

ANÁLISIS DE TÉCNICAS AVANZADAS DE MONITOREO Y TELEMETRÍA PARA GESTIÓN ENERGÉTICA EN TRANSFORMADORES DE BAJA TENSIÓN

Santiago Rogelio Pérez Mora
santiago.perez@ister.edu.ec
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0880-1457>
Instituto Superior Universitario Rumiñahui - Ecuador

Flavio Andrés Barbosa Jaramillo
flavio.barbosa@ister.edu.ec
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5399-2707>
Instituto Superior Universitario Rumiñahui - Ecuador

David Alexander Chicaiza Caiza
davidalexander.chicaiza@ister.edu.ec
Instituto Superior Universitario Rumiñahui - Ecuador

Recibido: 31/05/24

Aceptado: 22/06/24

Publicado: 01/07/24

RESUMEN

En los últimos años, el uso de técnicas avanzadas de monitoreo y telemetría se ha convertido en una herramienta clave para optimizar la gestión energética en transformadores de la red de distribución eléctrica de baja tensión. Este artículo presenta el desarrollo y la implementación de un prototipo de telemetría basado en "OpenSource", que permite la recopilación y análisis en tiempo real de datos eléctricos fundamentales como corriente, tensión, potencias y factor de potencia. Los resultados muestran cómo estas técnicas permiten verificar los parámetros, mejorar la precisión en la facturación y garantizar una mayor eficiencia en la gestión del suministro eléctrico.

PALABRAS CLAVE: telemetría, gestión energética, transformadores, distribución eléctrica, monitoreo avanzado.

ANALYSIS OF ADVANCED MONITORING AND TELEMETRY TECHNIQUES FOR ENERGY MANAGEMENT IN LOW-VOLTAGE TRANSFORMERS

ABSTRACT

In recent years, the use of advanced monitoring and telemetry techniques has become a key to optimize energy management in low voltage distribution network transformers. This paper presents the development and implementation of a telemetry prototype based on "OpenSurce", which allows real-time collection and analysis of essential electrical data such as current, voltage, power and power factor. The results show how these techniques help to reduce energy losses, improve billing accuracy, and ensure greater efficiency in electricity supply management.

KEY WORDS: telemetry, energy management, transformers, electrical distribution, advanced monitoring.

1. INTRODUCCIÓN

La creciente complejidad de las redes de distribución eléctrica y la necesidad de mejorar la eficiencia energética, han impulsado el desarrollo de tecnologías vanguardistas para el monitoreo de parámetros eléctricos en los transformadores de potencia. La implementación de sistemas inteligentes y de telemetría ha demostrado ser una solución efectiva para abordar los desafíos asociados con las pérdidas de energía, la precisión en la facturación y la confiabilidad del suministro eléctrico.

Baranov et al. (2021) y Blinov et al. (2020), destacan la importancia de las tecnologías S.M.A.R.T. (*Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound*) en la gestión y reparación de redes de distribución, subrayando la necesidad de enfoques sistemáticos para mejorar la confiabilidad y reducir los fallos en las líneas de transmisión. Estos sistemas permiten, no solo el monitoreo en tiempo real, sino también la aplicación de técnicas predictivas que optimizan la operación de la red (Baranov et al., 2021; Blinov et al., 2020).

Baruah (2021) y Blinov et al. (2023) exploran el uso de plataformas de Internet de las Cosas (IoT) y sistemas basados en *Node-MCU* para la monitorización de transformadores, demostrando cómo la integración de estas tecnologías facilita la detección temprana de anomalías y la mejora de la eficiencia operativa. La combinación de IoT con algoritmos de análisis de datos permite una respuesta más rápida y precisa a las condiciones cambiantes de la red eléctrica (Baruah, 2021; Blinov et al., 2023a).

La monitorización del estado de los transformadores, a través de telemetría, se ha convertido en un enfoque crucial para mejorar la eficiencia de las redes de distribución. Talbi et al. (2023) y Sahrani et al. (2023), muestran cómo la implementación de sistemas de bajo costo, basados en IoT puede ofrecer soluciones escalables para la gestión en tiempo real de parámetros críticos, como la temperatura del aceite en transformadores de distribución, lo que contribuye a prolongar la vida útil de los equipos y a prevenir fallos catastróficos (Talbi et al., 2023).

