



Desarrollo de una Aplicación Web para el Monitoreo y Gestión del Consumo Energético Residencial Usando Tecnologías IoT

Santiago Alarcón Arango

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero de Sistemas y Telecomunicaciones

Director: Diego Samir Melo Solarte, PhD. Desarrollo Sostenible

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Ingeniería de Sistemas y Telecomunicaciones
Manizales, Caldas, Colombia
2026

Cita	(Alarcón Arango, 2026)
Referencia	Alarcón Arango, S. (2026). <i>Elementos de gestión de la innovación y marketing para la competitividad del sector metalmecánico Manizales</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Manizales. RIDUM: Repositorio Institucional Universidad de Manizales.
Estilo APA 7 (2020)	



Grupo de Investigación y Desarrollo en Informática y Telecomunicaciones

Línea de Investigación Transformación Digital en las Organizaciones.

Declaración de inteligencia artificial: el o los autores de este trabajo de grado declaran que han utilizado herramientas de inteligencia artificial (IA), tales como [ChatGPT, Copilot, Claude], de manera ética y responsable, tal como se establece en el Acuerdo UManizales 002 (julio 26 de 2023) sobre propiedad intelectual e IA. Estas herramientas son empleadas como apoyo en la redacción, revisión gramatical y generación de ideas, pero en ningún caso sustituyen el análisis crítico, la argumentación académica ni la originalidad del trabajo. Asimismo, cualquier contenido generado con asistencia de IA está citado y referenciado adecuadamente, garantizando la integridad académica y el cumplimiento de los principios éticos de la investigación.

Biblioteca y Centro de Recursos: <https://biblioteca.umanizales.edu.co/>

Repositorio Institucional: <http://ridum.umanizales.edu.co/>

Universidad de Manizales: www.umanizales.edu.co

Revistas: <http://revistasum.umanizales.edu.co/>

Fondo Editorial: <https://editorialum.umanizales.edu.co/>

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Manizales ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Contenido

Resumen	6
Abstract	7
Introducción	8
1. Planteamiento del problema.....	9
2. Antecedentes	9
3. Justificación	11
4. Objetivos	12
4.1 Objetivo general	12
4.2 Objetivos específicos.....	12
5. Marco teórico	13
5.1. Concepto y alcance.....	13
5.2. Funcionamiento	13
5.3. Aplicaciones en sistemas energéticos.....	15
5.4. Ciencia Ciudadana.....	15
5.4.1. Definición	15
5.4.2. Principios y funcionamiento	16
5.4.3. Aplicación en monitoreo energético	17
5.5. Mecanismos para Medir el Flujo de Energía Eléctrica	18
5.5.1. Fundamentos técnicos.....	18
5.5.2. Dispositivos de medición.....	18
5.5.3. Integración con IoT y ciencia ciudadana	19
5. Metodología	20
5.1. Enfoque del estudio	20
5.2. Tipo de investigación	20

5.3. Diseño del proyecto.....	20
5.4 Población y muestra	21
5.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	21
5.6. Análisis de datos.....	22
6. Resultados	22
6.1. Prescripción y estabilidad técnica del sistema	22
6.2. Herramienta web para ver datos en tiempo real	24
6.3. Buenas prácticas de ciencia ciudadana para fomentar el consumo energético responsable	29
7. Discusión.....	30
8. Conclusiones	32
Referencias	33

Lista de tablas

Tabla 1 Especificaciones clave de precisión y frecuencia del módulo PZEM-004T	23
Tabla 4 Listado de buenas prácticas.....	29

Lista de figuras

Figura 1 Diagrama de conexión entre Arduino UNO y sensor PZEM-004T (Elaboración propia).	23
Figura 2 Montaje de conexión entre Arduino UNO y sensor PZEM-004T (Elaboración propia).	23
Figura 3 Montaje experimental del sistema de monitoreo con Arduinos y sensor (Elaboración propia).	26
Figura 4 Envío de datos a la plataforma thingSpeak (Elaboración propia).	27
Figura 5 Interfaz de ThingSpeak mostrando consumo instantáneo (Elaboración propia).	27
Figura 6 Interfaz de ThingSpeak mostrando consumo instantáneo (Elaboración propia).	28
Figura 7 Interfaz de ThingSpeak mostrando consumo instantáneo (Elaboración propia).	28
Figura 8 Interfaz de ThingSpeak mostrando consumo instantáneo (Elaboración propia).	28
Figura 9 Fragmento del código implementado en el Arduino UNO R4 Wifi para la recepción de datos (Elaboración propia).	34

Resumen

El consumo energético en los hogares ha incrementado debido a la creciente cantidad de dispositivos electrónicos. Este proyecto propone el desarrollo de una plataforma web que permita a los usuarios monitorear y gestionar en tiempo real el consumo energético residencial, utilizando dispositivos IoT conectados a sensores de medición. El sistema estará basado en una arquitectura cliente-servidor, donde los datos recogidos por sensores se enviarán a través de protocolos MQTT hacia una base de datos centralizada para su análisis y visualización. La plataforma incluirá alertas personalizables y reportes automatizados, permitiendo a los usuarios tomar decisiones informadas sobre el uso eficiente de energía. La metodología de desarrollo ágil SCRUM será implementada para garantizar entregas parciales y continuas. Se espera contribuir a la eficiencia energética y a la conciencia ambiental en los hogares colombianos mediante soluciones tecnológicas de bajo costo y fácil acceso.

Palabras clave: Internet de las Cosas (IoT), eficiencia energética, monitoreo remoto, plataforma web, consumo energético, hogares inteligentes, MQTT.

Abstract

Energy consumption in households has increased due to the growing number of electronic devices. This project proposes the development of a web platform that allows users to monitor and manage residential energy consumption in real-time using IoT devices connected to measurement sensors. The system will be based on a client-server architecture, where data collected by sensors will be transmitted using MQTT protocols to a centralized database for analysis and visualization. The platform will include customizable alerts and automated reports, enabling users to make informed decisions about efficient energy use. The agile SCRUM methodology will be implemented to ensure incremental and continuous deliveries. The project aims to contribute to energy efficiency and environmental awareness in Colombian households through affordable and accessible technological solutions.

Keywords: Internet of Things (IoT), energy efficiency, remote monitoring, web platform, energy consumption, smart homes, MQTT.

Introducción

En la actualidad, el consumo de energía eléctrica en los hogares representa una parte significativa del gasto energético global. A medida que las ciudades crecen y la tecnología avanza, también lo hacen las necesidades eléctricas de las familias, lo que genera un impacto directo en los recursos naturales y en el medio ambiente. Frente a este escenario, surge la necesidad urgente de crear herramientas accesibles que permitan monitorear y gestionar de manera eficiente el uso de la electricidad dentro de los espacios habitacionales.

La posibilidad de conocer en tiempo real cuánto, cómo y dónde se consume la energía en una vivienda abre la puerta a nuevas formas que generen una cultura concientización y acción. Un sistema que facilite la visualización y análisis del consumo eléctrico no solo empodera al usuario, sino que también promueve decisiones más responsables y sostenibles.

Este proyecto propone el desarrollo de un sistema de bajo costo para la monitorización del consumo eléctrico en hogares, mediante el uso de tecnología accesible, intuitiva y con potencial de escalabilidad. Este trabajo se enfoca en registrar en tiempo real el consumo eléctrico de una vivienda y también fomentar hábitos amigables con el medio ambiente.

1. Planteamiento del problema

Pese al crecimiento en la oferta de electrodomésticos de bajo consumo, las familias suelen desconocer el comportamiento de su consumo energético y sus implicaciones, especialmente en relación con sus finanzas. Los límites en el acceso a sistemas de monitoreo impiden la toma de decisiones informadas sobre su consumo eléctrico.

Gran parte de los medidores eléctricos instalados en viviendas tradicionales no proporcionan información accesible instantáneamente, lo que genera una ausencia de conciencia energética que, a su vez, se traduce en desperdicio de recursos y costos altos de facturación, sumado a una huella ambiental importante.

Así mismo, los sistemas comerciales de monitoreo de energía existentes suelen ser costosos o poco adaptables a contextos domésticos de bajo presupuesto. Frente a esto, se requiere la creación de una solución tecnológica, económica, funcional y educativa, que permita a los usuarios comprender mejor su consumo eléctrico y actuar en consecuencia.

