

Prototipo de una Solución Integrada de Monitoreo Inteligente para el Control del Consumo  
Eléctrico en el Hogar

Juan Diego Claro Guerrero y Sebastián David Mendoza Alvarado

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero de Sistemas

Director

Henry Andrés Jiménez Herrera

Msc. En ingeniería de Sistemas e Informática

Codirector

Gabriel Rodrigo Pedraza Ferreira

PhD. En Ciencias de la Computación

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería de Sistemas

Ingeniería de Sistemas

Bucaramanga

2025

### **Dedicatoria**

Agradezco profundamente a Dios, quien ha sido mi guía en este proceso. Encontré en Él un refugio, una fuerza constante y un apoyo incondicional. Con fe, perseverancia y confianza en sus tiempos, todo es posible.

Dedico este proyecto, con todo mi amor y gratitud, a la memoria de mi abuela Vera Judith. Fue una de las personas más importantes en mi vida, mi mayor inspiración, y quien siempre creyó en mí sin condiciones. Soñó con verme convertido en profesional, y aunque no puede acompañarme físicamente en este momento, su amor, sus enseñanzas y su ejemplo siguen vivos en mí cada día. Me duele profundamente no tenerla aquí, pero sé que, desde donde esté, se siente orgullosa. Este logro también es suyo.

A mi madre, quien es y siempre será el motor de mi vida. Gracias por tu amor incondicional, por tu dedicación incansable y por cada palabra de aliento. Todo lo que soy te lo debo a ti, y mi mayor anhelo es devolverte todo lo que has hecho por mí a lo largo de mi vida, especialmente en esta etapa tan importante. Este logro también te pertenece.

A mi abuelo, quien ha sido un pilar en mi vida, gracias por estar siempre, por tu apoyo constante y por tu sabiduría. Tu bondad y tu generosidad han sido una fuente de fortaleza para mí.

Y finalmente, a mi padrastro, por ser una fuente de conocimiento y por toda la colaboración brindada a lo largo del proyecto. Su acompañamiento ha sido clave y siempre estaré agradecido por su apoyo.

A todos ustedes, gracias por creer en mí.

**Sebastián Mendoza**

A Dios, por acompañarme siempre, por darme fuerzas cuando sentí que no podía más y por mostrarme el camino aun cuando todo parecía difícil.

A mi papá, Edwin, por ser ese ejemplo de lucha y disciplina; por enseñarme que con esfuerzo, constancia y responsabilidad se pueden lograr grandes cosas. A mi mamá, Bertha, por su amor incondicional, sus palabras que tantas veces me ayudaron a seguir, y por enseñarme el valor del respeto, la dedicación y la entrega en todo lo que uno hace. A ambos, porque son mi vida, las personas por quienes me esfuerzo cada día. Todo lo que he logrado y lo que vendrá, también es gracias a ustedes.

A mis abuelos, que desde niño me enseñaron tanto. Gracias por mostrarme con su vida lo que significa ser valiente, trabajador y entregado a lo que se ama. A mis hermanos, Lesly y Juan José, por su apoyo constante. Este logro también es para ustedes; espero me vean como un ejemplo, que vean que vale la pena esforzarse, y lo más importante que siempre van a contar conmigo.

A mi novia, Karen, quien ha estado a mi lado en una gran parte de mi carrera. Gracias por brindarme tanto amor, por tu paciencia, tus palabras cuando más las necesitaba, tus abrazos que me ayudaban a seguir, por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Gracias por ser parte fundamental de este proceso.

A Yeico y Loki, mis mascotas, que, sin saberlo, me dieron un apoyo incondicional. Con su compañía y ese amor silencioso que solo ellos saben dar, estuvieron presentes en muchos momentos de este camino.

Y a toda mi familia, gracias por estar ahí siempre, por su cariño y por ser parte de todo esto desde el principio. Todo esto lo hice por ustedes. Este logro no es solo mío... es de todos.

**Juan Diego Claro**

### **Agradecimientos**

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento al ingeniero Henry Jiménez, director de este proyecto, por su valioso acompañamiento, compromiso y dedicación constante. Su disposición para guiarnos en cada etapa, corregir cada detalle técnico y conceptual, así como su tiempo invertido en reuniones virtuales y asesorías personalizadas, fueron fundamentales para la consolidación de esta propuesta.

Extendemos también nuestro reconocimiento al codirector Gabriel Pedraza, quien con su apoyo oportuno y conocimientos especializados complementó de manera significativa el desarrollo del trabajo, brindándonos orientación y claridad en momentos clave.

Agradecemos profundamente a todos los profesores que hicieron parte de nuestra formación académica a lo largo de la carrera. Sus enseñanzas, aportes y experiencias compartidas nos permitieron construir una base sólida de conocimientos, indispensables para abordar con criterio profesional este proyecto.

Finalmente, queremos destacar el compromiso, entrega y trabajo colaborativo de mi compañero de equipo, cuyo esfuerzo constante y disposición fueron determinantes para culminar exitosamente esta etapa académica.

**Tabla de Contenido**

Introducción ..... 14

1 Planteamiento y justificación del problema ..... 16

2 Objetivos ..... 19

2.1 Objetivo general ..... 19

2.2 Objetivos específicos ..... 19

3 Marco de referencia ..... 20

3.1 Tecnología IoT ..... 20

3.2 Arquitectura de Sistemas IoT para Gestión Energética ..... 21

3.3 Plataforma SmartCampus UIS ..... 22

3.4 Docker para la Gestión del Entorno de Desarrollo ..... 22

3.5 Medición de Consumo Eléctrico en Colombia ..... 23

3.6 Sensores de medición de consumo ..... 25

3.6.1 Sensor de Corriente ACS712 ..... 26

3.6.2 Sensor de Corriente SCT-013 ..... 27

3.6.3 Sensor de Corriente PZEM-004T ..... 28

3.7 Microcontroladores y SoCs (System on a Chip) en Monitoreo Energético ..... 29

3.7.1 ESP8266 ..... 30

3.7.2 ESP32 ..... 31

3.7.3 Raspberry Pi ..... 32

3.8 Protocolos de Comunicación para IoT en el Monitoreo Energético ..... 33

3.8.1 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) ..... 34

3.8.2 HTTP (Hypertext Transfer Protocol) ..... 35

3.8.3 WebSockets ..... 36

3.8.4 LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) ..... 37

3.9 Soluciones Actuales en Monitoreo Energético en Colombia ..... 38

3.10 Diferenciación Propuesta ..... 38

4 Metodología ..... 40

4.1 Fase 1: Estudio del Contexto y Tecnologías IoT (Ambientación Tecnológica) ..... 41

4.2 Fase 2: Análisis de Requerimientos ..... 42

4.3	Fase 3: Diseño del Sistema .....	43
4.4	Fase 4: Implementación del Prototipo .....	44
4.5	Fase 5: Pruebas y Ajustes.....	45
4.6	Fase 6: Documentación y Difusión.....	46
5	Ambientación tecnológica.....	48
5.1	Optimización del Consumo Eléctrico .....	48
5.2	Eficiencia Energética y Automatización en Hogares Inteligentes .....	49
5.3	Casos de referencia tecnología IoT .....	51
5.3.1	Estados Unidos y el Uso de Smart Grids.....	51
5.3.2	Japón y los Sistemas IoT en el Hogar .....	53
5.3.3	Aplicabilidad de los Casos Internacionales al Proyecto.....	53
5.4	Análisis del microcontrolador a utilizar .....	54
5.5	Análisis del sensor a utilizar .....	55
6	Diseño e Implementación.....	59
6.1	Análisis de requerimientos.....	59
6.1.1	Perfil de los Usuarios.....	59
6.1.2	Hábitos de Monitoreo Energético.....	61
6.1.3	Interés en una Aplicación Web.....	63
6.1.4	Requerimientos Funcionales y No Funcionales .....	65
6.1.5	Instalación de Sensores y Seguridad de Datos .....	75
6.2	Diseño .....	77
6.2.1	Capa de adquisición de datos.....	78
6.2.2	Capa de infraestructura backend(SmartCampus) .....	78
6.2.3	Capa de aplicación.....	78
6.3	Implementación del prototipo .....	79
6.3.1	Ajuste y Montaje del Sensor ACS712.....	80
6.3.2	Comunicación entre el Dispositivo y la Plataforma SmartCampus.....	83
6.3.3	Montaje Físico del Sistema.....	85
6.3.4	Plataforma de visualización .....	88
7	Validación .....	94

7.1	Validación de funcionalidades del cliente.....	94
7.1.1	Registro.....	94
7.1.2	Inicio de sesión .....	95
7.1.3	Configuración de consumo .....	96
7.1.4	Consumo en tiempo real .....	97
7.1.5	Recomendación del día.....	98
7.1.6	Panel de recomendaciones completas.....	99
7.1.7	Módulo de alertas .....	99
7.1.8	Comparativa de consumo .....	100
7.2	Pruebas de integración .....	101
7.3	Escenarios de prueba.....	104
7.3.1	Escenario 1: Medición electrodoméstico de uso continuo.....	104
7.3.2	Escenario 2: Medición de electrodoméstico intermitente.....	109
7.3.3	Escenario 3: Medición de múltiples dispositivos.....	110
7.4	Resumen de cumplimiento de objetivos.....	119
8	Conclusiones .....	120
9	Recomendaciones a futuro .....	122
9.1	Integración de funcionalidades de automatización y control .....	122
9.2	Implementación de algoritmos de análisis predictivo .....	122
9.3	Interoperabilidad con sistemas existentes y energías renovables.....	122
9.4	Optimización de la seguridad y privacidad de los datos .....	123
9.5	Escalabilidad hacia otros entornos .....	123
9.6	Exploración de sensores avanzados con capacidades multivariable .....	123
9.7	Realización de pruebas más exhaustivas del prototipo.....	122
	Bibliografía.....	125

**Lista de Tablas**

Tabla 1. Comparativa microcontroladores	54
Tabla 2. Comparativa sensores	56
Tabla 3. Requerimiento funcional N°1	66
Tabla 4. Requerimiento funcional N°2	67
Tabla 5. Requerimiento funcional N°3	68
Tabla 6. Requerimiento funcional N°4	68
Tabla 7. Requerimiento funcional N°5	69
Tabla 8. Requerimiento funcional N°6	70
Tabla 9. Requerimiento funcional N°7	70
Tabla 10. Requerimiento funcional N°8	71
Tabla 11. Requerimiento funcional N°9	72
Tabla 12. Requerimiento no funcional N°1	72
Tabla 13. Requerimiento no funcional N°2	73
Tabla 14. Requerimiento no funcional N°3	74
Tabla 15. Requerimiento no funcional N°4	74
Tabla 16. Resumen de cumplimiento de objetivos	119

**Lista de Figuras**

Figura 1. Esquema general de Arquitectura IoT	21
Figura 2. Medidor Tradicional	24
Figura 3. Medidor Landis+Gyr E350	24
Figura 4. ACS712	26
Figura 5. SCT-013	27
Figura 6. PZEM-004T	28
Figura 7. ESP2066	30
Figura 8. ESP32	31
Figura 9. Raspberry Pi	32
Figura 10. Protocolo MQTT	34
Figura 11. Protocolo HTTP	35
Figura 12. Protocolo WebSockets	36
Figura 13. Protocolo LoRaWAN	37
Figura 14. Fases Metodológicas	40
Figura 15. Diagrama SmartGrid	52
Figura 16. Distribución de personas por hogar según la encuesta	60
Figura 17. Tipo de vivienda de los encuestados	60
Figura 18. Estrato socioeconómico declarado por los encuestados	61
Figura 19. Métodos utilizados por los encuestados para monitorear su consumo	62
Figura 20. Información que tienen los usuarios sobre su consumo eléctrico	63
Figura 21. Interés de los encuestados en conocer su consumo eléctrico en tiempo real.	64
Figura 22. Interés en usar una app de monitoreo energético	64
Figura 23. Frecuencia estimada de uso de una aplicación web de monitoreo energético	65
Figura 24. Características más deseadas en una app de monitoreo	66
Figura 25. Disposición a instalar sensores para monitorear el consumo	75
Figura 26. Disposición a compartir datos para mejorar el monitoreo	76
Figura 27. Arquitectura del Sistema de Monitoreo de Consumo Eléctrico	77
Figura 28. Llegada de datos a SmartCampus	84
Figura 29. Diagrama del circuito	86
Figura 30. Pcb a doble faz	86
Figura 31. Diseño Caja Prototipo	87
Figura 32. Prototipo Final	88
Figura 33. Panel de Firebase con datos estructurados por usuario	91
Figura 34. Formulario de registro del usuario en la plataforma	95
Figura 35. Pantalla de inicio de sesión al sistema	96
Figura 36. Formulario de configuración de consumo inicial por parte del usuario	97
Figura 37. Panel del consumo en Tiempo Real	98
Figura 38. Visualización de la recomendación del día en la interfaz principal	98

Figura 39. Panel completo de recomendaciones	99
Figura 40. Alertas automáticas por umbrales de consumo	100
Figura 41. Comparativa validada entre consumo reportado, teórico y real medido	101
Figura 42. Comunicación del ACS712 vía MQTT desde Arduino	102
Figura 43. Visualización de los datos recibidos en InfluxDB desde el microcontrolado	102
Figura 44. Datos estructurados y accesibles desde el endpoint de SmartCampus	103
Figura 45. Resultado de la medición inicial de 12 horas de la nevera	105
Figura 46. Lectura del contador del hogar antes de iniciar la segunda prueba	106
Figura 47. Lectura del contador del hogar pasadas las 6 horas	107
Figura 48. Resultado de la medición de 6 horas de la nevera	108
Figura 49. Consumo registrado del televisor durante 4 horas de funcionamiento	110
Figura 50. Medición integrada de las últimas 4 horas por dispositivo	111
Figura 51. Medición de 4 horas nevera	112
Figura 52. Medición de 4 horas televisor	112
Figura 53. Medición de 4 horas lavadora	113
Figura 54. Botón para iniciar la simulación de consumo mensual	114
Figura 55. Modal de simulación con formulario de hábitos de uso	114
Figura 56. Comparativa de consumo: factura (240kWh), teórico y simulado.	116
Figura 57. Comparativa de consumo:factura mes anterior (103kWh), teórico y simulado	117

## Glosario

**API (Application Programming Interface):** Conjunto de funciones y protocolos que permiten la comunicación entre diferentes aplicaciones. Utilizada para conectar el front-end con SmartCampus.

**Docker:** Herramienta de virtualización ligera utilizada para desplegar la plataforma SmartCampus de manera local, permitiendo un entorno controlado y portátil.

**Firebase:** Plataforma de desarrollo de aplicaciones que, en este caso, fue utilizada para manejar el sistema de autenticación de usuarios y el almacenamiento de configuraciones personalizadas.

**IoT (Internet of Things):** Conjunto de tecnologías que permiten interconectar objetos físicos a través de internet, facilitando el monitoreo y control remoto.

**kWh (Kilovatio-hora):** Unidad de medida de energía eléctrica equivalente al consumo de 1000 vatios durante una hora. Es la referencia estándar en las facturas de electricidad.

**MQTT (Message Queuing Telemetry Transport):** Protocolo ligero de mensajería utilizado en entornos IoT para transmitir datos entre dispositivos y servidores.

**Potencia activa:** Cantidad de energía eléctrica consumida por un dispositivo en un tiempo determinado. Se mide en vatios (W) y representa el consumo real.

**SmartCampus:** Plataforma de backend utilizada para almacenar, procesar y consultar los datos enviados por los sensores conectados al prototipo.

## Resumen

**Título:** Prototipo de una solución integrada de monitoreo inteligente para el control del consumo eléctrico en el hogar\*

**Autores:** Juan Diego Claro Guerrero, Sebastián David Mendoza Alvarado\*\*

**Palabras Clave:** IoT, Consumo eléctrico, Sistema de control, Hogar Inteligente

### Descripción:

Los hogares en Colombia carecen de información detallada, accesible y en tiempo real sobre su consumo energético, lo que dificulta la adopción de prácticas de ahorro y el uso eficiente de la electricidad. Esta problemática fue identificada mediante un proceso de investigación que incluyó encuestas a usuarios residenciales, cuyos resultados evidenciaron tanto el desconocimiento sobre el impacto del consumo eléctrico como la escasa orientación para mejorar los hábitos energéticos en el hogar. En respuesta a esta situación, se diseñó un sistema de monitoreo inteligente orientado a suplir estas carencias, estructurando su desarrollo a partir de los requerimientos obtenidos directamente de las necesidades del usuario. La metodología empleada consistió en la elaboración e implementación de un prototipo funcional capaz de recolectar, procesar y presentar datos relevantes del consumo energético. Esta solución, basada en el paradigma de Internet de las Cosas (IoT), gestiona de forma integrada todas las fases del ciclo de información: desde la captura de datos en tiempo real hasta su análisis y visualización mediante una interfaz intuitiva. Como resultado, se ofrece una herramienta que facilita la toma de decisiones informadas, fomenta el uso consciente de la energía y tiene el potencial de generar beneficios económicos y ambientales al optimizar el consumo eléctrico y promover prácticas sostenibles en el ámbito doméstico.

---

\*Trabajo de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática. Director Henry Jiménez. Codirector Gabriel Pedraza.

### Abstract

**Title:** Prototype of an Integrated Intelligent Monitoring Solution for Home Electricity Consumption Control\*

**Authors:** Juan Diego Claro Guerrero, Sebastián David Mendoza Alvarado\*\*

**Keywords:** IoT, Electricity Consumption, Control System, Smart Home

#### Description:

This project arises as a response to the need to improve energy efficiency in Colombian households, a problem identified through a research process in which surveys were applied to residential users. The results showed a lack of clear, accessible and real-time information on household electricity consumption, as well as a lack of guidance for adopting energy-saving practices. Based on these findings, an intelligent monitoring system was designed to fill these gaps, structuring its development based on the requirements obtained directly from the user's needs. The methodology used consisted of the development and implementation of a functional prototype that allows the collection, processing and presentation of relevant data on household energy consumption. This solution, based on the Internet of Things (IoT) paradigm, manages in an integrated way all the phases of the information cycle: from data capture in real time to its analysis and visualization through an intuitive user interface. As a result, it offers a tool that facilitates informed decision making, encourages conscious energy use, and has the potential to generate economic and environmental benefits by optimizing electricity consumption and contributing to sustainable practices at the household level.

---

\*Bachelor Thesis

\*\* Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Systems and Computer Engineering. Advisor: Henry Jiménez. Co-advisor: Gabriel Pedraza.

## Introducción

En Colombia, el consumo eléctrico en los hogares representa un desafío creciente tanto en términos de sostenibilidad como de eficiencia. Según datos del Sistema de Información Eléctrico Colombiano (SIEL) y de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME, 2023), aproximadamente el 35 % del consumo energético nacional corresponde al sector residencial, lo que subraya el impacto directo que tienen los hogares en la demanda energética del país. Este consumo se ve influenciado por factores como el uso indiscriminado de electrodomésticos, la falta de hábitos de ahorro y la escasa visibilidad que tienen los usuarios sobre su consumo eléctrico real. Además, más del 65 % de la energía eléctrica que se produce en Colombia proviene de fuentes hídricas (UPME, 2023), lo que, si bien representa una ventaja frente a otros países que dependen de combustibles fósiles, también expone al sistema eléctrico nacional a riesgos asociados con el cambio climático y la variabilidad de los regímenes de lluvia. En épocas de sequía, por ejemplo, se presentan riesgos de racionamiento o aumentos en los costos del servicio debido a la necesidad de activar plantas térmicas, que son más costosas y contaminantes.

El panorama energético colombiano evidencia entonces una necesidad urgente de adoptar mecanismos de monitoreo y control del consumo eléctrico en los hogares que permitan a los usuarios conocer y gestionar de forma más consciente su uso de energía. La ausencia de información precisa y en tiempo real limita la capacidad de las personas para tomar decisiones informadas, lo cual impide implementar acciones de ahorro sostenibles. Esta situación no solo tiene consecuencias económicas para los hogares, sino que también implica un uso poco eficiente de los recursos naturales disponibles y una presión adicional sobre la infraestructura eléctrica del país.

En este contexto, resulta relevante el desarrollo de herramientas tecnológicas que contribuyan a la optimización del consumo eléctrico residencial, al permitir el seguimiento detallado del comportamiento energético dentro del hogar. Esta investigación propone el diseño e implementación de un prototipo de sistema de monitoreo inteligente que dé respuesta a esta necesidad, articulando una solución de bajo costo, escalable y fácil de usar, que permita a los usuarios visualizar su consumo eléctrico, recibir alertas ante consumos elevados y adoptar prácticas más eficientes. A partir de un enfoque centrado en el usuario y sustentado en metodologías de ingeniería, el proyecto busca brindar una alternativa concreta y funcional para contribuir a la eficiencia energética en el entorno doméstico colombiano.

Este documento presenta de manera estructurada el desarrollo de un sistema de monitoreo inteligente de consumo energético, orientado a mejorar la eficiencia en los hogares colombianos mediante el uso de tecnología IoT. La investigación se inicia con la identificación del problema central, destacando el impacto del consumo doméstico sobre la sostenibilidad energética nacional y la falta de herramientas accesibles para que los usuarios comprendan y gestionen su gasto eléctrico. A partir de esta necesidad, se plantean los objetivos generales y específicos del proyecto, que guían el diseño de una solución tecnológica contextualizada y funcional.

Posteriormente, se establece el marco de referencia técnico y conceptual del sistema, con una revisión de literatura, tecnologías relevantes y casos internacionales. La metodología describe las fases del proceso: análisis de requerimientos, diseño, implementación y validación del prototipo. Se documenta la selección de componentes, desarrollo de hardware y software, y las pruebas para asegurar su operatividad. Finalmente, se presentan los resultados, el alcance del prototipo y recomendaciones para futuras mejoras e investigaciones, aportando al desarrollo de soluciones tecnológicas sostenibles en el contexto nacional.

## **1 Planteamiento y justificación del problema**

Esta sección expone el problema central que da origen al desarrollo del proyecto, identificando sus causas, contexto y consecuencias, así como la necesidad de una solución tecnológica que permita una gestión más eficiente del consumo eléctrico en los hogares colombianos.

En Colombia, el consumo eléctrico en los hogares representa un desafío significativo en términos de eficiencia y sostenibilidad. Aunque la electricidad es la principal fuente de energía utilizada en el sector residencial, muchos hogares carecen de herramientas y conocimientos que les permitan hacer un uso racional de este recurso. Esta situación ha dado lugar a patrones de consumo ineficientes, caracterizados por el uso prolongado o innecesario de electrodomésticos, la ausencia de hábitos de ahorro energético y el desconocimiento del impacto que tiene cada dispositivo sobre el consumo mensual. A ello se suma el fenómeno del “consumo fantasma”, generado por equipos que permanecen conectados sin estar en funcionamiento, el cual representa entre un 10% y un 20% del consumo total en algunos hogares, según el Ministerio de Minas y Energía (2021). Esta falta de información detallada y en tiempo real impide a los usuarios tomar decisiones informadas para optimizar su consumo, afectando directamente su presupuesto familiar.