El presente artículo se enfoca en el desarrollo de un prototipo funcional de telemetría, basado en tecnologías de IoT y sistemas de monitoreo en tiempo real. El objetivo es mejorar la gestión energética en transformadores de baja tensión, reducir las pérdidas de energía y optimizar la precisión en la facturación, contribuyendo así a una mayor eficiencia y confiabilidad del sistema eléctrico.

2. ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS / MATERIALES Y MÉTODOS

Entre las técnicas más utilizadas para el monitoreo y la telemetría en transformadores, se encuentran la integración de sensores de corriente, tensión con sistemas de comunicación IoT. Estos sensores permiten una recopilación continua de datos críticos del transformador, lo que facilita la detección temprana de anomalías, la toma de decisiones informadas para la prevención de fallos y la

Pérez Mora, S., Barbosa Jaramillo, F. y Chicaiza Caiza D. (2024). Análisis de técnicas avanzadas de monitoreo y telemetría para gestión energética en transformadores de baja tensión. *Revista Cotopaxi Tech*, 4(2), pp. 142-156. <http://ojs.istx.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/154>
julio - diciembre (2024) ISSN 2806-5573

mejora de la eficiencia y calidad energética. El proceso de monitoreo está estrechamente relacionado con la calidad y precisión de los datos obtenidos. Por esta razón, se emplearon dispositivos y tecnologías que han demostrado ser altamente eficaces en estudios previos. Sin embargo, es importante considerar que la implementación de estos sistemas de monitoreo es sensible a las condiciones de instalación y operación, tales como la estabilidad de la red de comunicación y la calibración de los sensores, lo que puede influir en la fiabilidad de los datos recopilados.

Desarrollo del prototipo de telemetría

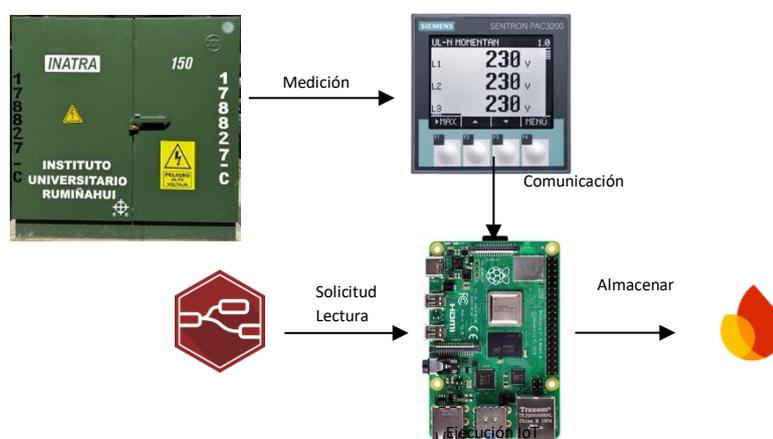
El prototipo desarrollado para este estudio se basó en una arquitectura de Internet de las Cosas (IoT) un microordenador versátil y de bajo costo. El dispositivo se configuró para la recopilación en tiempo real de datos eléctricos fundamentales de transformadores de baja tensión.

Descripción general. El prototipo desarrollado para este proyecto fue diseñado para ser instalado en un transformador dentro de una red de distribución eléctrica operativa.

El procedimiento de instalación del prototipo involucró la implementación de varios componentes tecnológicos avanzados. Los sensores de corriente y tensión fueron estratégicamente conectados a los puntos de acceso del transformador, lo que permitió la monitorización continua y precisa de estos parámetros eléctricos fundamentales (Figura 1). La recopilación de datos sobre la corriente y la tensión es esencial para identificar posibles anomalías en el funcionamiento del transformador y para optimizar la gestión energética en la red.

Figura 1

Diseño del sistema.



Fuente: autoría propia.

El núcleo del sistema de monitoreo se basó en una plataforma de código abierto (*OpenSource*), seleccionada por su flexibilidad y capacidad para integrarse

Pérez Mora, S., Barbosa Jaramillo, F. y Chicaiza Caiza D. (2024). Análisis de técnicas avanzadas de monitoreo y telemetría para gestión energética en transformadores de baja tensión. *Revista Cotopaxi Tech*, 4(2), pp. 142-156. <http://ojs.istx.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/154> julio - diciembre (2024) ISSN 2806-5573

con múltiples dispositivos y protocolos de comunicación. La plataforma de código abierto fue configurada para mantener una transmisión continua y confiable de los datos recopilados por los sensores hacia la plataforma de almacenamiento y análisis en la nube, específicamente *Google Firebase*. La robustez y seguridad de la transmisión de datos fueron aspectos críticos para asegurar la entrega de datos confiables y evitar interrupciones en el flujo de datos (*NodeRed*).