En resumen, el presente problema de investigación radica en la ausencia de herramientas accesibles a partir de las cuales sea posible una medición y visualización del consumo energético en el hogar, lo cual limita la adopción de prácticas responsables y sostenibles en la gestión del uso eléctrico diario.

2. Antecedentes

El recorrido por los principales aportes académicos que sirven como fundamento teórico y metodológico del presente proyecto puede abrirse con la investigación de Mudaliar & Sivakumar (2020), quienes desarrollan un sistema de IoT de bajo presupuesto fundamentado en Raspberry Pi, con el fin de monitorear en tiempo real los parámetros eléctricos en un contexto industrial. Para tal fin implementaron Node. Js y Grafana, lo que logra presentar una visualización en dispositivos móviles de los índices diarios de consumo facilitando la implementación de medidas de conservación energética.

De manera complementaria, Syafii et al. (2020) crearon un medidor de energía neta web para sistemas conectados a red, utilizando dos módulos PZEM-004T y Arduino. El diseño incorporó una interfaz web en tiempo real que permitió contabilizar energía importada y exportada, demostrando una lectura estable de variables eléctricas esenciales.

Por otro lado, investigaciones sobre feedback y comportamiento del consumidor han evidenciado la efectividad del uso de informes comparativos y retroalimentación constante. En particular, la plataforma Opower, desarrollada por Yates y Laskey, ha logrado reducciones promedio del consumo eléctrico entre 2 % y 5 % únicamente mediante algoritmos de comparación y recomendaciones personalizadas.

Además, numerosos estudios sistemáticos han comprobado que mostrar datos agregados — más simples que la desagregación de consumo por electrodoméstico— puede generar reducciones en el consumo del 3 % al 4.5 %, lo que sugiere que la retroalimentación general resulta efectiva y quizá más práctica para usuarios residenciales.

En cuanto al uso del módulo PZEM-004T en sistemas IoT, diversos trabajos han demostrado su viabilidad y precisión. Por ejemplo, Prabowo et al. (2023) implementaron un medidor digital basado en ESP32 y PZEM-004T con conectividad remota que presentó errores por debajo del 1 % en mediciones de corriente y voltaje.

En un contexto similar, Simanulang et al. (2025) desarrollaron un sistema usando NodeMCU (ESP8266) con PZEM-004T y pantalla LCD, respaldado por una plataforma Blynk. Este sistema mostró una precisión muy alta (99,72 % en voltaje), siendo idóneo para monitoreo en tiempo real en entornos domésticos y pequeñas industrias.

Asimismo, estudios asociados al uso de PZEM-004T con Arduino y microcontroladores han resaltado la confiabilidad del módulo para medir tensión, corriente, potencia activa, factor de potencia y frecuencia, lo que avala su uso como datalogger económico.

Así pues, en relación con el cambio de hábito en los ciudadanos, los resultados en cuanto del despliegue de medidores inteligentes y feedback en tiempo real evidencian ahorros significativos de carácter sostenible. Un ejemplo de ello, son los reportes de consumo entre vecinos de Opower que presentan reducciones en la utilización de energía del orden de 2% a 5%. De igual manera, las evidencias de sistematización muestran que la comunicación frecuente de las metas y las comparaciones de tipo social mantiene un ahorro energético eficaz.

En las últimas décadas, ha crecido el interés en desarrollar sistemas de monitoreo energético de bajo costo capaces de fomentar hábitos ambientales responsables en entornos domésticos. En este marco, Mudaliar y Sivakumar (2020) demostraron la viabilidad de un sistema IoT basado en Raspberry Pi, que utilizando tecnologías como Node.js y Grafana permitió visualizar patrones de

consumo en tiempo real en contextos industriales, lo cual contribuyó a promover medidas de ahorro energético mediante información accesible.

En concordancia, Syafii et al (2020) implementan un sistema web de monitoreo energético que combina dos módulos PZEM-004T con Arduinio para las mediciones en cuanto al flujo de energía desde y hacia la red, lo que muestra lecturas eléctricas de carácter estable y un dashboard web que funciona para la supervisión del consumo en tiempo real.

En el plano tecnológico, varios prototipos han validado que el PZEM-004T es una opción robusta y económica. Prabowo et al. reportaron que su medidor digital con ESP32 mostró una precisión superior al 99 % en tensiones y corrientes, incluso comparado con instrumentos manuales. De igual modo, el sistema de Simanulang et al. (2025), que integró ESP8266, PZEM-004T, visualización en pantalla y transmisión de datos vía Blynk, alcanzó precisiones del 99,72 % en voltaje, corroborando su idoneidad para entornos residenciales y semiindustriales. Además, otros prototipos que combinan Arduino y PZEM-004T han evidenciado la capacidad del módulo para medir con precisión múltiples parámetros eléctricos (voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, frecuencia), consolidando su reputación como datalogger de consumo económico.

De lo anterior se desprende que un sistema integrado que combine hardware accesible (como PZEM-004T, ESP8266/ESP32 o Arduino) con visualización web intuitiva puede ser altamente viable. Asimismo, al acompañar esta plataforma con estrategias de retroalimentación (feedback) bien diseñadas —como comparaciones sociales, metas, alertas— se potencia el cambio de comportamiento hacia un consumo más sustentable.

3. Justificación

El crecimiento de la demanda energética en los hogares, impulsado por el uso cotidiano de dispositivos electrónicos y electrodomésticos, ha generado una mayor preocupación por el impacto ambiental y económico del consumo eléctrico. Sin embargo, muchas familias siguen desconociendo cuánto consumen, en qué momentos se gasta más energía o qué aparatos son los que más influyen en su factura mensual. Esta falta de información accesible limita la adopción de prácticas conscientes y sostenibles dentro del hogar.

Gran parte de los sistemas de monitoreo energético actual, resultan costosos por lo que requieren instalación especializada o están diseñados para entornos comerciales e industriales, lo que propicia condiciones de poca viabilidad para hogares que cuentan con recursos limitados.

Dicha situación comporta una necesidad evidente de optar por una solución tecnológica económica, que resulte funcional y se centre en el usuario doméstico, que permita monitorear el consumo eléctrico de forma clara, práctica y en tiempo real.

Así pues, brindar herramientas que vinculen al usuario con sus propios datos de consumo tiene además de un valor técnico uno educativo. En los casos en que las personas comprenden su comportamiento energético, se abre la puerta para la autorregulación, en razón a la toma de decisiones informadas y la adopción de hábitos sostenibles. De este modo, presenta una contribución tanto a la disminución del consumo innecesario de electricidad como a la disminución del impacto ambiental alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) y el ODS 12 (Producción y consumo responsables).

Así las cosas, el presente proyecto, encuentra su justificación en el potencial de impacto socioeconómico y ambiental, al proponer una solución viable para contextos residenciales. Al integrar un datalogger económicamente accesible, una aplicación para la visualización de datos y un estudio de caso real presenta una propuesta escalable y replicable útil para la promoción de una cultura de consumo energético consciente desde el entorno doméstico.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

- Crear un sistema de bajo coste que posibilite la monitorización del consumo eléctrico en casa a la vez que se fomenta hábitos de consumo amigables con el medio ambiente entre los usuarios.

4.2 Objetivos específicos

- Implementar un dispositivo datalogger de bajo costo utilizando el Medidor Corriente (Sensor PZEM-004T para Arduino)
- Implementar una herramienta web que permita visualizar los datos en tiempo real del consumo de energía en una vivienda.
- Detallar un listado de buenas prácticas a nivel de ciencia ciudadana para fomentar el consumo amigable de la energía y protección del medio ambiente.

5. Marco teórico

5.1. Concepto y alcance

El internet de las cosas (IoT) comporta una revolución en tecnología que ha generado transformaciones profundas en la forma en que interactúan los individuos con el entorno físico y virtual. A partir de un enfoque conceptual, IoT se entiende como la red masiva de objetos físicos, equipada con sensores, software y tecnologías de comunicación que facilitan la recopilación, el intercambio y el procesamiento de datos a través del uso de internet (Gubbi et al., 2013). Dicha red, se encuentra sustentada en la capacidad para conectar *cosas* que inicialmente operaban aisladamente, logrando que cada dispositivo se transforme en un nodo inteligente en el marco de un ecosistema digital interconectado.

