



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR

TEMA:

**“SISTEMA DE MONITOREO Y GESTIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO
PARA HOGARES BASADO EN EL INTERNET DE LAS COSAS”**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en
Telecomunicaciones**

Línea de investigación: Desarrollo, aplicación de software y cybersecurity (seguridad cibernética)

AUTOR:

Juan Diego Martínez Morocho

DIRECTOR:

Ing. Fabián Geovanny Cuzme Rodríguez MSc

Ibarra, 2025

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004110977		
APELLIDOS Y NOMBRES:	MARTÍNEZ MOROCHO JUAN DIEGO		
DIRECCIÓN:	IMBAYA, CALLE ANTONIO ANTE		
EMAIL:	jdmartinezm@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	XXXXXXX	TELF. MOVIL	0993390223

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	SISTEMA DE MONITOREO Y GESTIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO PARA HOGARES BASADO EN EL INTERNET DE LAS COSAS
AUTOR (ES):	MARTÍNEZ MOROCHO JUAN DIEGO
FECHA: AAAAMMDD	07/01/2025
SOLO PARA TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	
CARRERA/PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
DIRECTOR:	MSC. CUZME RODRÍGUEZ FABIÁN GEOVANNY

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Juan Diego Martínez Morocho, con cédula de identidad Nro. 1004110977, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 7 días del mes de enero de 2025

EL AUTOR:



Juan Diego Martínez Morocho

CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 7 días, del mes de enero de 2025

EL AUTOR:



Juan Diego Martínez Morocho

**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Ibarra, 7 de enero de 2025

Ing. Cuzme Rodríguez Fabián Geovanny
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



Ing. Cuzme Rodríguez Fabián Geovanny
C.C.: 1311527012

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “Sistema de Monitoreo y Gestión del Consumo Eléctrico para Hogares Basado en el Internet de las Cosas” elaborado por Martínez Morocho Juan Diego previo a la obtención del título del Ingeniero en Telecomunicaciones, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



.....
Ing. Cuzme Rodríguez Fabián Geovanny
C.C.: 1311527012



.....
Ing. Domínguez Limaicó Hernán Mauricio
C.C.: 1002379301

DEDICATORIA

A mis queridos padres, Patricio Martínez y Silvia Morocho, pilares fundamentales en mi vida. Con su amor incondicional, sacrificio y esfuerzo, me han dado la oportunidad de cumplir mis sueños. Este logro es tanto suyo como mío.

A mis hermanos, Cristian y Carlos, por ser una fuente constante de inspiración y motivación para seguir adelante.

Juan Diego Martínez Morocho

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por bendecirme con salud y fortaleza, permitiéndome alcanzar este logro importante en mi vida.

A mis padres, Patricio Martínez y Silvia Morocho, por su inmenso sacrificio y dedicación para brindarme una excelente educación a lo largo de mi vida.

A mis hermanos, Cristian y Carlos, por su apoyo incondicional y la confianza que siempre ha depositado en mí, motivándome a alcanzar mis metas.

A mis amigos, Erik, Cristian, Erick y Edín, por su apoyo incondicional y motivación para seguir adelante durante mi carrera universitaria.

A los docentes de la carrera de Telecomunicaciones, por la formación profesional y personal brindada durante este período de mi vida.

Expreso mi más sincero agradecimiento al Ing. Fabián Cuzme, director de mi trabajo de titulación, y al Ing. Mauricio Domínguez, asesor, por su apoyo y orientación durante el desarrollo de mi trabajo.

Juan Diego Martínez Morocho

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de titulación aborda la problemática del incremento en la demanda energética del sector residencial, el cual se ha visto influenciado por el aumento en la adquisición de aparatos eléctricos, la falta de implementación de medidas de ahorro energético en los hogares y el poco aprovechamiento de la tecnología para mejorar la gestión energética de las residencias. El objetivo general fue diseñar un sistema de monitoreo y gestión energética para el consumo eléctrico del hogar en tiempo real aplicando el Internet de las Cosas, para promover medidas de ahorro y eficiencia energética a los usuarios. Para el desarrollo del sistema se implementó la metodología en cascada, dividiendo el proceso en cuatro fases. En la fase de requerimientos, se determinaron los requerimientos de hardware y software a través del estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2018. En la fase de diseño se propuso la arquitectura IoT y el diseño de los nodos para el monitoreo del consumo eléctrico general del hogar y la gestión remota de electrodomésticos. En la fase de implementación se integraron los servicios alojados en la nube para la publicación y suscripción de mensajes bajo el protocolo MQTT y el almacenamiento de los datos, y se desarrolló la plataforma de monitoreo y gestión. Finalmente, en la fase de pruebas se evaluó el funcionamiento del sistema, de acuerdo con un plan de pruebas establecido, en un entorno controlado. Los resultados obtenidos validan el funcionamiento del sistema, demostrando su capacidad para realizar el monitoreo del consumo eléctrico del hogar, la gestión remota de un conjunto de electrodomésticos y la generación de alertas por un consumo inusual. En conclusión, el sistema logró una reducción del 6.6% en el consumo eléctrico mensual de la residencia y demostró una alta confiabilidad en los datos, al presentar un error relativo de apenas un 1.47%. Esto confirma que la solución IoT planteada permite mejorar la gestión de la electricidad y lograr un ahorro energético residencial.

Palabras clave: Consumo eléctrico, monitoreo y gestión remota, ahorro energético, Wi-Fi, Internet de las Cosas, MQTT, arquitectura IoT, Smart grid, Cloud computing

ABSTRACT

This thesis addresses the issue of increasing energy demand in the residential sector, driven by the rise in the acquisition of electrical appliances, the lack of energy-saving measures in households, and the underutilization of technology to enhance energy management in residences. The main objective was to design an energy monitoring and management system for real-time household electricity consumption, applying the Internet of Things (IoT) to promote energy-saving and efficiency measures for users. The system development followed the waterfall methodology, dividing the process into four phases. During the requirements phase, hardware and software needs were defined according to the ISO/IEC/IEEE 29148:2018 standard. In the design phase, the IoT architecture and node designs were proposed for monitoring overall household electricity consumption and remotely managing appliances. The implementation phase integrated cloud-hosted services for message publishing and subscription using the MQTT protocol, as well as data storage, and developed the monitoring and management platform. Finally, in the testing phase, the system's functionality was evaluated in a controlled environment based on an established testing plan. The results validated the system's operation, demonstrating its capability to monitor household electricity consumption, remotely manage a set of appliances, and generate alerts for unusual consumption. In conclusion, the system achieved a 6.6% reduction in the monthly electricity consumption of the residence and demonstrated high data reliability, with a relative error of only 1.47%. This confirms that the proposed IoT solution effectively improves electricity management and enables residential energy savings.

Keywords: Electricity consumption, remote monitoring and management, energy savings, Wi-Fi, Internet of Things, MQTT, IoT architecture, Smart grid, Cloud computing.

LISTA DE SIGLAS

OLADE. Organización Latinoamericana de Energía

ARCERNNR. Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables

IoT. Internet de las Cosas

MQTT. Message Queuing Telemetry Transport

AWS. Amazon Web Services

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Capítulo I: Antecedentes	27
1.1 Tema	27
1.2 Problema	27
1.3 Objetivos	30
1.3.1 Objetivo General	30
1.3.2 Objetivos Específicos	30
1.4 Alcance	30
1.5 Justificación	33
Capítulo II: Fundamentos Teóricos	36
2.1 Situación Energética en Ecuador	36
2.1.1 Demanda de Energía y Potencias Mensuales	37
2.1.2 Consumo Energético	37
2.2 Smart Grid (Red Eléctrica Inteligente)	38
2.2.1 Infraestructura de Comunicación en una Smart Grid	39
2.2.2 Tecnologías de Comunicación en Smart Grid	41
2.3 Smart Home (Hogar Inteligente)	42
2.3.1 Dispositivos Inteligentes	42
2.4 Internet de las Cosas	44

	13
2.4.1 Arquitectura IoT de la ITU	45
2.4.2 Internet de las Cosas en las Smart Grid Residenciales	46
2.4.3 Tecnologías Inalámbricas para el IoT	49
2.4.4 Protocolos IoT para la Comunicación	51
2.5 Recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) para Smart Grid y HEMS	53
Capítulo III: Diseño del Sistema	55
3.1 Metodología.....	55
3.2 Análisis	55
3.2.1 Situación Actual	56
3.2.2 Encuesta.....	57
3.2.3 Tabulación.....	58
3.2.4 Descripción General del Sistema.....	61
3.3 Requerimientos del Sistema	64
3.3.1 Listado de Stakeholders.....	65
3.3.2 Requerimientos de Stakeholders	65
3.3.3 Requerimientos del Sistema	67
3.3.4 Requerimientos de Arquitectura.....	70
3.4 Selección de Hardware y Software.....	74
3.4.1 Elección de Hardware.....	75

	14
3.4.2 Elección del Software	79
3.5 Diseño del Sistema	86
3.5.1 Arquitectura IoT del Sistema.....	87
3.5.2 Diagrama de Bloques General del Sistema con los Componentes Seleccionados	89
3.5.3 Diagrama de Flujo del Sistema.....	91
3.5.4 Diagrama de Flujo del Nodo 1	93
3.5.5 Diagrama de Flujo del Nodo 2	95
3.5.6 Diagrama de Conexiones del Nodo 1	96
3.5.7 Diagrama de Conexiones del Nodo 2.....	98
3.5.8 Consumo Energético de los Nodos.....	99
3.5.9 Diseño del Circuito Impreso PCB del Nodo 1	103
3.5.10 Diseño del Circuito Impreso PCB del Nodo 2	104
3.5.11 Esquema de la Plataforma de Gestión de Datos	106
3.5.12 Diseño de la Interfaz de Gestión y Visualización de los Datos.....	109
3.5.13 Diseño de la Base de Datos	116
3.5.14 Diseño del Case para el Nodo 1.....	119
3.5.15 Diseño del Case para el Nodo 2.....	121
Capítulo IV: Implementación y Resultados.....	122
4.1 Implementación del Hardware.....	122

4.1.1 Integración de Componentes del Nodo 1	123
4.1.2 Integración de Componentes del Nodo 2	127
4.1.3 Programación del Nodo 1	130
4.1.4 Programación del Nodo 2	134
4.2 Implementación del Software	136
4.2.1 Despliegue de Broker MQTT	136
4.2.2 Procesamiento de Datos en Node-RED	138
4.2.3 Creación de la Base de Datos	143
4.2.4 Desarrollo de la Interfaz de Gestión y Visualización del Consumo Eléctrico en la Plataforma de Home Assistant	144
4.2.5 Integración de Broker Mosquitto MQTT a Home Assistant	145
4.2.6 Integración de Sensores y Switches MQTT	146
4.2.7 Creación de Paneles de Monitoreo y Control	148
4.3 Implementación del Sistema en el Entorno Controlado	152
4.3.1 Instalación del Nodo 1 en los Tomacorrientes de la Residencia	154
4.3.2 Instalación del Nodo 2 en el Tablero de Distribución Eléctrico de la Residencia	158
4.3.3 Costos del Sistema de Monitoreo y Gestión del Consumo Eléctrico para Hogares	160
4.4 Pruebas de Funcionamiento del Sistema	165

4.4.1 Pruebas Generales.....	167
4.4.2 Pruebas Específicas	185
4.5 Discusión	228
Conclusiones y Recomendaciones.....	231
Conclusiones.....	231
Recomendaciones	233
Referencias	235
Anexos	243

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Tecnologías de comunicación alámbricas e inalámbricas en Smart Grid.</i>	41
Tabla 2 <i>Clasificación de dispositivos utilizados en Smart Hogar.</i>	43
Tabla 3 <i>Modelos de servicios en la nube.</i>	48
Tabla 4 <i>Versiones del estándar IEEE 802.11.</i>	51
Tabla 5 <i>Nomenclatura de los requerimientos del sistema.</i>	64
Tabla 6 <i>Descripción de Stakeholders</i>	65
Tabla 7 <i>Requerimientos de los Stakeholders</i>	66
Tabla 8 <i>Requerimientos del sistema.</i>	67
Tabla 9 <i>Requerimientos de arquitectura.</i>	70
Tabla 10 <i>Elección del sensor.</i>	75
Tabla 11 <i>Características del sensor PZEM-004t.</i>	77
Tabla 12 <i>Selección del microcontrolador.</i>	78
Tabla 13 <i>Proveedor de Servicios en la Nube (CSP).</i>	80
Tabla 14 <i>Comparativa entre las plataformas en la nube Amazon Web Services, Microsoft Azure y Google Cloud Platform.</i>	81
Tabla 15 <i>Elección de Plataforma de desarrollo de la Interfaz Web y Móvil.</i>	82
Tabla 16 <i>Elección de la base de datos.</i>	84
Tabla 17 <i>Elección del Sistema Operativo.</i>	85
Tabla 18 <i>Consumo energético del nodo 1.</i>	100
Tabla 19 <i>Consumo energético del nodo 2.</i>	101
Tabla 20 <i>Diseño de la medida para el almacenamiento de las series temporales.</i>	118
Tabla 21 <i>Librerías a utilizar en la programación de los nodos.</i>	123

Tabla 22 <i>Lista de electrodomésticos presentes en la vivienda de implementación del sistema.</i>	153
Tabla 23 <i>Lista de electrodomésticos a monitorear.</i>	154
Tabla 24 <i>Costos del diseño del sistema.</i>	161
Tabla 25 <i>Costos de hardware y software del sistema.</i>	162
Tabla 26 <i>Costos de implementación del sistema.</i>	163
Tabla 27 <i>Costo total del sistema.</i>	164
Tabla 28 <i>Plan de pruebas de funcionamiento del sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico.</i>	165
Tabla 29 <i>Valores de las variables eléctricas obtenidas por el multímetro y el sensor PZEM004-T.</i>	172
Tabla 30 <i>Valores de las variables eléctricas obtenidas por el multímetro y el sensor PZEM004-T.</i>	174
Tabla 31 <i>Consumos eléctricos registrados por el medidor eléctrico de la empresa durante el período de pruebas de dos semanas.</i>	213
Tabla 32 <i>Consumos eléctricos registrados por el contador eléctrico de la empresa y el sistema de monitoreo y gestión durante el período de pruebas de dos semanas.</i>	215
Tabla 33 <i>Consumos eléctricos registrados por el medidor eléctrico de la empresa durante el período de pruebas de tres semanas.</i>	216
Tabla 34 <i>Consumos eléctricos registrados por el medidor eléctrico de la empresa y el sistema de monitoreo y gestión durante el período de pruebas de tres semanas.</i>	218
Tabla 35 <i>Consumos eléctricos registrados por el medidor eléctrico de la empresa durante el período de pruebas de un mes.</i>	220

Tabla 36 <i>Consumos eléctricos registrados por el medidor eléctrico de la empresa y el sistema de monitore y gestión durante el período de pruebas de un mes.</i>	222
Tabla 37 <i>Consumos eléctricos presentados en la factura eléctrica de la empresa y el sistema de monitore y gestión para el mes de septiembre.</i>	225

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 7 Resultados de la encuesta aplicada a los dueños de las viviendas.....	59
Figura 8 Resultados de la encuesta aplicada a los dueños de las viviendas.....	60
Figura 9 Resultados de la encuesta aplicada a los dueños de las viviendas.....	60
Figura 10 Resultados de la encuesta aplicada a los dueños de las viviendas.....	61
Figura 15 Diagrama de Bloques General del Sistema con los Componentes Seleccionados	91
Figura 16 Diagrama de flujo del sistema.....	92
Figura 17 Diagrama de flujo del nodo 1.....	94
Figura 18 Diagrama de flujo del nodo 2.....	96
Figura 19 Diseño Diagrama de conexiones del nodo 1.....	97
Figura 20 Diseño Diagrama de conexiones del nodo 2.....	99
Figura 21 Diagrama de conexiones del circuito impreso para el nodo 1.....	103
Figura 22 Diseño del circuito impreso PCB del nodo 1.....	104
Figura 23 Diagrama de conexiones del circuito impreso para el nodo 2.....	105
Figura 24 Diseño del circuito impreso PCB del nodo 2.....	106
Figura 25 Esquema de la plataforma de gestión de datos.....	107
Figura 26 Diagrama de flujo de interacción entre el usuario y la interfaz.....	108
Figura 27 Diseño del panel de monitoreo y gestión del consumo eléctrico general del hogar. (a) interfaz web (b) interfaz móvil.....	111
Figura 28 Diseño del panel de monitoreo y gestión del consumo eléctrico general del hogar. (a) interfaz web (b) interfaz móvil.....	112

Figura 29 <i>Diseño de panel de monitoreo y gestión del consumo eléctrico para electrodomésticos. (a) interfaz web (b) interfaz móvil.</i>	113
Figura 30 <i>Diseño del panel de consultas del consumo eléctrico general del hogar. (a) interfaz web (b) interfaz móvil.</i>	115
Figura 31 <i>Diseño del panel de consultas del consumo eléctrico por electrodoméstico. (a) interfaz web (b) interfaz móvil.</i>	116
Figura 32 <i>Diseño de la base de datos para InfluxDB.</i>	119
Figura 33 <i>Diseño del Case para el Nodo 1.</i>	120
Figura 34 <i>Diseño del Case para el Nodo 2.</i>	121
Figura 35 <i>Montaje de los componentes electrónicos en la PCB del nodo 1</i>	124
Figura 36 <i>Integración de la PCB y el Case del nodo 1.</i>	125
Figura 37 <i>Ensamble final del nodo 1</i>	126
Figura 38 <i>Montaje de los componentes electrónicos en la PCB del nodo 2</i>	128
Figura 39 <i>Integración de la PCB y el Case del nodo 2.</i>	129
Figura 40 <i>Ensamble final del nodo 2.</i>	130
Figura 41 <i>Configuración de conexión Wi-Fi y conexión al Broker MQTT.</i>	131
Figura 42 <i>Función de lectura y publicación de los datos relacionados a los parámetros eléctricos</i>	132
Figura 43 <i>Función para el procesamiento del mensaje recibido.</i>	133
Figura 44 <i>Comparación del tema recibido y ejecución de acciones de acuerdo con el contenido del mensaje.</i>	133
Figura 45 <i>Parámetros para la conexión a red Wi-Fi y bróker MQTT.</i>	134
Figura 46 <i>Función de lectura y publicación de los datos relacionados a los parámetros eléctricos</i>	135

Figura 47 <i>Función para el procesamiento del mensaje recibido.</i>	136
Figura 48 <i>Habilitación del puerto de escucha del broker Mosquitto MQTT</i>	137
Figura 49 <i>Reinicio y verificación del estado del servicio Mosquitto MQTT.</i>	138
Figura 50 <i>Nodos utilizados en Node-RED.</i>	139
Figura 51 <i>Conexión de los nodos del flujo principal en Node-RED.</i>	140
Figura 52 <i>Configuración de nodo mqtt in.</i>	141
Figura 53 <i>Configuración de nodo function.</i>	142
Figura 54 <i>Configuración de nodo influxdb out.</i>	142
Figura 55 <i>Creación de la base de datos en InfluxDB.</i>	143
Figura 56 <i>Valores de prueba para la validación de creación y conexión con la base de datos InfluxDB.</i>	144
Figura 57 <i>Integración de Mosquitto MQTT a la plataforma de desarrollo de la interfaz.</i>	146
Figura 58 <i>Integración de sensores MQTT a la plataforma de desarrollo de la interfaz.</i> .	147
Figura 59 <i>Integración de switches MQTT a la plataforma de desarrollo de la interfaz.</i> ..	147
Figura 60 <i>Paneles principales de la interfaz del usuario</i>	148
Figura 61 <i>Creación de panel de monitoreo y gestión del consumo eléctrico.</i>	149
Figura 62 <i>Creación de panel de monitoreo y gestión del consumo eléctrico.</i>	150
Figura 63 <i>Creación de panel de monitoreo y gestión del consumo eléctrico.</i>	151
Figura 64 <i>Creación de panel de monitoreo y gestión del consumo eléctrico.</i>	152
Figura 65 <i>Instalación de primer nodo 1 en un tomacorriente del hogar.</i>	155
Figura 66 <i>Conexión del refrigerador y lavadora al primer nodo 1.</i>	156
Figura 67 <i>Instalación del segundo nodo 1 en un tomacorriente del hogar.</i>	157
Figura 68 <i>Conexión del televisor y equipo de sonido al segundo nodo1.</i>	158

Figura 69 <i>Identificación de las conexiones y circuitos presentes en el tablero de distribución eléctrica.</i>	159
Figura 70 <i>Instalación del nodo 2.</i>	160
Figura 71 <i>Comprobación de la ausencia de riesgos eléctricos en la instalación del nodo1_1.</i>	168
Figura 72 <i>Comprobación de la ausencia de riesgos eléctricos en la instalación del nodo2.</i>	169
Figura 73 <i>Comparación entre las lecturas de las variables eléctricas tomadas por el multímetro y el sensor.</i>	170
Figura 74 <i>Comparación entre las lecturas de las variables eléctricas tomadas por el multímetro y el sensor.</i>	173
Figura 75 <i>Comprobación de la conexión inalámbrica entre el nodo y el Gateway/Router.</i>	175
Figura 76 <i>Comprobación de la conexión entre el nodo y el Broker Mosquitto.</i>	176
Figura 77 <i>Captura de paquetes MQTT generados en el proceso de conexión entre el nodo y el Broker.</i>	177
Figura 78 <i>Estado de conexión del Nodo hacia el Bróker desde la interfaz de usuario.</i> ...	178
Figura 79 <i>Publicación de mensajes desde los nodos hacia el Bróker Mosquitto.</i>	179
Figura 80 <i>Captura de paquetes MQTT generados en el proceso de envío de mensajes hacia el Broker.</i>	180
Figura 81 <i>Recepción de mensajes para la gestión remota de los electrodomésticos conectados al nodo 1.</i>	181
Figura 82 <i>Recepción de mensajes para la gestión remota de los circuitos eléctricos presentes en el tablero de distribución eléctrica de la vivienda.</i>	182

Figura 83 Almacenamiento de los valores correspondientes a las variables eléctricas enviadas por el nodo 2.....	184
Figura 84 Almacenamiento de los valores correspondientes a las variables eléctricas enviadas por el nodo 2.....	185
Figura 85 Visualización de los datos del consumo eléctrico general del hogar, variables eléctricas de cada fase y estado de los diferentes circuitos eléctricos.	187
Figura 86 Visualización de los valores correspondientes a las variables eléctricas de la fase 1.....	188
Figura 87 Visualización de los valores correspondientes a las variables eléctricas monitoreadas del refrigerador.	189
Figura 88 Ubicación de los puntos para la validación de la gestión remota.....	191
Figura 89 Estado activo del circuito eléctrico de iluminación desde la interfaz móvil y zona de pruebas.	192
Figura 90 Estado desactivado del circuito eléctrico de iluminación desde la interfaz móvil y zona de pruebas.	193
Figura 91 Estado activo del circuito eléctrico de tomacorrientes desde la interfaz móvil y el tomacorriente de pruebas.	194
Figura 92 Estado desactivado del circuito eléctrico de tomacorrientes desde la interfaz móvil y tomacorriente de pruebas.	195
Figura 93 Estado de encendido del Televisor monitoreado.	196
Figura 94 Estado de apagado del Televisor monitoreado.	197
Figura 95 Potencia nominal del refrigerador establecida por el fabricante.	198
Figura 96 Parametrización de la potencia nominal del refrigerador desde la interfaz móvil.	199

Figura 97 <i>Histograma de valores de potencia del refrigerador monitoreado.</i>	200
Figura 98 <i>Alerta generada debido al consumo eléctrico inusual registrado por el refrigerador.</i>	201
Figura 99 <i>Parametrización del tiempo de encendido del Equipo de Sonido desde la interfaz móvil.</i>	202
Figura 100 <i>Alerta generada debido al consumo eléctrico inusual registrado por el equipo de sonido.</i>	203
Figura 101 <i>Selección de la fecha de consulta del consumo eléctrico registrado.</i>	205
Figura 102 <i>Resultado de la consulta sobre el consumo eléctrico registrado para la fecha seleccionada.</i>	205
Figura 103 <i>Validación de la consulta del consumo eléctrico para el día seleccionado.</i> ..	206
Figura 104 <i>Resultado de la consulta sobre el consumo eléctrico registrado para el rango de fechas seleccionadas.</i>	207
Figura 105 <i>Validación de la consulta del consumo eléctrico para el rango de fechas seleccionado.</i>	208
Figura 106 <i>Resultado de la consulta sobre el consumo eléctrico registrado para la fecha seleccionada.</i>	209
Figura 107 <i>Validación de la consulta del consumo eléctrico para el día seleccionado.</i> ..	209
Figura 108 <i>Consumo eléctrico inicial registrado por el medidor eléctrico de la empresa eléctrica.</i>	211
Figura 109 <i>Consumo eléctrico registrado por el medidor eléctrico instalado por la empresa eléctrica dos semanas después del inicio de las pruebas.</i>	212
Figura 110 <i>Consumo eléctrico registrado por el sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico dos semanas después del inicio de las pruebas.</i>	214

Figura 111 <i>Consumo eléctrico registrado por el medidor eléctrico instalado por la empresa eléctrica tres semanas después del inicio de las pruebas.</i>	216
Figura 112 <i>Consumo eléctrico registrado por el sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico dos semanas después del inicio de las pruebas.</i>	217
Figura 113 <i>Consumo eléctrico registrado por el medidor eléctrico instalado por la empresa eléctrica a un mes del inicio de las pruebas.</i>	219
Figura 114 <i>Consumo eléctrico registrado por el sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico a un mes del inicio de pruebas.</i>	221
Figura 115 <i>Consumo eléctrico mensual registrado por la empresa eléctrica.</i>	223
Figura 116 <i>Consumo eléctricos registrado por el sistema de monitoreo y gestión durante el período de pruebas registrado en la factura eléctrica.</i>	224
Figura 117 <i>Consumos eléctricos mensuales antes de la implementación del sistema.</i>	226
Figura 118 <i>Consumos eléctricos mensuales antes de la implementación del sistema.</i>	228

Capítulo I: Antecedentes

1.1 Tema

Sistema de Monitoreo y Gestión del Consumo Eléctrico para Hogares Basando en el Internet de las Cosas

1.2 Problema

Según la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) en el documento “Situación del consumo energético a nivel mundial y para América Latina y el Caribe (ALC) y sus perspectivas” presenta los mayores sectores de consumo energético, iniciando con el de transporte con un 38%, industrial con el 29% y el residencial con un 16%. Lo que se concluye que luego del sector del transporte, el sector industrial y residencial tiene una alta participación en la demanda energética a escala regional (Ramos Males & Bautista Segovia, 2022).

