

Propuesta de implementación de banco de pruebas para transformadores de mediana y baja tensión, utilizando herramientas de IoT.

José de Jesús López-Villalobos¹, Oscar-Arreola Soria¹, Zita Xiahuitl-Salazar Muñoz², Roxana-García Andrade, Manuel-Pérez Ruvalcaba¹, Mario Alberto-Tamez Álvarez¹.

¹ Tecnológico Nacional de México, Campus Nuevo León; Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Av. Eloy Cavazos 2001, Tolteca, Guadalupe, N.L. 67170, México. Email principal: jllopez@itnl.edu.mx

² Tecnológico Nacional de México, Campus Nuevo León; Departamento de Sistemas y Computación, Av. Eloy Cavazos 2001, Tolteca, Guadalupe, N.L. 67170, México. Email: zita.salazar@itnl.edu.mx

Resumen

El desarrollo de proyectos basados en Internet de las Cosas IoT ha evolucionado ampliamente y además abre la pauta para la aplicación en diversas aplicaciones, tal es el caso del banco de pruebas de transformadores de mediana-baja tensión con fines tanto profesionales como académicos. Para este caso con el uso de una herramienta de desarrollo web como NodeRED, da la facilidad de implementación de diversas aplicaciones como este banco de pruebas en donde la programación gráfica nos da la información necesaria para determinar qué parámetros se obtiene al hacer una prueba de valores de corriente y voltaje, así como las diversas interconexiones para cada prueba. Así también el proceso de lectura de corriente y voltaje, así como relevadores para el intercambio de conexiones tienen una interconexión directa con el hub de adquisición de datos y el servidor con NodeRED.

Palabras clave—Adquisición de datos, Industria 4.0, Instrumentación, Internet de las Cosas, Máquinas Eléctricas.

Abstract

The development of projects based on the Internet of Things (IoT) has evolved widely and also opens the way for application in various applications, such as the test bench for medium-low voltage transformers for both professional and academic purposes. In this case, the use of a web development tool such as NodeRED makes it easy to implement various applications such as this test bench where graphical programming gives us the necessary information to determine which parameters are obtained when performing a test of current and voltage values, as well as the various interconnections for each test. Also, the current and voltage reading process, as well as relays for the exchange of connections, have a direct interconnection with the data acquisition hub and the server with NodeRED.

Keywords— Data Acquisition, Electric Machines, Industry 4.0, Instrumentation, Internet of Things.

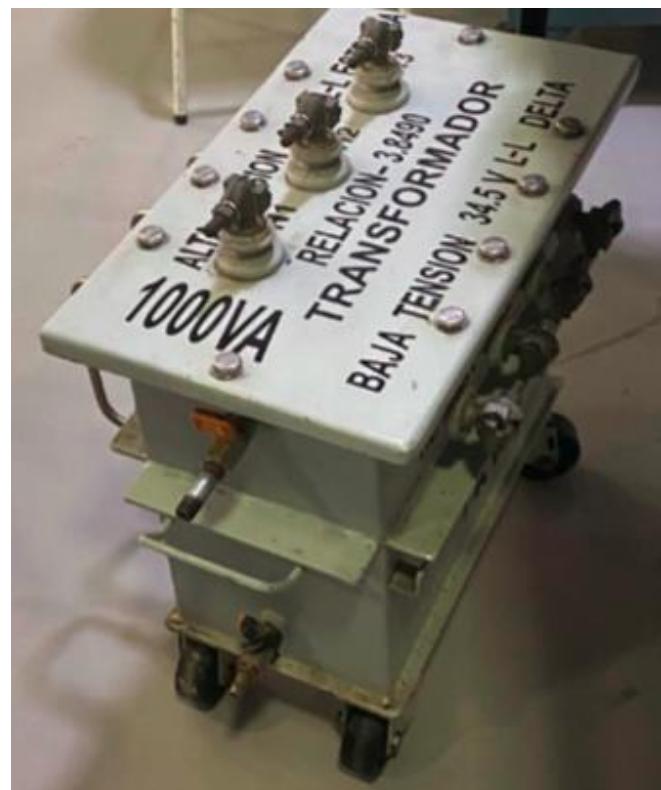
1. INTRODUCCIÓN

Como parte de la obtención de los parámetros de los transformadores eléctricos a través de pruebas eléctricas que son necesarias para aplicarlas a la máquina eléctrica, tal como

