




**Prototipo de un sistema de monitoreo de calidad energética en
sistemas trifásicos industriales mediante plataformas IOT**
*Prototype of an energy quality monitoring system in industrial three-
phase systems through IOT platforms*

Paladinez Armijo Jessica Priscila¹

Reino Vizuete Mishell Lisbeth²

Ing. Núñez Núñez Freddy Patricio³

 0000-0001-6095-0823

¹ Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, Ecuador jessicapaladinezarmijo@tsachila.edu.ec

² Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, Ecuador mishellreinovizuete@tsachila.edu.ec

³ Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, Ecuador freddynunez@tsachila.edu.ec

Recepción: 12 de septiembre de 2021

Aceptación: 17 de octubre de 2021

Publicación: 28 de diciembre de 2021

Citación/como citar este artículo: Paladinez, J., Reino, M. y Núñez, F. (2021). Prototipo de un sistema de monitoreo de calidad energética en sistemas trifásicos industriales mediante plataformas IOT. Ideas y Voces, 1(2), 67-82.



Resumen

Se implementó un prototipo para obtener parámetros eléctricos como: voltaje, corriente, potencias y factores de potencia utilizando medios no invasivos, herramientas de software libre y plataformas IoT. Se utilizó el módulo PZEM – 004T para la digitalización y entramado RS232 de las variables de calidad energética, las variables son enviadas al NodeMCU ESP8266 para que a través del protocolo MQTT se carguen a la plataforma IoT y puedan ser visualizados, se programó alarmas para que el usuario identifique inconvenientes. Finalmente, se efectuó mediciones con diversas cargas con un rango de error promedio de 0.76V y 0.18 A correspondientes a las fases.

Palabras clave

plataformas IoT, software libre, MQTT, calidad energética

Abstract

A prototype was implemented to obtain electrical parameters such as: voltage, current, powers and power factors using non-invasive means, free software tools and IoT platforms. The PZEM - 004T module was used for the digitalization and RS232 framing of the energy quality variables, the variables are sent to the NodeMCU ESP8266 so that through the MQTT protocol they are loaded to the IoT platform and can be visualized, alarms were programmed so that the user identifies problems. Finally, measurements were made with various loads with an average error range of 0.76V and 0.18 A corresponding to the phases.

Keywords

IoT platforms, free software, MQTT, energy quality

Introducción

“Utilizar la energía eficientemente no implica afectar los niveles de producción de bienes y servicios, sino evitar pérdidas” (Rojas Cala, 2020). En un sistema trifásico controlar la calidad energética es un factor fundamental para su correcto funcionamiento, al presentarse algún tipo de perturbación en la red eléctrica se ven afectados directamente los equipos conectados, esto influye de forma negativa en el rendimiento y vida útil. Los sistemas trifásicos tienen sus fases equilibradas entre sí, es decir, que sus corrientes son similares y mantienen un ángulo de desfase de 120° , de no ser este el caso una de las fases puede estar recibiendo mayor corriente sobrecargando y desequilibrando el sistema. Las cargas inductivas generan desfase debido al efecto reactivo, cuando esto ocurre a largo plazo el factor de potencia desciende y se ve afectada la calidad de energía, un factor de potencia inferior a 0.92 puede traer penalizaciones por parte de la empresa proveedora del servicio eléctrico, e incluso la interrupción de este. Por ello, cada cierto tiempo se requiere controlar las cargas inductivas o capacitivas utilizadas para mantener un factor de potencia adecuado.

Según (Barragán, Guzmán, Vélez, & Castillo, 2020) “la tecnología IoT se está volviendo más atractiva reemplazando tecnologías antiguas por otras nuevas esperando que para el 2023 haya alrededor de 20 mil a 50 mil millones de dispositivos conectados a IoT en el mundo”.

Con ayuda de las plataformas IoT el monitoreo de las variables en los sistemas trifásicos se puede llevar a cabo con retardos mínimos, estos datos se almacenarán en la nube y mediante una interfaz web será posible revisar los eventos del sistema eléctrico sin necesidad de estar presente en sitio. Por esta razón, aplicar Internet de las Cosas se convierte en una herramienta versátil para implementar un sistema de monitoreo,

permitiendo la conexión de distintos dispositivos físicos a la red reduciendo la intervención humana al mínimo.