Desde el punto de vista económico, este consumo ineficiente se traduce en un gasto considerable para los hogares: según la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), el servicio de energía eléctrica representa entre el 5% y el 8% del ingreso mensual en los hogares de estratos 1 al 3. A nivel ambiental, la situación también es preocupante. Aunque Colombia genera aproximadamente el 65% de su electricidad a partir de fuentes hídricas (UPME, 2023), esta alta dependencia hace al país vulnerable a fenómenos como El Niño, que reducen la capacidad de generación hidroeléctrica. En esos casos, se activan plantas térmicas alimentadas por combustibles

fósiles, lo que incrementa las emisiones de CO<sub>2</sub>, eleva los costos de producción y afecta directamente las tarifas al consumidor final.

Una de las causas identificadas en esta problemática es la carencia de mecanismos accesibles que permitan a los usuarios comprender y controlar su consumo eléctrico de forma informada. Los medidores convencionales entregan datos generales al final del mes, pero no permiten visualizar el comportamiento del consumo por electrodoméstico ni identificar tendencias o hábitos ineficientes. Por ello, este proyecto se enfoca en el desarrollo de un sistema de monitoreo inteligente basado en tecnología IoT, que permita recolectar, procesar y presentar datos energéticos de manera desglosada, histórica y en tiempo real. La hipótesis plantea que brindar este tipo de información al usuario final facilita una toma de decisiones más consciente, lo que podría derivar en una reducción progresiva del consumo y los costos. No obstante, el enfoque de este proyecto se centra en validar técnicamente el prototipo, sin realizar estudios de impacto económico o ambiental a gran escala.

El alcance de la investigación se limita al diseño, implementación y validación de un prototipo funcional de monitoreo energético para hogares colombianos. Este sistema permite la recolección de datos mediante sensores de corriente, su transmisión inalámbrica y posterior visualización en una plataforma web. No se incluyen funciones de automatización ni control de dispositivos, ni se contempla su implementación masiva en hogares. El objetivo principal es demostrar la viabilidad técnica del sistema como una herramienta educativa y funcional para mejorar la comprensión del consumo eléctrico.

A nivel internacional, el uso de tecnologías IoT en el monitoreo energético ha demostrado impactos positivos. Países como Japón, Alemania y Estados Unidos han implementado soluciones similares, logrando reducciones de hasta un 12% en el consumo mensual promedio, según la

Agencia Internacional de Energía (IEA, 2023). Estas experiencias han impulsado políticas públicas enfocadas en la eficiencia energética y la conciencia ambiental. En el contexto colombiano, iniciativas como los medidores inteligentes forman parte de este proceso, pero aún enfrentan barreras de cobertura, costos y apropiación tecnológica por parte de los usuarios.

Por tanto, el desarrollo de un sistema funcional de monitoreo energético basado en IoT representa una contribución significativa para el ecosistema de innovación tecnológica del país. Este proyecto busca ofrecer una alternativa práctica y accesible que empodere al usuario doméstico, fomente hábitos de consumo responsables y promueva un uso más eficiente y sostenible de la energía en los hogares colombianos.

## 2 Objetivos

### 2.1 Objetivo general

Prototipar un sistema inteligente de monitoreo basado en tecnología IoT que permita una gestión detallada y en tiempo real del consumo de energía eléctrica.

### 2.2 Objetivos específicos

1. Analizar los requerimientos técnicos y funcionales necesarios para el diseño e implementación del sistema de monitoreo inteligente.
2. Proponer el diseño en una arquitectura IoT para el monitoreo inteligente de energía eléctrica que contemple los componentes hardware y software de recolección, procesamiento y visualización de datos.
3. Desarrollar un prototipo funcional del sistema con base en el diseño propuesto y en los precedentes de tecnología IoT desarrollados en la UIS.
4. Evaluar el prototipo implementado mediante un conjunto de pruebas funcionales, de integración y escenarios de uso para validar la solución propuesta.

### 3 Marco de referencia

Esta sección recopila los fundamentos teóricos, técnicos y contextuales que sustentan el desarrollo del proyecto. Se abordan conceptos clave como el Internet de las Cosas (IoT), las arquitecturas tecnológicas empleadas en sistemas de monitoreo energético, y los componentes y protocolos que hacen posible su implementación. Asimismo, se revisan antecedentes relevantes a nivel nacional e internacional, permitiendo establecer el estado del arte y justificar la pertinencia de la propuesta desde una perspectiva académica y tecnológica.

#### 3.1 Tecnología IoT

El Internet de las Cosas (IoT) es una tecnología que permite la interconexión de dispositivos físicos a través de internet, facilitando la recolección de datos, la automatización de procesos y la toma de decisiones inteligentes. Su implementación se basa en la integración de sensores, redes de comunicación y plataformas de análisis de datos, lo cual permite que objetos cotidianos se conviertan en "dispositivos inteligentes" capaces de interactuar entre sí y con los usuarios. Esta tecnología ha transformado múltiples sectores, como la industria, la salud, el transporte y especialmente los hogares, donde ha permitido optimizar el uso de recursos y mejorar la eficiencia operativa.

En el entorno doméstico, el IoT se ha convertido en la base de los hogares inteligentes, facilitando el control en tiempo real de sistemas de iluminación, climatización, seguridad y consumo energético. Gracias al monitoreo continuo y a la generación de datos relevantes, los usuarios pueden identificar patrones de uso y adoptar medidas para reducir el gasto eléctrico, promoviendo así prácticas más sostenibles y conscientes. No obstante, su adopción también plantea retos técnicos, principalmente relacionados con la seguridad de la información y la

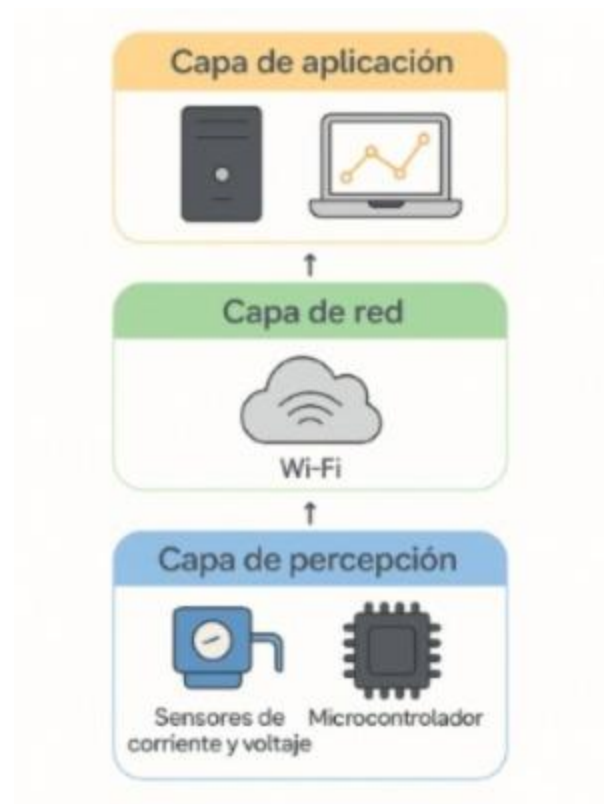
compatibilidad entre dispositivos, lo cual requiere soluciones robustas que garanticen la integridad y privacidad de los datos.

### 3.2 Arquitectura de Sistemas IoT para Gestión Energética

La arquitectura de software para sistemas IoT orientados a la gestión de consumo energético doméstico generalmente incluyen tres capas principales:

**Figura 1.**

*Esquema general de Arquitectura IoT*



La figura 1 ilustra la arquitectura general de un sistema IoT para la gestión del consumo energético doméstico. Se destacan tres capas principales: la capa de percepción, que incluye sensores instalados para medir el consumo eléctrico; la capa de red, encargada de transmitir los datos recolectados a través de internet; y la capa de aplicación, donde los datos se procesan y se

presentan al usuario mediante una interfaz visual que permite monitorear, analizar y tomar decisiones informadas sobre el uso de la energía en tiempo real. Esta estructura facilita una gestión eficiente y proactiva del consumo eléctrico en el hogar.

### **3.3 Plataforma SmartCampus UIS**

SmartCampus UIS es una plataforma de desarrollo tecnológico creada por la Universidad Industrial de Santander (UIS) con el propósito de fomentar la experimentación, investigación y aplicación de tecnologías del Internet de las Cosas (IoT) en contextos académicos, urbanos y sostenibles. Esta iniciativa permite la integración de sensores físicos distribuidos en espacios reales, los cuales recopilan datos ambientales, energéticos y de movilidad, entre otros, para ser almacenados, procesados y visualizados en tiempo real. A través de su arquitectura abierta y escalable, SmartCampus UIS ofrece a estudiantes, docentes e investigadores un entorno colaborativo que promueve la innovación en proyectos de ciencia de datos, automatización y ciudades inteligentes. La plataforma está respaldada por un repositorio público en GitHub (UIS-IoT-Smart-Campus, 2025) que contiene su documentación técnica, APIs, estructura de datos y módulos disponibles para ser adaptados o ampliados en proyectos académicos o institucionales.

### **3.4 Docker para la Gestión del Entorno de Desarrollo**

Docker es una plataforma de código abierto que permite automatizar la implementación de aplicaciones dentro de contenedores ligeros, portables y autosuficientes. Su uso en proyectos de desarrollo facilita la replicación del entorno de ejecución en distintos sistemas operativos, eliminando problemas de compatibilidad y configuraciones inconsistentes. En el contexto de este

proyecto, Docker puede ser considerado como una herramienta útil para desplegar tanto el backend del sistema como la base de datos y servicios complementarios, permitiendo pruebas locales eficientes y escalabilidad futura en entornos productivos. Además, su integración con herramientas como Docker Compose permite definir servicios, redes y volúmenes en archivos de configuración reutilizables, optimizando la gestión del ciclo de vida del software.

### **3.5 Medición de Consumo Eléctrico en Colombia**

En Colombia, la medición de energía eléctrica en los hogares se realiza principalmente a través de medidores tradicionales, es decir, en kilovatios-hora (kWh), una unidad que mide la cantidad de energía utilizada por un dispositivo en una hora. Sin embargo, en los últimos años, se han comenzado a implementar medidores inteligentes como parte de la transición hacia un sistema energético más moderno y eficiente. Ejemplos de estos medidores incluyen modelos como el Landis+Gyr E350 y el Itron OpenWay Riva, los cuales permiten recopilar datos de consumo en tiempo real, detectar patrones de uso, y generar alertas sobre consumos excesivos. Estos dispositivos cuentan con tecnología de comunicación bidireccional, lo que facilita el acceso remoto tanto para los usuarios como para las empresas de distribución energética.

**Figura 2.**

*Medidor Tradicional*



*Nota.* Tomado de Limited, J. X. T. (2023, 8 febrero). Qué es el medidor de energía - conocimiento. Jianxintechical.<https://es.jianxintechical.com/info/what-is-energy-meter-79519609.html>

**Figura 3.**

*Medidor Landis+Gyr E350*



*Nota.* Tomado de Landis+Gyr U-Series E350 - Landis+Gyr. (2020, 13 noviembre). Landis+Gyr. <https://www.landisgyr.com.au/product/landisgyr-u-series-e350/>

### 3.6 Sensores de medición de consumo

Los sensores de corriente son componentes clave en los sistemas de monitoreo energético, ya que permiten detectar y cuantificar el flujo de corriente eléctrica que circula por un conductor. Su uso es esencial para medir el consumo de energía de electrodomésticos, circuitos específicos o de toda una instalación. Estos sensores se pueden clasificar, principalmente, en dos tipos según su método de instalación: invasivos y no invasivos.

Los sensores invasivos requieren una conexión directa al circuito eléctrico, es decir, deben interrumpir el flujo de corriente para poder medirla. Esto implica abrir el cableado y conectar el sensor en serie con la carga, lo cual puede presentar riesgos eléctricos si no se manipula adecuadamente. Aunque ofrecen alta precisión, su instalación es más compleja y menos segura para entornos domésticos donde se busca facilidad y bajo riesgo.

Los sensores no invasivos, en cambio, miden la corriente sin necesidad de interrumpir el circuito. Comúnmente utilizan transformadores de corriente tipo pinza o toroidal, que se colocan alrededor del conductor. Este método permite medir la corriente de forma segura y sin alterar la instalación eléctrica, lo que los hace ideales para aplicaciones domésticas o de rápida implementación.

Además, algunos sensores se basan en el efecto Hall, un principio físico que permite medir campos magnéticos generados por el paso de corriente. Estos sensores detectan la variación del campo magnético y la traducen en una señal eléctrica proporcional a la corriente. La ventaja de los sensores con efecto Hall es que pueden medir tanto corriente alterna (AC) como continua (DC), lo

que los hace versátiles para una amplia gama de aplicaciones. También pueden encontrarse en versiones invasivas y no invasivas, dependiendo del diseño del encapsulado.

### 3.6.1 *Sensor de Corriente ACS712*

**Figura 4.**

*ACS712*



Nota. Tomado de Electrónica para Estudiantes. (s. f.). ACS712-30A. Electrónica Para Estudiantes. <https://electronicaparaestudiantes.com/inicio/6637-ac712-5a.html>

El ACS712 es un sensor basado en el efecto Hall, diseñado para medir corrientes alternas (AC) y continuas (DC). Este sensor está disponible en versiones de 5A, 20A y 30A, proporcionando una salida analógica proporcional a la corriente detectada. Su principal ventaja es la precisión en la medición y su capacidad para integrarse fácilmente en sistemas de monitoreo de energía doméstica e industrial.

Este sensor es ampliamente utilizado en aplicaciones como la medición de consumo energético en electrodomésticos individuales, la detección de sobrecargas en circuitos eléctricos y la gestión de energía en edificios inteligentes. Empresas como Schneider Electric han implementado sensores de efecto Hall en sus sistemas de monitoreo energético para proporcionar a los usuarios información detallada sobre su consumo eléctrico y facilitar la optimización de la energía utilizada.

### 3.6.2 *Sensor de Corriente SCT-013*

#### **Figura 5.**

#### *SCT-013*



*Nota.* Tomado de Prateek, & Prateek. (2024, 2 febrero). SCT-013 Sensor. JustDoElectronics. <https://justdoelectronics.com/sct-013>

El SCT-013 es un sensor de corriente tipo transformador, que permite medir el consumo de energía sin necesidad de interrumpir el flujo eléctrico. Funciona mediante inducción electromagnética, capturando el campo generado por el conductor sin necesidad de una conexión directa.

Este sensor es ideal para aplicaciones donde se requiere un monitoreo no invasivo, como la medición del consumo de un circuito principal en una vivienda o empresa, la detección de picos de corriente en sistemas industriales y la gestión de carga en redes eléctricas inteligentes. Empresas como Siemens han integrado sensores no invasivos en sus soluciones de monitoreo energético, permitiendo una supervisión precisa del consumo sin afectar la instalación eléctrica existente.

### 3.6.3 *Sensor de Corriente PZEM-004T*

#### **Figura 6.**

*PZEM-004T*



*Nota. Tomado de PZEM004T MEDIDOR VOLTAJE CORRIENTE POTENCIA UART.*  
(s. f.). SSDIELECT ELECTRONICA SAS. <https://ssdielect.com/magnitudes-electricas-1/4907-pzem004t.html>

El PZEM-004T es un módulo de medición de energía que permite monitorear el consumo eléctrico de manera precisa en circuitos monofásicos. A diferencia de sensores no invasivos como el SCT-013, este sensor requiere una conexión directa a la línea eléctrica, lo que lo convierte en

un dispositivo invasivo, ya que necesita integrarse físicamente en el sistema eléctrico para medir parámetros como voltaje, corriente, potencia y energía consumida.

Este módulo es ideal para aplicaciones donde se requiere un monitoreo detallado y continuo del consumo eléctrico en dispositivos o sistemas específicos. Su capacidad para proporcionar mediciones de voltaje y potencia activa con alta precisión lo hace adecuado para gestión de carga en instalaciones industriales y domésticas, optimización de consumo en redes inteligentes y protección de equipos electrónicos contra sobrecargas.

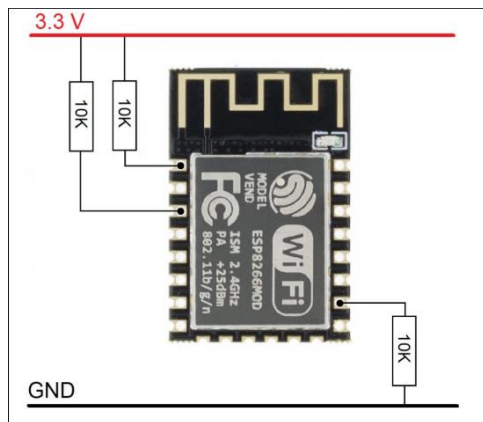
### **3.7 Microcontroladores y SoCs (System on a Chip) en Monitoreo Energético**

Los microcontroladores y SoCs son procesadores de bajo consumo diseñados para gestionar los datos recopilados por los sensores y permitir la comunicación con otros dispositivos y plataformas. Estos componentes son esenciales para la transmisión y procesamiento de la información de consumo eléctrico, facilitando la automatización y optimización del uso de la energía.

### 3.7.1 ESP8266

**Figura 7.**

*ESP8266*



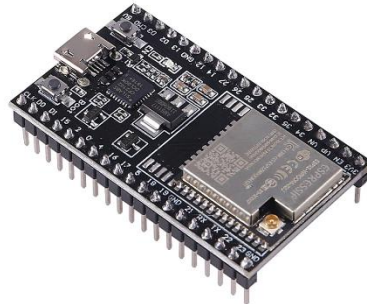
*Nota.* Tomado de Garcia, J., & Garcia, J. (2024, 12 junio). Microcontrolador ESP8266: Características y programación ATG Analytical. ATG Analytical -. <https://atganalytical.com/microcontrolador-esp8266-caracteristicas-y-programacion/>

El ESP8266 es un microcontrolador económico y compacto con conectividad Wi-Fi integrada, ideal para proyectos IoT. Se destaca por su capacidad de transmitir datos en tiempo real y su compatibilidad con el protocolo MQTT, lo que lo hace eficiente en el monitoreo del consumo eléctrico en hogares. Su bajo consumo de energía y facilidad de integración lo convierten en una opción popular para sistemas de gestión energética conectados.

### 3.7.2 ESP32

#### Figura 8.

#### ESP32



*Nota.* Tomado de TARJETA DE DESARROLLO ESP32-WROOM-32U WIFI BLUETOOTH. (s. f.). MACTRONICA. <https://www.mactronica.com.co/tarjeta-de-desarrollo-esp32-wroom-32u>

El ESP32 es un microcontrolador avanzado de doble núcleo con conectividad Wi-Fi y Bluetooth, ideal para sistemas IoT que requieren mayor capacidad de procesamiento. Su eficiencia y versatilidad lo hacen adecuado para monitoreo energético en tiempo real, automatización del hogar e integración con plataformas en la nube, permitiendo una gestión inteligente del consumo eléctrico.

### 3.7.3 *Raspberry Pi*

**Figura 9.**

*Raspberry Pi*



*Nota.* Tomado de colaboradores de Wikipedia. (2025, 24 febrero). Raspberry Pi. Wikipedia, la Enciclopedia Libre. [https://es.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://es.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi)

La Raspberry Pi es una computadora de bajo costo y tamaño compacto que permite ejecutar aplicaciones avanzadas de monitoreo energético. Gracias a su capacidad de procesamiento, es ideal para analizar datos, almacenar información localmente e integrar funciones como machine learning, facilitando una gestión energética más precisa y automatizada.

### **3.8 Protocolos de Comunicación para IoT en el Monitoreo Energético**

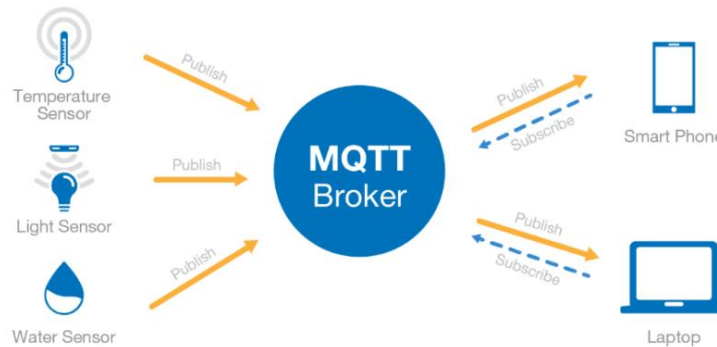
En los sistemas de monitoreo energético basados en Internet de las Cosas (IoT), la transmisión de datos en tiempo real es fundamental para garantizar la eficiencia y la precisión en la supervisión del consumo eléctrico. Los protocolos de comunicación permiten la interacción entre los sensores, microcontroladores y plataformas de procesamiento de datos, facilitando la recopilación y el análisis de la información energética.

Dependiendo de los requerimientos del sistema, los protocolos pueden priorizar la eficiencia energética, la velocidad de transmisión, la estabilidad de la conexión o la capacidad de operar en entornos con conectividad limitada. Entre los protocolos más utilizados en el monitoreo energético con IoT se encuentran MQTT, HTTP, WebSockets y LoRaWAN, cada uno con características específicas que los hacen adecuados para diferentes aplicaciones.

### 3.8.1 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

**Figura 10.**

*Protocolo MQTT*



*Nota.* Tomado de CoLtd, C. E. E. T. (2023, 23 octubre). Explicación detallada del protocolo MQTT\_internet de las cosas industrial\_Casos de aplicación\_Blog\_Chengdu Ebyte Electronic Technology Co.,Ltd-ES. Chengdu Ebyte Electronic Technology Co.,Ltd. <https://www.es-ebyte.com/news/488>

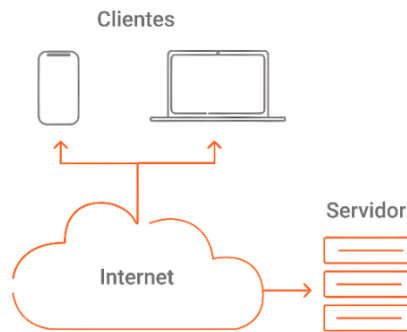
MQTT es un protocolo de comunicación ligero y eficiente, especialmente diseñado para entornos con dispositivos de bajos recursos y redes inestables. Opera bajo un modelo cliente-servidor mediante un broker, permitiendo que los dispositivos IoT publiquen o se suscriban a mensajes según sus necesidades. Su bajo consumo de energía y ancho de banda lo hace ideal para aplicaciones de monitoreo energético en tiempo real. Además, es compatible con plataformas como AWS IoT, Eclipse Mosquitto y HiveMQ, facilitando la integración con servicios en la nube.

Su uso es común en soluciones como Tesla Powerwall, donde optimiza la transmisión de datos entre sensores y servidores para una gestión energética eficiente.

### 3.8.2 HTTP (Hypertext Transfer Protocol)

**Figura 11.**

*Protocolo HTTP*



*Nota.* Tomado de Azion. (2024, 17 junio). *¿Qué es HTTP y cómo funciona?* Azion Technologies. <https://www.azion.com/es/learning/ddos/que-es-http/>

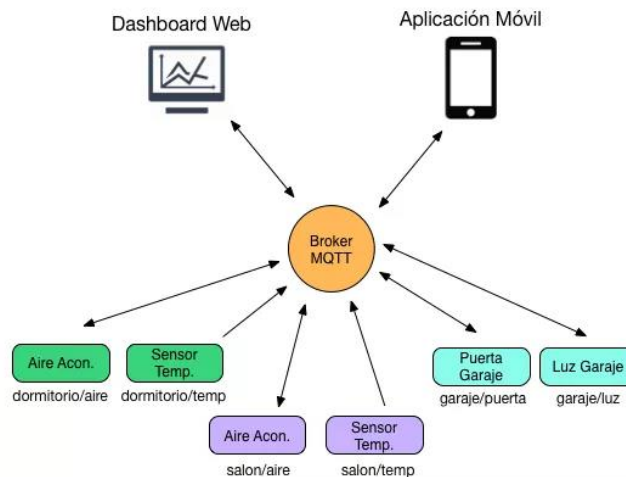
HTTP es un protocolo estándar ampliamente utilizado para la comunicación entre dispositivos IoT y servidores web. Su principal ventaja es la compatibilidad y facilidad de implementación en aplicaciones accesibles desde navegadores o móviles. En sistemas de monitoreo energético, permite visualizar datos a través de interfaces gráficas. Sin embargo, su eficiencia es limitada en escenarios de transmisión continua, debido a su mayor consumo de energía y latencia. Por ello, aunque sigue siendo útil en entornos donde la comunicación es

esporádica, no es la opción más adecuada para sistemas IoT que requieren actualización de datos en tiempo real.