se menciona en [1-5]. Adicionalmente, el desarrollo de aplicaciones en la nube se encuentra cada vez más integrado en diversas áreas laborales y educativas, para lo anterior se tiene que el uso de diversas herramientas electrónicas y de integración a la nube que favorece el desarrollo de múltiples aplicaciones que resuelven problemas específicos [6-14]; en este caso, el hacer pruebas de trabajo en los transformadores que son máquinas eléctricas que tienen parámetros en estado estable que ayudan a predecir su comportamiento antes de que entren en funcionamiento. En condiciones normales se tiene que hacer interconexiones que pueden ser complicadas y en algunos casos pueden ser erróneas.

En las siguientes secciones se describen las características de implementación de un banco de pruebas en el cual mediante instrumentación sencilla se pueden adquirir información que nos ayude a describir el comportamiento del transformador y como se puede interconectar un servidor de NodeRED que ayuda a mostrar los valores y apoyen en el cálculo de los parámetros de la máquina eléctrica.

Figura 1 Transformador para pruebas eléctricas, en este caso se tiene capacidad para transformadores hasta de 1.5 KVA



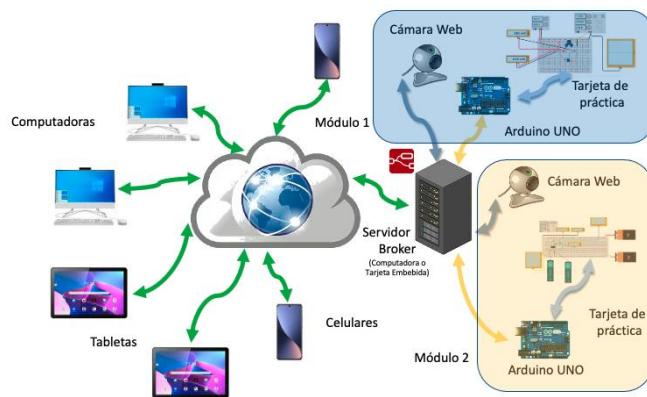
2. DESARROLLO

2.1 Estrategia de implementación

¿Cuál es la herramienta más adecuada para una implementación rápida del banco de pruebas con posibilidad de IoT (Internet de las Cosas)? Para responder a esta interrogante, existen diversas opciones que requieren un

conocimiento avanzado en programación, así como la capacidad de desarrollar sistemas para la gestión y comunicación con sensores y actuadores. Además, es fundamental que estos sistemas permitan la visualización a través de la web en distintos dispositivos, como teléfonos móviles, tabletas y computadoras de escritorio. En nuestra propuesta, se analizaron diversas alternativas, muchas de las cuales exigían un dominio técnico de lenguajes como NodeJS, Java y Python. No obstante, una herramienta destacó por su facilidad de implementación y su capacidad para operar en múltiples plataformas: Node-RED. Este sistema permite diseñar soluciones discretas mediante una interfaz gráfica, eliminando la necesidad de escribir código, lo que facilita una implementación ágil para el control de variables y sensores en diferentes entornos, como se muestra en la Figura 2, se muestra una estructura estándar de un sistema de interconexión para un laboratorio remoto, que en este caso servirá de interfaz para interconectar la tarjeta de arduino qué es pasarela y en este caso un servidor que con el NodeRED que servirá a su vez para presentar remotamente la sección de la práctica correspondiente.

Figura 2 Elementos de implementación de un laboratorio remoto.



