



Sistema inalámbrico basado en IoT para la medición temperatura y velocidad en un motor de inducción

IoT-based wireless system for the measurement of temperature and speed in an induction motor

Samir Correa Esquivia ^a, Andrés F. Sánchez ^b, Johnatan M. Rodríguez Serna ^c & Melisa Barrera ^d

^a Universidad de Antioquia, Medellín - Colombia, samir.correa@udea.edu.co

^b Magíster en Ingeniería, docente Universidad de Antioquia, Medellín - Colombia, afelipe.sanchez@udea.edu.co

^c Universidad de Antioquia, Medellín - Colombia, jmauricio.rodriguez@udea.edu.co

^d Universidad de Antioquia, Medellín - Colombia, melisa.barrera@udea.edu.co

Recibido: septiembre 30, 2022. Aceptado: diciembre 10, 2022

Resumen

Los motores de inducción son máquinas eléctricas bastante utilizadas en diferentes procesos industriales debido a algunas características como su robustez y eficiencia. Su utilización en procesos esenciales y complejos dentro de las cadenas de producción requiere de la implementación de sistemas de monitorización y supervisión para garantizar su operación segura, continua y confiable. Los sistemas remotos de control, monitorización y supervisión de los motores de inducción deben permitir la integración de diferentes equipos de automatización, además, deben ser escalables y flexibles. Adicionalmente, es deseable que dicho sistema posibilite la adquisición de variables críticas, como la temperatura y la velocidad, que permitan realizar estimaciones en tiempo real de las condiciones de operación del motor, así como la elaboración de diagnósticos y pronósticos de condiciones de falla. Este artículo presenta una alternativa novedosa para la implementación de un sistema de monitorización de la temperatura y velocidad en motores de inducción, con las características anteriormente mencionadas, y basado en tecnologías de Internet de las Cosas. La comunicación entre los dispositivos que conforman el sistema de monitorización propuesto se hace mediante el estándar de comunicación de largo alcance (Long Range, LoRa). El servidor local se implementa usando un Raspberry Pi, el cual, a su vez, permite enviar esta información a una plataforma de Internet de las Cosas en la nube. Para la adquisición de las señales de temperatura y velocidad se diseñaron sendas tarjetas que cuentan con microprocesadores PIC16F1827 y un DIP Switch para la asignación de direcciones. La interfaz de usuario se implementa mediante la herramienta Node-RED. Finalmente, la gestión de la información en la nube se realiza mediante un servidor de mensajes de código abierto que implementa el protocolo MQTT. Se muestran resultados de algunas pruebas en las cuales se verifica el adecuado desempeño del sistema propuesto y se presentan las potencialidades, no solo para la monitorización de otras variables eléctricas y mecánicas, sino también para el diagnóstico y gestión de los motores de inducción. Los resultados indican que el sistema obtenido es bastante funcional, escalable y flexible en su topología, permite la integración de diferentes equipos y dispositivos multimarca y es de bajo costo en comparación con otros dispositivos comerciales. Adicionalmente, el sistema propuesto es descentralizado y basado en tecnologías de acceso abierto (open source).

Palabras clave: Motor de inducción, sistemas embebidos, red inalámbrica, Internet de las Cosas, IoT, monitoreo, acceso abierto.

Abstract

Induction motors are electrical machines widely used in different industrial processes due to some characteristics, such as their robustness and efficiency. Its use in essential and complex processes within production lines requires the

Citar como:

S. Correa, A. Sánchez, J. Rodríguez & M. Barrera. "Sistema inalámbrico basado en IoT para la medición temperatura y velocidad en un motor de inducción". Revista CINTEX, Vol. 27(2), pp. 32-42. 2022. DOI: <https://doi.org/10.33131/24222208.385>

implementation of monitoring and supervision systems to guarantee its safe, continuous, and reliable operation. The remote control, monitoring, and supervision systems of induction motors must allow the integration of different automation equipment and must also be scalable and flexible. Additionally, said systems should enable the acquisition of critical variables, such as temperature and speed, which allow real-time estimations of the motor operating conditions and the development of diagnoses and forecasts of fault conditions. This article presents a novel alternative for implementing a temperature and speed monitoring system for induction motors with the above characteristics and based on IoT technologies. The communication between the devices that make up the proposed monitoring system is performed through the LoRa communication standard. The local server is implemented using a Raspberry Pi, which, in turn, allows this information to be sent to an IoT platform in the cloud. Two cards were designed to acquire the temperature and speed signals with PIC16F1827 microprocessors and a DIP Switch for assigning addresses. The user interface is implemented using the Node-RED tool. Finally, the information management in the cloud is done through an open-source server that implements the MQTT protocol. Results of some tests are shown in which the adequate performance of the proposed system is verified, and the potentialities are presented, not only for monitoring several electrical and mechanical variables but also for diagnosing and managing induction motors. The system obtained is quite functional, scalable, and flexible in its topology. It allows the integration of different equipment and multi-brand devices at a lower cost than other commercial devices. Additionally, the proposed system is decentralized and based on open-source technologies.

Keywords: Induction motor, embedded systems, wireless network, Internet of Things, IoT, monitoring, open source.