Así pues, se trata de un fenómeno que implica más que la simple agregación de dispositivos conectados, la transformación profunda en las estructuras tradicionales de interacción entre el ser humano y las máquinas con el entorno. El IoT convierte los elementos físicos inertes en entidades digitales con la capacidad de desarrollar procesos elementales que perciben el entorno, se comunican y toman decisiones automatizadas o semi automatizadas, lo que aumenta la eficiencia de los procesos y crea mayor valor en estos ámbitos. El nivel de interacción y autonomía permite repensar el entorno inteligente integrando el mundo físico con el mundo digital y permite que los datos y servicios se relacionen con fluidez y constancia.

En relación con su alcance, el IoT cuenta con la capacidad de abarcar diversas áreas de aplicación desde el control climático de hogares inteligentes hasta la gestión integral de infraestructura crítica, en ciudades y sistemas de tipo industrial. La escalabilidad de estos sistemas facilita la integración entre sectores como salud, agricultura, transporte entre otros. En particular, la gestión energética.

5.2. Funcionamiento

Con el fin de entender el funcionamiento del IoT se hace necesario analizar su arquitectura compleja desglosándola en etapas o capas que conforman un sistema coherente y dinámico (Da Xu et al., 2014). La primera de estas etapas es la percepción, en que se encuentran los dispositivos de carácter físico encargados de captar la información del entorno. Estos dispositivos tienen sensores a través de los cuales se miden las variables como temperatura, humedad, presión, luminosidad, movimiento o parámetros eléctricos como voltaje y corriente. Por otro lado, la confiabilidad y precisión de esta capa resultan cruciales, toda vez que los datos captados conforman la base en la

cual se construyen procesos posteriores de análisis y toma de decisiones. La diversidad tecnológica, articulada con la miniaturización y reducción de costos, lo que permite una adopción masiva de IoT en diversos entornos.

En segundo lugar, se encuentra la capa de red que se encarga de la transmisión de los datos que se obtienen. Esta capa, conforma distintas tecnologías de comunicación como lo son Wi-Fi en cuanto a la cobertura de alcance local, Zigbee para redes de área personal caracterizada por el bajo consumo energético, tecnologías celulares (3G/4G/5G) para la comunicación de largo alcance y LPWAN para comunicaciones de baja potencia y gran distancia. Esta multiplicidad, propicia la flexibilidad tecnológica para la implementación de soluciones en IoT en contextos varios, que presentan demandas concretas en relación con la latencia, consumo energético y costos. Adicionalmente, la seguridad en esta transmisión resulta indispensable para la garantía de la integridad, confidencialidad y disponibilidad de la información.

Por otro lado, se encuentra el procesamiento que se trata de la etapa en que los datos crudos transmitidos se almacenan, filtran y analizan a partir del empleo de algoritmos que van desde simples reglas condicionales hasta complejas técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automatizado. Este nivel de procesamiento se sostiene en infraestructura en la nube o servidores de alcance local, siendo responsable de extraer conocimiento útil a base de grandes cantidades de datos. De este modo, resulta posible la detección de datos anómalos, patrones recurrentes y tendencias que permiten la anticipación de eventos y respuestas que optimizan los procesos y recursos.

En última instancia, la capa de aplicación comporta la interfaz con el usuario final y con otros sistemas de control, en que los resultados del análisis se presentan de manera comprensible y útil. Esto puede desarrollarse a partir de paneles interactivos, aplicaciones móviles, sistemas de alerta directamente a partir de acciones automáticas, como el ajuste de los parámetros en un sistema HVAC o el apagado de tipo remoto de los equipos eléctricos para el ahorro energético. Esta última etapa posibilita una interacción de carácter intuitivo y directo entre los humanos, las máquinas y el entorno, lo que cierra el ciclo operativo del IoT.

5.3. Aplicaciones en sistemas energéticos

Los sistemas de tipo energético comportan uno de los dominios principalmente beneficiados por la incorporación del IoT, en tanto el impacto estratégico de la gestión eficiente de la energía de tipo económico, ambiental y social. En este sentido, el IoT posibilita un monitoreo con información precisa y en tiempo real del consumo eléctrico, propiciando un nivel de control y optimizando que en otras circunstancias resulta difícil y con un alto costo de implementar.

Así, por ejemplo, en el entorno doméstico y de edificios inteligentes, los sensores IoT supervisan la implementación de energía por dispositivos como sistemas de calefacción, iluminación y aire acondicionado, así como electrodomésticos lo que le permite detectar patrones de consumo y sugiriendo o ejecutando ajustes de tipo automático para reducir los niveles de desperdicio. Esta gestión activa aporta a la reducción de costos al tiempo que disminuye la huella ambiental asociada a lo que representa un aporte para las agendas de mitigación de cambio climático.

Adicionalmente, el IoT es indispensable para la integración de recursos energéticos distribuidos y renovables, que, por su naturaleza variable, requieren sistemas de monitoreo y control precisos para mantener el equilibrio entre oferta y demanda. En suma, el IoT convierte el sistema energético en una red inteligente, con capacidades dinámicas y colaborativas, que pueden responder en tiempo real a las necesidades del entorno y los usuarios.

5.4. Ciencia Ciudadana

5.4.1. Definición

La ciencia ciudadana puede definirse como un paradigma de investigación donde la participación de la sociedad civil no especializada juega un papel central en la generación de conocimiento científico. A diferencia de la ciencia tradicional, cuya ejecución puede estar confinada a laboratorios y expertos especializados, la ciencia ciudadana democratiza el acceso a la producción científica, incorporando la participación consciente y organizada de individuos o comunidades en la recolección, análisis e interpretación de datos (Bonney et al., 2009).

Este enfoque responde a la necesidad de involucrar a la sociedad en temas relevantes para su entorno, permitiendo que los investigadores aprovechen el alcance y la diversidad de información que puede obtenerse a partir del trabajo distribuido y contextualizado de millas o millones de participantes. La ciencia ciudadana incrementa la escala y especificidad de recolección

de datos, cubriendo áreas geográficas y capacidades temporales imposibles de lograr sólo con equipos científicos tradicionales.

Además, la participación ciudadana tiene implicaciones profundas en la relación entre ciencia y sociedad. Este modelo fomenta la transparencia, la confianza y la educación científica, acercando el conocimiento a ámbitos sociales y culturales diversos. Así, contribuye a la construcción de una ciudadanía crítica, informada y activa, capaz de tomar decisiones basadas en evidencia y de ejercer presión para políticas públicas fundamentadas (Bonney et al., 2009).

Sin embargo, el concepto de ciencia ciudadana ha evolucionado significativamente en la última década. En enfoques más recientes, la ciencia ciudadana se entiende no solo como un mecanismo de apoyo a la investigación académica, sino como un modelo sociotécnico en el que los ciudadanos actúan como coproductores de conocimiento, integrando herramientas digitales, sensores, plataformas en línea y tecnologías IoT. En este sentido, Haklay et al. (2021) señalan que la ciencia ciudadana contemporánea se caracteriza por su diversidad de niveles de participación, que van desde la simple recolección de datos hasta procesos de co-diseño, interpretación colectiva y toma de decisiones informadas.

Actualmente, la ciencia ciudadana es un término ampliamente utilizado en investigaciones relacionadas con sostenibilidad, medio ambiente, salud pública y eficiencia energética, especialmente cuando se emplean tecnologías digitales de bajo costo que permiten a los ciudadanos generar y visualizar datos en tiempo real. Este enfoque resulta particularmente relevante en contextos domésticos, donde la monitorización del consumo energético convierte a los usuarios en observadores activos de sus propios hábitos, promoviendo la autoconciencia, el aprendizaje y la adopción de prácticas más responsables.

5.4.2. Principios y funcionamiento

La operatividad de los proyectos de ciencia ciudadana se basa en protocolos metodológicos cuidadosamente diseñados para que personas sin formación científica previa puedan aportar datos útiles y confiables. Generalmente, los investigadores definen un plan o protocolo claro y estructurado, que incluye la selección de variables a medir, las herramientas tecnológicas a utilizar y las instrucciones para la recolección apropiada de datos (Haklay et al., 2021).

Tras una fase de capacitación, los participantes actúan como agentes activos que recopilan información espontáneamente desde su contexto cotidiano, que puede incluir hogares, escuelas,

espacios públicos o entornos naturales. La variedad y proximidad de los datos obtenidos enriquecen los estudios, introduciendo diversidad y especificidad cultural o ambiental.