En el contexto del Ecuador, de acuerdo con el Operador Nacional de Electricidad CENACE en su informe anual 2022 el consumo energético total fue de 27.561,62 GWh. Mientras que la demanda energética presentó un incremento del 4,51% en relación con el año 2021 (Operador Nacional de Electricidad CENACE, 2022). Por otro lado, en el año actual entre enero y marzo la demanda de electricidad tuvo un incremento del 8% en relación con el mismo trimestre del año 2022. El Ministerio de Energía y Minas en el Balance Energético Nacional 2022, la demanda de energía correspondiente al sector residencial fue del 13,1% estando por debajo del sector del transporte e industrial con un 49,1% y 17,9% respectivamente (Ministerio de Energía y Minas, 2023). En los últimos 10 años el Ecuador ha sufrido un incremento del 51% del consumo eléctrico en el sector residencial, a la par de un

29% de aumento en los clientes residenciales. El promedio mensual de consumo residencial para el 2022 es de 132,22 kWh (PETROENERGÍA, 2021).

Los altos consumos de electricidad en el hogar van relacionados con el aumento en adquisición de aparatos eléctricos, además del mal uso de la energía dentro del domicilio (Quishpe Gaibor & Quishpe Freire, 2018). Estos incrementos seguirán creciendo con los años, por lo que es necesario programas que incentiven la eficiencia energética y el uso racional de electricidad en los hogares. Lo que traerá grandes beneficios ambientales, sociales y económicos (Ramos Males & Bautista Segovia, 2022). Otras razones del aumento de energía son calefacción antigua, ausencia de lámparas ahorrativas, electrodomésticos ineficientes, entre otros. Lo que lleva a oportunidades de una gran reducción de gastos eléctricos. En cuanto a los electrodomésticos de mayor consumo se tienen: televisor, equipo de sonido, microondas, computador, entre otros (Quishpe Gaibor & Quishpe Freire, 2018). Los electrodomésticos más antiguos e incluso algunos más recientes no presentan controles para un manejo adecuado y eficiente, lo que genera un incremento en el consumo eléctrico y económico (Palacios, 2020). Además, los sistemas de iluminación domiciliaria presentes en la demanda máxima u horas pico sumado a la falta de modelos programados bajo un horario, iluminación por medio de detección de personas, iluminación por sectores cuando sea necesario y la ausencia de automatización no contribuyen a un ahorro energético (Quishpe Gaibor & Quishpe Freire, 2018) (Arroyo & Angulo, 2022). Así mismo, los malos hábitos de consumo eléctrico que va con equipos eléctricos encendidos o enchufados la mayoría del tiempo, aunque no se esté dando un uso a los mismos (Quishpe Gaibor & Quishpe Freire, 2018). La falta de aprovechamiento de la tecnología para la gestión inteligente del consumo eléctrico en los hogares mediante la domótica no genera una eficiencia energética, debido a

la falta de técnicas de automatización capaces de controlar luminarias y electrodomésticos. Por otro lado, la situación actual que presenta el usuario, el cual solo al final de cada mes podrá conocer el consumo total de energía que es entregado por parte del proveedor de servicio, sin que el cliente puede determinar los ambientes críticos en la residencia (Pilicita-Garrido & Cevallos-Duque, 2019). Así mismo, la falta del monitoreo de consumo eléctrico, que permite una gestión personalizada del consumo, detección de malos funcionamientos de los equipos en el hogar, manejo remoto de instalaciones eléctricas y la prevención de sobrecargas y cortocircuitos (Palacios, 2020) (Arroyo & Angulo, 2022).

Finalmente, en las últimas semanas se ha visto un déficit por la falta de generación eléctrica, así se ha declarado en estado de emergencia el miércoles 18 de octubre del 2023 al sistema eléctrico debido un fuerte desplome en la generación de electricidad por parte de las fuentes hidroeléctricas (García, 2023). Por lo que se han generado apagones en el territorio nacional, con horarios de cuatro horas en la sierra andina y tres para la zona costera (Associated Press, 2023). En vista de todo esto, el Ministerio de Energía ha lanzado una campaña para impulsar el ahorro de energía a nivel nacional (Mantuano, 2023).

En base a lo anterior, se propone un Sistema de Monitoreo y Gestión del Consumo Eléctrico para Hogares Basado en el Internet de las Cosas como solución, el cual permitirá realizar un seguimiento del uso de energía eléctrica en el hogar y de los electrodomésticos, además de gestionarlos de forma remota. Esto ayudará a reducir el gasto energético causado por malos hábitos por parte de los residentes. Además, el sistema proporcionará datos en tiempo real sobre el consumo generado en el hogar, permitiendo a los usuarios tomar medidas que fomenten el ahorro y un empleo responsable de la electricidad.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de monitoreo y gestión energética para el consumo eléctrico del hogar en tiempo real aplicando el Internet de las Cosas, para promover medidas de ahorro y eficiencia energética a los usuarios.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar la situación energética de Ecuador, consumos energéticos promedios en hogares del país y tecnologías emergentes relacionadas al Smart Home e Internet de las Cosas.
- Establecer los requerimientos de hardware y software y realizar el diseño del sistema para el monitoreo de consumo eléctrico y gestión de dispositivos.
- Implementar el sistema de monitoreo de consumo eléctrico y gestión de dispositivos en un entorno controlado.
- Realizar las pruebas de funcionamiento del sistema validando la obtención de datos y gestión remota de los dispositivos del hogar para promover el ahorro y eficiencia energética.

1.4 Alcance

El presente proyecto tiene como objetivo el desarrollo de un sistema de monitoreo del consumo eléctrico y la gestión de electrodomésticos presentes en el hogar. Esto mediante el diseño de un módulo electrónico que permitirá realizar la transmisión bidireccional, que posibilitará la medición de consumo eléctrico y su envío hacia una plataforma de administración en la nube. Además, este módulo permitirá la gestión remota de los electrodomésticos. Un segundo módulo ejecutará la medición del consumo eléctrico total de

la residencia, y enviará estos datos a la misma plataforma en la nube. De esta manera, los usuarios podrán ejercer un monitoreo y verificar como es el avance del gasto energético para promover medidas de ahorro y eficiencia energética.

Para el desarrollo del proyecto aplicará la metodología en cascada la cual está basada en un modelo línea y secuencial, divididas en diferentes fases del proyecto (Luna et al., 2022). Las cuales se describen a continuación.

Como primera fase, que corresponde al Análisis de Requerimientos, se realizará la consulta bibliográfica relacionada a la situación eléctrica en el Ecuador, el consumo promedio de energía en los hogares del país, redes eléctricas inteligentes, herramientas de medición del consumo eléctrico, tecnologías de comunicación inalámbrica, smart home, internet de las cosas y plataformas IoT.

Para la segunda fase denominada Diseño, se realizará selección de los componentes de hardware y software apropiados para el desarrollo del sistema. Estos componentes incluirán los sensores necesarios para llevar a cabo la medición del consumo eléctrico de los electrodomésticos y el consumo total de la residencia. Además, microcontroladores encargados del procesamiento y envío de los datos de manera inalámbrica entre nodos, lo que implicará la elección de una tecnología inalámbrica a usar. Del mismo modo, el entorno de desarrollo integrado (IDE) para realizar la programación de sensores y microcontroladores. Al igual que la plataforma en la nube para el almacenamiento y visualización de los datos. Para el desarrollo del sistema, se muestra en la Figura 1 una arquitectura preliminar. En la etapa 1, se contará con nodos sensores que estarán ubicados junto con los dispositivos eléctricos, que ejecutará la lectura del consumo, la gestión remota y el envío de alarmas en caso de sobrepasar un umbral. De igual manera, se desarrollará un

segundo nodo sensor, cuya función será la toma de medidas del consumo eléctrico total del hogar. En la etapa 2, los datos recopilados por estos dos nodos serán enviados de manera inalámbrica hacia un Gateway, que va a transmitir a una plataforma en la nube.

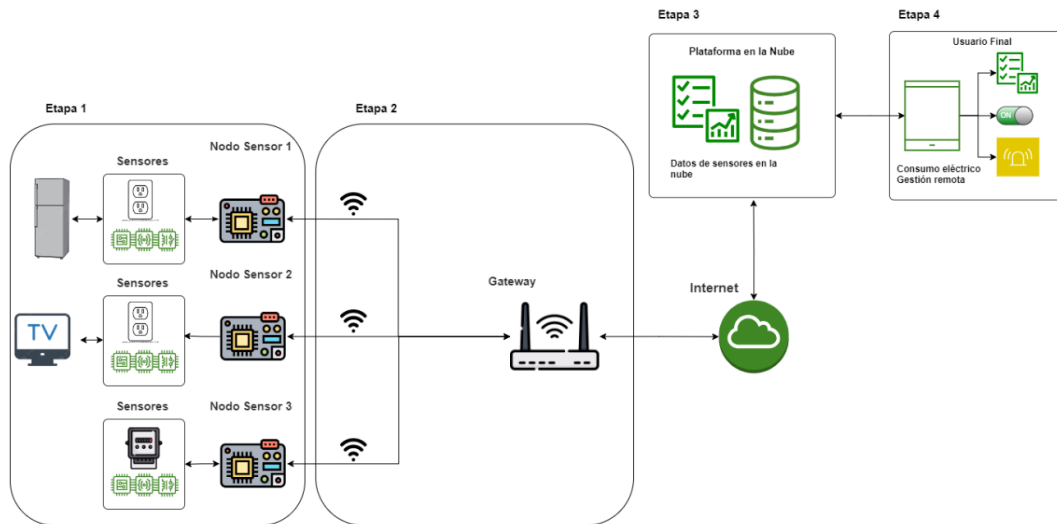
En la etapa 3, la plataforma se encargará de la captura de los datos, el almacenamiento y procesamiento de estos. En la etapa 4, se realizará el diseño de la plataforma en la nube, para la presentación gráfica del consumo eléctrico de los electrodomésticos, el consumo total del hogar, la gestión de los dispositivos eléctricos y la generación de las alarmas, proporcionando una interfaz adecuada. De esta manera, los usuarios podrán tomar medidas para promover un uso ahorrativo y eficiente de energía en el hogar.

En la tercera fase denominada Implementación, se llevará a cabo la implementación del sistema en un entorno controlado, que se tratará de un determinado hogar. Para ello, el número de electrodomésticos a realizar el monitoreo del consumo eléctrico y gestión estará limitado, priorizando aquellos de mayor consumo.

En la fase final de Pruebas, se realizarán las pruebas de funcionamiento del sistema, validando la comunicación bidireccional entre los nodos encargados de ejecutar el monitoreo y envío de datos a la plataforma, y por el otro lado, la gestión remota desde la misma. Además, se comprobarán las alarmas generadas y la visualización del consumo eléctrico total del hogar para la toma de decisiones por parte de los usuarios que puedan utilizar el sistema, orientadas hacia un ahorro y eficiencia energética.

Figura 1

Arquitectura genérica propuesta para el proyecto.



Nota: En la figura se plantea la arquitectura genérica para el sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico para hogares basado en el internet de las cosas.

1.5 Justificación

El internet de las cosas es una red de dispositivos que se encuentran interconectados entre sí, permitiendo que los dispositivos compartan información entre ellos recabado por sensores o realizada por actuadores (Novillo-Vicuña et al., 2018). Este desarrollo tecnológico permite el diseño de Smart Home que tiene que ver con dispositivos electrónicos interconectados con los que se puede controlar diferentes aspectos de funcionamiento del hogar, el control automático y a distancia (Agudelo, 2018).

Conforme a las Naciones Unidas, uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, es el de “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna” (United Nations, 2015). Este objetivo propone en una de sus metas, que para el año 2030 se duplique la tasa de eficiencia energética.

En base al Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 en el Eje Transición Ecológica presenta el “Objetivo 12: Fomentar modelos de desarrollo sostenibles aplicando medidas de adaptación y mitigación al Cambio Climático” (Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025, 2021, p. 87). Contiene una meta para el 2025 la cual busca reducir de 79.833 a 62.917 kBEP la energía utilizada en los sectores de consumo. En el Ecuador de acuerdo con la Ley Orgánica de Eficiencia Energética en uno de sus artículos menciona lo siguiente:

Artículo 17.- Ahorro y uso eficiente de energía. - A nivel nacional, todo consumidor de energía debe velar permanentemente porque sus consumos estén enmarcados en el uso racional de la energía, y adaptar sus comportamientos de consumo, orientándolos al ahorro energético, sin que esto signifique disminuir sus condiciones de confort y producción. (Gobierno del Ecuador, 2019, p. 7)

De acuerdo con el objetivo del Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador el cual plantea:

Incrementar el uso eficiente de los recursos energéticos mediante la ejecución de programas y proyectos de eficiencia energética en los sectores relacionados con la oferta y demanda de energía, a fin de reducir la importación de derivados del petróleo, contribuir a la mitigación del cambio climático y crear una cultura de eficiencia energética respaldada por una sólida base jurídica e institucional. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017, p. 18)

El Sistema de Monitoreo y Gestión del Consumo Eléctrico para Hogares Basado en el Internet de las Cosas, permitirá realizar en análisis de consumo eléctrico total de la

residencia y de los electrodomésticos presentes en la misma, además de poder realizar la gestión remota. Todo esto mediante la implementación de nuevas tecnologías como es el internet de las Cosas. Así se podrá ejecutar una gestión adecuada de la electricidad, promoviendo en los usuarios el ahorro y eficiencia energética.

Capítulo II: Fundamentos Teóricos

En este capítulo, se lleva a cabo una revisión bibliográfica centrada en los temas fundamentales que respaldan el desarrollo del trabajo de titulación. Se inicia abordando la situación energética en Ecuador. Posteriormente, se analizan los conceptos del Smart Grid (Red Eléctrica Inteligente) y el Smart Home (Hogar Inteligente). Finalizando con el Internet de las Cosas (IoT) y su aplicación Smart Grid Residencial, detallando sus arquitecturas, componentes de hardware, software y protocolos asociados a la comunicación en el IoT.

2.1 Situación Energética en Ecuador

El Operador Nacional de Electricidad – CENACE, es un organismo adscrito al Ministerio responsable de energía y electricidad. Su función es la operación técnica del Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.). Asimismo, tiene la responsabilidad de gestionar comercialmente las transacciones de bloques energéticos y garantizar el continuo abastecimiento de energía eléctrica (Operador Nacional de Electricidad CENACE, 2023).

El Operador Nacional de Energía CENACE (2023) informó que la energía bruta producida para el 2023, considerando las contribuciones del parque generador nacional y las importaciones a través de enlaces internacionales, alcanzó los 32.117,89 GWh, lo que representa un incremento del 13,91% en comparación al año anterior.

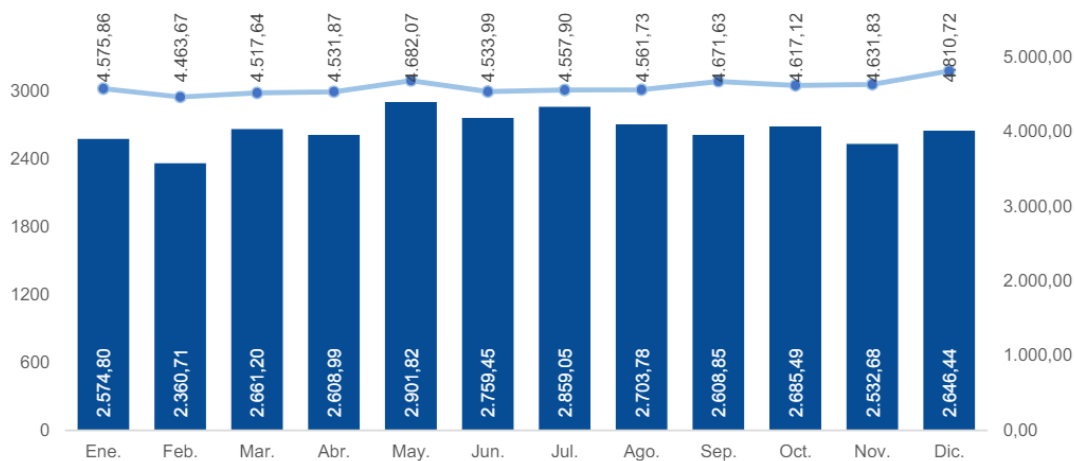
La generación hidroeléctrica es la mayor contribuidora, representando un 78,58% del total de energía bruta para el año 2023. Las centrales hidráulicas Coca Codo Sinclair, Paute y Sopladora destacan por su significativa generación de energía (Operador Nacional de Electricidad CENACE, 2023).

2.1.1 Demanda de Energía y Potencias Mensuales

La demanda de energía en el año 2023 tuvo un crecimiento del 15,75% en comparación con el año anterior. En la Figura 2, se presentan los valores mensuales de la demanda de energía y bornes de generación de potencia. Como se puede observar, mayo se destaca como el mes de mayor demanda de energía, alcanzando los 2.901,82 GWh, mientras que febrero registró la menor demanda con un total de 2.360,71 GWh. Además, el valor máximo de potencia en bornes de generación fue diciembre con 4.810,72 MW, mientras que la menor potencia fue en febrero, alcanzando los 4.463,67 MW.

Figura 2

Evolución de demanda (GWh) y potencia de energía (MW) en 2023.



Fuente: Obtenido de (Operador Nacional de Electricidad CENACE, 2023).

2.1.2 Consumo Energético

En el año 2023, el consumo energético en Ecuador alcanzó un total de 30.389,70 GWh. La demanda de energía de las empresas distribuidoras representó el 93,48%, mientras que las exportaciones a países vecinos, Colombia y Perú, a través de enlaces internacionales,

correspondieron al 0,63% del total. Las mayores demandas nacionales se concentraron en las empresas distribuidoras CNEL EP-Guayaquil y E.E Quito, mientras que la empresa E.E Regional Norte, que forma parte la provincia de Imbabura, presentó un 2,62% del consumo energético nacional (Operador Nacional de Electricidad CENACE, 2023).

El consumo promedio mensual de energía eléctrica en el sector residencial, que refleja la cantidad de kWh que un cliente ha consumido mensualmente (sin incluir el Servicio de Alumbrado Público General - SAPG), presenta variaciones en el período del 2013 al 2023. Entre 2013 y 2014, los promedios mensuales fueron de 122,20 kWh y 128,79 kWh, respectivamente, evidenciando un aumento notable del 5.39%. En los años posteriores, del 2015 al 2019, las variaciones de los consumos mensuales fueron menos pronunciadas, manteniéndose en un consumo promedio de 136,34 kWh. En el 2020, se registró un elevado promedio de consumo eléctrico mensual, alcanzando los 141,42 kWh, resultado del confinamiento de la población generado por la pandemia del COVID-19. En los años siguientes, 2021 y 2022, donde las medidas de confinamiento fueron reducidas, los promedios mensuales se situaron en 136,28 kWh y 132,22 kWh, respectivamente. Finalmente, para el año 2023, se registró el mayor promedio de consumo eléctrico mensual, alcanzando los 143,36 kWh un 8.42% mayor que el año anterior (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2023).

2.2 Smart Grid (Red Eléctrica Inteligente)

Smart Grid o Red Eléctrica Inteligente según la Agencia Internacional de Energía (2023), la define como “Las redes inteligentes son redes eléctricas que utilizan tecnologías digitales, sensores y software para adaptar mejor la oferta y la demanda de electricidad en tiempo real, minimizando los costos y manteniendo la estabilidad y confiabilidad de la red”.

La Red Eléctrica Inteligente constituye una red eléctrica que incorpora tecnologías, operaciones y medidas inteligentes, como medidores inteligentes, electrodomésticos inteligentes, recursos de energía renovable, vehículos eléctricos y programas de eficiencia energética. Estas redes inteligentes permiten obtener información en tiempo real, gracias al empleo de tecnologías de la información y comunicación. La diferencia entre las redes eléctricas inteligentes y las redes tradicionales radica en el intercambio bidireccional de información y energía dentro de la red eléctrica (Refaat et al., 2021).

Los propósitos de implementar servicios innovadores junto con el monitoreo inteligente, control, comunicación y procesamiento en las Redes Eléctricas Inteligentes, según los autores Refaat et al. (2021), son los siguientes:

- Mejorar el funcionamiento del sistema con la participación de los clientes.
- Ofertar información a los clientes para participar el mercado energético.
- Reducir el impacto ambiental en la generación de energía.
- Buscar mejorar la eficiencia, la calidad y la seguridad en el sistema eléctrico.
- Mejorar la calidad del servicio y reducción de costos en electricidad.

