



Sistema de monitoreo remoto del consumo energético para hogares en la ciudad de Cuenca, basado en principios de IoT y servicios en la nube

Remote monitoring system of energy consumption for homes in the city of Cuenca, based on IoT principles and cloud services

Sistema de monitoramento remoto do consumo de energia para residências na cidade de Cuenca, baseado nos princípios da IoT e serviços em nuvem

Pablo Felipe Jimenez-Guamán ^I

jpgf_02@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5657-9267>

Javier Bernardo Cabrera-Mejía ^{II}

jcabreram@ucacue.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-2027-0211>

Correspondencia: jpgf_02@hotmail.com

Ciencias técnicas y aplicadas

Artículo de investigación

***Recibido:** 13 de septiembre de 2020 ***Aceptado:** 09 de octubre de 2020 * **Publicado:** 06 de noviembre de 2020

- I. Ingeniero Electrónico, Jefatura de Posgrados, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- II. PhD(c) en Tecnologías de la Información y Comunicación, Universidad Católica de Cuenca, Jefatura de Posgrado, Centro de Investigación, Innovación y Transferencias de Tecnología (CIITT), Cuenca, Ecuador.

Resumen

El presente trabajo plantea la implementación de un sistema de monitoreo del consumo energético para hogares en la ciudad de Cuenca, diseñada para promover la optimización energética en la ciudad mencionada y público en general, mediante el uso de la tecnología IoT y servicios en la nube. El objetivo principal de la investigación es concientizar a las personas a los posibles problemas que pueden ocasionar el consumo energético de manera incorrecta y apoyar al medioambiente mediante una simulación en donde se pueda observar los beneficios de poder controlar y monitorear el consumo energético. Para lograr los resultados se escogió el protocolo MQTT basado en el principio de comunicación de máquina a máquina, acompañado del protocolo de websocket y los servicios en la nube ofrecidos por Amazon Web Service (AWS). Las pruebas de esta propuesta se realizaron utilizando las herramientas antes mencionadas con él envió de información: voltaje, corriente, potencia, temperatura y humedad y el control de manera remota de encendido-apagado de un electrodoméstico, o sistema de riego, o control de temperatura.

Palabras claves: MQTT; IoT; websocket; Medidor Inteligente; Servicios en la nube.

Abstract

This work proposes the implementation of an energy consumption monitoring system for homes in the city of Cuenca, designed to promote energy optimization in the aforementioned city and the general public, through the use of IoT technology and cloud services. The main objective of the research is to make people aware of the possible problems that can cause energy consumption in an incorrect way and to support the environment through a simulation where the benefits of being able to control and monitor energy consumption can be observed. To achieve the results, the MQTT protocol was chosen based on the principle of machine-to-machine communication, accompanied by the websocket protocol and the cloud services offered by Amazon Web Service (AWS). The tests of this proposal were carried out using the tools with him sent information: voltage, current, power, temperature and humidity and the remote control of the on-off of an appliance, or irrigation system, or temperature control.

Keywords: MQTT; IoT; websocket; Smart Meter; Cloud services.

Resumo

Este trabalho propõe a implementação de um sistema de monitoramento do consumo de energia para residências da cidade de Cuenca, com o objetivo de promover a otimização energética da referida cidade e do público em geral, por meio do uso de tecnologia IoT e serviços em nuvem. O principal objetivo da pesquisa é conscientizar as pessoas sobre os possíveis problemas que podem ocasionar o consumo de energia de forma incorreta e apoiar o meio ambiente por meio de uma simulação onde possam ser observados os benefícios de poder controlar e monitorar o consumo de energia. Para a obtenção dos resultados, o protocolo MQTT foi escolhido com base no princípio da comunicação máquina a máquina, acompanhado do protocolo websocket e dos serviços em nuvem oferecidos pela Amazon Web Service (AWS). Os testes desta proposta foram realizados com as ferramentas com ele enviava informações: tensão, corrente, energia, temperatura e umidade e o controle remoto liga-desliga de um aparelho, ou sistema de irrigação, ou controle de temperatura.