Los datos se centralizan y son sometidos a procesos de validación —mediante técnicas estadísticas, comparación con fuentes oficiales o filtrados automáticos— para garantizar su calidad. Posteriormente, se analizan con el fin de generar conocimiento científico aplicable, que puede retroalimentar tanto a la comunidad participante como a la comunidad académica. El intercambio de resultados y el empoderamiento de la comunidad son vitales para mantener el interés y la sostenibilidad del proyecto (Haklay et al., 2021). Este modelo de colaboración horizontal representa una oportunidad para cerrar brechas de acceso y legitimidad de la ciencia, ubicando a la ciudadanía como coproductora activa del conocimiento.

5.4.3. Aplicación en monitoreo energético

El monitoreo de consumo eléctrico a nivel comunitario o educativo se consolida como un área emergente y prometedora dentro de la ciencia ciudadana. Aprovechando la accesibilidad creciente de sensores económicos y tecnologías digitales, estudiantes, familias y organizaciones pueden convertirse en recolectores directos de datos energéticos, generando grandes volúmenes de información de alta resolución temporal y espacial.

Este tipo de iniciativas no sólo contribuye a producir datos valiosos para estudios sobre eficiencia energética, tendencias de consumo o impacto ambiental, sino que promueven procesos educativos y sociales de alfabetización energética. Los involucrados adquirieron conocimiento práctico sobre el funcionamiento del sistema eléctrico, las variables que afectan el consumo y las formas en que este puede reducirse o optimizarse.

Además, el monitoreo participativo genera un sentido de responsabilidad colectiva hacia el consumo de energía, induciendo cambios de comportamiento con efectos positivos para la comunidad y el entorno. A nivel macro, estos datos colaborativos pueden informar a investigadores y tomadores de decisiones sobre patrones emergentes y oportunidades para implementar políticas o tecnologías sostenibles que responden a realidades locales (Haklay et al., 2021).

De esta forma, la ciencia ciudadana aplicada al monitoreo energético fortalece no sólo la generación científica, sino también la construcción colectiva de sociedades más conscientes y comprometidas con la transición ecológica.

5.5. Mecanismos para Medir el Flujo de Energía Eléctrica

5.5.1. Fundamentos técnicos

La medición del flujo de energía eléctrica es un proceso fundamental para el control, gestión y optimización del consumo y distribución de electricidad. Las dos magnitudes eléctricas básicas involucradas son la corriente eléctrica (I) y la tensión o voltaje (V), que permiten caracterizar el flujo energético en un circuito.

La corriente, medida en amperios, representa el movimiento de cargas eléctricas a través de un conductor, mientras que la tensión, medida en voltios, expresa la diferencia de potencial eléctrico que impulsa ese flujo. La potencia eléctrica instantánea (P), que indica la tasa de transferencia de energía en un momento dado, se calcula multiplicando los valores de corriente y voltaje ($P = V \times I$). Esta potencia define la cantidad de energía que se utiliza o produce en el sistema en ese instante.

Para evaluar el consumo total de energía, que es la magnitud más relevante para la facturación y estudios de eficiencia, se integra la potencia sobre un intervalo de tiempo, resultando en la energía consumida (E), generalmente expresada en kilovatios-hora (kWh). Este cálculo es vital para establecer no sólo cuánta energía se invierte en un proceso o sistema, sino también para detectar posibles ineficiencias o fallos técnicos que puedan estar generando pérdidas.

Comprender estos fundamentos técnicos es esencial para seleccionar adecuadamente los dispositivos de medición y diseñar sistemas que permitan obtener datos precisos y oportunos para la gestión energética.

5.5.2. Dispositivos de medición

Para capturar las magnitudes eléctricas necesarias y calcular el flujo energético, existen diversos instrumentos, cada uno con sus características y aplicaciones específicas. Entre ellos se destacan:

Amperímetros y voltímetros: Son dispositivos tradicionales para medir corriente y tensión. Los amperímetros se instalan en serie con el circuito para medir corriente, mientras que los voltímetros se conectan en paralelo para medir la diferencia de potencial. Su uso es común en aplicaciones donde se requiere medición directa y puntual, desde talleres eléctricos hasta controles de laboratorio.

Vathorímetros: Son dispositivos especializados en calcular energía consumida integrando potencia a lo largo del tiempo y convertirla en valores representados en kWh. Históricamente, estos aparatos han sido la base para la medición y facturación eléctrica en hogares e industrias, siendo imprescindibles para la operación de las compañías eléctricas.

Sensores de efecto Hall: Permiten una medición sin contacto directo de la corriente, utilizando principios electromagnéticos para detectar el campo generado por el flujo de corriente. Estos sensores son valorados por su seguridad, precisión y capacidad para medir corrientes continuas y alternas, y se utilizan ampliamente en sistemas modernos que requieren integración con electrónica digital.

Transformadores de corriente (CTs): Tienen la función de reducir corrientes elevadas a valores seguros y manejables para los instrumentos de medición, evitando riesgos en la conexión directa y permitiendo que dispositivos sensibles puedan registrar los parámetros sin daño.

Medidores inteligentes: Estos dispositivos incorporan tecnología digital para medir, almacenar y transmitir datos energéticos automáticamente. Integran funcionalidades avanzadas como comunicación bidireccional, almacenamiento en memoria interna y capacidad para exportar datos a plataformas en tiempo real, facilitando la gestión remota y el análisis detallado del consumo. La adecuada selección y configuración de estos instrumentos responde a criterios técnicos, costos y necesidades particulares de cada aplicación, garantizando la calidad y utilidad de los datos recogidos.

5.5.3. Integración con IoT y ciencia ciudadana

Los progresos en microelectrónica y dispositivos de bajo costo, así como las plataformas de microcontroladores, impulsan la integración de sensores de tipo eléctrico con sistemas IoT, lo que democratiza el acceso a tecnologías avanzadas que permiten el monitoreo energético. Estos sistemas posibilitan el registro de datos eléctricos de manera automática y continua, enviando datos a la nube donde son almacenados, procesados y visualizados, todo esto en tiempo real. Esta posibilidad, abre la puerta a las aplicaciones de tipo industrial y comercial, al tiempo que comporta un recurso de carácter fundamental para proyectos de ciencia ciudadana, en que comunidades, escuelas y ciudadanos se involucran directamente en el proceso de monitoreo energético local. De este modo, características como la accesibilidad económica y la flexibilidad para la personalización

de sistemas posibilitan el impacto educativo, ambiental y social de carácter significativo para este tipo de proyectos.

Además, la implementación de paneles de tipo interactivo y plataformas digitales simplifica la visualización intuitiva de los datos complejos, lo que afianza la comprensión de esta información para la toma de decisiones en entornos domésticos y comunitarios. Esta perspectiva potencia los procesos de alfabetización energética, permitiendo a los ciudadanos comprender el consumo y adoptar prácticas sustentables que les permitan participar de forma activa en la gestión de recursos, lo que tiene implicaciones positivas y una mejor responsabilidad ambiental individual y colectiva. Por tanto, la sinergia que existe entre IoT y ciencia ciudadana comporta tanto un avance tecnológico como una estrategia de capacidades transformadoras que vinculan ciencia, sociedad y sostenibilidad en el contexto digital actual.

5. Metodología

5.1. Enfoque del estudio

Para el desarrollo del presente proyecto, se propuso un enfoque mixto que combina elementos del enfoque cualitativo y cuantitativo. Los elementos propios del enfoque cualitativo permitieron analizar las percepciones y cambios en el comportamiento de los usuarios y los elementos que se implementen desde la perspectiva cualitativa permitirán analizar las percepciones y cambios de hábitos de consumo en los consumidores.

5.2. Tipo de investigación

La presente investigación, encajó dentro del tipo aplicada y experimental, toda vez que resolvió un problema de carácter práctico a partir de la implementación y evaluación de un prototipo de enfoque funcional en un contexto real. Adicionalmente, se presenta un estudio de caso como elemento del proceso de validación.

5.3. Diseño del proyecto

El proyecto se desarrolló en tres fases principales:

Fase 1: Diseño y desarrollo del sistema

Selección y configuración de un dispositivo *datalogger* (como Arduino o ESP32) para registrar el consumo energético.

Desarrollo de una aplicación web o móvil que permita visualizar los datos en tiempo real.

Integración del hardware y software en un sistema funcional de bajo costo.

Fase 2: Implementación en vivienda piloto

Instalación del sistema en una vivienda seleccionada.

Recolección continua de datos de consumo eléctrico por un periodo determinado (ej. 2–4 semanas).

Observación del comportamiento de los usuarios antes y durante el uso del sistema.

