

**Preventive maintenance of Pad Mounted distribution transformers at  
Portoviejo Regional Hospital, Manabí.**

**Mantenimiento preventivo de los transformadores de distribución Pad  
Mounted del Hospital Regional de Portoviejo, Manabí.**

**Autores:**

Gómez-Solórzano, Néstor Fabián  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ  
Estudiante de Maestría en Mantenimiento Industrial  
Portoviejo – Ecuador



[fabianes1507@gmail.com](mailto:fabianes1507@gmail.com)



<https://orcid.org/0009-0004-5532-8836>

Gorozabel-Chata, Francis Benjamín. PhD.  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ  
Docente  
Portoviejo – Ecuador



[francis.gorozabel@utm.edu.ec](mailto:francis.gorozabel@utm.edu.ec)



<https://orcid.org/0000-0003-1092-3346>

Hernández-Chilan, Julio César. PhD.  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ  
Docente  
Portoviejo – Ecuador



[julio.hernandez@utm.edu.ec](mailto:julio.hernandez@utm.edu.ec)



<https://orcid.org/0000-0002-4894-8111>

Fechas de recepción: 12-FEB-2024 aceptación: 15-MAR-2024 publicación: 15-MAR-2024



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>

## Resumen

El estudio enfatizó la importancia del mantenimiento preventivo en transformadores de distribución ubicados en una unidad de salud, resaltando la necesidad de estrategias predictivas y preventivas para asegurar su confiabilidad operativa. El objetivo general fue analizar el mantenimiento preventivo de los transformadores de distribución Pad Mounted del hospital regional de Portoviejo, Manabí. La metodología utilizada fue el Análisis de Causa Raíz (RCA) mediante la técnica de los cinco por qué con el fin de identificar las causas fundamentales de las fallas en un transformador específico de un hospital regional público. Este enfoque integral se basó en un análisis cuantitativo y descriptivo, utilizando un diseño no experimental. Los resultados revelaron problemas como la presencia de armónicos, deterioro del sello del bushing del neutro y problemas de factor de potencia y energía reactiva. Se concluye que el mantenimiento correctivo de transformadores debe basarse en un análisis de las fallas utilizando metodologías como el Análisis de Causa Raíz, como acción adecuada para identificar las verdaderas causas detrás de los problemas y desarrollar acciones correctivas efectivas que mejoren el rendimiento y prolonguen la vida útil del transformador. La detección temprana de problemas como la presencia de armónicos y el deterioro del aislamiento es fundamental para evitar daños graves en los equipos, optimizar la eficiencia energética y garantizar la continuidad del suministro eléctrico, especialmente en entornos críticos como los hospitales.

**Palabras clave:** capacidad; eléctrico; sistema; fiabilidad; operatividad

## Abstract

The study emphasized the importance of preventive maintenance in distribution transformers located in a health center, highlighting the need for predictive and preventive strategies to ensure their operational reliability. The overall objective was to analyse the preventive maintenance of Pad Mounted distribution transformers at the regional hospital in Portoviejo, Manabi. The methodology used was Root Cause Analysis (RCA) using the technique of the five why in order to identify the root causes of failures in a specific transformer of a public regional hospital. This comprehensive approach was based on quantitative and descriptive analysis, using a non-experimental design. The results revealed problems such as the presence of harmonics, deterioration of neutral bushings seal, and problems with power factor and reactive energy. It is concluded that corrective maintenance of transformers should be based on a fault analysis using methodologies such as Root Cause Analysis, as appropriate action to identify the real causes behind the problems and develop effective corrective actions that improve performance and prolong the life of the transformer. Early detection of problems such as harmonic presence and deterioration of insulation is essential to prevent serious equipment damage, optimize energy efficiency and ensure continuity of electricity supply, especially in critical environments such as hospitals.

**Key words:** capacity; electrical; system; reliability; operativity

## Introducción

La importancia de los sistemas eléctricos en la sociedad actual es innegable, ya que son los encargados de proveer la energía necesaria para el funcionamiento de diversos sectores. Uno de los sectores más críticos que depende de manera significativa de un suministro eléctrico confiable es el sector de la salud (Caro, 2022). Los hospitales, al ser infraestructuras vitales, requieren de un suministro eléctrico estable para garantizar la atención médica y el bienestar de los pacientes. En este contexto, el mantenimiento preventivo es una estrategia crucial en la gestión eficiente del mantenimiento, especialmente en entornos críticos como los hospitales. Los transformadores de distribución Pad Mounted desempeñan un papel fundamental en la infraestructura eléctrica de estas instituciones, garantizando un suministro constante y confiable de energía, al facilitar su adecuada transformación y distribución.

El mantenimiento preventivo es una estrategia proactiva que se enfoca en la realización de actividades planificadas y programadas para prevenir fallos y maximizar la vida útil de equipos, maquinarias o sistemas. Consiste en llevar a cabo inspecciones periódicas, ajustes, limpiezas y reemplazos de componentes según un cronograma establecido, con el fin de identificar y corregir posibles problemas antes de que se conviertan en fallas costosas o críticas (Castillo y Robles, 2022).

La idea central del mantenimiento preventivo es evitar que ocurran averías o reducir su frecuencia y gravedad, lo que a su vez contribuye a mejorar la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia de los activos. Este enfoque se basa en la premisa de que es más económico y conveniente prevenir problemas mediante intervenciones regulares y programadas que reparar o reemplazar equipos dañados debido a la falta de mantenimiento (Jado, 2022). Entre las ventajas del mantenimiento preventivo se encuentran la reducción de costos asociados a reparaciones imprevistas, la minimización de tiempos de inactividad no planificados, la prolongación de la vida útil de los activos, la mejora de la seguridad operativa y la optimización del rendimiento de los equipos (Quiñonez et al., 2023).

Un transformador eléctrico Tipo Pedestal o Pad Mounted es una subestación que asegura la distribución de energía en niveles de media y baja tensión. Su diseño compacto permite ocupar menos espacio en comparación con otros tipos de transformadores, manteniendo al mismo tiempo su capacidad de potencia (Castro, 2020). Los transformadores Pad Mounted están diseñados específicamente para operar en entornos al aire libre y son ideales para su implementación en hospitales, escuelas y áreas públicas debido a su diseño altamente protegido. Estos dispositivos se encuentran alojados dentro de un gabinete con terminales de media tensión de frente muerto, y sus conexiones eléctricas están protegidas de acceso público mediante puertas equipadas con cerraduras (Castro et al., 2022).