2.2.1 Infraestructura de Comunicación en una Smart Grid

El funcionamiento de una Smart Grid requiere de una infraestructura de comunicación para garantizar la reducción del consumo energético, la implementación de la red eléctrica inteligente y la coordinación entre los componentes de la Smart Grid, desde la generación de energía hasta el consumo de los usuarios finales. Entre las tecnologías de comunicación se incluyen la fibra óptica, WLAN, comunicación celular, WiMAX y PLC. A través de este sistema de comunicación, se lleva a cabo la comunicación entre los

2.2.2 Tecnologías de Comunicación en Smart Grid

Una Smart Grid requiere de tecnologías de comunicación, ya sean alámbricas o inalámbricas, que permitan la comunicación bidireccional entre los clientes y el proveedor de energía. En la Tabla 1 se presenta las principales tecnologías de comunicación según el área de operación en una Smart Grid. Dentro de una red de área doméstica (HAN), se destaca la tecnología inalámbrica Wi-Fi debido a su amplia área de cobertura y alta transferencia de datos en comparación con otras tecnologías como Bluetooth, Zigbee y Z-Wave. Esto la convierte en la mejor opción para implementar sistemas de gestión de energía en entornos residenciales.

Tabla 1

Tecnologías de comunicación alámbricas e inalámbricas en Smart Grid.

Tecnología	Cobertura	Transferencia de datos	Red
Tecnologías de comunicación cableadas			
Ethernet	Hasta 100m	10Mbps-10Gbps	HAN y NAN
PLC	Hasta 3km	10-500 kbps	NAN
Fibra óptica	Hasta 100 km	10Gbps	WAN
Tecnologías de comunicación inalámbricas			
Bluetooth	100-200m	Hasta 2 Mbps	HAN
Zigbee	0-100m	Hasta 256 Kbps	HAN
Z-Wave	0-30m	40 Kbps	HAN
Wi-Fi	0-250m	54Mbps	HAN
LoRa	Hasta 15 km	Hasta 37.5 Kbps	NAN y WAN

GSM/GPRS	Hasta 50 km	512 Kbps	NAN y WAN
----------	-------------	----------	-----------

Fuente: Obtenido de (N. Singh & Paliwal, 2022).

2.3 Smart Home (Hogar Inteligente)

La implementación de varias tecnologías, como una red de comunicación, equipos domésticos de alta tecnología, electrodomésticos inteligentes y sensores, compone un Hogar Inteligente. Esto permite a una persona realizar funciones de monitoreo, control y acceso de forma remota. Las tecnologías de comunicación se integran con varios servicios a fin de brindar al hogar un funcionamiento seguro, confortable, económico y con ahorro de energía (Marques et al., 2022).

Según los autores Li et al. (2021), el Smart Home u Hogar Inteligente, ofrece considerables beneficios, entre los que destacan: gestión energética eficiente, mejores servicios de atención médica domiciliaria, ahorros financieros y benéficos, y, calidad de vida mejorada.

Para que un dispositivo implementado en el Smart Home se considere inteligente, necesita comunicarse con otro dispositivo para trabajar de manera efectiva. Estos dispositivos pueden ser un asistente de voz, un smart home hub, tablet o celular, los cuales interactúan por medio de las comunicaciones inalámbricas. Wi-Fi es la opción más popular, permitiendo a los dispositivos conectarse inalámbricamente a internet a través del router del hogar. Otros métodos utilizados son Bluetooth, Z-Wave y Zigbee (Vandome, 2020).

2.3.1 Dispositivos Inteligentes

En la Tabla 2, se presentan un resumen de la clasificación de dispositivos utilizados en el Smart Home. En la categoría de Energía e Iluminación, la cual se enfoca en la gestión

y ahorro de energía en los hogares, se encuentran varios enchufes inteligentes comerciales que utilizan diferentes métodos de comunicación inalámbrica, como Wi-Fi, Zigbee y Z-Wave. Estos dispositivos cuentan con varias funciones para el ahorro de energía, tales como el control remoto de dispositivos, programación de encendido y el monitoreo de energía.

Tabla 2

Clasificación de dispositivos utilizados en Smart Hogar.

Categoría	Dispositivos	Dispositivos comerciales
Monitoreo de acceso	<ul style="list-style-type: none"> • Puertas de garaje inteligentes • Cerraduras de puertas y ventanas inteligentes 	August Wi-Fi Smart Lock, Tapo T110 Smart Contact Sensor
Gestión de incidentes	<ul style="list-style-type: none"> • Detector de humo inteligente 	Kidde P4010ACS-WF Smoke Alarm, XS01-WX Wi-Fi Smoke Alarm
Energía e iluminación	<ul style="list-style-type: none"> • Enchufes inteligentes • Monitores de energía para el hogar • Termostatos inteligentes 	TP-Link KP115 y TP15 Smart WiFi Plug, Sonoff S31 y S31 Lite Wi-Fi Smart Plug, SS31 Lite ZB Smart Plug, Minoston Z-Wave MP21Z
Dispositivos médicos	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección de datos médicos y monitoreo de la salud • ECG 	Frontier X2 Smart Heart Monitoring Device, OVIIN Portable Heart Rate Monitor

	<ul style="list-style-type: none"> • Oxímetro de pulso • Monitor de presión arterial 	
Otros	<ul style="list-style-type: none"> • TV inteligente 	Smart TV Samsung S90C,
Dispositivos	<ul style="list-style-type: none"> • Nevera congeladora • Microondas inteligente 	Refrigerador LG LS66MXN

Fuente: Adaptado de (Choukou & Syed-Abdul, 2021).

2.4 Internet de las Cosas

Se define al Internet de las Cosas (IoT) como una red de objetos físicos que se conectan mediante internet, interactuando entre sistemas embebidos, redes de comunicación, mecanismos de computación de respaldo y aplicaciones en la nube. Esto permite que los objetos se comuniquen entre sí, accedan a información del internet, capturen y almacenen datos, e interactúen tanto con los humanos como con otros sistemas y aplicaciones, creando ambientes más conectados e inteligentes. El Internet de las Cosas ha generado la convergencia de tecnologías inalámbricas, redes de datos, dispositivos inteligentes y el internet (Muñoz, 2019).

El IoT presenta diversas aplicaciones en sectores como la industria, la empresa, la salud, la infraestructura, la energía, la cadena de suministros y la logística, aportando el apellido “inteligente” a diferentes servicios y actividades, como por ejemplo, redes inteligentes, hogar inteligente, transporte inteligente, entre otros. Las redes y la energía inteligente permiten a las redes eléctricas el envío de información, monitoreo de fallos y la optimización del consumo energético. A esto se suma el contador inteligente que ofrece servicios de lectura remota del consumo en hogares, y provee información en tiempo real a los usuarios para la toma de decisiones orientadas a un ahorro energético (Aguilar, 2021).

2.4.1 Arquitectura IoT de la ITU

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) sugiere un modelo de arquitectura de cuatro capas, como se muestran en la Figura 4, la cual está dividida en la capa de aplicación, la capa de apoyo a servicios y aplicaciones, la capa de red y la capa de dispositivos. A través de este modelo de referencia y el trabajo en conjunto de cada capa, los objetos inteligentes permiten la implementación de diversas aplicaciones IoT.

Las funciones correspondientes a cada una de las capas, según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (2012), las define de la siguiente manera:

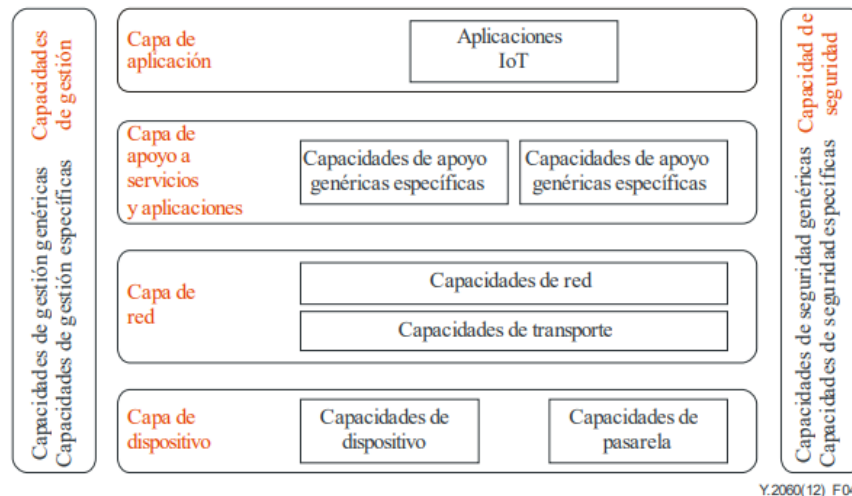
1. Capa de aplicación: se encuentran los servicios y aplicaciones IoT para el usuario.
2. Capa de apoyo a servicios y aplicaciones: en esta capa están presentes las capacidades de almacenamiento y procesamiento de datos. Asimismo, contiene las capacidades independientes para cada aplicación IoT.
3. Capa de red: incluye funciones de control de conectividad en la red, como el control de acceso y recursos de transporte, autenticación, autorización y contabilidad (AAA). Además, la conectividad para el transporte de información en una aplicación IoT.
4. Capa de dispositivos: presenta capacidades como la interacción directa e indirecta con la red de comunicación, haciendo uso o no de las capacidades de pasarela. Esta última se refiere a las diferentes tecnologías alámbricas o inalámbricas para la conexión de dispositivos y la conversión de protocolos cuando estos sean diferentes, en la comunicación de la capa de dispositivo y la de red. Además, cuenta con capacidades de creación de redes ad-hoc y mecanismos de ahorro energético.

Capacidades de gestión: orientada a la gestión de dispositivos, actualizaciones de software o firmware, gestión de la topología de red local y del tráfico.

Capacidades de seguridad: son capacidades de seguridad en las capas de aplicación, red y dispositivos. Estas capacidades son independientes de la aplicación.

Figura 4

Arquitectura IoT según la UIT.



Fuente: Obtenido de (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2012).

2.4.2 Internet de las Cosas en las Smart Grid Residenciales

Uno de los componentes esenciales de una Smart Grid es el Smart Home, ya que permite optimizar el consumo de energía, mejorando la confiabilidad y efectividad de la red eléctrica. El Smart Home es el resultado de la implementación de tecnologías de información y comunicación, tales como sensores inteligentes, enchufes inteligentes, sistemas de medición avanzado, electrodomésticos inteligentes y el Internet de las Cosas (Zafar et al., 2020).

El modelo de arquitectura IoT para Smart Grid Residenciales se muestra en la Figura 5. La operación conjunta de cada una de las capas permite que los objetos inteligentes recolecten información del mundo físico y lo envíen hacia los servicios alojados en la nube

a través de comunicaciones alámbricas o inalámbricas y los protocolos de comunicación. El resultado de todo eso son las aplicaciones IoT enfocadas a una correcta gestión y ahorro energético residencial.

Las funciones de las capas de la arquitectura IoT presentada en la Figura 5, según autores Viswanath et al. (2016), son las siguientes:

1. Capa de dispositivos: conformada por dos subcapas. La primera, denominada subcapa de cosas, incluye sensores, actuadores, enchufes inteligentes, medidores y electrodomésticos inteligentes que permiten la recolección de información y control de dispositivos. La subcapa de pasarela contiene microcontroladores y módulos de comunicación, posibilitando la conexión con los componentes de la subcapa de cosas.
2. Capa de red: permite la conexión de los componentes de la capa de dispositivos con la capa de aplicación a través de comunicaciones, ya sean alámbricas o inalámbricas como Bluetooth, Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave, LoRa, 2G, 3G y LTE.
3. Capa de gestión en la nube: esta capa alberga servicios en la nube que posibilita el almacenamiento, procesamiento y acceso a la información. También incluye funciones de autenticación, gestión de usuarios y gestión de los datos del consumidor. Como se muestra en la Tabla 3, los modelos de servicios en la nube como SaaS, PaaS e IaaS permiten la creación e implementación de diversas aplicaciones IoT según las necesidades de los desarrolladores. Existen varios proveedores de servicios en la nube; entre los más destacados para aplicaciones IoT se encuentran Microsoft Azure, Amazon Web Services y Google Cloud Platform.

Tabla 3*Modelos de servicios en la nube.*

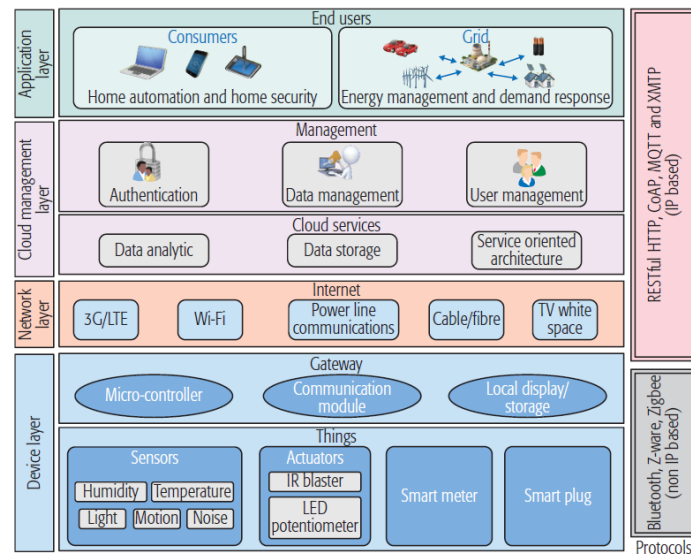
Modelo	Descripción	Ejemplos
SaaS	Software como Servicio, el servicio se ejecuta en la nube por lo que el cliente no necesita instalar la aplicación ni es responsable del mantenimiento de la infraestructura.	Microsoft Office 365, Google Drive, Facebook
PaaS	Plataforma como Servicio, el proveedor ofrece una plataforma que permite al cliente desarrollar sus propias aplicaciones. Es responsable del alojamiento y control de las aplicaciones, pero no del mantenimiento de infraestructura.	Microsoft Azure, Amazon Web Services, Google Cloud IoT
IaaS	Infraestructura como Servicio, el proveedor de servicios en la nube (CSP) otorga al cliente capacidades de procesamiento, almacenamiento, redes y otros recursos que el cliente demande para la ejecución del software. La gestión de infraestructura es responsabilidad del CSP.	Amazon Web Services, Microsoft Azure y Eucalyptus

Fuente: Obtenido de (Martínez et al., 2020).

4. Capa de Aplicación: proporciona servicios a los usuarios finales, como el monitoreo y gestión del consumo de energía en el hogar, respuesta a la demanda de energía, gestión de electrodomésticos y el control de tarifa en el sistema de una Smart Grid.

Figura 5

Arquitectura IoT para Smart Grid Residenciales.



Fuente: Obtenido de (Viswanath et al., 2016).

2.4.3 Tecnologías Inalámbricas para el IoT

Las tecnologías inalámbricas permiten establecer la conexión y envío de información entre los dispositivos IoT y los servicios en la nube. Debido a sus numerosas ventajas, como la movilidad, el acceso a lugares remotos, gran alcance y su fácil instalación, han ganado un gran terreno en el despliegue de aplicaciones IoT. Existen varias tecnologías inalámbricas como Bluetooth, Wi-Fi, Zigbee, Lora, 2G/3G/4G y WiMAX. Cada una presenta características diferentes, como la velocidad de transmisión, frecuencia de operación, alcance y cobertura. La elección de estas tecnologías dependerá de los requerimientos específicos de cada aplicación IoT. A continuación, se describen las principales tecnologías inalámbricas en redes WPAN y WLAN:

Bluetooth: es una tecnología de transmisión de corto alcance y estándar en redes inalámbricas 802.15, utilizado en las Redes de Área Personal (WPAN). Opera en la banda de frecuencia de 2.4 GHz para la transmisión. Bluetooth es una red inalámbrica de bajo alcance que posibilita la interconexión de dispositivos entre sí. Una de sus características es la transmisión de voz o datos entre dispositivos en un rango que va de los 10 a 100 metros (Aguilar, 2021). Sus dos últimas generaciones, Bluetooth 4.0 y Bluetooth 5.0, ofrecen velocidades de transmisión de 1 Mbps y 2 Mbps respectivamente.

Zigbee: protocolo de comunicaciones inalámbricas de bajo consumo basando en el estándar IEEE 802.15.4, diseñado para su aplicación en Redes de Área Personal (PAN). Es adecuado para aplicaciones domóticas debido a sus propiedades de bajo consumo, topología tipo malla y su fácil integración. Contiene dos versiones (Zigbee Pro y Zigbee 3.0). Entre sus principales características se incluye la conexión de máximo de 6535 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos, menor consumo que Bluetooth, operación en la banda de frecuencia de 2.4 GHz y velocidades de hasta 250Kbps. (Schmidt, 2022).

Z-Wave: es una tecnología de comunicación de RF de baja potencia para aplicaciones de automatización del hogar. Permite comunicaciones confiables y de baja latencia con una tasa de datos de hasta 100 kbit/s. La frecuencia a la que opera Z-Wave es la banda de los sub-1 GHz. La topología de red es tipo malla, con una conexión de hasta 232 dispositivos. Entre sus principales características destacan la operación en la banda de 900 MHz, alcance de 30 metros y velocidades de 9.6, 40 y 100 kbit/s (Muñoz, 2019).

Wi-Fi: es una de las tecnologías inalámbricas más populares debido a sus grandes prestaciones. Sus principales características incluyen una alta tasa de transmisión de datos, operación en bandas de frecuencia no licenciadas de 2,4 GHz y 5 GHz, basada en el estándar

IEEE 802.11 y la capacidad de conexión de varios dispositivos dentro de una Red de Área Local (Aguilar, 2021). Sin embargo, Wi-Fi presenta algunas desventajas frente a otras tecnologías inalámbricas, como un mayor consumo de energía que Zigbee. Además, está su limitada área de cobertura, por lo que no considera como la mejor opción en aplicaciones de espacios abiertos (Politi, 2022).

Las versiones del estándar 802.11 se presentan en la Tabla 4. A medida que estas versiones han ido evolucionando, las capacidades de velocidad también lo han hecho. Es así como las versiones más recientes ya alcanzan los Gbps, tal es el caso de 802.11ac y 802.11ax. A esto también se suman versiones con operación en bandas múltiples de 2,4 GHz y 5 GHz.

Tabla 4

Versiones del estándar IEEE 802.11.

Estándar	Velocidad	Frecuencia
IEEE 802.11b	11 Mbps	2,4 GHz
IEEE 802.11a	54 Mbps	5 GHz
IEEE 802.11g	54 Mbps	2,4 GHz
IEEE 802.11n	600 Mbps	2,4 GHz y/o 5 GHz
IEEE 802.11ac	7 Gbps	5 GHz
IEEE 802.11ax	9.6 Gbps	2,4 GHz y/o 5 GHz

Fuente: Obtenido de (Alloza, 2021).

2.4.4 Protocolos IoT para la Comunicación

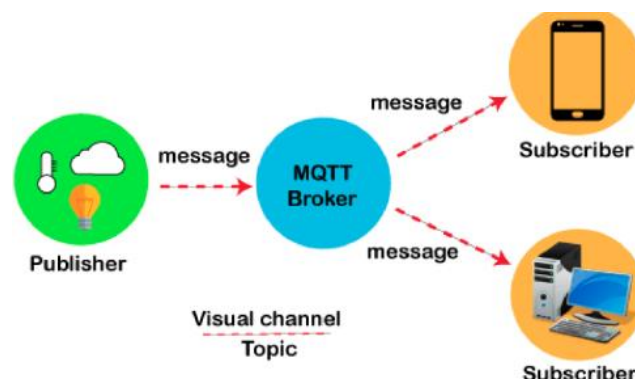
En el Internet de las Cosas, los dispositivos IoT requieren de protocolos que permite establecer la comunicación por medio de internet con los servicios en la nube. De esta

manera, los sensores u objetos envían información y reciben instrucciones por medio del internet (V. P. Singh et al., 2023). Entre los principales protocolos IoT para la comunicación se encuentran los siguientes.

MQTT: Es un protocolo orientado a la conectividad Machine-to-Machine (M2M), óptimo en aplicaciones que requieran poco ancho de banda y bajo consumo de recursos. Posee un patrón de comunicación publicador/subscriptor y se basa en la pila TCP/IP. En términos de seguridad, se pueden proteger las comunicaciones adoptando medidas como el transporte SSL/TLS, autenticación de usuarios y la implementación de certificados (Candel, 2020). La arquitectura de MQTT se presenta en la Figura 6, la cual consta de un broker y los clientes. El broker, realiza el registro de los clientes y establece la comunicación siguiendo el patrón de publicación y suscripción de mensajes, los cuales están clasificados en temas o topics. De esta manera, cuando el broker recibe un mensaje con un tema específico, lo distribuye a todos los clientes suscritos a dicho tema (Pizarro Peláez, 2020).

Figura 6

Arquitectura MQTT.



Fuente: Obtenido de: (López, 2023).

COAP: Es un protocolo utilizado en aplicaciones IoT que permite a los sensores de baja potencia cumplan con sus limitaciones de energía. A diferencia de MQTT, CoAP se construye sobre UDP. Su arquitectura se divide en dos subcapas principales: la primera es la de mensajería, que se encarga de la confiabilidad de los mensajes, y la segunda subcapa de solicitud/respuesta, responsable de la comunicación (Muñoz, 2019).

HTTP: El protocolo HTTP es utilizado en aplicaciones del Internet de las Cosas debido a su capacidad para distribuir una gran cantidad de datos. Sin embargo, presenta algunos puntos desfavorables en estas aplicaciones, como una corta duración de batería y la falta de ahorro energético. Este protocolo está basado en el patrón de comunicación de solicitud y respuesta (Midhun Moorthi, 2023).

2.5 Recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) para Smart Grid y HEMS

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha elaborado diversas recomendaciones relacionadas al Smart Grid. Entre ellas, destaca la familia UIT-T G.990x, que se centra en el soporte de conectividad y comunicaciones en las redes eléctricas inteligentes. Notables ejemplos de estas normativas incluyen ITU-T G.9901, ITU-T G.9902, ITU-T G.9903 y ITU-T G.9904, las cuales se centran en las especificaciones de la capa física (PHY) y la capa enlace de datos (DLL) para tecnologías PLC de Banda Estrecha (NB-PLC) utilizadas en redes G.hnem, G3-PLC y PRIEM. Además, existen recomendaciones enfocadas a los sistemas de gestión de energía domésticas (HEMS). Un ejemplo relevante es la normativa ITU-T G.9958, que detalla las funcionalidades de los componentes y las configuraciones de las redes domésticas para la implementación efectiva de una HEMS. Las configuraciones de red propuestas en esta normativa, garantizan una comunicación segura

entre los componentes de un sistema de gestión de energía doméstica (medidor inteligente, electrodomésticos gestionados por HEMS, Gateway residencial, entre otros). Además, reducen los riesgos de vulneración a la red de servicios públicos (red implementada por una empresa para el monitoreo, gestión y facturación de energía eléctrica) a través de la red doméstica.

Capítulo III: Diseño del Sistema

En el presente capítulo del trabajo de titulación, se lleva a cabo el diseño del sistema, apoyándose en la metodología “Modelo en Cascada”. Dicha metodología facilita la ejecución de un proceso lineal y secuencial dividido en diferentes fases. Esto permite establecer los requerimientos de hardware y software, el desarrollo del diseño, la implementación y las pruebas de funcionamiento del sistema propuesto.

3.1 Metodología

El desarrollo del sistema se basa en la metodología “Modelo en Cascada”. Esta metodología permite dividir el proceso de forma estructurado, adecuado y secuencial en cuatro fases: requerimientos, diseño, implementación y pruebas. En la primera fase, denominada “Requerimientos”, se establecerán los requerimientos de hardware y software de acuerdo con las necesidades del sistema. A continuación, en la segunda fase, “Diseño”, se centrará en todo el proceso para el diseño del sistema, basado en los requerimientos establecidos en la primera fase. Una vez que el sistema esté correctamente diseñado, se procede a la tercera fase, llamada “Implementación”. Durante esta fase, se llevará a cabo la implementación del sistema en un hogar específico. Finalmente, en la fase de “Pruebas”, se realizarán todas las pruebas y validaciones del correcto funcionamiento del sistema.