Recopilación de Datos. La recolección de datos en este proyecto se llevó a cabo estableciendo un intervalo de muestreo de diez segundos (10s) de manera automática, utilizando la plataforma *Node-RED*, durante un período continuo de 30 días. Este intervalo se seleccionó cuidadosamente para equilibrar la precisión en la captura de las variaciones de los parámetros eléctricos y la eficiencia en el manejo del volumen de datos (Figura 2).

Figura 2

Medición en baja tensión - transformador Pad Mounted.



Fuente: autoría propia.

Los datos procesados fueron enviados y almacenados en la *Firestore - RealTime Database*, una solución en la nube que permitió mantener un registro continuo y seguro de la información. Este almacenamiento en tiempo real aseguró que todos los cambios y variaciones en los parámetros eléctricos fueran capturados con precisión, proporcionando un conjunto de datos robusto para su posterior análisis (Tabla 1).

Tabla 1

Parámetros eléctricos - eficiencia energética.

https://ister-tele-default-rtdb.firebaseio.com/	
Voltage L1 -N	Active L1
Voltage L2 -N	Active L2
Voltage L3 -N	Active L3
Voltage L1 -L2	Reactive L1
Voltage L1 -L3	Reactive L2

Pérez Mora, S., Barbosa Jaramillo, F. y Chicaiza Caiza D. (2024). Análisis de técnicas avanzadas de monitoreo y telemetría para gestión energética en transformadores de baja tensión. *Revista Cotopaxi Tech*, 4(2), pp. 142-156. <http://ojs.istx.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/154> julio - diciembre (2024) ISSN 2806-5573

Voltage L3 -L1	Reactive L3
Current L1	Apparent L1
Current L2	Apparent L2
Current L3	Apparent L3
Power Factor L1	
Power Factor L2	
Power Factor L3	

Fuente: autoría propia.

Arquitectura. La arquitectura de transmisión de datos implementada en este proyecto se diseñó, para integrar de manera eficiente, tanto los componentes de hardware como de software, asegurando una comunicación confiable y precisa entre los sensores instalados en los transformadores y el sistema de almacenamiento y análisis de datos. Esta estructura robusta combina el uso del controlador *Sentron Pac 3200* con la plataforma *Node-RED*, permitiendo la recopilación, transmisión y análisis en tiempo real de los datos eléctricos provenientes de los transformadores en la red de distribución eléctrica (Figura 3).

Figura 3

Proceso base de datos.



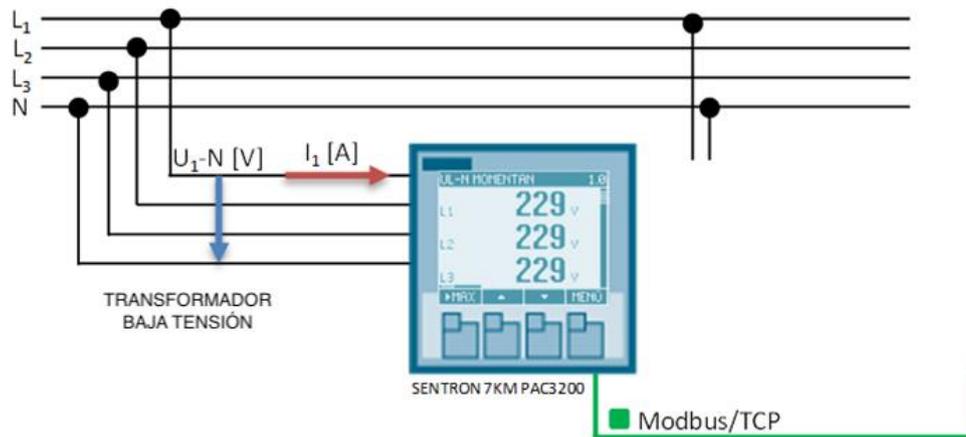
Fuente: autoría propia.