Particularmente en el contexto hospitalario, los transformadores de potencia trifásicos tipo Pad Mounted juegan un papel esencial en el suministro eléctrico (Solorzano, 2021). Estos equipos son responsables de transformar el voltaje proveniente de una subestación para luego distribuirlo en la red eléctrica del edificio, proporcionando energía para el funcionamiento de equipos electrónicos, iluminación y confort para los ocupantes (Bustamante, 2022).

El Análisis de Causa Raíz (RCA) es un procedimiento esencial para descubrir las causas fundamentales de los problemas y, por consiguiente, encontrar soluciones adecuadas. Esta herramienta se utiliza para identificar las razones detrás de las fallas y así prevenir sus efectos adversos (Bernal y Londoño, 2018). Se basa en la premisa de que es más efectivo abordar sistemáticamente las causas subyacentes de los problemas en lugar de solo tratar los síntomas de manera improvisada y reaccionar ante situaciones urgentes. El proceso de RCA se lleva a cabo mediante diversos principios, técnicas y metodologías diseñadas para identificar las causas profundas de un evento o patrón. Al profundizar más allá de la superficie de la causa y el efecto, el RCA permite comprender dónde exactamente los procesos o sistemas fallaron o dieron origen a un problema específico.

El RCA es una herramienta crucial en el mantenimiento preventivo de un transformador Pad Mounted, ya que permite identificar las causas fundamentales de posibles fallas o problemas que puedan surgir en este tipo de equipo. A través de este, se llevan a cabo diversas acciones para mejorar la gestión del mantenimiento y prevenir futuras fallas. En primer lugar, el RCA ayuda a identificar problemas recurrentes en el transformador, como sobrecalentamiento, fugas de aceite o problemas de aislamiento. Al comprender las causas fundamentales de estos problemas recurrentes, se pueden implementar medidas preventivas para evitar su ocurrencia en el futuro.

Además, el RCA se utiliza para analizar eventos pasados de fallas en el transformador, lo que permite comprender las causas subyacentes que llevaron a esas situaciones. Esto facilita la implementación de medidas correctivas o preventivas según sea necesario para evitar la repetición de esos eventos (Niño y Rubio, 2022). Asimismo, el análisis de la causa raíz se emplea para evaluar la eficacia de las prácticas de mantenimiento preventivo existentes. Se investiga si las inspecciones programadas, pruebas de diagnóstico y otras actividades de mantenimiento se realizan de manera adecuada y si son suficientes para prevenir fallas. Finalmente, el RCA contribuye a establecer un ciclo de mejora continua en el mantenimiento preventivo del transformador Pad Mounted. Al identificar las causas raíz de los problemas y aplicar medidas correctivas, se optimiza el programa de mantenimiento y se reduce la probabilidad de fallas futuras, garantizando así un funcionamiento eficiente y confiable del equipo.

En cuanto a la problemática, los transformadores eléctricos son elementos cruciales en la infraestructura moderna, regulando el voltaje para asegurar un suministro eléctrico de calidad. En particular, los transformadores Pad Mounted son ampliamente utilizados en entornos residenciales y públicos debido a su eficiencia y seguridad. Es esencial realizar un mantenimiento preventivo de estos equipos por personal capacitado, dado su valor económico y su importancia para la continuidad del suministro eléctrico (Huerta, 2023). La revisión y el análisis para su manejo es fundamental para garantizar un funcionamiento óptimo y seguro. Las fallas graves en estos dispositivos pueden tener impactos económicos negativos, por lo que se requiere una gestión eficiente de activos, para mitigar riesgos y garantizar la continuidad de los servicios eléctricos. El mantenimiento oportuno contribuye a una gestión sostenible y eficaz de la infraestructura eléctrica, asegurando la fiabilidad del suministro y minimizando los costos asociados a averías y funcionamiento.

Los transformadores son elementos vitales para hospitales públicos de alta demanda, ya que transforman el voltaje proveniente de subestaciones para garantizar un suministro eléctrico adecuado en los edificios. En una institución como el Hospital Regional de Portoviejo, la operación de sus equipos e instalaciones depende de la energía eléctrica, lograda a través de transformadores tipo Pad Mounted. Mantener estos transformadores en óptimas condiciones es crucial para su funcionamiento, la atención de pacientes y los procedimientos diarios. Por tanto, es esencial prevenir y solucionar rápidamente interrupciones en el suministro eléctrico, que pueden ser causadas por problemas en los transformadores. Para garantizar su mantenimiento, se emplean técnicas como el monitoreo en línea y el análisis de gases disueltos, así como el uso de aprendizaje automático para prever su estado y planificar el mantenimiento de forma eficaz (Álvarez et al., 2022).

La falla de un transformador puede ocurrir debido a diversos factores que afectan su funcionamiento y pueden llevarlo a un estado irreversible (Trujillo et al., 2023). Es crucial llevar a cabo inspecciones en campo, registrar datos relevantes y documentar información que permita identificar la necesidad de aumentar la frecuencia de mantenimiento en caso de detectar condiciones de falla. Estas condiciones pueden ser causadas por sobrecalentamiento debido a cargas excesivas, problemas de aislamiento dieléctrico, deterioro del aceite aislante, dificultades en las conexiones y derivaciones, y corrosión de los devanados.

La contaminación del aceite aislante y vibraciones excesivas, según Zúñiga (2022), son preocupaciones importantes, ya que pueden dañar los devanados y aislantes del transformador. Asimismo, la resonancia mecánica puede generar esfuerzos elevados en la estructura del transformador (Zhang et al., 2021). Por tanto, es esencial estar alerta ante los factores que puedan afectar la integridad del transformador y su correcto funcionamiento. Por consiguiente, el uso de la metodología de análisis causa raíz (RCA) se presenta como una herramienta efectiva para identificar y abordar las causas fundamentales de las fallas en el transformador, permitiendo identificar de manera efectiva las causas de las fallas y establecer soluciones adecuadas para garantizar la continuidad y confiabilidad de los procesos hospitalarios, contribuyendo al bienestar de la población atendida.

