

Prototipo electrónico para internet de las cosas en viviendas inteligentes

Electronic prototype for the internet of things in smart homes

<https://doi.org/10.5281/zenodo.10951513>

AUTORES: Alfonso Jacinto Agama Chico^{1*}

Jorge Eduardo Oviedo Galarza²

Ricardo Vicente García Paredes³

Wellington Isaac Maliza Cruz⁴

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: aagama@utb.edu.ec

Fecha de recepción: 15 / 01 / 2024

Fecha de aceptación: 26 / 03 / 2024

RESUMEN

El IoT ha trascendido en los últimos años al hacer posible la interconexión de dispositivos inteligentes a través del internet, teniendo aplicaciones en diferentes campos, incluyendo las viviendas inteligentes, donde el control, confort y seguridad son esenciales. Previo a esta investigación, se diseñó un sistema para viviendas inteligentes actuando como servidor web local y también basado en IoT. Sin embargo, se identificó la necesidad de tener un hardware personalizado para reducir fallas de conexión y permitir nuevos proyectos de investigación en el campo del IoT. Como respuesta, se desarrolló un sistema que monitorea variables ambientales y presencia en viviendas, además de servir como hardware de desarrollo e investigación para estudiantes de Ingeniería en Sistemas de Información. La investigación, llevada a cabo en la UTB, se centró en un enfoque experimental cualitativo. Luego de implementar el sistema en diez viviendas de la ciudad de Babahoyo, se realizó la

^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-2839-5126>, Universidad Técnica de Babahoyo, aagama@utb.edu.ec

² <https://orcid.org/0000-0001-6684-6189>, Universidad Técnica de Babahoyo, joviedog@utb.edu.ec

³ <https://orcid.org/0000-0002-1831-891X>, Universidad Técnica de Babahoyo, rgarciap@utb.edu.ec

⁴ <https://orcid.org/0009-0005-1426-583X>, Universidad Técnica de Babahoyo, wmaliza@utb.edu.ec

medición del nivel de aceptación e impacto en los usuarios mediante una encuesta, la cual demostró que el sistema es fácil de usar, proporciona información útil, ahorra energía e incrementa el nivel de seguridad de la vivienda, sugiriendo un amplio potencial de adopción. A diferencia de trabajos anteriores, este proyecto ofrece versatilidad y aplicabilidad en diversas áreas con la posibilidad de modificaciones al software, disminuyendo el tiempo de estudio y desarrollo en futuras investigaciones en IoT aplicados a viviendas e industrias, siendo una herramienta educativa valiosa para estudiantes y docentes.

Palabras Clave: ESP32, Firebase, Netlify, Hardware personalizado, Internet de las Cosas, Viviendas inteligentes

ABSTRACT

In recent years, IoT has transcended by enabling the interconnection of smart devices over the internet, finding applications in various fields, including smart homes where control, comfort, and security are crucial. Prior to this research, a system was designed for smart homes, acting as a local web server and also based on IoT. However, the need for customized hardware was identified to reduce connection failures and facilitate new research projects in the IoT field. In response, a system was developed to monitor environmental variables and presence in homes, serving as both development and research hardware for students in Information Systems Engineering. The research, conducted at UTB, adopted an experimental qualitative approach. After implementing the system in ten homes in Babahoyo city, the acceptance level and impact on users was measured through a survey. The results demonstrated that the system is user-friendly, provides valuable information, saves energy, and enhances home security, indicating significant potential for adoption. Unlike previous works, this project offers versatility and applicability across different areas with the flexibility for software modifications, reducing study and development time in future IoT research applied to homes and industries. It stands as a valuable educational tool for students and teachers.

Keywords: ESP32, Firebase, Netlify, Custom Hardware, Internet of Things, Smart Homes

INTRODUCCIÓN

El Internet de las Cosas (IoT) se ha convertido en un nombre destacado en los últimos años, transformando objetos del mundo real en objetos inteligentes, creando el futuro de la comunicación bajo una infraestructura común, brindando a los humanos la capacidad de controlar y recibir actualizaciones periódicas sobre su estado actual (Khanna & Kaur, 2020).