1 INTRODUCCIÓN

El internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés) es una muestra del acelerado avance tecnológico que han tenido la automatización y el control [1], resultado de los avances de la internet y los procesos de control, monitorización y supervisión de los sistemas remotos. La IoT permite la comunicación entre diferentes dispositivos, tales como sensores, actuadores, controladores y sistemas de gestión a través de software, lo que permite además del intercambio de información entre ellos, la toma de acciones dependiendo de la información recibida [2].

Debido a la importancia de los motores eléctricos de inducción en los procesos industriales [3], [4], comercialmente se tienen varias alternativas de diversos fabricantes para el monitoreo de las variables eléctricas de motores eléctricos de inducción en tiempo real [4]–[8]; sin embargo, estos no siempre permiten realizar control sobre el motor de manera sencilla y directa, no posibilitan la integración con otros equipos de automatización y son desarrollados mediante protocolos propietarios, lo que además limita el escalamiento y flexibilidad de los esquemas de control y automatización, en un sistema donde se aplique tecnología IoT.

Varios estudios han propuesto diferentes herramientas para realizar la monitorización de motores eléctricos de inducción trifásicos [9]–[21], compuestas por una parte física, típicamente tarjetas de adquisición de datos, para la medición de corrientes, tensiones y potencias, y una parte lógica, implementada en un software especializado como LabVIEW, TIA PORTAL o MATLAB®. Estos sistemas se han enfocado en la captura de los datos de cada variable de interés, pero algunos no permiten control sobre el motor con base en las variables analizadas, lo que limita su utilización en sistemas escalables con tecnología IoT.

De lo anterior es claro que una alternativa basada en IOT y de código abierto para el control de motores de inducción es una necesidad con el fin de abaratar las estrategias de control y hacerlas más flexibles y dinámicas. En este artículo se presenta el diseño de un sistema alternativo y novedoso para el control y monitoreo de variables eléctricas en motores de inducción con protocolos de código abierto, que permite una interoperabilidad e integración con diferentes sistemas y dispositivos, y que, además, posibilita la gestión de las variables eléctricas y la estimación de las condiciones de operación según requerimientos definidos por el usuario. También se presentan algunos resultados de las pruebas realizadas que permiten demostrar su funcionamiento y potencialidades. Este artículo se organiza de la siguiente manera: primero, se presenta el diseño conceptual; luego, se describe la prueba y se muestran los resultados y el análisis, y finalmente, se presentan las conclusiones.

2 DISEÑO CONCEPTUAL

En esta sección se describen en detalle las diferentes etapas que conforman el sistema descentralizado

remoto, basado en tecnologías IoT y de código abierto, para la adquisición de variables eléctricas de un motor de inducción trifásico. Como se observa en la Figura 1, el sistema está constituido por una serie de módulos y dispositivos, que permiten el monitoreo de velocidad angular del motor, temperatura en las espiras del bobinado estático, tensión, corriente y potencia de alimentación.

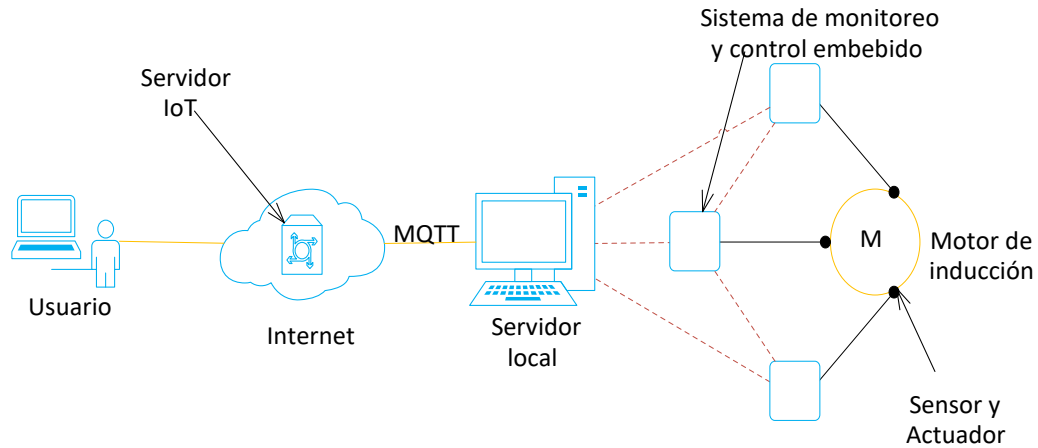


Figura 1: Estructura del sistema.

A continuación, se describen las componentes del sistema diseñado de derecha a izquierda según se muestra en la Figura 1. Para la medición de velocidad y temperatura se diseñó una tarjeta, que entre sus componentes cuenta con un microcontrolador PIC16F1827; un dispositivo de comunicación de largo alcance (Long Range, LoRa), para la comunicación con el servidor local, y un DIP Switch, el cual permite realizar la asignación de la dirección a cada una de las tarjetas que componen el sistema general. Para la medición de la velocidad se instaló un encoder en el motor de inducción, que es el encargado de enviar los pulsos que posteriormente son procesados e interpretados por medio de la tarjeta de adquisición de datos. La información procesada se presenta en una interfaz de usuario, haciendo uso de la herramienta de programación visual Node-RED. Por su parte, las variables eléctricas en las líneas de alimentación del motor de inducción; tensión, corriente y potencia, son adquiridas a través del medidor multifuncional EasyLogic PM2120 de Schneider Electric [22], que cuenta con comunicación modbus RS485, permitiendo de esta manera que la información de las variables medidas sea enviada al servidor local.