El presente estudio se justifica en consonancia con la importancia de los transformadores Pad Mounted, siendo equipos con gran demanda en espacios públicos debido a su adaptabilidad, lo que ha generado la necesidad de contar con información detallada para llevar a cabo su mantenimiento. Es esencial la existencia de mantenimiento preventivo que incluya medidas de seguridad adecuadas para abordar los riesgos asociados a este proceso, especialmente el riesgo eléctrico, el cual es el más relevante y debe ser atendido con sumo cuidado. La seguridad desempeña un papel crucial en este proceso, dado los riesgos significativos presentes en el campo eléctrico. Por tanto, es fundamental comprender estos riesgos para identificarlos y tomar decisiones adecuadas, siempre teniendo en mente el fin de garantizar un entorno laboral seguro y eficiente. En ese sentido, se propuso como objetivo general analizar el mantenimiento preventivo de los transformadores de distribución Pad Mounted del hospital regional de Portoviejo, Manabí.

## Material y métodos

Se empleó un enfoque cuantitativo en la investigación, centrado en aspectos contables y medibles mediante el uso de números (Jiménez, 2020). El nivel de investigación fue descriptivo, enfocado en la medición independiente de situaciones (Sánchez, 2019). Se utilizó un diseño de investigación no experimental que se basó en la observación de los hechos tal como se presentan en la realidad, sin manipulación deliberada de variables (Arias, 2021). La población de estudio fueron 4 transformadores tipo Pad Mounted del Hospital Regional de Portoviejo, y se seleccionó como muestra el transformador con desperfectos para analizar los factores que podrían afectar su disponibilidad.

El estudio utilizó un enfoque de muestreo no probabilístico por conveniencia, enfocándose en el transformador con más fallas para asegurar la representatividad de la muestra (Hernández, 2021). Se aplicaron tres principales métodos de investigación: el método documental para obtener información relevante del objeto de estudio, el método deductivo para extraer conclusiones basadas en premisas lógicas y el método estadístico para manejar datos cuantitativos y cualitativos. Las técnicas utilizadas incluyeron revisiones de documentos, observaciones directas en el sitio y análisis de datos históricos relacionados con el rendimiento de los transformadores (Suárez et al., 2022). Además, se utilizaron técnicas de procesamiento de datos para organizar la información en bases de datos, resúmenes narrativos e interpretación de resultados. Estos métodos y técnicas permitieron obtener información significativa sobre el mantenimiento de los transformadores Pad Mounted, identificar tendencias y patrones, y formular conclusiones basadas en la evidencia recopilada (Sánchez et al., 2021).

Asimismo, mediante el RCA se tomó en cuenta sus objetivos y se aplicó la técnica de las cinco preguntas. En ese sentido, el procedimiento se refirió al conjunto de pasos, esto estableció la estructura y la secuencia de actividades que se debía realizar para cumplir con los objetivos (Perico et al., 2020). Luego se aplicó el RCA mediante la observación directa para identificar y determinar las fallas considerando factores como el diseño del transformador, las condiciones de operación, el mantenimiento previo, la calidad de los materiales y cualquier evento externo que pudiera haber contribuido a la falla. Asimismo, se presentaron varias etapas para un mejor abordaje de la situación.

En la Etapa 1 del proceso de RCA, se forma un Equipo Natural de Trabajo compuesto por personas de diferentes áreas de la organización que colaboran temporalmente para abordar problemas comunes. El objetivo es lograr un objetivo compartido mediante la unión de esfuerzos. En la Etapa 2, se enfoca en la definición del problema, que es una situación o interrogante que necesita ser investigada sistemáticamente. Se destaca la importancia de definir y priorizar los problemas en el área evaluada. Antes de abordar la definición del problema, se reflexiona sobre conceptos como la comprensión del problema, las experiencias individuales y la identificación de causas en lugar de síntomas. Para definir adecuadamente un problema, se deben responder preguntas estructuradas sobre qué, cuándo, dónde y la importancia del problema en términos de impacto económico y de riesgo.

En el RCA, se utilizó una fórmula para calcular el Riesgo (R) de eventos basados en la frecuencia de fallos (FF), el tiempo promedio fuera de servicio (TPFS), los costos directos (CD)

y los costos de penalización (PEN) por hora. Este valor de Riesgo se empleó para priorizar los eventos en orden descendente y enfocar los esfuerzos en aquellos con mayor oportunidad de mejora, siguiendo el criterio de Pareto que analizó el 80% de las pérdidas. En la Etapa 3, se definieron y priorizaron los modos de fallos más impactantes. Esto implicó identificar los eventos físicos que llevaron a paradas no planificadas y calcular su criticidad mediante el indicador de Riesgo Total Anualizado (RTA), que consideró costos anuales de reparación (CAR), penalizaciones anuales por fallos (PAF) y otros factores relacionados con la frecuencia de fallos, costos de mano de obra y materiales, tiempo de reparación, impacto en la producción y penalizaciones por evento.

Posteriormente, en la Etapa 4, se definieron y validaron las hipótesis para los modos de fallos priorizados. Las hipótesis fueron posibles mecanismos que causaron los fallos y se verificaron mediante datos concretos. Aquellas hipótesis verificadas se convirtieron en causas raíz, mientras que las inconsistentes se descartaron. Se utilizó el método documental para recopilar la información necesaria y validar las hipótesis más probables. En la Etapa 5 del proceso, se definen las causas raíces para cada hipótesis validada, clasificándolas en tres categorías según Archundia et al. (2022): causas raíces físicas (CRF) relacionadas con materiales tangibles, causas raíces humanas (CRH) debido a intervenciones inapropiadas del ser humano, y causas raíces latentes (CRL) asociadas con deficiencias en sistemas de gestión y normas culturales que permiten los fallos. En la Etapa 6, se destaca la importancia de diseñar soluciones para prevenir o reducir la frecuencia e impacto de los fallos, garantizando la seguridad, cuidado del ambiente, calidad del trabajo y producción. Estas soluciones deben justificarse mediante análisis de coste-beneficio y riesgo, y cumplir con criterios como prevenir la recurrencia, minimizar y controlar efectos, y satisfacer metas organizacionales.