3.2 Análisis

En la presente sección se realiza la recopilación de información necesaria para establecer los requerimientos del sistema. A través del método de encuesta presentado en el Anexo A, se recaba información relacionada con los diversos factores que intervienen en los niveles de consumo energético residencial de una determinada población. Toda esta información recopilada servirá para proponer una solución enfocada al ahorro energético en

los hogares. La encuesta se lleva a cabo en el Conjunto Residencial Belgrano, ubicado en la ciudad de Ibarra, Barrio Santa Lucía del Retorno, en las calles Arupo y Santa Lucía. Actualmente, el conjunto residencial cuenta con 8 casas terminadas y habitadas, pero se espera que el número total de viviendas, una vez finalizado el proyecto de construcción, alcance las 21. La segunda fase está en progreso con 6 viviendas en construcción, mientras que la construcción de las 7 casas restantes está planificada para la tercera etapa del proyecto del Conjunto Residencial Belgrano.

3.2.1 Situación Actual

En Ecuador, según el Ministerio de Energía y Minas en 2023, uno de los sectores con mayor demanda energética fue el sector residencial, representando el 13,5% del total, ubicándose solo por debajo de los sectores de transporte e industrial. Por otro lado, el promedio mensual del consumo residencial para el mismo año se situó en 143,36 kWh. El estado ha elaborado el Plan Nacional de Eficiencia Energética, cuyo objetivo principal es fomentar el uso adecuado de la energía mediante programas y proyectos orientados a mejorar la eficiencia energética en los sectores asociados a la oferta y demanda de energía.

Una Red Eléctrica Inteligente o Smart Grid es una red eléctrica moderna que, mediante la implementación de tecnologías de información y comunicación, permite la interacción entre los diferentes componentes de una red eléctrica, desde la generación, transmisión, distribución de energía hasta los usuarios finales, dando como resultado una red eléctrica eficiente y segura. Sin embargo, en Ecuador, la introducción del Smart Grid depende de un plan de instauración tecnológica y acciones políticas para lograr el desarrollo de una Red Eléctrica Inteligente. Aunque en el año 2013 ya se publicó el Programa de Redes Inteligentes de Ecuador (REDIE), los retos a los que se enfrenta el sector eléctrico

ecuatoriano son varios, como la implementación de un sistema dinámico de precios, incentivos a las energías renovables no convencionales (ERNC), la introducción del concepto “prosumer” (usuarios generadores y consumidores de energía) en marcos legales, costos de adquisición y despliegue de tecnología, entre otros (Ponce Jara, 2019).

La situación actual del usuario consumidor de energía eléctrica es muy limitada, ya que solo puede conocer el consumo mensual del hogar al final de cada mes. A esto se suman los riesgos de tener fallos de lectura del medidor eléctrico residencial. Sin embargo, con una Infraestructura de Medición Avanzada (AMI), que es uno de los elementos principales de una Smart Grid, las lecturas del consumo de energía se pueden realizar a diario, ofreciendo una lectura más exacta y en tiempo real mediante la implementación de medidores inteligentes (smart meter). No obstante, los programas de ahorro y eficiencia energética siguen estando en el área del consumidor, por lo que este es responsable de ejercer medidas que promuevan el ahorro de energía.

3.2.2 Encuesta

La recolección de información acerca de los hábitos de consumo eléctrico en los hogares y cómo estos intervienen en los niveles de consumo energético, se realiza utilizando la técnica de encuesta. La encuesta está centrada en temas como los hábitos de consumo eléctrico, los electrodomésticos de mayor consumo, las acciones de ahorro energético, la confiabilidad en la toma de lectura del consumo eléctrico mensual por parte de la empresa eléctrica, el interés en programas, medidas y aplicaciones tecnológicas orientadas al ahorro energético, entre otros aspectos. La encuesta es realizada a los propietarios de las viviendas del Conjunto Residencial Belgrano, ubicado en la ciudad de Ibarra.

El número total de hogares en este conjunto es de 8, por lo que el número de propietarios es el mismo. Sin embargo, debido a que este número no es demasiado alto, se omite la necesidad de calcular una muestra de la población total y, en su lugar, se propone realizar la encuesta a cada uno de los propietarios de las viviendas ubicadas en el Conjunto Residencial Belgrano. El formato de la encuesta aplicada a los propietarios de las viviendas del conjunto residencial se presenta en el Anexo A.

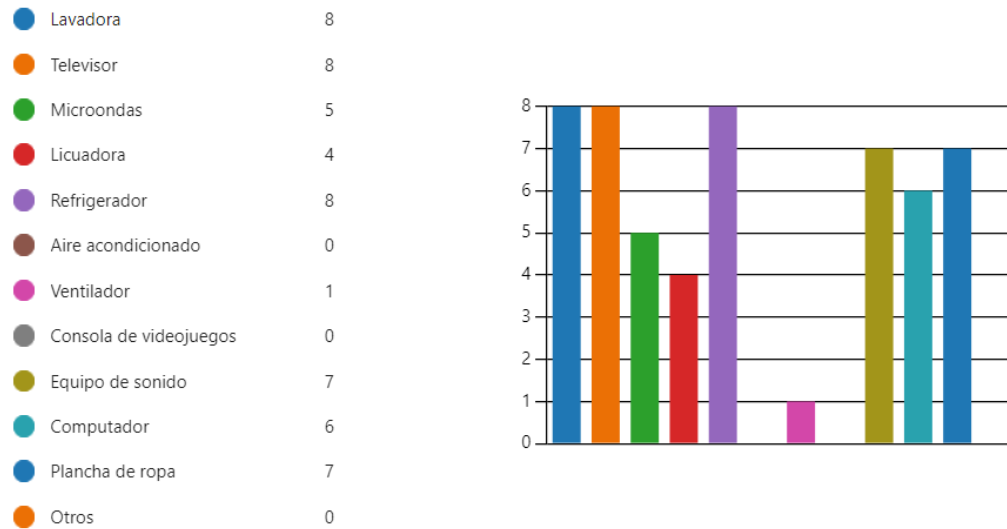
3.2.3 Tabulación

A partir de la encuesta aplicada a los dueños de las viviendas del conjunto residencial, la cual se detalla en el Anexo A, se recaba información sobre los diversos factores que intervienen en los niveles del consumo energético residencial, la confiabilidad en la lectura del medidor eléctrico y el interés por parte de los encuestados en la aplicación de sistemas orientados al ahorro energético. Se plantean un total de 14 preguntas a los 8 propietarios del Conjunto Residencial Belgrano, que definen las necesidades y funcionalidades del sistema planteado.

En resumen, se determina que los encuestados presentan varios electrodomésticos en sus hogares, destacando la lavadora, televisor, refrigerador, equipo de sonido y plancha de ropa, mismos que están presente en la mayoría de las viviendas encuestadas. Por lo tanto, a partir del uso responsable y orientado al ahorro energético de los electrodomésticos, se puede disminuir los niveles de consumo eléctrico de dichos aparatos. Los resultados previamente analizados, se presentan en la Figura 7.

Figura 7

Resultados de la encuesta aplicada a los dueños de las viviendas.



Por otro lado, un 62% de los encuestados afirma que no desconectan los electrodomésticos después de haberlos utilizado; al contrario, estos permanecen constantemente conectados a la red eléctrica. Mientras que solo un 38% afirma que si aplica esta medida ahorrativa de energía. Por lo tanto, es importante un sistema que permita reducir el consumo energético utilizado por los electrodomésticos presentes en el hogar y evitar consumos innecesarios de energía. Los resultados previamente descritos se presentan en la Figura 8.

Figura 8

Resultados de la encuesta aplicada a los dueños de las viviendas.

¿Desconecta los dispositivos eléctricos después de haberlos utilizado?

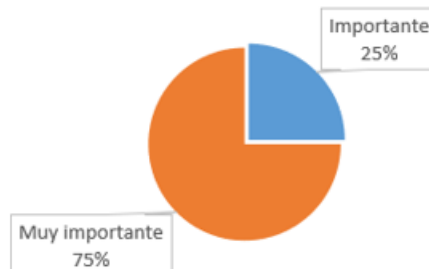


De acuerdo con los resultados presentados en la Figura 9, un 75% de los encuestados afirma que es muy importante tener un sistema de monitoreo en los hogares que permita al usuario apagar los dispositivos eléctricos remotamente, en cualquier lugar y momento, evitando cualquier derroche de energía. Por lo tanto, es fundamental que el sistema permita ejecutar esta medida de ahorro energético para los usuarios.

Figura 9

Resultados de la encuesta aplicada a los dueños de las viviendas.

¿Qué tan importante cree usted que sería tener un sistema que le permita apagar sus dispositivos eléctricos desde cualquier lugar y en cualquier momento para ahorrar energía?

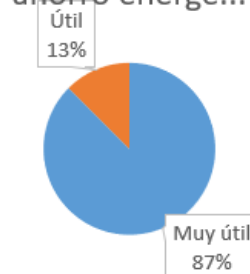


Según los resultados presentados en la Figura 10, se determina que un 87% de los encuestados considera muy útil un sistema que presente información del consumo eléctrico general del hogar. Por lo tanto, es importante que el sistema muestre el avance del consumo eléctrico general del hogar a usuario, permitiéndole ejecutar medidas y acciones enfocadas a un ahorro energético.

Figura 10

Resultados de la encuesta aplicada a los dueños de las viviendas.

¿Qué tan útil cree usted que sería un sistema que presente información sobre el avance de su consumo eléctrico del hogar, a fin de poder implementar medidas y acciones que generen un ahorro energé...



Para un análisis más detallado de los resultados y la tabulación de la encuesta, consulte el Anexo B.

3.2.4 Descripción General del Sistema

El diseño del sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico para hogares basado en el Internet de las Cosas se presenta en la Figura 11. El esquema general del sistema está dividido en cuatro bloques, cada uno con sus propias funcionalidades, que en conjunto presentan una solución concreta. El propósito del sistema es permitir al usuario monitorear y gestionar el consumo eléctrico general del hogar y de los electrodomésticos presentes en él,

a fin de ejecutar medidas enfocadas en el ahorro y eficiencia energética. La funcionalidad de cada bloque se detalla a continuación.

El primer bloque, denominado “bloque de adquisición de datos de consumo eléctrico”, está compuesto por un nodo ubicado en el tomacorriente del hogar y tiene la función de medir el consumo energético de cualquier dispositivo eléctrico conectado a este nodo. Para llevar a cabo este proceso, el nodo hace uso de sensores que realicen las lecturas de variables eléctricas como voltaje, corriente, potencia y energía. Además, un segundo nodo permite la toma de medidas del consumo eléctrico general del hogar (medidor inteligente), el cual se ubica entre el medidor proporcionado por la empresa eléctrica y el tablero de distribución eléctrica de la residencia. Los datos recolectados por los sensores serán procesados por un microcontrolador y luego enviados a los servicios alojados en la nube a través del Wi-Fi. Se plantea el uso de tecnología inalámbrica Wi-Fi debido a sus características favorables como su amplia área de cobertura, su alta transferencia de datos y alta disponibilidad en los hogares, lo que la convierte en la mejor opción para la implementación del sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico en un entorno residencial. Los nodos del bloque de adquisición de datos de consumo eléctrico realizan el envío de información y reciben instrucciones a través de internet mediante el protocolo MQTT. Este protocolo presenta un bajo consumo de recursos, requiere de poco ancho de banda y tiene la capacidad de permitir la comunicación bidireccional entre los nodos y la nube. Esta última característica es primordial, ya que posibilita a los nodos ejecutar las acciones de gestión que realiza el usuario

El segundo bloque llamado “bloque de transmisión”, contiene el Gateway encargado de la conectividad Wi-Fi a los nodos. Este bloque actúa como intermediario entre los nodos

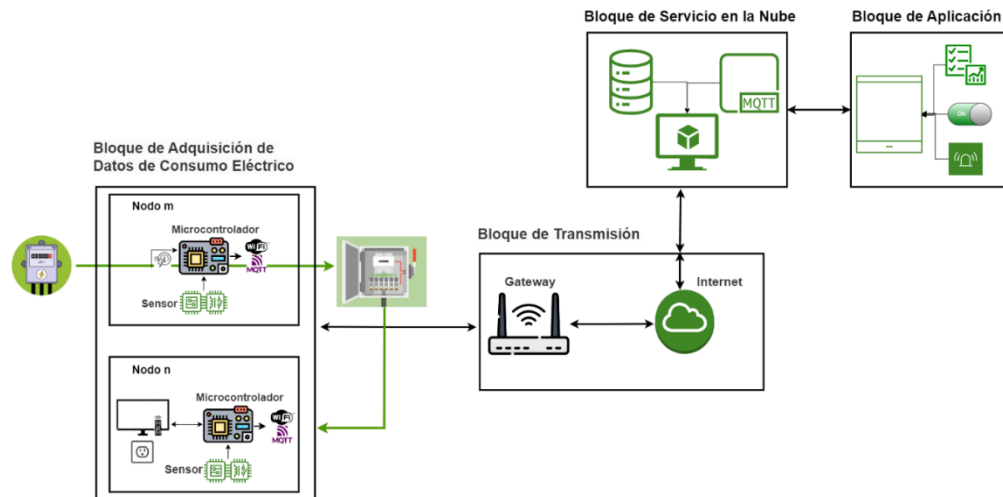
y la nube, ya que se encarga de transportar la información recolectada por los nodos hacia los servicios alojados en la nube a través del internet.

El tercer bloque, denominado “bloque de servicio en la nube”, incluye una máquina virtual en la nube, que aloja los servicios de base de datos para el almacenamiento de los datos correspondientes al consumo eléctrico recolectado por los nodos. También incluye el bróker Mosquitto MQTT, encargado de gestionar la publicación y suscripción de temas, elegido por ser un software de código abierto y ligero, capaz de correr en microcomputadores hasta grandes servidores, y con soporte para varios sistemas operativos. Finalmente, la máquina virtual también alberga la plataforma responsable de la gestión de los nodos y la visualización de los datos del consumo eléctrico.

El bloque final, llamado “bloque de aplicación”, corresponde a la interfaz web y móvil, desde la cual el usuario puede gestionar los nodos, visualizar los datos del consumo eléctrico y configurar alarmas generadas por un consumo eléctrico inusual de un dispositivo eléctrico conectado al nodo.

Figura 11

Esquema General del Sistema.



3.3 Requerimientos del Sistema

En esta sección se aborda la primera fase de la metodología en cascada denominada “Requerimientos”. Esta fase plantea determinar los requerimientos del usuario, del sistema y de la arquitectura, los cuales son fundamentales para el desarrollo del sistema. Para llevar a cabo este proceso, se hace referencia al estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2018. En la Tabla 5 se presenta la nomenclatura relacionada con los requerimientos del sistema, que incluye los requerimientos de los Stakeholders, sistema y de la arquitectura.

Tabla 5

Nomenclatura de los requerimientos del sistema.

Requerimiento	Abreviatura
Stakeholders	StRS
Sistema	SyRS
Arquitectura	SRSR

3.3.1 Listado de Stakeholders

En la Tabla 6 se presenta el listado de los Stakeholders, que son las personas o grupos que participan de manera directa o indirecta en el desarrollo del proyecto. Es muy importante identificar a estos individuos o grupos, ya que de sus necesidades surgen los requerimientos para el desarrollo del sistema y se pueda cumplir los objetivos del proyecto. A continuación, se detallan los Stakeholders y la función de cada uno de ellos en el desarrollo del proyecto.

Tabla 6

Descripción de Stakeholders

Stakeholders	Función
Martínez Morocho Juan Diego	Desarrollador del proyecto
MSc. Cuzme Rodríguez Fabián Geovanny	Director del proyecto
MSc. Domínguez Limaico Hernán Mauricio	Asesor del proyecto
Residentes del hogar	Usuarios del sistema

3.3.2 Requerimientos de Stakeholders

Una vez identificadas las personas involucradas en el desarrollo del proyecto, en la Tabla 7 se presentan los requerimientos de los Stakeholders, los cuales se definen de acuerdo con las necesidades de las partes interesadas. Esto garantiza que el sistema satisfaga y cumpla con las expectativas de los involucrados. Cada uno de los requerimientos contiene un grado de prioridad, clasificado como alta, media y baja.

Tabla 7*Requerimientos de los Stakeholders*

#	Requerimientos	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
Requerimientos: StRS - Operacionales					
StRS1	Los nodos deben tener un tamaño reducido		X		
StRS2	La alimentación eléctrica de los nodos debe ser de 5 voltios		X		
StRS3	La comunicación entre los nodos y el Gateway debe ser inalámbrica	X			
StRS4	Los nodos deben tener una conexión a internet las 24 horas del día	X			
Requerimientos: StRS – Usuarios					
StRS5	El sistema debe presentar los datos del consumo eléctrico a través de una interfaz web y móvil		X		
StRS6	El usuario puede realizar la gestión remota de los nodos	X			SyRS7
StRS7	El sistema debe alertar al usuario en caso de que el nodo detecte un consumo eléctrico inusual de los electrodomésticos conectados a dicho nodo	X			

StRS8	La interfaz del usuario debe permitir el acceso al historial de los datos almacenados	X	SyRS2
StRS9	La información presentada a los usuarios debe ser sencilla y comprensible	X	

3.3.3 Requerimientos del Sistema

Los requerimientos del sistema transforman las necesidades y expectativas operativas de los usuarios en una solución técnica. Estos requerimientos también abordan los límites, funcionalidades y el rendimiento del sistema para cumplir con los requisitos de las partes interesadas. En la Tabla 8, se especifican los requerimientos del sistema con su respectivo grado de prioridad, clasificados como alto, medio y bajo.

Tabla 8

Requerimientos del sistema.

#	Requerimientos	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
Requerimientos de Uso					
SyRS1	La interfaz web y móvil debe ser intuitiva para la interacción entre el usuario y la aplicación	X			StRS5
SyRS2	Interfaz web y móvil fácil de usar para que el usuario pueda acceder a la información	X			StRS8

	almacenada y en tiempo real de los consumos eléctricos		
SyRS3	La interfaz web y móvil debe permitir la configuración de alertas en caso un consumo eléctrico inusual de los electrodomésticos conectados al nodo	X	StRS7
Requerimientos de Rendimiento			
SyRS4	El bloque de adquisición de datos de consumo eléctrico debe proporcionar mediciones correctas de las variables eléctricas	X	
SyRS5	La información recolectada por el bloque de adquisición de datos de consumo eléctrico debe ser almacenada en una base de datos alojada en la nube	X	
SyRS6	El sistema debe estar disponible la mayor parte del tiempo para que los usuarios puedan acceder a la información	X	
SyRS7	El sistema debe responder de manera precisa a las acciones y peticiones realizadas por el usuario	X	StRS6
SyRS8	El Gateway debe tener una conexión a internet las 24 horas del día	X	StRS4

Requerimientos de Estados			
SyRS9	El sistema debe permitir la gestión remota del nodo donde estará conectado un electrodoméstico	X	StRS6
Requerimientos Físicos			
SyRS10	Los nodos deben de tener un diseño compacto	X	StRS1
SyRS11	El nodo encargado de la medición del consumo eléctrico de un electrodoméstico puede estar instalado en cualquier tomacorriente del hogar	X	
SyRS12	El nodo encargado de la medición del consumo general del hogar debe estar instalado entre el medidor de la empresa eléctrica y el tablero de distribución eléctrica del hogar.	X	
Requerimientos de Seguridad			
SyRS13	Los nodos deben estar completamente sellados para evitar accidentes eléctricos a los usuarios	X	
SyRS14	Las conexiones de los componentes electrónicos deben realizarse	X	

	correctamente para evitar accidentes eléctricos	
SyRS15	Los nodos deben ser instalados de forma segura para evitar riesgos eléctricos	X

3.3.4 Requerimientos de Arquitectura

En la Tabla 9 se muestran los requerimientos de arquitectura, los cuales están relacionados con los componentes de hardware y software necesarios para el desarrollo del proyecto. Estos requerimientos son una pieza clave en el desarrollo del sistema, ya que serán de gran utilidad para realizar la selección de los materiales y el software que comprenderán el diseño del sistema.

Tabla 9

Requerimientos de arquitectura.

#	Requerimientos	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
Requerimientos Lógicos					
SRSH1	El sistema debe tener una comunicación bidireccional entre la aplicación del usuario y el servicio de gestión alojado en la nube	X			StRS6

SRSH2	El lenguaje de programación debe ser compatible con los sensores y el microcontrolador	X	
SRSH3	Disponibilidad de librerías para la funcionalidad de los sensores y microcontroladores	X	
SRSH4	El microcontrolador debe ser compatible con los sensores	X	
Requerimientos de Diseño			
SRSH5	El sistema debe tener un costo de implementación bajo		X
SRSH6	Los nodos deben tener cobertura Wi-Fi al Gateway para la comunicación	X	StRS3
Requerimientos de Hardware			
SRSH7	El sensor debe de contar con capacidades de lectura de múltiples parámetros eléctricos	X	
SRSH8	El sensor debe soportar una entrada de alimentación de 5 voltios	X	StRS2
SRSH9	El sensor debe ser capaz de soportar altos rangos de lectura de corriente y voltaje	X	
SRSH10	El microcontrolador debe tener pines de entrada y salida de datos digitales	X	

SRSH11	El microcontrolador debe soportar una alimentación de 5 voltios	X	StRS2
SRSH12	El microcontrolador debe poseer un módulo de comunicación inalámbrica	X	StRS3
Requerimientos de Software			
SRSH13	Lenguaje de programación debe ser de código abierto	X	SRSH2
SRSH14	Los servicios implementados en la nube deben ser de código abierto	X	
Requerimientos de Software – Proveedor de Servicio en la Nube (CSP)			
SRSH15	El CSP debe ofrecer servicios de máquinas virtuales	X	
SRSH16	El CSP debe ofrecer funciones de seguridad	X	
SRSH17	El CSP debe ofrecer una variedad de SO para implementar	X	
SRSH18	El CSP debe presentar una versión gratuita	X	
Requerimientos de Software – Base de Datos			
SRSH19	La base de datos debe permitir una lectura y escritura rápida de los datos	X	
SRSH20	La base de datos debe permitir la integración con la interfaz de	X	

	administración y visualización de los datos		
Requerimientos de Software - Plataforma de Desarrollo de Interfaz			
SRSH21	La plataforma de desarrollo de la interfaz debe tener la capacidad para implementar funciones avanzadas	X	
SRSH22	La plataforma de desarrollo de la interfaz debe permitir la interconexión de varios dispositivos IoT		X
SRSH23	La plataforma de desarrollo debe permitir la integración con el servicio de base de datos	X	
Requerimientos de Software - Sistema Operativo (SO)			
SRSH24	El SO debe ser estable	X	
SRSH25	El SO debe ser open source		X
SRSH26	El SO debe ser compatible con el servicio de la base de datos	X	
SRSH27	El SO debe ser compatible con el servicio de desarrollo de la interfaz web	X	
Requerimientos Eléctricos			
SRSH28	Convertidor de voltaje de 120v AC a 5v DC para alimentar a los componentes electrónicos de los nodos	X	StRS2

3.4 Selección de Hardware y Software

En esta sección se realiza la elección de los componentes de hardware y software necesarios para el desarrollo del sistema propuesto. La elección de cada uno de ellos está relacionada con los requerimientos previamente determinados (Stakeholders, sistema y arquitectura).

La parte de hardware incluye los sensores que realizan la toma de datos de las variables eléctricas (voltaje, corriente, potencia y consumo), así como el microcontrolador encargado del procesamiento de los datos obtenidos por los sensores y el envío de esta información hacia los servicios alojados en la nube.