El IoT es una tecnología que permite interconectar dispositivos electrónicos a través de Internet. Sus aplicaciones se extienden en diferentes ámbitos incluyendo salud, medio ambiente, comercio, industria, ciudades inteligentes y aplicaciones de infraestructura (Hassan et al., 2020). Esta tecnología tiene un enorme potencial para mejorar la seguridad (Ande et al., 2020), el control y el confort del hogar (Choi et al., 2021), por lo que ha sido ampliamente utilizada en detección de intrusos (Heidari & Jabraeil Jamali, 2023), incendios o fugas de gas (El-Hosseini et al., 2021), para controlar el acceso a una vivienda (Qiu et al., 2020), como por ejemplo mediante cerraduras inteligentes, automatizar acciones recurrentes de un hogar (Gladence et al., 2020), como por ejemplo encender y apagar luces, abrir y cerrar puertas o ventanas, monitorear variables ambientales como nivel de iluminación o temperatura del hogar.

En el trabajo de Taiwo & Ezugwu (2021) se presenta el diseño y desarrollo de un sistema ubicuo de automatización de una vivienda inteligente basado en la nube. El sistema controla y monitorea la seguridad del hogar y su entorno además de capturar imágenes a través de una aplicación móvil de Android. Utiliza aprendizaje automático para diferenciar entre imágenes de residentes normales y posibles ladrones. El sistema propuesto es elaborado a partir de hardware comercial interconectado con cables de uso general.

En la investigación de Hu & Li (2013) se muestra el diseño de un hardware como sistema de gestión inteligente de energía doméstica y algoritmo de aprendizaje automático para que los consumidores puedan controlar en tiempo real el precio de la factura por el uso de electrodomésticos, gestionar la carga y detectar actividades humanas, todo esto junto a un algoritmo de aprendizaje automático lograr reducir el pago de electricidad. El hardware propuesto está basado en materiales y componentes COTS (Commercial Off The Shelf).

Sepasgozar et al. (2020) en su trabajo sobre aplicaciones de IoT para hogares inteligentes, presenta un análisis de varios sistemas con uso de inteligencia artificial (IA) y sistemas de

información geográfico (GIS) desarrollados en la última década en diferentes campos, encontrando que persiste una brecha considerable en la integración de IA, IoT y GIS en el desarrollo de hogares inteligentes, sistemas de eficiencia energética y desarrollo de sistemas para cuidados de adultos mayores.

En el trabajo de Ferrández-Pastor et al. (2019) presenta un modelo que facilita la integración e interoperabilidad de sistemas inteligentes de administración del consumo de ecosistemas alimentados con energía renovable empleando dispositivos locales integrados, protocolos de comunicación de IoT e IA en una nueva red inteligente empleando técnicas de computación en la niebla. El modelo puede ser usado en uno o varios edificios que compartan la generación y administración de energía. El modelo requiere de un CPU en el que se realiza el proceso de aprendizaje, administración de la red e IA, una plataforma en la nube y hardware COTS como nodos en el marco donde reciben datos de los sensores y realizan el control mediante algoritmos de IA.

Anterior al desarrollo de la presente investigación se ha trabajado en el diseño del software de un sistema para viviendas inteligentes actuando como Servidor Web local, también se desarrolló el mismo sistema basado en IoT. A partir del trabajo realizado y observando las experiencias de las investigaciones analizadas previamente, se observó la necesidad de contar con un hardware personalizado, el mismo que permita reducir fallas de conexión entre los componentes electrónicos y a su vez desarrollar nuevos proyectos de investigación basados en IoT para viviendas e industrias de la región. Por tal motivo, se desarrolló un sistema que permita monitorear variables ambientales tales como humedad, temperatura, presión atmosférica, altitud, contaminación del aire y luminosidad, además del control de dos salidas activadas por relé a 120 voltios y 15 amperios de corriente alterna, con detector de presencia infrarrojo y buzzer activo como indicador sonoro, adicionalmente de cuatro pulsadores y seis salidas indicadoras tipo led.