### 3.8.3 WebSockets

**Figura 12.**

*Protocolo WebSockets*



*Nota.* Tomado de Jecrespom. (2018, 19 noviembre). Websockets – Aprendiendo arduino. Aprendiendo Arduino. <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/websockets/>

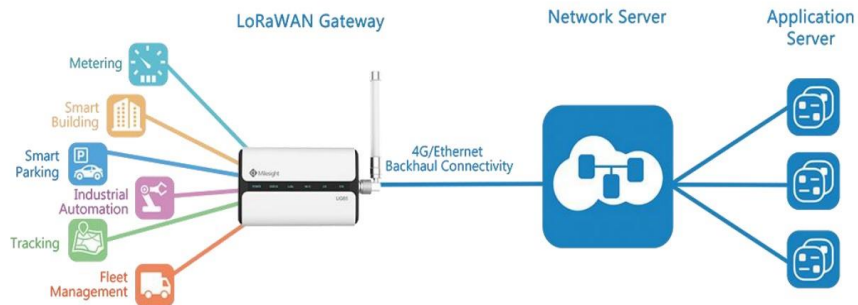
WebSockets son un protocolo de comunicación bidireccional que permite el intercambio continuo de datos entre dispositivos y servidores sin necesidad de múltiples solicitudes. Esta característica los convierte en una opción eficiente para aplicaciones de monitoreo energético en tiempo real, facilitando la actualización inmediata de dashboards y aplicaciones móviles. Comparado con HTTP, WebSockets reduce significativamente la latencia y el uso de ancho de

banda. Aunque requieren más recursos que MQTT, ofrecen una conexión más estable y veloz, siendo ideales para entornos con buena infraestructura de red donde se necesita una comunicación fluida y constante.

### 3.8.4 LoRaWAN (Long Range Wide Area Network)

**Figura 13.**

*Protocolo LoRaWAN*



*Nota.* Tomado de PIDTECNOLOGIA SAC - División ELE - lorawan. (s. f.). <https://www.pidtecnologia.com/busqueda-de-productos/equipo/lorawan>

LoRaWAN es un protocolo de comunicación inalámbrica diseñado para redes de sensores en entornos con cobertura limitada y bajos recursos energéticos. Se caracteriza por su capacidad de transmitir datos a larga distancia con un consumo mínimo de energía, lo que lo hace ideal para aplicaciones de monitoreo energético en zonas rurales o infraestructuras distribuidas. Su uso permite recolectar datos desde ubicaciones remotas sin depender de redes costosas, aunque su baja

velocidad de transmisión lo limita en escenarios que requieren actualizaciones constantes o en tiempo real.

### **3.9 Soluciones Actuales en Monitoreo Energético en Colombia**

En Colombia, existen algunas empresas que están implementando soluciones de monitoreo energético mediante IoT. Una de ellas es Azimut Energía, que ha desarrollado equipos IoT y más de 700 gateways instalados en el país. Estos dispositivos permiten el monitoreo del consumo energético y el estado de equipos críticos, lo que mejora la eficiencia energética y reduce los costos de operación. Azimut también se centra en la implementación de estrategias basadas en datos para optimizar el consumo en industrias, integrando estos activos dentro del marco de la cuarta revolución industrial.

Otra empresa relevante es Celsia, que ofrece su sistema de Monitoreo Inteligente de Energía. Utilizan inteligencia artificial para capturar y analizar datos en tiempo real, lo que les permite identificar ineficiencias y optimizar el consumo energético de sus clientes. Han implementado este sistema en diversos sectores, logrando reducciones significativas en los costos de energía, como en el caso de una entidad bancaria que consiguió disminuir su consumo en un 30%.

### **3.10 Diferenciación Propuesta**

La diferenciación que podemos tener con este proyecto puede ser abordada desde varios ángulos clave que podrían hacer que se destaque frente a las opciones actualmente disponibles. En primer lugar, a diferencia de empresas como Azimut Energía, que se centran en soluciones

empresariales y el monitoreo a gran escala, una propuesta enfocada en los hogares colombianos podría ofrecer una solución más personalizada y accesible para el ciudadano común. Esto implica que, en lugar de desarrollar tecnología costosa o con capacidades avanzadas exclusivas para industrias o grandes infraestructuras, la solución podría priorizar dispositivos más asequibles y fáciles de instalar que funcionen bien en entornos residenciales. Este enfoque permitiría la democratización del monitoreo energético, acercando esta tecnología a hogares que, de otro modo, no podrían acceder a sistemas avanzados de gestión del consumo eléctrico.

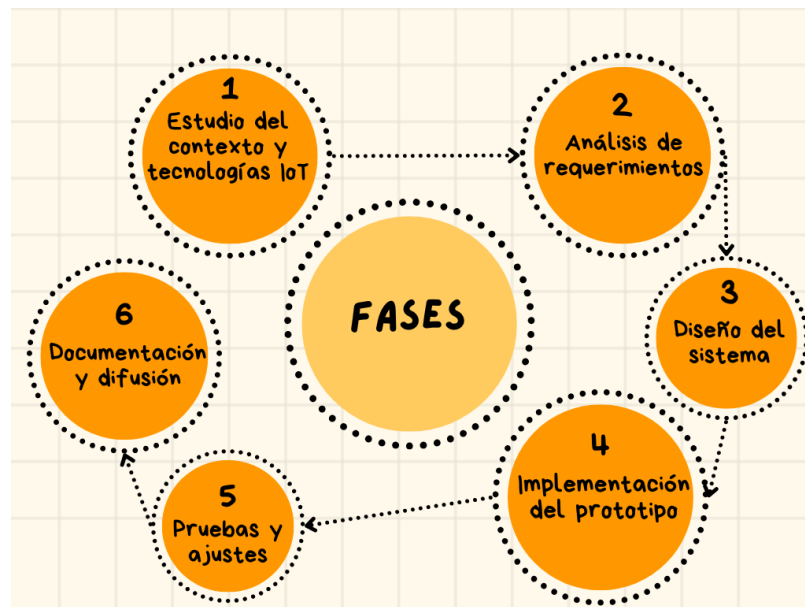
Además, mientras que compañías como Celsia ya ofrecen sistemas de monitoreo, estas suelen estar dirigidas a grandes consumidores o clientes corporativos con necesidades complejas, y su capacidad de análisis está más orientada hacia la reducción de costos a gran escala. Una diferenciación clave sería la facilidad de uso y la simplicidad en la visualización de los datos de consumo, proporcionando al usuario doméstico una interfaz intuitiva que no solo muestre su gasto eléctrico en tiempo real, sino que también ofrezca recomendaciones basadas en su perfil de uso particular. Esto incluiría la capacidad de desglosar el consumo por electrodoméstico, lo que permitiría a los usuarios identificar con mayor precisión los dispositivos que están consumiendo más energía, y ofrecer alternativas de uso más eficientes, todo sin requerir conocimientos técnicos avanzados.

#### 4 Metodología

En esta sección se presenta la metodología propuesta para llevar a cabo el desarrollo del proyecto, estableciendo un enfoque estructurado que guiará cada etapa del proceso hacia el logro de los objetivos planteados. Este marco metodológico se basa en una serie de fases organizadas de manera secuencial, las cuales abarcan desde la comprensión del contexto hasta la documentación y difusión de los resultados. A través de esta estructura, se busca garantizar la eficiencia en la ejecución de las tareas, optimizando el uso de los recursos y asegurando una alineación coherente con el propósito del proyecto. El enfoque metodológico propuesto integra técnicas de análisis, diseño, desarrollo, y evaluación que proporcionan una base sólida para la toma de decisiones y la implementación de soluciones efectivas. A continuación, se presentan en la figura 14 las fases metodológicas que conforman esta estructura.

**Figura 14.**

*Fases Metodológicas*



#### 4.1 Fase 1: Estudio del Contexto y Tecnologías IoT (Ambientación Tecnológica)

En esta fase inicial, el objetivo es comprender a fondo las tecnologías IoT aplicadas a la gestión energética y su situación actual en el ámbito internacional, nacional y regional. Se realiza una investigación exhaustiva sobre las tecnologías existentes y cómo estas se aplican al monitoreo del consumo de energía en los hogares. Además, se revisan los casos de éxito en diversos contextos y se identifican las prácticas efectivas que podrían adaptarse a los hogares colombianos.

##### **Actividades:**

- **Revisión documental y bibliográfica:** Consulta de literatura académica, informes técnicos y estudios de caso sobre sistemas de monitoreo energético.
- **Análisis de experiencias previas:** Estudio de casos de implementación de sistemas IoT en otros países y sus resultados, para identificar componentes y prácticas que resulten adaptables al contexto colombiano.
- **Identificación de desafíos y oportunidades en Colombia:** Evaluación de las particularidades del sistema eléctrico colombiano y los factores que podrían influir en la implementación del proyecto en los hogares.

**Resultado esperado:** Un informe detallado del estado actual de la tecnología IoT en la gestión de consumo energético, que permita establecer una base sólida para la fase de diseño del sistema.

## 4.2 Fase 2: Análisis de Requerimientos

Esta fase se centra en identificar y especificar los requisitos técnicos y funcionales que debe cumplir el sistema de monitoreo para adaptarse a las necesidades de los hogares colombianos. Se definen los componentes necesarios para el diseño, como los sensores IoT, las plataformas de procesamiento y visualización de datos, y los estándares de conectividad.

### Actividades:

- **Identificación de requerimientos de hardware y software:** Determinar los componentes físicos (sensores, controladores) y los elementos de software (aplicaciones de monitoreo) necesarios para la implementación.
- **Evaluación del entorno eléctrico de hogares colombianos:** Definir los aspectos técnicos específicos, como la potencia y las características de conexión a red, que podrían afectar el rendimiento del sistema.

- **Recolección de información de usuario final:** A través de encuestas o entrevistas a una muestra representativa de hogares, se obtienen datos sobre sus patrones de consumo y sus expectativas para con el sistema.

**Resultado esperado:** Un documento de especificación de requisitos técnicos y funcionales, que guía las etapas de diseño e implementación y asegura que el sistema se ajusta a las características del usuario final.

### 4.3 Fase 3: Diseño del Sistema

En esta fase, se diseña la arquitectura del sistema, es decir, se define cómo interactuarán los diferentes componentes de hardware y software para cumplir los objetivos del proyecto. La arquitectura del sistema debe responder a los requerimientos identificados y ser capaz de manejar la recolección, transmisión y visualización de datos de consumo energético en tiempo real.

#### **Actividades:**

- **Diseño de la arquitectura del sistema:** Se elabora un diagrama detallado de la estructura del sistema que incluye cada componente y su función específica.
- **Selección y configuración de componentes:** Definir el hardware específico (sensores, microcontroladores) y el software necesario (plataformas de visualización, protocolos de comunicación)

- **Definición de métodos de recolección y transmisión de datos:** Establecer cómo se capturará, procesará y visualizará la información del consumo energético.

**Resultado esperado:** Un diseño de arquitectura técnica que describe el flujo de datos y las interacciones entre componentes, estableciendo las bases para el desarrollo del prototipo.

#### 4.4 Fase 4: Implementación del Prototipo

Aquí se construye el prototipo funcional del sistema de monitoreo, que consiste en ensamblar e integrar los componentes físicos y programar el sistema para que realice mediciones y las muestre en tiempo real. Esta fase es crucial para ver cómo funciona el diseño en un entorno controlado, identificando cualquier problema que pueda surgir en su uso práctico.

##### **Actividades:**

- **Integración de componentes de hardware:** Ensamblar los sensores IoT y el microcontrolador según el diseño.
- **Configuración de software y programación:** Programar el sistema para que capte datos en tiempo real y los transmita a la plataforma de visualización.
- **Prueba de funcionalidades básicas:** Verificar que el sistema recoge y transmite datos correctamente y que la plataforma de visualización presenta la información en tiempo real.

**Resultado esperado:** Un prototipo operativo que permita monitorizar el consumo energético de un hogar y verificar la capacidad del sistema en condiciones de funcionamiento controladas.

#### 4.5 Fase 5: Pruebas y Ajustes

En esta fase, se realizan pruebas exhaustivas para evaluar el rendimiento del sistema en un entorno simulado o real. Estas pruebas permitirán identificar cualquier fallo y hacer ajustes necesarios para mejorar la precisión, eficiencia y facilidad de uso del prototipo. El proceso de pruebas es fundamental para validar el diseño y asegurar que el sistema cumple con los objetivos del proyecto.

##### **Actividades:**

- **Ejecución de pruebas en diferentes entornos:** Probar el sistema tanto en un entorno simulado como en una instalación real, para verificar su rendimiento en condiciones variables.
- **Registro de datos de desempeño:** Recoger métricas como precisión en la medición, tiempo de respuesta y consistencia de los datos.
- **Ajustes y mejoras:** Basándose en los resultados de las pruebas, se realizan las modificaciones necesarias en el software o el hardware para optimizar el sistema.

**Resultado esperado:** Un prototipo ajustado y optimizado que cumple con los estándares de rendimiento definidos en la fase de diseño.

#### 4.6 Fase 6: Documentación y Difusión

La fase final implica la documentación detallada de cada aspecto del proyecto, desde el diseño y la implementación hasta los resultados de las pruebas y las recomendaciones para futuras implementaciones. Este documento será útil para validar el proyecto y para proponer una posible implementación masiva del sistema en hogares colombianos.

##### **Actividades:**

- **Redacción de la documentación del proyecto:** Se elabora un informe que describe el diseño del sistema, los procedimientos de implementación, los resultados de las pruebas y las conclusiones.
- **Elaboración de recomendaciones:** Basándose en los resultados obtenidos, se propone un conjunto de recomendaciones sobre cómo escalar el proyecto para su implementación en hogares colombianos.
- **Difusión de resultados:** Publicar los hallazgos en redes académicas o tecnológicas para promover el conocimiento sobre la eficiencia energética mediante IoT.

**Resultado esperado:** Un documento final completo que documenta el desarrollo del proyecto y detalla recomendaciones para su aplicación en el contexto de hogares colombianos.

Una vez expuesta la metodología empleada en el desarrollo del proyecto, a continuación, se presenta la fase de desarrollo, la cual constituye el eje central del trabajo. Esta etapa se divide en tres componentes fundamentales: primero, la ambientación tecnológica, que describe el entorno técnico y los recursos utilizados; segundo, el diseño e implementación del sistema, donde se detallan los requerimientos, la arquitectura propuesta y el proceso de construcción del prototipo; y finalmente, la validación, que incluye las pruebas realizadas para comprobar el funcionamiento y la efectividad del sistema desarrollado. Esta estructura permite comprender de manera progresiva cómo se materializó la solución planteada desde su concepción hasta su verificación final.

## 5 Ambientación tecnológica

Para comprender el estado actual y los avances en el monitoreo energético basado en Internet de las Cosas (IoT), fue fundamental realizar una revisión de literatura académica, informes técnicos y estudios de caso relevantes.

A continuación, se presenta una recopilación de información basada en fuentes especializadas, con el objetivo de identificar las herramientas, metodologías y enfoques más utilizados en el diseño e implementación de sistemas de monitoreo energético en hogares inteligentes y entornos industriales.

### 5.1 Optimización del Consumo Eléctrico

Uno de los principales impactos de los sistemas IoT en hogares inteligentes es la identificación de patrones de consumo energético, lo que permite optimizar el uso de la electricidad y evitar desperdicios innecesarios. A través de sensores de corriente y dispositivos de monitoreo, los usuarios pueden visualizar en tiempo real cuánta energía están consumiendo sus electrodomésticos y ajustar su uso en función de la demanda (Perfecta Energía, 2023).

La identificación de picos de consumo permite implementar estrategias para mejorar la eficiencia, como el uso de dispositivos en horarios de menor demanda o la regulación automática de equipos de climatización. Empresas como Google Nest han desarrollado termostatos inteligentes que ajustan automáticamente la temperatura del hogar según los hábitos del usuario, reduciendo significativamente el consumo energético en sistemas de calefacción y aire acondicionado (Huffington Post, 2023). Por lo tanto, consideramos fundamental que un sistema

de monitoreo eléctrico proporcione información en tiempo real sobre el consumo, permitiendo identificar las horas pico y tomar decisiones informadas que contribuyan a la eficiencia energética en el hogar.

## **5.2 Eficiencia Energética y Automatización en Hogares Inteligentes**

La implementación de tecnologías IoT en la gestión energética doméstica ha demostrado ser una estrategia efectiva para optimizar el consumo eléctrico, reducir costos y fomentar la sostenibilidad. A través del monitoreo en tiempo real y la automatización de dispositivos, los hogares pueden alcanzar un uso más eficiente de la energía, aprovechando al máximo las tarifas dinámicas y la integración con fuentes renovables.

El análisis en tiempo real del consumo energético permite a los usuarios identificar patrones de uso y establecer estrategias que disminuyan el desperdicio de electricidad. Un ejemplo de ello es la implementación de tarifas dinámicas, en las que los dispositivos ajustan su funcionamiento a los períodos de menor costo eléctrico, optimizando así el gasto energético. Tecnologías como los enchufes inteligentes y los sistemas de automatización energética han demostrado ser eficaces al apagar o regular electrodomésticos cuando no están en uso, permitiendo una reducción de las facturas de electricidad entre un 15% y un 30%, según la cantidad de dispositivos conectados y la configuración del sistema (Novaluz, 2023).

Además de la optimización del consumo, las soluciones IoT facilitan la integración con energías renovables, permitiendo a los hogares con paneles solares analizar en tiempo real la producción y el consumo de energía. Esto maximiza el aprovechamiento de la electricidad generada y reduce la dependencia de la red eléctrica convencional (Perfecta Energía, 2023). En

ciudades donde se han implementado sistemas de monitoreo energético a gran escala, se ha observado una disminución significativa en las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que confirma el impacto positivo de la digitalización del consumo energético en la sostenibilidad (KeyBPS, 2023).

Otro aspecto fundamental de los sistemas IoT en la gestión energética es la automatización inteligente del consumo. A través de algoritmos avanzados, los dispositivos pueden adaptarse a la demanda energética del hogar y a las preferencias del usuario, garantizando un uso eficiente sin comprometer la comodidad. Ejemplos de esto son soluciones como Tesla Powerwall, que almacena energía en baterías domésticas para su uso en momentos de alta demanda, y dispositivos como Philips Hue y SmartThings, que regulan la iluminación y el funcionamiento de electrodomésticos en función de la actividad del hogar (CEDOM, 2023).

La automatización no solo mejora la eficiencia y el ahorro energético, sino que también contribuye a la estabilidad de la red eléctrica. La gestión inteligente del consumo ayuda a evitar sobrecargas y previene apagones en momentos de alta demanda, mejorando así la confiabilidad del sistema eléctrico a nivel residencial y urbano (Novaluz, 2023). Con el avance continuo de la tecnología y la mayor accesibilidad de estas soluciones, se espera que la automatización energética basada en IoT se convierta en un estándar en los hogares inteligentes del futuro.

### 5.3 Casos de referencia tecnología IoT

La presente sección tiene como objetivo presentar y analizar experiencias internacionales relevantes en la implementación de tecnologías IoT aplicadas al monitoreo y gestión energética. A través del estudio de casos en países como Estados Unidos y Japón, se busca identificar buenas prácticas, soluciones tecnológicas y resultados obtenidos que sirvan como referencia conceptual y técnica para contextualizar el desarrollo del presente proyecto. Estos referentes internacionales permiten comprender cómo el uso de sensores, redes inteligentes y plataformas de visualización ha contribuido a optimizar el consumo energético, y ofrecen lecciones valiosas que pueden ser adaptadas al entorno colombiano.

#### 5.3.1 *Estados Unidos y el Uso de Smart Grids*

En Estados Unidos, la adopción de redes inteligentes o Smart Grids ha generado una transformación significativa en la forma como se gestiona y distribuye la energía eléctrica, tanto en hogares como en instalaciones comerciales. Estas redes combinan tecnologías digitales, sensores IoT y automatización para permitir un control más eficiente del flujo eléctrico, facilitando la integración de energías renovables y promoviendo un consumo más sostenible.

A diferencia de las redes tradicionales, que operan de forma unidireccional, las Smart Grids permiten un flujo bidireccional de información y electricidad. Esto habilita la toma de decisiones automáticas y en tiempo real, permitiendo a los usuarios y proveedores ajustar la demanda y detectar fallas rápidamente. Los componentes clave de estas redes incluyen:

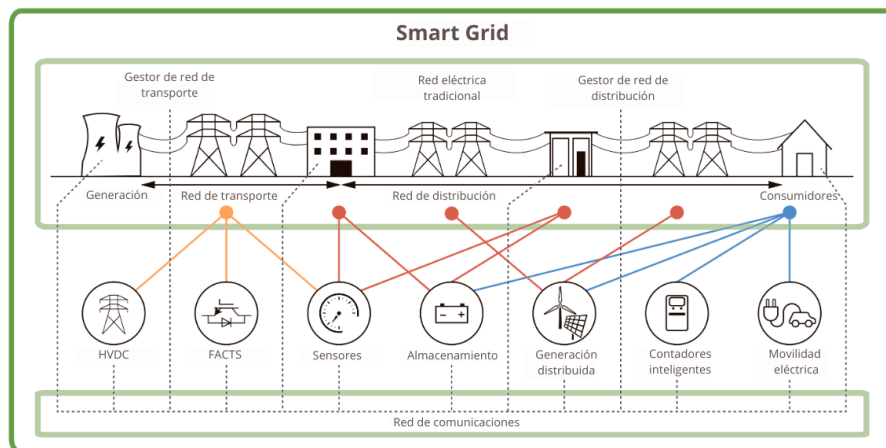
- Contadores inteligentes que registran y reportan el consumo energético en tiempo real.

- Sensores IoT que permiten el monitoreo continuo de la red.
- Infraestructura de comunicación de alta velocidad (como redes de fibra óptica).
- Sistemas de automatización para la respuesta rápida ante variaciones o fallas.
- Integración de fuentes renovables como solar y eólica.

Un caso destacado es el de la empresa EPB en Chattanooga, Tennessee. Esta compañía implementó una red de fibra óptica que, además de mejorar el servicio de internet, permitió desarrollar una red eléctrica inteligente con medición en tiempo real, respuestas automatizadas ante fallas y una mejora sustancial en la eficiencia del suministro. Se estima que el impacto económico de esta implementación fue de más de 2.700 millones de dólares en su primera década.