Por otro lado, los componentes software están relacionados con los servicios a implementar en la máquina virtual alojada en la nube. Se opta por el modelo de computación en la nube “Infraestructura como Servicio (IaaS), el cual permite desplegar todos los servicios necesarios del sistema, como la base de datos, el bróker MQTT y la interfaz web y móvil para la visualización de los datos y la gestión remota de los nodos planteados en sistema.

Para la selección de los componentes de hardware y software, se utiliza un proceso de calificación a fin de garantizar el cumplimiento de los requerimientos previamente planteados. Cada componente es calificado con un valor de “1” si cumple con los requerimientos establecidos, y con un valor de “0” en caso contrario. Se elige aquel que tenga un mayor número de puntuación.

3.4.1 Elección de Hardware

La elección de los componentes de hardware se realiza con base en los requerimientos de arquitectura previamente establecidos en la tabla 9. Esta sección aborda la selección de los sensores y microcontroladores. Cada uno de estos componentes son indispensables, ya que su trabajo en conjunto dará lugar al resultado final de los nodos propuestos para el sistema.

3.4.1.1 Elección del Sensor

En este apartado se lleva a cabo la elección del sensor encargado de la recolección de datos de las variables eléctricas (voltaje, corriente, potencia y energía). Es importante destacar que el sensor seleccionado puede ser utilizado en el diseño de los dos nodos propuestos en el bloque de adquisición de datos del consumo eléctrico, y debe ser capaz de medir múltiples variables eléctricas.

En la Tabla 10 se presentan cuatro modelos de sensores encargados de la medición de los parámetros eléctricos. Algunos de estos modelos solo son capaces de realizar la medición de una variable eléctrica de las cuatro requeridas. Por lo tanto, el sensor a elegir debe cumplir con estrictas condiciones, ya que es una pieza clave en el desarrollo del sistema.

Tabla 10

Elección del sensor.

Hardware	Requerimientos			Total
	SRSH7	SRSH8	SRSH9	
ACS712	0	1	1	2
SCT-013	0	1	1	2

FZ0430	0	1	0	1
PZEM-004T	1	1	1	3
Cumple "1"				
No cumple "0"				

Basándose en los resultados presentados en la Tabla 10, se elige al módulo sensor PZEM-004T. Sus características cumplen con los requerimientos establecidos, al ser capaz de medir múltiples variables eléctricas (voltaje, corriente, potencia y consumo). Además, su alimentación de 5 voltios es muy favorable, ya que coincide con el voltaje que se alimentará a los componentes electrónicos de los nodos propuestos en el sistema.

PZEM-004T

El módulo sensor PZEM-004T, mostrado en la Figura 12, permite el monitoreo de diversos parámetros eléctricos como corriente, voltaje, potencia, frecuencia y el factor de potencia, tanto para corriente alterna como directa, ofreciendo una precisión de medición de grado 1. Con unas dimensiones de 7.3cm x 3cm, es un módulo pequeño pero versátil. Posee una interfaz de comunicación serial TTL (UART) y es compatible con diversos microcontroladores (Arduino Uno, Arduino Nano, ESP8266 y ESP32). Debido a sus características y facilidad de uso, se emplea en diversas aplicaciones relacionadas con el control y monitoreo de energía eléctrica.

Figura 12

Módulo sensor PZEM 004-t



Fuente: Obtenido de (Kim Ceda, 2022).

En la Tabla 11 se presentan las características del PZEM-004T, destacando los altos rangos de medición de corriente y voltaje, su tamaño reducido y un peso ligero de 65 gramos.

Tabla 11

Características del sensor PZEM-004t.

Parámetro	Valor
Voltaje de funcionamiento	80-260 V
Corriente nominal	0 – 100 A
Temperatura de funcionamiento	-25 a +70 °C
Peso	65g
Dimensiones	7.3cm x 3cm

Fuente: Obtenido de (Radionov & Gasiyarov, 2023).

3.4.1.2 Elección de Microcontrolador

En el desarrollo del sistema, el microcontrolador es responsable del procesamiento de los datos recolectados por los sensores, así como del envío de la información hacia los servicios alojados en la nube a través de internet mediante su conexión Wi-Fi con el Gateway. Además, tiene la función de ejecutar las acciones generadas por los usuarios, como la activación o desactivación remota de los nodos donde está conectado un electrodoméstico.

En la Tabla 12 se presentan cuatro modelos de microcontroladores como Arduino, ESP32 y ESP8266. La elección de este componente electrónico depende del puntaje de votación que cada uno obtenga y la cual está basada en los requerimientos que estos cumplan.

Tabla 12

Selección del microcontrolador.

Hardware	Requerimientos				Total
	SRSH4	SRSH10	SRSH11	SRSH12	
Arduino Nano	1	1	1	0	3
Arduino Uno	1	1	1	0	3
ESP32	1	1	1	1	4
ESP8266	1	1	0	1	3
Cumple "1"					
No cumple "0"					

Con base a los resultados de la Tabla 12, se selecciona al microcontrolador ESP32 para el diseño de los nodos, ya que cumple con todos los requerimientos establecidos. Por

ejemplo, el voltaje de alimentación del ESP32 coincide con el voltaje que se suministra a los componentes del nodo. Además, el microcontrolador cuenta con un módulo inalámbrico integrado (Wi-Fi), lo que lo hace ideal para el diseño de los nodos propuestos.

ESP32

En la Figura 13 se presenta el microcontrolador ESP32, el cual es un módulo de bajo costo diseñado por el fabricante Espressif Systems, que integra comunicaciones inalámbricas como Wi-Fi y Bluetooth, lo que lo hace muy popular en aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT). Entre sus principales características se destaca un procesador de doble núcleo capaz de funcionar a frecuencias de hasta 240 MHz, una memoria SRAM de 512 kB, capacidades de comunicación Wi-Fi y Bluetooth, 34 pines de entrada/salida y una alimentación de 3,3 V o 5 V.

Figura 13

ESP32.



Fuente: Obtenido de (Beer, 2021).

3.4.2 Elección del Software

En este apartado se presenta la selección de los componentes de software necesarios para el desarrollo del sistema, los cuales tienen que ver con el Proveedor de Servicios en la Nube (CSP), el sistema operativo para el despliegue de la máquina virtual que contendrá los

servicios necesarios para el desarrollo del sistema y la plataforma de desarrollo de la interfaz web y móvil para administración y visualización de los datos. Por otro lado, también se selecciona la base de datos encargada del almacenamiento de los datos enviados por los nodos.

3.4.2.1 Elección de Proveedor de Servicios en la Nube

El Proveedor de Servicios en la Nube (CSP) ofrece el servicio de cloud computing. En este caso, se requiere el modelo de Infraestructura como Servicio (IaaS) para el despliegue de diversos servicios alojados en la nube que solicita el sistema propuesto. Existen varias opciones; sin embargo, las más populares y que han tenido gran acogida en el desarrollo de aplicaciones IoT se muestran en la Tabla 13. Estas opciones son Amazon Web Services, Microsoft Azure y Google Cloud Platform. La elección de una de ellas depende de la puntuación que obtenga, la cual está basada en los requerimientos que cumpla.

Tabla 13

Proveedor de Servicios en la Nube (CSP).

CSP	Requerimientos				Total
	SRSH15	SRSH16	SRSH17	SRSH18	
Amazon Web Services	1	1	1	1	4
Microsoft Azure	1	1	1	1	4
Google Cloud Platform	1	1	1	1	4
Cumple "1"					
No cumple "0"					

Los resultados de la Tabla 13 muestran a los tres proveedores de servicios en la nube: AWS, Microsoft Azure y Google Cloud, con un puntaje igualado. Sin embargo, en la Tabla 14 se presentan las principales características de estas plataformas relacionadas con el servicio de máquinas virtuales, basadas en el trabajo realizado por los autores (Wankhede et al., 2020), quienes presenta un análisis comparativo entre AWS, Azure y GCP.

Tabla 14

Comparativa entre las plataformas en la nube Amazon Web Services, Microsoft Azure y Google Cloud Platform.

	Amazon Web Services	Microsoft Azure	Google Cloud Platform
Tipos de SO de servidor	Linux, Windows	Linux, Windows	Linux, Windows
SO preconfigurado	<ul style="list-style-type: none"> • Amazon Linux • CentOS • Debian • Oracle Linux • Red Hat Linux • Ubuntu • Windows Server 	<ul style="list-style-type: none"> • CentOS • Debian • Ubuntu • Red Hat Linux • Windows Server 	<ul style="list-style-type: none"> • CentOS • FreeBSD • Debian • Oracle Linux • Ubuntu • Windows Server

Fuente: Adaptado de (Wankhede et al., 2020).

Para el desarrollo del sistema se selecciona Amazon Web Services como el Proveedor de Servicio en la Nube, debido a que presenta un mayor número de SO preconfigurados en

comparación con Azure y GCP. Además, ofrece mayores contribuciones al modelo Infraestructura como Servicio (IaaS) de computación en la nube.

3.4.2.2 Elección de Plataforma de desarrollo de la Interfaz Web y Móvil

En esta sección se aborda la elección de la plataforma para el desarrollo de la interfaz web y móvil, la cual es responsable de la administración y visualización de los datos. A través de la interfaz, el usuario puede ejecutar varias funciones sobre el bloque de adquisición de datos de consumo eléctrico, como la gestión remota del nodo de medición del consumo eléctrico de un electrodoméstico, la visualización de los datos del consumo eléctrico recolectado por los nodos y la consulta de los datos históricos almacenados en la base de datos. En la Tabla 15 se presentan cuatro opciones de plataformas que realizan estas funciones. La elección de una de ellas depende del número de requerimientos que cumpla, garantizando así la mejor opción acorde a los requerimientos de arquitectura planteados en la Tabla 9.

Tabla 15

Elección de Plataforma de desarrollo de la Interfaz Web y Móvil.

Software	Requerimientos					Total
	SRSH21	SRSH22	SRSH23	SRSH24	SRSH14	
Node-RED	1	1	1	0	1	4
Ubidots	1	0	1	1	0	3
Blynk	1	0	1	0	0	2
Home Assistant	1	1	1	1	1	5
Cumple “1”						

No Cumple “0”

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Tabla 15 sobre la plataforma de desarrollo de la interfaz web y móvil, se selecciona a Home Assistant debido a sus características de open source y la fácil creación de paneles de control para el monitoreo de sensores y creación de automatizaciones.

Home Assistant

Home Assistant es un software utilizado en las automatizaciones del hogar y domótica. Se caracteriza por ser un software libre y de código abierto, además de integrar más de 650 componentes que permiten la interacción con elementos del mundo físico como luces, sensores, interruptores, relés, entre otros. Este software también permite la integración de tecnologías como MQTT y ZigBee. Por otro lado, tiene la capacidad de crear paneles de control donde se presentan información acerca de sensores, admite la creación de automatizaciones y proporciona una administración y monitoreo de energía consumida en el hogar. (Roy et al., 2017). Home Assistant soporta un estilo de lenguaje de programación “YAML”, el cual, a través del archivo de configuración *.yaml* permite crear, configurar y almacenar automatizaciones.

3.4.2.3 Elección de Base de Datos

Una base de datos es una colección de datos estructurada que facilita el almacenamiento y gestión de la información. En el sistema propuesto, la base de datos es la encargada del almacenamiento de los datos enviados por los nodos (consumos eléctricos),

permitiendo al usuario el acceso a los datos históricos correspondientes a los consumos eléctricos de cada nodo.

En la Tabla 16 se presentan diferentes opciones de base de datos utilizadas en el desarrollo de aplicaciones IoT para el almacenamiento de datos generados por los dispositivos conectados. Ejemplos de estos son bases de datos NoSQL como MongoDB y las bases de datos de series temporales como InfluxDB, caracterizada por el almacenamiento de datos con una estructura: valor – marca de tiempo.

Tabla 16

Elección de la base de datos.

Software	Requerimientos				Total
	SRSH19	SRSH20y	SRSH5	SRSH14	
MongoDB	1	0	1	1	3
InfluxDB	1	1	1	1	4
Cumple “1”					
No cumple “0”					

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Tabla16 , se elige como base de datos a InfluxDB, al presentar funciones que alinean con los requerimientos del sistema propuesto. Por ejemplo, tiene la facilidad de la integración con la plataforma de Node-RED y Home Assistant para la escritura y lectura de los datos almacenados. Además, InfluxDB, al a ser una base de datos de series temporales, permite el análisis de los datos en tiempo real, una características primordial en el despliegue de aplicaciones IoT.

InfluxDB

InfluxDB es una base de datos desarrollada por InfluxData y de código abierto. Se caracteriza por ser una base de datos de series temporales, lo que significa que los datos se representan mediante puntos a lo largo del tiempo. Entre los beneficios que posee InfluxDB se destacan su alta disponibilidad, escalabilidad y una rápida lectura/escritura de datos. Por otro lado, posee un lenguaje de consulta similar al SQL. Debido al almacenamiento de datos en series temporales, tiene varias aplicaciones en campos como el monitoreo de operaciones, Internet de las Cosas (IoT) y análisis de datos en tiempo real (Wu et al., 2018).

3.4.2.4 Elección del Sistema Operativo

A continuación, se realiza la elección del sistema operativo a utilizar en la máquina virtual alojada en la nube. En la Tabla 17 se presentan varias opciones de sistemas operativos, los cuales permiten desplegar los diferentes servicios requeridos en el sistema, como la base de datos, la plataforma de interfaz del usuario y el bróker MQTT. En este sentido, es muy importante seleccionar aquel SO que sea compatible y permita el despliegue de los servicios mencionados anteriormente.

Tabla 17

Elección del Sistema Operativo.

CSP	Requerimientos				Total
	SRSH25	SRSH26	SRSH27	SRSH28	
Windows Server	1	0	1	1	3
Ubuntu	1	1	1	0	3
Debian	1	1	1	1	4

CentOS	1	1	1	0	3
Cumple “1”					
No cumple “0”					

Basado en los resultados obtenidos en la Tabla 17, se selecciona al sistema operativo Debian, ya que tiene las características de ser un SO open source, soporta el servicio de base de datos y la plataforma de interfaz para el usuario. El cumplimiento de cada uno de los requerimientos es indispensable en el desarrollo del sistema.

Debian

Debian es un sistema operativo libre y estable, ampliamente utilizado en el desarrollo de hardware y software, y está basado en el kernel de Linux. Entre sus principales características se encuentran que es software libre y de código abierto, estable y seguro, lo que lo hace adecuado para varios dispositivos como portátiles, ordenadores y servidores. Presenta un soporte de hardware extenso, una instalación sumamente sencilla y un proceso fácil de actualización a una nueva versión. Varias distribuciones de Linux, como Ubuntu, PureOS o Tails están basadas en Debian (Debian, 2024).

3.5 Diseño del Sistema

Con la selección de los componentes de hardware y software en base a los requerimientos del sistema, se inicia con la segunda fase de la metodología en cascada denominada “Diseño”. Dentro de esta fase, se lleva a cabo todos los procesos correspondientes al diseño y desarrollo de las funcionalidades del sistema. En este sentido, se realiza el planteamiento correspondiente al modelo de arquitectura IoT para el sistema, así

como el diagrama de bloques y de flujo, que representan el proceso de funcionalidad del sistema. También se elabora el diagrama de conexión de los componentes de hardware, el cual proporciona información relacionada con la conexión de los componentes electrónicos como sensores y microcontroladores.

Por otro lado, se lleva a cabo la programación de los microcontroladores para la recolección y envío de datos de manera inalámbrica, la instalación de los servicios alojados en la nube como la base de datos, el bróker MQTT, la plataforma para el procesamiento de los datos y la plataforma de gestión y visualización de datos para el usuario. Todo esto con el objetivo de crear la aplicación IoT enfocada en el monitoreo y ahorro de energía eléctrica en los hogares.

3.5.1 Arquitectura IoT del Sistema

El modelo de arquitectura IoT para el Sistema de Monitoreo y Gestión del Consumo Eléctrico para Hogares Basado en el Internet de las Cosas se presenta en la Figura 14, el cual consta de la capa de dispositivos, capa de red, capa de servicio y capa de aplicación. El trabajo en conjunto de cada una de estas capas permite el desarrollo de la aplicación IoT enfocada al monitoreo y gestión del consumo eléctrico residencial. A continuación, se detallan las funcionalidades correspondientes a cada capa.

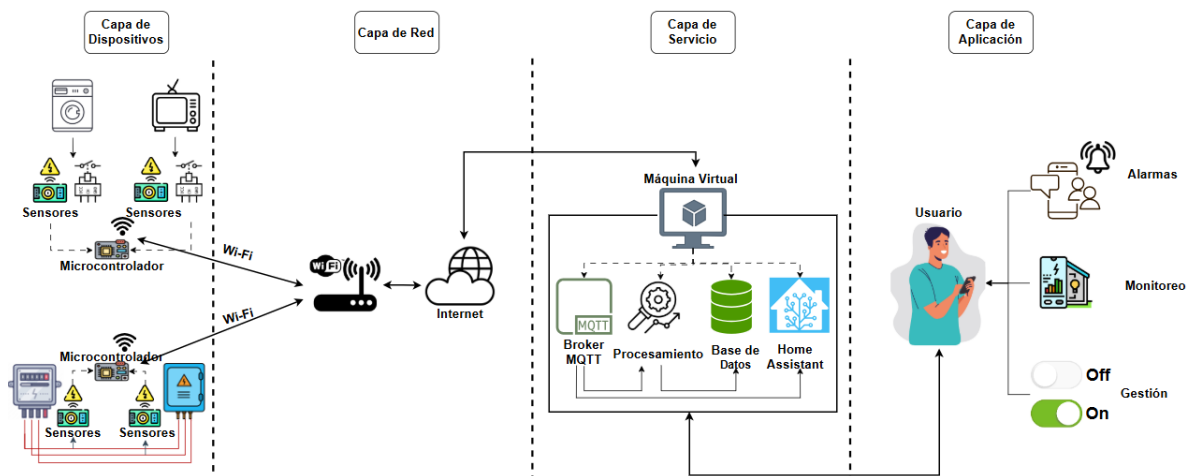
- **Capa de Dispositivos:** En esta capa se encuentran los dispositivos que permiten la recolección de información e interacción con el mundo físico. En este sentido, se encuentran los sensores encargados de la recolección de los consumos eléctricos, los actuadores como relés para la activación y desactivación de un tomacorriente o un circuito presente en el tablero de distribución eléctrica, y finalmente, los

microcontroladores responsables del procesamiento y transmisión de los datos de manera inalámbrica.

- **Capa de Red:** Esta capa es la encargada de llevar a cabo la conexión inalámbrica a través de Wi-Fi entre los componentes de la capa de dispositivos y el Gateway, para luego enviar los datos a los servicios alojados en la nube a través de internet.
- **Capa de Servicio:** Esta capa contempla la computación en la nube, que permite el despliegue de servicios responsables del procesamiento, almacenamiento y visualización de los datos correspondientes al consumo eléctrico general del hogar y de los electrodomésticos.
- **Capa de Aplicación:** Es la capa que proporciona el servicio a los usuarios finales, como el monitoreo del consumo eléctrico residencial y de los electrodomésticos, la gestión remota de los nodos y el servicio de alertas generadas debido a un consumo eléctrico inusual de un electrodoméstico.

Figura 14

Arquitectura IoT del Sistema.



3.5.2 Diagrama de Bloques General del Sistema con los Componentes Seleccionados

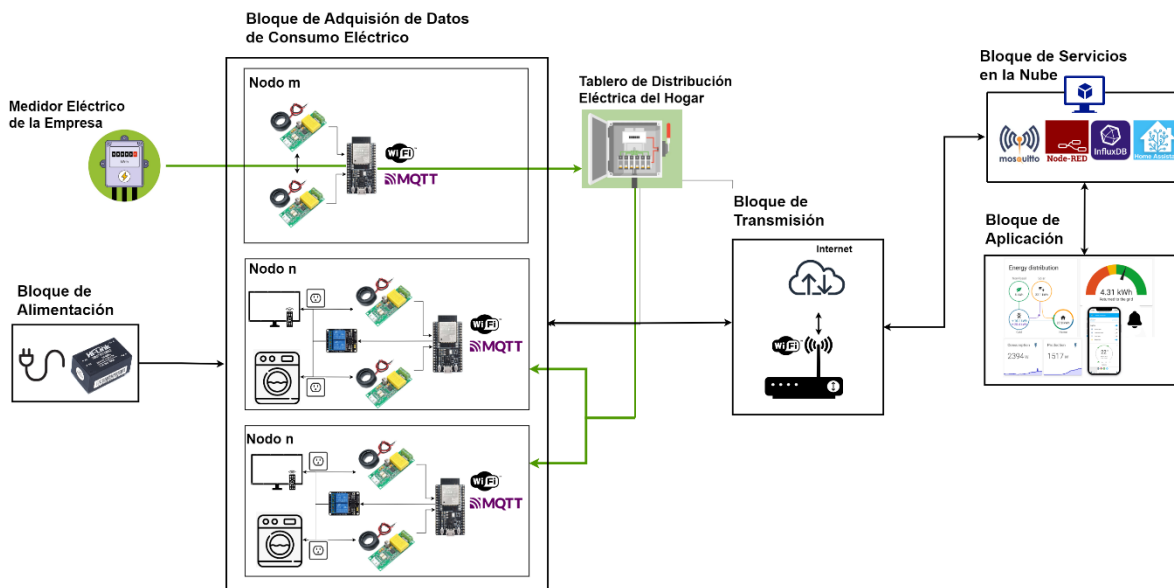
En la Figura 15 se presenta el diagrama de bloques general del sistema con los componentes previamente seleccionados, que representa la funcionalidad del sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico residencial. Dentro de este, se detallan cinco bloques, que, a través de la interconexión de cada uno de ellos, permiten cumplir con el objetivo de funcionalidad del sistema. Los detalles correspondientes a cada bloque se especifican a continuación.

- **Bloque de alimentación:** El bloque de alimentación alberga la mini fuente transformadora de voltaje de 120v AC a 5v DC, requeridos para la alimentación de los componentes electrónicos de los nodos.
- **Bloque de adquisición de datos de consumo eléctrico:** Este bloque es el encargado de la recolección de los datos de las variables eléctricas. En el constan dos nodos: el primero se encarga de medir el consumo eléctrico de los electrodomésticos conectados al nodo, mientras que el segundo permitirá obtener el consumo eléctrico general del hogar y la gestión de los circuitos presentes en el tablero de distribución eléctrica. El sensor PZEM-004T se encuentra conectado al microcontrolador ESP32, que realiza las funciones de procesamiento de los datos obtenidos por los sensores, la activación y desactivación de un módulo relé que responde ante las gestiones remotas del nodo realizadas por el usuario a través del protocolo MQTT. Dicho microcontrolador contiene un módulo inalámbrico Wi-Fi para la comunicación con el Gateway, que se encarga del envío de información hacia los servicios alojados en la nube a través de internet.

