacer una inspección visual en las unidades de análisis, las cuales cuentan con un analizador de red marca Schneider, modelo PowerLogic™ PM8000, un display que tenía como función principal tomar un muestreo de las variables que circulan por los tableros generales, estos analizadores, tomaron como muestra que había una distorsión armónica de corriente del 215.18% , esto era un indicador alarmante acerca de lo que pudo estar pasando con la calidad energética del hospital.

No se tomó como un instrumento de medida dichos display analizadores de red, debido a que estos instrumentos no contaban con un certificado de calibración, y desde su instalación no se evidenció ningún tipo de mantenimiento ni certificación. Esto fue fundamental para que no se incluyera, pero si se tomó como iniciativa para poder realizar un análisis de calidad eléctrica en los tableros generales.

Para poder llegar a identificar las variables se debió recurrir a la teoría abordada los capítulos anteriores, el cual nos determina que para poder realizar un análisis de calidad de energía se necesitó identificar la distorsión en la onda tanto de tensión, así como de corriente, esto a su vez poder compararlo con la normativa vigente tanto nacional como extranjera y verificar si efectivamente se encuentra dentro de los parámetros tolerables.

Lo cual nos llevó a la conclusión de que se necesitó realizar los análisis de calidad para corroborar el verdadero estado de las distorsiones de onda tanto en la corriente como en la tensión.

Figura 2.

Medición del analizador de red PowerLogicTMPM8000



4.2 Proponer recomendaciones específicas para mitigar los problemas causados por los armónicos de corriente en el Hospital Regional de Moquegua, considerando tanto medidas correctivas como preventivas.

Posteriormente de que se analizó todos los resultados presentados por el analizador de calidad mencionado anteriormente, se procedió a realizar la propuesta de los filtros activos para los armónicos encontrados en tableros generales N°01 y N°02.

Teniendo como antecedente las ecuaciones mencionadas anteriormente, así como el análisis que se hizo sobre las corrientes armónicas que se presentaron en el sistema y afectaron la calidad eléctrica del sistema, podemos determinar la corriente armónica total, teniendo como valores, las corrientes armónicas máximas hallas con el analizador, la potencia reactiva y el equilibrado de fases del sistema podemos determinar los siguiente:

$$I_{resultante\ armonica(I1)} = I_{base} * \frac{THD_i}{\sqrt{1 - THD_i^2}}$$

$$I_{resultante\ armonica(I1)} = 39.81 * \frac{103.4}{\sqrt{1 - 103.4^2}}$$

$$I_{resultante\ armonica(I1)} = 41.83728 \text{ Amperios}$$

$$I_{potencia\ reactiva\ (I1)} = \frac{Q}{V}$$

$$I_{potencia\ reactiva\ (I1)} = \frac{531.9854}{218.34}$$

$$I_{potencia\ reactiva\ (I1)} = 2.4365 \text{ Amperios}$$

$$I_{\text{equilibrado de fases}(I1)} = \frac{|I_{\text{max}} - I_{\text{min}}|}{I_{\text{prom}}} * 100$$

$$I_{\text{equilibrado de fases}(I1)} = \frac{|76.9 - 3.877|}{39.81} * 100$$

$$I_{\text{equilibrado de fases}(I1)} = 181.168 \text{ Amperios}$$

$$I_{\text{equilibrado de fases}(I2)} = \frac{|I_{\text{max}} - I_{\text{min}}|}{I_{\text{prom}}} * 100$$

$$I_{\text{equilibrado de fases}(I2)} = \frac{|79.91 - 7.647|}{38.65} * 100$$

$$I_{\text{equilibrado de fases}(I2)} = 186.9676 \text{ Amperios}$$

$$I_{\text{equilibrado de fases}(I3)} = \frac{|I_{\text{max}} - I_{\text{min}}|}{I_{\text{prom}}} * 100$$

$$I_{\text{equilibrado de fases}(I3)} = \frac{|4.9 - 0.009|}{1.87} * 100$$

$$I_{\text{equilibrado de fases}(I3)} = 261.5508 \text{ Amperios}$$

Para determinar el valor que ingresó a la ecuación para las corrientes del filtro pasivo, se realizará un promedio en el cual tomaremos como medida el mayor valor correspondiente, el cual tuvo un valor de 51.6553

$$I_{\text{filtro activo (para I1)}} = \sqrt{I_{\text{resultante armonica}}^2 + I_{\text{pot reactiva}}^2 + I_{\text{equilibrado de fases}}^2}$$

$$I_{\text{filtro activo (para I1)}} = \sqrt{41.83728^2 + 2.4365^2 + 51.6553^2}$$

$$I_{\text{filtro activo (para I1)}} = \sqrt{41.83728^2 + 2.4365^2 + 51.6553^2}$$

$$I_{\text{filtro activo (para I1)}} = 66.5174 \text{ Amperios.}$$

Para la hallar la corriente armónica total en la línea "I1", se procede a buscar en las mediciones y es así como se determinó que, en el tablero general T1, tuvo una corriente armónica de 41.83728 Amperios, a su vez, dicha corriente armónica dio como resultado una potencia reactiva de 2.4365 Amperios, esto también determinó la corriente de equilibrio de fases, la cual fue de 181.168 Amperios.

Para la hallar la corriente armónica total en la línea "I2", se procede a buscar en las mediciones y es así como se determinó que, en el tablero general T1, tuvo una corriente armónica de 25.9298 Amperios, a su vez, dicha corriente armónica dio como resultado una potencia reactiva de 1.49367886 Amperios, esto también determinó la corriente de equilibrio de fases, la cual fue de 186.96765 Amperios.

$$I_{\text{resultante armonica(I1)}} = I_{\text{base}} * \frac{THD_i}{\sqrt{1-THD_i^2}}$$

$$I_{\text{resultante armonica(I1)}} = 38.65 * \frac{0.4875}{\sqrt{1-0.4875^2}}$$

$$I_{\text{resultante armonica(I1)}} = 25.9298 \text{ Amperios}$$

$$I_{\text{potencia reactiva (I1)}} = \frac{Q}{V}$$

$$I_{\text{potencia reactiva (I1)}} = \frac{331.9998}{222.27}$$

$$I_{\text{potencia reactiva (I1)}} = 1.493678 \text{ Amperios}$$

$$I_{\text{equilibrado de fases(I2)}} = \frac{|I_{\text{max}} - I_{\text{min}}|}{I_{\text{prom}}} * 100$$

$$I_{\text{equilibrado de fases}(I_2)} = \frac{|79.91 - 7.647|}{38.65} * 100$$

$$I_{\text{equilibrado de fases}(I_2)} = 186.9676 \text{ Amperios}$$

$$I_{\text{filtro activo (para I1)}} = \sqrt{I_{\text{resultante armonica}}^2 + I_{\text{pot reactiva}}^2 + I_{\text{equilibrado de fases}}^2}$$

$$I_{\text{filtro activo (para I1)}} = \sqrt{25.9298^2 + 1.493678^2 + 51.6553^2}$$

$$I_{\text{filtro activo (para I1)}} = \sqrt{25.9298^2 + 1.493678^2 + 51.6553^2}$$

$$I_{\text{filtro activo (para I1)}} = 57.817433 \text{ Amperios.}$$

Para la hallar la corriente armónica total en la línea "I3", se procede a buscar en las mediciones y es así como se determinó que, en el tablero general T1, tuvo una corriente armónica de 57.8907 Amperios, a su vez, dicha corriente armónica dio como resultado una potencia reactiva de 0.01855 Amperios, esto también determinó la corriente de equilibrio de fases, la cual fue de 261.5508 Amperios.

$$I_{\text{resultante armonica}(I_3)} = I_{\text{base}} * \frac{THD_i}{\sqrt{1 - THD_i^2}}$$

$$I_{\text{resultante armonica}(I_3)} = 1.87 * \frac{0.99947}{\sqrt{1 - 0.99947^2}}$$

$$I_{\text{resultante armonica}(I_3)} = 57.8907 \text{ Amperios}$$

$$I_{\text{potencia reactiva}(I_3)} = \frac{Q}{V}$$

$$I_{potencia\ reactiva\ (I3)} = \frac{322.0519}{215.61}$$

$$I_{potencia\ reactiva\ (I3)} = 0.01855202\ Amperios$$

$$I_{filtro\ activo\ (para\ I3)} = \sqrt{I_{resultante\ armonica}^2 + I_{pot\ reactiva}^2 + I_{equilibrado\ de\ fases}^2}$$

$$I_{filtro\ activo\ (para\ I3)} = \sqrt{57.8907^2 + 0.01855202^2 + 51.6553^2}$$

$$I_{filtro\ activo\ (para\ I3)} = 77.5861\ Amperios.$$

Esto, se resume en que, para aplicar la siguiente ecuación, la que nos determinó la corriente que debe producirse en el filtro armónico, a fin de que anule las corrientes armónicas presentes en el sistema.

Esto quiere decir, que para el tablero general N°01, se necesita un filtro armónico activo, el cual genere unos 66,5174 Amperios en la línea I1, 57.8174341 Amperios en la línea I2 y 77.5861 Amperios en la línea I3.

Del mismo modo, para el Tablero general N°02, se necesita determinar de la misma manera las corrientes armónicas y la corriente reactiva y la corriente de equilibrio de fases.

Para la hallar la corriente armónica total en la línea "I1", se procede a buscar en las mediciones y es así como se determinó que, en el tablero general T2, tuvo una corriente armónica de 94.4373056 Amperios, a su vez, dicha corriente armónica dio como resultado una potencia reactiva de 132.739649 Amperios, esto también determinó la corriente de equilibrio de fases, la cual fue de 166.4144 Amperios.

$$I_{resultante\ armonica(I1)} = I_{base} * \frac{THD_i}{\sqrt{1 - THD_i^2}}$$

$$I_{\text{resultante armonica}(I1)} = 357.75 * \frac{0.1912}{\sqrt{1 - 0.1912^2}}$$

$$I_{\text{resultante armonica}(I1)} = 86.8415463 \text{ Amperios}$$

$$I_{\text{potencia reactiva}(I1)} = \frac{Q}{V}$$

$$I_{\text{potencia reactiva}(I1)} = \frac{531.927621.10}{218.29}$$

$$I_{\text{potencia reactiva}(I1)} = 132.73 \text{ Amperios}$$

$$I_{\text{equilibrado de fases}(I1)} = \frac{|I_{\text{max}} - I_{\text{min}}|}{I_{\text{prom}}} * 100$$

$$I_{\text{equilibrado de fases}(I1)} = \frac{|398.68 - 357.75|}{368.06} * 100$$

$$I_{\text{equilibrado de fases}(I1)} = 132.739649 \text{ Amperios}$$

$$I_{\text{equilibrado de fases}(I2)} = \frac{|I_{\text{max}} - I_{\text{min}}|}{I_{\text{prom}}} * 100$$

$$I_{\text{equilibrado de fases}(I2)} = \frac{|384.17 - 349.17|}{357.91} * 100$$

$$I_{\text{equilibrado de fases}(I2)} = 128.727839 \text{ Amperios}$$

$$I_{\text{equilibrado de fases}(I3)} = \frac{|I_{\text{max}} - I_{\text{min}}|}{I_{\text{prom}}} * 100$$

$$I_{\text{equilibrado de fases}(I3)} = \frac{|368.28 - 332.67|}{341.86} * 100$$

$$I_{\text{equilibrado de fases}(I3)} = 148.59 \text{ Amperios}$$

Para determinar el valor que ingresó a la ecuación para las corrientes del filtro pasivo, se realizará un promedio en el cual tomaremos como medida el mayor valor correspondiente, el cual tuvo un valor de 33.99333

$$I_{\text{filtro activo (para I1)}} = \sqrt{I_{\text{resultante armonica}}^2 + I_{\text{pot reactiva}}^2 + I_{\text{equilibrado de fases}}^2}$$

$$I_{\text{filtro activo (para I1)}} = \sqrt{94.4373^2 + 132.73^2 + 33.9933^2}$$

$$I_{\text{filtro activo (para I1)}} = 166.4144 \text{ Amperios.}$$

Para la hallar la corriente armónica total en la línea "I2", se procede a buscar en las mediciones y es así como se determinó que, en el tablero general T2, tuvo una corriente armónica de 86.84154 Amperios, a su vez, dicha corriente armónica dio como resultado una potencia reactiva de 128.727839 Amperios, esto también determinó la corriente de equilibrio de fases, la cual fue de 163.09 Amperios.

$$I_{\text{resultante armonica}(I1)} = I_{\text{base}} * \frac{THD_i}{\sqrt{1-THD_i^2}}$$

$$I_{\text{resultante armonica}(I1)} = 357.91 * \frac{0.1912}{\sqrt{1-0.1912^2}}$$

$$I_{\text{resultante armonica}(I1)} = 86.84154 \text{ Amperios}$$

$$I_{\text{potencia reactiva}(I1)} = \frac{Q}{V}$$

$$I_{potencia\ reactiva\ (I1)} = \frac{531.9854}{218.29}$$

$$I_{potencia\ reactiva\ (I1)} = 128.727839\ Amperios$$

$$I_{filtro\ activo\ (para\ I1)} = \sqrt{I_{resultante\ armonica}^2 + I_{pot\ reactiva}^2 + I_{equilibrado\ de\ fases}^2}$$

$$I_{filtro\ activo\ (para\ I1)} = \sqrt{86.84154^2 + 128.7278^2 + 33.9933^2}$$

$$I_{filtro\ activo\ (para\ I1)} = 158.95866\ Amperios.$$

Para la hallar la corriente armónica total en la línea "I3", se procede a buscar en las mediciones y es así como se determinó que, en el tablero general T2, tuvo una corriente armónica de 91.352451 Amperios, a su vez, dicha corriente armónica dio como resultado una potencia reactiva de 148.591385 Amperios, esto también determinó la corriente de equilibrio de fases, la cual fue de 125.99 Amperios.

$$I_{resultante\ armonica(I1)} = I_{base} * \frac{THD_i}{\sqrt{1 - THD_i^2}}$$

$$I_{resultante\ armonica(I1)} = 341.86 * \frac{0.2007}{\sqrt{1 - 0.2007^2}}$$

$$I_{resultante\ armonica(I1)} = 91.352450\ Amperios$$

$$I_{potencia\ reactiva\ (I1)} = \frac{Q}{V}$$

$$I_{potencia\ reactiva\ (I1)} = \frac{27056.35}{214.75}$$

$$I_{potencia\ reactiva\ (I1)} = 125.99\ Amperios$$

$$I_{filtro\ activo\ (para\ I1)} = \sqrt{I_{resultante\ armonica}^2 + I_{pot\ reactiva}^2 + I_{equilibrado\ de\ fases}^2}$$

$$I_{filtro\ activo\ (para\ I1)} = \sqrt{91.352451^2 + 125.99^2 + 33.9933^2}$$

$$I_{filtro\ activo\ (para\ I1)} = 177.708235\ Amperios.$$

Debido a que los tableros generales N°01 y N°02, estuvieron conectados en el mismo sistema de manera paralela, se sumaran las corrientes a fin de determinar la corriente total que necesita el filtro activo para mitigar las corrientes armónicas del sistema.