El servidor local se implementó con el microprocesador Raspberry Pi que funciona con el sistema operativo Raspbian [23], que permite recibir datos y analizarlos, así como enviar alarmas e informes al servidor IoT. Éste se comunica con los transductores mediante el protocolo de comunicación LoRa y con el servidor IoT por medio de internet. Los algoritmos utilizados en la unidad de control se programaron usando el lenguaje de programación Node-RED. La gestión de la información en la nube se realiza haciendo uso de Mosquitto, el cual es un servidor de mensajes de código abierto que implementa el protocolo MQTT ampliamente usado, ya que proporciona un método ligero de mensajería usando un modelo de publicación/suscripción, lo cual lo hace adecuado para todos los dispositivos del IoT, desde sensores de baja potencia, microprocesadores, servidores complejos o dispositivos móviles [24].

Adicional a lo anterior, se diseñó una tarjeta de adquisición de datos que permite realizar las mediciones de velocidad angular del rotor y la temperatura de los bobinados en el estator. Dicha tarjeta debe ser configurada para uno de los dos fines, previa decisión del usuario, ya que no es posible medir las dos variables de manera simultánea con una única tarjeta. En la Figura 2, se presenta la tarjeta de medición de temperatura y velocidad diseñada y se destacan los componentes de la tarjeta, encerrados con rectángulos de color rojo, tal como se listan a continuación:

1. Borneras de alimentación en corriente alterna para el suministro de energía del sistema;
2. Bornera de conexión de los sistemas de toma de datos, puede ser un encoder para la medición de velocidad angular del rotor o un sensor de temperatura tipo sonda, para la medición de temperatura en las bobinas del estator;
3. Bornera de conexión para realizar la programación del micro que controla la tarjeta;
4. Dispositivo de comunicación LoRa, el cual permite realizar la comunicación con el servidor local, y, por ende, el envío de la información capturada;
5. DIP Switch, el cual permite realizar la asignación de la dirección a cada una de las tarjetas que componen el sistema general;
6. Fuente AC/DC para alimentación de los componentes, y
7. El microcontrolador PIC16F1827, que es el procesador o cerebro de la tarjeta.

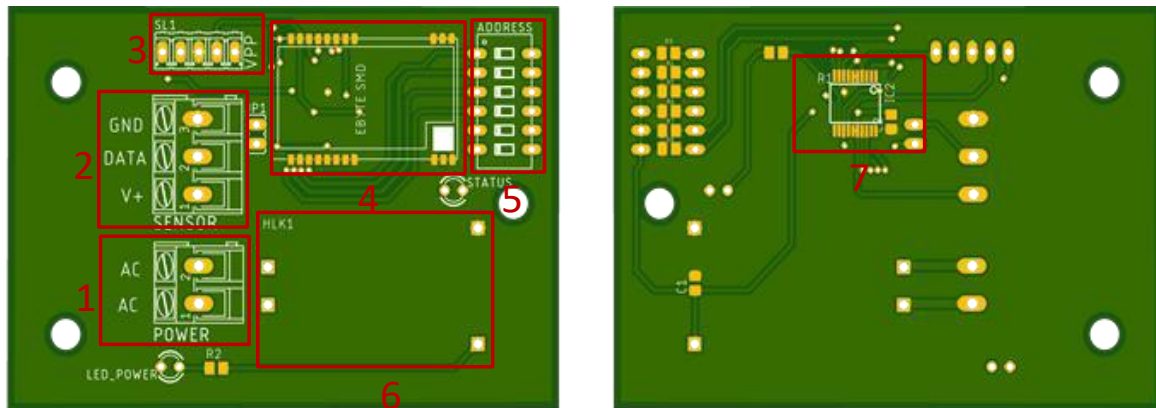


Figura 2: Tarjeta diseñada para medición de velocidad y temperatura. vista superior (izquierda) y vista inferior (derecha).

3 DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA

A continuación, se muestran los resultados de algunas pruebas realizadas que permiten verificar el funcionamiento general del sistema propuesto, así como sus potencialidades. Para el desarrollo de las pruebas se utilizó un motor de inducción De Lorenzo DL 2053A que cuentan con las características que se muestran en la Figura 3.

DE LORENZO		
20 Viale Romagna - 20089 ROZZANO (Milano) ITALY		
DL 2053A	3 ~ M	S/N 08/00878.1
220 / 380V ΔY	12.8 / 6.8A ΔY	
3kW	cos φ = 0.85	
1680min ⁻¹	60Hz	
380V	5.5A	
F IEC 34-1	CE	IP 44

Figura 3. Placa de especificaciones del motor probado.