Desde el punto de vista económico, ciertamente repercutirá en menos costos al ser implementado con plataformas de software y hardware libre para efectuar un control y almacenamiento de variables como: voltaje, corriente y potencia, además con la implementación de sensores no invasivos la afectación es mínima.

El presente proyecto usa plataformas IoT para el monitoreo de calidad energética en sistemas trifásicos, se implementó un prototipo usando plataformas de hardware y software libre para la adquisición de datos, almacenamiento en la nube y presentación gráfica de las variables. Se detallan varios aspectos para el estudio y construcción del prototipo analizador de calidad energética. El objetivo del proyecto es implementar un prototipo de un sistema de monitoreo de calidad energética en sistemas trifásicos industriales mediante plataformas IoT, para lo cual se analizarán los parámetros técnicos que intervienen en calidad energética, se construirá el prototipo y se validará el funcionamiento comparando las medidas obtenidas con equipos profesionales.

Metodología

El presente proyecto se realizó como una alternativa para analizar los factores energéticos en sistemas trifásicos de forma remota, implementando un prototipo con una interfaz web intuitiva que refleje los valores recopilados. El proceso que realiza el prototipo se divide en tres etapas que van desde la adquisición de los datos hasta la visualización en su interfaz web. (Ver Figura 1)

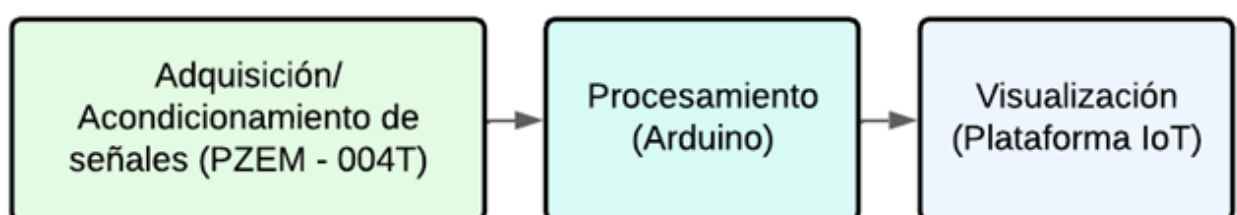


Figura 1: Diagrama de bloques por etapas del prototipo




Fuente: Autores

Análisis técnico de hardware y software requerido

Para determinar los elementos adecuados a utilizar se realizó una comparación entre distintos componentes. En la Tabla 1, se observan las características de distintas placas Arduino con el potencial para implementarlas en el prototipo.

Tabla 1

Características de las placas Arduino





CARACTERISTICAS	ARDUINO UNO	ARDUINO NANO	ARDUINO MICRO
MODELO			
Voltaje de uso/alimentación	5 /7-12	5 /7-12	5 /7-12
Microcontrolador	ATMEGA 328P	ATMEGA 328P	ATMEGA 32U4
Velocidad reloj	16MHz	16MHz	16MHz
Memoria Flash	32KB	16KB	32KB
I/O digitales	14	14	20
Corriente para 3.3V	50mA	50mA	50mA

Voltajes de salida	5V/ 3.3V	5V/ 3.3V	5V/ 3.3V
USB	Regular	Mini	Micro

En la Tabla 2, se realizó una comparación entre placas compatibles con el entorno de Arduino para realizar la conexión a internet, el factor principal que se tiene en cuenta es el voltaje de alimentación de modo de que sean compatibles con todos los elementos que se ocuparan.

Tabla 2

Características de placas para conexión a internet.




CARACTERÍSTICA	SHIELD ETHERNET	ESP8266	ZIGBEE XBEE S2	NODE MCU 8266
Modelo				
Voltaje de alimentación	5V	3.3V-3.6V	2.1V – 3.6V	3.3V
Conectividad	RJ45	WIFI	Inalámbrica	WIFI
Temperatura	-40°C a 85°C	-40°C a 125°C	-40C a 85°C	-40°C a 125°C
Frecuencia	-	2.4GHz - 2.5GHz	2.4GHz	2.4GHz

Estándar	IEEE802.3af	IEEE 802.11	IEEE 802.15.4 Protocolo Zigbee	Wifi 802.11
-----------------	-------------	----------------	--------------------------------------	-------------

La Tabla 3, muestra los sensores de corriente no invasivos en base a la corriente que pueden recibir, van desde 30 A hasta 100 A.