METODOLOGÍA

La presente investigación se realizó en las instalaciones de la UTB, con un enfoque experimental cualitativo, misma que se basa en el diseño, desarrollo e implementación de un sistema IoT para el monitoreo de variables ambientales y seguridad en viviendas y a la vez sirva como hardware de desarrollo y de investigación para los estudiantes de la carrera

de Ingeniería en Sistemas de Información de la Facultad de Administración Finanzas e Informática (FAFI) de la UTB. Para llevar a cabo la investigación se la dividió en fases.

La primera fase consistió en la elección de los bloques de hardware, software y herramientas necesarias para construir la arquitectura del sistema, establecer el medio de comunicación y variables a medir o controlar. La segunda fase radicó en la selección de las herramientas de diseño, componentes electrónicos y materiales necesarios para el hardware del sistema. La tercera fase hace énfasis en el diseño del software y en el algoritmo que gobernará al sistema, para este fin ya se ha venido trabajando en un proyecto semillero con estudiantes de la FAFI de la UTB (Agama Chico et al., 2022, 2023). La cuarta fase se enfoca en la fabricación del hardware del prototipo, elección de características físicas, mecánicas y estéticas de los materiales. La fase final consistió en la instalación del sistema prototipo en diez viviendas de la ciudad de Babahoyo para posteriormente evaluar su funcionalidad y nivel de aceptación de parte de los usuarios del sistema y así mismo recoger sugerencias de mejoras y optimización en futuros proyectos.

Arquitectura del sistema

Para el funcionamiento del sistema, se ha considerado previamente que la vivienda donde sea instalado el prototipo cuente con el servicio de internet con red WiFi, a la cual accede estableciendo una comunicación bidireccional con la plataforma de alojamiento web Netlify en donde se almacena la página web que contiene la interfaz de usuario y que a su vez se puede alcanzar desde cualquier dispositivo móvil o computador con conexión a internet tal como se aprecia en la Figura 1. El prototipo envía y recibe los datos de los sensores y actuadores a la plataforma de Firebase la misma que es utilizada como base de datos del sistema, los cuales se almacenan y refrescan cada cierto tiempo y en tiempo real son actualizados tanto en el prototipo como en la interfaz de usuario.

La arquitectura del sistema puede representar a uno o varios prototipos a la vez, ya que los datos de cada prototipo son accedidos o modificados por un nodo único, lo que permite utilizar el mismo diseño de la página web y de la base de datos, además de facilitar realizar correcciones o futuras actualizaciones (Marwedel, 2021).

Cabe indicar que se eligieron las plataformas de Netlify y Firebase debido a que proporcionan almacenamiento gratuito de los datos y a su vez permiten su actualización en tiempo real, siendo suficientes para las necesidades del sistema.

Con respecto a la seguridad de los datos, el sistema cuenta con autenticación y gestión de usuarios, donde cada prototipo puede contar con un solo administrador, el mismo que puede crear uno o varios usuarios invitados. Solo el administrador tiene los permisos de creación de usuarios invitados, además de realizar cambios en la interfaz de la página web.