**Figura 15.**

*Diagrama SmartGrid*



*Nota.* Tomado de Ràfols, S. C. (2024, 18 abril). Smart Grids y su papel en la descarbonización energética. <https://blog.zeroconsulting.com/smart-grids>

### ***5.3.2 Japón y los Sistemas IoT en el Hogar***

Después del accidente nuclear de Fukushima en 2011, Japón enfrentó una crisis energética que lo llevó a replantear su modelo de consumo eléctrico. Como respuesta, se promovieron tecnologías IoT orientadas al hogar, buscando mejorar la eficiencia mediante sistemas de monitoreo y automatización doméstica.

Estos sistemas interconectan:

- Contadores inteligentes que informan el consumo en tiempo real.
- Electrodomésticos conectados capaces de ajustar su funcionamiento según la demanda o el precio de la energía.
- Plataformas de gestión doméstica (HEMS) que integran toda la información y permiten al usuario optimizar su uso energético.
- El Proyecto Yokohama Smart City (YSCP) es uno de los ejemplos más representativos de esta transformación. Allí se combinaron energías renovables, almacenamiento local, automatización del consumo y sistemas IoT para lograr una reducción del 17% en emisiones de CO<sub>2</sub> y una mejora sustancial en la eficiencia energética urbana. Este proyecto sirvió como modelo para otras ciudades del país y demostró la viabilidad de implementar soluciones tecnológicas avanzadas a nivel residencial.

### ***5.3.3 Aplicabilidad de los Casos Internacionales al Proyecto***

La inclusión de estos casos de estudio fue clave para fundamentar conceptualmente nuestro proyecto. Analizar experiencias como la de EPB en Estados Unidos o el proyecto YSCP en Japón

nos permitió entender cómo tecnologías como el IoT y la medición inteligente no solo mejoran la eficiencia energética, sino que empoderan al consumidor mediante información clara y en tiempo real. Estas iniciativas nos sirvieron como referencia para estructurar nuestra solución de monitoreo energético en el contexto colombiano, adaptando ideas como el uso de sensores, interfaces accesibles y alertas inteligentes al entorno local. Además, estas experiencias reforzaron la importancia de que los usuarios participen activamente en la gestión de su consumo eléctrico, algo que buscamos replicar con nuestra aplicación al ofrecer estadísticas personalizadas, recomendaciones y visualización de datos históricos.

#### 5.4 Análisis del microcontrolador a utilizar

Con el objetivo de seleccionar el microcontrolador más adecuado se realizó una evaluación comparativa entre tres alternativas ampliamente utilizadas en el ámbito del Internet de las Cosas (IoT): el ESP8266, el ESP32 y la Raspberry Pi. Esta tabla permite visualizar las principales características técnicas, ventajas y limitaciones de cada uno en función de criterios relevantes como conectividad, consumo energético, capacidad de procesamiento y facilidad de programación.

**Tabla 1.**

*Comparativa Microcontroladores*

<b>Características</b>	<b>ESP8266MOD</b>	<b>ESP32</b>	<b>RaspberryPi</b>
<b>Procesador</b>	Tensilica L106 (80 MHz)	Dual-core Xtensa LX6 (240 MHz)	ARM Cortex-A72 (Quad-core 1.5 GHz)
<b>Memoria RAM</b>	160 KB	520 KB SRAM	2 GB - 8 GB (según modelo)

<b>Conectividad</b>	WiFi 2.4GHz	WiFi, Bluetooth	WiFi, Bluetooth, Ethernet, USB
<b>GPIO</b>	17 pines	34 pines	40 pines GPIO
<b>Facilidad de Programación</b>	Alta (Arduino IDE)	Alta (Arduino IDE, IDF)	Media (requiere SO y entorno Linux)
<b>Costo Aproximado</b>	\$18.000 - \$24.000 COP	\$25.000 - \$40.000 COP	\$200.000 – \$360.000 COP

Luego de analizar las diferentes opciones, se optó por utilizar el microcontrolador ESP8266MOD, principalmente por su bajo costo, su consumo energético moderado y su capacidad integrada de conexión Wi-Fi, lo cual lo hace ideal para aplicaciones de transmisión continua de datos como las requeridas por este proyecto. Si bien el ESP32 ofrece mayores prestaciones, estas no eran estrictamente necesarias para el alcance del prototipo, y su precio es ligeramente superior. Por su parte, la Raspberry Pi representa una opción robusta pero con un mayor consumo eléctrico, un tamaño considerable y una complejidad innecesaria para las tareas de medición y envío de datos en tiempo real. Por tanto, el ESP8266 representó un equilibrio óptimo entre funcionalidad, eficiencia y economía para este sistema.

### 5.5 Análisis del sensor a utilizar

Para llevar a cabo una correcta elección del sensor destinado a la medición del consumo eléctrico, se realizó una búsqueda documental comparando las especificaciones técnicas, funcionalidades y compatibilidad de diversos dispositivos. El objetivo de esta tabla es presentar de manera clara las diferencias entre las opciones consideradas, evaluando criterios como tipo de

corriente, parámetros de medición, facilidad de conexión y disponibilidad. Esta comparación técnica permite justificar la elección del sensor que mejor se adapta al alcance del proyecto y a las condiciones de uso definidas, facilitando así una implementación práctica, precisa y económica del sistema de monitoreo energético.

**Tabla 2.**

*Comparativa Sensores*

<b>Característica</b>	<b>ACS712</b>	<b>SCT-013</b>	<b>PZEM-004T</b>
Tipo de medición	Corriente (AC y DC)	Corriente (AC)	Voltaje, corriente, potencia y energía (AC)
Rango de corriente	5A / 20A / 30A (según versión)	Hasta 100A (depende de la carga de burden)	Hasta 100A (con pinza externa)
Aislamiento galvánico	No	Sí (por transformador de corriente)	Sí (con sensor de pinza tipo CT y optoacoplador)
Salida	Voltaje analógico	Voltaje analógico (proporcional a la corriente)	Salida digital por UART
Precisión	Media	Alta (requiere calibración)	Alta (incluye mediciones integradas precisas)

Medición de voltaje	No	No	Sí (medición directa)
Alimentación	5V (versión estándar)	No necesita alimentación propia	5V
Facilidad de uso	Alta (requiere lectura ADC)	Media (requiere resistencia burden y calibración)	Alta (protocolo UART simple con librerías)
Tamaño/forma	Módulo pequeño rectangular	Sensor tipo pinza (split-core)	Módulo con pinza + cable UART
Costo (aproximado)	Bajo (~10.000 – 20.000 COP)	Medio (~20.000 – 35.000 COP)	Medio-Alto (~30.000 – 50.000 COP)
Compatibilidad microcontroladores	Arduino, ESP32, ESP8266	Arduino, ESP32, ESP8266	Arduino, ESP32, ESP8266 (requiere UART)
Ideal para...	Medir corriente DC y AC de bajo-medio voltaje	Medición de corriente AC en cable vivo	Medición completa de energía en sistemas AC

En base en la información presentada en la Tabla 1, se seleccionó el sensor ACS712, una de las principales razones para su elección fue su salida analógica directa, la cual entrega un voltaje proporcional a la corriente medida. Esto permitió realizar lecturas de corriente de forma inmediata

mediante el pin analógico del microcontrolador, sin requerir procesamiento adicional complejo. A diferencia del SCT-013-000, que necesita una resistencia de carga (burden resistor), un divisor de voltaje y un proceso de calibración más extenso, el ACS712 proporciona una solución más compacta y fácil de implementar, reduciendo la cantidad de componentes y ecuaciones necesarias para obtener el valor de corriente.

Además, su compatibilidad directa con microcontroladores como el ESP8266MOD, utilizado en este proyecto, facilitó la integración del sensor con el resto del sistema de adquisición y transmisión de datos. Aunque el ACS712 no ofrece aislamiento galvánico como el SCT-013-000, su facilidad de uso y menor complejidad de montaje lo convirtieron en una alternativa ideal para prototipos funcionales, donde se prioriza la validación rápida del sistema.

A partir de los análisis desarrollados en esta sección, se confirma de la ejecución de la Fase 1 de la metodología (Ambientación Tecnológica), en la cual se abordó la revisión documental y bibliográfica de tecnologías IoT aplicadas a la gestión energética, el estudio de experiencias internacionales exitosas y la evaluación de las particularidades del entorno eléctrico colombiano. Adicionalmente, se desarrollaron comparativas entre sensores y microcontroladores, lo que permitió seleccionar los componentes más adecuados para el prototipo. Si bien originalmente se contemplaba la elaboración de un informe independiente para esta fase, con el fin de garantizar una presentación más integrada y coherente dentro del documento final, se optó por incorporar directamente estos contenidos en el libro de la tesis.

## 6 Diseño e Implementación

Esta sección describe el proceso de diseño técnico y la implementación del sistema de monitoreo energético desarrollado. A partir de los requerimientos identificados, se construyó una solución adaptada al contexto de hogares colombianos, considerando aspectos tecnológicos, funcionales y de adaptabilidad.

### 6.1 Análisis de requerimientos

Con el objetivo de conocer los hábitos de consumo energético y la disposición de los usuarios a utilizar una aplicación web para monitoreo inteligente, se realizó una encuesta a un total de **41 personas**. A partir de los datos obtenidos, se analizaron aspectos clave como el perfil de los usuarios, sus métodos actuales de monitoreo energético, el interés en la aplicación propuesta y las funcionalidades más valoradas.

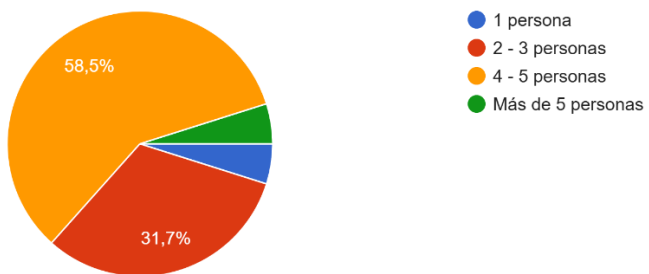
#### 6.1.1 Perfil de los Usuarios

La encuesta realizada permitió identificar que la mayoría de los encuestados viven en hogares con entre dos y cinco personas, lo que indica que el sistema debe adaptarse a un uso familiar y considerar la variabilidad en los patrones de consumo. Además, predominan las respuestas de personas que habitan en apartamentos y casas, lo que sugiere que la aplicación debe ser compatible con distintas configuraciones eléctricas y redes domésticas. También se observó que los encuestados pertenecen principalmente a los estratos 2, 3 y 4, lo que es un factor relevante, ya que el costo de la electricidad varía según el estrato socioeconómico.

**Figura 16.**

*Distribución de personas por hogar según la encuesta*

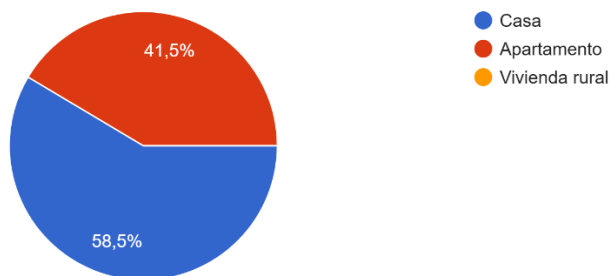
¿Cuántas personas viven en su hogar?  
41 respuestas



**Figura 17.**

*Tipo de vivienda de los encuestados*

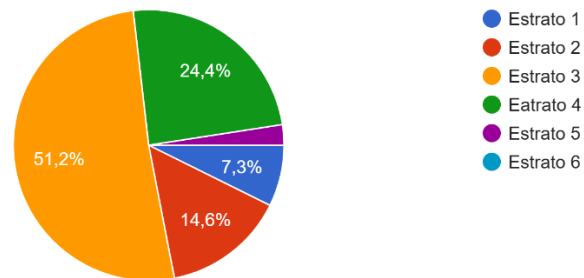
¿En qué tipo de vivienda reside?  
41 respuestas



**Figura 18.**

*Estrato socioeconómico declarado por los encuestados*

¿A qué estrato socioeconómico pertenece?  
41 respuestas



### 6.1.2 Hábitos de Monitoreo Energético

En cuanto a las formas actuales de monitoreo, la mayoría de los encuestados indicaron que revisan su factura mensual como único método de control de consumo, lo que sugiere una baja conciencia sobre el monitoreo en tiempo real. Además, los resultados indican que solo el 7.3% de los participantes tiene una idea clara del consumo de sus electrodomésticos, mientras que el 92.6% no tiene precisión sobre ello o carece de información totalmente. Esto justifica la necesidad de una funcionalidad dentro de la aplicación que detalle el consumo por dispositivo.

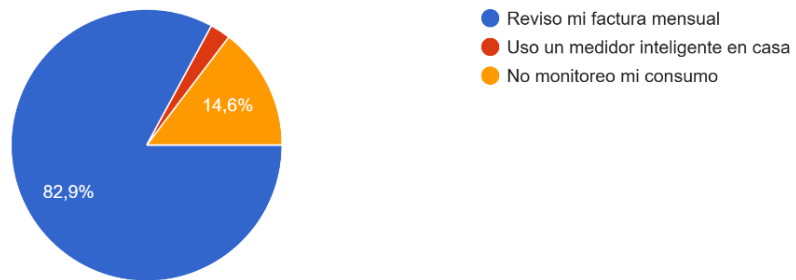
Otro aspecto clave identificado en la encuesta es el uso de electrodomésticos en los hogares. Los datos muestran que la nevera es el aparato más utilizado por el 90.2% de los encuestados, seguido por el televisor (63.4%), ventilador/aire acondicionado (70.7%), lavadora/secadora (68.3%) y computador (70.7%), . Esta información es relevante para priorizar la implementación de funcionalidades que permitan monitorear estos dispositivos en tiempo real

y generar recomendaciones personalizadas de ahorro energético. Cabe aclarar que los porcentajes mencionados fueron obtenidos a partir de una pregunta incluida en la encuesta aplicada, si bien se recolectaron los datos, se optó por no incluir la representación gráfica en esta sección, dado que la información relevante ya se encuentra claramente expresada y analizada en el texto. Esto permite mantener la fluidez narrativa sin duplicar visualmente los resultados.

**Figura 19.**

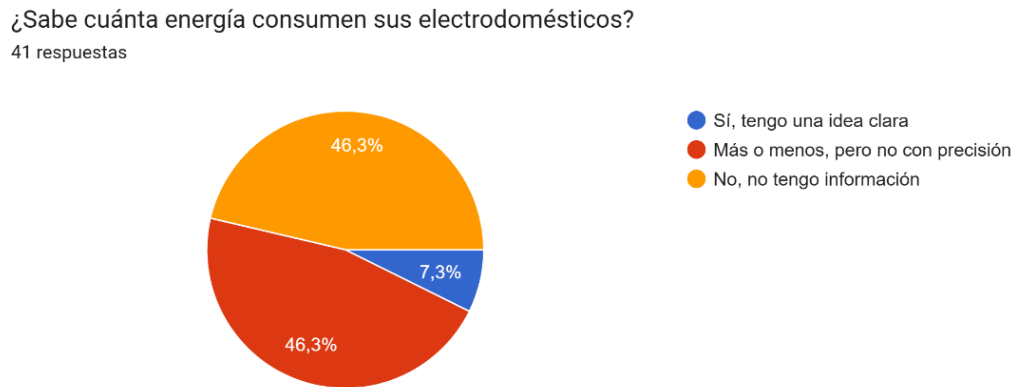
*Métodos utilizados por los encuestados para monitorear su consumo*

¿Cómo monitorea actualmente su consumo eléctrico?  
41 respuestas



**Figura 20.**

*Información que tienen los usuarios sobre su consumo eléctrico*



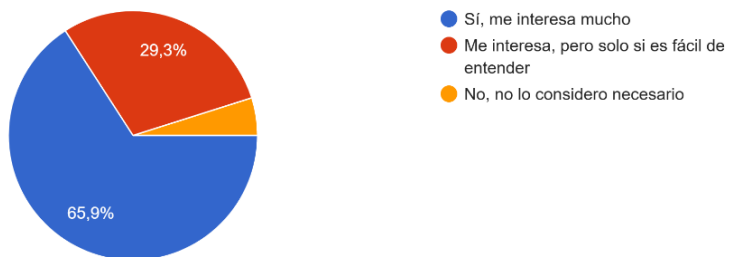
### 6.1.3 Interés en una Aplicación Web

Los resultados de la encuesta muestran un alto interés en conocer el consumo en tiempo real, ya que casi la totalidad de los encuestados manifestó su deseo de acceder a esta información. Además, la mayoría de los participantes indicó que usaría una aplicación web para este propósito, aunque algunos solo si es fácil de usar. Esto resalta la importancia de un diseño intuitivo y accesible. En términos de frecuencia de uso, la mayoría de los usuarios señaló que consultaría la aplicación varias veces por semana, lo que implica que el sistema debe ofrecer información actualizada y relevante de manera periódica.

**Figura 21.**

*Interés de los encuestados en conocer su consumo eléctrico en tiempo real.*

Le gustaría conocer su consumo eléctrico en tiempo real?  
41 respuestas



**Figura 22.**

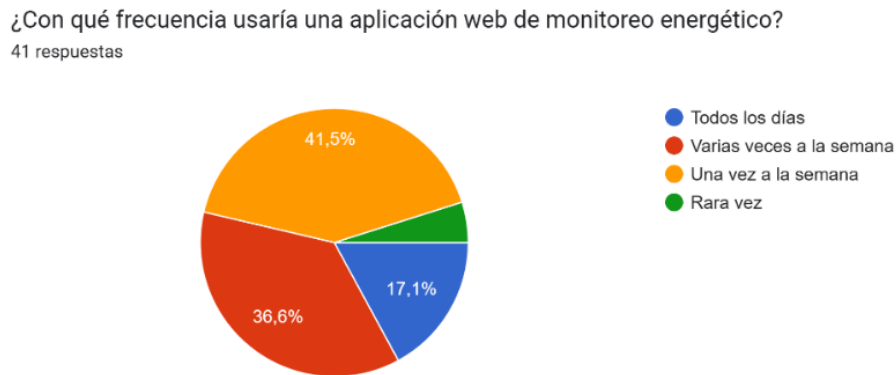
*Interés en usar una app de monitoreo energético*

¿Usaría una aplicación web para monitorear su consumo eléctrico?  
41 respuestas



**Figura 23.**

*Frecuencia estimada de uso de una aplicación web de monitoreo energético*

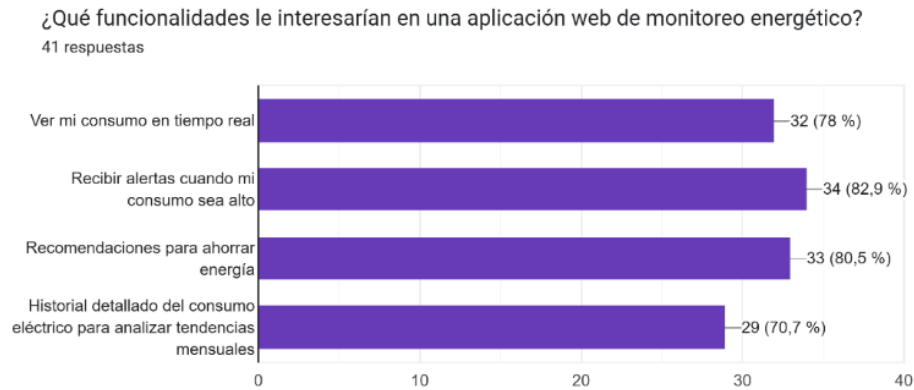


#### 6.1.4 *Requerimientos Funcionales y No Funcionales*

Basados en los resultados de la encuesta, la aplicación web debe incluir funcionalidades esenciales como la visualización del consumo en tiempo real, alertas sobre consumos altos, un historial de consumo para análisis a largo plazo y el establecimiento de metas de consumo con notificaciones automáticas. Además, debe cumplir con requerimientos no funcionales como accesibilidad en dispositivos móviles y de escritorio, seguridad en la protección de datos personales, eficiencia en la carga de datos en tiempo real y escalabilidad para la integración de nuevos dispositivos en el futuro.

**Figura 24.**

*Características más deseadas en una app de monitoreo*



Teniendo en cuenta lo anterior, se definieron los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema, los cuales permiten establecer de forma estructurada las características necesarias para garantizar el correcto diseño, implementación y operación de la plataforma. A continuación, se presentan las tablas que describen detalladamente cada uno de estos requerimientos, clasificados según su tipo, prioridad y función dentro del sistema propuesto.

**Requerimientos Funcionales**

**Tabla 3.**

*Requerimiento Funcional N°1*

<b>Requerimiento funcional N°:</b>	RF01
<b>Nombre:</b>	Visualización de consumo en tiempo real

<b>Tipo:</b>	Usuario Final
<b>Prioridad:</b>	Alta
<b>Descripción:</b>	El sistema debe mostrar en la plataforma web el consumo eléctrico actual del dispositivo conectado, mediante una gráfica dinámica que se actualiza cada 5 segundos, facilitando así su interpretación.

**Tabla 4.**

*Requerimiento Funcional N°2*

<b>Requerimiento funcional N°:</b>	RF02
<b>Nombre:</b>	Historial de consumo por dispositivo
<b>Tipo:</b>	Usuario Final
<b>Prioridad:</b>	Alta
<b>Descripción:</b>	El sistema debe permitir al usuario consultar el historial de consumo por cada dispositivo registrado, filtrando por fecha y agrupando los datos por minuto. Además, los valores deben representarse en Wh y kWh.

**Tabla 5.**

*Requerimiento Funcional N°3*

<b>Requerimiento funcional N°:</b>	RF03
<b>Nombre:</b>	Comparativa Teórica vs Real vs Factura
<b>Tipo:</b>	Usuario Final
<b>Prioridad:</b>	Alta
<b>Descripción:</b>	La plataforma debe presentar una comparativa gráfica del consumo mensual registrado en la factura del usuario, el consumo teórico estimado por configuración y el consumo real medido por los sensores.

**Tabla 6.**

*Requerimiento Funcional N°4*

<b>Requerimiento funcional N°:</b>	RF04
<b>Nombre:</b>	Simulación de consumo mensual estimado
<b>Tipo:</b>	Usuario Final
<b>Prioridad:</b>	Media

---

<b>Descripción:</b>	El sistema debe permitir al usuario estimar el consumo mensual de sus dispositivos en función del uso declarado (horas de uso o ciclos por semana) y los datos medidos en tiempo real durante las últimas 4 horas.
---------------------	--

---

**Tabla 7.**

*Requerimiento Funcional N°5*

<b>Requerimiento funcional N°:</b>	RF05
<b>Nombre:</b>	Generación automática de recomendaciones
<b>Tipo:</b>	Usuario Final
<b>Prioridad:</b>	Media
<b>Descripción:</b>	El sistema debe generar una recomendación diaria de ahorro energético basada en los datos de consumo registrados, visibles en la sección de inicio y actualizadas automáticamente cada 24 horas.

---

**Tabla 8.**

*Requerimiento Funcional N°6*

<b>Requerimiento funcional N°:</b>	RF06
<b>Nombre:</b>	Alertas por sobreconsumo
<b>Tipo:</b>	Usuario Final
<b>Prioridad:</b>	Alta
<b>Descripción:</b>	El sistema debe mostrar al usuario cuando se detecte un consumo moderado o excesivo según los umbrales configurados. La alerta debe incluir el dispositivo, la hora y el valor en W, junto con un mensaje de advertencia.