Tabla 3

Características de sensores no invasivos.

CARACTERISTICAS	SCT-013-000	SCT-013-030	PZCT-02
Modelo			
Corriente de entrada	0 a 100 A	0 a 30 A	-
Temperatura	-25°C a 70C	-25°C a 70C	-40°C a 85C
Relación de vueltas	2000:1	1800:1	-
Resistencia dieléctrica	6000V AC/1min	1000V AC/1min	1000V AC/1min
Modo de salida	0 a 50 mA	0 a 1 V	0 a 100 A

Las principales características del módulo utilizado que se muestran a continuación en la Tabla 4, cuenta con un nivel de resolución y precisión bajo para cada parámetro energético.

Tabla 4

Características del módulo PZEM - 004

CARACTERÍSTICA	RANGO DE MEDICIÓN	DE	RESOLUCIÓN	PRECISIÓN (%)
Voltaje	90 – 260	V	0.1	0.5
Corriente	0 -100	A	0.001	0.5
Potencia Activa	0 – 2.3	kW	0.1	0.5
Factor de potencia	0.00 – 1.00	-	0.01	1
Frecuencia	45 – 65	Hz	0.1	0.05
Energía Activa	0 – 9999.99k	Wh	1	0.5

Adquisición de datos

El proceso de adquisición de datos se lleva a cabo con la ayuda del módulo PZEM-004T, este módulo compatible con Arduino, obtiene los valores de voltaje y corriente y potencias, los datos que obtiene son enviados a un ESP32 para ser procesados y posteriormente puedan ser observados desde una interfaz gráfica.

Corriente

La recolección de datos a través de los canales de corriente se efectúa con un sensor no invasivo de efecto Hall, el sensor seleccionado (PZCT-02) cuenta con un amplio rango de medición y rendimiento óptimo para corrientes altas capaz de medir hasta 100 A. Las características del sensor lo convierten en la opción ideal para medir corriente, ya que no requiere de una conexión directa con los cables.

Procesamiento de datos

A continuación, en la figura 2 se da a conocer el esquema de conexión de los módulos:

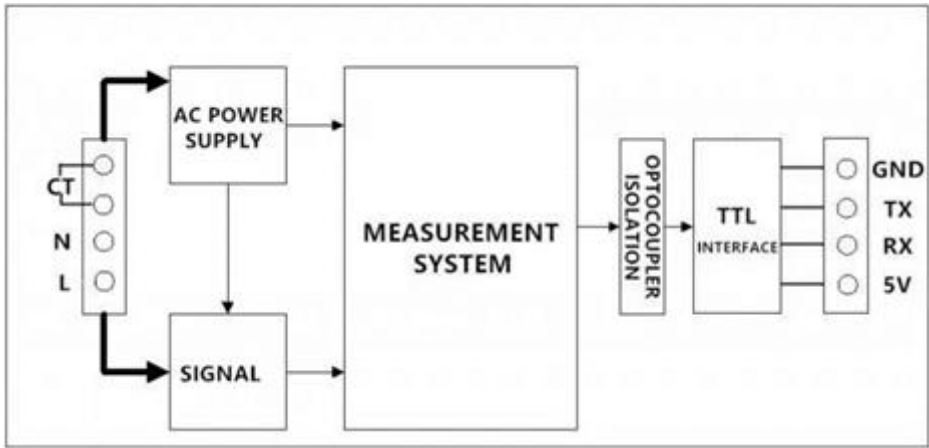


Figura 2. Diagrama de bloques funcional del módulo PZEM - 004T

Fuente: Diagrama de bloques funcional [Fotografía], por (manual plus, 2022)

La interfaz TTL del módulo es interfaz pasiva, que requiere de una fuente de alimentación externa, de tal manera que, para comunicarse es necesario que los puertos 5V, TX, RX, GND estén conectados para que la transferencia se lleve a cabo sin inconvenientes.