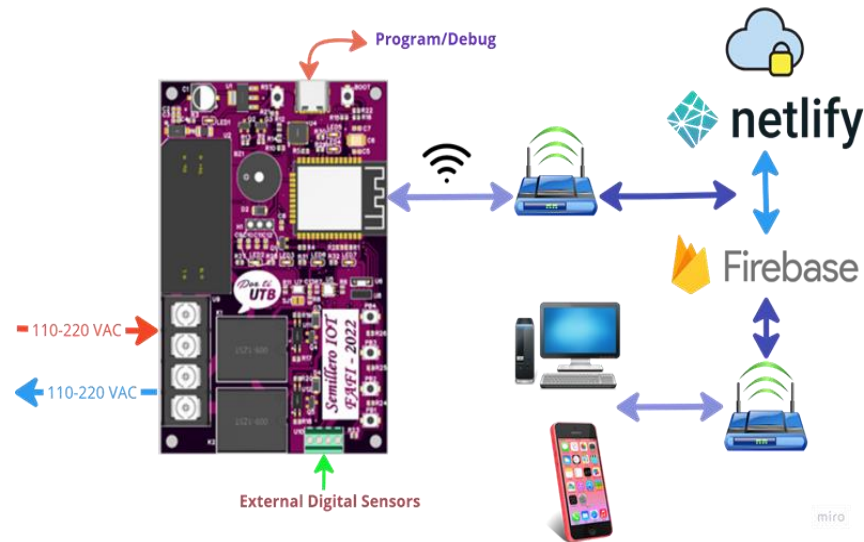


Figura 1. Arquitectura propuesta para el sistema de IoT

Diseño del hardware

Para dotarle de inteligencia a un sistema, se requiere de sensores y microprocesadores integrados en el dispositivo de hardware. En caso de optar por un diseño propio, surge un problema de mayor costo inicial, pero si se elige un diseño comercial, el problema es la compatibilidad del dispositivo con sensores recién inventados (Laghari et al., 2022). Sin embargo, al contar con recursos de financiamiento, se eligió realizar un diseño personalizado.

Tomando en consideración que los componentes electrónicos del hardware operan a 3.3V, se eligió un convertidor AC-DC de 120VAC a 5VDC el cual recibe la alimentación de corriente alterna de la vivienda donde será instalado el prototipo, para esto dispone de borneras de sujeción. Posteriormente se empleó un regulador de voltaje de 5V a 3.3V para alimentar a toda la circuitería electrónica, de lo cual podemos resaltar los componentes con su respectiva funcionalidad que se detallan en la Tabla 1.

Componente	Funcionalidad
ESP32-WROOM-32E	Circuito controlador programable con conectividad WiFi y Bluetooth LE
BME680	Sensor digital de temperatura, humedad, presión y gas de alta linealidad y precisión
BH1750	Sensor digital de luz ambiental de 16 bits
AHT25	Sensor digital mejorado de nueva generación de temperatura y humedad
RELAY 5V 10^a SPDT	Interruptor para manejar cargas a 120V
CP2102 USB TIPO C	Interfaz de programación y depuración
PUSH BUTTOM	Botoneras para pruebas y simulación
LED	Indicadores de estado
BUZZER	Indicador audible
BORNERA 120VAC	Punto de alimentación y salidas de relé
BORNERA 3.3V	Punto de conexión de sensores digitales externos

Tabla 1. Principales componentes del hardware prototipo

Para el diseño del hardware se utilizó la herramienta web de EASYEDA, la misma que ha sido ampliamente utilizada en varios proyectos relacionados al IoT (Bautista et al., 2023; Hariharan & Rajesh, 2022; Morchid et al., 2022) debido a que no requiere instalación de software y permite conocer la disponibilidad del stock de componentes para posteriormente enviar a ensamblar la tarjeta de circuito impreso (PCB).

Como se aprecia en la Figura 2, todos los componentes electrónicos fueron colocados en la capa superior del PCB, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Orificios para colocar tornillos de sujeción (4)
- Borneras, pulsadores e interfaz de programación ubicados en el marco del PCB
- Planos de cobre para mayor disipación del calor
- Antena WiFi y Bluetooth LE libre del PCB para mejorar alcance de la red