**Tabla 9.**

*Requerimiento Funcional N°7*

<b>Requerimiento funcional N°:</b>	RF07
<b>Nombre:</b>	Registro y autenticación de usuarios
<b>Tipo:</b>	Administrador / Usuario Final
<b>Prioridad:</b>	Alta
<b>Descripción:</b>	La plataforma debe permitir el registro de nuevos usuarios y su autenticación mediante correo y contraseña, utilizando Firebase

---

Authentication para la gestión segura de sesiones.

---

**Tabla 10.**

*Requerimiento Funcional N°8*

<b>Requerimiento funcional N°:</b>	RF08
<b>Nombre:</b>	Configuración de dispositivos
<b>Tipo:</b>	Usuario Final
<b>Prioridad:</b>	Media
<b>Descripción:</b>	El sistema debe permitir al usuario seleccionar los electrodomésticos que posee mediante una lista predefinida, visualizar automáticamente el consumo teórico mensual de cada uno, e ingresar la cantidad correspondiente.

**Tabla 11.**

*Requerimiento Funcional N°9*

<b>Requerimiento funcional N°:</b>	RF09
<b>Nombre:</b>	Resumen histórico compacto
<b>Tipo:</b>	Usuario Final
<b>Prioridad:</b>	Alta
<b>Descripción:</b>	El sistema debe presentar un resumen mensual del consumo total medido por los sensores, comparándolo con el valor reportado en la factura y el consumo teórico estimado. Esta funcionalidad permite al usuario identificar posibles excesos o ahorros energéticos, con desglose por dispositivo y porcentaje de participación.

**Requerimientos No Funcionales**

**Tabla 12.**

*Requerimiento No Funcional N°1*

<b>Requerimiento No funcional N°:</b>	RNF01
<b>Nombre:</b>	Escalabilidad del sistema
<b>Tipo:</b>	Técnico
<b>Prioridad:</b>	Media

---

<b>Descripción:</b>	La arquitectura del sistema debe permitir la incorporación de nuevos dispositivos y funcionalidades sin afectar el rendimiento general.
---------------------	---

---

**Tabla 13.**

*Requerimiento No Funcional N°2*

---

<b>Requerimiento No funcional N°:</b>	RNF02
<b>Nombre:</b>	Usabilidad e interfaz intuitiva
<b>Tipo:</b>	Usuario Final
<b>Prioridad:</b>	Alta
<b>Descripción:</b>	La interfaz gráfica debe ser intuitiva, clara y fácil de navegar para usuarios sin conocimientos técnicos, facilitando el acceso a todas las funcionalidades del sistema.

---

**Tabla 14.**

*Requerimiento No Funcional N°3*

<b>Requerimiento No funcional N°:</b>	RNF03
<b>Nombre:</b>	Almacenamiento eficiente en la nube
<b>Tipo:</b>	Técnico
<b>Prioridad:</b>	Alta
<b>Descripción:</b>	El sistema debe almacenar los datos de configuración del usuario y las mediciones de las ultimas 4 horas para lograr la simulación del consumo mensual, estos datos son almacenados en una base de datos en la nube (Firebase), asegurando persistencia de datos y respaldo seguro.

**Tabla 15.**

*Requerimiento No Funcional N°4*

<b>Requerimiento No funcional N°:</b>	RNF04
<b>Nombre:</b>	Seguridad en la autenticación
<b>Tipo:</b>	Seguridad
<b>Prioridad:</b>	Alta

**Descripción:**

El sistema debe implementar un mecanismo seguro de autenticación mediante correo electrónico y contraseña, protegiendo los datos personales del usuario y su configuración.

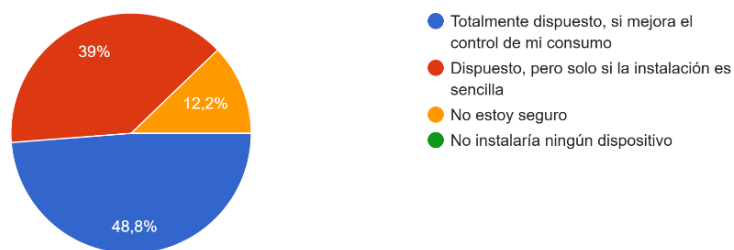
**6.1.5 Instalación de Sensores y Seguridad de Datos**

El 39% de los usuarios indicaron que estarían dispuestos a instalar sensores, pero solo si la configuración es sencilla. Por lo tanto, la solución propuesta debe incluir dispositivos de fácil configuración, preferiblemente con conectividad inalámbrica y guías de instalación claras. También se identificó que algunos usuarios expresaron preocupación por compartir datos de sus facturas o medidores, lo que hace necesario que la aplicación garantice políticas de privacidad claras, encriptación de datos y controles de acceso para fomentar la confianza.

**Figura 25.**

*Disposición a instalar sensores para monitorear el consumo*

Si la aplicación requiere instalar sensores o dispositivos en casa, ¿Qué tan dispuesto estaría a hacerlo?  
41 respuestas

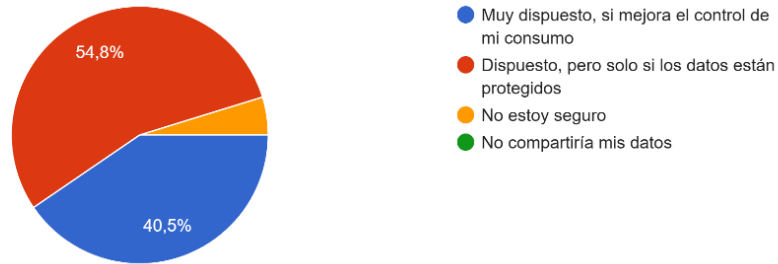


**Figura 26.**

*Disposición a compartir datos para mejorar el monitoreo*

¿Qué tan dispuesto estaría a proporcionar datos adicionales sobre su consumo eléctrico (como información de su factura o datos de su medidor) para mejorar la precisión del monitoreo?

41 respuestas



Los resultados obtenidos en la encuesta proporcionan una base sólida para la estructuración del sistema. A partir de este análisis, se pueden establecer los lineamientos clave para la implementación de la aplicación web, asegurando que esta se ajuste a las necesidades y expectativas de los usuarios.

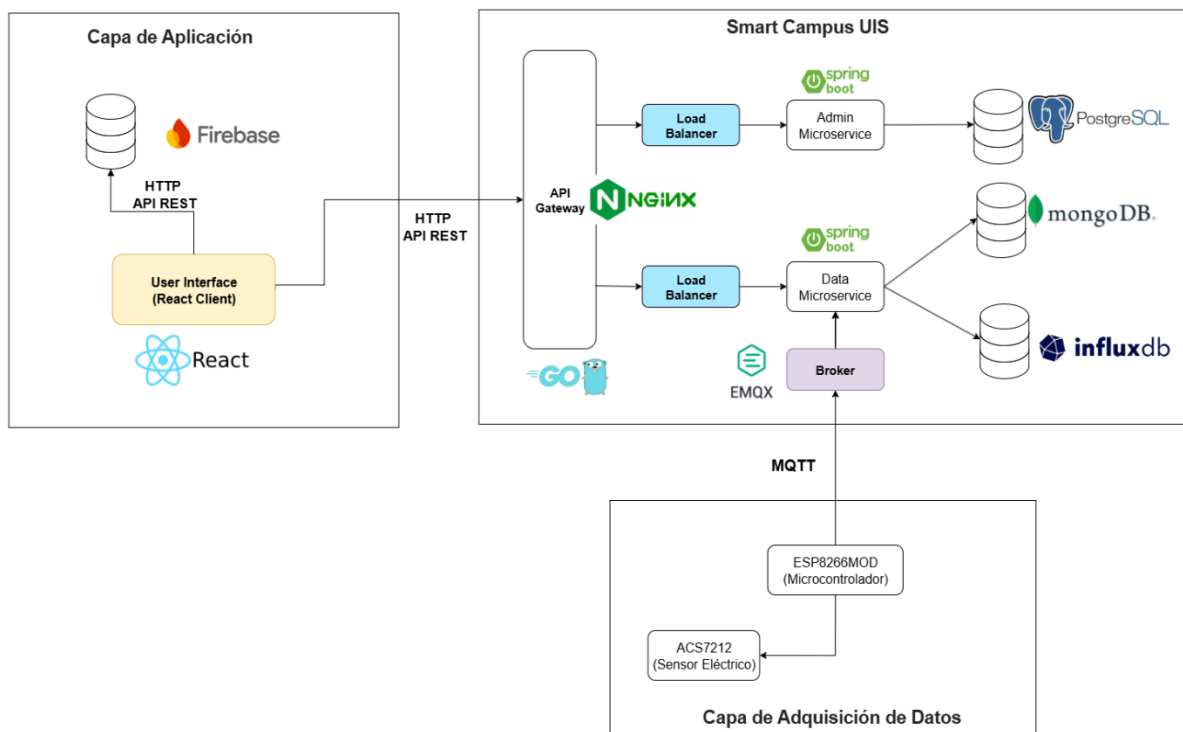
Con base en los resultados obtenidos en la encuesta y el análisis posterior, se logró estructurar una solución alineada con las necesidades y expectativas reales de los usuarios. Este proceso permitió el cumplimiento de la Fase 2 de la metodología (Análisis de Requerimientos), al identificar y documentar formalmente tanto los requerimientos funcionales como los no funcionales. Además, se da cumplimiento al objetivo específico 1 del proyecto, enfocado en analizar los requerimientos técnicos y funcionales necesarios para el diseño e implementación del sistema de monitoreo energético. Esta etapa fue clave para orientar las decisiones técnicas posteriores, asegurando que la solución planteada respondiera al contexto real de aplicación.

## 6.2 Diseño

Se elaboró un diagrama arquitectónico detallado que describe la estructura e interacción entre los diferentes módulos del sistema.

**Figura 27.**

*Arquitectura del Sistema de Monitoreo de Consumo Eléctrico*



### **6.2.1 Capa de adquisición de datos**

El sistema emplea el sensor ACS712, que mide la corriente eléctrica en tiempo real, y el microcontrolador ESP8266MOD, encargado de digitalizar la señal analógica y transmitir los datos recolectados. Durante la implementación, se realizaron ajustes específicos al sensor para mejorar su precisión, como la calibración del offset y la determinación de la sensibilidad real en función de las resistencias del divisor de tensión.

Se diseñó un divisor de voltaje que adapta la señal analógica del sensor (alimentado con 5V) al nivel aceptado por el pin analógico del ESP8266 (3.3V), garantizando la seguridad del microcontrolador. Todo el procesamiento se realizó mediante programación en Arduino IDE, con ciclos de muestreo de 500 ms para obtener mediciones estables y realistas.

### **6.2.2 Capa de infraestructura backend (SmartCampus UIS)**

El ESP8266MOD se conecta a la red Wi-Fi doméstica usando la librería WiFi.h, y envía los datos al servidor mediante el protocolo MQTT con ayuda de la librería PubSubClient.h. Para esto, se implementó un broker MQTT, que puede alojarse de forma local o remota. En este caso, se decidió enviar los datos a la plataforma SmartCampus, la cual actúa como intermediario para la gestión y distribución eficiente de los datos.

### **6.2.3 Capa de aplicación**

El front-end fue desarrollado completamente en ReactJS, usando herramientas como Node.js para el entorno de desarrollo y npm para la gestión de paquetes.

Se logró establecer una arquitectura robusta, modular y escalable. Cada componente fue seleccionado cuidadosamente para garantizar la eficiencia en la captura, transmisión y visualización de los datos de consumo eléctrico en tiempo real. A partir de esta base sólida, se procedió con la etapa de implementación, en la cual se materializó la solución mediante el desarrollo del prototipo funcional, la configuración de los servicios de red y la integración completa del sistema con la plataforma SmartCampus y la aplicación web construida en ReactJS.

Con el diseño arquitectónico presentado en esta sección se da cumplimiento al objetivo específico número 2, orientado a proponer el diseño en una arquitectura IoT para el monitoreo inteligente de energía eléctrica. Asimismo, este diseño responde a los lineamientos establecidos en la Fase 3 de la metodología (Diseño del Sistema), al definir de manera estructurada la interacción entre los componentes de hardware y software, los métodos de adquisición y transmisión de datos, y la interfaz de visualización para el usuario final. Esta arquitectura constituye la base técnica sobre la cual se construyó el prototipo funcional implementado en la siguiente etapa.

### **6.3 Implementación del prototipo**

Esta sección presenta el proceso de implementación del prototipo funcional desarrollado para el sistema de monitoreo energético inteligente. Aquí se detallan los pasos seguidos para integrar el hardware, la plataforma de visualización web y los mecanismos de recolección y transmisión de datos. Se describen las decisiones técnicas tomadas, los componentes utilizados, así como los retos enfrentados durante la construcción e integración del sistema, con el fin de validar su operatividad bajo condiciones reales de uso.

### **6.3.1 Ajuste y Montaje del Sensor ACS712**

Durante el proceso de implementación del sistema, fue necesario realizar ajustes específicos al sensor de corriente ACS712 con el fin de obtener mediciones precisas de corriente alterna (AC) en tiempo real. Este sensor funciona mediante el efecto Hall y proporciona una salida analógica proporcional a la corriente medida. No obstante, presenta ciertas características que requieren calibración previa a su uso efectivo en conjunto con el microcontrolador ESP8266MOD.

El primer paso consistió en corregir el offset de la señal de salida. El ACS712 entrega un voltaje de referencia cercano a 2.5V cuando no hay corriente circulando por el conductor. Esta característica, aunque propia del diseño interno del sensor, puede generar imprecisiones si no se corrige adecuadamente, ya que introduce un componente de corriente continua (DC) en la lectura de señales alternas. Por tanto, fue necesario identificar y ajustar ese valor de referencia mediante pruebas controladas y calibración experimental. El valor del offset finalmente usado fue de 0.135, el cual fue incorporado directamente en la fórmula de procesamiento del código.

Además, se determinó la sensibilidad real del sensor con base en las condiciones del montaje y los valores prácticos de las resistencias empleadas en el divisor. Esta sensibilidad, calculada en 0.0649769585 V/A, permitió traducir con precisión las variaciones de voltaje analógico en amperios reales.

Otra parte fundamental del montaje fue la adecuación de la señal analógica generada por el sensor. El ACS712 trabaja con una alimentación de 5V, mientras que el ESP8266 únicamente acepta señales analógicas de hasta 3.3V. Para evitar daños al microcontrolador y garantizar la estabilidad de las lecturas, se diseñó un divisor de tensión que reduce el voltaje máximo de salida

del sensor a niveles compatibles con el pin analógico del ESP8266. Este divisor fue calculado cuidadosamente teniendo en cuenta las proporciones de las resistencias y se probó hasta alcanzar un comportamiento lineal y seguro del sistema.

Una vez implementado el divisor y calibrado el sensor, se procedió a desarrollar el código que realiza la lectura analógica, filtra los valores para reducir el ruido eléctrico, y finalmente calcula la corriente efectiva y la potencia activa. La programación se realizó en el entorno Arduino IDE, utilizando ciclos de muestreo de 5000 ms para lograr un promedio realista y representativo del comportamiento del sistema.

#### **Variables claves para la codificación:**

**Sensibilidad:** calibrada en función de la respuesta real del sensor (en V/A).

**offset:** se ajusta experimentalmente para compensar errores de cero (influencia del divisor o ruido).

**voltajeSensor1:** voltaje leído directamente del pin A0 (convertido a voltaje real).

**voltajeReal:** voltaje corregido tras aplicar la relación del divisor resistivo.

**Irms:** corriente eficaz calculada.

**P:** potencia activa estimada (en vatios).

#### **Funciones importantes para inicializar la medición:**

- La función `setup()` es ejecutada una única vez al iniciar el sistema. Su propósito principal es preparar el entorno para que el dispositivo esté listo para operar.
- La función `loop()` se ejecuta de forma continua mientras el dispositivo esté encendido. Aquí se realizan los procesos de medición, análisis y presentación de los datos.
- La función `get_corriente()` es la responsable de obtener una medición precisa de la corriente alterna.

Estas tres funciones en conjunto permiten que el sistema no solo adquiera datos de forma estable y precisa, sino que también esté en capacidad de ofrecer información útil en tiempo real sobre el consumo eléctrico.

Para lograr la transmisión de los datos medidos por el microcontrolador hacia la plataforma de visualización, fue necesario incorporar la funcionalidad de comunicación mediante el protocolo MQTT. Para esto, se utilizaron las librerías `ESP8266WiFi.h`, `PubSubClient.h` y `ArduinoJson.h`, las cuales permitieron conectar el ESP8266 a la red Wi-Fi, establecer comunicación con el broker MQTT y estructurar los datos en formato JSON respectivamente.

Además, se implementó un cliente NTP (`NTPClient.h`) para sincronizar la hora en tiempo real, permitiendo que cada dato enviado al servidor contenga un timestamp exacto. Esta sincronización es esencial para el análisis histórico y la trazabilidad del consumo eléctrico.

El flujo de funcionamiento se estructura de la siguiente manera:

- En la función `setup()`, el microcontrolador se conecta a la red Wi-Fi y al servidor MQTT.

- En el `loop()`, se realiza la lectura del sensor ACS712, se calcula la potencia en watts, se estructura el mensaje JSON incluyendo la potencia y la marca de tiempo, y se publica en el tópico correspondiente del servidor MQTT.
- En caso de perder la conexión, la función `reconnect()` asegura que el dispositivo intente reconectar automáticamente al broker.

Gracias a esta implementación, el sistema es capaz de enviar lecturas de potencia eléctrica cada 5 segundos al servidor, desde donde son recolectadas por la plataforma SmartCampus y posteriormente visualizadas en la aplicación React desarrollada.

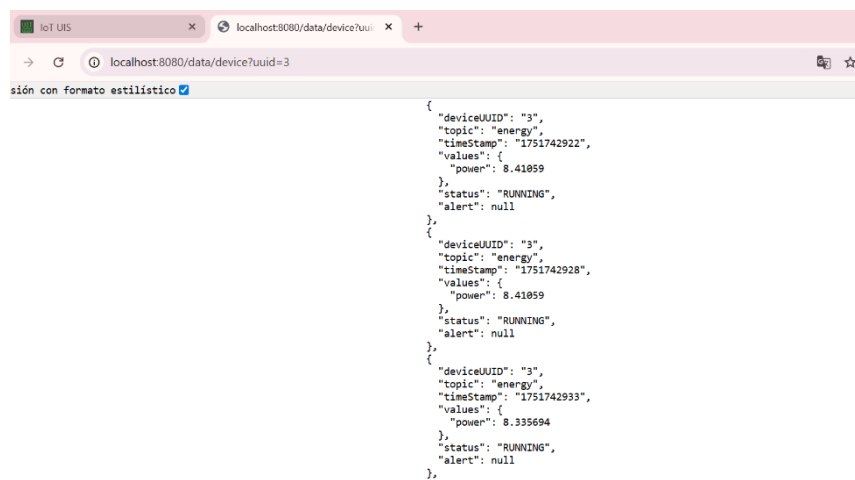
### ***6.3.2 Comunicación entre el Dispositivo y la Plataforma SmartCampus***

Una vez ajustado el sensor y desarrollada la lógica de medición, se implementó el mecanismo de comunicación entre el microcontrolador ESP8266 y la plataforma SmartCampus utilizando el protocolo MQTT. Para ello, se integraron librerías específicas como `ESP8266WiFi.h`, `PubSubClient.h`, `ArduinoJson.h` y `NTPClient.h`, que permiten conectar el dispositivo a una red Wi-Fi, establecer comunicación con un broker MQTT local y estructurar los datos en formato JSON. Cada mensaje enviado incluye una marca de tiempo (`timestamp`) obtenida mediante sincronización con un servidor NTP, lo cual garantiza precisión temporal para el análisis posterior. El mensaje JSON contiene información clave como el identificador del dispositivo (`deviceUUID`), el nombre del electrodoméstico, el valor de potencia medida (`values.power`) y el momento exacto de la lectura (`timeStamp`). Esta estructura es enviada cada 5 segundos al tópico `smartCampus/energyPrototype`, permitiendo que la plataforma SmartCampus reciba y almacene en tiempo real los datos generados

por el sensor de corriente ACS712 conectado al ESP8266MOD. En la siguiente figura se puede observar cómo llegan los datos a SmartCampus.

**Figura 28.**

*Llegada de datos a SmartCampus*



The image shows a web browser window with the address bar displaying 'localhost:8080/data/device?uid=3'. The main content area shows a JSON array of three objects, each representing a data point from a device. The objects are formatted with syntax highlighting. The first object has a timestamp of 1751742922 and a power value of 8.41859. The second object has a timestamp of 1751742928 and a power value of 8.41859. The third object has a timestamp of 1751742933 and a power value of 8.335694. All objects have a deviceUUID of '3', a topic of 'energy', a status of 'RUNNING', and an alert of null.

```
{
  "deviceUUID": "3",
  "topic": "energy",
  "timestamp": "1751742922",
  "values": {
    "power": 8.41859
  },
  "status": "RUNNING",
  "alert": null
},
{
  "deviceUUID": "3",
  "topic": "energy",
  "timestamp": "1751742928",
  "values": {
    "power": 8.41859
  },
  "status": "RUNNING",
  "alert": null
},
{
  "deviceUUID": "3",
  "topic": "energy",
  "timestamp": "1751742933",
  "values": {
    "power": 8.335694
  },
  "status": "RUNNING",
  "alert": null
}
}
```

La plataforma SmartCampus fue desplegada de forma local en el computador del desarrollador utilizando contenedores Docker, lo que permitió ejecutar todos los servicios necesarios (broker MQTT, base de datos, backend REST, etc.) de manera aislada, controlada y replicable. Es importante señalar que la plataforma SmartCampus ya contaba con microservicios implementados para la gestión de datos, permitiendo almacenar la información en MongoDB e InfluxDB. Además, dispone de un servicio de datos que permite consultar históricos por dispositivo, lo que facilitó la integración del prototipo y el desarrollo de funcionalidades como el historial y la simulación de consumo.

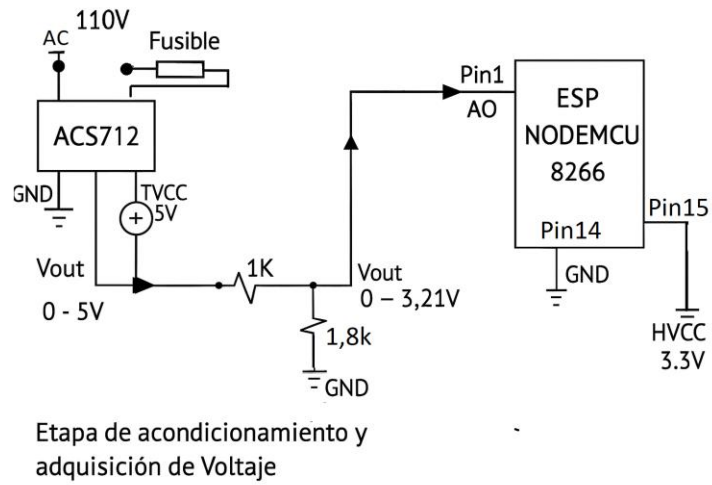
Posteriormente, para que la plataforma web pueda consultar los datos almacenados en SmartCampus, se establece una comunicación mediante solicitudes HTTP (REST API), que permite recuperar los datos históricos correspondientes a un determinado dispositivo identificado por su UUID. Esta estructura permite separar los componentes de adquisición, almacenamiento y visualización, asegurando una arquitectura modular, escalable y fácilmente integrable con otras plataformas.