Los módulos PZEM – 004T se conectaron al nodeMCU ESP8266 utilizando el protocolo de comunicación TTL a UART, por defecto esta placa cuenta con 4 pines para utilizar dicho protocolo, sin embargo, es posible asignar más pines de comunicación mediante programación, de esa forma cada módulo de voltaje puede enviar y recibir datos del microcontrolador. (Ver Figura 3)

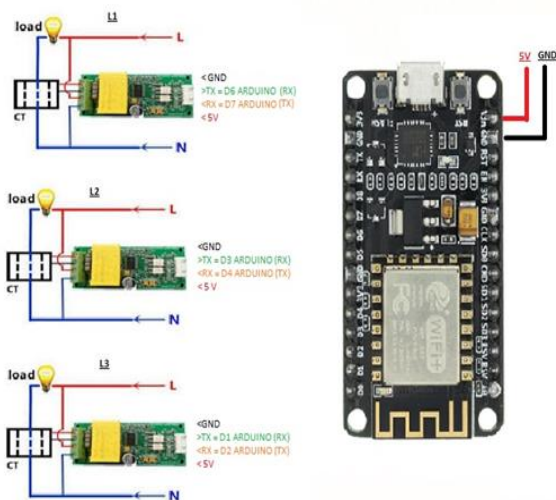


Figura 3. Diagrama de conexión del prototipo

Fuente: Autores

Interfaz gráfica

Es necesario el registro con una cuenta a la plataforma de Cayenne, la plataforma genera 3 credenciales esenciales para establecer la comunicación con Arduino, estos son: MQTT username, MQTT password y Client ID, mismos que se deben integrar al algoritmo. Es posible ver los datos sin ingresar a la cuenta si el propietario comparte el Dashboard, de esa forma se limita la interacción con la interfaz a algunos usuarios.

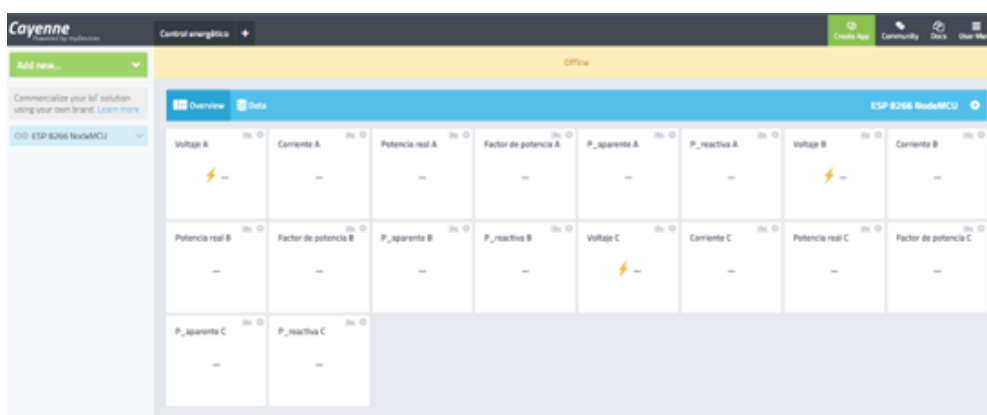


Figura 4 Página principal de la interfaz

Fuente: Autores

Cayenne myDevices permite observar cada uno de los parámetros energéticos que son recopilados por los sensores, los datos son enviados mediante el protocolo MQTT por medio del ESP8266 conectado previamente a una red Wifi, de tal manera que pueden ser vistos en la Web o en la APP de la plataforma. En la Figura 5 está el proceso descrito anteriormente. La plataforma actúa como bróker para el protocolo MQTT, de esa forma la comunicación entre el servidor y Arduino son constantes, solamente delimitados por el retardo de transmisión.