En el motor se simuló fallas en el devanado del rotor y se midieron variables como la temperatura en °C en el bobinado estatórico, la velocidad del rotor en RPM, las corrientes en cada una de las fases que alimentan el estator, y el factor de potencia. Los valores de las variables medidas son comparados en las condiciones con y sin fallas en el rotor.

Para realizar la medición de temperatura, se instaló un sensor de temperatura análogo MCP9700 de bajo consumo, el cual convierte la temperatura en una tensión analógica. En la Figura 4 se muestra la instalación del sensor de temperatura directamente en el estator de motor bajo estudio.



Figura 4. Instalación del sensor de temperatura en el devanado del estator.

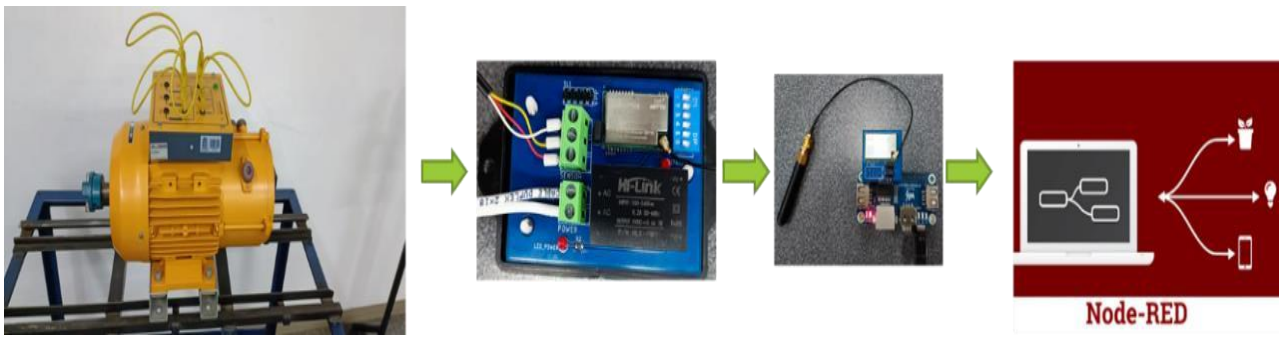


Figura 5. Sistema para la adquisición temperatura en el estator del motor.

En la Figura 5 se muestran las diferentes componentes utilizadas para la medición de temperatura y que han sido descritas con mayor detalle en el numeral anterior de este documento. Una vez instalado el sensor de temperatura en el bobinado del estator, se procede a la conexión de este en la tarjeta diseñada para la captura de los datos, que es la encargada de recolectar y transmitir los valores tomados cada 0,5 segundos al servidor local. Luego, por medio de Node-RED, se publica la información en la nube y se presenta de manera remota en una interfaz de usuario. Para la medición de velocidad angular, a la tarjeta programada, se conectó un encoder Omron E6B2 de 2000 P/R, el cual había sido previamente acoplado al eje del motor bajo prueba. En la Figura 6 se muestra la instalación del encoder en el rotor del motor bajo estudio.



Figura 6: Sistema para la adquisición temperatura en el estator del motor.

En la Figura 7 se muestran las diferentes componentes utilizadas para la medición de velocidad y que han sido descritas con mayor detalle en el numeral anterior de este documento.



Figura 7: Sistema para la adquisición velocidad angular del rotor.

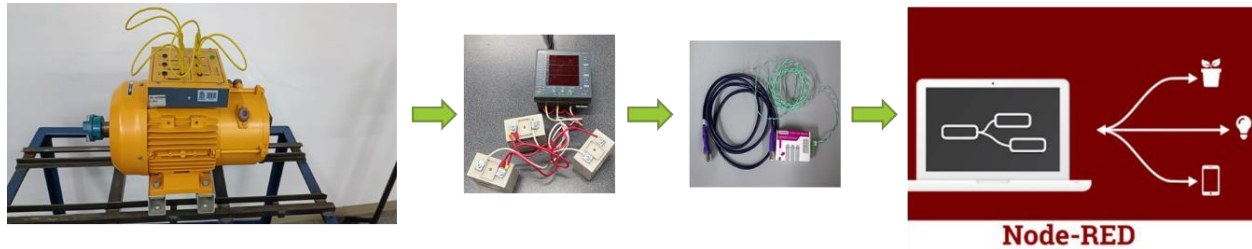


Figura 8: Sistema para la adquisición de variables eléctricas del motor.

En la Figura 8 se presentan los equipos utilizados para realizar la adquisición de las variables eléctricas. Con la información recolectada, es posible implementar informes de los eventos presentados durante el funcionamiento del motor, al igual que un historial con el que se podría implementar analítica de datos y de esta forma hacer predicciones del funcionamiento del motor de inducción.

4 ANÁLISIS Y RESULTADOS

La prueba realizada consistió en simular una falla en el bobinado del rotor del motor de inducción DL 2053A DE LORENZO, el cual cuenta con tres terminales de conexión marcadas como K, L y M, las cuales deben ser conectadas en cortocircuito (en lo que se denomina operación normal) para iniciar la marcha como si fuera un motor jaula de ardilla. Inicialmente, se procede a poner en marcha el sistema con dicho motor bajo funcionamiento normal con las tres terminales del rotor en cortocircuito, como se observa en la Figura 9 (a).