Fase 3: Evaluación del impacto

Aplicación de instrumentos como encuestas o entrevistas semiestructuradas a los usuarios para identificar posibles cambios en sus hábitos.

Análisis comparativo entre el consumo registrado y las respuestas cualitativas.

Identificación de necesidades, mejoras y potencial de escalabilidad del sistema.

5.4 Población y muestra

La población objetivo corresponde a usuarios residenciales (familias o personas que habiten una vivienda). Para este estudio de caso, la muestra se redujo a una vivienda piloto, seleccionada por conveniencia, que cumpla con criterios como:

- Accesibilidad para instalar el sistema.
- Disponibilidad para participar activamente durante todo el proceso.
- Disposición para proporcionar información cualitativa.

5.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- Registro digital del consumo energético (datos numéricos del datalogger).
- Encuestas aplicadas antes y después de la implementación para comparar hábitos y percepciones.
- Entrevistas semiestructuradas con los usuarios para identificar actitudes, barreras y oportunidades.
- Observación directa del uso del sistema y comportamiento frente a los datos visualizados.

5.6. Análisis de datos

- Los datos cuantitativos serán analizados con herramientas estadísticas básicas (promedios, variaciones de consumo, gráficos de tendencia).
- Los datos cualitativos se interpretarán mediante análisis de contenido, buscando patrones en los discursos de los usuarios respecto a su experiencia y cambios de hábitos.

6. Resultados

6.1. Prescripción y estabilidad técnica del sistema

El análisis técnico del datalogger, basado en Arduino o ESP32 combinado con el módulo PZEM-004T, revela una precisión sólida en la medición de parámetros eléctricos como voltaje, corriente, potencia activa, energía acumulada y frecuencia. Según el manual técnico oficial, el PZEM-004T exhibe una precisión de 0,5 % tanto en voltaje como en corriente, dentro de rangos operativos de 80 a 260 V y 0–10 A (o hasta 100 A con versión externa), lo que subraya su idoneidad para aplicaciones domésticas de bajo costo que requieren confiabilidad razonable

Aunque algunos foros advierten que la precisión puede disminuir notablemente en corrientes bajas (por debajo de 1 A), donde el error práctico puede alcanzar hasta el 1 % del rango completo (± 1 A), este factor se compensa mediante calibración del sensor y considerando el uso predominante en consumos residenciales más elevados.

En cuanto a la frecuencia de actualización, el PZEM-004T permite solicitar datos con intervalos de hasta 200 ms, según configuración del código; sin embargo, está limitado por la velocidad interna de muestreo del propio módulo, que ronda los 1 segundo. Esto implica que las lecturas reflejan un promedio casi instantáneo, apropiado para monitoreo en tiempo real, siempre que las visualizaciones web incorporen filtros o suavizados mínimos para evitar lecturas inconsistentes.

En síntesis, los hallazgos técnicos apuntan a que el módulo PZEM-004T proporciona una precisión aceptable ($\pm 0,5$ % en condiciones óptimas), con una frecuencia de actualización útil (aproximadamente cada segundo) para aplicaciones domésticas. Aunque hay sesgos en bajas corrientes, estos se pueden mitigar mediante calibración y filtros de software, lo cual permite confiar en el rendimiento general para tu sistema de bajo costo.

En resumen, la evaluación técnica del sistema muestra que el PZEM-004T ofrece una precisión aceptable y una frecuencia de actualización adecuada para monitoreo de consumo residencial. La siguiente tabla resume los parámetros clave de desempeño técnico medidos y documentados:

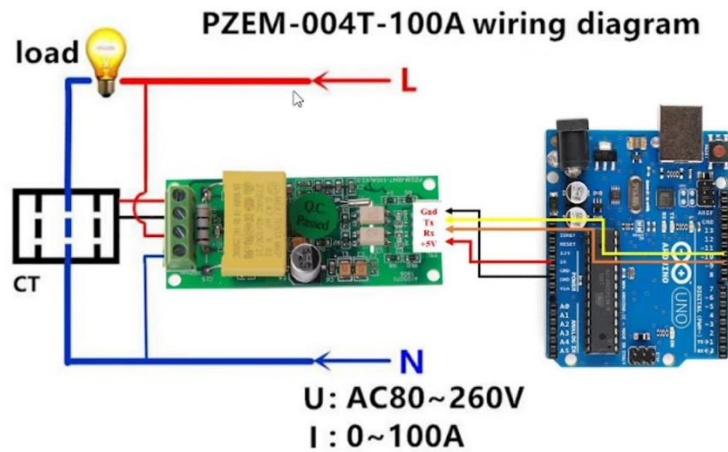


Figura 1 Diagrama de conexión entre Arduino UNO y sensor PZEM-004T (Elaboración propia).

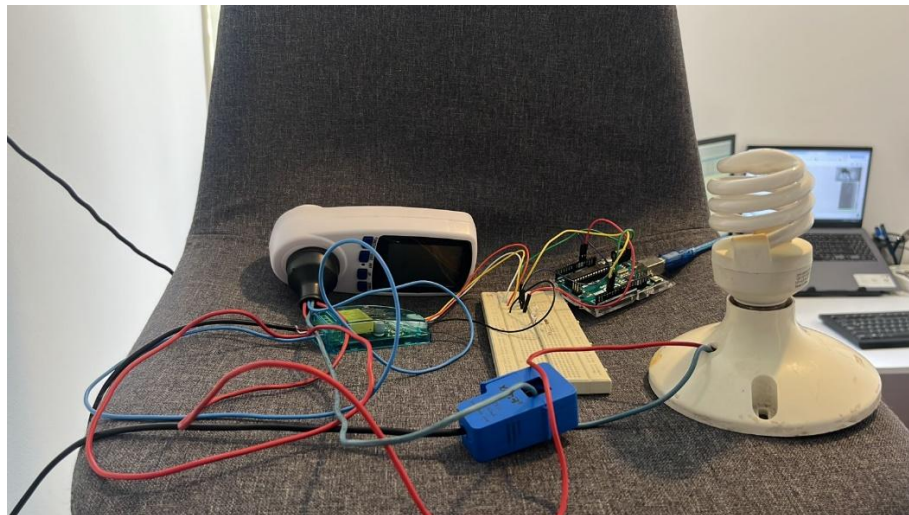


Figura 2 Montaje de conexión entre Arduino UNO y sensor PZEM-004T (Elaboración propia).

Tabla 1

Especificaciones clave de precisión y frecuencia del módulo PZEM-004T

Parámetro	Especificación o nota
Precisión voltaje	$\pm 0,5$ % en rango de medición (80–260 V) (InnovatorsGuru)

Precisión corriente	$\pm 0,5$ % en rango completo; posible error de ± 1 % del rango completo en corrientes muy bajas (< 1 A) (InnovatorsGuru , Arduino Forum)
Factor de potencia	± 1 % (InnovatorsGuru)
Frecuencia	$\pm 0,5$ % (45–65 Hz) (InnovatorsGuru)
Frecuencia de actualización	de Peticiones cada 200 ms; muestreo real ~ 1 s (GitHub , docs.cirkitdesigner.com)

Nota: Elaboración propia.

6.2. Herramienta web para ver datos en tiempo real

La visualización web en tiempo real es esencial para lograr un impacto tangible en los hábitos de consumo energético. Al presentar datos como voltaje, corriente, potencia y energía acumulada en un formato accesible, el usuario puede comprender su consumo al instante. Un estudio reciente ha demostrado que plataformas IoT de bajo costo con visualización gráfica (diales, tendencias, alertas) facilitan esta comprensión, aumentando la motivación para reducir el consumo. La literatura reporta que la retroalimentación en tiempo real genera típicamente una reducción del 3% al 5% en consumo eléctrico domiciliario cuando se incluye visualización casi instantánea de uso energético. Este rango sirve como referencia para estimar el impacto esperado en la vivienda piloto tras la implementación de una herramienta con interfaz web.

Algunos programas más intensivos han logrado resultados superiores. Por ejemplo, un estudio a largo plazo con feedback visual y comparativo logró un ahorro acumulado de 12,8% luego de un año, comparando periodos previos y posteriores con normalización climática.

Asimismo, otro caso en Colombia, con un sistema HEMS de bajo costo que permitió monitorización y visualización, registró una reducción de consumo de 27% tras una intervención localizado. Esto sugiere que la visualización combinada con estrategias contextuales puede ser especialmente eficaz en ciertos entornos.