Palavras-chave: MQTT; IoT; websocket; Medidor inteligente; Serviços na nuvem.

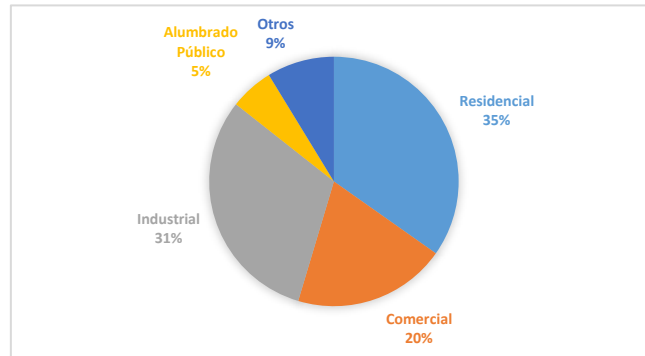
Introducción

Es oportuno entender el significado de IoT (Internet of Things), el mismo hace referencia al poder establecer una conexión entre distintos sensores o actuadores mediante la nube, en otras palabras, esta tecnología nos permite administrar y monitorear, dispositivos electrónicos a través de las redes de telecomunicaciones.

Como se puede observar la sociedad ha evolucionado junto con la tecnología y el termino internet de las cosas nos proporciona una idea de conectividad en todo momento, es decir una sociedad en donde todo está conectado. Con la evolución del internet se generó un cambio drástico en la vida de las personas, desde el medio de comunicación, hasta la metodología de la educación, la investigación o las empresas [1].

El consumo de energía en el Ecuador se encuentra dividido o sectorizado en: residencial, comercial, industrial, alumbrado público, y otros como se puede observar en la Figura 1. En donde se observa que la categoría residencial representa un alto consumo energético con un 35%, la categoría industrial un 31%, la categoría comercial un 20%, el servicio de alumbrado público general un 5%, y finalmente se agrupa al consumo de los subsectores (asistencia social, bombeo de agua, entre otros), el mismo que obedece al 9% del consumo eléctrico nacional [2].

Figura 1: Energía por categoría de consumo.

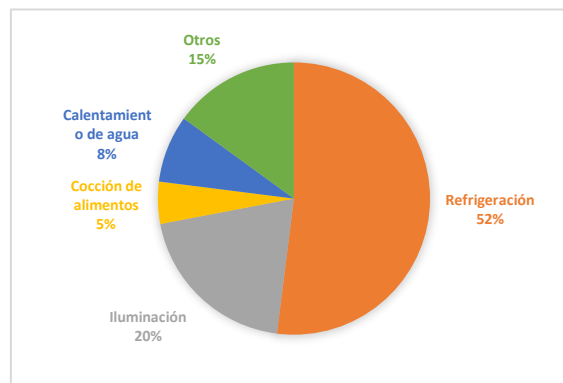


Fuente: [2]

Es por esto la importancia de implementación de tecnologías que nos permitan focalizar acciones a realizarse en este sector, y para lograr este objetivo se debe saber o tener a información pertinente del uso del consumo energético.

También se puede observar, con más detalles el consumo de energía residencial tanto a nivel sierra, y sus respectivos consumos en sus usos como: refrigeración con un 52%, iluminación con un 20%, cocción de alimentos con un 5%, calentamiento de agua 8%, y otros consumos con 15% como se observa en la Figura 2.

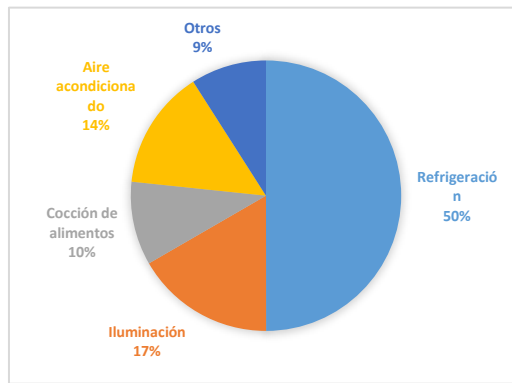
Figura 2: Uso de la energía eléctrica región Sierra.