Figura 9. Motor de rotor devanado en operación normal (izquierda), y con falla en el rotor (derecha).

Una vez el motor se encuentra en marcha, se procede a generar la falla, que consiste en retirar el cortocircuito entre las terminales K y L ("operación en falla") como se observa en la Figura 9, generando una serie de comportamientos anormales en la máquina, reflejados en cada una de las variables medidas: temperatura, velocidad, corriente, factor de potencia y voltaje. Luego de analizar los resultados de las mediciones, se concluyó que las principales variables de interés para la condición de falla estudiada son temperatura en las bobinas del estator, velocidad del rotor, factor de potencia y corrientes del estator. En las magnitudes de estas variables se logra evidenciar una relación directa con el estado de operación del motor de inducción, es decir, permiten inferir el estado de funcionamiento del motor, operación normal y operación bajo falla en el rotor.

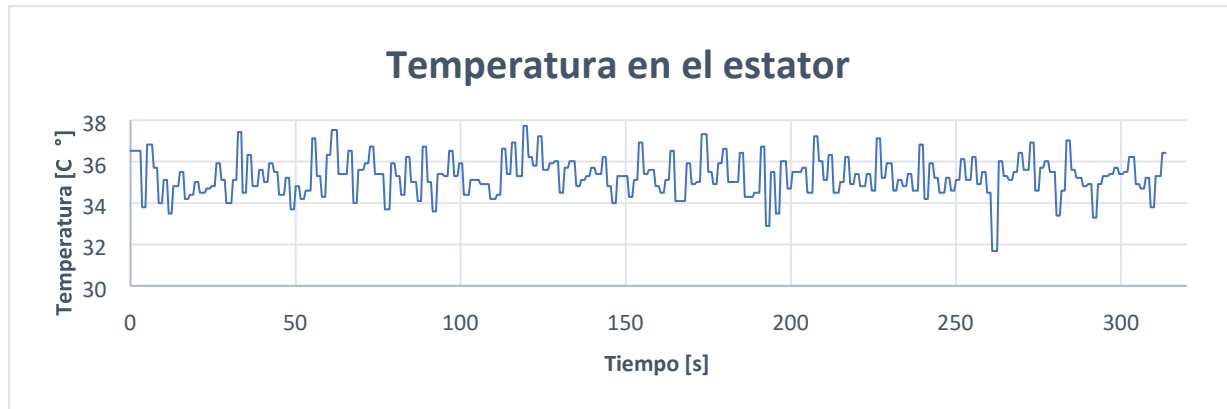


Figura 10: Medida de temperatura.

La Figura 10 muestra los resultados de la medición de temperatura; los datos presentados fueron tomados cada 0,5 segundos, donde los valores entre los 0 y 150 segundos hacen referencia al estado de funcionamiento normal, mientras que los valores entre el rango de los 150 y los 320 segundos reflejan el estado de funcionamiento con falla. Se logra observar que los valores de temperatura son muy inerciales, y no tienen un comportamiento que permita a primera vista identificar un patrón que brinde la posibilidad de identificar claramente la falla presentada en el rotor. Debido a lo anterior, se realiza el cálculo de los valores máximo, promedio y mínimo, tanto para la etapa de funcionamiento normal como la de funcionamiento bajo falla, obteniéndose los resultados que se presentan en la Tabla 1.

TABLA 1
 Medida de temperatura

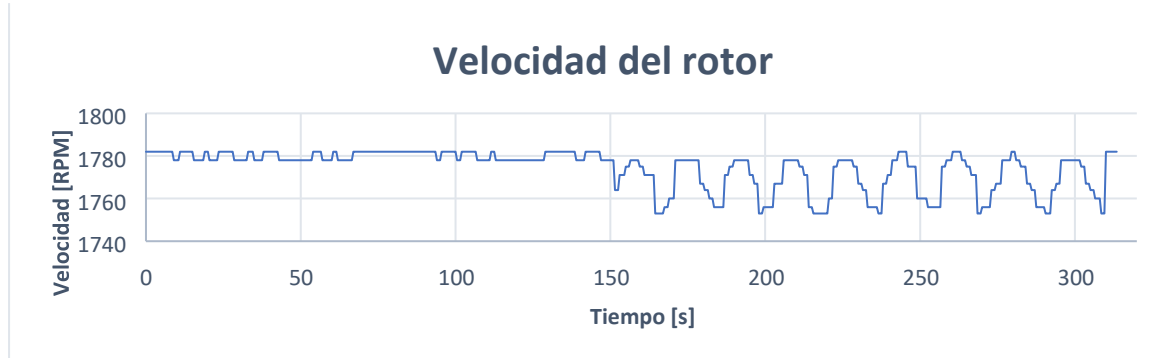
	Máximo			Promedio			Mínimo		
	Sin Falla	Con Falla	Δ (%)	Sin Falla	Con Falla	Δ (%)	Sin Falla	Con Falla	Δ (%)
Temperatura en C°	37,53	37,73	0,53	35,27	35,29	0,06	33,49	31,68	5,40

En la Tabla anterior se observa que existe una diferencia entre los valores de los datos relacionados con los dos tipos de operación, es decir se logra evidenciar un aumento en el valor máximo de la temperatura en lo que respecta a la operación con falla de 0,2° centígrados comparado con el funcionamiento en operación normal. Los resultados de las mediciones de velocidad, factor de potencia y corrientes, para las condiciones de operación normal y con falla se muestran en la Figura 11. Las principales características de los resultados de medición presentados en la Figura 11, se resumen en la Tabla 2, donde IL1, IL2, IL3 y FP corresponden a las corrientes en las líneas 1, 2, 3 y Factor de Potencia trifásico.