## Resultados

Este apartado se enfocó en la aplicación del método RCA como apoyo al mantenimiento preventivo que conllevará a prevenir fallas en los transformadores, destacando la importancia de mejorar la gestión del mantenimiento. Cabe destacar que desactivar transformadores presenta desafíos significativos, especialmente cuando las fallas son imprevistas, lo que resalta la necesidad de medir aspectos clave del mantenimiento y establecer indicadores para evaluar la calidad del trabajo. Se implementó el RCA basado en el análisis de riesgo para evaluar la confiabilidad y el impacto de las fallas en la operatividad, identificando causas raíces físicas, humanas y latentes.

El equipo de trabajo formado para aplicar la metodología RCA incluyó expertos en manejo de equipos, mantenimiento, funcionamiento y evaluación de riesgos, lo que garantizó un enfoque integral en la identificación y solución de problemas. El problema se definió mediante el siguiente procedimiento, en primer lugar, se determinó la falla en el equipo de transformación tipo Pad Mounted de 800 KVA, identificando el deterioro del empaque o sello del bushin del neutro, derrame de aceite dieléctrico mineral por bushin, sobrecalentamiento del transformador y de las líneas de salida del mismo. Estos problemas condujeron a la ineficiencia del transformador y eventualmente a su parada, afectando la alimentación de energía eléctrica a los servicios hospitalarios.



En segundo lugar, se detectaron los inconvenientes mediante una rutina de inspección de los equipos, donde se identificó un derrame de aceite significativo en el bushin del neutro, sobrecalentamiento de conductores y de la carcasa del equipo, lo cual fue informado al supervisor debido a que no correspondía a los parámetros normales de funcionamiento. En tercer lugar, se ubicó el problema en el cuarto de transformadores del hospital. Por último, la magnitud del evento, se cuantificó económicamente el impacto promedio en función del Riesgo, considerando aspectos como la seguridad, el impacto ambiental, la producción, el mantenimiento y la frecuencia de fallos. Esto permitió determinar que el costo del evento fue de US\$194,400 en las 72 horas que duró la parada del equipo, incluyendo la adquisición y reemplazo del empaque y la reposición del aceite mineral derramado.

Una vez identificado el modo de fallo relevante, se procedió a plantear hipótesis para comprender mejor las causas. La pregunta clave "¿Por qué?" condujo a la generación de hipótesis, como la mala instalación del sello o empaque y la sobrecarga del transformador. Para validar estas hipótesis, se realizaron pruebas en el sitio utilizando equipos de medición y se recopiló información documental. Se descartó la posibilidad de una mala instalación del sello o empaque debido a los procedimientos y certificaciones del fabricante, mientras que la sobrecarga del transformador se evaluó mediante un análisis exhaustivo de parámetros eléctricos y comparaciones con estándares internacionales. Los resultados mostraron que el transformador opera al 75 % de su carga permisible, destacando la importancia de no agregar carga adicional (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Resultados de la lectura de la carga del transformador*

Valores extremos superiores	
Fecha / Hora	Valor
5/5/2022 13:55:13	1587
9/5/2022 14:00:13	1582,6
9/5/2022 13:00:13	1581,7999
9/5/2022 12:50:13	1574,2
9/5/2022 13:05:13	1566,6

  

Valores extremos inferiores	
Fecha / Hora	Valor
6/5/2022 6:20:13	685,4999
6/5/2022 3:45:13	690,7
6/5/2022 4:20:13	693,9999
6/5/2022 5:00:13	705,2
10/5/2022 3:10:13	709,1

  

Resumen	
Desde	5/5/2022 10:10:13
Hasta	10/5/2022 12:05:13
Valor máximo	1587 A
En	5/5/2022 13:55:13
Valor mínimo	685,5 A
En	6/5/2022 6:20:13
$\mu$ (Med)	1020,16 A
s	183,956 A
5% percentil	785,7 A
95% percentil	1390 A
% [85% - 110%]	0%
% [90% - 110%]	0%

Se llevaron a cabo pruebas rigurosas para evaluar el estado del sistema de refrigeración del transformador. Se extrajo una muestra de aceite para medir la rigidez dieléctrica, obteniendo un valor promedio de 39.6 KV de ruptura del arco eléctrico, dentro de los límites aceptables para

el voltaje de trabajo del transformador. Sin embargo, las pruebas de aislamiento revelaron resultados preocupantes, con una resistencia de aislamiento de 2.048 GΩ considerada baja y 836 MΩ en la prueba de baja a tierra, lo que indica problemas en el bobinado secundario (Tabla 2).

Además, los registros del analizador evidenciaron caídas, subidas y variaciones rápidas de tensión durante el periodo de medición, lo que puede afectar el funcionamiento de las cargas conectadas al transformador y generar riesgos de calentamiento y armónicos. Se detectaron corrientes armónicas en el 3er y 5to armónico, con porcentajes elevados de TDD y THD según la norma IEEE 519-92, lo que puede ocasionar calentamiento en los conductores, breakers, barras y transformadores.

**Tabla 2**

*Referencia a los niveles pico de voltajes línea a neutro*

Resumen	
Desde	5/5/2022 10:10:13
Hasta	10/5/2022 12:05:13
Valor máximo	132,94 V
En	6/5/2022 7:40:13
Valor mínimo	126,46 V
En	9/5/2022 18:45:13
μ (Med)	130,101 V
s	1,04804 V
5% percentil	128,2 V
95% percentil	131,8 V
% [85% - 110%]	96,86%
% [90% - 110%]	96,86 %

Valores extremos superiores	
Fecha / Hora	Valor
6/5/2022 7:40:13	132,94
6/5/2022 7:45:13	132,87
9/5/2022 6:20:13	132,81
6/5/2022 7:35:13	132,71
6/5/2022 7:50:13	132,68

Valores extremos inferiores	
Fecha / Hora	Valor
9/5/2022 18:45:13	126,46
9/5/2022 14:25:13	126,49
9/5/2022 14:20:13	126,53
9/5/2022 14:05:13	126,58
9/5/2022 14:00:13	126,58

La inspección con cámara termográfica confirmó el sobrecalentamiento del transformador y los conductores, lo que puede provocar daños en el papel aislante y el aceite dieléctrico. Estos hallazgos subrayan la importancia de abordar y resolver las fallas en el sistema de refrigeración para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente del transformador. Tras identificar las hipótesis probables, se determinaron las causas raíces que explican las fallas del transformador. Las causas físicas incluyeron el deterioro del sello debido a armónicos, provocando pérdida de aislamiento por falta de capacitores (Tabla 3). Las causas humanas señalaron la falta de cumplimiento de criterios técnicos en el diseño de la red. Las causas latentes, como la falta de procedimientos para obtener recursos, mostraron una deficiencia crítica en el sistema, amenazando con futuras fallas.