Fuente: [2]

Mientras que en la región costa se observan los siguientes consumos: refrigeración con un 50%, iluminación con un 17%, cocción de alimentos con un 10%, aire acondicionado con un 8%, y otros consumos con 9% representada en la siguiente Figura 3.

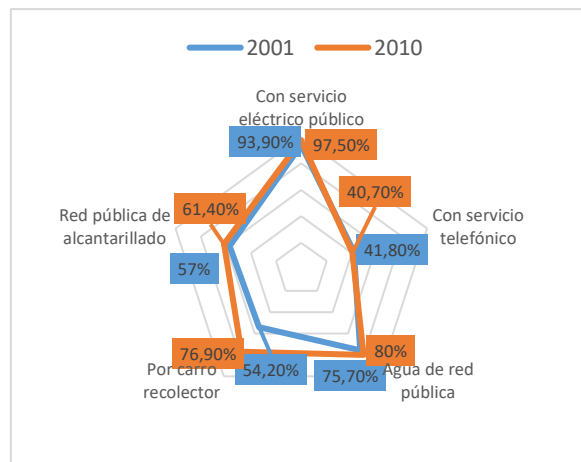
Figura 3: Usos de la energía eléctrica región Costa.



Fuente: [2]

En la ciudad de Cuenca aproximadamente en el ámbito urbano y rural el 97.5% de viviendas cuentan con el servicio eléctrico según datos de Instituto Nacional de estadísticas y censos(INEC), cada vez son más los proyectos que se implementan para brindar mayor comodidad en el monitoreo y toma de datos del consumo residencial. Actualmente en el sector residencial de Cuenca no cuenta con sistemas o estudios que ayuden a realizar propuestas medioambientales u optimización energética, el mismo ayudara a crear conciencia o proponer soluciones basadas en IoT (Internet of Things), para el consumo de energía eléctrica. Además, las personas no toman en cuenta el ahorro energético por eso es de suma importancia analizar este consumo y concientizar el uso excesivo de los equipos que se encuentren dentro del hogar [3].

Figura 4: Usos de la energía eléctrica región Sierra.



Fuente: [2]

El presente trabajo se compone de cinco secciones. En la primera sección se expone un panorama general del problema. En la segunda sección se analiza el estado del arte. En la tercera sección se explica la metodología y el detalle de cada tarea ejecutada. Los resultados del desarrollo de la investigación se exponen en la cuarta sección y finalmente las recomendaciones y conclusiones.

Desarrollo

Trabajos Relacionados

También se puede observar que IoT tiene un gran mercado y su aplicación se da en varios campos como, por ejemplo:

1. Examen inteligente basado en IoT: En este trabajo, proponemos un sistema de examen inteligente que obtiene dichas estadísticas y envía datos a una aplicación web para su posterior procesamiento mediante el uso de una tecnología basada en Internet de las cosas. La información obtenida por el sistema propuesto puede incluso utilizarse para diagnosticar a los estudiantes con dificultades de aprendizaje o discapacidades, por ejemplo, dislexia [4].

2. Sistemas de monitoreo de vehículos: Hoy en día, el sistema de monitoreo de vehículos se desarrolla para obtener las estadísticas del movimiento del vehículo y rastrear su ubicación actual mediante el uso de IoT, en donde se puede obtener ciertos parámetros importantes para el control del auto motor[5].

3. IoT y la nube: El éxito del mundo de IoT requiere la prestación de servicios atribuida a la ubicuidad, confiabilidad, alto rendimiento, eficiencia y escalabilidad, también ha dado la oportunidad a poder debatir sobre seguridad, ya que transfiere datos a un sistema de nube abierta, se debe tener cuidado y precaución antes de implementar el mismo [6].

4. En este documento los autores [7] brindan una solución pensada en el medioambiente con la implementación de sistemas híbridos en la generación de energía eléctrica aprovechando los recursos de la energía solar, este sistema es autosuficiente y de código abierto. La información y registro de datos se almacenan en un sistema de base de datos distribuidas en la nube en tiempo real. Cada hogar que está conectada al sistema de micro red actúa como un nodo, los datos se sincronizan cada 3 segundos utilizando un protocolo ligero como MQTT, cada nodo o hogar publica su información de forma actualizada, esta información contiene la potencia generada y consumida, y es enviada al servidor MQTT.