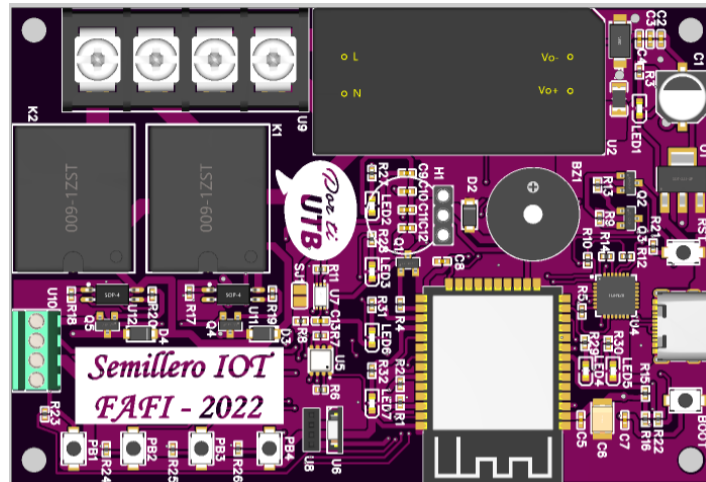


Figura 2. Vista superior de la PCB ensamblada

En la capa inferior del PCB, se dejó expuestas las pistas que llevan la línea de 120VAC desde las borneras a los relés y viceversa con la finalidad de colocar soldadura para aumentar la cantidad de corriente que pueden manejar dichas pistas. Así mismo se puede observar en la Figura 3 que el área por donde pasan las pistas de 120VAC están libres de planos de cobre para evitar interferencias en la parte electrónica de control.

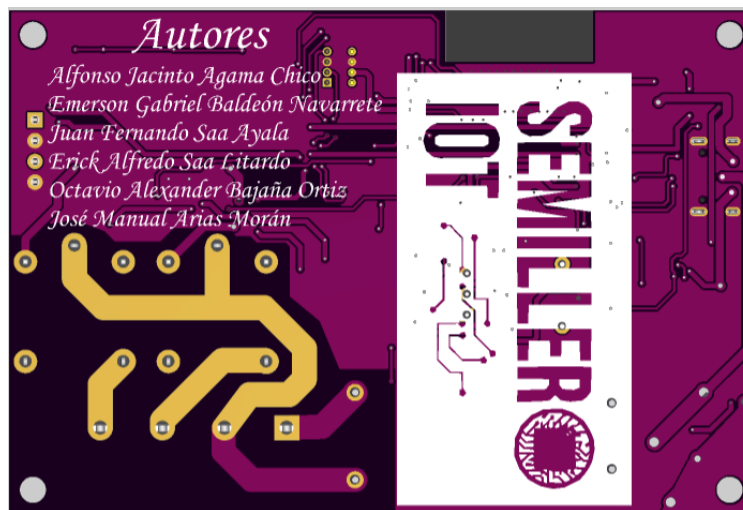


Figura 3. Vista inferior de la PCB ensamblada

Posteriormente se realizó el diseño 3D del case protector del hardware, en donde se sujeta el PCB con tornillos y a la vez permite un fácil acceso al cableado, sensores externos e

interfaz de programación como se observa en la Figura 4, además permite realizar mantenimientos preventivos y correctivos muy fácilmente. El case permite que el ESP32 que se encuentra ensamblado en la PCB pueda acceder a la red WiFi o Bluetooth sin mayor inconveniente y que además los sensores puedan tomar lecturas de los datos del ambiente en donde es instalado el prototipo.



Figura 4. Diseño 3D del prototipo para IoT

Diseño del software

El software del sistema de IoT es esencial ya que es responsable de la integración de dispositivos, la recopilación y análisis de datos dentro del sistema en la nube. También hace que los usuarios puedan interactuar con el sistema transformando los datos transmitidos a la capa de aplicación (Laghari et al., 2022). Para este fin se propuso el algoritmo que se detalla en la Figura 5.

El sistema inicia verificando los requisitos básicos de conexión y acceso a la red, para ello realiza un test de conectividad a la red WiFi, acceso a Firebase y comunicación con los sensores del hardware prototipo, en caso de no cumplir con alguno de los requisitos el sistema no permite continuar con el normal funcionamiento del mismo por lo que se deberá realizar el respectivo mantenimiento correctivo. Una vez alcanzado este punto, se realizan la lectura de los sensores, luego se envía o recibe los datos desde o hacia el nodo respectivo en Firebase quien a su vez envía o recibe datos desde la página web desarrollada con la ayuda del framework Vue.js y almacenada en Netlify. A continuación, se analizan las

condiciones de alarma que pueden ocurrir como nivel elevado de contaminación ambiental o ingreso no autorizado a la vivienda. Finalmente se actualizan los cambios físicos mediante actuadores y se repite el proceso de lectura de sensores.