**Tabla 3**

*Resultados de la lectura de armónicos*

Resumen	
Desde	5/5/2022 10:10:13
Hasta	10/5/2022 12:05:13
Valor máximo	31,366 %
En	7/5/2022 12:20:13
Valor mínimo	16,195 %
En	8/5/2022 3:45:13
$\mu$ (Med)	22,8998 %
$s$	2,30356 %
5% percentil	19,16 %
95% percentil	26,66 %
% [85% - 110%]	0%
% [90% - 110%]	0 %

TDD

Resumen	
Desde	5/5/2022 10:10:13
Hasta	10/5/2022 12:05:13
Valor máximo	51,71
En	6/5/2022 1:05:13
Valor mínimo	25,02
En	9/5/2022 14:00:13
$\mu$ (Med)	38,4955
$s$	5,16621
5% percentil	29,02
95% percentil	46,33
% [85% - 110%]	0%
% [90% - 110%]	0 %

THD

## Discusión

Después de completar el análisis del transformador Pad Mounted de 800 KVA y determinar las causas raíces físicas, humanas y latentes, se avanza a la fase de implementación de soluciones. En la Fase 3 del plan de acción preventivo/correctivo, se propone la instalación de un filtro de armónicos y un banco de capacitores para contrarrestar los problemas generados por los armónicos y mejorar el factor de potencia, respectivamente. Además, se sugiere realizar un mantenimiento correctivo del aislamiento del transformador, considerando los materiales utilizados, su comportamiento frente a la humedad y la degradación que pueden sufrir, especialmente en áreas donde se detecta bajo aislamiento. Este mantenimiento integral incluiría pruebas para comparar los resultados con las condiciones iniciales de fabricación.

Tras realizar la revisión del transformador Pad Mounted, se identificaron diversas fallas que han afectado su operatividad y confiabilidad. Se detectó la presencia de armónicos en el sistema eléctrico, los cuales distorsionan la forma de onda de la corriente y la tensión, generando un impacto negativo en el funcionamiento del equipo y provocando el deterioro de los componentes internos. De acuerdo con Hernández (2023), las fallas identificadas en el sistema se agravan debido a los picos de corriente generados por armónicos, lo que tiene un impacto directo en los circuitos, ya que son extremadamente sensibles a las fluctuaciones de voltaje y a la presencia de corrientes elevadas que han llegado a causar cortocircuitos en las placas de las tarjetas de control. Esto obliga a abordar la situación para garantizar la integridad y el funcionamiento óptimo de los equipos electrónicos conectados al sistema.

En segundo lugar, se observó un deterioro significativo en el empaque o sello del bushing del neutro, lo cual puede comprometer la integridad del aislamiento y la eficiencia del transformador. Esta falla específica puede derivar en fugas de aceite, contaminación del aislamiento y posibles cortocircuitos, lo que representa un riesgo para la operación segura del

equipo. Además, se evidenciaron problemas relacionados con el factor de potencia y la energía reactiva del transformador, lo cual puede resultar en un uso ineficiente de la energía eléctrica, aumentando así los costos operativos y afectando la calidad del suministro eléctrico. De acuerdo con Peñafiel et al. (2023), factores como el nivel de aceite, la magnetización residual del núcleo y la posición del tap del transformador son esenciales para someter el equipo a mediciones en línea base y diagnóstico. Además, aspectos como una buena puesta a tierra, la correcta tensión suministrada a las trenzas del equipo de medición, y el calibre y material del cable usado en los cortos deben considerarse. Por lo tanto, es crucial que el operador identifique correctamente el transformador y documente todos los datos relevantes para futuras mediciones, ya que una mala identificación o falta de documentación puede afectar la comparación de trazas.

La aplicación del método RCA en el contexto del mantenimiento preventivo de transformadores, como el caso del transformador Pad Mounted de 800 KVA en un entorno hospitalario, se alinea con las buenas prácticas recomendadas en la literatura especializada. Estudios como el de Castro (2020) respaldan la eficacia de este enfoque en la identificación de causas raíz y la prevención de fallas críticas en equipos eléctricos. Asimismo, señala que el plan de mantenimiento basado en las normas correspondientes garantiza el correcto funcionamiento y prolonga la vida útil del transformador, ya que la finalidad integral del plan es maximizar la confiabilidad operativa, minimizar tiempos de inactividad y optimizar la eficiencia energética del sistema. No obstante, enfatiza la inspección regular, el monitoreo de parámetros críticos y la implementación de acciones correctivas. Además, se ha consultado la literatura técnica y estudios de casos para incorporar prácticas recomendadas.

Según Niño (2020), el uso del método RCA ha demostrado reducir significativamente el tiempo de inactividad de los equipos al identificar y abordar las causas subyacentes de las fallas. Esto se relaciona directamente con el caso del transformador en el hospital, donde la implementación del RCA permitió detectar de manera temprana problemas como el deterioro del empaque del bushin del neutro y el sobrecalentamiento, evitando así una parada prolongada que habría afectado los servicios críticos.

En términos de evaluación de riesgos, Ramírez (2018) destaca la necesidad de cuantificar económicamente el impacto de las fallas en los equipos. El análisis financiero realizado en el hospital, que determinó el costo asociado a la parada del transformador, se alinea con estas recomendaciones y destaca la importancia de considerar no solo los aspectos técnicos, sino también los económicos, en la gestión del mantenimiento.