Sentron Pac 3200. Actúa como el punto central de recopilación de datos de los sensores de corriente y tensión instalados en los transformadores. Este controlador está configurado para capturar los parámetros eléctricos críticos y transmitirlos al controlador principal a través de una red Ethernet. La comunicación Ethernet fue elegida por su alta velocidad, baja latencia, y fiabilidad, lo que asegura que los datos se transmitan sin pérdida y en tiempo real (Figura 4).

Figura 4

Conexión adquisición de parámetros.



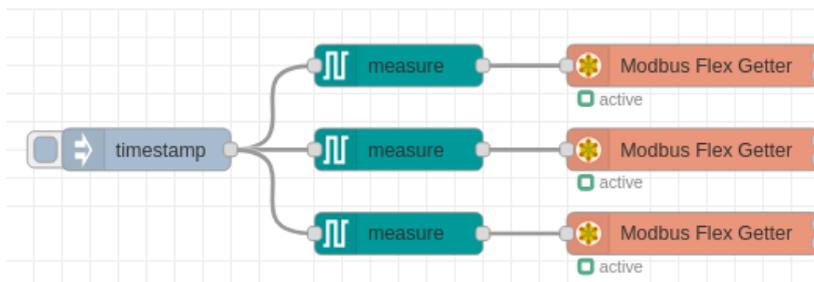


Fuente: autoría propia.

Node-Red. Una vez que los datos llegan al controlador, la plataforma *Node-RED* toma el control del flujo de datos. *Node-RED* está programado en el controlador para recibir, procesar y dirigir los datos de forma eficiente. La arquitectura de *Node-RED*, en este contexto, se configura mediante nodos de flujo de trabajo que permiten la manipulación de los datos en tiempo real, incluyendo filtrado, transformación y encaminamiento hacia el destino final (Figura 5).

Figura 5

Flujo de datos Node-Red.



Fuente: autoría propia.

Node-RED, recibe los datos brutos, transmitidos desde el *Sentron Pac 3200*, a través de la red Ethernet. Estos datos se estructuran en paquetes que pueden ser fácilmente manipulados dentro de la plataforma.

Los datos recibidos son inmediatamente procesados por *Node-RED* (Procesamiento en Tiempo Real). Este procesamiento incluye la validación de los datos para asegurar su integridad, así como la aplicación de cualquier lógica que sea necesaria para el proyecto, como la detección de valores atípicos o la agregación de datos.

Transmisión a Firebase - RealTime Database. Los datos fueron organizados en una estructura jerárquica que reflejaba la fuente y el tipo de medición. Esta

estructura facilitó el acceso rápido a los datos específicos y permitió la ejecución de consultas eficientes. La base de datos se diseñó para ser altamente escalable, permitiendo la incorporación de datos adicionales a medida que el sistema de monitoreo se expande.

Figura 6

Flujo de datos almacenamiento.



Fuente: autoría propia.

Cada parámetro eléctrico, como la tensión y la corriente, se almacenó en nodos separados dentro de *Firebase*. Cada nodo contiene entradas con marcas de temporalidad, lo que permite realizar un seguimiento detallado de cómo estos parámetros cambian a lo largo del tiempo.

En este sentido, los datos también fueron etiquetados con identificadores únicos, correspondientes a cada transformador monitoreado, lo que facilita la segregación y el análisis de los datos por ubicación específica.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

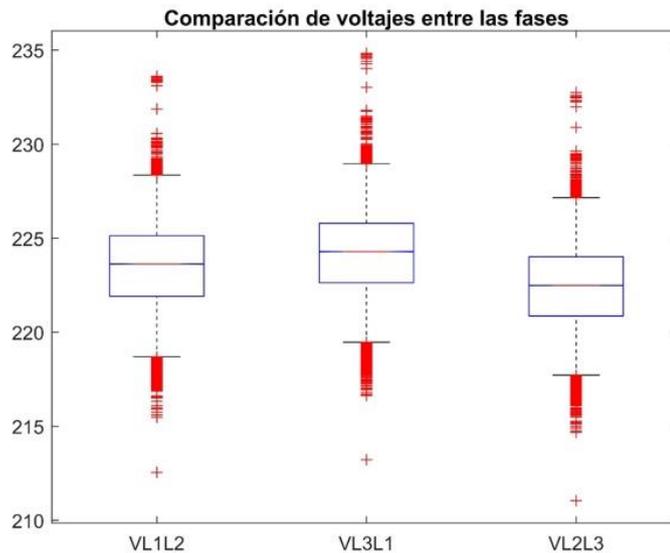
Análisis de voltajes

La eficiencia de los transformadores es crucial para la operación óptima de los sistemas eléctricos de potencia. Un aspecto clave que afecta a esta eficiencia es la correcta gestión de los voltajes entre fases. La comparación y el balance de los voltajes entre fases, no solo impactan la eficiencia operativa del transformador, sino que también tienen implicaciones significativas en la vida útil del equipo y en la estabilidad de la red eléctrica.