Esto quiere decir, que en la línea I1 circuló una corriente armónica total de 232.93 Amperios, para la línea I2 circuló una corriente armónica total de 216.7761 Amperios y para la línea I3, circuló una corriente armónica total de 255.2943 Amperios.

Se propuso un filtro activo, debido a que estos tienen tres funciones principales las cuales son, las de balancear las cargas, eliminar los armónicos del sistema y mejorar el factor de potencia.

Estas funciones son las características que diferencian un filtro activo de un filtro pasivo, lo que nos da una idea de que tipo de filtro es el más efectivo a la hora de eliminar armónicos, caso contrario es lo que sucede con el filtro pasivo, ya que su diseño solo cumple la función, la cual es mitigar los armónicos para lo cual fue diseñado, si bien es cierto que estos filtros son mucho más económicos, no tienen características que presentan los filtros activos.

También se eligió debido a que estos filtros activos son mucho más fáciles a la hora de su selección debido a que la variable principal por la cual se selecciona es la corriente que generan los armónicos, así como también el rango de frecuencias a la cual están presentes, caso contrario es el funcionamiento de los

filtros activo. Otro punto importante para su selección fue la capacidad que integran para corregir el factor de potencia, ya que como pudimos observar durante los mantenimientos es que la vida útil del banco de condensadores llegó a su límite, y hasta que se pueda enviar un servicio de inspección para dicho banco, podría empeorar la calidad eléctrica del hospital ya que no se podría mejorar el factor de potencia.

Por último, gracias a estos filtros activos, se podría balancear la carga presente en los tableros, ya que como pudimos analizar, existe un desbalance de cargas, las cuales no podrían ser balanceadas con un filtro pasivo, ya que este filtro, solo puede mitigar los armónicos que se encuentran en el sistema.

Estas corrientes mencionadas anteriormente, causante de la mala calidad eléctrica, lo que nos llevó a que propusiéramos un filtro capaz de eliminar esta corriente presente en el sistema.

Figura 3.

Variables medidas el día 21/11/2022 de la forma de onda en función de U//F

Símbolo	Nombre	L1	L2	L3	LN	Total	Unidad
U	Tensión	216.99	219.49	216.76	0.9262	---	V
I	Corriente	130.27	128.53	128.01	31.336	---	A
f	Frecuencia	59.977	---	---	---	---	Hz
THD U	THD de tensión	3.7529	4.1279	4.5398	199.01	---	%
THD U	THD de tensión	8.1282	9.0431	9.822	0.7881	---	V
THD I	THD de corriente	37.325	36.175	34.904	68.689	---	%
THD I	THD de corriente	45.520	43.692	42.153	17.721	---	A
CFu	Factor de cresta de tensión	1.3760	1.3723	1.3859	---	---	
CFI	Factor de cresta de la corriente	1.0773	1.0905	1.0948	1.9368	---	
Plt	Flicker PLT	0.5254	0.4640	0.4456	---	---	
Pst	Flicker PST	0.5982	0.4515	0.3617	---	---	
Pst(1min)	Flicker PST 1min	0.1546	0.1694	0.1542	---	---	
T	Temperatura	---	---	---	---	---	°C
Valores de línea							
Símbolo	Nombre	L12	L23	L31		Total	Unidad
U	Tensión	377.58	377.30	376.46	---	---	V
THD U	THD de tensión	---	---	---	---	---	%
THD U	THD de tensión	---	---	---	---	---	V
CFu	Factor de cresta de tensión	1.4505	1.4515	1.4534	---	---	
Umin1/2	Tensión RMS min de ciclo sen...	---	---	---	---	---	V
Umax1/2	Tensión RMS max de ciclo sen...	---	---	---	---	---	V
UpicoRms	Pico max de tensión (desde re...	547.67	547.64	547.15	---	---	V
Valores pico (desde el último reinicio del usuario)							
Símbolo	Nombre	L1	L2	L3	LN	Total	Unidad
Umin1/2	Tensión RMS min de ciclo sen...	209.95	212.79	209.66	---	---	V
Umax1/2	Tensión RMS max de ciclo sen...	225.05	228.14	225.12	---	---	V
UpicoRms	Pico max de tensión (desde re...	298.58	301.21	300.42	---	---	V
Imin1/2	Corriente RMS min medio ciclo ...	101.24	101.43	92.216	---	---	A
Imax1/2	Corriente RMS max medio ciclo ...	133.18	133.16	132.78	---	---	A
IpicoRms	Corriente pico max (desde res...	140.34	140.16	140.15	60.691	---	A
Medidas de potencia según IEEE 1459							
Símbolo	Nombre	L1	L2	L3	LN	Total	Unidad
Combinados							
P	Potencia activa	23.799	23.896	23.572	---	71.267	kW
N	Potencia reactiva	-15.25	-15.00	-14.64	---	-44.89	kvar

Debido a que los tableros generales N°01 y N°02 son los que distribuyen la corriente eléctrica a todo el sistema eléctrico del hospital, debido a que están conectados en paralelo, se analizó también las corrientes armónicas, encontrando que la máxima corriente generada por armónicos fue de **255.2943 Amperios**, dicha corriente es la que se debe mitigar utilizando un filtro activo, este filtro se propuso utilizando al fabricante **CYDESA**.

Este fabricante, nos indica que, para la selección de un filtro activo, se debe tener la corriente total armónica que circula por el sistema, a esta corriente, se le

debe agregar un factor de seguridad, el cual será el 15%, por lo cual tendríamos una nueva corriente la cual fue de **293.5884 Amperios**, este valor fue el primer paso para la selección del filtro. El segundo paso fue el tipo de conexión que se utilizará para conectar el filtro activo y las líneas presentes en el sistema, debido a que estos tableros generales están conectados en paralelos y la corriente armónica total fue la suma de las corrientes del sistema, este sistema utilizará un solo filtro activo, el cual se conectará mitigando las corrientes armónicas de ambos tableros generales, lo que significa que se conectará a cada línea del sistema incluido el neutro por lo que la conexión será de 4 hilos.

Otro punto importante que debemos tener en cuenta es la cantidad de módulos para mitigar los armónicos, comercialmente, el módulo más cercano para satisfacer las demandas de las corrientes armónicas sería 300 Amperios, sin embargo, la conexión que se tiene para

mitigar es de 3 hilos; por lo que el más adecuado para utilizar sería una conexión de 4 hilos, la que cuenta con **4 módulos** de control y tiene una mitigación de **300 Amperios**, lo que satisface completamente la demanda necesidad en el sistema.

Por lo que, el filtro propuesto, fue uno de la marca **CYDESA** tipo **FN 3545-S3004WLXP** cuya tensión es de **380-415 VAC**, la cual tiene una mitigación de corriente armónica de **300 Amperios**, que incluye un módulo de 4 hilos **5 x FN 3540**, una **pantalla LCD** y un **Interruptor principal**, el cual lo protege de cualquier tipo de falla durante la operación.

4.3 Evaluar los costos asociados a la implementación de soluciones para mitigar los armónicos de corriente, considerando tanto los aspectos técnicos como los económicos, y proponer alternativas que optimicen la relación costo-beneficio.

Luego de que se seleccionó el filtro digital y corroboró las opciones que existen en el mercado, se pudo llegar a la conclusión que la evaluación, instalación prueba y puesta de servicio es de **ciento ochenta mil soles (S/.180,000.00 con 00/100 soles)**. Esto a nivel económico se evaluó para poder obtener un **VAN (Valor Actual Neto)** y un **TIR (tasa interna de retorno)**, indicadores que nos definirían si es viable económicamente la adquisición de este equipo.

Aplicando estos conceptos hacia el valor el cual evaluamos obtuvimos:

Tabla 1

.Flujo de caja del Hospital Regional de Moquegua (Presupuesto para el área de mantenimiento del Hospital)

Año	Ingreso	Egreso	Flujo
2	S/.22´625,4	S/.22´501,9	S/.123,501
2	S/.28´438,7	S/.25´870,1	S/.2´568,5
2	S/.64´627,6	S/.60´562,3	S/.4´065,2
2	S/.72´998,3	S/.72´750,6	S/.247,696
2	S/.81´803,0	S/.78´233,	S/.3´570,07

Nota: Seguimiento de la Ejecución Presupuestal (Consulta amigable)

Como se puede apreciar en la tabla 1, podemos obtener el flujo de caja, a través del flujo de caja que se tuvo en el hospital regional entre los años 2018 y 2022, dicho flujo de caja nos ayudará a obtener el **VAN, el cual nos determinará si es viable o no.**

Para eso, aplicaremos la formula mencionada anteriormente, junto con los datos de la tabla 3, nos da un resultado de **S/ 33,171.45 siendo este resultado mayor que cero**, nos demostró, que esta adquisición si es viable.

Para el caso del TIR , nos da un valor porcentual de **16.669%**,lo que nos corrobora efectivamente que este proyecto es viable debido al rápido reintegro que

se puede obtener por el alto flujo de caja que se visualiza, sin embargo, esta propuesta aún no se implementó; debido a que la compra de este equipo no estuvo presupuestada y debido al alto valor que representa, la Resolución Directoral **N° 470-2016-EF/43.01** nos indican que este bien entraría a un proceso de contratación debido a que sobrepasa las 08 unidades impositivas tributarias **UIT**, por lo que el tiempo para ejecutar este servicio podría estar fuera de los tiempos programados para la presentación de este informe de investigación.

4.4 Analizar la calidad de energía eléctrica para evaluar la presencia de corrientes armónicas en el Hospital Regional de Moquegua durante el año 2022.

Luego de que se realizó la inspección visual de toda la subestación, en busca de elementos que nos indicaron fallas a nivel de operación, se encontró una falla importante en el banco de condensadores y fallas a nivel de cortocircuito en las tarjetas de control, estos fueron indicios para que se haya realizado un análisis de calidad eléctrica en el suministro de la subestación eléctrica presente en el hospital regional de Moquegua.

Así mismo, se instaló el analizador de calidad, se respetó los protocolos dictaminados por OSINERGMIN, los cuales determinan que el análisis de calidad se debe realizar como mínimo por 7 días ininterrumpidos, la toma de muestras de distorsión de onda debe ser durante 15 minutos. Mientras duró estos análisis, también se procedió a realizar una verificación del estado operacional de los transformadores, también se realizó un mantenimiento preventivo, así como se verificó los seccionadores a fin de no encontrar más elementos que hagan que la calidad eléctrica de suministro del hospital disminuya. Luego de los análisis respectivos a los tableros generales N°01, N°02, se determinó que efectivamente existió la presencia de armónicos en corriente, los cuales afectaron directamente a la calidad eléctrica del suministro. Esto es de suma importancia, debido a que se pudo definir la solución, la cual fue la propuesta de la implementación de unos filtros activos encargados de disipar estas distorsiones presentes en el sistema.

Luego de analizar, la correlación que existe entre la existencia de armónicos de corriente y la presencia de corrientes circulantes en el neutro, lo que ocasiona un desbalance de cargas a nivel del suministro eléctrico en el sistema de la subestación eléctrica. Analizamos, la variación de onda que existe en el sistema, esto gracias a que se realizó un análisis de calidad de energía, se pudo observar cómo existió una deformación de onda a nivel de la corriente. Se tomó como referencia para este análisis uno de los días de análisis de calidad en el cual se pudo apreciar, gracias a la necesidad de carga del sistema, como debido a las cargas no lineales, se deformó la onda de corriente en cada fase y cuál fue su

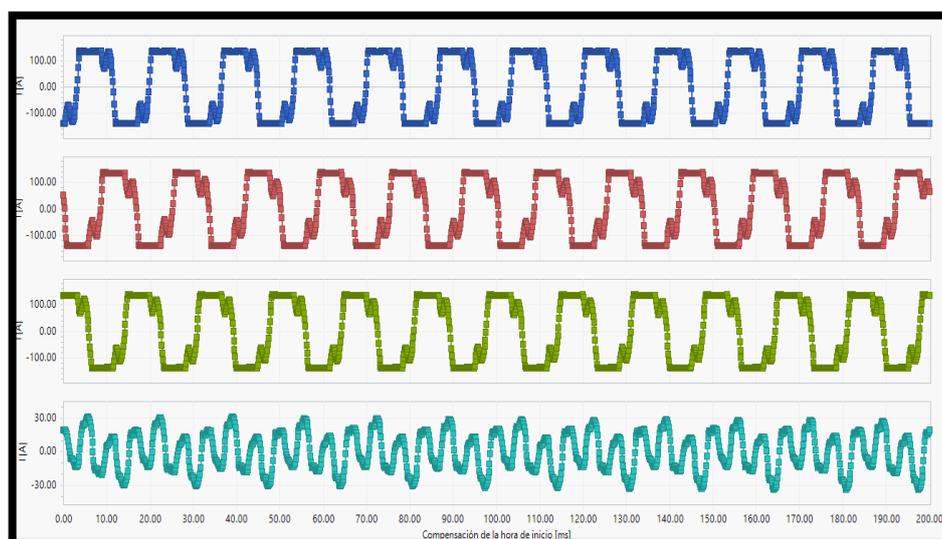
relación con la deformación de onda de corriente en el nivel del neutro. Esta muestra fue tomada el día 20 de noviembre del 2022, a las 13:14:01 horas.

Los límites de onda, presente para la corriente "I1", "I2" e "I3", fue de 137 Amperios. En la figura 4, se observa como fue el comportamiento de la onda sinusoidal de corriente, sus variaciones presentes durante su muestreo.

Así mismo, se observa como existe una onda sinusoidal medida en la línea del neutro, esta onda tuvo como variación de 37 amperios. Igualmente, presentó distorsión, lo que nos llevó a determinar que existen armónicos de corriente.