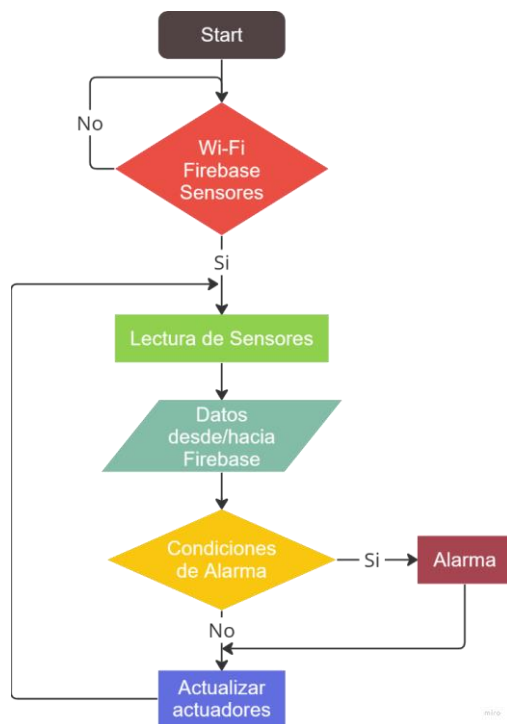


Figura 5. Algoritmo del Sistema

Implementación del sistema del prototipo para IoT

Normalmente el hardware para IoT consiste de un computador de placa única (Single Board Computers SBCs) con la capacidad de procesamiento y comunicación en la misma placa PCB (Kanagachidambaresan, 2021). El prototipo además de esto incluye sensores, pulsadores e indicadores con el propósito de tener un bajo consumo de potencia y portabilidad.

Como se observa en las Figuras 6 y 7, la fabricación del prototipo incluye el PCB con ensamblaje de los componentes y el case, el mismo que una vez sea instalado en las viviendas deberá prestar las facilidades necesarias para realizar los respectivos mantenimientos preventivos y correctivos durante el periodo de prueba y evaluación del sistema.

Como se observa en las Figuras 6 y 7, el prototipo fue enviado a fabricar con los siguientes materiales y configuraciones:



Figura 6. Vista al interior del prototipo ensamblado



Figura 7. Prototipo finalizado

Tal como indica la Tabla 2, el prototipo fue enviado a fabricar con los siguientes materiales y configuraciones:

PCB	CASE
Placa de espesor de 1.6mm	Tecnología 3D Resina SLA
Máscara antisolder color púrpura	Resina LEDO 6060
Serigrafía color blanco	Color blanco natural
Dos capas de una onza de cobre	Espesor de 3mm

Tabla 2. Especificaciones de fabricación del prototipo

El costo incurrido en la fabricación del hardware prototipo que incluyen al PCB ensamblado y case asciende a \$40.00 USD por unidad, incluido el envío a Ecuador y gastos adicionales de importación, considerando un total de 35 unidades, lo que representa un valor asequible tomando en cuenta el abanico de posibilidades de desarrollo e investigación en nuevos proyectos con dicho prototipo.

Instalación del prototipo para IoT en viviendas de usuarios

Durante el proceso de diseño, se debe verificar repetidamente si el sistema realiza su función y cumple con todos los objetivos relevantes (Marwedel, 2021) y con el fin de reafirmar este propósito, se procedió a realizar la verificación y evaluación del sistema instalando 10 unidades de los prototipos en viviendas de la ciudad de Babahoyo.

En las Figuras 8 y 9 se observa el prototipo instalado tanto en el tumbado como en la pared de las viviendas, considerando la facilidad de la conexión, ángulo de operación del sensor infrarrojo para detectar presencia, lectura de datos ambientales y cobertura de la red WiFi.



Figura 8. Prototipo instalado en el tumbado de una vivienda



Figura 9. Prototipo instalado en la pared de una vivienda

RESULTADOS

Con el fin de evaluar el nivel de aceptación del sistema y medir el impacto en los usuarios del prototipo instalado en cada una de las viviendas, se realizó una encuesta de once preguntas en escala Likert cuyos resultados se muestran en la Figura 10, a partir del cual se realizó la prueba de fiabilidad con el coeficiente de Cronbach cuyo valor fue de 0.876, el mismo que indica que el nivel de confiabilidad es aceptable (Amirrudin et al., 2021), es decir las 11 preguntas validan la hipótesis de que el sistema prototipo para IoT instalado en las viviendas mejora la percepción en los usuarios de la necesidad de utilizar esta tecnología en seguridad, bienestar y el confort de los hogares.