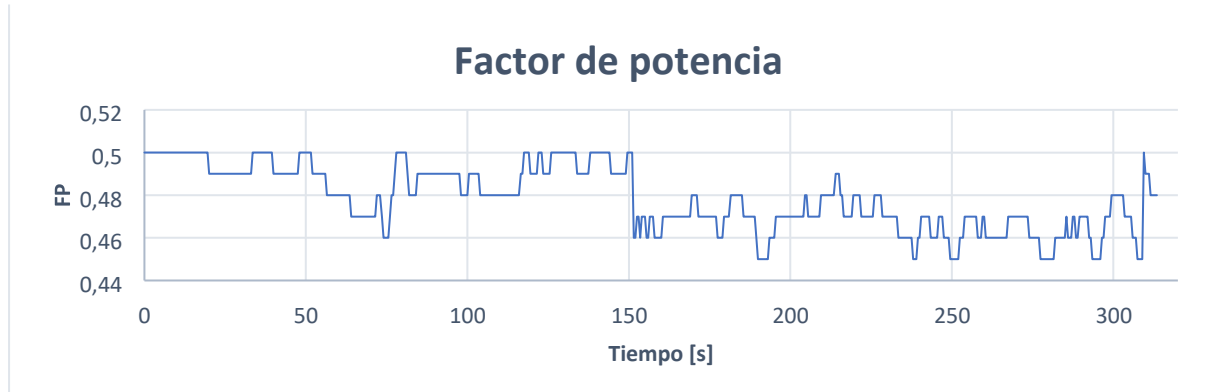
En los resultados presentados en la Figura 11 y la Tabla 2, se logra evidenciar que hay una correlación directa entre el comportamiento de la velocidad, el factor de potencia y las corrientes durante las condiciones de operación con y sin falla. En la Figura 11 (a), se puede notar que la velocidad en sus valores máximos, tanto en funcionamiento normal como con falla, conserva el mismo valor, caso contrario a lo ocurrido con los valores mínimos, que presentan una variación significativa de 1,41 %, lo que equivale a una diferencia de 29 rpm, dejando claro que existe una afectación directa muy importante en el funcionamiento del motor de inducción que es claramente evidenciada en la velocidad.

En la Figura 11 (b), que representa el comportamiento del factor de potencia, se puede observar un comportamiento similar, donde el valor máximo se continúa manteniendo tanto para la operación sin falla como durante la operación con falla, pero se evidencia una variación significativa en los valores mínimos de 2,17 %.

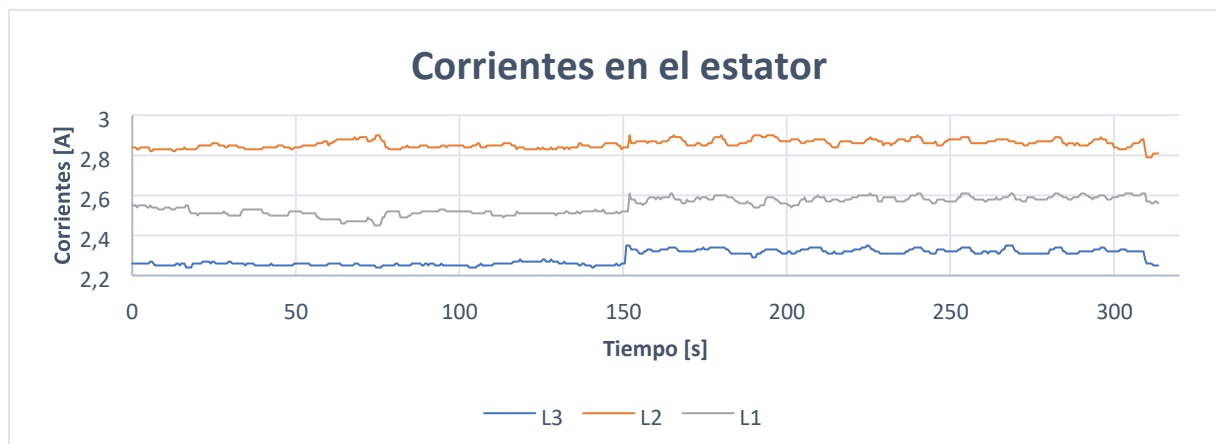
En la Figura 11 (c), que muestra el comportamiento de las corrientes que alimentan el estator del motor de inducción, se logra evidenciar un comportamiento en las tres líneas, el cual está caracterizado por un aumento en los máximos del consumo de corriente el cual es del 3,52 % para la línea L3, lo que deja claro que es en dicha línea donde se logran evidenciar de manera más significativa las consecuencias que genera la implementación del funcionamiento con la falla.