Figura 4

*Variación de la onda sinusoidal de corriente en el tablero general N°01
(20/11/2022 13:14:01)*

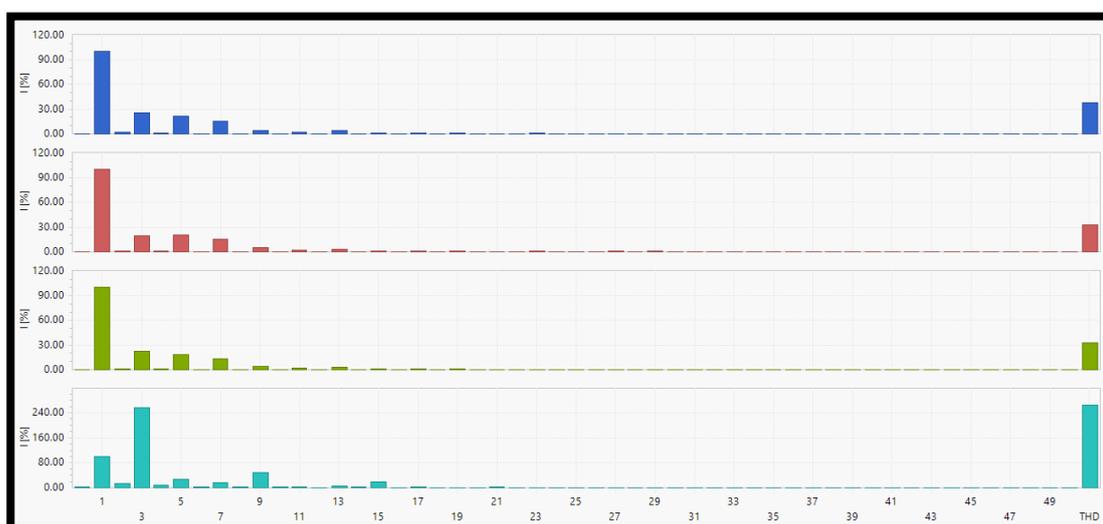


Según la normativa española **UNE-HD 60364-5-52** titulado **“INSTALACIONES ELECTRICAS DE BAJA TENSIÓN”** en la parte 5: **SELECCIÓN E INSTALACION DE EQUIPOS ELECTRICOS CANALIZACIONES**, en el cual nos establece que una línea neutra, el cual se encuentra susceptibles de la presencia de tercer armónicos y múltiplos impares de corrientes, estos no deben sobrepasar una distorsión armónica total entre el 15% y 33% (AENOR, 2014).

Gracias a esta normativa, podemos tener parámetros suficientes para determinar si la línea neutro evaluada, en la figura 4, cumple con lo establecido en la norma mencionada anteriormente. Observando la gráfica realizada por el programa METREL, nos indica que la distorsión armónica total (THD) para la línea neutro, es de 263.07%, lo cual fue un grave indicador que nos demuestra que existió una sobrecarga en la perturbación de la línea neutro y se necesitó una acción inmediata para mitigar este efecto tan grave del sistema para el tablero general N°01.

Figura 5.

Gráfico de barras de armónicos de corriente del tablero general N°01 (20/11/2022 13:14:01)



Tratando de ser un poco más específico acerca de los armónicos presentes en las líneas que se conectan al tablero general N°01, el programa que tomo muestras de las líneas, nos arrojó los siguientes datos que se muestran en la figura 5. Como se puede demostrar, estos datos fueron validados con la norma **IEEE Std 519-2014**, nos muestra límites de distorsión actuales para sistemas con clasificación de 120V hasta 69kV, los cuales deben **tener una tolerancia entre los armónicos de 3er al 11vo orden del 7.0%** y un **TDD máximo del 8.0%**. Para llegar a estos valores, mostrado en la tabla N°02, necesitamos la máxima corriente de corto circuito que esta dado por el punto de diseño I_{sc} , el cual es del **4,402.59A** y

así como la máxima corriente de carga demanda (fundamental) I_L , el cual es **132.74**

A.

Estos valores proporcionados, nos ayudaran a ingresar a la tabla n°02, debido a que la relación entre I_{sc}/I_L nos da un resultado de **33.166**, lo que nos hace ingresar a la tabla, En la segunda fila, ya que este número se encuentra en entre 20 y 50. Esto nos determina que, los armónicos impares presentes en las líneas que pertenecen al tablero general N°01, **no deben sobrepasar una distorsión del 7.0% de armónicos (THD) y una tasa de distorsión total (TDD), no debe ser mayor al 8.0%.**

Tabla 2.

Límites de distorsión actuales para sistema con clasificación de 120V a 69kV

Máxima distorsión de corriente armónica en porciento de IL						
Orden armónico individual (armónicos impares) a, b						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 35$	$35 \leq h \leq 50$	<i>TDD</i>
< 20_c	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
< 50						
50	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
< 100						
100	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
< 1000						
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Fuente: IEEE-Std 519-2014

(a) *Incluso los armónicos están limitados al 25% de los límites de armónicos impares anteriores.*

(b) *Las distorsiones actuales que da como resultado una compensación de cd, por ejemplo, convertidores de media onda, no están permitidas.*

(c) *Todos los equipos de generación de energía están limitados a estos valores de distorsión de corriente, independientemente de I_{sc}/I_L real.*

Donde:

I_{sc} = corriente de cortocircuito máximo en PCC

I_L = corriente de carga de demanda máxima (componente de frecuencia fundamental) en el PCC en condiciones de funcionamiento de carga normal

Luego de saber cuáles son los parámetros estándar para los armónicos impares presentes en la corriente de suministro, procedimos a analizar, la figura 05, para determinar exactamente cuál es la distorsión de onda de corriente en cada línea correspondiente.

Al ver la figura 05, pudimos determinar que existieron armónicos de 3er, 5to y 7mo orden, por lo que queda demostrado que existió una baja calidad eléctrica en el tablero general N°01, en los que están implicados los transformadores 1 y 2, así como todo el sistema eléctrico general del hospital.

En la figura 5 se hace referencia en cómo se grafica la tabla de armónicos de la figura 4, la cual, representa la tabulación de las distorsiones causadas por los armónicos encontrados en las líneas. Esta grafica muestra como fue la variación de distorsión de cada una de las líneas. Para la línea L1, tuvo una distorsión total de demanda de 33.32%, el cual nos muestra que efectivamente no cumple con los parámetros establecidos en las normas mencionadas anteriormente, de igual manera, en la línea L2, tuvo una distorsión de 32.09%, lo que también nos determina que su distorsión está por encima de los parámetros dados y de igual manera, para la línea L3, lo mostró una distorsión de 31.00%.

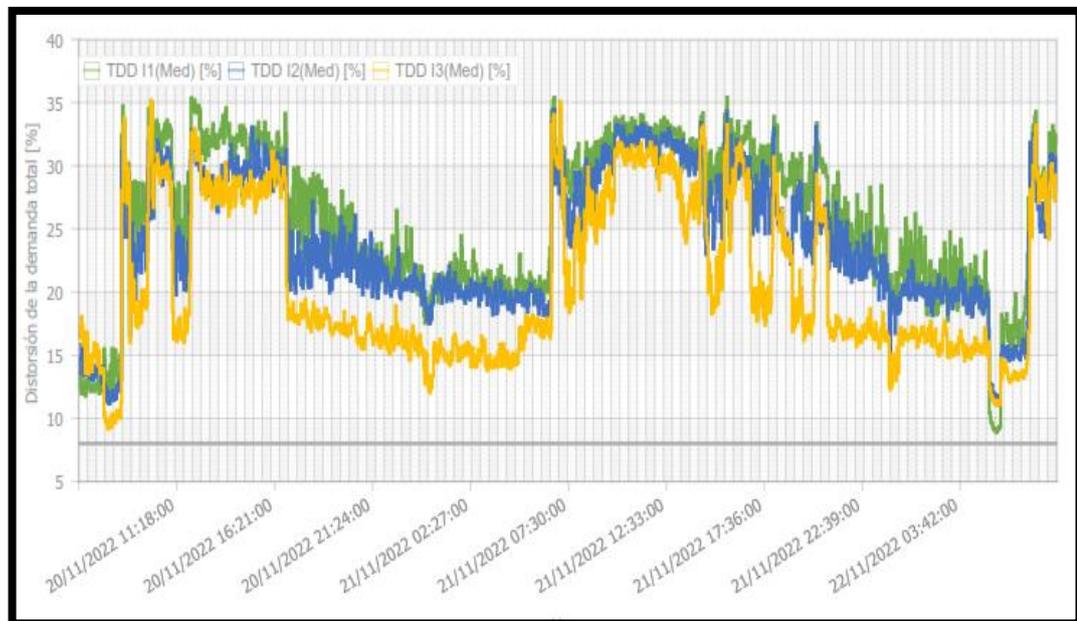
Figura 6.

Tabla de armónico de corriente detectados en el tablero general N° 01

Armónico No.	Límite (%)	Armónicos de corriente - L1		Armónicos de corriente - L2		Armónicos de corriente - L3	
		Medido (%)	Estado	Medido (%)	Estado	Medido (%)	Estado
TDD	8.00	33.32	No pasa	32.09	No pasa	31.00	No pasa
2	1.75	1.59	Pasa	1.52	Pasa	1.62	Pasa
3	7.00	27.68	No pasa	26.63	No pasa	26.21	No pasa
4	1.75	1.10	Pasa	0.98	Pasa	0.79	Pasa
5	7.00	18.39	No pasa	18.04	No pasa	16.83	No pasa
6	1.75	0.76	Pasa	0.78	Pasa	0.62	Pasa
7	7.00	13.09	No pasa	12.87	No pasa	11.89	No pasa
8	1.75	0.82	Pasa	0.75	Pasa	0.54	Pasa
9	7.00	4.70	Pasa	4.75	Pasa	4.81	Pasa
10	1.75	0.54	Pasa	0.57	Pasa	0.41	Pasa
11	3.50	2.38	Pasa	2.21	Pasa	2.35	Pasa
12	0.88	0.39	Pasa	0.40	Pasa	0.36	Pasa
13	3.50	3.05	Pasa	2.82	Pasa	2.65	Pasa
14	0.88	0.32	Pasa	0.28	Pasa	0.27	Pasa

Figura 7.

Gráfica de la distorsión de la demanda (TDD) en función al tiempo que se detectó en el tablero general N°01



El segundo caso en evaluación, es para el tablero general N°02, el cual durante el análisis que se le realizó se pudo observar que existió una distorsión de onda total al 12.27% en la línea 1, una distorsión de onda en la línea 2 de 11.72% y una distorsión de onda total de 11.87% en la línea 3. Así mismo, se pudo observar

una distorsión muy agravante perteneciente al 5to armónico, el cual se evidencia en la figura 8, en donde la línea L1 presenta un armónico medido del 12.14%, en la línea L2, hubo una medida de armónicos de corriente de 11.59% y en la línea L3, hubo una medida de armónicos de corriente medida de 11.87%.

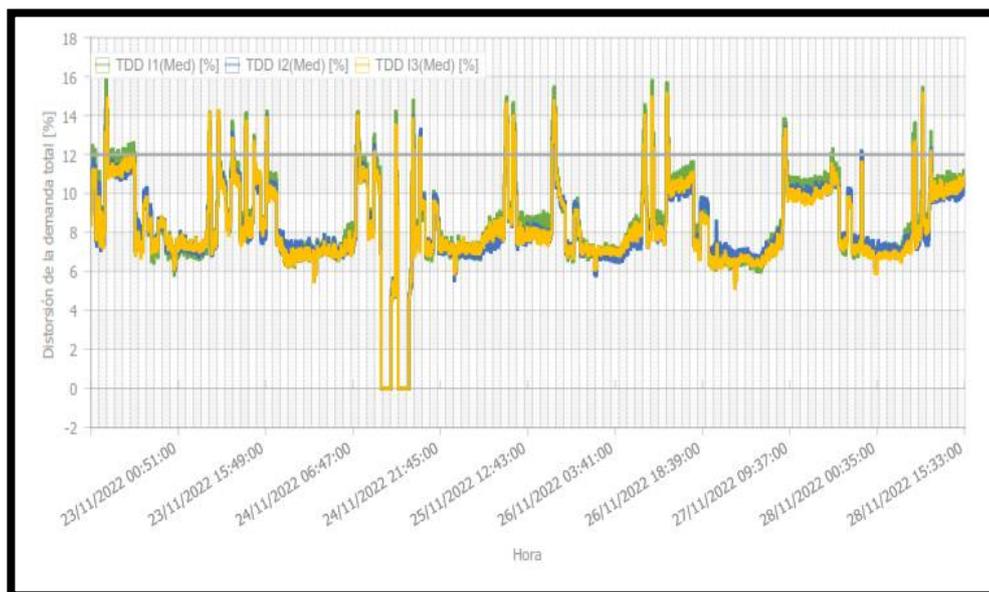
Figura 8

Tabla de armónicos de corriente presentes en el tablero general N°02

Armónico No.	Límite (%)	Armónicos de corriente - L1		Armónicos de corriente - L2		Armónicos de corriente - L3	
		Medido (%)	Estado	Medido (%)	Estado	Medido (%)	Estado
TDD	8.00	12.27	No pasa	11.72	No pasa	11.87	No pasa
2	1.75	0.27	Pasa	0.19	Pasa	0.21	Pasa
3	7.00	1.58	Pasa	1.78	Pasa	2.99	Pasa
4	1.75	0.21	Pasa	0.26	Pasa	0.23	Pasa
5	7.00	12.14	No pasa	11.59	No pasa	11.42	No pasa
6	1.75	0.09	Pasa	0.08	Pasa	0.06	Pasa
7	7.00	2.25	Pasa	2.31	Pasa	2.43	Pasa
8	1.75	0.04	Pasa	0.03	Pasa	0.03	Pasa
9	7.00	0.50	Pasa	0.43	Pasa	0.57	Pasa

Figura 9

Distorsión de la demanda total TDD en función del tiempo, tablero general N°02

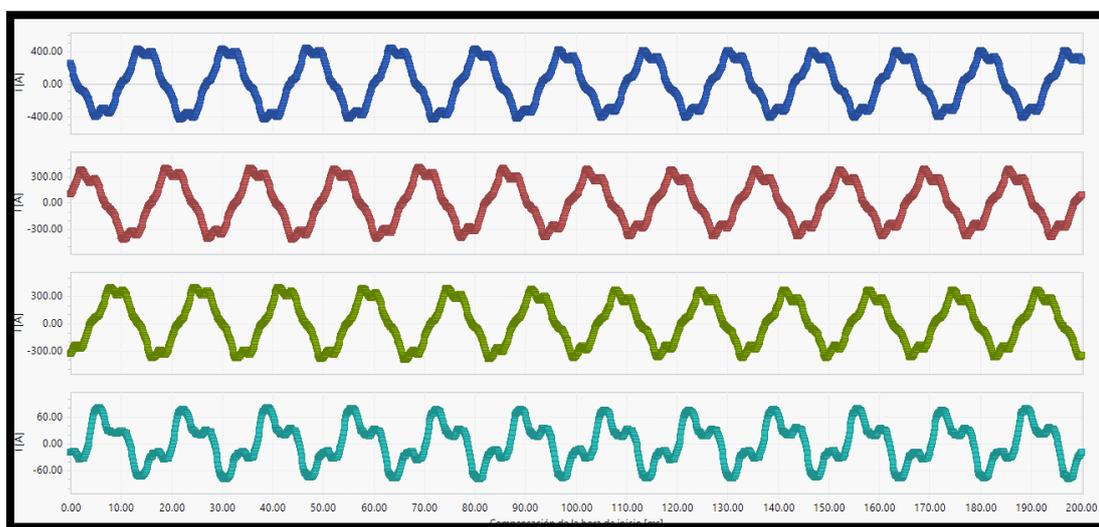


Habiendo obtenido un análisis más profundo acerca de cómo fue el comportamiento de la de la corriente, en función de los armónicos que estuvieron presente durante la medición de los mismos, se pudo observar que, existe una relación directa debido a que se ve una variación en la onda de corriente presente en todas las líneas, incluidas en el neutro.