5. El objetivo de los autores [8] fue diseñar e implementar un prototipo basado en la tecnología del internet de las cosas, que adquiriera la información del consumo eléctrico y genere un reporte de monitorización de la energía consumida por un dispositivo electrónico, con el fin de predecir anomalías en el consumo, aplicando redes neuronales.

IoT como se puede observar se encuentra en varios campos como los mencionados con avances substanciales, incluidas aplicaciones en redes inteligentes, ciudades inteligentes, transporte, detección de multitudes, salud, domótica, motorización de energía eléctrica, etc.

Metodología

Análisis Arquitectura del sistema

Para la selección de la arquitectura del sistema se basó en clasificación definida por los autores, Gubbi. Los cuales resaltan 3 fundamentos básicos para una arquitectura IoT[9].

En base a la arquitectura ya mencionada, se expone un modelo para el diseño del prototipo de medición de consumo de energía y censado de temperatura y humedad, la misma se posee 3 sensores, uno de corriente, voltaje, temperatura y humedad, estos datos son receptados en el microcontrolador (arduino), que procesa la información y envía a la nube mediante el protocolo MQTT y pone a disposición remotamente a través de internet en el servidor en la nube mediante HiveMQ.

- Nivel de Hardware

Está compuesto por microcontrolador, el cual nos permite adquirir señales analógicas o digitales, es el encargado del procesamiento de dicha información, también cuenta con un módulo ESP8266, el cual tienen integrado un protocolo TCP/IP y un sistema inalámbrico WI-FI para transmitir la información hacia la nube.

- Nivel de Middleware

La capa de middleware cuenta con los siguientes componentes:

- Un portal web el cual nos permite visualizar la información de forma remota.
- Un protocolo de comunicación ligero (MQTT) para la transmisión de la información.

- Nivel de presentación.

Se utiliza HiveMQ, esta plataforma es compatible con los servicios en la nube que permite que nuestro agente MQTT se implemente en nubes privadas, híbridas y públicas como AWS y Microsoft Azure.

La estructura del sistema IoT se resume en la siguiente Figura 5.

Figura 5: Comunicación asíncrona en MQTT(publish-Subscribe)



Fuente: Autoría propia

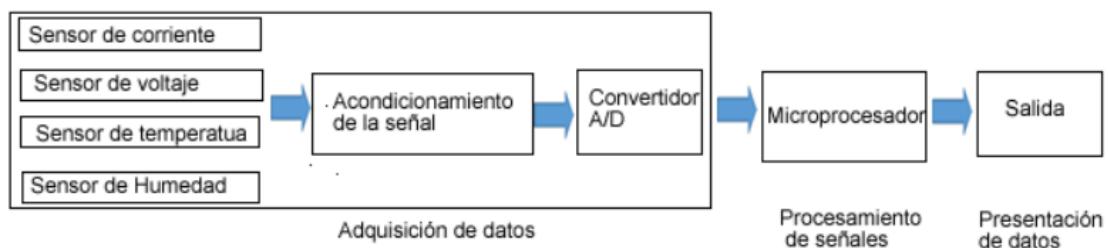
Diseño y desarrollo del sistema

La solución propuesta, se realizó mediante la arquitectura cliente servidor. Para la implementación del servidor virtual se optó por el uso de AWS. No obstante, es importante mencionar que sistema se puede sustituir por cualquier servicio en la nube, también se podrá instalar de manera física en un servidor Linux. La instancia a usar en AWS, es gratuita y básica (t2.micro) en Ubuntu, en la cual se carga y configura el protocolo MQTT y el servidor web (Apache2). Para la conexión remota se implementó una IP estática mediante el recurso ElasticIp el cual apunta a una máquina virtual. Usando la consola de administración de AWS abrimos los puertos 80-443 para permitir el tráfico web, para usar los servicios de websockets es necesario abrir el 9001 y el puerto 22 para realizar conexiones SSH al servidor en caso de ser necesario.