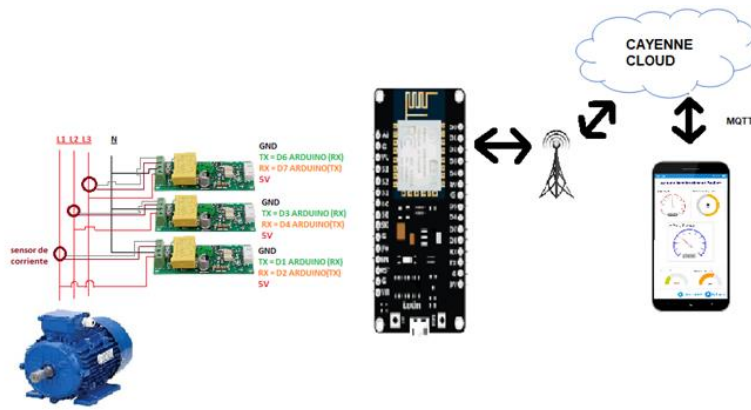


Figura 5 Esquema de conexión

Fuente: Autores.

El proceso previo para que los datos puedan ser observados se ve reflejado en el siguiente diagrama de flujo, si los sensores no reciben algún valor sólo se enviarán datos nulos a la plataforma hasta que se detecten cambios en los canales de voltaje. (Ver Figura 6)

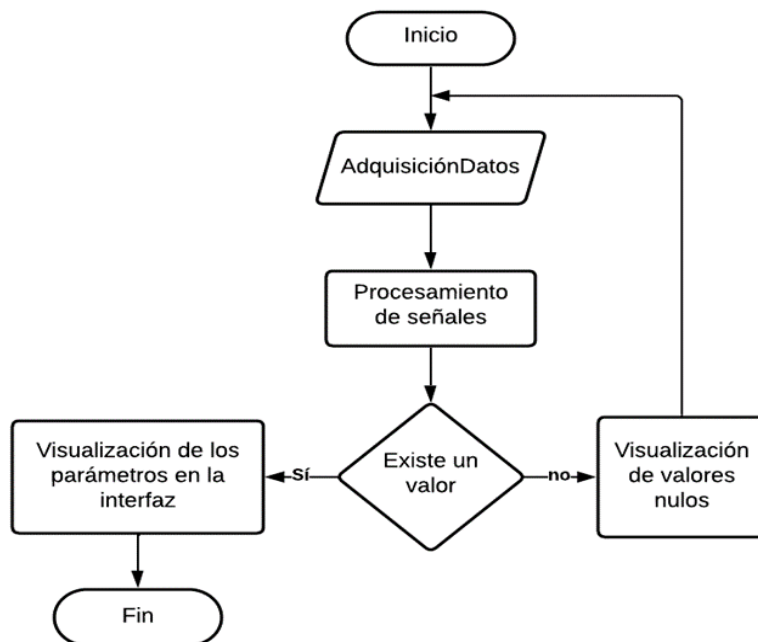


Figura 6 Diagrama de flujo de la interfaz

Fuente: Autores.

Resultados

La evaluación del prototipo se realizó con diferentes cargas para resultados y verificar su correcto funcionamiento, se realizó una comparación entre los valores obtenidos por el

prototipo y los valores generados por un equipo profesional. Las pruebas se efectuaron utilizando una carga para observar posibles variaciones en voltaje o corriente. A continuación, se presentan los resultados obtenidos con relación al voltaje llevado a cabo por las tres fases del prototipo. (Ver Tabla 5)

Tabla 5

Resultados por fase realizados por el prototipo.

VOLTAJE (V)	PROTOTIPO	MEDIDOR
FASE A	125.7	126.0
FASE B	125.9	126.0
FASE C	124.1	124.0

$$\bar{x} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_n}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{125.7 + 125.9 + 124.1}{3} = \mathbf{125.23}$$

$$E_{a1} = [125.7 - 125.23] = 0.47 \text{ V}$$

$$E_{a2} = [125.9 - 125.23] = 0.67 \text{ V}$$

$$E_{a3} = [124.1 - 125.23] = 1.13 \text{ V}$$

$$E_{\alpha} = 0.47 + 0.67 + 1.13 = \frac{2.27}{3} \text{ V}$$

$$E_{\alpha} = \mathbf{0.76 \text{ V}}$$

Para el caso de los valores de corriente que se obtuvieron en la Tabla 6 se puede apreciar en la que existe mayor variación dependiendo de la carga que se haya conectado.

Tabla 6

Resultados de la corriente con cargas diferentes.