Esta variación estuvo relacionada directamente con la presencia del 5to armónico, como se ve en la figura 8, la cual nos grafica que efectivamente existe un armónico durante las tres líneas y esto, sumado a las cargas no lineales presentes en el sistema hacen que exista un desbalance de cargas, lo que presentan cargas en el neutro. Debido a los armónicos presentes en el neutro, esto puede reflejarse en la gráfica 9, la cual nos representa como es la deformación de onda, y cuanto es la corriente que circula en las líneas durante su funcionamiento.

Figura 10.

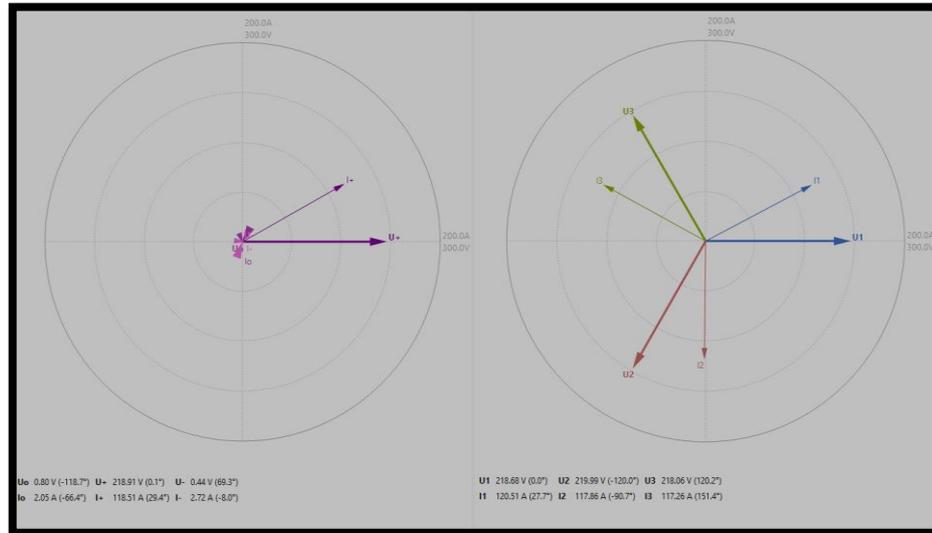
Variación de la onda sinusoidal de corriente en el tablero general N°02 (22/11/2022 09:52:00)



Luego de realizar todo el mantenimiento preventivo y control de parámetros dictaminados por las normas mencionadas en la sección anterior, se obtuvo los siguientes reportes a fin de que se pueda analizar y verificar las hipótesis mencionadas durante el desarrollo de la investigación.

Figura 13.

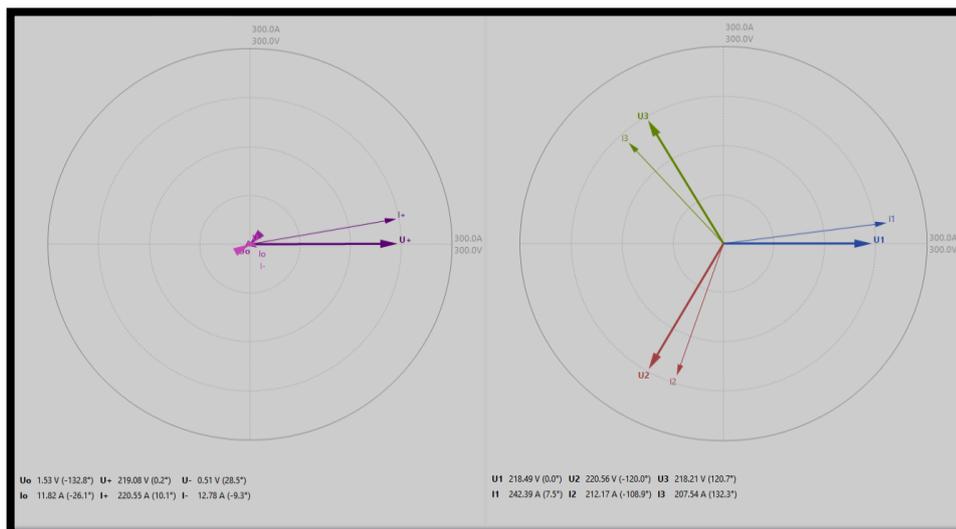
Diagrama de Fases del tablero general N°01



Figura

14.

Diagrama de Fases del tablero general N°02



Como se puede apreciar en la figura 13 y 14, se verifica que existió un desfase de corrientes en el tablero N°01 y tablero N°02, lo que fue un indicador de armónicos presentes múltiplos de 3^{er} orden. Para un sistema trifásico con 4 líneas, del cual nos damos cuenta que está desbalanceado.

Luego de analizar, la correlación que existe entre la existencia de armónicos de corriente y la presencia de corrientes circulantes en el neutro, lo que ocasiona un desbalance de cargas a nivel del suministro eléctrico en el sistema de la subestación eléctrica.

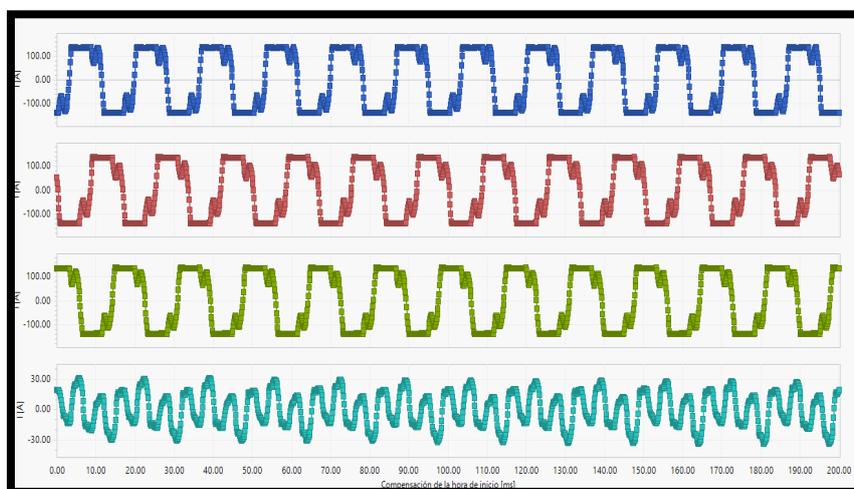
Analizamos, la variación de onda que existe en el sistema, esto gracias a que se realizó un análisis de calidad de calidad, se pudo observar cómo existió una deformación de onda a nivel de la corriente. Se tomó como referencia para este análisis uno de los días de análisis de calidad en el cual se pudo apreciar, gracias a la necesidad de carga del sistema, como debido a las cargas no lineales, como se deformó la onda de corriente en cada fase y cuál fue su relación con la deformación de onda de corriente en el nivel del neutro. Esta muestra fue tomada el día 20 de noviembre del 2022, a las 13:14:01 horas.

Los límites de onda, presente para la corriente "I1", "I2" e "I3", fue de 137 Amperios. En la figura 15, se observa como fue el comportamiento de la onda sinusoidal de corriente, sus variaciones presentes durante su muestreo.

Así mismo, se observa como existe una onda sinusoidal medida en la línea del neutro, esta onda tuvo como variación de 37 amperios. Igualmente, presentó distorsión, lo que nos llevó a determinar que existen armónicos de corriente.

Figura 15.

Variación de la onda sinusoidal de corriente en el tablero general N°01 (20/11/2022 13:14:01)

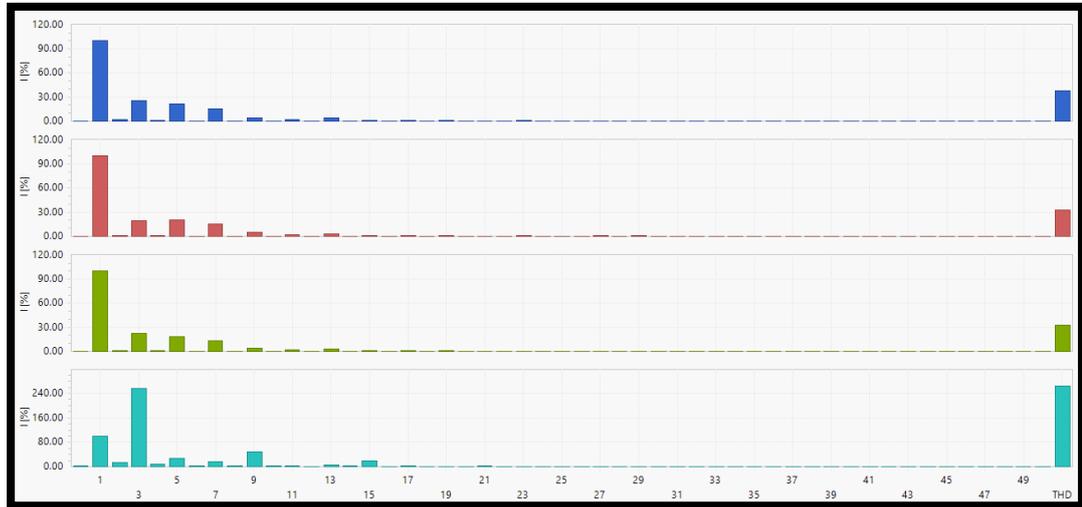


Según la normativa española **UNE-HD 60364-5-52** titulado **“INSTALACIONES ELECTRICAS DE BAJA TENSIÓN”** en la parte 5: **SELECCIÓN E INSTALACION DE EQUIPOS ELECTRICOS CANALIZACIONES**, en el cual nos establece que una línea neutra, el cual se encuentra susceptibles de la presencia de tercer armónicos y múltiplos impares de corrientes, estos no deben sobrepasar una distorsión armónica total entre el 15% y 33% (AENOR, 2014).

Gracias a esta normativa, podemos tener parámetros suficientes para determinar si la línea neutro evaluada, en la figura N° 15, cumple con lo establecido en la norma mencionada anteriormente. Observando la gráfica realizada por el programa METREL, nos indica que la distorsión armónica total (THD) para la línea neutro, es de 263.07%, lo cual fue un grave indicador que nos demuestra que existió una sobrecarga en la perturbación de la línea neutro y se necesitó una acción inmediata para mitigar este efecto tan grave del sistema para el tablero general N°01.

Figura 16.

Gráfico de barras de armónicos de corriente del tablero general N°01
(20/11/2022 13:14:01)



Tratando de ser un poco más específico acerca de los armónicos presentes en las líneas que se conectan al tablero general N°01, el programa que tomo muestras de las líneas, nos arrojó los siguientes datos que se muestran en la figura 16. Como se puede demostrar, estos datos fueron validados con la norma **IEEE Std 519-2014**, nos muestra límites de distorsión actuales para sistemas con clasificación de 120V hasta 69kV, los cuales deben **tener una tolerancia entre los armónicos de 3^{er} al 11^{vo} orden del 7.0%** y un **TDD máximo del 8.0%**. Para llegar a estos valores, mostrado en la tabla N° 3, necesitamos la máxima corriente de corto circuito que esta dado por el punto de diseño I_{sc} , el cual es del **4,402.59A** y así como la máxima corriente de carga demanda (fundamental) I_L , el cual es **132.74 A**.

Estos valores proporcionados, nos ayudaran a ingresar a la tabla n°02, debido a que la relación entre I_{sc}/I_L nos da un resultado de **33.166**, lo que nos hace ingresar a la tabla, En la segunda fila, ya que este número se encuentra en entre 20 y 50. Esto nos determina que, los armónicos impares presentes en las líneas que pertenecen al tablero general N°01, **no deben sobrepasar una distorsión del**

7.0% de armónicos (THD) y una tasa de distorsión total (TDD), no debe ser mayor al 8.0%.

Tabla 3.

Límites de distorsión actuales para sistema con clasificación de 120V a 69kV

Máxima distorsión de corriente armónica						
en porciento de IL						
Orden armónico individual (armónicos impares) a, b						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h$ < 11	$11 \leq h$ ≤ 17	$17 \leq h$ ≤ 23	$23 \leq h$ ≤ 35	$35 \leq h$ ≤ 50	<i>TDD</i>
< 20_c	4	2.	1.	0.	0.	5
	.0	0	5	6	3	.0
20 < 50	7	3.	2.	1.	0.	8
	.0	5	5	0	5	.0
50 < 100	1	4.	4.	1.	0.	1
	0.0	5	0	5	7	2.0
100	1	5.	5.	2.	1.	1
< 1000	2.0	5	0	0	0	5.0
> 1000	1	7.	6.	2.	1.	2
	5.0	0	0	5	4	0.0

Fuente: IEEE-Std 519-2014

(d) *Incluso los armónicos están limitados al 25% de los límites de armónicos impares anteriores.*

(e) *Las distorsiones actuales que da como resultado una compensación de cd, por ejemplo, convertidores de media onda, no están permitidas.*

(f) *Todos los equipos de generación de energía están limitados a estos valores de distorsión de corriente, independientemente de Isc/IL real.*

Donde:

Isc= corriente de cortocircuito máximo en PCC

IL= corriente de carga de demanda máxima (componente de frecuencia fundamental) en el PCC en condiciones de funcionamiento de carga normal

Luego de saber cuáles son los parámetros estándar para los armónicos impares presentes en la corriente de suministro, procedimos a analizar, la figura 15, para determinar exactamente cuál es la distorsión de onda de corriente en cada línea correspondiente.

Al ver la figura 16, pudimos determinar que existieron armónicos de 3er, 5to y 7mo orden, por lo que queda demostrado que existió una baja calidad eléctrica en el tablero general N°01, en los que están implicados los transformadores 1 y 2, así como todo el sistema eléctrico general del hospital.

En la figura 16 se hace referencia en cómo se grafica la tabla de armónicos de la figura 15, la cual, representa la tabulación de las distorsiones causadas por los armónicos encontrados en las líneas. Esta grafica muestra como fue la variación de distorsión de cada una de las líneas. Para la línea L1, tuvo una distorsión total de demanda de 33.32%, el cual nos muestra que efectivamente no cumple con los parámetros establecidos en las normas mencionadas anteriormente, de igual manera, en la línea L2, tuvo una distorsión de 32.09%, lo que también nos determina que su distorsión está por encima de los parámetros dados y de igual manera, para la línea L3, lo mostró una distorsión de 31.00%.