Modelo propuesto

La arquitectura descrita para el prototipo de medición de consumo energía eléctrica residencial, se puede observar en la Figura 6 en donde se describe en detalle la comunicación entre los componentes del sistema.

Figura 6: Arquitectura del Prototipo



Fuente: Autoría propia

En base a la arquitectura ya mencionada, se expone un modelo para el diseño del prototipo de medición de consumo de energía. El mismo posee 3 sensores, uno de corriente, voltaje y otro de temperatura y humedad, estos datos se reciben en el microcontrolador(arduino), que procesa la información y envía a la nube mediante el protocolo MQTT y pone a disposición remotamente a través de internet en el servidor de HiveMQ.

Funcionamiento y comunicación

La Figura 7 describe el diagrama de funcionamiento del sistema, en donde se adquieren los datos mediante los sensores de corriente, voltaje y temperatura y humedad y se procesan en un microcontrolador Arduino Mega, y mediante el módulo Wi-fi se envía a la nube con la ayuda del protocolo MQTT y se podrá visualizar en un dispositivo móvil o pc.



Fuente: Autoría propia

Adquisición de datos

Para poder obtener las variables necesarias para el funcionamiento del prototipo se dividió o segmento en cinco etapas:

En la primera etapa se utilizó un sensor de corriente acompañado de los siguientes componentes:

- Sensor SCT-013-030
- ADS1115

El componente ADS-1115 permite obtener la mayor cantidad de muestras para su correcto funcionamiento y ser enviado al microcontrolador.

En su segunda etapa se realizó el acoplamiento del sensor de voltaje para obtener la medición del valor de tensión de la red eléctrica domiciliaria, para lograr este objetivo se utilizó el módulo zmpt101b.

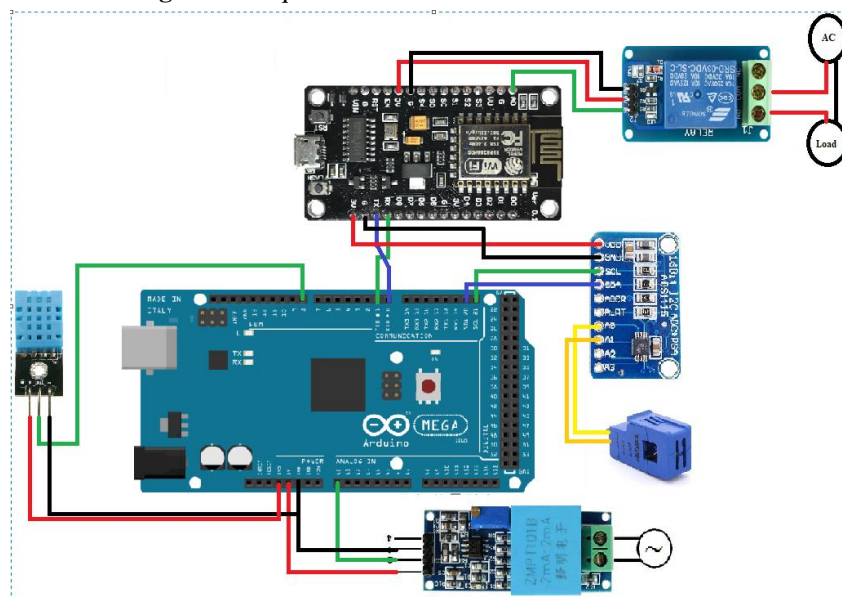
En su tercera etapa se realizó el acoplamiento del sensor de temperatura y humedad, para lograr esto se utilizó el sensor Dht11. En la Figura: 12 se podrá observar las conexiones entre el sensor y el microcontrolador.

En su cuarta etapa se realizó el control automático on-off, mediante el cual nos permite tener el control total de encendido y apagado de manera remota.

En su quinta etapa, nos dedicamos al envío de los datos procesados por el microcontrolador al módulo de comunicación wifi esp8266, el cual está conectado al Arduino, y es el encargado de transmitir la información al servidor que se encuentra alojado en AWS.