### ***6.3.3 Montaje Físico del Sistema***

Una vez finalizada la programación, la configuración del sensor ACS712, y la verificación de las mediciones a través del ESP8266MOD, se procedió a la integración física del sistema completo, dando lugar a un prototipo funcional y transportable que refleja la arquitectura diseñada en fases anteriores.

**Figura 29.**

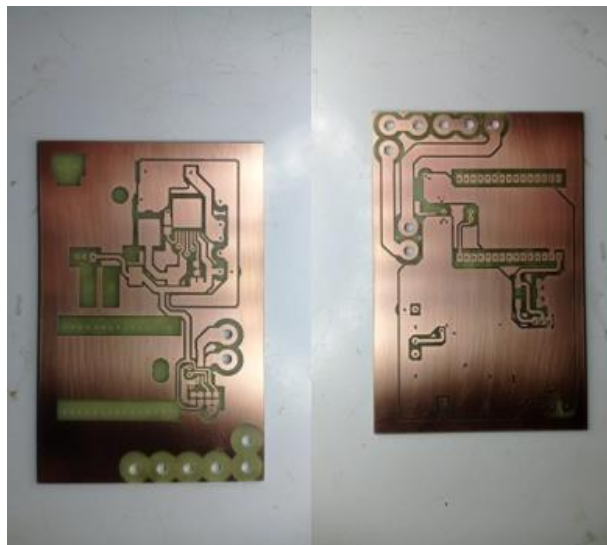
*Diagrama del circuito*



Con el fin de mejorar la estabilidad del sistema, evitar interferencias y garantizar una conexión robusta, se elaboró una tarjeta electrónica personalizada.

**Figura 30.**

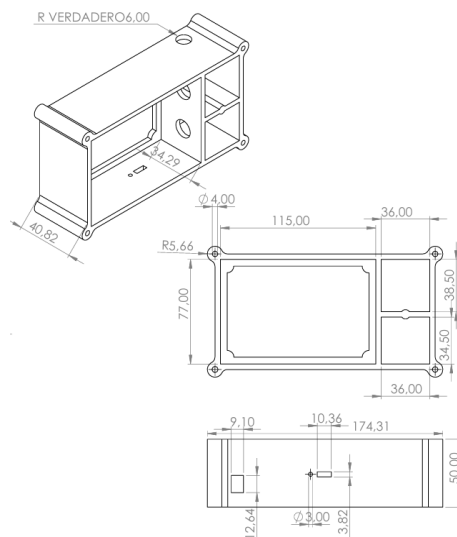
*Pcb a doble faz*



Además, para dar al prototipo un acabado profesional y seguro, se diseñó y fabricó una caja física que aloja todo el sistema. Esta carcasa protege los componentes frente a condiciones externas (polvo, humedad, contacto accidental) y facilita su instalación en un ambiente doméstico o de pruebas.

**Figura 31.**

*Diseño Caja Prototipo*



Todos los componentes electrónicos fueron organizados sobre una base diseñada para facilitar el acceso, asegurar la ventilación y proteger los elementos sensibles. Se diseñaron pistas para la alimentación del ESP8266 y el sensor, y se utilizaron terminales adecuados para las conexiones del sensor con la línea de corriente alterna, siguiendo las recomendaciones técnicas de seguridad.

**Figura 32.***Prototipo Final*

#### **6.3.4 Plataforma de visualización**

Para el desarrollo de la plataforma de visualización del sistema de monitoreo energético, se implementó una arquitectura moderna basada en tecnologías web. La interfaz fue construida utilizando ReactJS, una biblioteca de JavaScript que permite crear interfaces de usuario dinámicas y reactivas. Esta elección permitió una experiencia fluida para el usuario final, con actualizaciones en tiempo real del consumo eléctrico.

El entorno de desarrollo fue gestionado con Node.js, facilitando el uso de herramientas como npm (Node Package Manager) para la instalación y gestión de dependencias del proyecto. Además, se utilizó Firebase como plataforma complementaria para el almacenamiento de datos de usuario, configuraciones y simulaciones. También se implementó el servicio de autenticación de Firebase, permitiendo la gestión segura de usuarios mediante inicio de sesión y registro personalizados. Esta integración con Firebase garantizó una estructura escalable, sincronizada y

segura para el manejo de datos dentro de la aplicación. La ejecución de la plataforma se realiza a través del comando `npm start`, lo que permite desplegar el entorno de desarrollo local para pruebas funcionales.

Para el diseño visual y la organización responsiva de los elementos de la interfaz, se integró Bootstrap, un framework CSS que proporciona estilos predefinidos y componentes reutilizables. Esto permitió una presentación clara de los datos, facilitando la comprensión del usuario sobre su consumo energético.

La plataforma incluye los siguientes módulos clave, cada uno con funcionalidades específicas para el usuario:

### **Registro y Login**

La plataforma incluye un sistema de autenticación con Firebase, que permite el registro de usuarios con sus datos personales, así como el ingreso seguro mediante correo y contraseña. Cada usuario tiene su propia configuración, dispositivos asociados y datos históricos.

### **Configuración del Usuario**

El usuario puede registrar su consumo mensual de factura, seleccionar los electrodomésticos presentes en su hogar, indicar su cantidad y definir su consumo estimado. Estos valores se usan para comparar contra los datos reales y generar alertas o recomendaciones ajustadas.

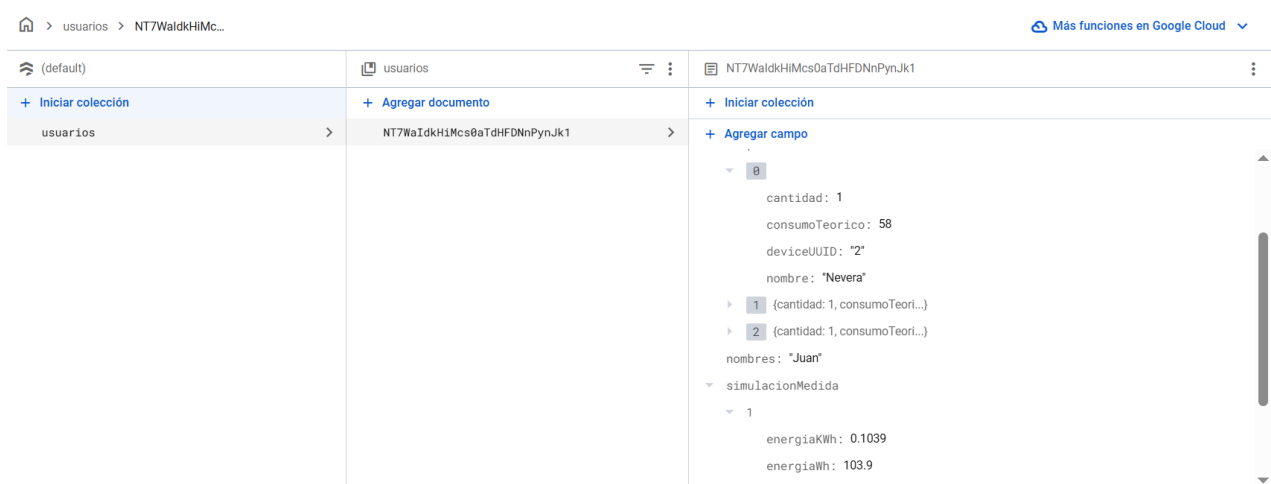
### **Almacenamiento en Firebase**

Para el almacenamiento de la información propia de la lógica de negocios de la aplicación, se utilizó el servicio de Firebase, específicamente los módulos de Firebase Authentication y Firestore Database. Mediante el servicio de autenticación, se implementó un sistema de inicio de sesión y registro seguro para los usuarios, lo cual garantiza un acceso personalizado a las funcionalidades del sistema.

Además, los datos relacionados con la configuración de los dispositivos, los resultados de simulación y los registros individuales de cada usuario se almacenan en Firebase. Esta solución en la nube permite una sincronización automática con la aplicación, persistencia de los datos incluso tras cierre de sesión y escalabilidad para adaptarse a diferentes volúmenes de usuarios. El acceso a estos datos se realiza de forma estructurada, permitiendo la recuperación eficiente de la información durante el uso de funcionalidades como la simulación mensual o el resumen por electrodoméstico.

**Figura 33.**

*Panel de Firebase con datos estructurados por usuario*



### Panel de Consumo en Tiempo Real

Permite al usuario visualizar el consumo eléctrico minuto a minuto mediante una gráfica dinámica. Esta sección se conecta directamente al backend, obteniendo datos actualizados y mostrando la variación horaria del consumo por electrodoméstico.

### Historial General y por Dispositivo

Se diseñó una sección de historial que permite al usuario consultar el consumo acumulado por días, semanas o meses. Además, se puede filtrar por fecha y por dispositivo, mostrando los valores reales medidos en kWh, así como también la hora donde el consumo fue máximo y mínimo junto con el promedio de Wh/min. Los datos se obtienen desde SmartCampus, se ajustan a la zona horaria local (America/Bogota), y se agrupan por minuto para mayor claridad.

### **Comparativa Teórica vs. Real vs. Factura**

Una funcionalidad destacada es la que compara el consumo mensual reportado en la factura eléctrica con el consumo teórico (basado en las configuraciones del usuario) y el consumo real medido. Esta comparativa se presenta tanto en tarjetas como en una gráfica de barras personalizada, con colores diferenciados y leyendas explicativas.

### **Simulación de Consumo Mensual Estimado**

Se diseñó un formulario tipo modal que permite al usuario estimar su consumo mensual. La simulación se basa en los datos reales medidos en las últimas 4 horas, guardados previamente en Firebase, y aplica reglas de proyección específicas por dispositivo:

**Nevera:** se asume funcionamiento 24/7.

**Televisor:** se pregunta al usuario cuántas horas al día lo usa.

**Lavadora:** se solicita la frecuencia de uso semanal.

Tras completar el formulario, se muestra una pantalla de carga y se redirige a una nueva vista que presenta el resultado de la simulación con una gráfica comparativa, tarjetas de resumen, tabla por dispositivo y un mensaje interpretativo que indica si el usuario está pagando más de lo que consume, o si su estimación está por debajo del valor facturado.

### **Recomendación del Día**

La aplicación genera automáticamente una recomendación diaria para promover hábitos de consumo eficiente. Estas sugerencias incluyen acciones simples como aprovechar la luz natural o usar la lavadora a plena carga.

### **Alertas por Sobreconsumo**

Se implementó un sistema de alertas que clasifica el consumo en niveles: moderado y excesivo, según los umbrales definidos por el usuario. Cada alerta contiene fecha, dispositivo y cantidad medida en W, con códigos de color para facilitar la interpretación visual.

### **Resumen Histórial Real**

Se implementó una versión compacta del historial mensual de consumo basada en datos reales, permitiendo observar la evolución energética sin saturar visualmente la interfaz. Esta sección puede integrarse en el dashboard principal como un resumen visual intuitivo.

Con la implementación del prototipo funcional descrita en esta sección, se da cumplimiento al objetivo específico número 3, que consistía en desarrollar e implementar un sistema funcional para el monitoreo inteligente del consumo eléctrico en hogares colombianos. A su vez, se cumple la Fase 4 de la metodología, correspondiente a la implementación del prototipo, en la cual se integraron los componentes físicos y de software, validando su funcionamiento en tiempo real y demostrando la viabilidad técnica de la solución propuesta.

## 7 Validación

Una vez culminada la etapa de desarrollo del sistema, se procedió a validar su correcto funcionamiento mediante una serie de pruebas controladas. Estas pruebas realizadas se dividieron en validación de las funcionalidades del cliente de la plataforma, pruebas de integración del sistema y escenarios de prueba.

### 7.1 Validación de funcionalidades del cliente

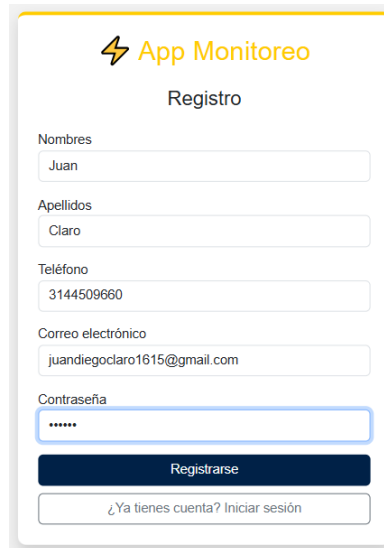
Con el fin de verificar que la aplicación respondiera correctamente a las necesidades del usuario final, se realizaron pruebas funcionales que validan el comportamiento visual y lógico de cada uno de los módulos implementados. Estas validaciones permiten asegurar que las funcionalidades centrales del sistema operan de forma adecuada, brindando una experiencia fluida y útil para el usuario.

#### 7.1.1 Registro

El primer paso para validar el sistema fue evaluar el proceso de acceso y personalización por parte del usuario. Para ello se implementó un formulario de registro, donde el usuario introduce su correo electrónico y contraseña para crear una cuenta única. Este formulario está vinculado con Firebase Authentication, garantizando seguridad y control de acceso.

**Figura 34.**

*Formulario de registro del usuario en la plataforma*



The image shows a registration form for the 'App Monitoreo' platform. The form is titled 'Registro' and includes the following fields and elements:

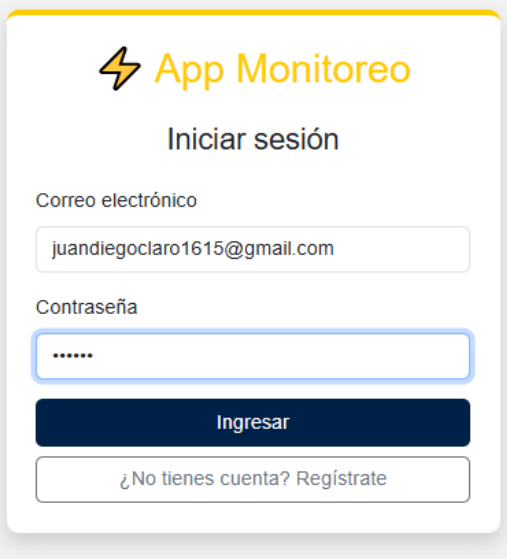
- Logo:** A lightning bolt icon followed by the text 'App Monitoreo'.
- Title:** 'Registro'.
- Nombres:** A text input field containing 'Juan'.
- Apellidos:** A text input field containing 'Claro'.
- Teléfono:** A text input field containing '3144509660'.
- Correo electrónico:** A text input field containing 'juandiegoclaro1615@gmail.com'.
- Contraseña:** A password input field with six dots representing the masked text.
- Buttons:** A dark blue button labeled 'Registrarse' and a light blue button labeled '¿Ya tienes cuenta? Iniciar sesión'.

### **7.1.2 Inicio de sesión**

Una vez registrado, el usuario puede iniciar sesión desde la misma plataforma web. Al autenticarse, el sistema carga automáticamente la información personalizada del usuario desde la base de datos en Firebase. En caso de que el usuario acceda por primera vez, se le solicita completar un formulario de configuración de consumo, donde debe registrar los electrodomésticos que posee (por ejemplo, nevera, televisor, lavadora), la cantidad de unidades y el consumo teórico estimado de cada uno.

**Figura 35.**

*Pantalla de inicio de sesión al sistema*



⚡ App Monitoreo

Iniciar sesión

Correo electrónico

juandiegoclaro1615@gmail.com

Contraseña

.....

Ingresar

¿No tienes cuenta? Regístrate

### ***7.1.3 Configuración de consumo***

Esta configuración inicial es crucial, ya que permite personalizar el análisis del sistema, haciendo comparaciones entre el consumo real medido y el esperado, según lo declarado por el propio usuario. Toda esta información se almacena dentro de Firebase bajo el documento del usuario correspondiente, lo cual permite recuperar los datos automáticamente en futuras sesiones

**Figura 36.**

*Formulario de configuración de consumo inicial por parte del usuario*

The screenshot shows the 'Configuración de Consumo' interface. On the left is a dark blue sidebar with menu items: 'Inicio', 'Alertas', 'Recomendaciones', 'Historial', and 'Mi Consumo'. The main content area has the title 'Configuración de Consumo' and a sub-header 'Consumo Mensual Reportado (según factura)'. Below this is a text input field containing 'Ejemplo: 60'. The instruction 'Seleccione sus electrodomésticos:' is followed by a table with the following data:

Electrodoméstico	Consumo Técnico (kWh)	¿Tiene este equipo?	Cantidad
Nevera	55 kWh	<input checked="" type="checkbox"/>	1
Lavadora	30 kWh	<input checked="" type="checkbox"/>	1
Televisor	15 kWh	<input checked="" type="checkbox"/>	1
Aire Acondicionado	50 kWh	<input type="checkbox"/>	1
Microondas	10 kWh	<input type="checkbox"/>	1

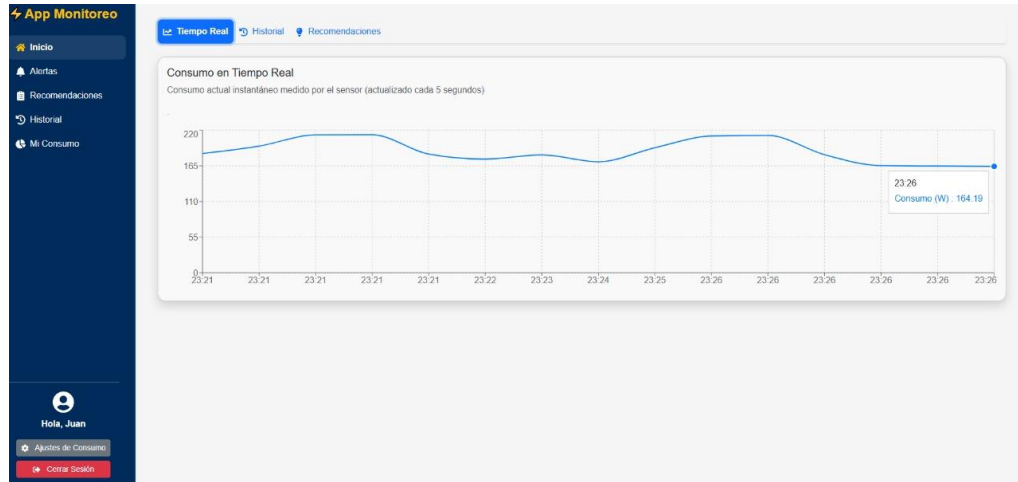
At the bottom of the table is a blue button labeled 'Guardar Configuración'. Below the table, there is a user profile section showing 'Hola, Juan' and options for 'Ajustes de Consumo' and 'Cerrar Sesión'.

#### 7.1.4 Consumo en tiempo real

Una vez completado el proceso de configuración inicial, el sistema comienza a recibir los datos reales de consumo eléctrico en tiempo real. Esta funcionalidad fue validada mediante la conexión del sensor al microcontrolador, el cual transmite la información a través de MQTT a la plataforma SmartCampus. En esta sección, se verificó que la aplicación mostrara de manera inmediata y continua los valores reales provenientes del sensor, confirmando que la lectura y visualización de la potencia actual se refleja correctamente en la interfaz de usuario.

**Figura 37.**

*Panel del consumo en Tiempo Real*

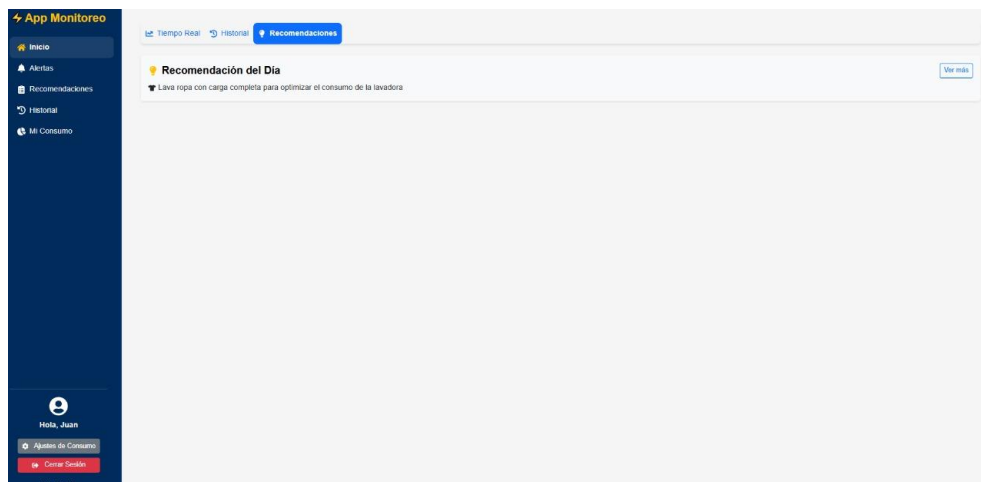


### 7.1.5 Recomendación del día

Una vez implementada la lógica de generación automática, la aplicación muestra correctamente una recomendación diaria en la pantalla de inicio. En la siguiente figura se observa cómo se despliega una sugerencia enfocada en el uso eficiente de la lavadora.

**Figura 38.**

*Visualización de la recomendación del día en la interfaz principal*

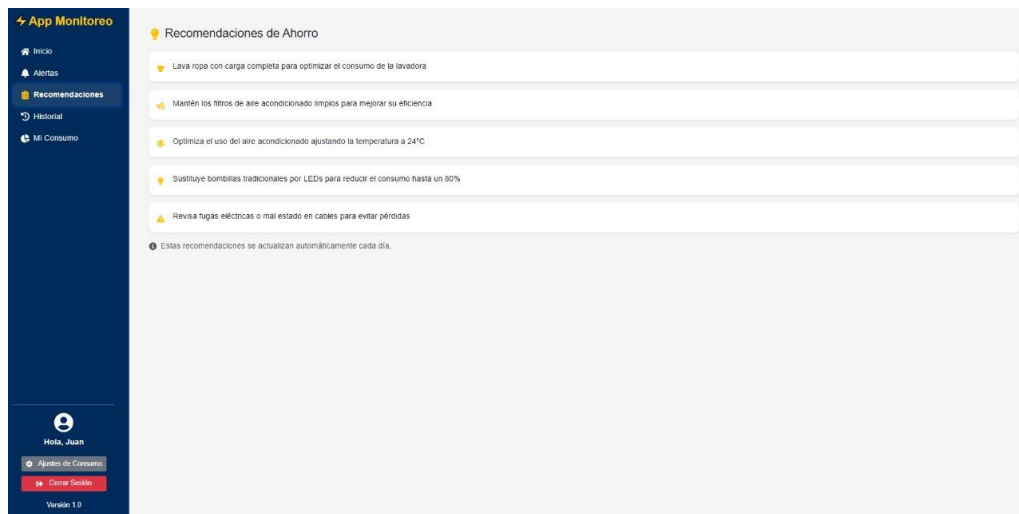


### 7.1.6 *Panel de recomendaciones completas*

Adicionalmente, se validó la sección de recomendaciones generales, la cual presenta una lista de consejos útiles que se actualizan automáticamente cada día. Esto permite al usuario acceder a varias sugerencias de ahorro energético desde un mismo lugar.