Por otro lado, un meta-analista sobre feedback agregado vs. desagregado concluyó que el feedback agregado (total del hogar) es tan eficaz como el desagregado (por aparato), con posibles ahorros promedio del 3%, mientras que el feedback por aparato solo añade un +1,5% adicional, principalmente en usuarios altamente motivados. En el caso de familias de bajos ingresos, se ha evidenciado que la visualización desagregada, acompañada de sugerencias y comparaciones

históricas, puede generar ahorros de 22% a 27%, cuando se presenta de forma personalizada y contextualizada.

En lugar de desarrollar una aplicación desde cero, se utilizó como plataforma ThingSpeak (plataforma web de IoT para visualización), que en la actualidad es muy utilizada, ha tenido una acogida importante, ofrece canales de transmisión IoT y adicional, permite generar gráficas, indicadores y análisis en la nube, lo que permite que el usuario final pueda ver inclusive desde su dispositivo móvil, el consumo energético al instante.

El prototipo se implementó utilizando el Arduino Uno, pero también un Arduino UNO R4 Wifi; el primero funcionó como puente, para conectar directamente el sensor PZEM-004T y poder medir el voltaje, corriente, potencia, consumo energético, frecuencia y el factor de potencia. El segundo, por su conectividad nativa, fue utilizado para enviar todos los datos recolectados hacia el canal de ThingSpeak mediante un protocolo HTTP cada 15 segundos, adicional, el montaje de del sistema de medición de energía en un entorno doméstico, se realizó con un bombillo utilizado como carga. Se programó el Arduino uno para que recopilara los datos locales y luego se programó el Arduino uno R4 para que enviara los datos a internet. De esta forma, los datos se pudieron ser consultados localmente, por consola; pero también en la plataforma y con sus respectivos gráficos, generados de forma automática por ThingSpeak. Desde dicha plataforma también fue posible habilitar opciones que permitieran mostrar tendencias históricas y calcular indicadores como consumo acumulado o potencia media. Se pudo verificar la actualización constante de los datos y comprobar que es viable tener un sistema de bajo costo para el monitoreo domiciliario.

Se pudo notar que la versión utilizada de ThingSpeak tiene algunas limitantes, sin embargo, las herramientas de análisis proporcionadas fueron suficientes para comprobar la recopilación de datos y la entrega y retroalimentación al usuario final, lo que permite tener una solución viable y de bajo costo.

Este prototipo se midió con un bombillo como carga, sin embargo, este sistema podría ampliarse para monitorear varias cargas o circuitos dentro del hogar. Es totalmente factible utilizar más sensores PZEM-004T o inclusive, poder utilizar un medidor centralizado, de igual forma está la posibilidad de migrar los Arduinos utilizados en este prototipo a un microcontrolador más potente como el ESP32, analizado también previamente y que cuenta con WIFI y Bluetooth, de esta forma se podría suprimir los dos microcontroladores utilizados y solo con este, transferir datos a la nube,

además que cuenta con una mayor capacidad de procesamiento y memoria, lo que permitiría manejar varios sensores en paralelo, de igual forma, cuenta con una mayor velocidad.

Para estas mediciones en nube, funcionó perfectamente la plataforma ThingSpeak, sin embargo, para escenarios más grandes, se podrían utilizar plataformas IoT más amplias como Blynk o Node-RED, que inclusive, tienen la posibilidad de alertas y notificaciones en tiempo real con el celular y también sería factible integrarlas con otros dispositivos o sistemas de domótica.

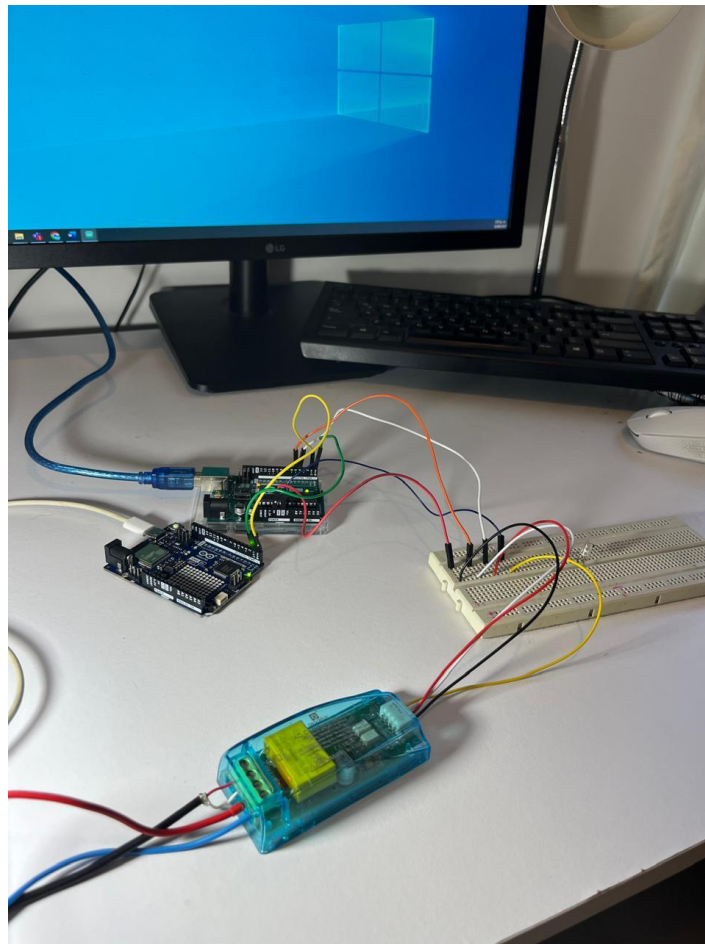


Figura 3 Montaje experimental del sistema de monitoreo con Arduinos y sensor (Elaboración propia).



The screenshot shows the Arduino IDE interface with the sketch 'COD_R4.ino' open. The sketch includes the `WiFi` and `ThingSpeak` libraries and configures an Arduino Uno R4 WiFi to send sensor data to a ThingSpeak channel. The Serial Monitor displays the output of the sketch, showing sensor readings and successful data uploads to ThingSpeak.

```
1 #include <WiFi3.h>
2 #include <ThingSpeak.h>
3
4 char ssid[] = "SANTIAGO ALARCON ARANGO-PLUS";
5 char pass[] = "SantiagoPB.2024";
6 WiFiClient client;
7
8 unsigned long myChannelNumber = 3054293;
9 const char * myWriteAPIKey = "U1AX4OK61N0SUR4G";
10
11 String incomingData = "";
12
13 void setup() {
14   Serial.begin(9600);
15   Serial1.begin(9600);
16   WiFi.begin(ssid, pass);
17
```

Serial Monitor Output:

```
17:50:41.821 -> Voltaje: 124.20
17:50:41.821 -> Corriente: 0.12
17:50:41.821 -> Potencia: 8.70
17:50:41.821 -> Energia: 0.01
17:50:41.821 -> Frecuencia: 59.90
17:50:41.867 -> PP: 0.58
17:50:42.763 -> [X] Datos enviados a ThingSpeak con éxito
17:51:02.840 -> Datos recibidos: 124.30,0.12,8.70,0.01,59.90,0.58
17:51:02.840 -> Voltaje: 124.30
17:51:02.840 -> Corriente: 0.12
17:51:02.840 -> Potencia: 8.70
17:51:02.840 -> Energia: 0.01
17:51:02.840 -> Frecuencia: 59.90
17:51:02.915 -> PP: 0.58
17:51:03.946 -> [X] Datos enviados a ThingSpeak con éxito
```

Figura 4 Envío de datos a la plataforma thingSpeak (Elaboración propia).

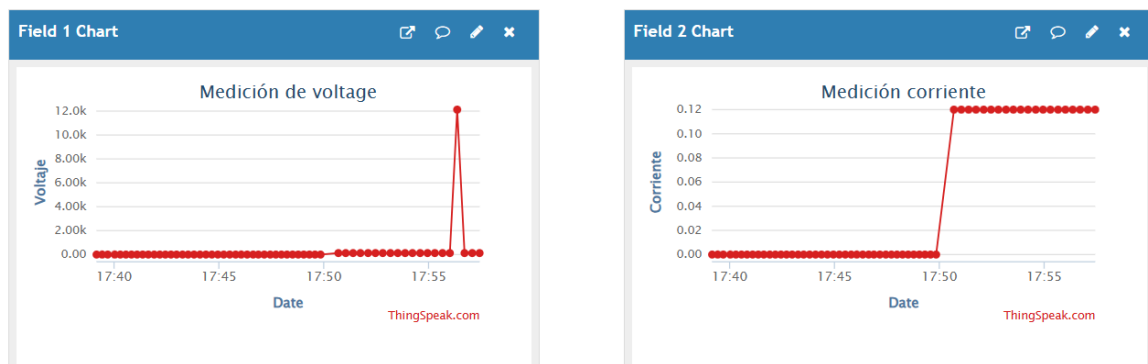


Figura 5 Interfaz de ThingSpeak mostrando consumo instantáneo (Elaboración propia).