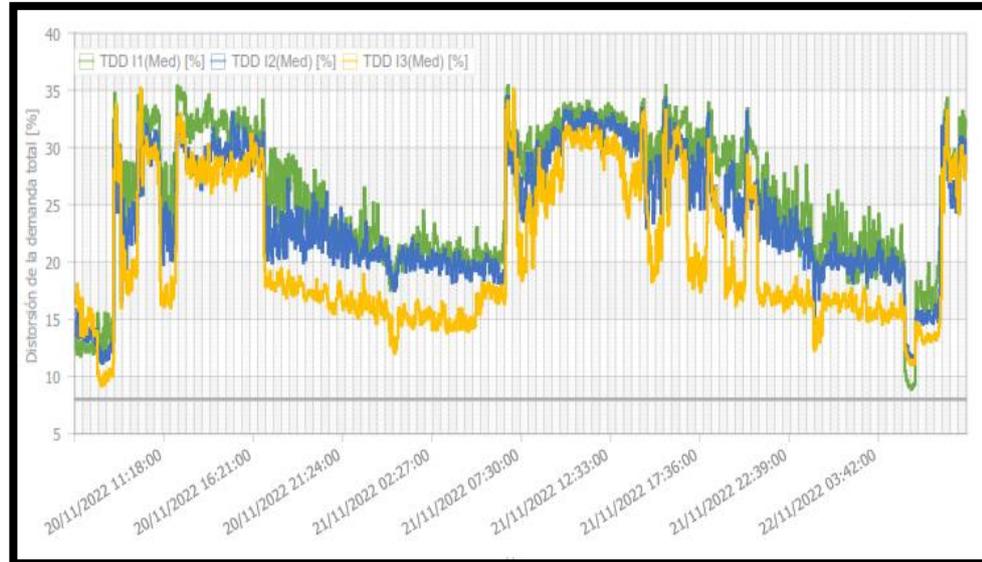
Figura 17.

Tabla de armónico de corriente detectados en el tablero general N° 01

Armónico No.	Límite (%)	Armónicos de corriente - L1		Armónicos de corriente - L2		Armónicos de corriente - L3	
		Medido (%)	Estado	Medido (%)	Estado	Medido (%)	Estado
TDD	8.00	33.32	No pasa	32.09	No pasa	31.00	No pasa
2	1.75	1.59	Pasa	1.52	Pasa	1.62	Pasa
3	7.00	27.68	No pasa	26.63	No pasa	26.21	No pasa
4	1.75	1.10	Pasa	0.98	Pasa	0.79	Pasa
5	7.00	18.39	No pasa	18.04	No pasa	16.83	No pasa
6	1.75	0.76	Pasa	0.78	Pasa	0.62	Pasa
7	7.00	13.09	No pasa	12.87	No pasa	11.89	No pasa
8	1.75	0.82	Pasa	0.75	Pasa	0.54	Pasa
9	7.00	4.70	Pasa	4.75	Pasa	4.81	Pasa
10	1.75	0.54	Pasa	0.57	Pasa	0.41	Pasa
11	3.50	2.38	Pasa	2.21	Pasa	2.35	Pasa
12	0.88	0.39	Pasa	0.40	Pasa	0.36	Pasa
13	3.50	3.05	Pasa	2.82	Pasa	2.65	Pasa
14	0.88	0.32	Pasa	0.28	Pasa	0.27	Pasa

Figura 18.

Gráfica de la distorsión de la demanda (TDD) en función al tiempo que se detectó en el tablero general N°02



El segundo caso en evaluación, es para el tablero general N°02, el cual durante el análisis que se le realizó se pudo observar que existió una distorsión de onda total al 12.27% en la línea 1, una distorsión de onda en la línea 2 de 11.72% y una distorsión de onda total de 11.87% en la línea 3. Así mismo, se pudo observar una distorsión muy agravante perteneciente al 5to armónico, el cual se evidencia en la figura 17, en donde la línea L1 presenta un armónico medido del 12.14%, en la línea L2, hubo una medida de armónicos de corriente de 11.59% y en la línea L3, hubo una medida de armónicos de corriente medida de 11.87%.

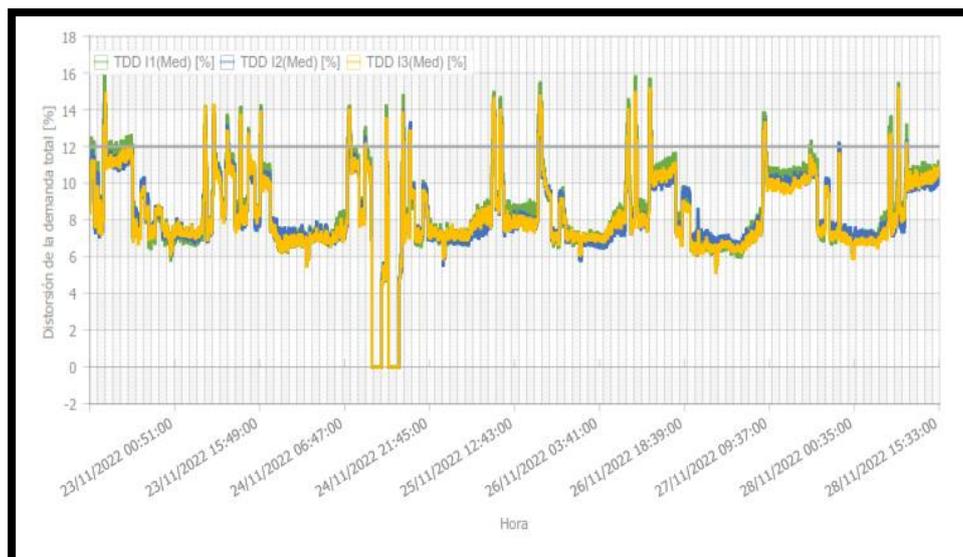
Figura 19.

Tabla de armónicos de corriente presentes en el tablero general N°02

Armónico No.	Límite (%)	Armónicos de corriente - L1		Armónicos de corriente - L2		Armónicos de corriente - L3	
		Medido (%)	Estado	Medido (%)	Estado	Medido (%)	Estado
TDD	8.00	12.27	No pasa	11.72	No pasa	11.87	No pasa
2	1.75	0.27	Pasa	0.19	Pasa	0.21	Pasa
3	7.00	1.58	Pasa	1.78	Pasa	2.99	Pasa
4	1.75	0.21	Pasa	0.26	Pasa	0.23	Pasa
5	7.00	12.14	No pasa	11.59	No pasa	11.42	No pasa
6	1.75	0.09	Pasa	0.08	Pasa	0.06	Pasa
7	7.00	2.25	Pasa	2.31	Pasa	2.43	Pasa
8	1.75	0.04	Pasa	0.03	Pasa	0.03	Pasa
9	7.00	0.50	Pasa	0.43	Pasa	0.57	Pasa

Figura 20.

Distorsión de la demanda total TDD en función del tiempo, tablero general N°02



Habiendo obtenido un análisis más profundo acerca de cómo fue el comportamiento de la de la corriente, en función de los armónicos que estuvieron presente durante la medición de los mismos, se pudo observar que, existe una relación directa debido a que se ve una variación en la onda de corriente presente en todas las líneas, incluidas en el neutro.

Esta variación estuvo relacionada directamente con la presencia del 5to armónico, como se ve en la figura 19, la cual nos grafica que efectivamente existe un armónico durante las tres líneas y esto, sumado a las cargas no lineales presentes en el sistema hacen que exista un desbalance de cargas, lo que presentan cargas en el neutro. Debido a los armónicos presentes en el neutro, esto puede reflejarse en la gráfica 18, la cual nos representa como es la deformación de onda, y cuanto es la corriente que circula en las líneas durante su funcionamiento.

Figura 21.

Variación de la onda sinusoidal de corriente en el tablero general N°02 (22/11/2022 09:52:00)

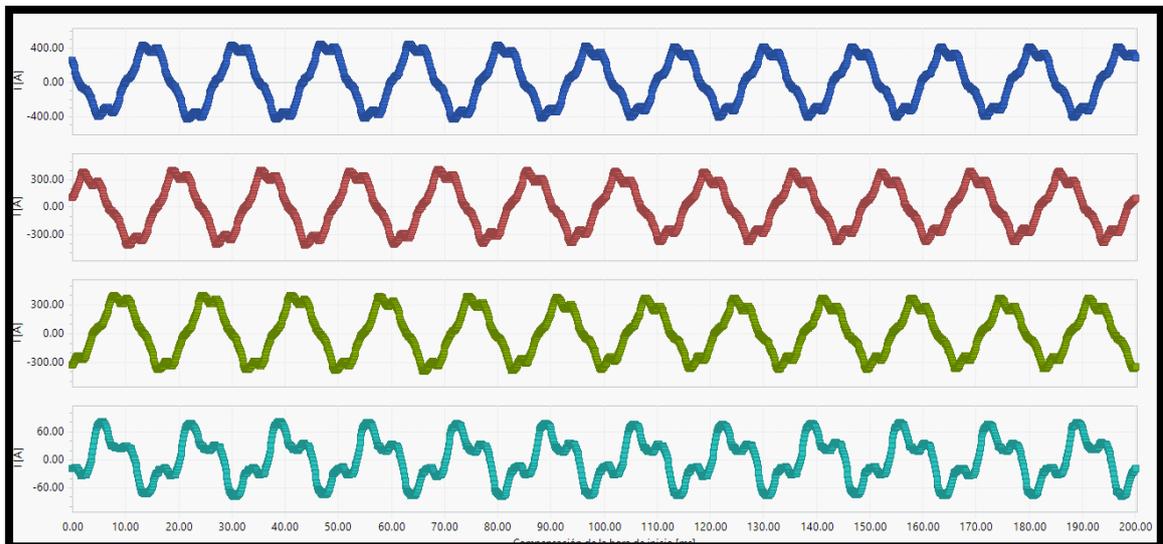
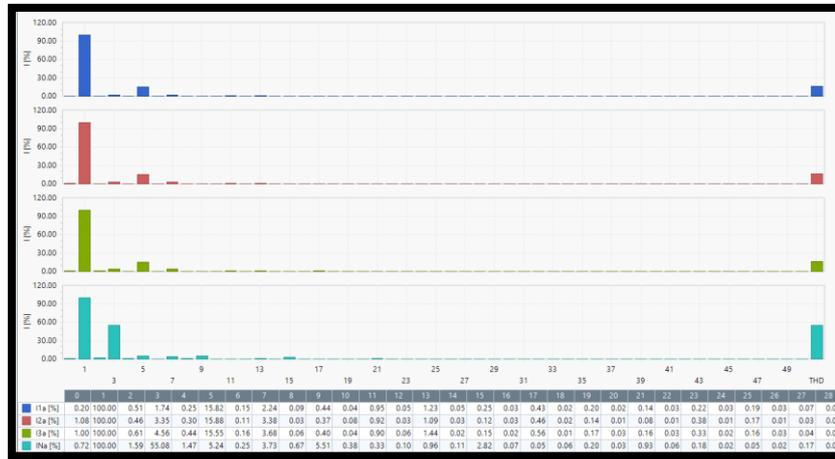


Figura 22.

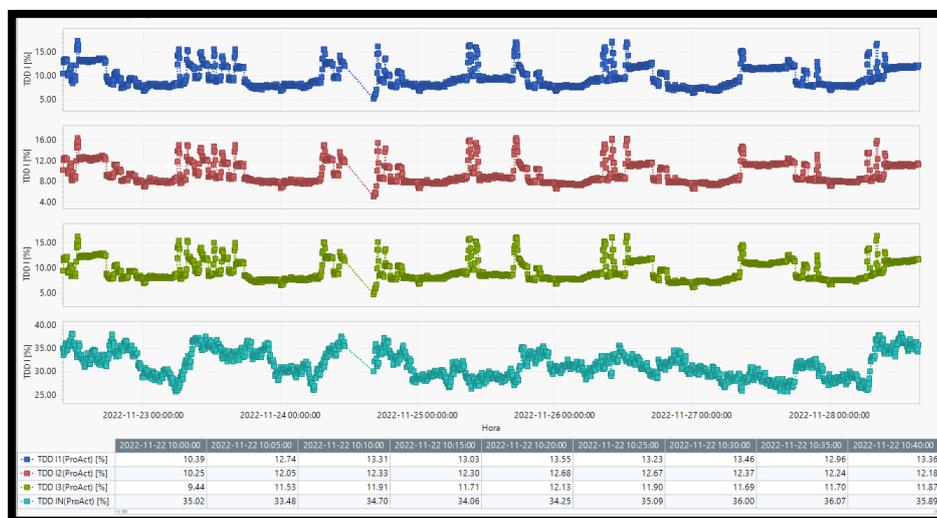
Barra de representación de armónicos presentes en el tablero general N° 02 (22/11/2022 09:52:00)



Tomando como referencia el diagrama de la figura 18, en la figura 19, podemos tener una percepción mayor acerca de cómo estuvo la distorsión total de la demanda en las líneas durante las mediciones programadas, en la cual nos damos cuenta de que existe también una distorsión presente en el neutro, dicha distorsión esta medida pasando el 35%, lo que según sobrepasa los límites dispuestos por la normativa **UNE-HD 60364-5-52**, la que nos dice que como máximo, debe tener una distorsión de armónica total de entre el 15- 33%.

Figura 23.

Distorsión de la onda sinusoidal en presencia de armónicos, del tablero general N°02



V. DISCUSIÓN

(Lucero, Ñauta, & Carpio, 2017) Según estos autores, concluyen que es importante implementar un sistema de control para cualquier sistema eléctrico de potencia. Esta premisa está en concordancia con nuestros resultados; esto debido a que, en nuestra unidad de análisis, si bien es cierto que cuenta con un analizador de red para estudiar el comportamiento de las variables estudiadas, este equipo no tiene una certificación el cual nos garantice la veracidad de lo analizado. Lo que, en consecuencia, no nos permite identificar con certeza fenómenos transitorios como por ejemplo la puesta en servicio del tomógrafo o la energización de la carga conectado a este, produciendo que no se pueda estabilizar la corriente y el voltaje que se necesita para que se pueda operar a condiciones normales. Estas fallas sumadas a que las cargas presentes en el sistema son de tipo no lineal, agregaron a nuestro sistema elementos nocivos para los componentes electrónicos que, como se observó, son los primeros en recibir la mayor parte de daño por parte de estas variables no contempladas en el sistema. Dichas variables como se pudieron observar, pertenecen al tipo no lineal, armónicos pertenecientes al tercer, quinto orden y séptimo orden, los que estuvieron presentes en los análisis que se hicieron en los tableros generales N°01 y N°02. Ya que cuando se verificó el sistema de mejora la calidad eléctrica (banco de condensadores) se encontró que dos switches habían sufrido las consecuencias de la presencia de picos de corrientes. Durante nuestro proceso de investigación tuvimos la fortaleza de contar con los instrumentos de medición como fue el analizador de calidad, multímetros y pinzas amperimétricas. Lo que apoyó con el descubrimiento de los armónicos presentes en las líneas de los tableros que formaron parte de nuestra unidad de análisis. Una de las falencias que se pudo observar durante el análisis fue los cortes intempestivos que hubo por parte de la empresa concesionaria, esto hizo que el analizador de calidad tuviese “vacíos” durante todo el proceso de medición.