**Figura 39.**

*Panel completo de recomendaciones*

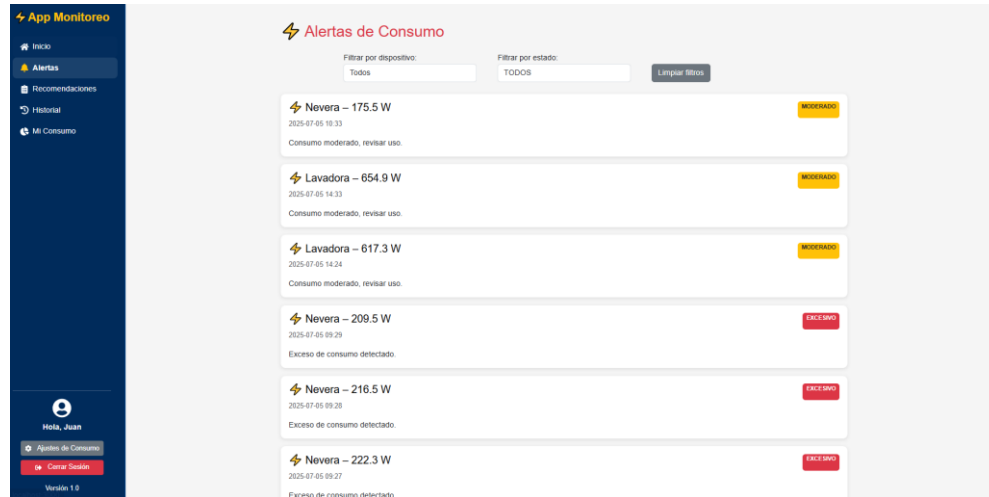


### 7.1.7 *Módulo de alertas*

Durante la prueba de validación, se evidenció el correcto funcionamiento del sistema de alertas frente a consumos superiores a los umbrales configurados. En la Figura 40, se visualiza cómo se generaron múltiples alertas tanto moderadas como excesivas, reflejando su comportamiento real durante las últimas mediciones. Esta evidencia confirma que el sistema es capaz de monitorear en tiempo real el consumo energético y notificar de manera clara y oportuna mediante códigos de color, favoreciendo la toma de decisiones por parte del usuario.

**Figura 40.**

*Alertas automáticas por umbrales de consumo*

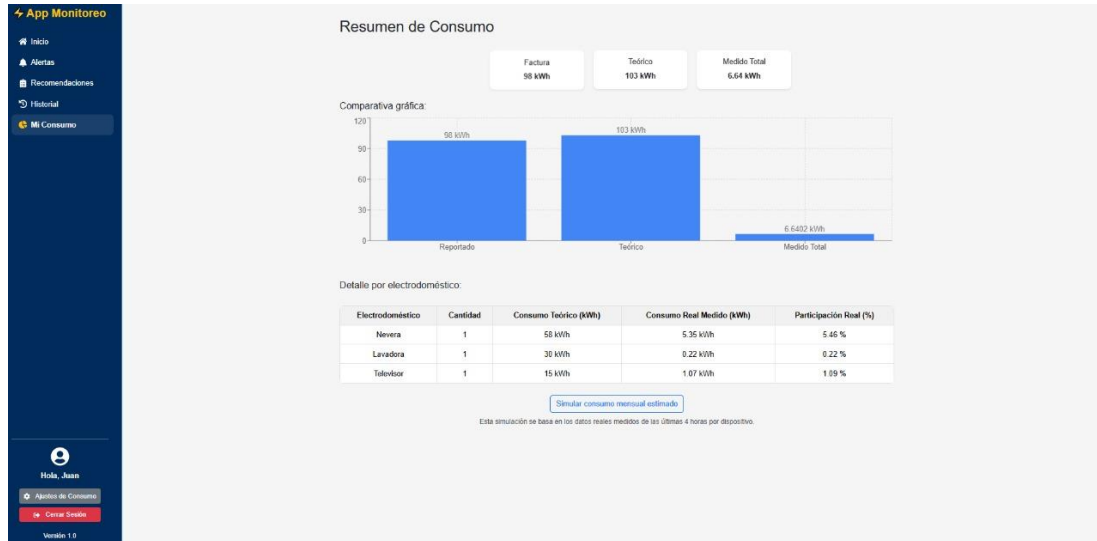


### 7.1.8 Comparativa de consumo

En esta sección se verifica la correcta funcionalidad del módulo de comparativa mensual, el cual permite al usuario contrastar su consumo teórico, medido y reportado en la factura eléctrica. La figura 41 muestra que el consumo real medido es significativamente menor al reportado en la factura, lo que tiene sentido al considerar que solo se midieron tres dispositivos. Este tipo de comparativa valida que el sistema sea útil para diagnosticar desviaciones, detectar posibles consumos ocultos y reforzar hábitos de consumo eficiente. Además, permite identificar si el usuario está consumiendo más energía de la que cree o si su factura refleja con precisión su consumo real.

**Figura 41.**

*Comparativa validada entre consumo reportado, teórico y real medido*



## 7.2 Pruebas de integración

Previo a la ejecución de los escenarios de prueba, se realizaron diversas pruebas de integración con el fin de validar el funcionamiento adecuado del sistema desde la adquisición hasta el almacenamiento de los datos de consumo energético. Estas pruebas permitieron verificar, paso a paso, que cada componente del sistema cumpliera con su propósito de forma aislada y correcta.

En primera instancia, se validó que el microcontrolador ESP8266MOD pudiera obtener correctamente los valores de corriente y calcular la potencia activa a partir de las lecturas del sensor ACS712. Como se observa en la Figura 42, el monitor serie de Arduino muestra cómo el sistema realiza lecturas periódicas de potencia (en watts), voltaje en el sensor, voltaje real, y estructura los datos en formato JSON antes de ser enviados por MQTT. Cada mensaje contiene un identificador del dispositivo, su nombre, el timestamp real y el valor de potencia calculado.

**Figura 42.**

*Comunicación del ACS712 via MQTT desde Arduino*

```

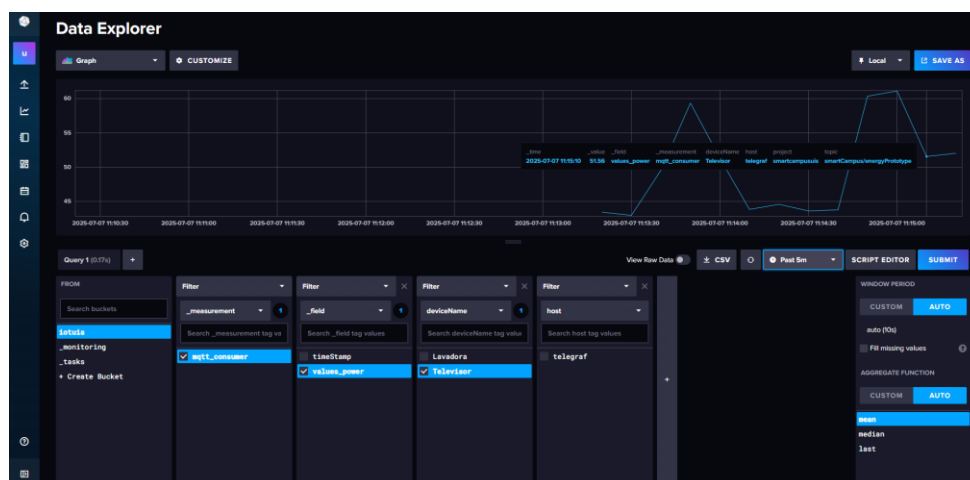
Monitor Serie X Salida
Mensaje (Intro para mandar el mensaje de 'NodeMCU 1.0 (ESP-12E Module)' a 'COM3')

Potencia: 59.03W | Voltaje = 1.66 V_real = 2.58
Enviando JSON:
{"deviceUID":"1","deviceName":"Televisor","topic":"energy","status":"RUNNING","timeStamp":1751886826,"values":{"power":59.03246}}
Potencia: 43.50W | Voltaje = 1.60 V_real = 2.50
Enviando JSON:
{"deviceUID":"1","deviceName":"Televisor","topic":"energy","status":"RUNNING","timeStamp":1751886832,"values":{"power":43.5015}}
Potencia: 59.07W | Voltaje = 1.62 V_real = 2.52
Enviando JSON:
{"deviceUID":"1","deviceName":"Televisor","topic":"energy","status":"RUNNING","timeStamp":1751886837,"values":{"power":59.0695}}
Potencia: 43.44W | Voltaje = 1.60 V_real = 2.50
Enviando JSON:
{"deviceUID":"1","deviceName":"Televisor","topic":"energy","status":"RUNNING","timeStamp":1751886843,"values":{"power":43.43748}}
Potencia: 44.24W | Voltaje = 1.60 V_real = 2.50
Enviando JSON:
{"deviceUID":"1","deviceName":"Televisor","topic":"energy","status":"RUNNING","timeStamp":1751886848,"values":{"power":44.24497}}
    
```

Se verificó que estos datos estuvieran siendo recibidos y almacenados correctamente por la plataforma SmartCampus. La Figura 43 muestra el módulo de InfluxDB (Data Explorer), donde es posible consultar directamente los datos almacenados en la base de datos bajo la medición mqtt\_consumer. Como se aprecia, los valores de potencia son visibles en tiempo real junto con su marca de tiempo y nombre del dispositivo, lo cual confirma que los mensajes JSON fueron recibidos correctamente.

**Figura 43.**

*Visualización de los datos recibidos en InfluxDB desde el microcontrolador*





### 7.3 Escenarios de prueba

Para validar el funcionamiento integral del sistema en un entorno real de uso, se diseñaron tres escenarios de prueba aplicados en el contexto doméstico. Estos escenarios permitieron evaluar la precisión de las mediciones, la capacidad de la aplicación para registrar y mostrar los datos de manera clara, y su facilidad de uso por parte del usuario final. La elección de los dispositivos monitoreados y la forma en que se estructuraron las pruebas responden a situaciones reales de uso, permitiendo identificar tanto el comportamiento técnico del sistema como su utilidad práctica para detectar patrones de consumo y tomar decisiones informadas.

#### 7.3.1 *Escenario 1: Medición electrodoméstico de uso continuo*

Este primer escenario tuvo como objetivo validar el comportamiento del sistema de monitoreo al medir un electrodoméstico de uso continuo: la nevera. Este tipo de dispositivo es ideal para pruebas prolongadas, ya que opera de forma ininterrumpida las 24 horas del día, los 7 días de la semana.

#### **Condiciones de la prueba**

Para comenzar, se seleccionó la nevera como único electrodoméstico conectado al sensor, y se ejecutó una primera prueba de duración aproximada de 12 horas, comprendidas entre la medianoche y el mediodía del día 4 de julio de 2025. Los resultados de esta medición fueron los siguientes: un consumo total de 1973.45 Wh, equivalente a 1.9735 kWh (Figura 45).

**Figura 45.**

*Resultado de la medición inicial de 12 horas de la nevera*



Al observar este resultado, surgió una inquietud. Según la etiqueta del fabricante ubicada en la parte interna del refrigerador, el consumo estimado de energía es de 58.5 kWh/mes, lo que equivale a aproximadamente 1.95 kWh/día, si se distribuye uniformemente durante los 30 días del mes. Sin embargo, al tomar el valor medido por el prototipo durante las 12 horas (1.97 kWh), y proyectarlo a 30 días, se obtiene:

$$1.97 \text{ kWh (2)} = 3.94 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

$$3.94 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} (30) = 118.2 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}$$

Este valor resultaba considerablemente superior al estimado de fábrica, lo que generó dudas sobre la precisión del prototipo. Para descartar errores en la medición, se decidió realizar una

segunda prueba, esta vez con validación cruzada utilizando el contador oficial de energía de la vivienda.

### Segunda medición con verificación en contador

La segunda prueba se llevó a cabo durante 6 horas continuas, nuevamente con la nevera como único dispositivo conectado. A las 00:00 horas se tomó una fotografía del contador general del hogar, registrando una lectura inicial de 14357.9 kWh (Figura 46).

**Figura 46.**

*Lectura del contador del hogar antes de iniciar la segunda prueba*



Inmediatamente después se activó el sistema de monitoreo, y se dejó funcionando hasta las 6:00 a. m. Pasado este periodo, se tomó una nueva fotografía del contador, el cual marcaba 14359.4 kWh (Figura 47).

**Figura 47.**

*Lectura del contador del hogar pasadas las 6 horas*



Esto indica que, durante las 6 horas, el hogar completo consumió 1.5 kWh. Es importante considerar que, además de la nevera, durante ese tiempo estuvieron conectados el computador principal (para la captura y visualización de datos) y algunos cargadores de celular. Por lo tanto, se esperaba que el valor registrado por el prototipo para la nevera fuera ligeramente inferior al reflejado por el contador general.

Efectivamente, el sistema registró un total de 1176.34 Wh, equivalente a 1.1763 kWh (Figura 48).

**Figura 48.**

*Resultado de la medición de 6 horas de la nevera*



Este valor resulta coherente, y de hecho no difiere significativamente del registrado por el contador general. Se estima que la diferencia está asociada al consumo adicional del computador y otros equipos menores. Con esta verificación cruzada, se concluyó que el prototipo está funcionando correctamente y los valores que reporta son confiables. La lectura directa del contador permitió validar que el sistema mide de forma precisa el consumo del electrodoméstico monitoreado.

Además, los resultados obtenidos no solo permitieron validar la precisión del sistema, sino también evidenciar un hallazgo importante: el consumo real de la nevera está por encima del valor teórico estimado por el fabricante (58.5 kWh/mes). Esto podría ser indicativo de un desgaste en la eficiencia del electrodoméstico, falta de mantenimiento, problemas en el sistema de refrigeración, o incluso malas condiciones de ventilación que obligan al compresor a trabajar con más frecuencia. Por lo tanto, esta medición no solo sirvió para validar el prototipo, sino también para cumplir uno

de los propósitos del sistema el cual es identificar comportamientos anómalos de consumo eléctrico que puedan alertar sobre el estado de los dispositivos del hogar.

### ***7.3.2 Escenario 2: Medición de electrodoméstico intermitente***

Este segundo escenario se hace con el propósito verificar la capacidad del sistema para medir y visualizar el consumo de un electrodoméstico de uso intermitente, utilizando un televisor como caso de prueba. Se realizó una medición durante 4 horas continuas de uso, observando cómo el sistema registraba las variaciones en el consumo. Adicionalmente, en una prueba previa no documentada, se encendió el sistema con el televisor completamente apagado, evidenciando que en este caso particular no se detectó consumo alguno, lo cual sugiere que mi televisor no presenta consumo fantasma, aunque se reconoce que este comportamiento podría variar en otros modelos.

Según la etiqueta del fabricante, el televisor tiene un consumo máximo de 150W, pero es importante aclarar que estos valores representan condiciones de carga alta, como cuando se utiliza con el brillo al máximo, volumen elevado, reproducción de contenido en alta definición o con aplicaciones activas en segundo plano. En condiciones normales, los televisores LED modernos suelen consumir entre 50W y 100W, dependiendo del modelo y de la configuración utilizada.

Durante la medición, el sistema registró un consumo total de 337.04 Wh, equivalente a 0.337 kWh. Proyectando este valor para un uso diario de 4 horas, se estima un consumo mensual aproximado de 10.11 kWh ( $0.337 \text{ kWh} \times 30$ ). Esta cifra se encuentra dentro del rango esperado según diversas fuentes, que sitúan el consumo mensual de un televisor promedio entre 10 y 30 kWh.

**Figura 49.**

*Consumo registrado del televisor durante 4 horas de funcionamiento*



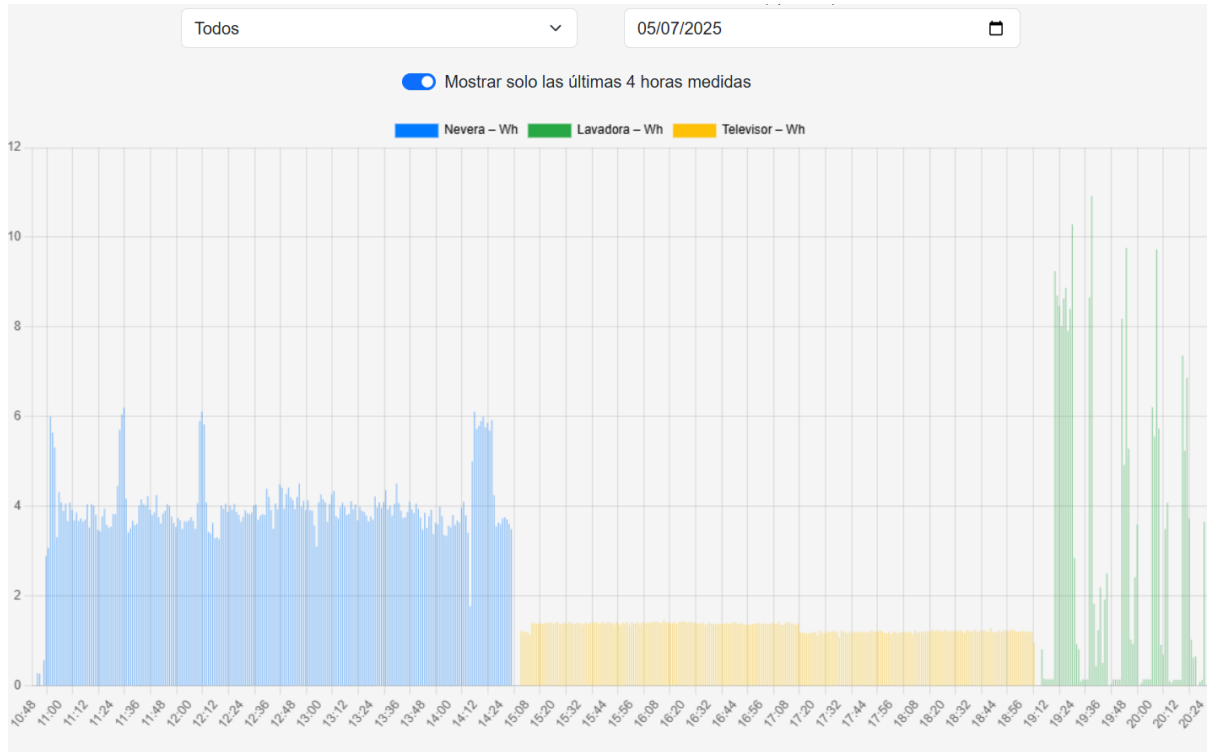
### 7.3.3 Escenario 3: Medición de múltiples dispositivos

Este escenario plantea una validación más avanzada del sistema, donde se evalúa la capacidad de la aplicación para integrar las mediciones de distintos electrodomésticos: nevera, televisor y lavadora. A diferencia de los escenarios anteriores, aquí no se mide todo al mismo tiempo, ya que solo se contaba con un prototipo físico que permitía conectar un dispositivo a la vez. Para llevar a cabo esta validación, se realizó la medición de 4 horas por dispositivo y se almacenaron sus datos.

En la Figura 50 se muestra la visualización conjunta de las últimas 4 horas medidas para cada dispositivo. Allí puede observarse cómo los datos están organizados por color: azul para la nevera, amarillo para el televisor y verde para la lavadora. A partir de este conjunto de datos, se realizaron simulaciones para proyectar el consumo mensual, considerando los hábitos reales de uso de cada electrodoméstico.

**Figura 50.**

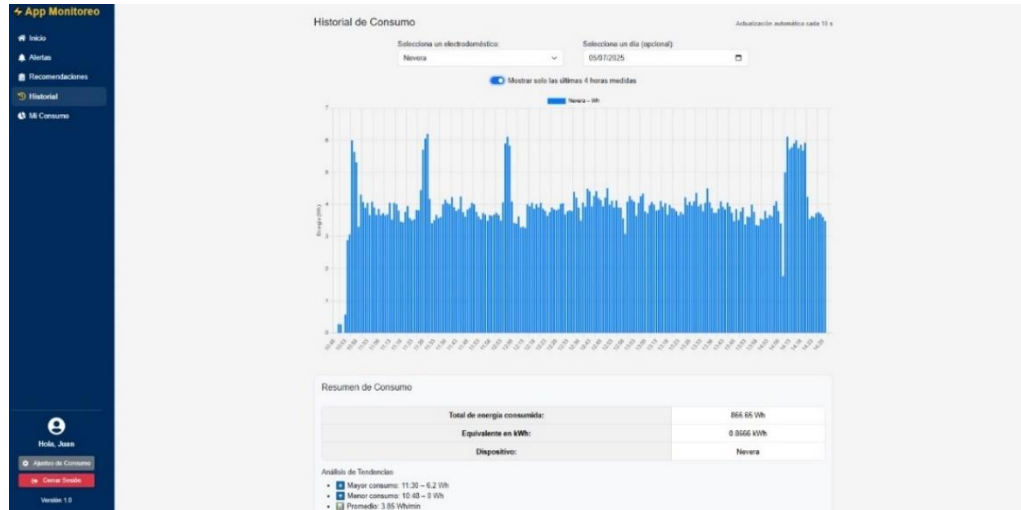
*Medición integrada de las últimas 4 horas por dispositivo*



A continuación, se presentan las gráficas individuales de las últimas 4 horas medidas para cada uno de los electrodomésticos: la nevera (Figura 51), el televisor (Figura 52) y la lavadora (Figura 53). Estos datos fueron utilizados como base para proyectar el consumo mensual.