Por otro lado, el análisis de corrientes armónicas y la evaluación del estado del aislamiento, como se hizo mediante pruebas de resistencia y rigidez dieléctrica, por tanto, la presencia de armónicos y problemas en el aislamiento pueden ser indicadores clave de futuras fallas en transformadores y otros equipos eléctricos, reforzando la importancia de abordar estos aspectos en el mantenimiento preventivo. En ese orden de ideas, Carrión et al. (2019), manifiesta que la evaluación precisa del estado de carga real de los transformadores de distribución, es esencial para determinar cuándo es necesario reemplazarlos por otros de mayor capacidad antes de que su vida útil se vea comprometida. A partir de esta información, se pueden identificar curvas típicas de corriente fundamental de carga, así como armónicas y sus rangos de variación. Esta combinación, junto con una proyección del crecimiento de la carga, permite estimar el momento

óptimo para la sustitución de los transformadores por otros de mayor capacidad, evitando así pérdidas prematuras de vida útil.

El mantenimiento correctivo revela la importancia de una gestión efectiva para prevenir y abordar fallas en transformadores. Investigaciones como la de Celis (2022) indican que su uso reduce el tiempo de inactividad y los costos asociados con fallas imprevistas. Además, estudios como el Juárez et al. (2020) enfatizan la necesidad de implementar medidas correctivas basadas en análisis de riesgos para mejorar la confiabilidad operativa. Los resultados del análisis de parámetros eléctricos, armónicos y aislamiento en el transformador refuerzan la importancia de inspecciones rigurosas y pruebas detalladas en el mantenimiento correctivo. En ese sentido, López et al. (2023) mencionaron que la detección de problemas en el sistema de refrigeración subraya la necesidad de abordar fallas relacionadas con la temperatura y la calidad del aceite dieléctrico para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente.

Las causas raíces identificadas en el análisis, como el deterioro del sello debido a armónicos y la falta de cumplimiento de criterios técnicos en el diseño de la red, resaltan la importancia de mejorar la calidad de diseño y de implementar procedimientos robustos para evitar futuras fallas en el sistema. Montejo et al. (2023) comentan que muchas ocasiones, las discrepancias entre las causas de fallo reportadas por un problema eléctrico y el diagnóstico emitido en el taller, donde la investigación de la causa principal de cada fallo no se aborda de manera exhaustiva. También destacaron que los modos de falla y las causas raíz más comunes, destacando que las incidencias más frecuentes estaban relacionadas con problemas externos al transformador, lo que amplía el panorama de posibles mejoras en la gestión de mantenimiento y operación de estos equipos.

### **Plan de mantenimiento preventivo para los transformadores Pad Mounted**

En concordancia con los resultados obtenidos y en complemento de la investigación, se presentan unas sugerencias para la aplicación de un plan de mantenimiento preventivo que conlleve a evitar en mayor grado, las fallas de los transformadores Pad Mounted y que ayude a mejorar la rentabilidad y a reducir el uso de recursos y los costes:

1. **Inspección y monitoreo regular:** ayudan a detectar cualquier signo de deterioro o mal funcionamiento en el transformador antes de que se conviertan en problemas graves, permitiendo mantener la confiabilidad y disponibilidad del equipo. Para ello se deben realizar inspecciones visuales mensuales para verificar el estado de los devanados, el núcleo del transformador, los sistemas de refrigeración, los aisladores y las conexiones eléctricas. También, hay que implementar un sistema de monitoreo continuo con sensores inteligentes para supervisar variables críticas como temperatura, vibraciones, niveles de humedad y calidad del suministro eléctrico. Establecer un cronograma de mantenimiento preventivo para realizar pruebas específicas según las recomendaciones del fabricante y las condiciones de operación del hospital.
2. **Mantenimiento preventivo:** se busca prevenir fallas y asegurar el funcionamiento óptimo del transformador a lo largo del tiempo. Esto implica identificar y corregir posibles problemas antes de que afecten la operatividad del equipo. Se deben realizar pruebas de resistencia de aislamiento semestralmente para garantizar la integridad

eléctrica del transformador. Inspeccionar visualmente los devanados y el aceite del transformador anualmente para detectar signos de desgaste o contaminación. También se tiene que ejecutar análisis físico, químico y eléctrico del aceite para evaluar su calidad y prevenir la degradación prematura del aislamiento.

3. **Instalación de filtro de armónicos y banco de capacitores:** son cruciales para mejorar la calidad del suministro eléctrico y proteger el transformador de posibles daños, contribuyendo a optimizar la eficiencia energética y prolongar la vida útil del equipo. Por lo tanto, hay que implementar un filtro de armónicos para reducir las distorsiones en la corriente eléctrica generadas por equipos no lineales. A esto se le suma la instalación de un banco de capacitores para corregir el factor de potencia y mejorar la eficiencia del sistema eléctrico. En ese sentido, se debe realizar pruebas de funcionamiento y ajustes periódicos en el sistema de filtrado y capacitación para garantizar su efectividad.
4. **Capacitación del personal:** es un elemento fundamental para asegurar que estén preparados y capacitados para realizar tareas de mantenimiento preventivo/correctivo de manera segura y eficiente, por tanto, debe incluir el manejo de emergencias y la aplicación de protocolos de respuesta. Esto se logra mediante la programación de sesiones de capacitación trimestrales que aborden temas como diagnóstico de fallas, procedimientos preventivos/correctivos y seguridad en el trabajo eléctrico. A estas se debe sumar evaluaciones periódicas para medir el nivel de conocimientos adquiridos por el personal y ajustar el programa de capacitación según sea necesario.
5. **Plan de contingencia:** establece procedimientos claros y eficientes para responder a situaciones de emergencia y minimizar el impacto en la continuidad del suministro eléctrico y las operaciones hospitalarias. Por lo tanto, se tiene que identificar posibles escenarios de emergencia como apagones, sobrecargas o cortocircuitos y desarrollar protocolos de respuesta detallados para cada situación. Asimismo, hay que coordinar con proveedores de servicios eléctricos externos para obtener asistencia técnica y logística en caso de una emergencia grave que requiera su intervención.
6. **Evaluación de resultados y mejora continua:** son esenciales para garantizar la efectividad a largo plazo del plan de mantenimiento, deben estar dirigidas a identificar áreas de mejora y ajustar el plan según sea necesario. Esto implica realizar evaluaciones semestrales para analizar el impacto de las medidas implementadas y ajustar el plan de mantenimiento según los resultados obtenidos. Además, se debe establecer un proceso formal de revisión y actualización del plan basado en las lecciones aprendidas y las mejores prácticas de la industria.