Según IEEE Std 100-2000, los desequilibrios en los voltajes entre fases pueden provocar un aumento en las pérdidas de energía, debido a la saturación del núcleo y la generación de calor adicional, lo que reduce la eficiencia global del transformador. En la Figura 7, se presenta la comparación de voltajes entre fases (VL1L2, VL3L1, VL2L3), donde se observa una distribución estable, con valores principalmente entre 222V y 225V, lo cual se encuentra dentro del 2.5% superior al voltaje nominal permitido por la regulación de calidad de energía (Resolución Nro. ARCERNR-017-2020). Estos resultados confirman que el transformador operó dentro de los parámetros aceptables, asegurando así una operación eficiente y confiable (Tabla 2).

Figura 7

Comparación de Voltajes entre Fases (VL1L2, VL3L1, VL2L3).



Fuente: autoría propia.

Tabla 2

Parámetros de operación de nivel de voltaje.

Nivel de voltaje	Rango admisible
Alto voltaje	± 5.0%
Medio voltaje	± 6.0%
Bajo voltaje	± 8.0%

Fuente: Resolución Nro. ARCERNR -017-2020.

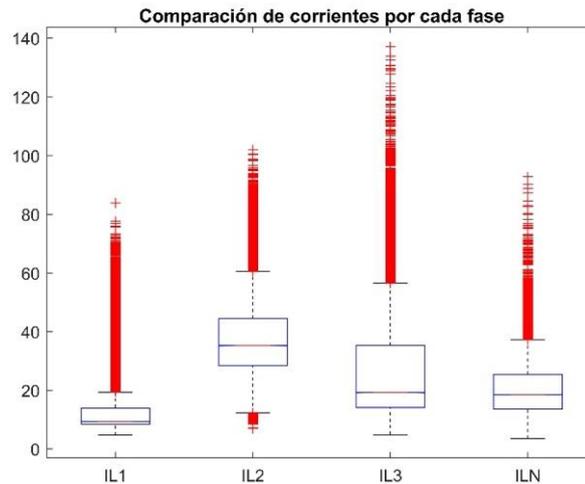
Análisis de corrientes

El balance de corrientes en un sistema trifásico es esencial para mantener la eficiencia operativa del transformador. Un desbalance en las corrientes puede inducir pérdidas adicionales debido al calentamiento desigual en el núcleo y los devanados, lo que a su vez reduce la vida útil del transformador.

La Figura 8 muestra una variabilidad significativa en las corrientes entre las fases, con valores atípicos en las fases IL1 e IL3. Este desbalance podría ser indicativo de fluctuaciones en la carga o variaciones operativas, las cuales podrían incrementar las pérdidas de energía y reducir la eficiencia del sistema.

Figura 8

Comparación de Intensidades entre Fases (IL1, IL2, IL3, ILN).



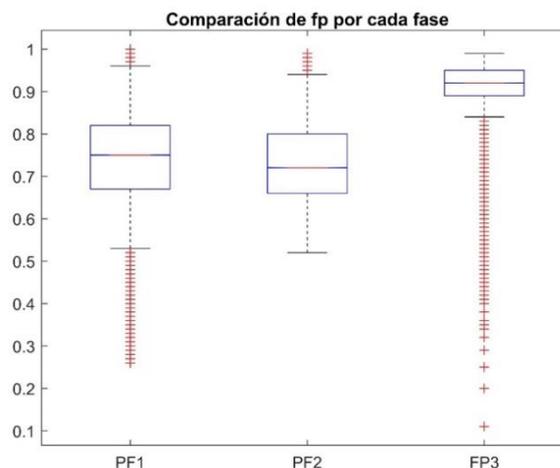
Fuente: autoría propia.