(Ordaz Padilla, Peña Gallardo, & Morales Saldaña, 2019) nos vuelven a recalcar la importancia de un análisis en los límites para la estabilidad de los estabilizadores de sistema de potencia, debido a que se puede encontrar perturbaciones y se puede determinar la ganancia en los amortiguamientos de las señales. Esto es la demostración de que, para poder obtener una mejora a nivel de desempeño de estos equipos, se necesita tener un análisis más conciso de la

señal que se parametrizan durante su operación. Después de analizar el trabajo presentado por los autores mencionados anteriormente, se puede coincidir con la premisa de que es de suma importancia un análisis a detalle de las perturbaciones que se encuentran en el sistema. Una de la fortaleza que se tuvo acerca de esta investigación fueron los instrumentos, los cuales son permitieron medir las señales como por ejemplo la frecuencia angular y el voltaje y la corriente presente en el sistema, esto sumado a las fichas de observación y a los métodos preventivos que se utilizados, se pudo concluir efectivamente, que existe una mala calidad eléctrica en todo el hospital Regional de Moquegua.

Una de las falencias que compartimos con esta referencia mencionada, es que, en efecto, se logra determinar que un mal control de estos picos de corriente producidos por armónicos presentes en el sistema, influyen directamente en los circuitos electrónicos debido a que estos son muy sensibles a la variación de voltaje y a la presencia de corrientes elevadas que llegaron a cortocircuitar las placas de las tarjetas de control de las líneas presentes en el estabilizador.

(Prado Zuta, Ravines Ayambo, Picón Arana, & Millan Montalvo, 2021) estos autores nos dan una mayor ilustración acerca de nuevas metodologías para el diseño y construcción de puestas a tierra para poder mitigar las corrientes circulantes en el sistema, el cual estamos analizando. Uno de los principales temas que trata esta referencia, es acerca de los sistemas de conexión a tierra IT (aislados de tierra, por sus siglas en ingles), dicho sistema tiene la característica principal de tener los componentes aislado de la tierra o estar conectados a través de una gran impedancia. Esto lo que permite es que se erradique la corriente de falla y en su lugar se genere una corriente falla lo suficientemente irrelevante como para que se pueda suprimir mediante el aislamiento propio de los elementos del sistema. Estas conclusiones fueron demostradas matemáticamente para poder tener una idea de cómo se pueden dimensionar estos sistemas de protección para que se puedan utilizar a fin de mejorar la calidad de las protecciones eléctricas en los sistemas de distribución como lo son los estabilizadores de voltaje.

Una de las condiciones iniciales que debe primar en la construcción de estos sistemas de conexión a tierra, es que se debe tener una impedancia elevada, cercana a los 1500 Ω . Esto debido a que en la NTP 370.303 (2003) especifica que

las masas del sistema de puesta a tierra deben exponerse a tierra ya sea individualmente o en grupos, esto también debe tener la condición de que para conectarse una fase viva a tierra debe ser mediante una impedancia muy elevada y debe suprimirse un neutro.

Una de las fortalezas que se pudo encontrar en la investigación es que se tuvo un análisis de los sistemas de protección a tierra, lo que nos mostró parámetros normales de resistividad y su operatividad. Esto, junto al mantenimiento preventivo que se realizó, se mejoró la efectividad para mitigar los impactos generados por las fallas que no fueron suprimidas por este sistema de protección.

Pero, por otro lado, coincidimos con los autores de esta cita en que un buen sistema de protección de fallas a tierra podría contribuir a que el desempeño que logremos en cada máquina ligada a este sistema, pueda ser capaz alargar la vida útil de estos elementos presentes en la distribución eléctrica del hospital. Debido al tiempo de desarrollo, no se hizo aun una evaluación exhaustiva de como detectar y suprimir estas fallas.

(Salazar Oballe, 2020) este autor nos comenta la importancia de un buen dimensionamiento de la ampliación de la demanda de energía eléctrica en un hospital. Esto es de suma importancia para poder dimensionar y parametrizar los valores necesarios que debe de cumplir los sistemas de conexión a tierra, para poder eliminar las corrientes que circulen a través de la red de este nuevo sistema.

Otro punto importante que nos comenta el autor es que se debe realizar una buena inspección en todo el sistema eléctrico a fin de no encontrar desperfectos en las líneas de transmisión. Una de las fortalezas en la que coincidimos que el autor mencionado, es la de inspeccionar minuciosamente todos los elementos existentes en el sistema; esto debido a que es de suma importancia tener en cuenta la carga existente para no afectar a los equipos presentes antes de una reestructuración del sistema. Pero una de las debilidades presentadas es la que el autor no tiene en cuenta que existen mejores métodos de construcción de pozos a tierra; en nuestro caso si se utilizó el método del neutro aislado; en cambio en la referencia utilizada solo utilizaron un método de construcción convencional, el cual no demuestra si efectivamente elimina fallas a tierra

presentes en su diseño. En nuestro caso se trató de investigar un poco más acerca de nuevos métodos de supresión de fallas a tierra y esto mediante construcciones de pozos a tierra que incluyan el desarrollo de filtros y también se puedan utilizar impedancias para disminuir la corriente de falla en todo el sistema. En el trabajo que mencionamos para realizar las discusiones no especifica cuanto es el resultado de sus mediciones de los pozos a tierra, lo que dificulta un poco el poder compararlo con las construcciones que se tienen actualmente en el sistema de protección del hospital donde se realizan nuestras investigaciones.

VI. CONCLUSIONES

1. Se realizó un relevamiento de la infraestructura eléctrica del hospital Regional de Moquegua, realizando observaciones visuales en toda el área de generación eléctrica encontrando indicios de que existió mala calidad eléctrica en todo el sistema.

2. Se propuso como recomendación específica para mitigar los problemas causados por los armónicos de corriente, un filtro activo de 300A, de 4 módulos, el cual mitigará los armónicos múltiplos de 3, así como los de 5to, 7mo y 11vo orden encontrados en el sistema.

3. Se evaluó los costos asociados a la implementación de soluciones, el cual fue la adquisición e instalación del filtro activo mencionado en el resultado anterior, el cual obtuvo un VAR, mayor a cero, lo que hace posible que esta inversión sea viable y como TIR, se obtuvo un 16.669%, el cual es un buen indicador para la tasa de retorno de inversión del implemento a instalar.

4. Se analizó la calidad de energía eléctrica para evaluar la presencia de corrientes armónicas en el hospital Regional de Moquegua durante el año 2022, luego de la recopilación de datos, se obtuvo una información cuantitativa acerca de su comportamiento, esta investigación se demostró que no existe distorsión de onda en la componente de tensión; sin embargo, se demostró que si existe distorsión de onda en la componente eléctrica en las líneas de distribución, así como también distorsión de corriente eléctrica en la línea del neutro, lo que conllevó a encontrar desbalance de cargas en el sistema.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda se pueda implementar un sistema de filtros activos para poder mitigar el problema de armónicos, estos armónicos que fueron la principal causa de la mala calidad de suministro eléctrico presente en el Hospital Regional. Para esto, es necesario tener un analizador de calidad presente en el área para detectar la presencia de armónicos presentes en todas las líneas de alimentación del sistema de la subestación eléctrica del hospital.
- Se recomienda realizar un análisis de calidad más exhaustivo, debido a que se observa que el cuarto de bombeo de agua presente en el Hospital Regional de Moquegua, cuenta con once variadores de velocidad, estos debido a su configuración son parte importante de inyección de armónicos para el sistema. Otro punto en donde se pudiese observar la presencia de armónicos sería el sistema de aire acondicionado, debido a la presencia de variadores de velocidad para las bombas de agua, ya que el intercambio de calor que se presenta en el sistema de aire acondicionado es debido a que este se produce por agua.
- Se recomienda realizar también un estudio termográfico en los conductores neutros, ya que según el análisis presentado en esta investigación nos arroja que el neutro está en los límites de distorsión de corriente debido a la presencia de armónicos y según la normativa UNE- HD 60364-5-52 nos recomienda que a partir de una distorsión mayor a 33% se deba sobredimensionar el neutro, es por eso que para realizar esta recomendación se necesita un estudio para saber si efectivamente este conductor está sufriendo daño a nivel de aislamiento.
- Para tratar de prevenir la sobreexposición del sistema de protección a una sobretensión transitoria, esto debido a la energización de equipo que salió de servicio, lo más recomendable es la instalación de un TVSS (Supresor de sobrevoltaje de voltaje transitorio), esto a fin de que cualquier tipo de voltaje ocasionado por la suba intempestiva a razón de una energización sea mitigado sin que se pueda llegar al sistema tanto eléctrico como electrónico.
- Se recomienda la instalación de analizadores de red en los tableros de distribución en donde se encuentran las cargas más críticas, esto a fin de tener un control intensivo de cuanto es la distorsión que producen dichos equipos a fin de confirmar si se necesita un filtro de armónico especial para cada carga.

REFERENCIAS

- AENOR. (2014). Instalaciones eléctricas de baja tensión Parte 5: Selección e instalación de equipos eléctricos Canalizaciones. *AENOR*, 1-106.
- Ahmed, F., & Chowdhury, M. (2018). An asynchronous reconfigurable switched capacitor voltage regulator . *IEEE*, 1110-1113.
- Berasategui, I., Bonino, C., & González, J. (2019). Análisis de perturbaciones en redes eléctricas, causas y consecuencias en sistemas de control industrial. *Universidad Tecnológica Nacional*, 161-172.
- Bishuang, F., Ganzhou, Y., Kun, Y., Xiangjun, Z., Wen, W., Chao, Z., & Guerrero, J. (2020). "Principio del dispositivo de supresión de arco de falla a tierra flexible basado en una regulacion de voltaje de secuencia cero". *IEEE*, 2382-2389.
- Bunthern, K., Sokchea, A., Phok, C., BOISAUBERT, E., & BOULAUD, E. (2020). Study of the Control of an AC Voltage Stabilizer Using LQR and Anti-Windup. *IEEE*, 623-627.
- Chupakhina, A., Martinovich, M., Zinoviev, G., & Skolota, V. (2017). Modern Mathematical methods and Computerized tools of artificial Intelligence for solving Problems of identifying the Energy Quality of Electrical Systems. *IEEE*, 485-490.
- Ebadifard, M., Zaker, H., & Kazemi Kargar, H. (2019). Design and Implementation of an Over-Current Relay for the Power Electronic-based Converters Protection. *IEEE*, 49-54.
- Electricidad, D. G. (2005). *Norma técnica para la coordinación de la operación en tiempo real de los sistemas interconectados*. Lima: Dirección General de Electricidad .
- El-sherif, N., & Kennedy, S. (2020). A Design Guide to Neutral Grounding of Industrial Power Systems Part 2; Supplementary Topics. *IEE Industry Applications Magazine*, 52-63.

- Florian , J., & bernal, S. (2018). *Elaboración de Procedimientos y Protocolos para Pruebas PRE-FAT y FAT de Tableros d control, Protección, Medición y Registro para la Subestación Puerto Napo*. Bogotá D.C: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- García , Á. (8 de Junio de 2015). *Instituto Politécnico Nacional* . Obtenido de Instituto Politécnico Nacional : <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/>
- García Romero, D. J., & Moreno Ortiz, D. G. (15 de Abril de 2017). *repository.udistrital*. Obtenido de repository.udistrital: <http://repository.udistrital.edu.co/>
- Godoy Vaca, L. F. (23 de Noviembre de 2016). *BIBDIGITAL*. Obtenido de BIBDIGITAL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16901>
- Heli, X., Lan, G., & Liang , S. (2019). Study on voltage compensation method od voltage stabilizer of voltage dependent load on ship. *IEEE*, 1113-1120.
- Henrique Rodrigues, A., Machado dos Santos, E., Chuma Batistella, J., Rodrigues Fagundes, A., Fiuza Marques, P., Camargo Franco, M., & Hasselein, H. (2019). Analysis Of Digital Filters Response by Fasorial Estimation For Protection of Electrical Power Systems. *IEEE*, 1-6.
- IEE Std 519-2014. (2014). IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. *IEEE*, 1-29.
- IEEE. (2015). IEEE Standard for General Requirements for Dry-Type Distribution and Power Transformers. *IEEE*, 1-52.
- IEEE Std 1159-1995. (1995). IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. *IEEE*, 1-80.
- Komatsu, M. (2017). Basic evaluation for the dc circuit breaker using power semiconductor with fault current limiting feature. *IEEE*, 113-120.
- Kwon Hwang, J., Ki Song, C., & Gyu Jeong, M. (2018). DFT-Based Phasor Estimation for Removal of the Effect of Multiple DC Components. *IEEE*, 2901-2909.

- Li, J., Xu, L., Chen, X., Zhao, A., Liu, J., Xuefeng, Z., . . . Zhang, G. (2018). Analysis of Statistical and Frequency Characteristics of Transient Overvoltage of Hybrid Cable -OHL Lines. *IEEE*, 2650-2654.
- Lucero, J., Ñauta, J., & Carpio, M. (2017). Diseño e implementación de un sistema de control de voltaje y frecuencia de un sistema eléctrico de potencia a escala para la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca. *IEEE*, 60-66.
- Luna, A., Diaz, N., & Narvaez, A. (2020). Coordinación Óptima de generadores Activos en una Microred Interconectadas. *IEEE*, 47-54.
- Mehdi, A., Omid, H., & Sami, J. (2018). Importance Investigation of Load Models Consideration in Stand-Alone Voltage Regulators Placement in Distribution Systems. *IEE*, 146-150.
- Mendoza, P. (2019). *Desarrollo del sistema de control de un tablero de transferencia automática de 2 grupos eléctricos en paralelo con la red*. Chile: Universidad de Chile.
- Mercado Polo, V., Peña, J., & Pacheco, L. (17 de Junio de 2017). *Universidad de los Andes, Venezuela*. Obtenido de Universidad de los Andes, Venezuela: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507555007009>
- Olson, D., Nyombi, P., & Mysore, P. (2018). Delayed Current Zero Crossing Phenomena during Switching of Shunt-Compensated Lines. *IEEE*, 50-58.
- Onur, O. O., Sacid, O., & Bulent, A. (2018). Design of Selective Linear Phase Cross-Coupled Dielectric Resonator Filters. *IEEE*, 218-220.
- Ordaz Padilla, L. A., Peña Gallardo, R., & Morales Saldaña, J. (2019). A Robustness Study of Power System Stabilizers using Dynamic Modeling. *IEEE*, 513-519.
- Petrov, M., Astashev, M., & Panfilov, D. (2019). Analisis de reguladores de tensión con voltaje de refuerzo. *IEEE*, 1-6.
- Prado Zuta, P. S., Ravines Ayambo, J. A., Picón Arana, F. J., & Millan Montalvo, F. A. (2021). Análisis Físico-matemático del Retorno de Corrientes de Falla a Tierra hacia el Transformador de Distribución en sistema IT. *BIOTECH AND ENGINEERING*, 52-61.