## Conclusiones

Las fallas encontradas, resaltan la necesidad de identificar las causas raíz de los problemas para implementar acciones correctivas efectivas. La aplicación de la metodología de análisis causa raíz se vuelve crucial en este contexto, ya que permite la evaluación y formulación de un plan de acción preventivo/correctivo para mejorar el rendimiento y prolongar la vida útil del transformador.

El mantenimiento correctivo debe estar respaldado por un análisis de las fallas en los transformadores, utilizando metodologías como el RCA para identificar las verdaderas razones detrás de los problemas y evitar soluciones superficiales que no resuelvan el problema de manera efectiva. Su implementación en el mantenimiento preventivo de transformadores es fundamental para identificar las causas subyacentes de los problemas, permitiendo así una gestión más efectiva del mantenimiento y una prevención más precisa de posibles fallos futuros.

La detección de inconvenientes como la presencia de armónicos en el sistema eléctrico y el deterioro del aislamiento del transformador es esencial para evitar daños graves en los equipos, optimizar la eficiencia energética y garantizar la continuidad del suministro eléctrico en entornos críticos como los hospitales.

El mantenimiento correctivo debe ir acompañado de una revisión detallada de los procedimientos de operación y mantenimiento preventivo, identificando posibles mejoras en las prácticas operativas y en la gestión de los activos para prevenir futuras fallas y optimizar la confiabilidad de los transformadores.

La monitorización constante del estado de los transformadores, mediante técnicas como la termografía infrarroja y el análisis de aceite, es esencial para detectar de manera temprana posibles problemas y tomar acciones correctivas de manera oportuna, evitando así daños mayores y reduciendo los costos asociados con el mantenimiento correctivo no planificado.

El monitoreo continuo y sistemático del estado de carga de los transformadores, especialmente en presencia de cargas no lineales, es esencial para planificar adecuadamente la sustitución o el refuerzo de los equipos, evitando así pérdidas de vida útil y garantizando la fiabilidad y seguridad del sistema eléctrico en general.

## Referencias bibliográficas

- Álvarez, L., Lozano, C. y Bravo, D. (2022). Metodología para el mantenimiento predictivo de transformadores de distribución basada en aprendizaje automático. *Ingeniería*, 27(3).  
<https://www.redalyc.org/journal/4988/498873733004/html/>
- Anchundia, P., Navia, F., y Litardo, J. (2022). *Análisis Causa Raíz de Fallas (RCFA – Root Cause Failure Analysis). Caso de estudio: Planta de Ósmosis Inversa / Centro Comercial*. Ingeman. [https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Parra-19/publication/359504450\\_Analisis\\_Causa\\_Raiz\\_de\\_Fallas\\_RCFA\\_-\\_Root\\_Cause\\_Failure\\_Analysis\\_Caso\\_de\\_estudio\\_Planta\\_de\\_Osmosis\\_Inversa\\_Centro\\_Comercial/links/6240afd957084c718b6f40a8/Analisis-Causa-Raiz-de-Fallas-RCFA-Root-Cause-Failure-Analysis-Caso-de-estudio-Planta-de-Osmosis-Inversa-Centro-Comercial.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Parra-19/publication/359504450_Analisis_Causa_Raiz_de_Fallas_RCFA_-_Root_Cause_Failure_Analysis_Caso_de_estudio_Planta_de_Osmosis_Inversa_Centro_Comercial/links/6240afd957084c718b6f40a8/Analisis-Causa-Raiz-de-Fallas-RCFA-Root-Cause-Failure-Analysis-Caso-de-estudio-Planta-de-Osmosis-Inversa-Centro-Comercial.pdf)
- Arias, J. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. Enfoques Consulting EIRL. [https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26022w/Arias\\_S2.pdf](https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26022w/Arias_S2.pdf)
- Bernal, E. y Londoño, J. (2018). *Propuesta de desarrollo del método análisis causa raíz (RCA) para el plan de mantenimiento preventivo de la herramienta de mano de la empresa ALLIAN.S S.A.S.* [Trabajo de Especialidad, Universidad ECCI]. <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/3051/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bustamante, L. (2022). *Análisis de factibilidad técnica y económica para la instalación de transformadores de potencial con alimentación para servicios auxiliares en subestaciones de seccionamiento*. [Tesis de Maestría, Universidad de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9793>
- Caro, E. (2022). *Propuestas regulatorias para la inclusión de las redes inteligentes en Colombia, aportando al desarrollo de las ciudades inteligentes en articulación con las energías renovables*. [Tesis de Maestría, Universidad de Antioquía]. [https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/29876/1/CaroElkin\\_2022\\_%20InclusiónEnergíasRenovables.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/29876/1/CaroElkin_2022_%20InclusiónEnergíasRenovables.pdf)
- Carrión, J., Martínez, A., del Castillo, A., Hernández, O., y del Cisne, M. (2019). Efectos de los armónicos de corriente en las pérdidas de transformadores de distribución monofásicos. *Ingeniería Energética*, 40(2), 112-127.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59012019000200112&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59012019000200112&script=sci_arttext)
- Castillo, J. y Robles, L. (2022). *Evaluación del índice de salud integral basado en sistemas difusos para la gestión del mantenimiento del transformador de distribución de la subestación eléctrica de la sede central SUNAT*. [Trabajo de grado, Universidad Tecnológica del Perú]. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/6944>
- Castro, J., Gómez, G. y Núñez, O. (2022). Índice de estimación de la vida residual en transformadores eléctricos de potencia basado en condición. *Revista Tecnología En Marcha*, 35(4), 71-83.  
[https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/5776](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/5776)