Análisis del factor de potencia (FP)

El factor de potencia es un parámetro crítico para la optimización de la eficiencia energética de los transformadores. Un factor de potencia bajo, por debajo de 0.92, no solo implica un uso ineficiente de la energía, sino que también puede resultar en penalizaciones económicas según la normativa vigente (ARCONEL Resolución 005/2018). En la Figura 9, se observa que la fase PF3 presenta una mayor dispersión en el factor de potencia, lo que indica posibles ineficiencias operativas que podrían aumentar los costos de operación del transformador.

Figura 9

Comparación de Intensidades entre Fases (IL1, IL2, IL3, ILN).



Fuente: autoría propia.

En la Figura 9 se puede observar un comportamiento menor al 0.92. Por lo cual, el transformador está teniendo un bajo factor de potencia y la penalidad por eso este dado en la siguiente ecuación.

$$P_{BFP} = B_{FP} * FSPE_i \quad (1)$$

En donde:

P_{BFP} : Penalización por bajo factor de potencia.

B_{FP} : Factor de penalización.

$FSPE_i$: Factura por servicio público de energía eléctrica inicial.

El cálculo del factor de penalización se lo da en la ecuación No. 2.

$$B_{FP} = \frac{0.92}{FP_r} - 1 \quad (2)$$

En donde:

FP_r : Factor de potencia registrado.

Realizando estas ecuaciones se tiene:

$$B_{FP} = \frac{0.92}{0.75} - 1 = 0.226$$

$$P_{BFP} = 0.226 * 488.66 = \$129.68$$

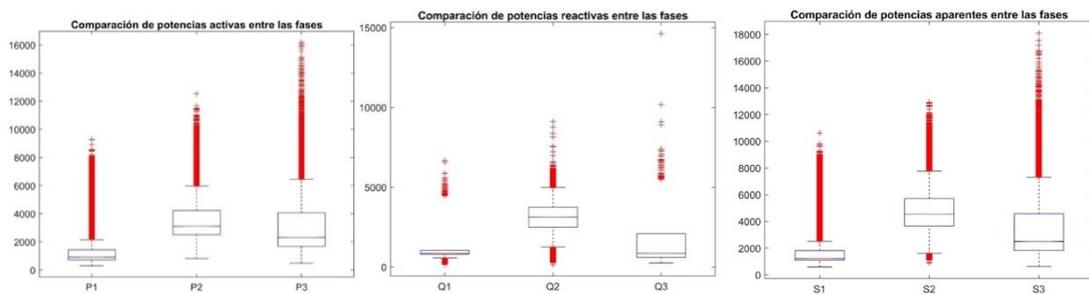
Lo que se comprueba, es que el factor de potencia registrado en el transformador, puede tener un pago de 129 dólares con 68 centavos por pérdidas. Cabe recalcar que este pago va a depender de las facturaciones mensuales y si el medidor instalado para realizar la medición está considerando las medidas del factor de potencia.

Análisis de potencias

Las pérdidas de energía en un transformador están directamente relacionadas con las potencias activa, reactiva y aparente. La Figura 10 ilustra las tendencias de estas potencias a lo largo del tiempo. Una diferencia significativa entre la potencia aparente y reactiva sugiere ineficiencias en la red, que podrían ser mitigadas mediante la implementación de técnicas de corrección del factor de potencia, como la instalación de condensadores. Las fases con mayor dispersión en las potencias activas indican una carga más intensa o fluctuaciones significativas, lo que podría someter al transformador a un estrés adicional, afectando su durabilidad y rendimiento.

Figura 10

Comparación de potencias reactivas.



Fuente: autoría propia.

Los problemas identificados tienen un impacto directo en la eficiencia energética del sistema eléctrico de potencia, especialmente en el contexto de la gestión de transformadores en la red de distribución de baja tensión.

4. DISCUSIÓN

Como se ha revisado anteriormente, la telemetría incluye tecnologías avanzadas como sensores IoT (Internet de las Cosas), comunicaciones inalámbricas (LoRa, 5G) y sistemas de monitoreo en tiempo real. Los sistemas de telemetría modernos utilizan protocolos estándar y plataformas de gestión de datos para recopilar, procesar y analizar información en tiempo real (Wang, 2024).

Para la medición de transformadores, se emplean sensores de alta precisión para medir variables como temperatura, corriente, voltaje y resistencia. La telemetría avanzada permite una integración eficiente de estos sensores con sistemas de análisis y control.