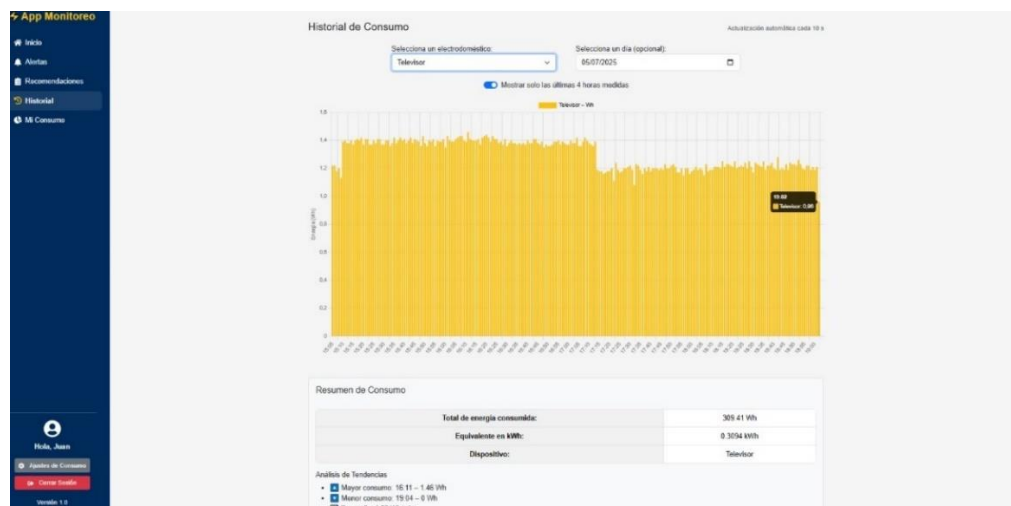
**Figura 51.**

*Medición de 4 horas nevera*



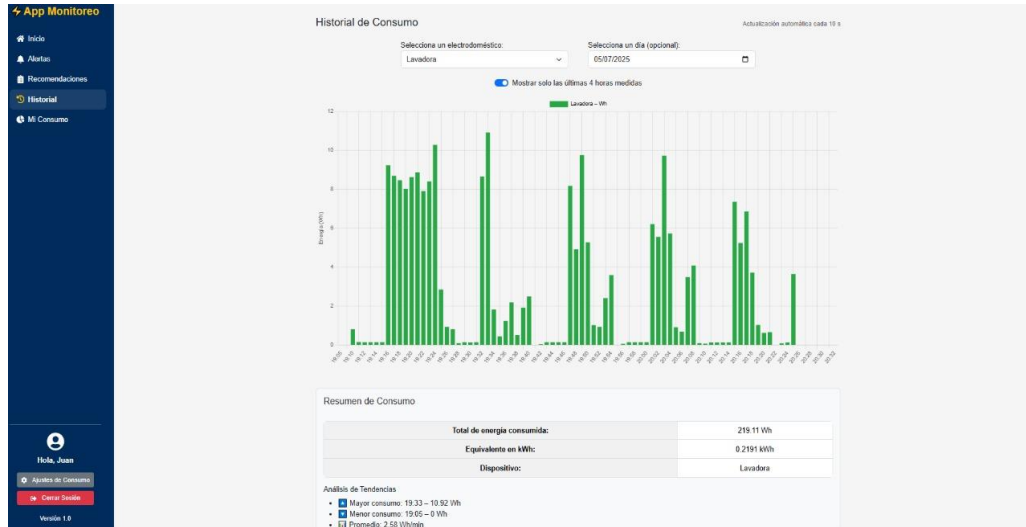
**Figura 52.**

*Medición de 4 horas televisor*



**Figura 53.**

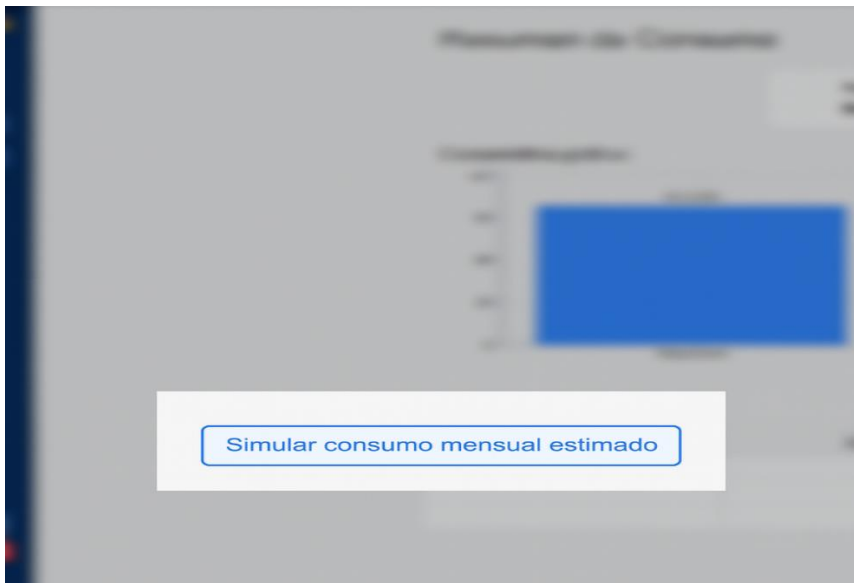
*Medición de 4 horas lavadora*



Para facilitar el análisis, se diseñó una nueva sección en la plataforma llamada “Simular consumo mensual estimado”, que se encuentra accediendo a la sección “Mi Consumo” como se observa en la Figura 54. Al hacer clic sobre el botón correspondiente, se abre un formulario modal (Figura 55) que permite al usuario indicar cuántas horas al día utiliza el televisor y cuántas veces a la semana utiliza la lavadora. Estos valores se utilizan para proyectar el consumo mensual estimado de cada dispositivo.

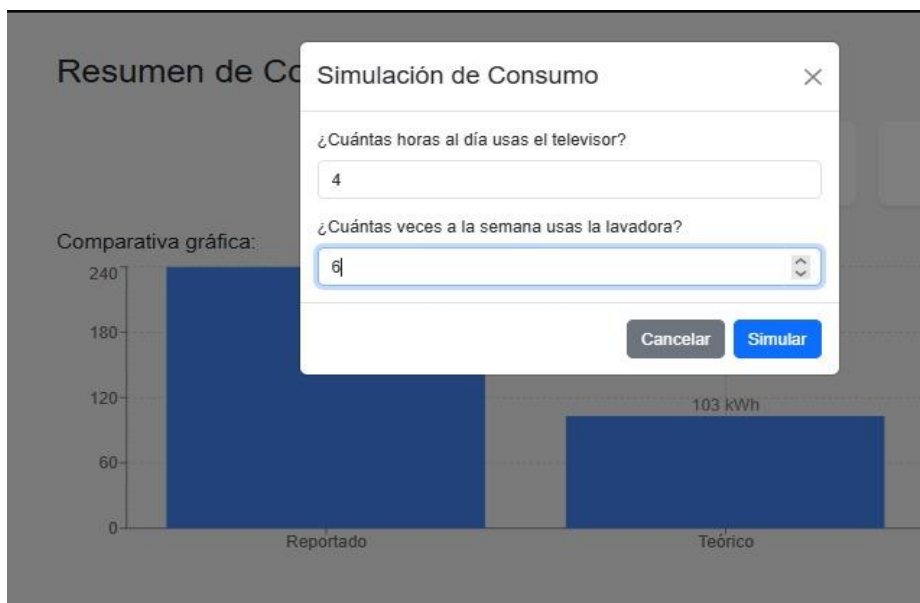
**Figura 54.**

*Botón para iniciar la simulación de consumo mensual*



**Figura 55.**

*Modal de simulación con formulario de hábitos de uso*



Una vez diligenciada esta información, se genera un resumen gráfico del consumo mensual simulado, como se muestra en la Figura 56. Esta vista compara el valor mensual facturado (240 kWh) obtenido de cuando el usuario hizo la configuración de consumo, el consumo teórico de los dispositivos registrados (103 kWh), y el consumo mensual simulado basado en las últimas 4 horas reales medidas (170.53 kWh). Además, se presenta el desglose por electrodoméstico, permitiendo al usuario identificar qué aparato está consumiendo más y cómo influye su uso en el total de la factura.

Estos datos se obtuvieron gracias a los siguientes cálculos:

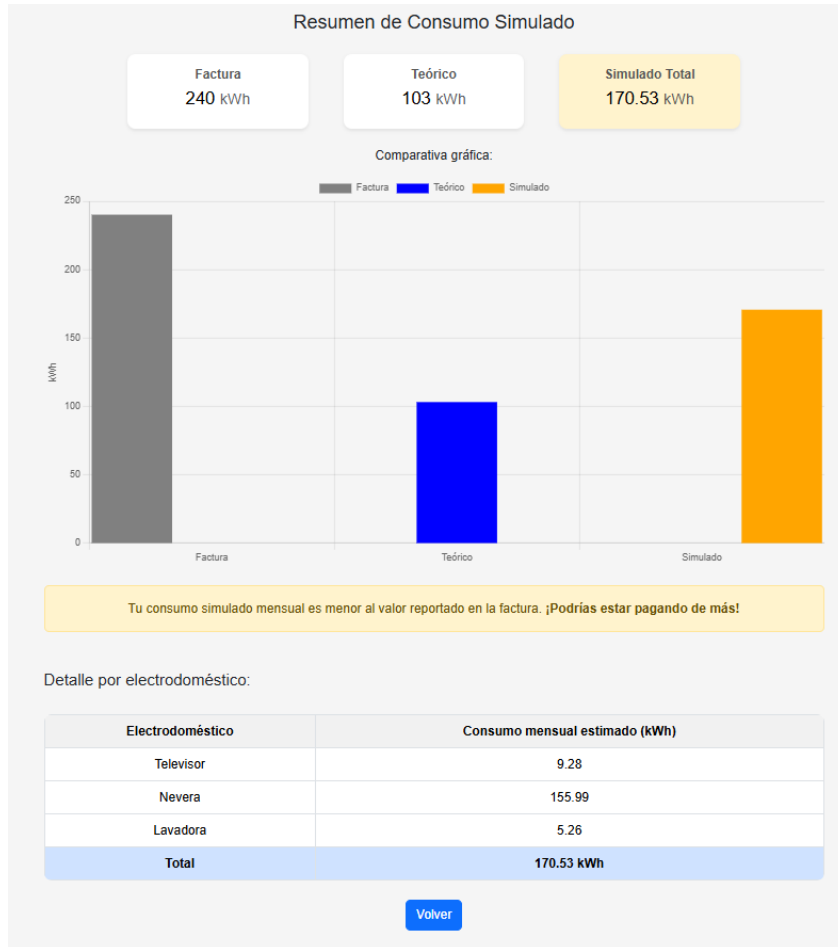
**Nevera:** Se proyecta directamente el consumo medido en 4 horas (0.8666 kWh) multiplicando por 6 (para obtener el valor de un día completo) y luego por 30 dando como resultado 155.99kWh/mes.

**Televisor:** El consumo medido ya corresponden a las 4 horas de uso diario que se le da en el hogar de prueba (0.3094 kWh), este valor se multiplica por 30 para así estimar que el consumo mensual del Televisor será 9.28kWh/mes.

**Lavadora:** El consumo registrado corresponde a un ciclo de lavado (0.2191 kWh), este valor se multiplica por la cantidad de lavadas semanales indicadas en el formulario (en este caso 6), y luego por 4 semanas al mes, dando como resultado 5.26kWh/mes.

**Figura 56.**

*Comparativa de consumo: factura (240kWh), teórico y simulado.*



El resultado fue un consumo mensual estimado notablemente superior al valor registrado en la factura, que en una primera simulación se fijó en 240 kWh (como valor real de todo el hogar). Sin embargo, Esta comparativa representa una aproximación del consumo mensual, ya que la factura incluye muchos otros dispositivos del hogar que no fueron medidos en esta prueba. Según la estimación realizada, los electrodomésticos monitoreados representarían aproximadamente el 71% del consumo total registrado en la factura del hogar.

Por ello, para una evaluación más precisa, se realizó una segunda simulación con la factura ajustada al mismo valor del consumo teórico esperado solo de los tres dispositivos, es decir, 103 kWh. Esta comparación puede observarse en la Figura 57, donde se aprecia que el consumo simulado (170.53 kWh) supera por mucho tanto el valor teórico como el valor de la factura ajustada, lo cual evidencia un exceso de consumo principalmente por parte de la nevera. Este resultado refuerza lo observado en el Escenario 1, donde se detectó que la nevera está consumiendo mucho más de lo que debería, posiblemente por falta de mantenimiento, problemas técnicos o desgaste del equipo.

**Figura 57.**

*Comparativa de consumo: factura mes anterior (103kWh), teórico y simulado.*



Los resultados del escenario 3 permiten evidenciar el valor agregado de la funcionalidad de simulación mensual basada en datos reales. Al proyectar el consumo de los tres dispositivos monitoreados a un escenario mensual, se obtiene una estimación precisa que permite contrastar el consumo real con el consumo facturado o el consumo teórico estimado por fabricante.

Esta comparación es especialmente útil para que el usuario pueda identificar desviaciones importantes, como el caso de la nevera, cuyo consumo real mensual estimado supera ampliamente su valor teórico. Al cambiar el valor de referencia de la factura (como se muestra en las Figuras 55 y 56), se evidencia cómo la percepción del consumo varía: si se usa el valor real de la factura (240 kWh), el sistema advierte que solo se está midiendo una pequeña parte del total, mientras que al usar como referencia el valor teórico de los tres dispositivos (103 kWh), el sistema alerta que la proyección del consumo simulado va a ser mucho mayor al consumo mensual esperado.

Con los resultados obtenidos a lo largo de esta sección, se valida el funcionamiento integral del sistema en un entorno real de aplicación. La medición, comparación y proyección del consumo mensual a partir de datos reales permitieron evaluar la utilidad y precisión de la plataforma desarrollada. De esta manera, se cumple el objetivo específico número 4, enfocado en evaluar el desempeño del sistema mediante pruebas funcionales y escenarios de uso, y se da por concluida la Fase 5 de la metodología, correspondiente a la evaluación del prototipo.

**7.4 Resumen de cumplimiento de objetivos**

A continuación, se presenta un resumen del cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto. En la columna izquierda se enumeran los objetivos planteados, mientras que en la columna derecha se indican las secciones del documento donde se desarrollaron las actividades y se obtuvieron los resultados que evidencian su cumplimiento.

**Tabla 16.**

*Resumen de cumplimiento de objetivos*

Objetivo específico 1	Sección 6.1
Objetivo específico 2	Sección 6.2
Objetivo específico 3	Sección 6.3
Objetivo específico 4	Sección 7

## 8 Conclusiones

Como resultado de este proyecto, se logró diseñar, implementar y validar un sistema inteligente de monitoreo energético para el hogar, cumpliendo satisfactoriamente con los objetivos propuestos. A lo largo del desarrollo, se abordaron los aspectos clave de captura, transmisión, almacenamiento y visualización de datos, empleando tecnologías IoT y herramientas de desarrollo web modernas, lo que permitió materializar una solución funcional, de bajo costo y adaptable a distintos escenarios domésticos.

En cuanto a la medición del consumo energético, se integró de forma efectiva el sensor ACS712 con el microcontrolador ESP8266MOD, realizando un proceso riguroso de calibración para obtener lecturas confiables. Esta etapa fue fundamental para garantizar la calidad de los datos recolectados, y fue validada mediante pruebas unitarias y comparaciones con el contador eléctrico del hogar, evidenciando que el prototipo es capaz de reflejar con precisión el comportamiento de los dispositivos monitoreados.

La implementación de la comunicación MQTT entre el microcontrolador y la plataforma SmartCampus permitió enviar los datos en tiempo real de manera estable, y gracias al despliegue local de dicha plataforma mediante Docker, se facilitó el almacenamiento de los datos recolectados. Posteriormente, se desarrolló una aplicación web con ReactJS capaz de consultar y mostrar esa información de forma gráfica, organizada y clara, incluyendo funciones como historial de consumo, análisis por electrodoméstico, recomendaciones personalizadas y alertas por consumo excesivo.

Se priorizó una interfaz centrada en el usuario, incorporando funcionalidades como el registro, inicio de sesión, configuración de consumo por dispositivo, y visualización detallada del consumo mensual. Estas características no solo aportan valor desde lo funcional, sino que también contribuyen a la apropiación de la herramienta por parte del usuario, incentivando hábitos de consumo más conscientes.

Para validar el sistema en condiciones reales, se llevaron a cabo diversos escenarios de prueba, midiendo el comportamiento de dispositivos de uso continuo como la nevera, intermitente como el televisor y cíclico como la lavadora. En todos los casos se pudo corroborar que el sistema respondía adecuadamente, entregando datos coherentes con la realidad, lo cual permitió incluso detectar posibles anomalías en el consumo de ciertos electrodomésticos, como fue el caso de la nevera, cuyo consumo real superaba lo indicado por el fabricante.

Se desarrolló una sección de simulación de consumo mensual que, a partir de los datos reales medidos, permite proyectar el posible consumo de cada dispositivo en un mes, considerando los hábitos declarados por el usuario. Esta funcionalidad permite establecer una comparación directa entre el consumo medido, el consumo teórico y el valor registrado en la factura eléctrica, ayudando al usuario a identificar posibles excesos o cobros por encima de su consumo real, lo que refuerza el objetivo central de ofrecer una herramienta útil para la toma de decisiones informadas en materia energética.

## **9 Recomendaciones a futuro**

### **9.1 Integración de funcionalidades de automatización y control**

Una línea de trabajo futura consiste en ampliar el sistema hacia un modelo más inteligente y reactivo, incorporando módulos de control automatizado que permitan activar o desactivar dispositivos según umbrales de consumo, horarios programados o condiciones ambientales. Esto permitiría pasar de un sistema de monitoreo pasivo a uno proactivo, enfocado en la eficiencia energética.

### **9.2 Implementación de algoritmos de análisis predictivo**

Se recomienda explorar la incorporación de algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje automático (machine learning) para identificar patrones de consumo, detectar anomalías energéticas y generar recomendaciones personalizadas de ahorro. Estos desarrollos permitirían una gestión energética más sofisticada y adaptativa.

### **9.3 Interoperabilidad con sistemas existentes y energías renovables**

Un trabajo futuro de alto valor sería lograr la interoperabilidad del sistema con tecnologías de generación distribuida (como paneles solares), baterías domésticas y plataformas domóticas como Home Assistant. Esto fortalecería su aplicabilidad en contextos de energía renovable y hogares inteligentes integrados.

#### **9.4 Optimización de la seguridad y privacidad de los datos**

A medida que el sistema evolucione, será esencial fortalecer los protocolos de ciberseguridad y los mecanismos de protección de la información personal del usuario. Se sugiere implementar cifrado de extremo a extremo, autenticación robusta y buenas prácticas en el manejo de datos sensibles.

#### **9.5 Escalabilidad hacia otros entornos**

Finalmente, se sugiere explorar la adaptación del sistema para su implementación en otros escenarios más amplios, como edificios residenciales, oficinas, instituciones educativas o instalaciones industriales, donde el control del consumo energético también representa un desafío relevante.

#### **9.6 Exploración de sensores avanzados con capacidades multivariable**

Una proyección interesante para trabajos futuros sería la incorporación de sensores más avanzados que permitan medir no solo la corriente, sino también variables como voltaje, potencia activa y reactiva, factor de potencia, frecuencia y armónicos. Aunque estos sensores representan una inversión económica mayor, ampliarían significativamente la capacidad del sistema para ofrecer diagnósticos energéticos más completos y precisos. Este tipo de medición sería especialmente útil para identificar ineficiencias específicas por tipo de carga y ofrecer recomendaciones de mayor valor técnico a los usuarios.

### **9.7 Realización de pruebas más exhaustivas del prototipo**

Se recomienda desarrollar un conjunto más amplio de pruebas funcionales y de uso real del prototipo implementado, con el fin de mejorar la precisión de las estimaciones energéticas y optimizar el flujo de trabajo general de la herramienta. Estas pruebas permitirían afinar tanto los procesos de medición como la experiencia del usuario, fortaleciendo la confiabilidad del sistema en distintos escenarios de aplicación.

### Bibliografía

- ¿Qué es el Internet de las cosas (IoT)? (2024, julio 15). Ibm.com. <https://www.ibm.com/mx-es/topics/internet-of-things>
- Ashton, K. (2009). That 'Internet of Things' Thing: In the real world, things matter more than ideas. RFID Journal. Disponible en: <https://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. Future Generations Computer Systems: FGCS, 29(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Sandoval, Y. (2023, julio 2). Medidores inteligentes de energía: así se implementarán en Colombia. Valora Analitik. <https://www.valoraanalitik.com/medidores-inteligentes-de-energia-asi-se-implementaran-en-colombia/>
- Ullah, M., Wolff, A., & Nardelli, P. H. J. (2021). Processing smart meter data using IoT, edge computing, and big data analytics. En Handbook of Smart Energy Systems (pp. 1–15). Springer International Publishing.
- Betancur, D. (2023, julio 24). IoT y su impacto en la Eficiencia Energética. Azimut Energía. <https://www.azimutenergia.co/iot-y-su-impacto-en-la-eficiencia-energetica/>
- Gomez, J. (2023, 25 agosto). Monitoreo Inteligente de Energía de Celsia: Optimiza tus energéticos y reduce costos. Celsia. <https://www.celsia.com/es/blog-celsia/monitoreo-inteligente-de-energia-de-celsia-optimiza-tus-energeticos-y-reduce-costos/>

Save energy with smart home products. (s/f). ENERGY STAR. Recuperado el 14 de octubre de 2024, de <https://www.energystar.gov/products/ask-the-experts/save-energy-smart-home-products>

Corficolombiana. (2023). Mercado energético en Colombia: Avances, dificultades y tensiones en la transición. Recuperado de <https://www.datacenterdynamics.com/es/features/mercado-energético-en-colombia-avances-dificultades-y-tensiones-en-la-transición/>

Kaa IoT. (2023). *IoT Solutions for Energy Management*. Recuperado de <https://www.kaaiot.com/iot-dashboards/smart-energy-metering>

ELEKS. (2023). *IoT Energy Management Systems*. Recuperado de <https://eleks.com/industries/energy/>

Japan's new energy strategies: Long-term initiatives toward 2030 and 2050 to be conducted by ministries. (s/f). JFS Japan for Sustainability. Recuperado el 19 de noviembre de 2024, de [https://www.japanfs.org/en/news/archives/news\\_id035624.html](https://www.japanfs.org/en/news/archives/news_id035624.html)

Primer balance de Energía Útil para Colombia y Cuantificación de las Perdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética. Gov.co. Recuperado el 5 de diciembre de 2024, de [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Balance\\_energia\\_util/BEU-Residencial.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Balance_energia_util/BEU-Residencial.pdf)

Desarrollo Sostenible e IoT. Cómo la Tecnología ayuda al Medio Ambiente. (s/f). Seidor.com. Recuperado el 19 de noviembre de 2024, de <https://www.seidor.com/es-es/blog/iot-desarrollo-sostenible-tecnologia-ayuda-medio-ambiente>

Chauhan, V. (2024, agosto 27). IoT in Energy Management: Ultimate guide to energy solutions. Rejig Digital. <https://www.rejigdigital.com/blog/the-ultimate-guide-to-iot-in-energy-management/>

Skinner, C.-A. (2021, junio 3). TP-link smart WI-fi plug with energy monitoring HS110 review. TechRadar. <https://www.techradar.com/reviews/tp-link-smart-wi-fi-plug-with-energy-monitoring-hs110> Asociación Española de Domótica e Inmótica (CEDOM). (2023). Las casas inteligentes reducen el consumo de energía. Recuperado de <https://novaluz.es/blog/las-casas-inteligentes-reducen-el-consumo-de-energia>

KeyBPS. (2023). Automatización del hogar y eficiencia energética. Recuperado de <https://www.keybps.com/portfolio-items/automatizacion-de-casa>

Huffington Post. (2023). Cómo el control inteligente de la temperatura impacta en la factura de energía. Recuperado de <https://www.huffingtonpost.es/life/consumo/la-ocu-pide-pasar-termostatos-grado-mas-golpe-factura-7.html>

Perfecta Energía. (2023). Reducir la huella de carbono en hogares inteligentes. Recuperado de <https://perfectaenergia.com/reducir-huella-de-carbono-en-hogares>

Novaluz. (2023). Las casas inteligentes y su impacto en el ahorro energético. Recuperado de <https://novaluz.es/blog/las-casas-inteligentes-reducen-el-consumo-de-energia>

La tecnología de nuestra red inteligente. (s/f). Coned.com. Recuperado el 27 de febrero de 2025, de [https://www.coned.com/es/our-energy-future/our-energy-vision/where-we-are-going/smart-grid?utm\\_source](https://www.coned.com/es/our-energy-future/our-energy-vision/where-we-are-going/smart-grid?utm_source)

Ràfols, S. C. (2024, abril 18). Smart Grids y su papel en la descarbonización energética. Zeroconsulting.com; ZERO CONSULTING. [https://blog.zeroconsulting.com/smart-grids?utm\\_source=](https://blog.zeroconsulting.com/smart-grids?utm_source=)

La red inteligente de EPB genera 2700 millones de dólares en beneficios comunitarios en la primera década. (s/f). Hexagon. Recuperado el 27 de febrero de 2025, de [https://hexagon.com/es/resources/customer-success-stories/epbs-smart-grid-generates-2-billion-community-benefit-first-decade?utm\\_source](https://hexagon.com/es/resources/customer-success-stories/epbs-smart-grid-generates-2-billion-community-benefit-first-decade?utm_source)

UIS-IoT-Smart-Campus. (2025). Smart Campus UIS. GitHub. <https://github.com/UIS-IoT-Smart-Campus>

JuanClaro. (2025). GitHub - JuanClaro16/App-Monitoreo. GitHub. <https://github.com/JuanClaro16/App-Monitoreo.git>