2.2 Interconexión del transformador

Esta etapa consiste en el intercambio de conexiones necesarias en cada una de las prácticas, el uso de relevadores y contactores se hace necesario para soportar las corrientes y voltajes de corriente alterna que en el caso de uso de niveles nominales como 127 volts y con corrientes elevadas como en las pruebas de cortocircuito, implica que se use un arreglo de relevador y contactor, que en este caso debido a que no existen cambios inmediatos en las interconexiones, la respuesta de estos dos elementos simple en cuanto aspectos de respuesta (en este caso de acuerdo a la especificación de 10 mS) cumple en cuanto al funcionamiento.

Para este caso se tiene el uso de relevadores de tipo micro MD-5 que se pueden conectar directamente a los pines del microcontrolador, estos relevadores a su vez sirven para interconectar con contactores que soportan ya niveles aceptables de corriente y voltaje, para cada una de las

prácticas a desarrollar. Las prácticas en las que se trabajó la propuesta son las siguientes:

1. Identificar polaridad
2. Identificación de relación de vueltas
3. Prueba de vacío
4. Prueba de corto circuito

En este caso se tienen diversas formas de interconexión las cuales se muestran en las figuras siguientes, como se puede observar en todos los casos se interconectan las terminales del transformador e internamente se hace la conexión correspondiente de cada actividad práctica o prueba.

Figura 3 Interconexión del transformador en prueba de corto circuito.

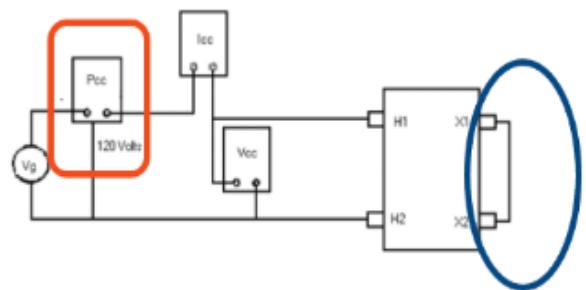
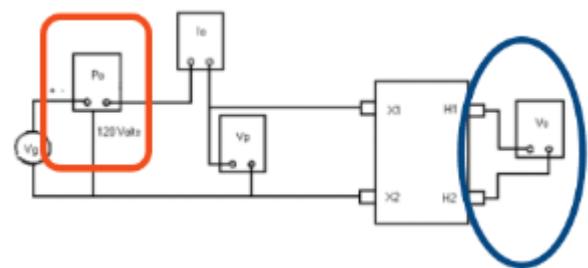


Figura 4 Interconexión en configuración de transformador al vacío.



En el caso de medidores de potencia se obtienen por aproximación al multiplicar la corriente por el voltaje, con eso sustituimos el uso del medidor en cuestión.

2.3 Medición de señales de voltaje/corriente e interconexión

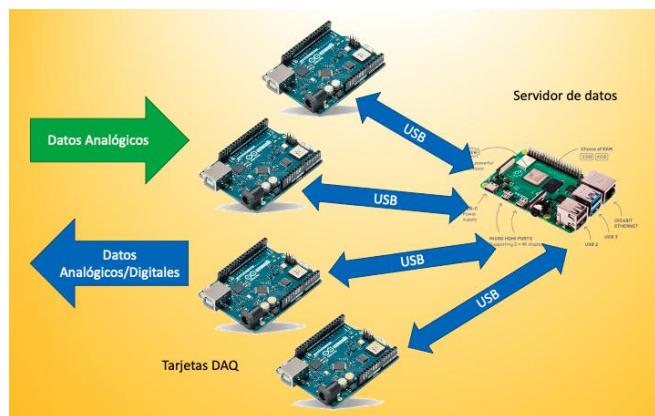
En cuanto a la integración de las respectivas mediciones de voltajes, corrientes y relevadores para interconectar al transformador de acuerdo con las pruebas que se le vayan a hacer, se tiene una estructura de nodos de adquisición de datos, que son utilizados para las lecturas y escrituras de la información y preparación de los elementos que se requieren para el correcto funcionamiento de la prueba. En la Figura 5 se muestran los nodos de acceso de programación visual del arduino.