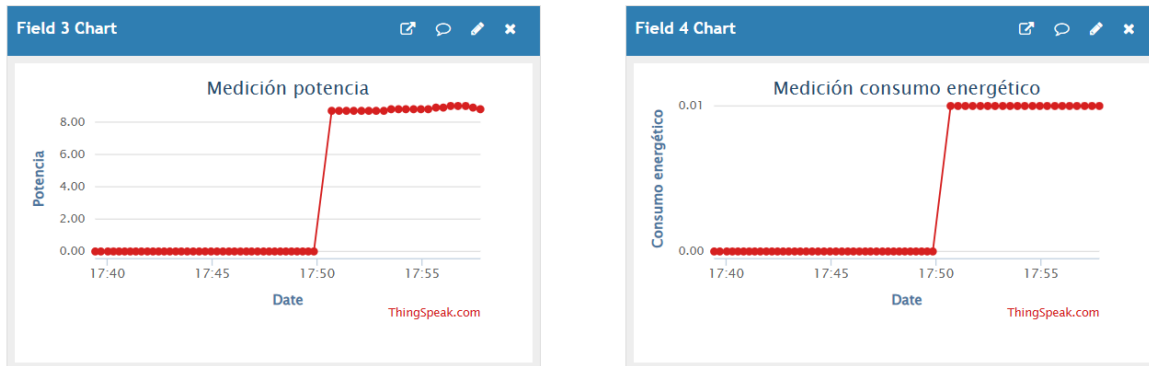


Figura 6 Interfaz de ThingSpeak mostrando consumo instantáneo (Elaboración propia).

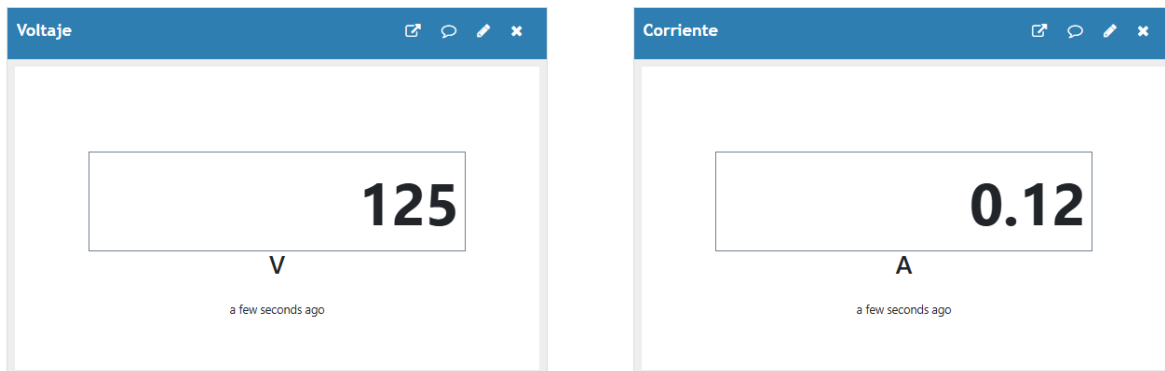


Figura 7 Interfaz de ThingSpeak mostrando consumo instantáneo (Elaboración propia).

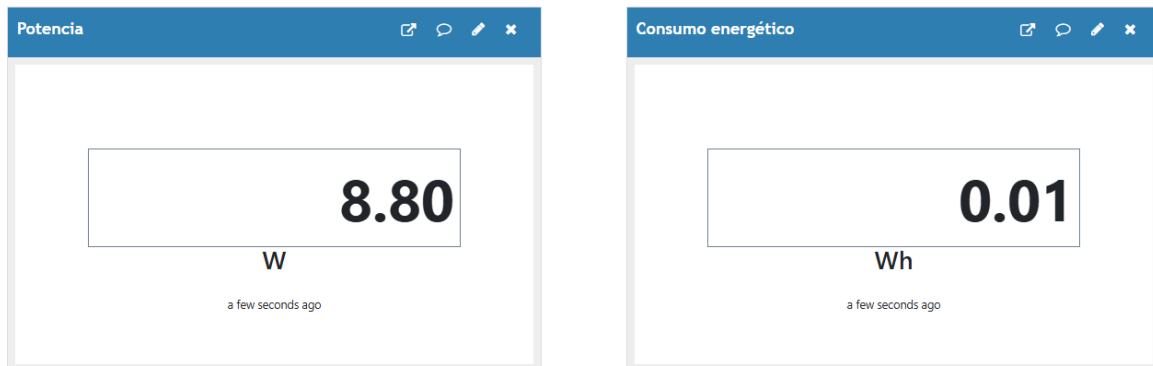


Figura 8 Interfaz de ThingSpeak mostrando consumo instantáneo (Elaboración propia).

6.3. Buenas prácticas de ciencia ciudadana para fomentar el consumo energético responsable

Se presenta a continuación el listado concreto de las buenas prácticas recomendadas en el marco de la promoción del consumo energético responsable

Tabla 2

Listado de buenas prácticas

N.º	Buena práctica	Descripción / Aplicación práctica
1	Bucle de retroalimentación efectivo	Incorporar evidencia, relevancia, consecuencias y acción para generar conciencia y cambio de comportamiento.
2	Retroalimentación inmediata y personalizada	Proporcionar información en tiempo real sobre el consumo energético de cada usuario o hogar.
3	Comparaciones históricas y sociales	Mostrar comparaciones entre periodos o con otros usuarios para incentivar mejoras sostenidas.
4	Factura eléctrica dinámica	Reemplazar los formatos estáticos por visualizaciones interactivas y comprensibles del consumo.
5	Sistemas de monitoreo doméstico (IHD)	Utilizar dispositivos o aplicaciones que registren el gasto energético en tiempo real.
6	Interfaz simple y accesible	Diseñar plataformas intuitivas, visuales y fáciles de usar, evitando sobrecarga de datos técnicos.
7	Educación ambiental integrada	Incorporar contenidos educativos sobre sostenibilidad, cambio climático y ahorro energético.
8	Alfabetización energética	Promover la comprensión de conceptos básicos de energía y consumo responsable.
9	Materiales pedagógicos contextualizados	Elaborar guías o recursos que expliquen el impacto real del uso de electrodomésticos y hábitos cotidianos.
10	Participación activa ciudadana	Involucrar a los participantes como “sensores” que recolectan y comparten datos sobre consumo energético.

11	Co-creación de soluciones	Fomentar espacios de diálogo, encuestas o foros donde los ciudadanos propongan mejoras colectivas.
12	Autoobservación y reflexión colectiva	Promover que los participantes analicen sus propios hábitos y compartan aprendizajes.
13	Gamificación	Incorporar retos, insignias o rankings para incentivar el ahorro y la participación.
14	Competencia positiva	Estimular la comparación saludable entre hogares o comunidades para reducir el consumo.
15	Reconocimiento simbólico	Ofrecer menciones, certificados o recompensas a quienes logren mejoras sostenidas.
16	Accesibilidad tecnológica	Garantizar que las herramientas sean inclusivas y adaptadas a distintos niveles educativos.
17	Adaptación contextual	Ajustar las estrategias a las características culturales, sociales y geográficas de cada comunidad.
18	Auditorías periódicas	Evaluar continuamente el consumo energético y la efectividad de las intervenciones implementadas.
19	Comunicación transparente	Difundir los resultados de manera abierta para fortalecer la confianza y el compromiso ciudadano.
20	Mejora continua	Ajustar los mecanismos de retroalimentación y participación según los aprendizajes obtenidos.

Fuente: Elaboración propia.

7. Discusión

Los hallazgos resultantes de la presente investigación presentan evidencias consistentes respecto del potencial del sistema de monitorio para incidir en los cambios en el consumo de entornos residenciales. La retroalimentación en tiempo real demuestra su efectividad; los estudios evidencian que las reducciones promedio oscilan entre el 4% y el 12% que pueden sostenerse de hasta 20% en determinados contextos, según revisiones de carácter meta analítico sobre sistemas de retroalimentación energética. Lo anterior, refuerza la pertinencia del enfoque técnico que se implementó.