TIPO DE CARGA	PROTOTIPO (A)	MEDIDOR (A)
	1.3	1.3
Motor conexión triángulo (Δ)	1.24	1.24
	1.3	1.3
Foco incandescente	0.8	0.7

Cálculo de error de la corriente

Luego de obtener los parámetros eléctricos por parte del prototipo se envían los valores recolectados a la interfaz gráfica, si los sensores detectan un valor, estos son transferidos y presentados en la interfaz, de lo contrario no se registran valores.

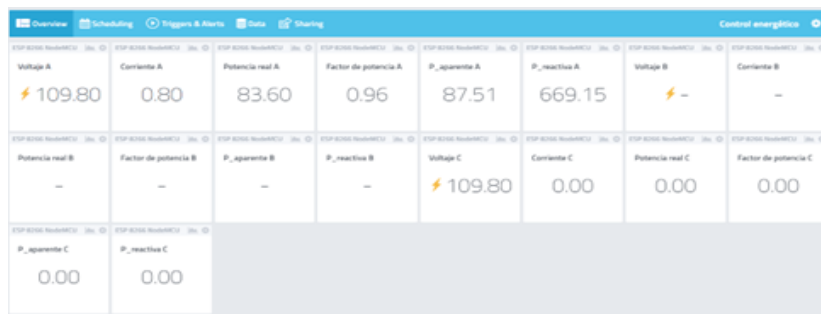


Figura 7 Dashboard para monitoreo de variables de calidad energética.

Fuente: Autores

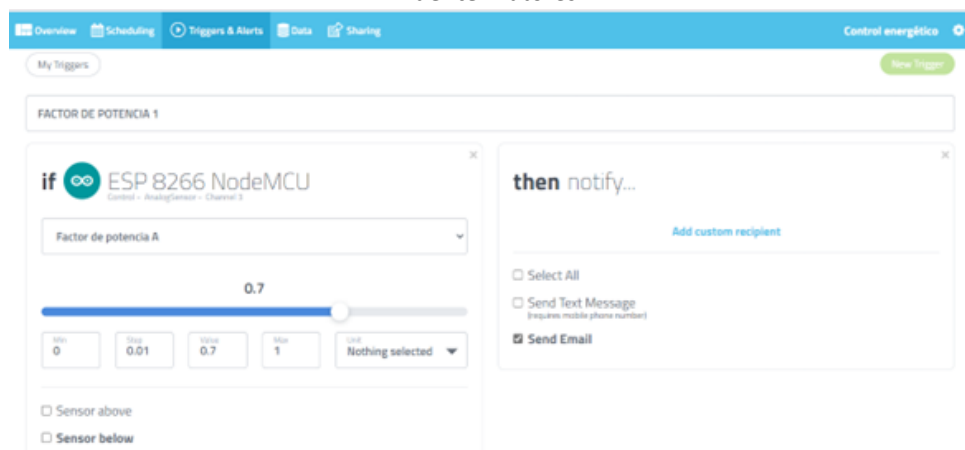


Figura 8 Ventana de alertas en la plataforma.

Fuente: Autores.

El menú Data genera un registro de todos los datos que se tomaron en un periodo de tiempo, se puede ajustar este periodo en función de minutos, horas, semanas o meses y descargarlos en un documento de Excel, además de filtrar los datos en base a cada uno de los valores energéticos recolectados. (Ver Figura 9)