Figura 5 Nodos de NodeRED de acceso al arduino que son utilizados para el control y ajuste de cada una de las prácticas.



La Figura 6 presenta la disposición física de los elementos utilizados para la fusión e integración de datos. En este esquema, se emplea el protocolo *Firmata*, que permite identificar cada tarjeta y gestionar una red extensa de adquisición de datos. Para este caso específico, se utilizan únicamente dos tarjetas Arduino y una Raspberry Pi.

Figura 67 Estructura del Sistema de Adquisición de datos y control de relevadores, basado en Raspberry Pi y arduinos.



Es en esta parte en donde se centra la parte principal del proyecto ya que se tiene que capturar la información y procesarla para su correcto envío de datos. Una ventaja es que los sensores para el desarrollo del proyecto se encuentran estandarizados en cuanto a la forma de interconectar a diversas plataformas de adquisición de datos, en este caso el arduino UNO en su faceta de pasarela de información basado en el protocolo firmata [10-12].

Todos estos elementos, al momento independientes aportan información de su comportamiento en condiciones en algunos casos en vacío, que es el caso de los paneles y generador eléctrico, que en otras etapas del proyecto se desarrollará para otra decisión importante en el desarrollo del proyecto.

Es de suma importancia la selección de los elementos sensores que, para este caso, para fines de corriente y voltaje, en el caso de los sensores de corriente se tienen contemplados sensores que no tienen contacto con capacidad de lectura en corriente continua a 50 amperes, con una fácil adaptación a la entrada analógica del arduino, que para fines de un aprovechamiento de la escala se diseñó una interfaz con amplificadores operacionales para llevar a la escala de 5 voltos. El sensor se muestra en la Figura 7.

Figura 7 Sensor de corriente de efecto Hall para la lectura de corriente alterna.



Para describir la respuesta del sensor de corriente de efecto Hall se tiene una respuesta lineal y compatibilidad acoplamiento a las entradas analógicas usando un circuito compensador de voltaje sugerido por el fabricante, en la ecuación número 1, su función de transferencia es la siguiente:

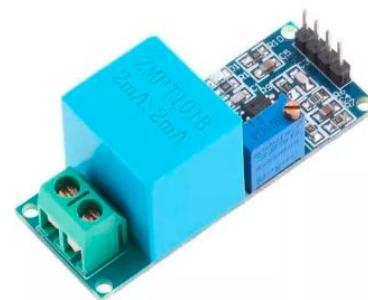
$$v(t) = 2.5 + \left(\frac{I}{I_N} \right) * 6.25 \quad [1]$$

En donde:

$v(t)$	Voltaje de salida del sensor
I	Corriente que pasa por el sensor
I_N	Corriente permitida por el sensor

En el caso de la medición de voltaje se cuenta con un sensor de implementación directa a la línea de medición de voltaje, para lo cual se tiene una lectura de una escala de 0 a 250 voltos de detección con su respectivo ajuste de escala para cubrir lo necesario para la escala completa del arduino 0 a 5 voltos en este caso. A continuación, en la Figura 8 se muestra el sensor **ZMPT101b**.

Figura 8 Sensor de voltaje ZMPT101b compatible con nuestra tarjeta arduino.



3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado de la propuesta se tiene la posibilidad de implementar el banco de pruebas desde el punto de vista

electrónico aplicando herramientas ya conocidas logrando la integración de sensores y actuadores con la plataforma de fusión de datos implementada con dos arduinos UNO + un Raspberry PI, cumpliendo de manera inicial el propósito de factibilidad de implementación desde la perspectiva electrónica.