A través de este artículo se reveló cómo las tecnologías avanzadas en telemetría, proporcionan una mayor precisión, integración y capacidad predictiva, en comparación con los métodos utilizados en investigaciones particulares. Sin embargo, los resultados del artículo pueden ofrecer valiosos *insights* sobre la aplicación práctica de estas tecnologías y las áreas en las que la implementación específica puede diferir de las soluciones más avanzadas disponibles. El artículo pudo identificar oportunidades para mejorar o adaptar las tecnologías existentes a condiciones y necesidades específicas (Baruah, 2021).

El artículo realizado en el campo amplio de la medición de transformadores con telemetría, tiene una relevancia significativa, tanto en el contexto académico como en el científico y social. A continuación, se detallan las justificaciones y su aporte al conocimiento.

Innovación en medición de transformadores. El artículo contribuye al avance del conocimiento técnico en el área de medición y monitoreo de transformadores. Al aplicar telemetría, se exploran nuevas formas de obtener datos

precisos y en tiempo real, lo que puede llevar a mejoras significativas en los métodos existentes y a la implementación de nuevas técnicas de medición.

Desarrollo de nuevas metodologías. El artículo puede introducir o perfeccionar metodologías para la integración de sistemas de telemetría en la medición de transformadores. Estas metodologías podrían servir como base para futuros estudios y desarrollos tecnológicos en el campo.

Optimización del mantenimiento de equipos. Al mejorar la precisión y la capacidad de monitoreo de los transformadores, el artículo ayuda a optimizar las prácticas de mantenimiento. Esto puede reducir costos operativos y aumentar la eficiencia de las redes eléctricas, beneficiando a las empresas públicas y al personal que opera y controla los sistemas eléctricos.

Reducción de fallos y riesgos. La capacidad de monitorear y predecir fallos en transformadores, mediante telemetría puede reducir el riesgo de fallos catastróficos, mejorando la seguridad y la fiabilidad de las infraestructuras eléctricas. Esto tiene un impacto positivo en la estabilidad del suministro eléctrico y en la seguridad pública.

Generación de datos empíricos. El artículo proporciona datos empíricos valiosos que pueden ser utilizados por otros investigadores para validar teorías existentes o para desarrollar nuevas hipótesis. Estos datos enriquecen la base de conocimiento en el campo de la telemetría y la medición de transformadores.

Eficiencia energética. La implementación de sistemas de telemetría en la medición de transformadores puede contribuir a una mayor eficiencia energética. Un mejor monitoreo permite identificar y corregir ineficiencias en la red eléctrica, lo que puede reducir el desperdicio de energía y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

Reducción de impacto ambiental. Al mejorar la gestión y el mantenimiento de los transformadores, se puede reducir el riesgo de derrames o fallos que podrían tener un impacto ambiental negativo. La investigación contribuye a una gestión más segura y ecológica de los recursos energéticos.

5. CONCLUSIONES / CONSIDERACIONES FINALES

El desarrollo e implementación de IoT's, en la monitorización de transformadores de distribución eléctrica ha demostrado ser eficaz en el monitoreo de parámetros eléctricos, reduciendo las pérdidas eléctricas en el transformador. Al proporcionar datos en tiempo real, el IoT permite la detección y corrección rápida de ineficiencias, optimizando el rendimiento del transformador y prolongando su vida útil. Además, su capacidad para automatizar la gestión energética contribuye a una mayor confiabilidad del suministro eléctrico y a la reducción de costos operativos, posicionando al IoT como una solución clave para los desafíos en redes de distribución modernas.

El análisis del desbalance de corrientes entre fases revela que este fenómeno puede causar un incremento significativo en las pérdidas por calentamiento en el transformador, debido a la circulación de corrientes no deseadas en el neutro y la sobrecarga de una o más fases. Estas pérdidas adicionales por efecto Joule, no solo acortan la vida útil del transformador, sino que también aumentan el riesgo de fallas prematuras, comprometiendo la eficiencia energética del sistema. Como resultado, se observan incrementos en las pérdidas de energía, una reducción en la capacidad operativa del transformador y un aumento considerable en los costos operativos.