A continuación, en la siguiente Figura 8 se puede observar el diagrama de conexión de los módulos utilizados, para lograr el objetivo correspondiente.

Figura 8: Esquema de conexión del Módulo ESP8266



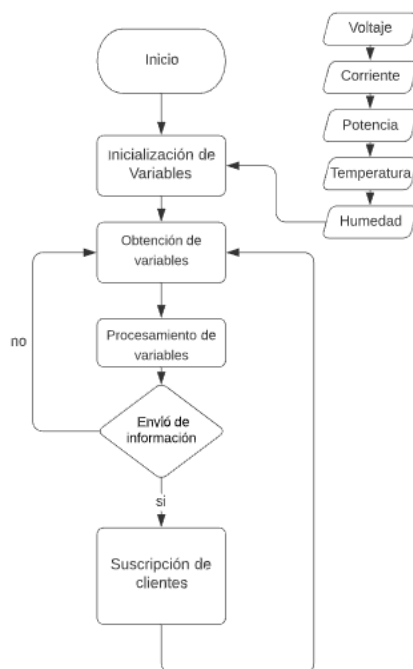
Fuente: Autoría Propia

Procesamiento de señales

Para el tratamiento de las señales adquiridas se utilizaron las librerías emonlib y Adafruit_ADS1015, la primera librería necesita un valor de calibración y estos deben ser sensados de forma manual, la segunda librería permite la recolección de la mayor cantidad de datos para un mejor procesamiento al medir la corriente.

En la siguiente Figura 9 se observa un diagrama de flujo del procesamiento y todo de datos.

Figura 9: Diagrama de flujo del procesamiento y toma de datos.



Fuente: Autoría Propia

Resultados

Para certificar que los datos obtenidos por el sistema propuesto sean fiables, se procedió a realizar una comparación con Multímetro digital Pro'sKit 3PK-8205C, para su demostración de precisión se propuso dos escenarios, en donde se observa los valores de tensión y corriente para una carga con un foco incandescente, un reflector led IP66 (30W).

La Tabla 1 y Tabla 2, permite observar el porcentaje de error obtenido de manera experimentalmente y mediante el prototipo, en la carga del foco incandescente.

Tabla 1: Pruebas con el uso de un foco incandescente (voltaje)

FECHA	3PK-8205C	PROTOTIPO	ERROR
	V	V	%
31/10/2020	127,5	127,10	0,31%
1/11/2020	126,4	126,20	0,16%
2/11/2020	127,9	127,88	0,02%
3/11/2020	127,1	126,99	0,09%
4/11/2020	127,1	126,89	0,17%

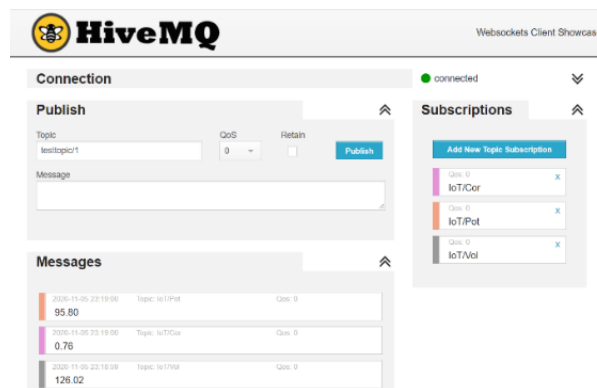
5/11/2020	126,1	125,92	0,14%
6/11/2020	126,2	126,02	0,14%

Tabla 2: Pruebas con el uso de un foco incandescente (corriente)

FECHA	3PK-8205C	PROTOTIPO	ERROR
	I	I	%
31/10/2020	0,76	0,76	0,00%
1/11/2020	0,77	0,76	1,30%
2/11/2020	0,76	0,76	0,00%
3/11/2020	0,76	0,76	0,00%
4/11/2020	0,77	0,76	1,30%
5/11/2020	0,76	0,76	0,00%
6/11/2020	0,76	0,76	0,00%

Adicional a eso también se puede observar de manera remota las variables de voltaje y corriente obtenidas por el prototipo como se observa en la Figura 13.