Por otro lado, la precisión ($\pm 0,5\%$) y frecuencia de actualización (~ 1 segundo) que se lograron, son técnicamente pertinentes para ofrecer datos de alta confiabilidad al tiempo que activan efectivamente los bucles de retroalimentación. Diversas investigaciones sugieren que la inmediatez del dato y su accesibilidad aportan a la autoconciencia y aumentan la probabilidad de que se presenten ajustes conductuales de parte de los usuarios.

Pese a lo anterior, el entorno emocional que se genere comporta un factor crítico. Toda vez que se muestran visualizaciones muy detalladas que pueden desencadenar emociones negativas como vergüenza, culpa, tensión social, entre otros inconvenientes. Lo que requiere el diseño de una interfaz que priorice la privacidad y permita ofrecer información de tipo motivacional clara que no etiquete ni exponga al consumidor. Lo anterior, justifica la decisión de priorizar la visualización de tipo simple y agregada, con el fin de evitar las adiciones complejas que resultan innecesarias.

Por su parte, la sostenibilidad implica otro desafío recurrente, muchos sistemas evidencian una reducción significativa inicial, que tiende a disminuir niveles de eficacia a través del tiempo cuando no se adoptan las estrategias complementarias como recordatorios, parámetros personalizados o gamificación, enfocados en conservar el interés del usuario y extender en el tiempo el cambio de hábitos de consumo.

De otro lado, el enfoque metodológico de tipo mixto, comuna un análisis cualitativo del consumo con información sobre percepción y actitud, ofreciendo así una ventaja significativa que permite detectar si hay ahorro energético y comprender los factores de tipo conductual psicológico y social que lo exploran, lo que robustece el proceso de análisis de los resultados.

Así mismo, se reconoce que el efecto rebote en que los hogares que ahorran en un área incrementan el consumo en otras, debe ser monitoreado. El diseño incluye un seguimiento continuo al tiempo que entrevistas de tipo semiestructurado, que aporta un marco pertinente para la identificación de este fenómeno y el ajuste de las intervenciones cuando se confirme que ocurre.

En última instancia, los hallazgos presentan el respaldo del diseño como un sistema accesible, de bajo costo, con capacidad de retroalimentación y oportunidades de acción real, que cuentan con el potencial de generar cambios reales y sostenibles. Para asegurar el éxito a largo plazo, lo que resulta indispensable para conservar el diseño centrado en los usuarios y afianzar la educación energética considerando la escalabilidad en entornos domésticos y comunitarios.

8. Conclusiones

El desarrollo del presente proyecto confirma las condiciones de factibilidad de la implementación de un sistema accesible que articula componentes de bajo costo, visualización dinámica en tiempo real y estrategias de retroalimentación enfocados en el usuario. Los resultados que se obtuvieron evidencian que estas soluciones propician reducciones significativas en relación con el consumo energético sin que resulte necesario adquirir dispositivos costosos o complejos, lo que refuerza la validez del enfoque metodológico y técnico propuesto.

Con relación al objetivo general, fue posible elaborar un sistema funcional y eficiente para el monitoreo del consumo eléctrico doméstico orientado al fomento de hábitos sostenibles de uso energético. El prototipo propuesto, presenta una capacidad precisa para el registro de la información de consumo y su representación intuitiva, lo que favorece la toma de conciencia y la adopción de hábitos de consumo que se orienten al ahorro energético.

En cuanto a los objetivos específicos, se comprueba que el uso de datalogger además del sensor seleccionado permite la obtención de mediciones exactas de variables como corriente, voltaje, potencia y energía, con un índice de precisión pertinente para el entorno residencial. Este resultado evidencia la posibilidad de construir herramientas tecnológicas accesibles que responden de forma eficaz a la necesidad del monitoreo energético y doméstico.

En última instancia, la aplicación web que se diseñó posibilitó la visualización de la información recolectada en tiempo real, lo que permitió presentarla de forma comprensible y atractiva para el usuario. Este aspecto afianza la percepción de control y la motivación hacia la reducción del consumo eléctrico. La experiencia de diseño destaca, además, la importancia de una interfaz con características intuitivas y gran accesibilidad, siempre que el propósito general es propiciar un cambio o transformación conductual sostenida en el tiempo.

Referencias

- Arduino Forum. (2021). Discussion on PZEM-004T accuracy. <https://forum.arduino.cc/>
- Bonney, R., Cooper, C. B., Dickinson, J., Kelling, S., Phillips, T., Rosenberg, K. V., & Shirk, J. (2009). Citizen science: A developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. *BioScience*, 59(11), 977–984. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.11.9>
- Circuit Designer. (2023). PZEM-004T documentation. <https://docs.circuitdesigner.com/>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Haklay, M., Dörler, D., Heigl, F., Manzoni, M., Hecker, S., & Vohland, K. (2021). Contested boundaries between citizen science and scientific citizenship. *Science & Public Policy*, 48(1), 1–11. <https://doi.org/10.1093/scipol/scaa060>
- InnovatorsGuru. (2022). PZEM-004T energy meter with Arduino. <https://innovatorsguru.com/pzem-004t-arduino/>
- Kelly, J., & Knottenbelt, W. (2016). Does disaggregated electricity feedback reduce domestic electricity consumption? A systematic review of the literature. *Energy Policy*, 92, 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.02.009>
- Mudaliar, M. D., & Sivakumar, N. (2020). IoT based real-time energy monitoring system using Raspberry Pi. *Internet of Things*, 12, 100292. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100292>
- Prabowo, Y., Narendro, A., Wisjhnuadji, T. W., & Siswanto, S. (2023). Uji akurasi modul kWh meter digital PZEM-004T berbasis pengendali digital ESP32. *SKANIKA: Sistem Komputer dan Informatika*, 6(2), 85–92.
- Simanulang, J. Ch., Amru, A., Kamil, I., Vashti, R. P., & Huzaimi, D. F. (2025). Pemanfaatan Power Meter PZEM-004T berbasis IoT untuk pemantauan daya listrik secara real-time. *Seminar Nasional Teknik Elektro (SNTE)*, 11(1), 45-52.
- Syafii, S., Nugraha, R., & Prasetyo, A. (2020). Web-based Net Energy Meter for Grid-Connected PV System using PZEM-004T and Arduino. *TEM Journal*, 9(1), 37–41. <https://doi.org/10.18421/TEM91-06>
- Xu, L. D., He, W., & Li, S. (2014). Internet of Things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4), 2233–2243. <https://doi.org/10.1109/TII.2014.2300753>

Anexos

Anexo A

Fragmento de código fuente del Arduino UNO R4 Wifi para transmisión de datos IoT.



```
6  WiFiClient client;
7
8  unsigned long myChannelNumber = 3054293;
9  const char * myWriteAPIKey = "U1AX40K61N0SUR4G";
10
11  String incomingData = "";
12
13  void setup() {
14    Serial.begin(9600);
15    Serial1.begin(9600);
16
17    WiFi.begin(ssid, pass);
18    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
19      Serial.print(".");
20      delay(500);
21    }
22    Serial.println("\nConectado a WiFi");
23    ThingSpeak.begin(client);
24  }
25
26  void loop() {
27    if (Serial1.available()) {
28      incomingData = Serial1.readStringUntil('\n');
29      incomingData.trim(); // quitar espacios y \r
30
31      Serial.println("Datos recibidos: " + incomingData);
32
33      // ---- Separar CSV ----
34      float values[6];
35      int index = 0;
36      int lastIndex = 0;
37      for (int i = 0; i < incomingData.length(); i++) {
38        if (incomingData[i] == ',') {
39          values[index] = incomingData.substring(lastIndex, i);
40          index++;
41          lastIndex = i + 1;
42        }
43      }
44      values[index] = incomingData.substring(lastIndex, incomingData.length());
45      ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, values);
46    }
47  }
```

Figura 9 Fragmento del código implementado en el Arduino UNO R4 Wifi para la recepción de datos (Elaboración propia).

El código presentado corresponde al programa cargado en el Arduino UNO R4 Wifi, encargado de recibir los datos enviados por el Arduino UNO mediante comunicación serial, procesarlos y transmitirlos en el tiempo estipulado a la plataforma IOT ThingSpeak por medio de Wifi.