En este sentido, la inestabilidad de los voltajes entre fases, observada en las tendencias y comparaciones de voltajes, genera fluctuaciones que impactan negativamente la operación eficiente de los equipos conectados a la red. Voltajes que se desvían de los niveles óptimos pueden llevar a un consumo de energía ineficiente, mayores pérdidas en los cables de la red y un rendimiento subóptimo de los dispositivos electrónicos, que podrían operar fuera de sus especificaciones de diseño. Estas fluctuaciones resultan en una disminución de la eficiencia operativa de la red, un aumento en las pérdidas técnicas y mayores necesidades de mantenimiento.

Un factor de potencia bajo indica que una porción considerable de la energía suministrada no se utiliza para realizar trabajo útil, lo que se traduce en una mayor demanda de corriente para mantener la misma energía activa. Esta condición aumenta las pérdidas en los conductores y componentes del sistema de distribución, y puede requerir la instalación de equipos de compensación adicionales, como bancos de capacitores, para corregir el problema. Como consecuencia, se eleva la demanda de energía para cumplir con los mismos requisitos de carga, incrementando así las pérdidas de energía y los costos operativos.

Aunque la potencia reactiva es necesaria para mantener los campos electromagnéticos en motores y transformadores, una elevada presencia de potencia reactiva en el sistema, tal como se refleja en los gráficos comparativos, indica que se requiere más energía para mantener la operatividad del sistema. Este aumento de la demanda de energía genera mayores pérdidas en la red de distribución y sobrecarga la infraestructura de generación y distribución, lo que disminuye la eficiencia general del sistema y podría conllevar a penalizaciones económicas por bajo factor de potencia.

Las fluctuaciones significativas en la potencia aparente entre fases pueden causar un desbalance en la carga del transformador, lo que resulta en un uso ineficiente de la capacidad instalada. Este desbalance incrementa las pérdidas por calentamiento en los componentes del sistema y genera ineficiencias en la utilización de la capacidad del transformador, aumentando así las pérdidas de energía y acelerando el desgaste del equipo. Esta situación subraya la importancia de una gestión adecuada de la potencia aparente para optimizar el rendimiento y la longevidad de los transformadores en la red de distribución eléctrica.

6. REFERENCIAS

- Baranov, G., Komisarenko, O., Zaitsev, I. O., & Chernytska, I. (2021). S.M.A.R.T. Technologies for Transport Tests Networks, Exploitation and Repair Tools. *2021 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS)*, 621-625. <https://doi.org/10.1109/ICAIS50930.2021.9396055>
- Baruah, D. J. (2021). Design and Develop Transformer Monitoring System using NODE-MCU and Real Time IOT Platform Connected using NODE-RED. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 9(1), 562-568. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2021.32886>
- Blinov, I., Zaitsev, I. O., & Kuchansky, V. V. (2020). Problems, Methods and Means of Monitoring Power Losses in Overhead Transmission Lines. In *Studies in Systems, Decision and Control* (Vol. 298, pp. 123-136). https://doi.org/10.1007/978-3-030-48583-2_8
- Blinov, I., Zaitsev, I., Parus, E., & Berezhnychenko, V. (2023a). Faults Indicators Applying for Smart Monitoring System for Improving Reliability Electric Power Distribution. In *Studies in Systems, Decision and Control* (Vol. 220, pp. 235-256). https://doi.org/10.1007/978-3-031-17554-1_11
- Blinov, I., Zaitsev, I., Parus, E., & Berezhnychenko, V. (2023b). Faults Indicators Applying for Smart Monitoring System for Improving Reliability Electric Power Distribution. In *Studies in Systems, Decision and Control* (Vol. 220, pp. 235-256). https://doi.org/10.1007/978-3-031-17554-1_11
- Sahrani, S., Ahmad, N. D., Mohamed, R., Talib, M. A., & Kit, C. J. (2023). Real-Time Monitoring of Oil Temperature in Distribution Power Transformer by Using Internet of Things. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 31(1), 1-16. <https://doi.org/10.47836/pjst.31.1.01>
- Talbi, K., El Ougli, A., Tidhaf, B., & Zrouri, H. (2023). Low-cost real-time internet of things-based monitoring system for power grid transformers. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 13(3), 2579-2588. <https://doi.org/10.11591/ijece.v13i3.pp2579-2588>
- Wang, F., Li, J., Wang, B., & Pang, D. (2024). Wireless electromagnetic telemetry for metal cased wells: A novel approach with comprehensive channel analysis. *Geoenergy Science and Engineering*, 233, 212573. <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.212573>