Timestamp	Device No.	Channel	Sensor Name	Sensor ID	Data Type	Unit	Values
2022-05-26 9:50:01	ESP8266 Nod...	2	Potencia real E	7778e4d0-d64b-11ec-8c44-3711...			
2022-05-26 9:45:21	ESP8266 Nod...	16	P_aparente C	854ee70d-d64b-11ec-8c44-3711...			
2022-05-26 9:45:21	ESP8266 Nod...	12	Voltaje E	817e930d-d64b-11ec-a681-73c...			119.0999987412
2022-05-26 9:45:21	ESP8266 Nod...	15	Factor de potencia E	64db7360-d64b-11ec-8c44-3711...			
2022-05-26 9:45:21	ESP8266 Nod...	13	Corriente E	8288af30-d64b-11ec-a681-73c...			
2022-05-26 9:45:21	ESP8266 Nod...	14	Potencia real E	83fa2080-d64b-11ec-a681-73c...			
2022-05-26 9:43:45	ESP8266 Nod...	16	P_aparente C	854ee70d-d64b-11ec-8c44-3711...			
2022-05-26 9:43:45	ESP8266 Nod...	13	Corriente E	8288af30-d64b-11ec-a681-73c...			
2022-05-26 9:43:45	ESP8266 Nod...	15	Factor de potencia E	64db7360-d64b-11ec-8c44-3711...			
2022-05-26 9:43:45	ESP8266 Nod...	12	Voltaje E	817e930d-d64b-11ec-a681-73c...			118.90000152588
2022-05-26 9:43:45	ESP8266 Nod...	14	Potencia real E	83fa2080-d64b-11ec-a681-73c...			
2022-05-26 9:44:33	ESP8266 Nod...	13	Corriente E	8288af30-d64b-11ec-a681-73c...			
2022-05-26 9:44:33	ESP8266 Nod...	14	Potencia real E	83fa2080-d64b-11ec-a681-73c...			
2022-05-26 9:44:33	ESP8266 Nod...	16	P_aparente C	854ee70d-d64b-11ec-8c44-3711...			
2022-05-26 9:44:33	ESP8266 Nod...	15	Factor de potencia E	64db7360-d64b-11ec-8c44-3711...			
2022-05-26 9:44:33	ESP8266 Nod...	12	Voltaje E	817e930d-d64b-11ec-a681-73c...			116.0999987412
2022-05-26 9:45:05	ESP8266 Nod...	14	Potencia real E	83fa2080-d64b-11ec-a681-73c...			
2022-05-26 9:45:05	ESP8266 Nod...	16	P_aparente C	854ee70d-d64b-11ec-8c44-3711...			
2022-05-26 9:45:05	ESP8266 Nod...	13	Corriente E	8288af30-d64b-11ec-a681-73c...			
2022-05-26 9:45:05	ESP8266 Nod...	12	Voltaje E	817e930d-d64b-11ec-a681-73c...			119.19999894824

Figura 9 Ventana Data de la plataforma
Fuente: Autores, Registros de los valores recogidos por los sensores.

Conclusiones

Los parámetros energéticos en los sistemas trifásicos corresponden al voltaje, corriente, potencia y factor de potencia. Otro factor inherente en estos sistemas es el surgimiento de armónicos provocados por cargas no lineales que pueden afectar la calidad energética y perjudicar a los equipos. En los sistemas trifásicos es fundamental que el factor de potencia no sea inferior de 0.92, este es un indicador de la eficiencia del sistema eléctrico. Sin embargo, ante la presencia de corrientes armónicas este valor puede disminuir siendo necesario aplicar medidas correctivas, por ello es necesario monitorear estos parámetros. Mediante plataformas IOT se elaboró una interfaz gráfica con la cual es posible monitorear todos los parámetros energéticos que son medidos por el prototipo mediante la página web o la aplicación móvil de Cayenne MyDevices, la interfaz brinda la posibilidad de generar alertas para los datos que se obtienen, además de generar un registro descargable. Se configuró distintas alertas para la variable del factor de potencia

y voltaje de forma que se envié un correo electrónico o mensaje de texto en caso de presentarse irregularidades.

Finalmente, se validó el funcionamiento del prototipo basados en la norma IEC 61000-4-30 que define los procedimientos de medición para los parámetros de calidad energética, luego de múltiples mediciones realizadas tanto para voltaje y corriente se obtuvo el error generado por el prototipo, en el caso del voltaje su error es de aproximadamente 760 mV, mientras que la corriente muestra un error de 180 mA. Teniendo en cuenta estos valores la precisión del prototipo es de aproximadamente 0.5% para el voltaje y 15.5% en corriente.

Bibliografía

Barragán, P., Guzmán, J., Vélez, F., & Castillo, J. (2020). Desarrollo de un módulo de medición de variables eléctricas en transformadores de potencia mediante conceptos de IoT[Universidad Santiago de Cali]. Obtenido de <http://repository.usc.edu.co/handle/20.500.12421/4642>

Bassi, A. (27 de febrero de 2021). Introducción a Protocolos IoT. Obtenido de Goto IoT: https://www.gotoiot.com/pages/articles/iot_protocols_intro/index.html

Cayenne. (05 de Mayo de 2022). Cayenne. Obtenido de Cayenne: <https://developers.mydevices.com/cayenne/features/>

Charles, K. A., & Sadiku, M. N. (2006). Fundamentos de circuitos eléctricos. Mc GraeHill.