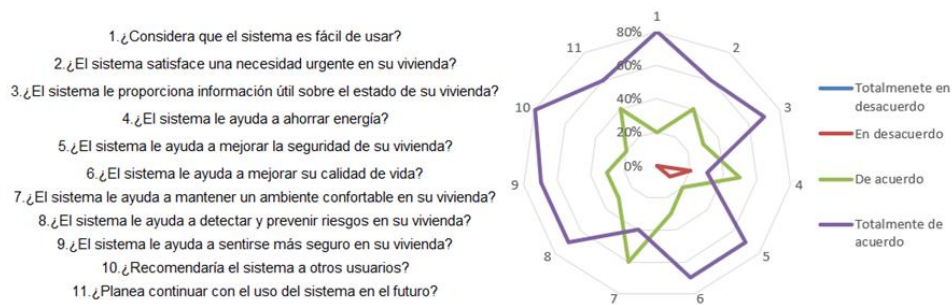


Figura 10. Nivel de aceptación e impacto del prototipo

Los resultados de la encuesta indican que el sistema es considerado fácil de usar, proporciona información útil, ayuda a ahorrar energía y mejorar la seguridad, y contribuye a mejorar la calidad de vida de los usuarios, por lo que el sistema tiene el potencial de ser adoptado por un gran número de personas.

A diferencia de los trabajos mencionados en la revisión de la literatura, el presente proyecto puede ser ampliamente utilizado en diferentes aplicaciones, tan solo requiere de modificaciones al software o según el caso se puede desarrollar software a medida, disminuyendo notablemente el tiempo de estudio, diseño y desarrollo en futuras investigaciones.

CONCLUSIONES

Mediante el desarrollo del sistema con hardware personalizado para viviendas inteligentes basado en IoT se ha reducido la probabilidad de fallas de conexión entre los componentes

electrónicos, lo que mejora la confiabilidad y estabilidad del sistema. Además, se ha creado una plataforma para el desarrollo de nuevos proyectos de investigación basados en IoT para viviendas e industrias de la región, los cuales pueden ser llevados a cabo por estudiantes o docentes de la UTB y aplicados inclusive en prácticas profesionales o vinculación con la comunidad.

Se ha mejorado la versatilidad del sistema, permitiendo la alimentación directa de la red eléctrica doméstica, el monitoreo de variables ambientales, el control de dispositivos externos, programación y depuración integrada, incorporación de nuevos sensores y servir como plataforma de educación, desarrollo e investigación de estudiantes y docentes de la UTB.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agama Chico, A. J., Saa Ayala, J. F., Baldeón Navarrete, E. G., & Arias Morán, J. M. (2022). Sistema integrado modular para seguridad y confort de Viviendas Inteligentes basado en Internet de las Cosas. *Journal of Science and Research*, 7(CININGEC II), Article CININGEC II. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7726422>
- Agama Chico, A. J., Saa Ayala, J. F., Baldeón Navarrete, E. G., & Bajaña Ortiz, O. A. (2023). Servidor Web local con Autenticación y Administración de Usuarios basado en ESP32 para Viviendas Inteligentes. *Journal of Science and Research*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7726422>
- Amirrudin, M., Nasution, K., & Supahar, S. (2021). Effect of Variability on Cronbach Alpha Reliability in Research Practice. *Jurnal Matematika, Statistika Dan Komputasi*, 17(2), Article 2. <https://doi.org/10.20956/jmsk.v17i2.11655>
- Ande, R., Adebisi, B., Hammoudeh, M., & Saleem, J. (2020). Internet of Things: Evolution and technologies from a security perspective. *Sustainable Cities and Society*, 54, 101728. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101728>
- Bautista, C., Teneda, S., Córdova, P., & Gordón, C. (2023). Monitoring and Control System for Energy Harvesting IoT Applications. En M. V. Garcia & C. Gordón-Gallegos (Eds.), *CSEI: International Conference on Computer Science, Electronics and Industrial Engineering (CSEI)* (pp. 333-350). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30592-4_23