(a)



(b)



(c)

Figura 11: Histórico de velocidad del rotor (a), factor de potencia (b), corrientes en el rotor (c).

TABLA 2
MEDIDA VELOCIDAD DEL ROTOR, FACTOR DE POTENCIA, CORRIENTES EN EL ROTOR.

	Máximo			Promedio			Mínimo		
	Sin Falla	Con Falla	Δ (%)	Sin Falla	Con Falla	Δ (%)	Sin Falla	Con Falla	Δ (%)
Velocidad (rpm)	1782	1782	0,00	1780	1772	0,45	1778	1753	1,41
FP ()	0,5	0,5	0,00	0,49	0,47	4,08	0,46	0,45	2,17
IL1 (A)	2,55	2,61	2,35	2,51	2,56	1,99	2,45	2,45	0,00
IL2 (A)	2,9	2,9	0,00	2,85	2,86	0,35	2,82	2,79	1,06
IL3 (A)	2,27	2,35	3,52	2,26	2,30	1,77	2,24	2,24	0,00

5 CONCLUSIONES

Debido a su bajo costo, fácil fabricación y la posibilidad de hacer medidas de variables eléctricas en el motor de forma remota e inalámbrica, el sistema desarrollado es de gran utilidad, ya que puede ser implementado en la industria e incluso en el ámbito académico. Además, el sistema inalámbrico basado en IoT para la medición temperatura y velocidad en un motor de inducción tiene la capacidad de trabajar como esclavo; es decir, se puede conectar a un PLC u otra herramienta que lo controle, o efectuar el control de forma independiente.

La información recolectada y posteriormente almacenada, permite crear una base de datos que es posible consultar para llevar un historial de uso de los motores, con el cual se puede implementar control de planes de mantenimiento posteriores. Adicionalmente, el historial de la información almacenado puede ser utilizado para realizar análisis predictivo de posibles fallas en los motores, haciendo uso de Machine Learning. Y de esta manera, el sistema puede ser usado para realizar análisis de diagnóstico y desempeño de los motores de inducción con base en la información de las variables medidas y la creación de historiales y bases de datos de operación. Se pueden usar sistemas de inteligencia artificial para generar alarmas.

Para el desarrollo del sistema en general, se hace uso de software basados en código abierto y dispositivos de tecnología IoT, lo cual permite que el sistema sea flexible y escalable. Al sistema diseñado se pueden agregar otras tarjetas de medición de variables como de campo magnético, vibraciones y flujo axial que permitirían un diagnóstico preciso y completo del estado de salud de los motores de inducción.

Como trabajo futuro se modificará el sistema desarrollado para controlar de manera remota los motores de inducción. Adicionalmente, se harán pruebas, bajo diferentes condiciones de falla, que permitan obtener indicadores del estado de funcionamiento para análisis de diagnóstico.

REFERENCIAS

- [1] E. García Moreno, Automatización de procesos industriales: robótica y automática. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, Servicio de Publicaciones, 2020.
- [2] J. Novillo-Vicuña, D. Hernández Rojas, B. Mazón Olivo, J. Molina Ríos, y O. Cárdenas Villavicencio, Arduino y el Internet de las cosas. Editorial Científica 3Ciencias, 2018.
- [3] N. Mohan, T. M. Undeland, y W. P. Robbins, Electrónica de potencia: convertidores, aplicaciones y diseño, 3a. ed. México: McGraw Hill, 2009.