- Radin, R., Mohamad, S., & Cherem, M. (2021). An Accurate Zero-Current-Switching Circuit for Ultra-Low-Voltage Boost Converters. *IEEE*, 1773-1777.
- Reyes, J. (19 de Abril de 2020). *Universidad de La Salle*. Obtenido de Universidad de La Salle: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica
- Ribeiro, N. S., Cunha, G. A., Honorato, T. R., & Lopes, F. V. (2021). "Sincronización de registros de líneas de transmisión basado en el análisis de ondas viajeras". *IEE*, 1892-1902.
- Rodrigues, N., & Janeiro, F. (2018). Digital Filter Performance for Zero Crossing Detection in Power Quality Embedded Measurement Systems. *IEEE*, 50-62.
- Salazar Oballe, J. (28 de setiembre de 2020). <https://repositorio.utp.edu.pe/>. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.pe/>: <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/3426>
- Sami, j. R., Mehdi, A., & Omid, H. (2018). Importancia de una Investigación de modelos de carga una unica ubicación de un regulador de voltaje en un sistema de distribución. *IEEE*, 146-150.
- Sobchuk, D., Kravchuck, S., Komar, V., & Lezhnyuk, P. (2017). mathematical Modeling of Operation Quality of Electric Grid With Renewable Sources of Electric Energy. *IEEE*, 324-327.
- Subedi, D., & Lehtonen, M. (2019). Lightning Overvoltages in Electrical Power System of a Power Plant. *IEEE*, 1-4.
- Tangdililing, F., & Leda, J. (2017). Analysis of Power Angle Difference for Defining and Reducing Oscillation on Interconnected System. *IEEE*, 236-241.
- Tanmay, P., & Supriya, G. (2016). Detección de una fuerte corriente por retraso cero de una linea distorsionada mediante un ajuste de línea. *IEEE*, 92-96.
- Vaytelenok, L. (2019). Operation of Relay Protection Digital Elements at Saturation of Current Transformes: Modeling and Analysis. *IEEE*, 1-6.
- Zhang, X., & Wei, j. (2020). Compensación de una linea de 10kV con un regulador de voltaje para reducir la corriente de escobillas de carbón y sus aplicaciones. *IEEE*, 1-4.

ANEXOS

ANEXO 1. Tabla de operacionalización de variables

Variables de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida	Escala de medición
Variable Independiente Armónicos de corriente	Se define como una distorsión de la onda sinusoidal de la corriente, un componente de orden mayor que uno de las series de Fourier, sobrepasan la frecuencia de 60 Hz. (IEE Std 519-2014, 2014).	Se utilizó un analizador de calidad, para determinar la variación de onda de corriente que existió durante todo el tiempo de medición, estos rangos estuvieron parametrizados mediante la norma (IEE Std 519-2014, 2014);	THD (Total Harmonic Distortion o Distorsión de la demanda total)	Distorsión armónica	<i>THD (%)</i>	Razón
Variable Dependiente Calidad de energía eléctrica	Se entiende por calidad de la energía cuando la energía eléctrica es suministrada a los equipos y dispositivos con las características y condiciones adecuadas que les permita mantener su continuidad sin que se afecte su desempeño ni provoque fallas a sus componentes (IEE Std 519-2014, 2014).	Se utilizó un analizador de calidad, para determinar la variación total de distorsión en corriente demandada (IEE Std 519-2014, 2014)	TDD (Total Demand Distortion o Distorsión de la demanda total)	Distorsión de la intensidad armónica Demanda máxima del sistema eléctrico	<i>TDD (%)</i>	Razón



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:
 "ANÁLISIS DE LA PERTURBACION EN LA CALIDAD DE SUMINISTRO DEBIDO A LA PRESENCIA DE ARMONICOS DE CORRIENTE DEL HOSPITAL REGIONAL DE MOQUEGUA-2022"
AUTOR: HERNANDEZ MENESES JUAN JOSE
ORCID:(0000-0002-1086-051X)

GUIA DE OBSERVACIÓN N°02

INSPECCIÓN VISUAL DE LAS LINEAS TRIFASICAS DE 220 VOLTIOS, PERTENECIENTES A LOS TABLEROS GENERALES DE LA SUBESTACION ELECTRICA

DATOS GENERALES :	
FECHA :	
RESPONSABLE DE OBSERVACIÓN :	
SUPERVISOR :	
EQUIPO DE MEDICIÓN :	
EQUIPO DE APOYO :	
OBJETIVO DE LA OBSERVACIÓN:	

REALIZAR UNA MEDICION VISUAL, A FIN DE NO ENCONTRAR DESPERFECTOS EN LAS LINEAS DE DISTRIBUCIÓN DE LOS TABLEROS GENERALES PRESENTES PRESENTES EN LA SUBESTACION ELECTRICA DEL HOSPITAL REGIONAL

OBSERVACIONES ESPECIFICAS				
SE LOGRA VISUALIZAR ALGUN DAÑO IMPORTANTE EN ALGUNA LÍNEA DEL E.T	SI		NO	
SE LOGRA VISUALIZAR ALGUN DESPERFECTO EN LA PROTECCIÓN DE LAS LINEAS DEL E.T	SI		NO	
SE LOGRA VISUALIZAR ALGUN DESPERFECTO EN EL E.T	SI		NO	
SE LOGRA VISUALIZAR ALGUN DAÑO IMPORTANTE EN LAS TARJETAS DE CONTROL DE VOLTAJE DEL E.T.	SI		NO	

OBSERVACIONES ADICIONALES				
OBSERVACION N°01				
OBSERVACION N°02				
OBSERVACION N°03				
OBSERVACION N°04				
OBSERVACION N°05				

_____ **FIRMA DEL SUPERVISOR**

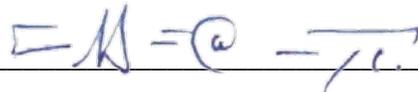
_____ **FIRMA PERSONAL DE APOYO**

ANEXO 3: Matriz de evaluacion por Juicio de Expertos

ANALISIS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE PARA MEJORAR LA CALIDAD DE ENERGIA ELECTRICA EN EL HOSPITAL REGIONAL DE MOQUEGUA, MOQUEGUA 2022

CONSTANCIA DE JUICIO DE EXPERTOS

Yo, **Mikhail Venancio Carcausto Tapia**, con DNI N° **29680787** a través de la presente constancia certifico que realicé el juicio de experto sobre los instrumentos de investigación, realizados por **Hernandez Meneses, Juan José** con DNI N°71440585, autor del proyecto de investigación “**ANALISIS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE PARA MEJORAR LA CALIDAD DE ENERGIA ELECTRICA EN EL HOSPITAL REGIONAL DE MOQUEGUA, MOQUEGUA 2022**”, Requisito fundamental para optar el título profesional en la carrera de Ingeniería Mecánica eléctrica de la universidad Cesar Vallejo – Campus Trujillo.



Ing°. Mikhail Venancio Carcausto Tapia
Reg. Colegio de Ingenieros C.I.P. N°: 45063
Magister en Ingeniería Eléctrica
Doctor en Ingeniería Energética

INDICACIONES AL EXPERTO

En la tabla siguiente, se propone una escala del 1 al 5, que va en orden ascendente del desconocimiento al conocimiento profundo. Marque con una “X” conforme considere su conocimiento sobre el tema de la tesis evaluada.

1 Ninguno	2 Poco	3 Regular	4 X Alto	5 Muy Alto
--------------	-----------	--------------	----------------	---------------

1. Sírvase marcar con una “X” las fuentes que considere han influenciado en su conocimiento sobre el tema, en un grado alto, medio o bajo.

FUENTES DE ARGUMENTACIÓN	GRADO DE INFLUENCIA DE CADA UNA DE LAS FUENTES EN SUS CRITERIO		
	A (ALTO)	M (MEDIO)	B (BAJO)
a) Análisis teóricos realizados (AT)	X		
b) Experiencia como profesional (EP)		X	
c) Trabajos estudiados de autores nacionales (AN)		X	
d) Trabajos estudiados de autores extranjeros (AE)	X		
e) Conocimientos personales sobre el estado del problema de investigación (CP)		X	

Estimado (s) expertos (s):

El instrumento de recolección de datos a validar es un Cuestionario, cuyo objetivo es el “Análisis de armónicos de corriente para mejorar la calidad de energía eléctrica en el hospital regional de Moquegua, Moquegua 2022”, Con el objetivo de corroborar la validación del instrumento de recolección de datos, por favor le pedimos responda a las siguientes interrogantes.

1. ¿Considera pertinente la aplicación de este cuestionario para los fines establecidos en la investigación?

Es pertinente Poco Pertinente _____ No es pertinente _____

Por favor, indique las razones

Si, debido a que se necesita definir las condiciones actuales del sistema y cuales deben ser obtener una data para evaluar correctamente el estado del sistema.

2. ¿Considera que el cuestionario formula las preguntas suficientes para los fines establecidos en la investigación?

Son suficientes Insuficientes _____

Por favor, indique las razones

Si, ya que se necesita parametrizar los valores del sistema, asi como también realizar una documentación de las observaciones que se tuvieron al analizar la subestación eléctrica

3. ¿Considera que las preguntas están adecuadamente formuladas de manera tal que el entrevistado no tenga dudas en la elección y/o redacción de sus respuestas?

Son adecuadas Poco adecuadas _____ Inadecuadas _____

Por favor, indique las razones

Si, las preguntas son claras y concisas, lo que determina una fácil toma de decisiones.

4. Califique los ítems según un criterio de precisión y relevancia para el objetivo del instrumento de recolección de datos.

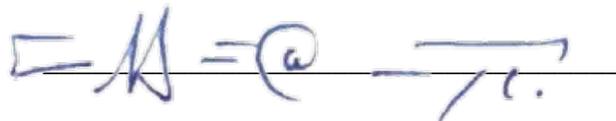
Ítem	Precisión			Relevancia			Sugerencias
	Muy Precisas	Poco Precisas	No es Precisa	Muy Relevante	Poco Relevante	Irrelevante	
1	×			×			
2	×			×			
3	×			×			
4	×			×			

5. Qué sugerencias haría Ud. ¿Para mejorar el instrumento de recolección de datos?

Se podría ingresar una ficha de recolección de datos, para inspecciones de mantenimiento de los transformadores y del banco de condensadores si en caso se requiriera.

Le agradecemos por su colaboración

Fecha de evaluación **07/07/2023**



Ing°. Mikhail Venancio Carcausto Tapia
Reg. Colegio de Ingenieros C.I.P. N°: 45063
Magister en Ingeniería Eléctrica
Doctor en Ingeniería Energética

Firma del Experto

**ANALISIS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE PARA MEJORAR LA
CALIDAD DE ENERGIA ELECTRICA EN EL HOSPITAL REGIONAL DE
MOQUEGUA, MOQUEGUA 2022**

CONSTANCIA DE JUICIO DE EXPERTOS

Yo, **Edmundo Honorio Ocola Ticona**, con DNI N° **29606335** a través de la presente constancia certifico que realicé el juicio de experto sobre los instrumentos de investigación, realizados por **Hernandez Meneses, Juan José** con DNI N°71440585, autor del proyecto de investigación “**ANALISIS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE PARA MEJORAR LA CALIDAD DE ENERGIA ELECTRICA EN EL HOSPITAL REGIONAL DE MOQUEGUA,MOQUEGUA 2022**”, Requisito fundamental para optar el título profesional en la carrera de Ingeniería Mecánica eléctrica de la universidad Cesar Vallejo – Campus Trujillo.



Edmundo Honorio Ocola Ticona
ING. MECÁNICO ELÉCTRICO
CIP 60715

Dr. Edmundo Honorio Ocola Ticona

C.I.P. N°: 60715

INDICACIONES AL EXPERTO

En la tabla siguiente, se propone una escala del 1 al 5, que va en orden ascendente del desconocimiento al conocimiento profundo. Marque con una “X” conforme considere su conocimiento sobre el tema de la tesis evaluada.

1 Ninguno	2 Poco	3 Regular	4 X Alto	5 Muy Alto
--------------	-----------	--------------	-----------------------	---------------

1. Sírvase marcar con una “X” las fuentes que considere han influenciado en su conocimiento sobre el tema, en un grado alto, medio o bajo.

FUENTES DE ARGUMENTACIÓN	GRADO DE INFLUENCIA DE CADA UNA DE LAS FUENTES EN SUS CRITERIO		
	A (ALTO)	M (MEDIO)	B (BAJO)
a) Análisis teóricos realizados (AT)	X		
b) Experiencia como profesional (EP)	X		
c) Trabajos estudiados de autores nacionales (AN)		X	
d) Trabajos estudiados de autores extranjeros (AE)	X		
e) Conocimientos personales sobre el estado del problema de investigación (CP)		X	

Estimado (s) expertos (s):

El instrumento de recolección de datos a validar es un Cuestionario, cuyo objetivo es el “Análisis de armónicos de corriente para mejorar la calidad de energía eléctrica en el hospital regional de Moquegua, Moquegua 2022”, Con el objetivo de corroborar la validación del instrumento de recolección de datos, por favor le pedimos responda a las siguientes interrogantes.

1. ¿Considera pertinente la aplicación de este cuestionario para los fines establecidos en la investigación?

Es pertinente Poco Pertinente _____ No es pertinente _____

Por favor, indique las razones

Si, porque se necesario determinar las causas que ocasionan los cortos circuitos presentados en el sistema.

2. ¿Considera que el cuestionario formula las preguntas suficientes para los fines establecidos en la investigación?

Son suficientes Insuficientes _____

Por favor, indique las razones

Si, porque se necesita tener una fuente de registro de las variables ha investigar.

3. ¿Considera que las preguntas están adecuadamente formuladas de manera tal que el entrevistado no tenga dudas en la elección y/o redacción de sus respuestas?