- **Bloque de transmisión:** En este bloque se encuentra el Gateway, que se comunica de manera inalámbrica a través de Wi-Fi con los nodos del bloque de adquisición de datos de consumo eléctrico, para luego, mediante una conexión a internet, transmitir estos datos hacia los servicios alojados en la nube.
- **Bloque de Servicios en la Nube:** En este bloque se encuentra el servicio de computación en la nube, que, a través de una máquina virtual contiene los servicios como el bróker Mosquitto MQTT para que los dispositivos del bloque adquisición de datos de consumo eléctrico puedan enviar datos o recibir instrucciones a través del internet. Además, se incluye la base de datos InfluxDB, que realiza la función de almacenamiento de los datos correspondientes al consumo eléctrico de cada nodo. También está presente el servicio de Node-RED, que permite el procesamiento de los datos enviados por los nodos del bloque adquisición de datos de consumo eléctrico a través del protocolo MQTT. Finalmente, se encuentra el servicio de Home Assistant, para el desarrollo de la interfaz de visualización de datos del consumo eléctrico y la gestión de los nodos.
- **Bloque de Aplicación:** En este bloque se encuentra el servicio dirigido al usuario final, el cual representa a la interfaz web y móvil. Desde esta interfaz, el usuario puede verificar el avance del consumo eléctrico general del hogar y de sus electrodomésticos, acceder al historial de los consumos eléctricos almacenados en la base de datos, gestionar de forma remota de los nodos y recibir alertas generadas debido a un consumo eléctrico inusual.

Figura 15

Diagrama de Bloques General del Sistema con los Componentes Seleccionados



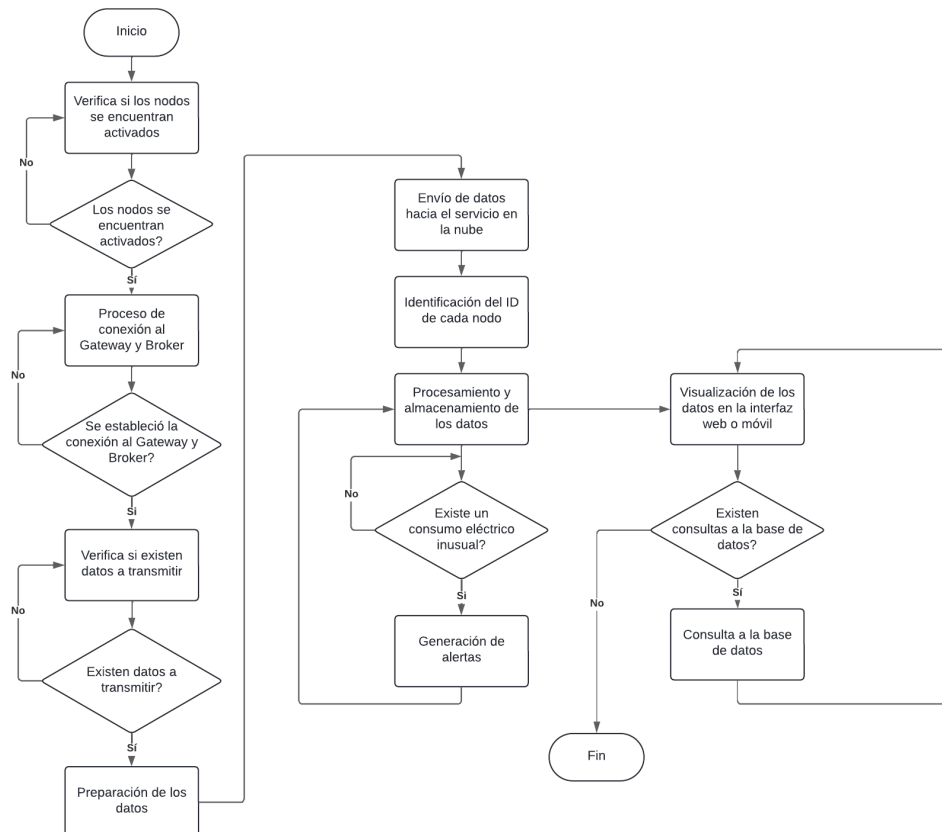
3.5.3 Diagrama de Flujo del Sistema

El funcionamiento general del Sistema de Monitoreo y Gestión del Consumo Eléctrico para Hogares Basado en el Internet de las Cosas se representa mediante el diagrama de flujo detallado en la Figura 16. El sistema contempla dos nodos encargados de la medición del consumo eléctrico de electrodomésticos y otro nodo que mide el consumo eléctrico general del hogar y gestiona los circuitos presentes en el tablero de distribución eléctrica. El proceso comienza verificando si los nodos están activados. Si están activos, se ejecuta el proceso de conexión de los nodos hacia el Gateway y Bróker respectivamente; si la conexión falla, se intenta nuevamente hasta lograr establecerla. Establecida la conexión, se verifica la existencia de datos a transmitir. Si esta condición se cumple, se preparan los datos que son enviados a través de la asignación con los temas o tópicos; caso contrario, el sistema se mantiene en un bucle verificando constantemente la existencia de datos a transmitir. Con los

datos preparados, se procede con el envío de información hacia el servicio alojado en la nube a través de internet, identificando el nodo transmisor mediante un ID para luego realizar el procesamiento y almacenamiento de los datos. Luego, se ejecuta el proceso de verificación de la existencia de un consumo eléctrico inusual; si esta condición se cumple, se genera una alerta; de lo contrario, se mantiene comprobando constantemente esta condición. Finalmente, los datos del consumo eléctrico de cada nodo se visualizan mediante una interfaz web o móvil. Si existen consultas a la base de datos, se ejecuta la petición de la información solicitada por el usuario y se presenta mediante la interfaz de visualización; de lo contrario, el proceso finaliza.

Figura 16

Diagrama de flujo del sistema.

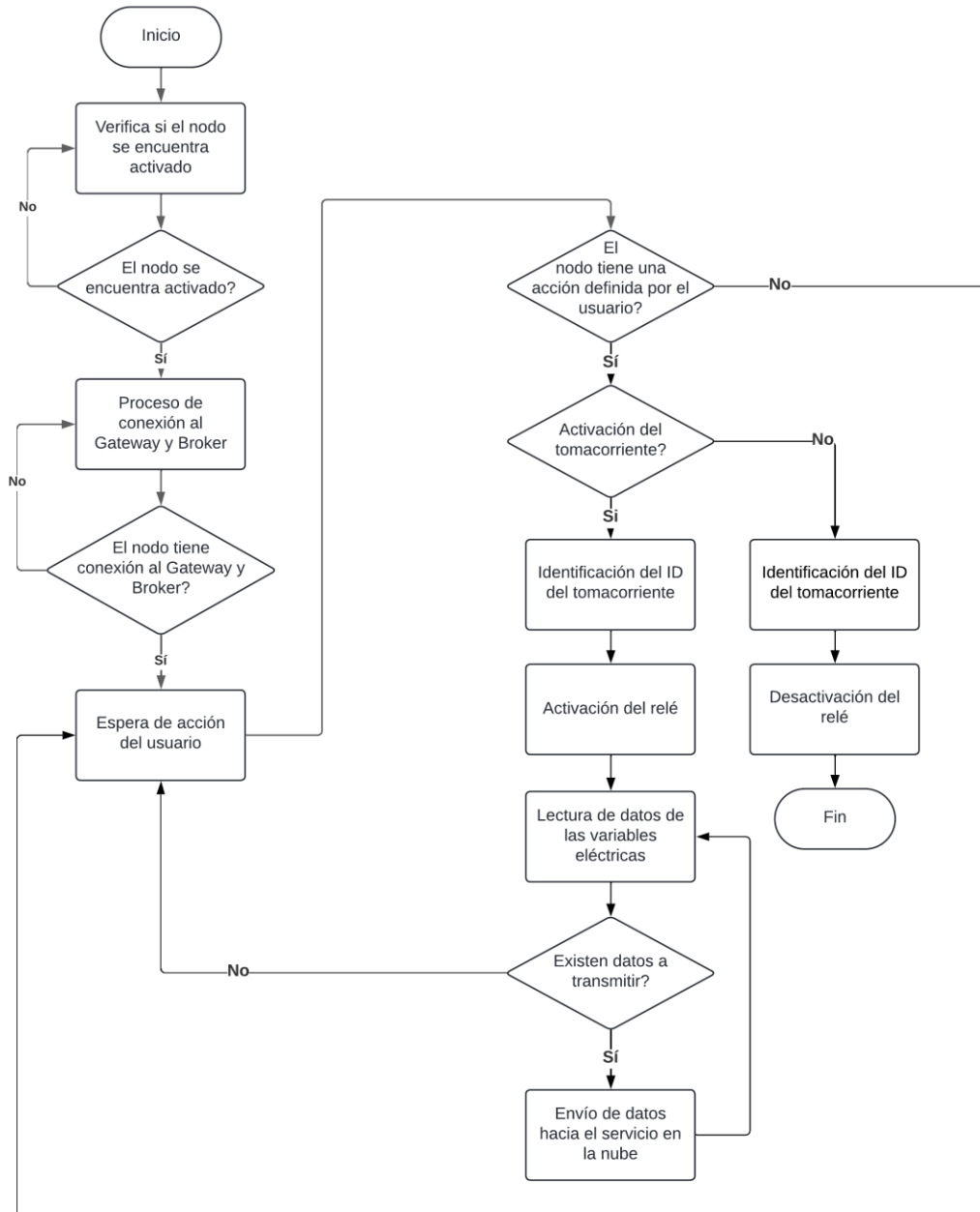


3.5.4 Diagrama de Flujo del Nodo 1

El funcionamiento del nodo 1, encargado de la lectura del consumo eléctrico de un electrodoméstico conectado a dicho nodo se representa en la Figura 17 a través de un diagrama de flujo. El proceso inicia verificando si el nodo se encuentra activado, si no lo está, el nodo permanece apagado. Si está activado, el nodo intenta conectarse al Gateway y Broker. En caso de no establecerse la conexión, se intenta nuevamente hasta tener éxito. Establecida la conexión, el nodo se mantiene en espera de una acción definida por el usuario. Si el usuario, ejecuta una acción, el nodo procede con la identificación de esta. Si la acción corresponde a la activación del tomacorriente, se identifica el ID del tomacorriente y se ejecuta la activación del relé. Luego se realiza la lectura de los datos de las variables eléctricas, y verificación de la existencia de datos a transmitir. Si este condicional es verdadero, se ejecuta el envío de datos hacia el servicio alojado en la nube, manteniéndose en un ciclo continuo hasta que exista una nueva acción definida por el usuario. Por el contrario, si la acción es la desactivación del tomacorriente, se procede con la identificación del ID del tomacorriente y la desactivación del relé, finalizando el proceso.

Figura 17

Diagrama de flujo del nodo 1.

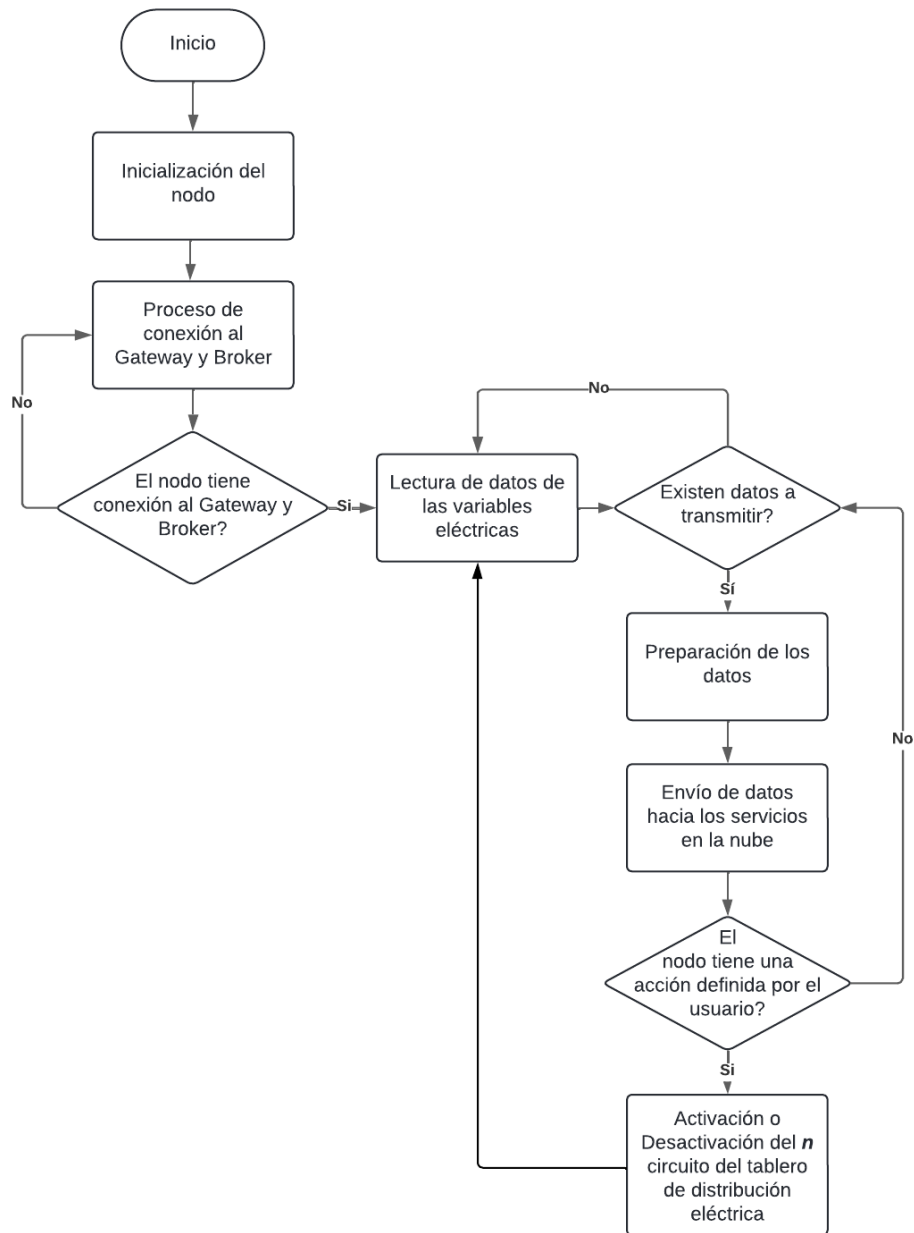


3.5.5 Diagrama de Flujo del Nodo 2

En la Figura 18 se presenta el diagrama de flujo de funcionamiento del nodo 2. El proceso comienza con la inicialización del nodo, luego se ejecuta la fase de conexión del nodo hacia el Gateway y Broker. A continuación, se verifica si se ha establecido una conexión y en caso de que no se cumpla esta condición se vuelve a intentar hasta que el proceso sea exitoso. Con la conexión establecida, se realiza la lectura de las variables eléctricas, para luego verificar si existen datos a transmitir. Si no hay datos, se vuelve a realizar las lecturas. En caso de detectar información disponible, se realiza la preparación y envío de los datos hacia el servicio en alojado en la nube. Luego, se verifica si el nodo tiene una acción definida por el usuario. Si es así, se realiza la activación o desactivación del n circuito eléctrico presente en el tablero de distribución eléctrica del hogar, caso contrario se vuelve al condicional de la existencia de datos a transmitir y el envío de estos a los servicios en la nube.

Figura 18

Diagrama de flujo del nodo 2.



3.5.6 Diagrama de Conexiones del Nodo 1

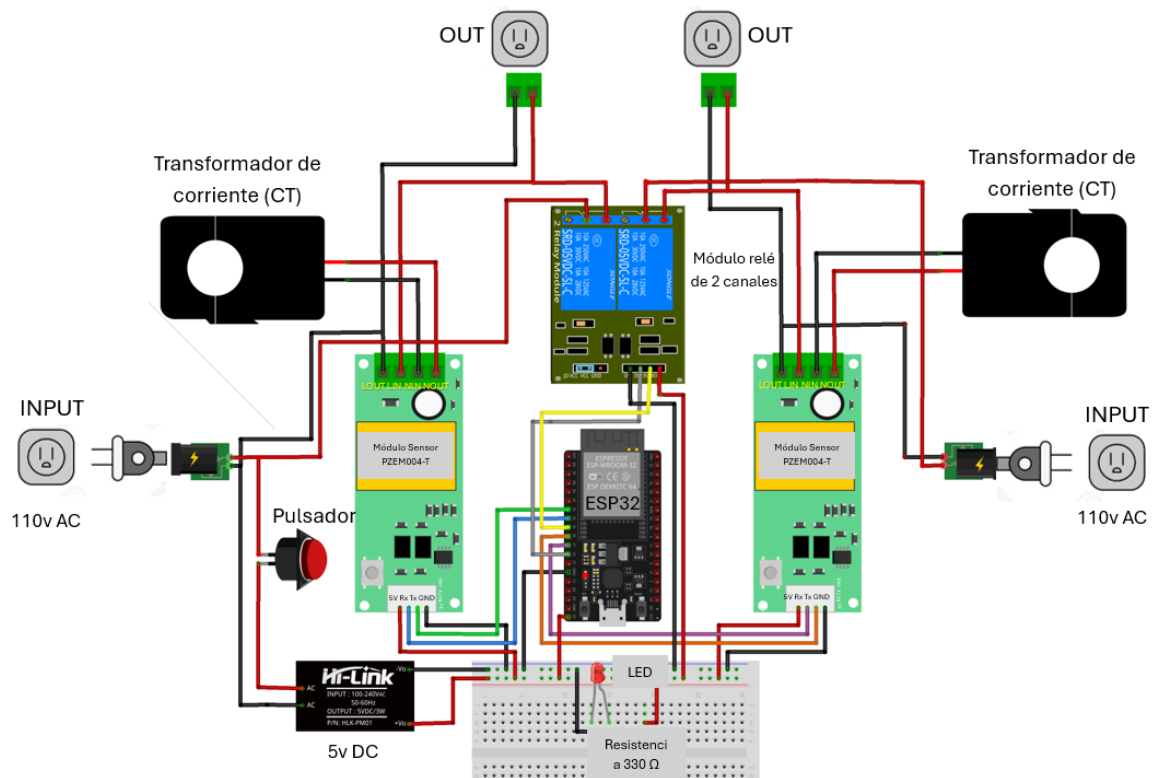
El diagrama de conexiones del nodo 1, encargado de realizar la medición de las variables y consumos eléctricos para los electrodomésticos conectados al nodo, se presenta en la Figura 19. La alimentación del circuito se realiza a partir del tomacorriente, a una

tensión de 110V AC, que es transformada a 5V DC a través del convertidor de voltaje HI-Link PM-01. Esta tensión alimenta al resto de los componentes, como el módulo relé de 2 canales, el microcontrolador ESP32 y los sensores PZEM-004T.

La recolección de datos sobre el consumo eléctrico se realiza en dos tomacorrientes de manera individual, utilizando dos sensores PZEM-004T, que están conectados al microcontrolador ESP32. Además, el módulo relé de dos canales permite abrir o cerrar el paso de corriente eléctrica para cada tomacorriente y está conectado hacia los pines digitales del ESP32. Finalmente, se incorpora un pulsador para la activación o desactivación del nodo, y un LED que indica el estado en el que se encuentra.

Figura 19

Diseño Diagrama de conexiones del nodo 1.



Para realizar el cálculo del valor de la resistencia se aplica la Ley de Ohm la cual se detalla en la Ec. 1. En ella, se consideran las variables de voltaje, corriente y resistencia.

$$R = \frac{V(\text{voltaje})}{I(\text{corriente})} \quad (\text{Ec. 1})$$

Considerando un voltaje de 5V y una corriente de funcionamiento del LED de 20 mA, se reemplaza en la Ec. 1 como se muestra a continuación:

$$R = \frac{5 (V)}{0.02 (A)}$$

$$R = 250 \text{ ohmios } (\Omega)$$

La resistencia necesaria requiere un valor de 250 Ω . Sin embargo, en el mercado no se dispone de resistencias con el valor calculado, por lo cual se elige una resistencia con un valor aproximado, en este caso de 330 Ω .

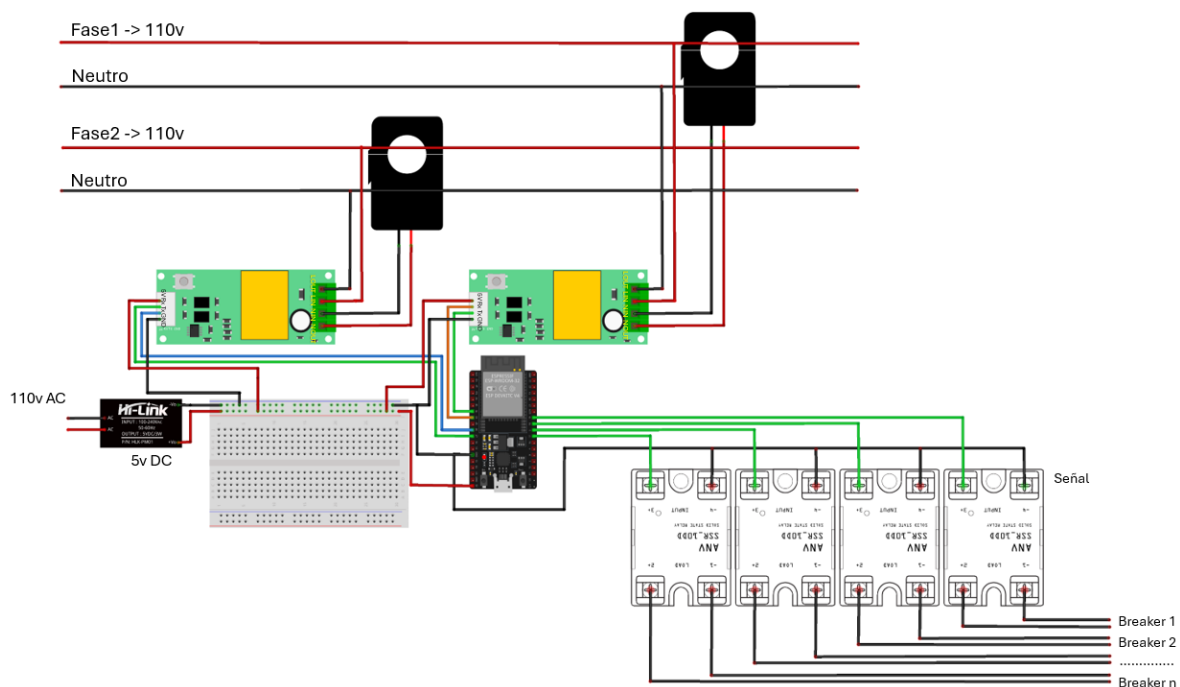
3.5.7 Diagrama de Conexiones del Nodo 2

El nodo 2 se encarga de la medición del consumo eléctrico general del hogar, así como de la gestión de los circuitos eléctricos presentes en el tablero de distribución eléctrica. El diagrama de conexiones que abarca todos los componentes eléctricos y electrónicos se presenta en la Figura 20. En él, se muestra la alimentación del nodo, que es el resultado de la conversión de voltaje de 110V AC a 5V DC a través del convertidor HI-Link PM-01. La salida de tensión de 5V alimenta a los demás componentes, como el microcontrolador, los sensores PZEM-004T y los relés de estado sólido. Estos últimos controlan el paso del flujo eléctrico hacia los breakers, responsables de la alimentación de cada uno de los circuitos eléctricos presentes en el hogar.

Los sensores PZEM004-T realizan la medición individual de cada una de las fases presentes entre el medidor eléctrico de la empresa y el tablero de distribución eléctrica del hogar, donde se instala este nodo. Los pines de comunicación serial de los sensores PZEM004-T están conectados a los pines designados como Tx y Rx del microcontrolador ESP32. Es importante señalar que el pin de Tx del sensor PZEM-004T se conecta con el pin designado como Rx del microcontrolador, y el pin Rx de sensor con el pin Tx del microcontrolador.

Figura 20

Diseño Diagrama de conexiones del nodo 2.



3.5.8 Consumo Energético de los Nodos

En este apartado se analiza el consumo energético de cada nodo, con el objetivo de identificar cuanta energía representa el uso los nodos. En la Tabla 18 se presentan los componentes electrónicos que contiene el nodo 1, como el ESP32, los sensores PZEM004-T

v3, el relé de dos canales y el LED, junto con sus respectivas características eléctricas. Es importante considerar que hay dos sensores, por lo que en el resultado final del consumo del nodo toma en cuenta ambos dispositivos.