- Choi, W., Kim, J., Lee, S., & Park, E. (2021). Smart home and internet of things: A bibliometric study. *Journal of Cleaner Production*, 301, 126908. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126908>
- El-Hosseini, M., ZainEldin, H., Arafat, H., & Badawy, M. (2021). A fire detection model based on power-aware scheduling for IoT-sensors in smart cities with partial coverage. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12(2), 2629-2648. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02425-w>
- Ferrández-Pastor, F. J., García-Chamizo, J. M., Gomez-Trillo, S., Valdivieso-Sarabia, R., & Nieto-Hidalgo, M. (2019). Smart Management Consumption in Renewable Energy Fed Ecosystems. *Sensors*, 19(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/s19132967>
- Gladence, L. M., Anu, V. M., Rathna, R., & Brumancia, E. (2020). RETRACTED ARTICLE: Recommender system for home automation using IoT and artificial intelligence. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-01968-2>
- Hariharan, K., & Rajesh, M. (2022). Design and Development of Industrial IoT Gateway for Robotic Arm Control. En A. Noor, A. Sen, & G. Trivedi (Eds.), *Proceedings of Emerging Trends and Technologies on Intelligent Systems* (pp. 311-322). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-3097-2_26
- Hassan, R., Qamar, F., Hasan, M. K., Aman, A. H. M., & Ahmed, A. S. (2020). Internet of Things and Its Applications: A Comprehensive Survey. *Symmetry*, 12(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/sym12101674>
- Heidari, A., & Jabraeil Jamali, M. A. (2023). Internet of Things intrusion detection systems: A comprehensive review and future directions. *Cluster Computing*, 26(6), 3753-3780. <https://doi.org/10.1007/s10586-022-03776-z>
- Hu, Q., & Li, F. (2013). Hardware Design of Smart Home Energy Management System With Dynamic Price Response. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 4(4), 1878-1887. <https://doi.org/10.1109/TSG.2013.2258181>
- Kanagachidambaresan, G. R. (2021). Introduction to Internet of Things and SBCs. En G. R. Kanagachidambaresan (Ed.), *Role of Single Board Computers (SBCs) in rapid IoT Prototyping* (pp. 1-18). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72957-8_1

- Khanna, A., & Kaur, S. (2020). Internet of Things (IoT), Applications and Challenges: A Comprehensive Review. *Wireless Personal Communications*, 114(2), 1687-1762. <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07446-4>
- Laghari, A. A., Wu, K., Laghari, R. A., Ali, M., & Khan, A. A. (2022). RETRACTED ARTICLE: A Review and State of Art of Internet of Things (IoT). *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29(3), 1395-1413. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09622-6>
- Marwedel, P. (2021). *Embedded System Design: Embedded Systems Foundations of Cyber-Physical Systems, and the Internet of Things*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-60910-8>
- Morchid, A., El Alami, R., Qjidaa, H., El Alaoui, M., Touati, H., El Khadiri, K., & Ouazzani-Jamil, M. (2022). Fire Safety System Implementation for Controlling and Monitoring a Siren in Smart Farm Using Gas Sensor and Flame Sensor. En S. Motahhir & B. Bossoufi (Eds.), *Digital Technologies and Applications* (pp. 733-742). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-01942-5_73
- Qiu, J., Tian, Z., Du, C., Zuo, Q., Su, S., & Fang, B. (2020). A Survey on Access Control in the Age of Internet of Things. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(6), 4682-4696. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2969326>
- Sepasgozar, S., Karimi, R., Farahzadi, L., Moezzi, F., Shirowzhan, S., M. Ebrahimzadeh, S., Hui, F., & Aye, L. (2020). A Systematic Content Review of Artificial Intelligence and the Internet of Things Applications in Smart Home. *Applied Sciences*, 10(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/app10093074>
- Taiwo, O., & Ezugwu, A. E. (2021). Internet of Things-Based Intelligent Smart Home Control System. *Security and Communication Networks*, 2021, e9928254. <https://doi.org/10.1155/2021/9928254>