Circuitor. (2022). Eficiencia energética eléctrica. Obtenido de circuitor: <https://circuitor.com/soporte/formacion/notebooks/eficiencia-energetica-electrica/>

Desde Linux. (s.f.). Cómo montar un servidor web y alojar una web en GNU/Linux. Obtenido de Desde Linux: <https://blog.desdelinux.net/como-montar-un-servidor-web-y-alajar-una-web-en-gnu-linux/>

Diéguez, L. (27 de mayo de 2019). Comunicaciones serie en Arduino: UART, I2C Y SPI.

Obtenido de Kolwidi: <https://kolwidi.com/blogs/blog-kolwidi/comunicaciones-serie-en-arduino-uart-i2c-y-spi>

González, W. (2019). Prototipo de analizador de consumo de energía eléctrica trifásica utilizando almacenamiento en nube y monitoreo remoto [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Manizales]. Repositorio institucional. Obtenido de https://repositorio.autonoma.edu.co/jspui/bitstream/11182/851/1/Prototipo_analizador_consumo_energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica_trif%C3%A1sica_utilizando_almacenamiento_nube_monitoreo_remoto.pdf

Hostinger . (1 de abril de 2022). ¿Qué es un servidor web y como funciona? Obtenido de

Hostinger: https://www.hostinger.es/tutoriales/que-es-un-servidor-web?ppc_campaign=google_search_generic_hosting_all&bidkw=defaultkeyword&lo=9069558&gclid=EAIaIQobChMIyMDy0aaI-AIV9RplCh17xQDrEAAYAiAAEgLZefD_BwE

manual plus. (2022). AC communication module. PZEM-004T User Manual. Obtenido de <https://manuals.plus/wp-content/sideoads/innovators-guru-ac-communication-module-pzem-004t-v3-0-manual-original.pdf>

Meléndrez, C., & Valarezo, J. (2017). Diseño e implementación de un medidor de energía eléctrica trifásico como herramienta para una auditoría energética [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio institucional. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18748>

Naylamp. (s.f.). Tutorial sensor de corriente AC no invasivo SCT-013. Obtenido de

Naylamp: https://naylampmechatronics.com/blog/51_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-sct-013.html

Placas de desarrollo. (s.f.). Todo sobre las placas de desarrollo para IoT. Obtenido de Placas de desarrollo: <https://www.placadedesarrollo.com/>

rankingdeopinion. (2021). Pzem-004t. Obtenido de rankingdeopinion: <https://rankingdeopinion.com/pzem-004t-opiniones/>

Red Hat. (8 de enero de 2019). ¿Qué es el internet de las cosas (IOT)? Obtenido de Red Hat: <https://www.redhat.com/es/topics/internet-of-things/what-is-iot>

Revelo, F. (2018). Analizador de calidad de energía eléctrica con supervisión en tiempo real [Tesis de grado, Universidad técnica de Ambato]. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/28203>

Rohde & Schwarz. (2022). Entendiendo el UART. Obtenido de Rohde & Schwarz: https://www.rohde-schwarz.com/lat/productos/prueba-y-medicion/osciloscopios/educational-content/entendiendo-el-uart_254524.html

Rojas Cala, R. E. (2020). Análisis de eficiencia energética en sistemas trifásicos no lineales usando IEEE [Tesis de maestría, Universidad Santo Tomás]. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11634/31477>

Rojas, S. (s.f.). Arquitectura empresarial con capas para el internet de las cosas. Obtenido de Vs Sistemas: <https://www.vs-sistemas.com/Blog/Actualidad/arquitectura-empresarial-con-capas-para-iot>

Servicio público de energía eléctrica. (2020). Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución. Obtenido de https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/pliego_tarifario_del_spee_2020_resolucion_nro_035_19.pdf?fbclid=IwAR12UcUT8wAaWNPNEjEf7bVWh5tIZ5KDzd1boP0Yt3ILHpP-qHyqlw_Uq3c