Tabla 18

Consumo energético del nodo 1.

Dispositivo	Cantidad	Voltaje (VDC)	Corriente (mA)	Potencia individual (W)	Potencia Total (W)
ESP32	1	5	80	0.4	0.4
Sensor	2	5	20	0.1	0.2
Pzem004-t v3					
Relé de dos canales	1	5	65	0.3	0.3
LED	1	5	20	0.1	0.1
Total			300 mA		1 W

Con los datos obtenidos en la Tabla 18, se determina un consumo total de corriente de 300 mA y una potencia de 1W, considerando un voltaje de 5 V DC. De esta manera, a partir de la Ec. 2, se calcula del consumo energético mensual del nodo 1, considerando un promedio total de 30 días por mes.

$$kWh = kWh / 1000 \quad (\text{Ec. 2})$$

$$kWh / día = 1(W) * 24 (h) / 1000$$

$$kWh / día = 0.024$$

$$kWh / mes = 0.024 * 30 (días)$$

$$kWh / mes = 0.72 kWh$$

El consumo energético del nodo 1 es de 0.72 kWh. Se estima que, en el entorno controlado (vivienda) donde se va a aplicar el sistema, se instalan dos nodos, por lo que el consumo mensual de estos nodos es de 1.44 kWh.

Por otro lado, en la Tabla 19 se detallan los componentes electrónicos referentes al nodo 2, encargado del monitoreo del consumo eléctrico general del hogar y gestión de circuitos. La Tabla 19 incluye el número de dispositivos que conforman el nodo, junto con las características eléctricas de cada uno, de manera que el consumo total de energía considera a los cuatro relés de estado sólido (SSR).

Tabla 19

Consumo energético del nodo 2.

Dispositivo	Cantidad	Voltaje (VDC)	Corriente (mA)	Potencia (W)	Potencia Total (W)
ESP32	1	5	80	0.4	0.4
Sensor	2	5	20	0.1	0.2
Pzem004-t v3					

Relé de estado sólido	4	3.3	20	0.06	0.24
Total			120 mA		0.84 W

De acuerdo con las características eléctricas de los componentes del nodo 2 obtenidos en la Tabla 19, se analiza el consumo energético mensual aplicando la Ec. 2. Se considera una potencia total de 0.84 y un promedio de 30 días.

$$kWh / día = 0.84 (W) * 24 (h) / 1000$$

$$kWh / día = 0.02016$$

$$kWh / mes = 0.02016 * 30 (días)$$

$$kWh / mes = 0.6048 kWh$$

Con los consumos energéticos del nodo 1 y 2 previamente calculados, se realiza el análisis al consumo mensual necesarios para la aplicación en un entorno controlado. Para monitorear un total de 4 electrodomésticos, se requieren la instalación de 2 nodos del tipo 1, mientras, que la instalación del nodo 2 solo requiere de un nodo. De esta manera, el consumo energético total de los nodos calcula sumando el consumo individual de cada uno. El consumo energético en conjunto de estos nodos es de apenas 2.18 kWh, valor muy bajo en comparación con el consumo promedio del sector residencial en Ecuador, que es de aproximadamente 143 kWh.

$$kWh \text{ total / mes} = 2(0.72) + 0.6048$$

$$kWh \text{ total / mes} = 2.04 kWh$$

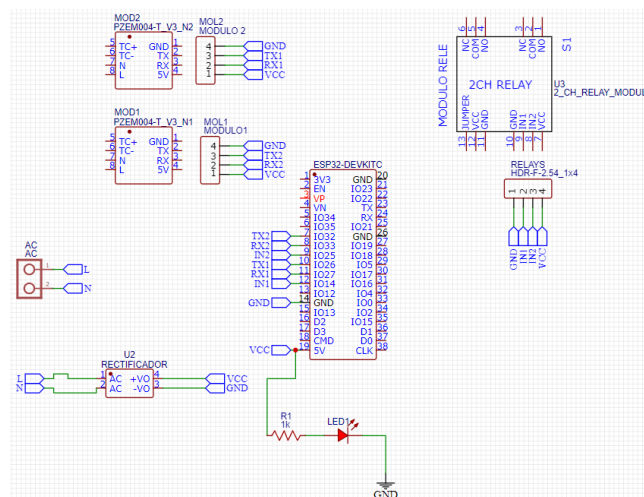
3.5.9 Diseño del Circuito Impreso PCB del Nodo 1

En esta sección se presenta el diseño de la placa de circuito impreso (PCB). El propósito es obtener una estructura mecánica y funcional que agrupe los componentes electrónicos a través de las pistas grabadas sobre la placa. El diseño de la PCB para el nodo 1 mediante el software EasyEDA, que es de código abierto y se destaca por amplia disponibilidad de bibliotecas de diversos componentes.

El proceso comienza con el diseño del esquemático, en el que se dibuja el circuito utilizando cada uno de los componentes disponibles en las bibliotecas. En la Figura 21 se muestran las conexiones entre los diferentes componentes electrónicos, tales como sensores PZEM004-T, un relé de dos canales, un ESP32, un LED, una mini fuente de alimentación de 5V y las borneras, que permiten alimentar completamente el circuito.

Figura 21

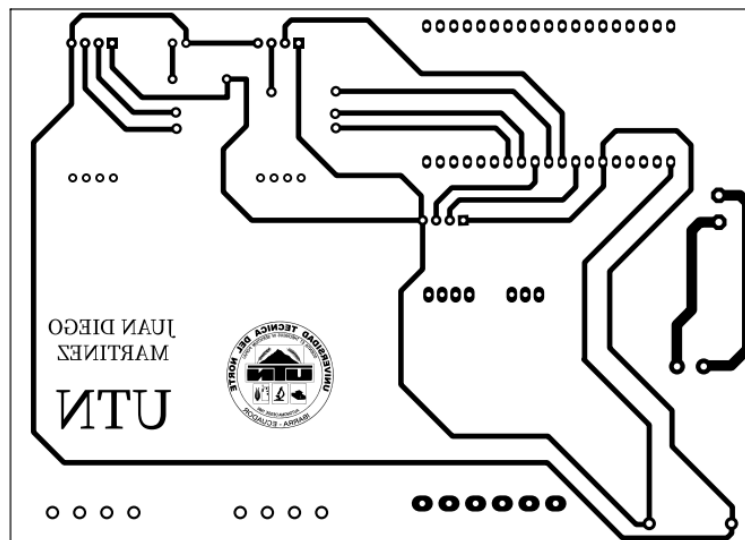
Diagrama de conexiones del circuito impreso para el nodo 1.



Luego, el diseño del esquemático se convierte en PCB y se colocan los componentes en la placa de circuito. EasyEDA ofrece la opción de hacerlo de forma manual o automática. Finalmente, se realiza el enrutamiento de las pistas que conectan los componentes electrónicos del nodo. En la Figura 22 se muestra el diseño final de la placa de circuito impreso, en la cual se identifican las diferentes pistas que permiten la conexión entre los componentes electrónicos, como el microcontrolador ESP32, los sensores PZEM004-T, el módulo relé de los canales y la fuente de alimentación de 5V DC. El diseño está basado en el diagrama del circuito de la Figura 19.

Figura 22

Diseño del circuito impreso PCB del nodo 1.



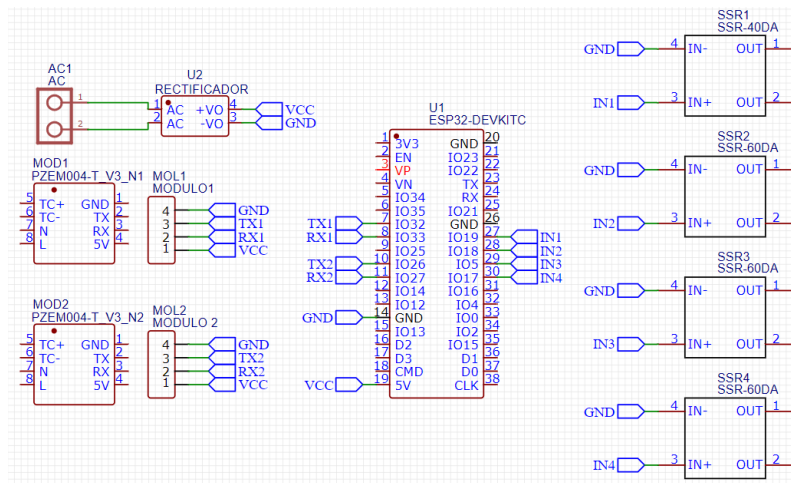
3.5.10 Diseño del Circuito Impreso PCB del Nodo 2

El proceso de diseño de la placa de circuito impreso PCB del nodo 2 es similar al del nodo 1. Se inicia con el diseño del esquemático, que incluye cada uno de los componentes electrónicos del nodo 2. En la Figura 23 se detalla el esquemático que contiene los siguientes componentes: un ESP32, pines para la comunicación entre los sensores PZEM004-T y los

relés de estado sólido (SSR), un microcontrolador, y finalmente, la mini fuente de 5V con las borneras por donde se alimenta al circuito.

Figura 23

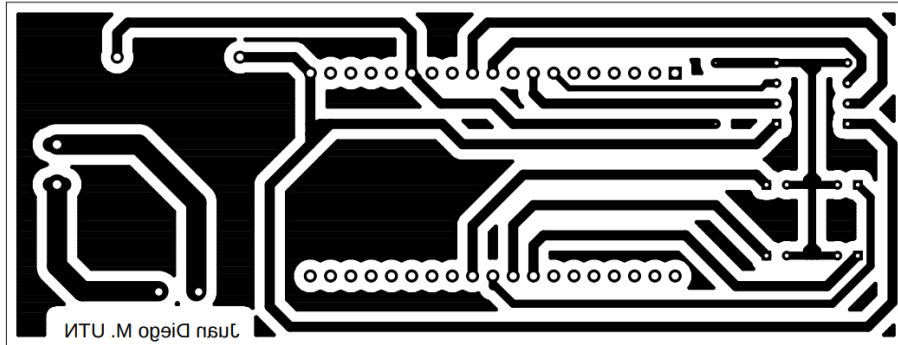
Diagrama de conexiones del circuito impreso para el nodo 2.



A continuación, el esquemático de la Figura 23, se convierte en PCB y se colocan los componentes en la placa del circuito, para finalizar con el enrutamiento de las pistas que conectan los diferentes componentes electrónicos. El resultado final del diseño de la PCB del nodo 2 se muestra en la Figura 24. En esta se definen las diferentes pistas que permiten la comunicación entre los sensores PZEM004-T y el microcontrolador, así como aquellas encargadas de la señal de control para los diferentes relés de estado sólido (SSR). Además, se incluyen las pistas que conectan a la mini fuente de alimentación para la conversión de 110V AC a 5V DC, que requiere el nodo.

Figura 24

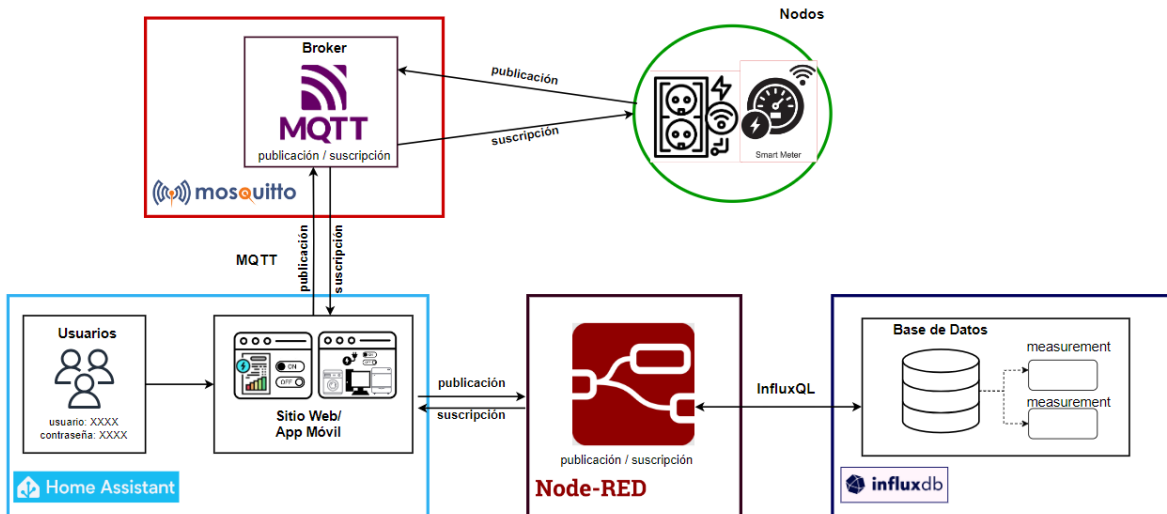
Diseño del circuito impreso PCB del nodo 2.

**3.5.11 Esquema de la Plataforma de Gestión de Datos**

En la Figura 25 se presenta el esquema de la plataforma de gestión de datos proporcionada por Home Assistant. Los usuarios acceden a la plataforma de gestión y visualización de datos mediante un usuario y su contraseña. El sitio web o aplicación móvil mantiene la comunicación con el Broker Mosquitto, encargado de la publicación y suscripción de mensajes bajo el protocolo MQTT. Estos mensajes contienen los valores de las variables eléctricas registradas por cada nodo y también transmiten las acciones ejecutadas por los usuarios hacia los nodos (gestión remota). Los datos son representados y visualizados a través de diversos paneles de control en Home Assistant. Además, la conexión entre la plataforma de gestión y la base de datos InfluxDB, que almacena las variables eléctricas, se realiza a través de la plataforma de Node-RED mediante la publicación y suscripción de temas, realizando las consultas del consumo eléctrico (electrodomésticos y hogar) a través del lenguaje InfluxQL.

Figura 25

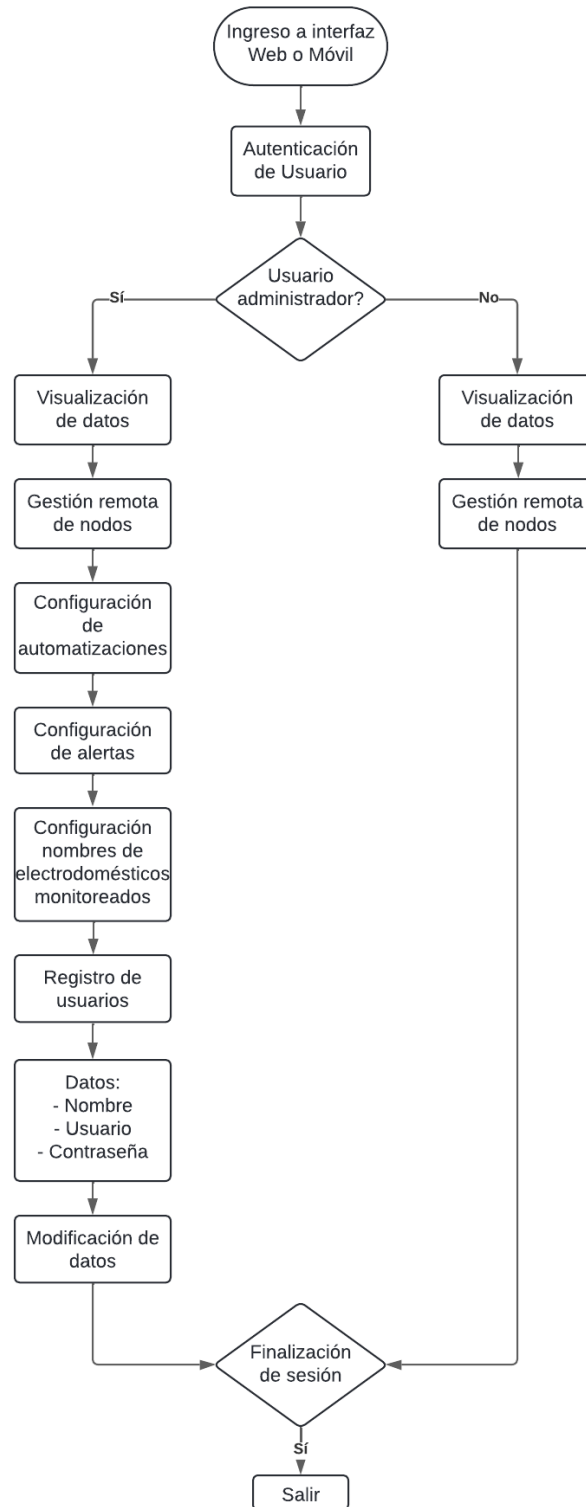
Esquema de la plataforma de gestión de datos.



En este sentido, la Figura 26 muestra el diagrama de flujo que describe la interacción de la interfaz con el usuario. El proceso inicia mediante la autenticación del usuario, la cual, dependiendo de los privilegios del usuario, otorga un número determinado de funcionalidades. Si el usuario es el administrador, se presentan un mayor número de funciones como la visualización de datos, gestión remota de los nodos, administración de dispositivos, creación de usuarios, entre otras. Por otro lado, los usuarios regulares solo tienen acceso a funciones básicas, como la visualización y gestión remota de los nodos.

Figura 26

Diagrama de flujo de interacción entre el usuario y la interfaz.



3.5.12 Diseño de la Interfaz de Gestión y Visualización de los Datos

En esta sección se presenta el diseño de la interfaz de gestión y visualización de los datos, el cual tiene como objetivo presentar un boceto sobre la estructura de la interfaz de usuario, funcionalidades y división de esta. El diseño se realiza a través del uso de la herramienta “MockFlow”, misma que es una herramienta gratuita y en línea, la cual solo basta con el registro de un usuario para su uso. La interfaz se encarga de presentar la visualización de los datos correspondientes al consumo eléctrico general del hogar y de los electrodomésticos monitoreados. Además, incorpora funciones de gestión remota de los electrodomésticos conectados al nodo encargado del monitoreo de consumo de estos dispositivos, así como la gestión de los circuitos eléctricos presentes en el tablero de distribución eléctrica del hogar. La interfaz se presenta en la Figura 27, y está dividida en cuatro paneles principales: 1) Resumen, 2) Sistema IoT-Smart Meter, 3) Sistema IoT-Enchufes, y 4) Consultas.

El primer panel principal se genera automáticamente en Home Assistant y en él se muestra un resumen de las instancias que contiene la plataforma, como el estado (On/Off) de los Switches MQTT que gestionan remotamente los circuitos eléctricos y electrodomésticos, los Sensores MQTT que reciben los datos enviados desde los nodos a través del protocolo MQTT y, finalmente, los Ayudantes, que permiten la creación de entidades personalizadas necesarias para las consultas de consumos eléctricos y la generación de alertas debido a un consumo eléctrico inusual.

El segundo panel principal muestra la información sobre el consumo eléctrico general del hogar del mes en curso, el valor de las variables eléctricas monitoreadas por fase (voltaje,

corriente, potencia y energía) y el estado de los switches utilizados para la gestión remota de los circuitos eléctricos del tablero de distribución eléctrica de la residencia.

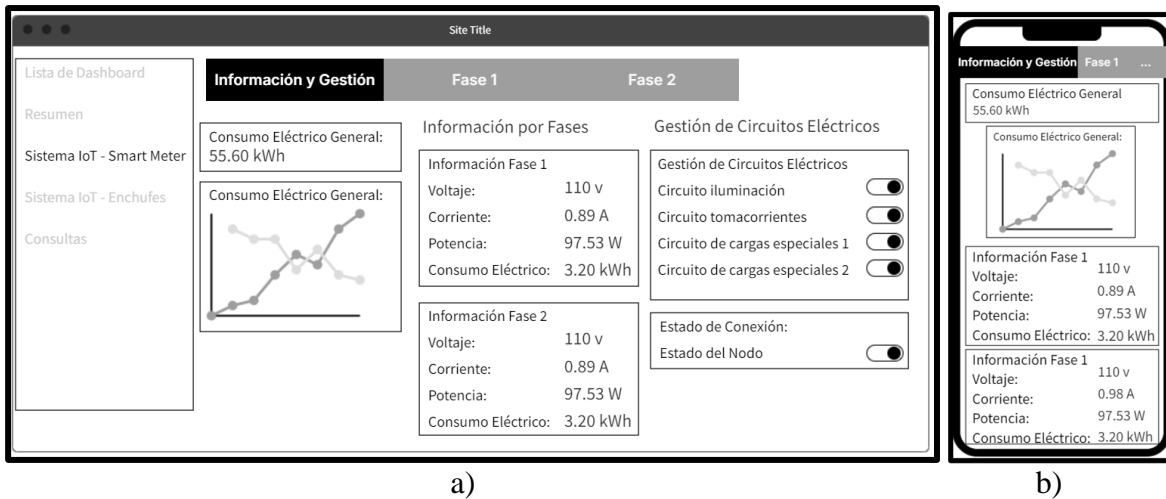
El tercer panel principal presenta la información sobre las variables y el consumo eléctricos del mes en curso de los electrodomésticos monitoreados, así como el estado (On/Off) de los Switches MQTT que permiten la gestión remota de los electrodomésticos conectados al nodo, entre otras funcionalidades. El cuarto panel principal, permite la consulta de los consumos eléctricos almacenados en la base de datos, tanto de la residencia como de los electrodomésticos monitoreados. A continuación, se presenta un boceto de la interfaz web y móvil para el usuario, que incorpora las funcionalidades de los paneles principales mencionados.

3.5.12.1 Diseño del Panel “Sistema IoT – Smart Meter”

El diseño del primer panel “Sistema IoT – Smart Meter” se presenta en la Figura 27. El panel contiene tres barras superiores de navegación (Información y Gestión, Fase 1 y Fase 2), para un acceso rápido y organizado a la información de las pestañas secundarias. Para la visualización del consumo eléctrico general del hogar, se incorpora un histograma que refleja el avance continuo del consumo mensual. Al no representar solo un valor, sino varios a lo largo del tiempo, permite monitorear el consumo eléctrico del mes en curso e identificar hábitos energéticos. Para la gestión de los circuitos eléctricos (iluminación, tomacorrientes y cargas especiales 1 y 2), el panel incluye los denominados “Switches MQTT”. A través de ellos, se envían instrucciones de gestión y se visualiza su estado, facilitando tanto la gestión como la visualización del estado en el que se encuentran estos circuitos

Figura 27

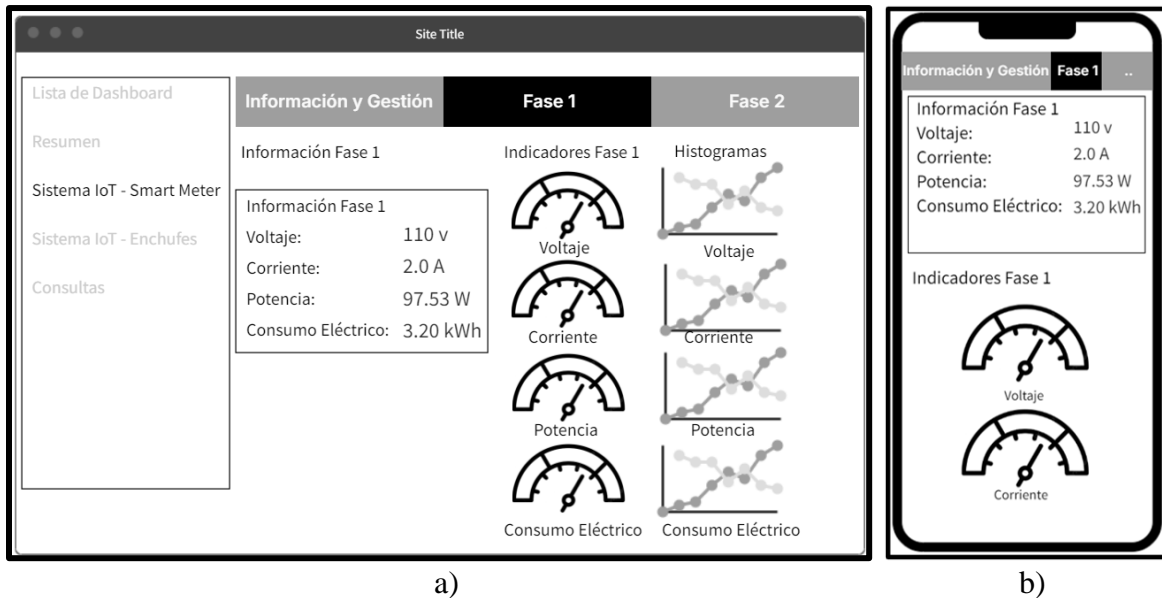
Diseño del panel de monitoreo y gestión del consumo eléctrico general del hogar. (a) interfaz web (b) interfaz móvil.