Figura 10: Visualización remota de los valores de voltaje y corriente.



Fuente: Autoría propia

La Tabla 3 y Tabla 4, permite observar el porcentaje de error obtenido de manera experimentalmente y mediante el prototipo, en la carga del reflector led.

Tabla 3: Pruebas con el uso de un reflector led IP66 (30W) (voltaje)

FECHA	3PK-8205C	PROTOTIPO	ERROR
	V	V	%
31/10/2020	127,5	127,1	0,31%
1/11/2020	126,4	126,2	0,16%
2/11/2020	127,9	127,88	0,02%
3/11/2020	127,1	126,99	0,09%

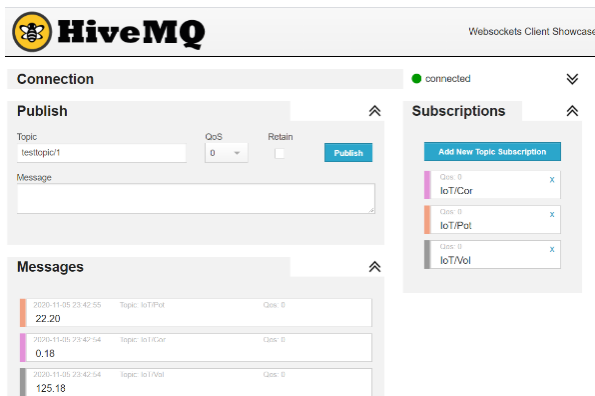
4/11/2020	127,1	126,89	0,17%
5/11/2020	126,2	125,94	0,21%
6/11/2020	125,4	125,18	0,18%

Tabla 4: Pruebas con el uso de un reflector led IP66 (30W) (corriente)

FECHA	3PK-8205C	PROTOTIPO	ERROR
	I	I	%
31/10/2020	0,17	0,18	5,88%
1/11/2020	0,16	0,17	6,25%
2/11/2020	0,16	0,17	6,25%
3/11/2020	0,17	0,17	0,00%
4/11/2020	0,17	0,18	0,00%
5/11/2020	0,16	0,18	6,25%
6/11/2020	0,17	0,18	5,88%

Adicional a eso también se puede observar de manera remota las variables de voltaje y corriente obtenidas por el prototipo como se observa en la Figura 14.

Figura 11: Visualización remota de los valores de voltaje y corriente del reflector.



Fuente: Autoría propia

La Tabla 5 y Tabla 6, permite observar el porcentaje de error obtenido de manera experimentalmente y mediante el prototipo, en la carga de una plancha de la marca Oster.

Tabla 5: Pruebas con el uso de una plancha Oster (voltaje)

FECHA	3PK-8205C	PROTOTIPO	ERROR
	V	V	%
31/10/2020	118	117,89	0,09%
1/11/2020	117,9	117,89	0,01%
2/11/2020	118	117,68	0,27%

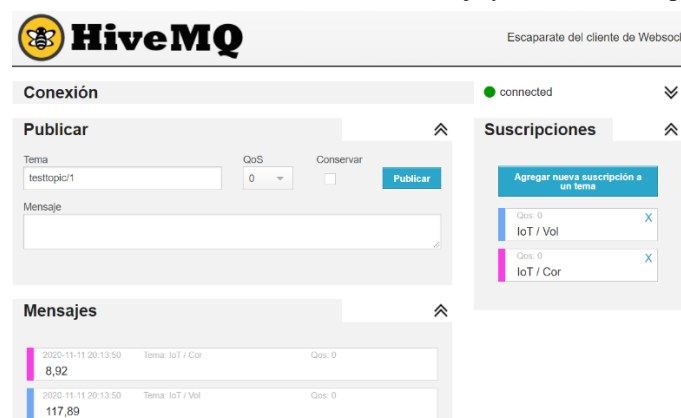
3/11/2020	118	117,89	0,09%
4/11/2020	118	117,9	0,08%
5/11/2020	117,9	117,89	0,01%
6/11/2020	118	117,89	0,09%

Tabla 6: Pruebas con el uso de una plancha Oster (corriente)

FECHA	3PK-8205C	PROTOTIPO	ERROR
	V	V	%
31/10/2020	118	117,89	0,09%
1/11/2020	117,9	117,89	0,01%
2/11/2020	118	117,68	0,27%
3/11/2020	118	117,89	0,09%
4/11/2020	118	117,9	0,08%
5/11/2020	117,9	117,89	0,01%
6/11/2020	118	117,89	0,09%

Adicional a eso también se puede observar de manera remota las variables de voltaje rms y corriente rms obtenidas por el prototipo como se observa en la Figura: 15.