- [4] J. D. J. Vargas Ortega y C. M. Moreno Paniagua, «Resultados de la implementación de módulo embebido de conversión de tensiones en motores trifásicos», *Rev. CINTEX*, vol. 26, n.o 2, pp. 22-30, dic. 2021, doi: <https://doi.org/10.33131/24222208.377>
- [5] P. S. Huynh, D. Ronanki, D. Vincent, y S. S. Williamson, «Direct AC–AC Active-Clamped Half-Bridge Converter for Inductive Charging Applications», *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 36, n.o 2, pp. 1356-1365, feb. 2021, doi: 10.1109/TPEL.2020.3009395.
- [6] G. Petrauskas y G. Svinkunas, «Application of Single-Phase Supply AC-DC-AC VFD for Power Factor Improvement in LED Lighting Devices Loaded Power Distribution Lines», *Appl. Sci.*, vol. 12, n.o 12, p. 5955, jun. 2022, doi: 10.3390/app12125955.
- [7] V. Sousa Santos, J. J. Cabello Eras, A. Sagastume Gutierrez, y M. J. Cabello Ulloa, «Assessment of the energy efficiency estimation methods on induction motors considering real-time monitoring», *Measurement*, vol. 136, pp. 237-247, mar. 2019, doi: 10.1016/j.measurement.2018.12.080.
- [8] A. Florián, «Comparación de desempeño de observadores de estado en sistemas lineales con aplicación a un motor de corriente continua», *Rev. CINTEX*, vol. 23, n.o 1, pp. 51-59, oct. 2018, doi: <https://doi.org/10.33131/24222208.310>
- [9] Y. P. Alcazar Oviedo y others, «Monitoreo de motores de inducción trifásico a través de las corrientes eléctricas de alimentación», Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias, Colombia, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.utb.edu.co/handle/20.500.12585/10283>
- [10] C. A. Coba Guanochanga y C. M. Tenorio Chango, «Diseño e implementación de un sistema de monitoreo, para el análisis dinámico de un motor eléctrico asíncrono trifásico de 3 HP, en el Laboratorio de Control Eléctrico de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga», Bachelor Thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga, Ecuador, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/15649?locale-attribute=en>
- [11] S. Ruiz Álvarez y J. J. Espinosa, «Control de potencia y velocidad de rotación de un aerogenerador usando controladores predictivos», *Rev. CINTEX*, vol. 23, n.o 1, pp. 60-76, oct. 2018, doi: <https://doi.org/10.33131/24222208.311>
- [12] J. M. Duarte-Carvajalino, O. O. Guerrero-Díaz, y C. A. Carvajal-Labastida, «Estimación de los parámetros de motores de inducción a partir de las medidas de pérdidas de potencia», *Rev. UIS Ing.*, vol. 18, n.o 3, pp. 176-182, abr. 2019, doi: 10.18273/revuin.v18n3-2019018.
- [13] L. D. Murillo-Soto, C. Calderón-Arce, y G. Figueroa-Mata, «Detección de faltas en motores eléctricos con base en índices de potencias y redes neuronales», *Rev. Tecnol. En Marcha*, vol. 31, n.o 1, p. 81, mar. 2018, doi: 10.18845/tm.v31i1.3499.
- [14] C. E. Jacobo Ruiz, F. A. Peralta León, M. A. Rodríguez Blanco, I. Duran, y J. L. Vázquez Ávila, «AUTOMATIZACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EXTRACCIÓN DE PARÁMETROS DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN (AUTOMATED TEST BENCH TO EXTRACT THE PARAMETERS OF AN INDUCTION MOTOR)», *Pist. Educ.*, vol. 40, n.o 130, pp. 638-655, 2018.
- [15] C. O. Arreaga Villavicencio, «Diseño de un sistema de monitoreo y alerta de temperatura para motores industriales utilizando tecnología Zigbee», Bachelor Thesis, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/46678>
- [16] K. Mykoniatis, «A Real-Time Condition Monitoring and Maintenance Management System for Low Voltage Industrial Motors Using Internet-of-Things», *Procedia Manuf.*, vol. 42, pp. 450-456, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.02.050.
- [17] A. Lekbich, A. Belfqih, C. Zedak, J. Boukherouaa, y F. El Mariami, «A secure wireless control of Remote Terminal Unit using the Internet of Things in smart grids», en 2018 6th International Conference on Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM), Marrakesh, Morocco, oct. 2018, pp. 1-6. doi: 10.1109/WINCOM.2018.8629620.
- [18] H. Barksdale, Q. Smith, y M. Khan, «Condition Monitoring of Electrical Machines with Internet of Things», en SoutheastCon 2018, St. Petersburg, FL, abr. 2018, pp. 1-4. doi: 10.1109/SECON.2018.8478989.

- [19] A. Cano-Ortega y F. Sánchez-Sutil, «Monitoring of the Efficiency and Conditions of Induction Motor Operations by Smart Meter Prototype Based on a LoRa Wireless Network», *Electronics*, vol. 8, n.o 9, p. 1040, sep. 2019, doi: 10.3390/electronics8091040.
- [20] V. C. Khairnar y K. Sandeep K, «Induction Motor Parameter Monitoring System using Zig bee Protocol & MATLAB GUI : Automated Monitoring System», en 2018 Fourth International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics (AEEICB), Chennai, feb. 2018, pp. 1-6. doi: 10.1109/AEEICB.2018.8480992.
- [21] L. Magadán, F. J. Suárez, J. C. Granda, y D. F. García, «Low-cost real-time monitoring of electric motors for the Industry 4.0», *Procedia Manuf.*, vol. 42, pp. 393-398, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.02.057.
- [22] W. Z. Cabral, L. F. Sikos, y C. Valli, «Shodan Indicators Used to Detect Standard Conpot Implementations and Their Improvement Through Sophisticated Customization», en 2022 IEEE Conference on Dependable and Secure Computing (DSC), Edinburgh, United Kingdom, jun. 2022, pp. 1-7. doi: 10.1109/DSC54232.2022.9888911.
- [23] C. Hernandez, D. Velez, y J. A. Isaza, «Diseño de una plataforma de prueba de sensores virtuales para el sistema glucosa-insulina de pacientes UCI usando la técnica HIL», *Rev. CINTEX*, vol. 23, n.o 2, pp. 61-75, dic. 2018, doi: <https://doi.org/10.33131/24222208.318>
- [24] D. Dinculeană y X. Cheng, «Vulnerabilities and Limitations of MQTT Protocol Used between IoT Devices», *Appl. Sci.*, vol. 9, n.o 5, p. 848, feb. 2019, doi: 10.3390/app9050848.