- Castro, L. (2020). *Plan de mantenimiento para un transformador eléctrico tipo pedestal (Pad Mounted) ocasionalmente sumergible De 630 Kva*. Universidad Antonio Nariño. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/3251>
- Celis, D. (2022). *Desarrollo de un plan de mantenimiento aplicado a transformadores de potencia*. [Trabajo de Maestría, Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/31529>
- Díaz, D. (2023). *Análisis de armónicos de corriente para mejorar la calidad de energía eléctrica en el hospital regional de Moquegua, Moquegua 2022*. [Trabajo de Grado, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/119657>
- Hernández, O. (2021). Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 37(3). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-21252021000300002](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21252021000300002)
- Huerta, J. (2023). *Modelo basado en vibraciones para el diagnóstico de transformadores ante deformaciones estructurales con condiciones armónicas y desbalance en fuente de alimentación*. [Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Querétaro]. <https://ring.uaq.mx/handle/123456789/7991>
- Jado, V. (2022). *Mantenimiento predictivo en transformadores de potencia y de distribución eléctrica*. [Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Cataluña]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/370708>
- Jiménez, J. (2020). *Propuesta de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM, a los activos críticos del sistema eléctrico de distribución a nivel de subestaciones, en la empresa Continental Tire Andina S.A*. [Trabajo de Maestría, Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/9963/1/15593.pdf>
- Juárez, V., Sánchez, I. y Juárez, O. (2020). Ingeniería de confiabilidad aplicado a una planta hidroeléctrica. *Revista Electrónica Sobre Cuerpos Académicos Y Grupos De Investigación*, 7(14), 296–311. <http://cagi.org.mx/index.php/CAGI/article/view/227>
- López, G., Real, G., y Moreira, N. (2023). Análisis Causa Raíz en central de generación termoeléctrica de Ecuador. *MQR Investigar*, 7(3), 3589–3608. <https://www.investigarmqr.com/ojs/index.php/mqr/article/view/635>
- Montejo, J., Sierra, E., y Contreras, R. (2023). Determinación de la causa raíz de fallas en transformadores de distribución. *Ingeniería Energética*, 44(3), 56-65. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59012023000300056&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59012023000300056&script=sci_arttext)
- Niño, D. (2020). *Análisis causa raíz de fallas en reconectores automatizados acoplados a la red de distribución de Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A. E.S.P*. [Trabajo de Grado, Universidad de Pamplona]. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/5300>
- Niño, P., y Rubio, I. (2022). Análisis RCA en la bomba sumergible de sumidero BU0505, en la estación Sebastopol (2022). *UNIPAZ*, 14(24). <https://revistas.unipaz.edu.co/index.php/revcitecsa/article/view/349>

- Peñañiel, S., Otero, P., y Pérez, F. (2023). Diagnóstico del Estado de Transformadores de Distribución Mediante el Ensayo de Análisis de Respuesta en Frecuencia. *Revista Técnica energía*, 20(1), 26-32.  
[http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2602-84922023000200026](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2602-84922023000200026)
- Perico, N., Galarza, E., Díaz, M., Arévalo, H., y Perico, N. (2020). *Guía práctica de investigación en ingeniería: apoyo a la formación de docentes y estudiantes*. Corporación Universitaria Minuto de Dios.  
<https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/10822>
- Quiñonez, J., Quiñonez, T., Zambrano, L., González, E., y Quiñonez, E. (2023). Análisis del mantenimiento preventivo en instalaciones eléctricas residenciales de las familias esmeraldeñas. *IBERO-AMERICAN JOURNAL OF ENGINEERING & TECHNOLOGY STUDIES*, 3(1).  
<https://tech.iberojournals.com/index.php/IBEROTECS/article/view/605>
- Ramírez, A. (2018). *Evaluación de la salud de activos de los transformadores de potencia de las subestaciones del área metropolitana del Valle de Aburrá*. [Tesis de Maestría, Universidad EAFIT].  
[https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/13031/AstridYolima\\_RamirezRodriguez\\_2018.pdf?sequence=2](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/13031/AstridYolima_RamirezRodriguez_2018.pdf?sequence=2)
- Sánchez, F. (2019). Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: consensos y disensos. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, 13(1), 102-122. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ridu/v13n1/a08v13n1.pdf>
- Sánchez, J., Fernández, M., y Diaz, J. (2021). Técnicas e instrumentos de recolección de información: análisis y procesamiento realizado por el investigador cualitativo. *Revista Científica UISRAEL*, 8(1), 107-121.  
[http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S2631-27862021000300107&script=sci\\_arttext](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S2631-27862021000300107&script=sci_arttext)
- Solórzano, O. (2021). *Estudio del diseño en base a las especificaciones técnicas del fabricante en el funcionamiento de los transformadores de distribución en la central hidroeléctrica Santa Teresa, Cusco*. [Trabajo de grado, Universidad Nacional del Centro de Perú].  
[https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7210/T010\\_47297994\\_T.pdf?sequence=1](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7210/T010_47297994_T.pdf?sequence=1)
- Suárez I., Varguillas C. y Roncero C. (2022). *Técnicas e Instrumentos de Investigación. Diseño y Validación desde la Perspectiva Cuantitativa*. FEDEUPEL.  
<https://publicacionesipb.investigacion-upelipb.com/index.php/libros/catalog/book/17>
- Trujillo, E., Guadrón, O. y Peláez, D. (2023). Desarrollo de un sistema multisensorial embebido para detección de fallas incipientes en transformadores eléctricos. *Revista colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1(41).  
<https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/rcta/article/view/2417>

Zhang, H., Li, Q., y Zhou, Y. (2021). Mechanical Resonance Analysis and Vibration Control Research of Power Transformer Based on ANSYS. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 775(1), 012053. doi: 10.1088/1755-1315/775/1/012053

Zúñiga, C. (2022). *Eficiencia y Rendimiento de Transformadores de Distribución Eléctrica considerando las Propiedades Dieléctricas de Refrigerantes de Origen Vegetal y Mineral*. [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23679>

**Conflicto de intereses:**

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

**Financiamiento:**

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

**Agradecimiento:**

N/A

**Nota:**

El artículo no es producto de una publicación anterior.