Figura 12: Visualización remota de los valores de voltaje y corriente de la plancha Oster.



Fuente: Autoría propia

Conclusiones

El prototipo basado en IOT y servicios en la nube, permite tener el control del encendido/apagada desde una ubicación remota y el monitoreo de la red eléctrica de manera instantánea. El diseño del sistema funciona de manera eficiente dentro del hogar, a su vez se pueden observar los resultados o valores de tensión o voltaje rms, corriente rms, y su potencia instantánea en la página Web.

La aplicación web ofrece una plataforma amigable y de fácil acceso para el usuario, también permite controlar, electrodoméstico, bombas de agua, calefacción que requiere el encendido/apagado de forma remota.

Como se observa en las pruebas realizadas, el prototipo funciona de manera estable él envió de la información mediante el protocolo de comunicación MQTT se realiza con éxito, y su visualización mediante la página web es instantánea gracias al uso de websockets.

El sistema basado en IoT y servicios en la nube es una solución atractiva y su combinación con los diferentes sensores se dio solución al objetivo planteado como es la comunicación entre el sistema de medición y el servidor alojado en la nube AWS.

Referencias

1. R. Khan, S. U. Khan, R. Zaheer, y S. Khan, «Future internet: The internet of things architecture, possible applications and key challenges», en Proceedings - 10th International Conference on Frontiers of Information Technology, FIT 2012, dic. 2012, pp. 257-260, doi: 10.1109/FIT.2012.53.
2. Consejo Nacional de Electricidad, «Aspectos de Sustentabilidad y Sostenibilidad Social y Ambiental», Plan Maest. Electríf. 2013-2022, vol. 4, p. 380, 2013, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
3. I. Instituto Nacional de Estadística y Censo, «FASCÍCULO PROVINCIAL AZUAY». Resultados del censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador, pp. 1-8, 2010, [En línea]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manualateral/Resultados-provinciales/azuay.pdf>.
4. A. Xheladini, S. Deniz Saygili, y F. Dikbiyik, «An IoT-based smart exam application», en 17th IEEE International Conference on Smart Technologies, EUROCON 2017 - Conference Proceedings, ago. 2017, pp. 513-518, doi: 10.1109/EUROCON.2017.8011164.
5. S. Wang, Y. Hou, F. Gao, y X. Ji, «A novel IoT access architecture for vehicle monitoring system», en 2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2016, feb. 2017, pp. 639-642, doi: 10.1109/WF-IoT.2016.7845396.
6. A. R. Biswas y R. Giaffreda, «IoT and cloud convergence: Opportunities and challenges», en 2014 IEEE World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2014, mar. 2014, pp. 375-376, doi: 10.1109/WF-IoT.2014.6803194.

7. D. K. Aagri y A. Bisht, «Export and Import of Renewable energy by Hybrid MicroGrid via IoT», Proc. - 2018 3rd Int. Conf. Internet Things Smart Innov. Usages, IoT-SIU 2018, pp. 1-4, 2018, doi: 10.1109/IoT-SIU.2018.8519873.
8. J. C. Ortega Castro, L. I. Minchala, y R. P. Rodas, «Artificial neuronal network for monitoring of energy consumption by a home device», en 2019 IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies, ISGT Latin America 2019, sep. 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISGT-LA.2019.8895440.
9. J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, y M. Palaniswami, «Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions», Futur. Gener. Comput. Syst., vol. 29, n.o 7, pp. 1645-1660, 2013, doi: 10.1016/j.future.2013.01.010.

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).