Son adecuadas Poco adecuadas _____ Inadecuadas _____

Por favor, indique las razones

Si, porque las preguntas fueron claras y concisas para la investigación.

4. Califique los ítems según un criterio de precisión y relevancia para el objetivo del instrumento de recolección de datos.

Ítem	Precisión			Relevancia			Sugerencias
	Muy Precisas	Poco Precisas	No es Precisa	Muy Relevante	Poco Relevante	Irrelevante	
1	×			×			
2	×			×			
3	×			×			
4	×			×			

5. Qué sugerencias haría Ud. ¿Para mejorar el instrumento de recolección de datos?

Se sugiere que se realice una proyección a futuro de las cargas especiales que se puedan inyectar al sistema.

Le agradecemos por su colaboración

Fecha de evaluación **07/07/2023**


 Edmundo Honorio Ochoa Ticona
 ING. MECÁNICO ELÉCTRICO
 CIP 60715
 Firma del Experto

**ANALISIS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE PARA MEJORAR LA
CALIDAD DE ENERGIA ELECTRICA EN EL HOSPITAL REGIONAL DE
MOQUEGUA, MOQUEGUA 2022**

CONSTANCIA DE JUICIO DE EXPERTOS

Yo, **Lucy Giannina Ticona Huilca**, con DNI N° **40472693** a través de la presente constancia certifico que realicé el juicio de experto sobre los instrumentos de investigación, realizados por **Hernandez Meneses, Juan José** con DNI N°71440585, autor del proyecto de investigación “**ANALISIS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE PARA MEJORAR LA CALIDAD DE ENERGIA ELECTRICA EN EL HOSPITAL REGIONAL DE MOQUEGUA,MOQUEGUA 2022**”, Requisito fundamental para optar el título profesional en la carrera de Ingeniería Mecánica eléctrica de la universidad Cesar Vallejo – Campus Trujillo.



Mgr. Lucy Giannina Ticona Huilca

C.I.P. N°: 88763

INDICACIONES AL EXPERTO

En la tabla siguiente, se propone una escala del 1 al 5, que va en orden ascendente del desconocimiento al conocimiento profundo. Marque con una “X” conforme considere su conocimiento sobre el tema de la tesis evaluada.

1 Ninguno	2 Poco	3 Regular	4 X Alto	5 Muy Alto
--------------	-----------	--------------	----------------	---------------

1. Sírvase marcar con una “X” las fuentes que considere han influenciado en su conocimiento sobre el tema, en un grado alto, medio o bajo.

FUENTES DE ARGUMENTACIÓN	GRADO DE INFLUENCIA DE CADA UNA DE LAS FUENTES EN SUS CRITERIO		
	A (ALTO)	M (MEDIO)	B (BAJO)
a) Análisis teóricos realizados (AT)	X		
b) Experiencia como profesional (EP)	X		
c) Trabajos estudiados de autores nacionales (AN)		X	
d) Trabajos estudiados de autores extranjeros (AE)	X		
e) Conocimientos personales sobre el estado del problema de investigación (CP)		X	

Estimado (s) expertos (s):

El instrumento de recolección de datos a validar es un Cuestionario, cuyo objetivo es el “Análisis de armónicos de corriente para mejorar la calidad de energía eléctrica en el hospital regional de Moquegua, Moquegua 2022”, Con el objetivo de corroborar la validación del instrumento de recolección de datos, por favor le pedimos responda a las siguientes interrogantes.

1. ¿Considera pertinente la aplicación de este cuestionario para los fines establecidos en la investigación?

Es pertinente Poco Pertinente _____ No es pertinente _____

Por favor, indique las razones

Si, porque se necesario determinar las causas que ocasionan los cortos circuitos presentados en el sistema.

2. ¿Considera que el cuestionario formula las preguntas suficientes para los fines establecidos en la investigación?

Son suficientes Insuficientes _____

Por favor, indique las razones

Si, porque se necesita tener una fuente de registro de las variables ha investigar.

3. ¿Considera que las preguntas están adecuadamente formuladas de manera tal que el entrevistado no tenga dudas en la elección y/o redacción de sus respuestas?

Son adecuadas Poco adecuadas _____ Inadecuadas _____

Por favor, indique las razones

Si, porque las preguntas fueron claras y concisas para la investigación.

4. Califique los ítems según un criterio de precisión y relevancia para el objetivo del instrumento de recolección de datos.

Ítem	Precisión			Relevancia			Sugerencias
	Muy Precisas	Poco Precisas	No es Precisa	Muy Relevante	Poco Relevante	Irrelevante	
1	×			×			
2	×			×			
3	×			×			
4	×			×			

5. Qué sugerencias haría Ud. ¿Para mejorar el instrumento de recolección de datos?

Se sugiere que se realice una proyección a futuro de las cargas especiales que se puedan inyectar al sistema.

Le agradecemos por su colaboración

Fecha de evaluación **10/07/2023**



Firma del Experto

ANEXO 04. Certificados de calibración de equipos

K-CC3-172-QA-CER-795_R0

Laboratorio de Metrología



Certificado de Calibración N° 0296-LE-19

PROMECA S.A.C.
Laboratorio de Calibración
Av. Guillermo Dansey 1094 Urb. Lima Industrial -Lima

AW – PROCEED / WITH COMMENTS FLUOR.

Authorized to proceed does not release Contractor/Supplier of its responsibility or liability under the Contract and its Purchase Order.
By Pedro Astorga Castro at Aug 27, 2019

PROMECA, NO ESTÁ A CREDITADA A INACAL, PERO ES REPRESENTANTE EN EL PERU DE LA MARCA FLUKE

Orden de Servicio: 001-00003365
Solicitante: G Y M S.A.
Dirección: AV. PASEO DE LA REPUBLICA NRO. 4675 LIMA - LIMA - SURQUILLO
Instrumento: MULTÍMETRO DIGITAL
Marca: FLUKE
Modelo: 179
Número de Serie: 38260187
Código: NO INDICA
Fecha de Calibración: 2019-06-12
Fecha de Emisión: 2019-06-12

Procedimiento Utilizado:

La calibración en la función de tensión eléctrica, resistencia eléctrica y corriente eléctrica se realizó siguiendo el procedimiento PC-021-Segunda Edición-Marzo 2016 "Procedimiento para calibración de Multímetros Digitales-INACAL".

Condiciones Ambientales:

Temperatura	20,98 °C	±	0,03 °C
Humedad Relativa	56,3 %rh	±	0,1 %rh

Trazabilidad:

Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a patrones internacionales, en concordancia con el sistema Internacional de Unidades de Medida (SI).

TRAZABLE	PATRÓN UTILIZADO	CERTIFICADO
Patrón de Fluke Calibration - Accredited Laboratory	Calibrador Multifunción Fluke 5522A	EVL475771

Karina López Castro
KARINA LÓPEZ CASTRO
Jefe de Laboratorio de Calibración

Observaciones:

Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.

PROMECA S.A.C. no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o imprecisas del presente documento.

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva.

Incertidumbre:

La incertidumbre de medición reportada se denomina Incertidumbre Expandida (U) y se obtiene de la multiplicación de la incertidumbre estándar combinada (u) por un factor de cobertura (k). Generalmente se expresa un factor k=2, fue determinado según "La guía para la Expresión de la Incertidumbre en la medición" (1995). Generalmente el valor de la magnitud de la medición está dentro del intervalo de los valores asignados con una probabilidad de aproximadamente 95%.

Pedro Astorga Castro
Pedro Astorga Castro
DAI JEMILL



K-CC3-172-QA-CER-391_R0

I. Datos Generales

Solicitante: GYM S.A.
Dirección: Av. Paseo de la República 4675, Surquillo, Lima, lima.
N° de Expediente: 1 0528 001 19

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

II. Datos del Objeto de Calibración

Fecha de recepción: 2019-05-28
Descripción: PINZA MULTIMÉTRICA
Marca / Fabricante: FLUKE / No indica
Modelo: 376 FC
Número de serie: 45515423SV
Identificación: No indica
Intervalo de medida:
0 a 600,0 V ; 1000 V / 500
0 a 999,9 A / 999,9 A ; 250 mA
0 a 600,0 Ω ; 6000 Ω ; 60,00 kΩ
Resolución:
0,1 V ; 1 V / 0,01 mV ; 0,1 V ; 1 V
0,1 A / 0,1 A ; 1 A
0,1 Ω ; 1 Ω ; 0,01 kΩ

AW – PROCEED / WITH COMMENTS **FLUOR.**
Authorization to proceed does not relieve Contractor/Supplier of its responsibility or liability under the Contract and/or Purchase Order.
By *Erwing Meca Aguirre* at Jul 08, 2019

Se acepta para actividades de mantenimiento e instalaciones temporales.
No para actividades de construcción y/o permanentes.
Para actividades de construcción (los Equipos IME, se debe de calibrar en Laboratorios Acreditados por INACAL y/o Laboratorios autorizados por los Representantes de la Marca)

Los resultados del certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.

El usuario está en la obligación de recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado y el tiempo de uso del instrumento.

ICYM S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducción parcial o total, excepto con autorización previa por escrito del laboratorio que lo emite.

III. Condiciones de Calibración

Fecha de calibración: 2019-05-29
Lugar de calibración: Laboratorio de Calibración - Área de Metrología
Av. Brasil 3774, Magdalena del Mar, Lima, Lima
Temperatura inicial: 22,2 °C Humedad relativa inicial: 61 %
Temperatura final: 22,2 °C Humedad relativa final: 61 %

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez

Sello



Firma/s autorizada/s

Mog Bc
SALVADOR LEONIDAS MOGROVEJO BARRERA
INGENIERO FÍSICO
Reg. CIP N° 147894
Ing. Salvador Leonidas Mogrovejo Barrera
Gerencia del Servicio de Metrología

Fecha de emisión

[Signature]
Benjamin Team

2019-05-29

 Calle Isidoro Suárez 236, San Miguel. Lima 32 Telef.: (511) 432 3111 / (511) 561 0684 e-mail: calibraciones@logytec.com.pe - www.logytec.com.pe	LABORATORIO DE CALIBRACION
CERTIFICADO DE CALIBRACION : 223135	Página 1 de 2

Lima, 18 de Julio de 2022.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

1) DATOS

Cliente : SYSCON INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C.
 Dirección : Ampliación Socabays Mza. K Lote. 14 - Socabaya - Arequipa
 Equipo : Analizador de Red Trifásico
 Marca : METREL
 Modelo : MI2892
 N° de Serie : 21370865

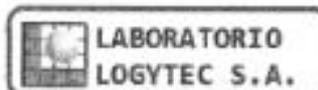
 Fecha de Calibración : 18 de Julio de 2022.
 Fecha de Emisión : 18 de Julio de 2022.

2) METODOLOGIA

Para proceder a la calibración del equipo, se siguió el procedimiento interno N° PCL-032 de Logytec SA. Se informa las diferencias obtenidas en base a patrones certificados.

Patrones Utilizados	Marca	Modelo	N° de Certificado
Fuente de Potencia ficticia	KINGSINE	KS833	LPE - 296 - 2021 (*)

(*) Con certificado de calibración N°: LPE - 296 - 2021. Trazable por INACAL el 2021/10/18.



Téc. Percy Oyolo A
 Laboratorista
 LOGYTEC S.A.

Eduardo Fernández U
 Responsable Laboratorio
 LOGYTEC S.A.

Toda reproducción de este documento deberá ser íntegra y sin ninguna alteración

3) RESULTADOS**3.1 Tensión Medida:**

Nominal(V)	Patrón(V)	Equipo(V)	Desvío Relativo	Incertidumbre %	
110,00	109,977	Canal 1	109,87	-0,10	0,07
		Canal 2	109,88	-0,09	0,07
		Canal 3	109,88	-0,09	0,07
220,00	219,998	Canal 1	219,8	-0,09	0,07
		Canal 2	219,8	-0,09	0,07
		Canal 3	219,8	-0,09	0,08
380,00	379,985	Canal 1	379,7	-0,08	0,07
		Canal 2	379,7	-0,08	0,08
		Canal 3	379,7	-0,08	0,07

3.2 Potencia Medida:

Tensión(V)	Corriente(A)	F.P	Patrón (kW)	Equipo (kW)	Desvío Relativo %	Incertidumbre %
220	25	1	16,500	16,59	0,55	0,47
220	20	1	13,200	13,28	0,68	0,50
220	20	0,5	6,600	6,647	0,71	0,59

3.3 Distorsión Armónica Total THD (%):

Se verifica que:

% de THD	Canal 1	Desvío Relativo %	Canal 2	Desvío Relativo %	Canal 3	Desvío relativo %
8,208	8,21	0,02	8,21	0,02	8,21	0,02
9,999	10,00	0,01	10,00	0,01	10,00	0,01

La incertidumbre de medición expandida, fue calculada multiplicando la incertidumbre estándar combinada por un factor de seguridad $k=2$ que corresponde a un nivel aproximado de confianza del 95% bajo distribución normal.

4) OBSERVACIONES

- Temperatura Ambiente: $(21 \pm 1) ^\circ\text{C}$
- Humedad Relativa: $(60 \pm 5) \%$
- Donde no se menciona, las pruebas fueron hechas a 220V constante a una frecuencia de 60Hz.

5) CONCLUSIONES

De las mediciones realizadas se concluye que el equipo se encuentra calibrado, los valores medidos se encuentran dentro del rango normal de operación.

**LABORATORIO
LOGYTEC S. A.**

ANEXO 05. Fotos de las unidades de análisis

- Banco de condensadores



- Prueba de aislamiento de los conductores en los transformadores eléctricos de la subestación.



- Verificación del estado de los seccionadores de la subestación eléctrica



- Análisis termográfico realizado a las bobinas del transformador de la subestación eléctrica



ANEXO 06. Pruebas a las bobinas de los transformadores



ANEXO 07. Mediciones de los parámetros de calidad para los tableros generales



ANEXO 08. Instalación de tierras temporales para la inspección de los transformadores eléctricos de la subestación.



ANEXO 09. Reemplazo de la tarjeta de control del estabilizador de tensión, debido a un corto circuito en la tarjeta de control provocado por la mala calidad eléctrica del sistema



ANEXO 10. Instalación de tierras temporales para la inspección de los transformadores eléctricos de la subestación.





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, DECIDERIO ENRIQUE DIAZ RUBIO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Análisis de Armónicos de Corriente para mejorar la Calidad de Energía Eléctrica en el Hospital Regional de Moquegua, Moquegua 2022", cuyo autor es HERNANDEZ MENESES JUAN JOSE, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 9.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 17 de Noviembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
DECIDERIO ENRIQUE DIAZ RUBIO DNI: 16728343 ORCID: 0000-0001-5900-2260	Firmado electrónicamente por: DRUBIODE el 18-11- 2022 11:35:01

Código documento Trilce: TRI - 0443802