3.1 Trabajo futuro

Al momento se encuentra en la etapa de implementación del conjunto de sensores ya de manera definitiva se está haciendo el tablero en donde empotra la electrónica y los arneses de conexión del transformador del banco de pruebas, por otro lado, el ajuste de presentación del acondicionamiento de la prueba a realizar en teléfonos móviles es un proyecto que se ajustará posteriormente.

3.2 Agradecimiento

Para el desarrollo del presente proyecto se agradeció al Tecnológico Nacional de México, por la adquisición de los diferentes dispositivos y los espacios de trabajo en el Laboratorio de Ingeniería Electromecánica de la institución y así mismo al Campus Nuevo León por las facilidades de implementación del proyecto.

4. REFERENCIAS

- [1] Xiong, G., Xue, W., Hao, L., Bo, X., Teng, Y., Kai, X., ... & Le, W. J. (2025). Quality Monitoring Method for Control Diagram of Low Voltage Metering Current Transformer Automatic Testing System. In *Frontier Academic Forum of Electrical Engineering*(pp. 588-596). Springer, Singapore.
- [2] Dai, J. J. (2025). *Industrial and Commercial Power System Analysis Fundamentals and Practice*. John Wiley & Sons.
- [3] Jesus, N. C., Bonatto, B., Torquato, R., Cogo, J., Duarte, L., & Laurentino, A. Measurements and Simulations in the Analysis of Transformer Failures During Vacuum Circuit Breaker Switching and Surge Protector Applications. *Available at SSRN 5091863*.
- [4] Bazi, S., Nhaila, H., & El Khaili, M. (2024, May). Artificial Intelligence for Diagnosing Power Transformer Faults. In *2024 4th International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology (IRASET)* (pp. 1-8). IEEE.
- [5] Van Geet, O., & Sickinger, D. (2024). *Best practices guide for energy-efficient data center design* (No. NREL/TP-5R00-89843). National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO (United States).
- [6] Ma, Y., Chen, S., Ermon, S., & Lobell, D. B. (2024). Transfer learning in environmental remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 301, 113924.
- [7] Enriko, I. K. A., Dewi, M. K., Indriyanto, S., & Gustiyana, F. N. (2024). Control and Monitoring System of Growing Media for Cucumber Plants Based on the Internet of Things. *JURNAL MEDIA INFORMATIKA BUDIDARMA*, 8(1), 195-202.
- [8] Gören, T., Ten, C. W., & Mehrizi-Sani, A. (2024). *Electric power distribution engineering*. CRC press.
- [9] Alharbi, F. (2024). Integrating internet of things in electrical engineering education. *International Journal of Electrical Engineering & Education*, 61(2), 258-275.
- [10] Khang, A., Abdullayev, V., Hahanov, V., & Shah, V. (Eds.). (2024). *Advanced IoT technologies and applications in the industry 4.0 digital economy*. CRC Press.
- [11] Adi, P. D. P., Kristiyanto, A., Sopandi, A., Nirmala, I., Tahir, M., & Wijaya, E. Y. (2024, August). Performance Evaluation of Raspberry Pi Pico for Internet of Things and Its Analysis. In *2024 4th International Conference on Electronic and Electrical Engineering and Intelligent System (ICE3IS)* (pp. 7-12). IEEE.
- [12] Hassan, N., Gaur, A., Jadaun, Y., & Bhasney, A. (2024, May). IoT-Enabled Medicine Dispenser for Pills and Liquid Medication. In *2024 2nd International Conference on Advancement in Computation & Computer Technologies (InCACCT)* (pp. 905-910). IEEE.
- [13] Kummarli, N., KV, J., Kalidindi, T. V., Choppari, A., & Moghekar, R. (2024). Voice and Hand Gesture Controlled Home Automation. *Available at SSRN 4838697*.
- [14] Hussien, N. A., Daleh Al-Magsoosi, A. A., AlRikabi, H. T. S., & Abed, F. T. (2021). Monitoring the Consumption of Electrical Energy Based on the Internet of Things Applications. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 15(7).