La pestaña secundaria del panel principal “Sistema IoT – Smart Meter” se presenta en la Figura 28. En esta pestaña se muestran los valores de las variables eléctricas monitoreadas de la Fase 1 del tablero de distribución eléctrica del hogar. Para una interpretación rápida e intuitiva de los parámetros eléctricos se incorporan los denominados “Indicadores”, los cuales al ser de tipo velocímetro permiten identificar cuando estos valores se encuentran dentro de rangos normales. Para proporcionar una perspectiva temporal y no limitarse a datos puntuales, se integran los “Histogramas”, que muestran la evolución de los parámetros eléctricos a lo largo del tiempo, de modo que los usuarios pueden identificar sus patrones, hábitos energéticos y posibles anomalías. Además, facilita la comprensión del consumo energético, permitiendo que el usuario tome medidas para mejorar el uso de la electricidad.

Figura 28

Diseño del panel de monitoreo y gestión del consumo eléctrico general del hogar. (a) interfaz web (b) interfaz móvil.



3.5.12.2 Diseño del Panel “Sistema IoT - Enchufes”

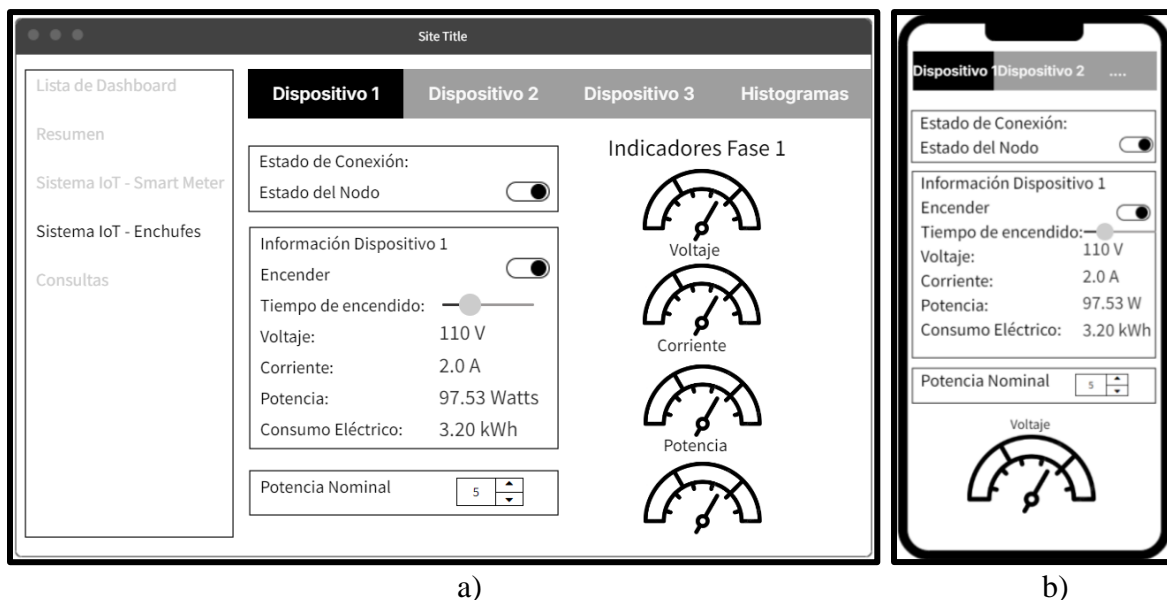
El boceto del tercer panel principal, denominado “Sistema IoT – Enchufes” se presenta en la Figura 29 y está enfocado en el monitoreo del consumo eléctrico y gestión de los electrodomésticos. Para una navegación más rápida y organizada, el panel incorpora una barra superior que permite el desplazamiento entre los diferentes electrodomésticos monitoreados y acceder a las funcionalidades de monitoreo y gestión. Los valores de las variables eléctricas monitoreadas como voltaje, corriente, potencia y consumo se presentan en una cuadrícula principal denominada “Información del Dispositivo”. En la misma cuadrilla se incorpora un “Switch MQTT”, que permite la gestión de los electrodomésticos y, al mismo tiempo, muestra el estado en el que este se encuentra (encendido/apagado). Debajo de este, se incorpora un “Control Deslizante” que permite asignar de manera más

rápida que un “Numeric Spinner” el límite de tiempo de uso del dispositivo, generando una alerta cuando se sobrepasa dicho límite.

Además, se requiere que el usuario ingrese manualmente el valor de la potencia nominal del electrodoméstico a monitorear, por lo que se incorpora un “Numeric Spinner”. De esta manera, se establece el límite de la potencia para generar una alerta cuando se supere dicho valor. Finalmente, para una identificación rápida de anomalías o consumos excesivos (por ejemplo, cuando un electrodoméstico supera su potencia nominal), la pestaña incorpora la cuadrícula denominada “Indicadores” de tipo velocímetro, lo que facilita la identificación de valores fuera de los rangos normales.

Figura 29

Diseño de panel de monitoreo y gestión del consumo eléctrico para electrodomésticos. (a) interfaz web (b) interfaz móvil.

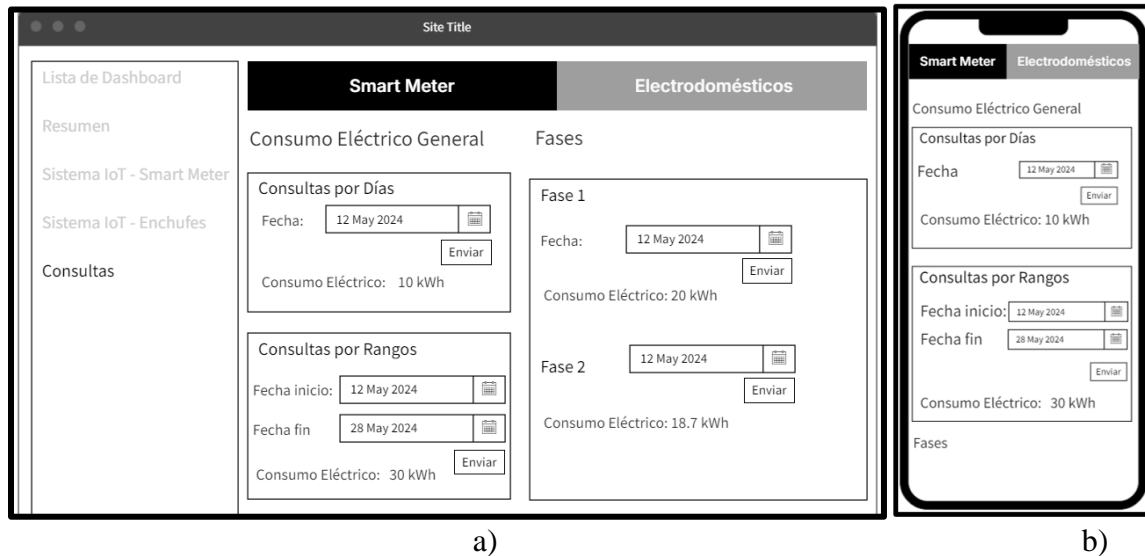


3.5.12.3 Diseño del Panel de Consultas del Consumo Eléctrico

El último panel principal corresponde a “Consultas” y se muestra en la Figura 30. Este panel incorpora una barra superior que facilita la navegación del usuario a las pestañas de consulta del consumo eléctrico general del hogar y de los electrodomésticos monitoreados. En la pestaña principal “Smart Meter” se incorporan los “Calendarios”, que al ser pulsados despliegan la ventana para la selección de una fecha (consultas por días) o un rango de fechas en específico (consultas por rangos). Esto facilita la elección y evita errores al ingresar la información manualmente. Además, al ser desplegados, optimizan el espacio en la interfaz. En cada una de las cuadrículas de consulta se incorporan “Botones”, que permiten enviar la instrucción de consulta con las fechas seleccionadas en los calendarios. A través de los “Cuadros de Texto” se muestra la respuesta de la consulta, que contiene información sobre el consumo eléctrico diario, ya sea del consumo general del hogar, por fases, o del consumo eléctrico durante un rango de tiempo.

Figura 30

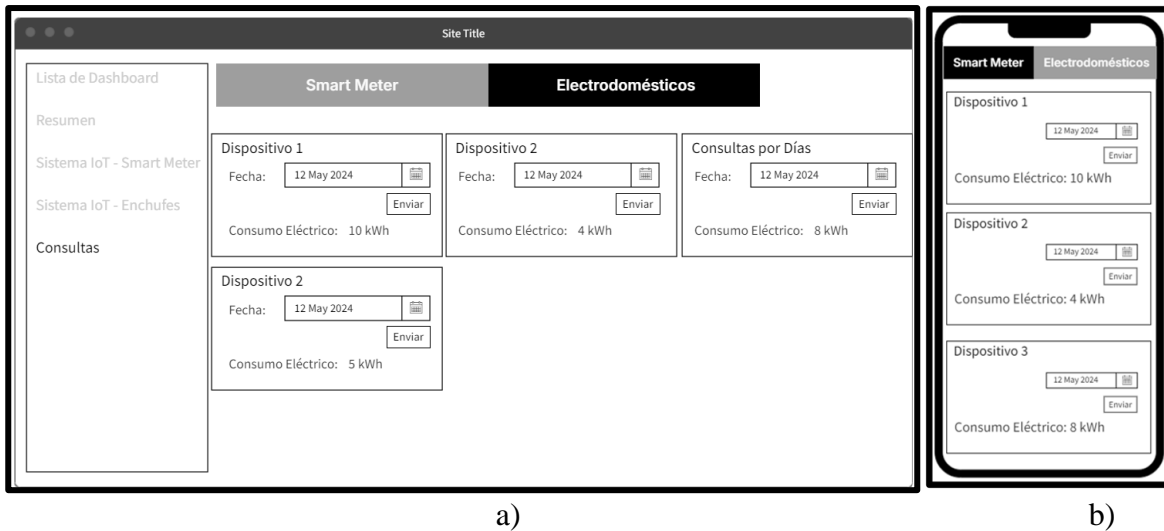
Diseño del panel de consultas del consumo eléctrico general del hogar. (a) interfaz web (b) interfaz móvil.



La segunda pestaña, denominada “Electrodomésticos”, se presenta en la Figura 31 y permite realizar las consultas sobre el consumo eléctrico de cada electrodoméstico monitoreado. Para una pestaña ordenada, la pestaña se divide en varias cuadrículas de consulta, desde donde se inserta la fecha de consulta a través de los calendarios desplegable. Esto permite al usuario evitar errores que pueden ocurrir al usar los “Cuadros de Texto”. Cada cuadrícula presenta sus respectivos “Botones”, que envían la petición de consulta a la base de datos con la fecha seleccionada. La respuesta se visualiza a través de los “Cuadros de Texto”, mostrando el valor del consumo eléctrico diario de un electrodoméstico en particular. De esta manera, y a partir de cada elemento que incorpora el panel de consulta, permite al usuario obtener una pestaña organizada y estructurada, facilitando una consulta simple.

Figura 31

Diseño del panel de consultas del consumo eléctrico por electrodoméstico. (a) interfaz web (b) interfaz móvil.



El proceso de desarrollo de la interfaz de usuario a través de la plataforma de Home Assistant se presenta en la sección 4.2.5. En esta sección, se detallan las configuraciones y el procedimiento necesario para llevar a cabo la implementación de la interfaz, basándose en el diseño previamente descrito.

3.5.13 Diseño de la Base de Datos

El servicio de base de datos que se utiliza en el desarrollo del sistema es InfluxDB, que se caracteriza por almacenar los datos en series temporales. Una serie temporal se define como un conjunto de puntos de datos recopilados a lo largo del tiempo y organizados en orden cronológico. Cada medición que se realiza incluye una marca de tiempo, considerada como un punto, y el conjunto de estos puntos constituye una serie temporal. Un punto consta de cuatro componentes: la medida, un conjunto de etiquetas, un conjunto de campos y una marca de tiempo.

Una *medida* o *measurement* actúa como un contenedor de etiquetas, campos y marcas de tiempo. El nombre que se le puede asignar a una medida es de tipo *String* y, en una base de datos tradicional, una *measurement* es similar a una tabla. De este modo, los puntos de datos en una *measurement*, presentan el mismo conjunto de *etiquetas (tags)* y *campos (fields)*.

En el esquema de una *medida*, se identifican los siguientes campos:

- **Etiqueta:** compuesta por claves de etiqueta y valores de etiqueta (tag key – tag value).
- **Campos:** compuesta por claves de campos y valores de campo (field key – field value).
- **Tag key:** parte *clave* del par clave-valor (key-value) de una etiqueta (tag). Principalmente son de tipo String.
- **Tag value:** parte *valor* del par clave-valor de una etiqueta (tag). Principalmente son cadenas y almacenan metadatos.
- **Field key:** parte *clave* del par clave-valor (key-value) de un campo (field). Principalmente son de tipo String y almacenan metadatos.
- **Field value:** parte *valor* del par clave-valor de un campo (field). Se componen de los datos reales y pueden ser de tipo String, enteros, floats o booleanos.

En este contexto, la Tabla 20 presenta el diseño de la base de datos para InfluxDB. En ella se detalla el nombre de la base de datos “*smart_grid_home*” y las *medidas* o *measurements* denominadas “*enchufes*” y “*medidor_inteligente*”, donde se organizan los datos de las series temporales correspondientes a las mediciones del consumo eléctrico registradas en cada nodo. Los valores de un *tag* identifican el ID de cada nodo, mientras que

los valores de un *field* corresponden a los valores de las variables eléctricas medidas en cada nodo.

Tabla 20

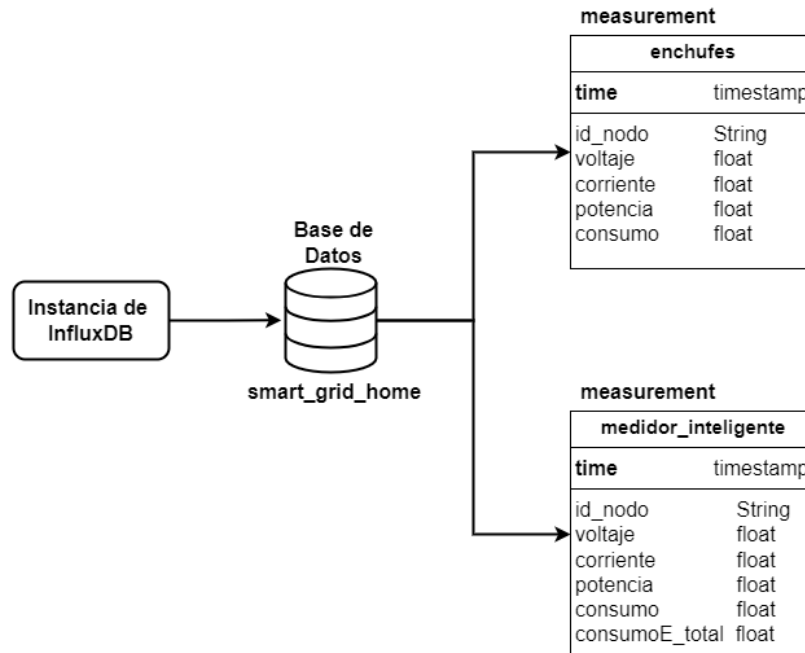
Diseño de la medida para el almacenamiento de las series temporales.

Database: smart_grid_home					
measurement	tag key	tag value	field key	field value	time
enchufes	id_nodo	nodo1_1,	voltaje,	en voltios,	Formato
		nodo1_2,	corriente,	en amperios,	RFC 3339
		nodo1_3,	potencia,	en watts,	
		nodo1_4	consumo	en kWh,	
medidor_inteligente	id_nodo	nodo2_1	voltaje,	en voltios,	Formato
		nodo2_2	corriente,	en amperios,	RFC 3339
		nodo2	potencia,	en watts,	
			consumo	en kWh,	

La interacción de la base de datos se representa en la Figura 32. En esta figura, la instancia InfluxDB se refiere a la ejecución del servicio de base de datos en un servidor, encargándose de la gestión, creación y administración de las bases de datos. En este contexto, la base de datos denominada *smart_grid_home* integra a la instancia de InfluxDB. Esta base de datos contiene dos *medidas (measurement)*, llamadas *enchufes* y *medidor inteligente*, en ellas se almacenan el tiempo en el que se realiza cada medición, el identificador único y los valores correspondientes a las variables de voltaje, corriente, potencia y consumo eléctrico registrados por cada nodo.

Figura 32

Diseño de la base de datos para InfluxDB.



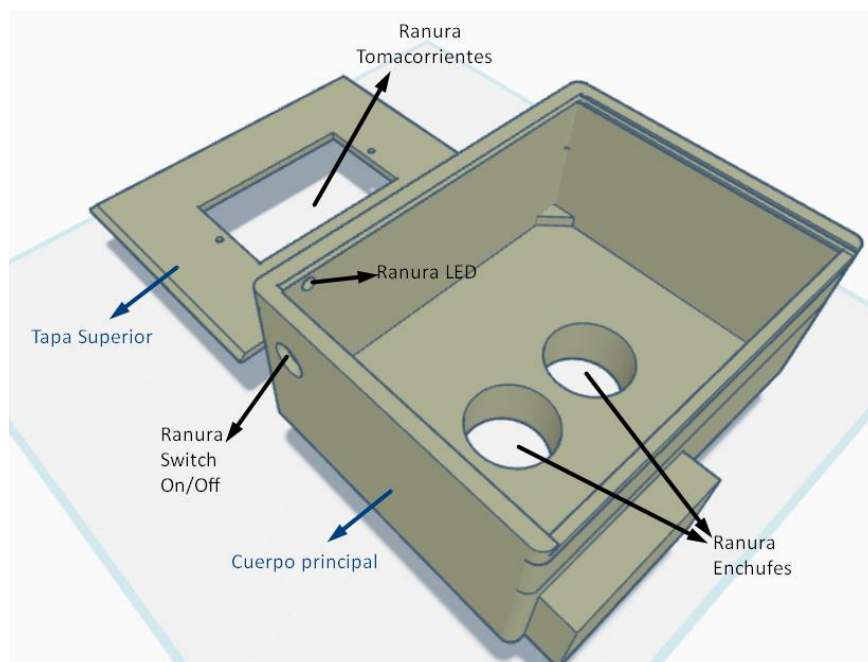
3.5.14 Diseño del Case para el Nodo 1

En esta sección se presenta el diseño del Case para el Nodo 1, cuyo propósito es albergar y proteger la PCB y todos los componentes electrónicos que contiene. El diseño se realiza a través de la herramienta de Tinkercad, una herramienta online y gratuita que permite la creación de objetos tridimensionales. El proceso de diseño del Case inicia con la creación de la caja principal (rectángulo) según las dimensiones deseadas. Posteriormente, se crean las ranuras a partir de la agrupación de la caja principal junto con los cilindros, lo que permite crear las ranuras ubicadas en la parte trasera, superior y lateral del cuerpo principal. En el caso de la tapa superior, se agrupan dos rectángulos: el primero que contiene el cuerpo principal, mientras que el segundo permite hacer la ranura necesaria para la integración de dos tomacorrientes.

El diseño final del Case para el Nodo 1, encargado del monitoreo del consumo eléctrico de los electrodomésticos se presenta en la Figura 33. Este diseño permite la integración de dos tomacorrientes para el monitoreo de dos electrodomésticos. Sus dimensiones son 15 cm x 11 cm x 6.5 cm. El cuerpo principal consta de dos ranuras para la integración de dos enchufes, los cuales alimentan eléctricamente a los dos electrodomésticos, y uno de ellos también al nodo. Además, incluye una ranura para un switch/botón que activa o desactiva completamente al nodo, y otra ranura para un LED que indica el estado del nodo (activado o desactivado). La tapa superior se puede adaptar al cuerpo principal del Case y cuenta con una ranura para dos tomacorrientes donde se conectan los electrodomésticos a monitorear.

Figura 33

Diseño del Case para el Nodo 1.



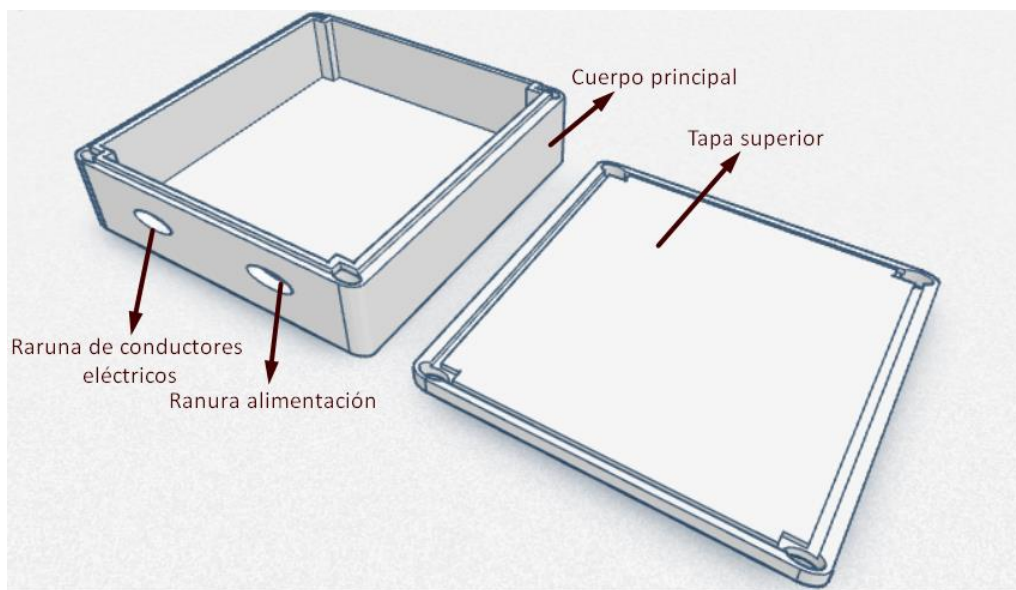
3.5.15 Diseño del Case para el Nodo 2

El diseño del Case del Nodo 2, al igual que el Case del Nodo 1, se realiza en la herramienta de Tinkercad. El proceso inicia mediante la creación de un rectángulo sólido con unas dimensiones de 20 cm x 20 cm x 5 cm. Luego, mediante la agrupación con cilindros, se crean las ranuras de entrada y salida para los conductores eléctricos.

El diseño final del Case, que alberga a los diferentes componentes electrónicos del Nodo 2 se presenta en la Figura 34. Este Case consta de un cuerpo principal y una tapa superior, que se encargan de proteger las conexiones eléctricas, componentes electrónicos y la PCB. El cuerpo principal incluye dos ranuras, por donde ingresa el cable de alimentación del nodo y los diferentes conductores eléctricos que conectan la Fase 1 y 2, y los circuitos eléctricos presentes en el tablero de distribución eléctrica. La tapa superior se encarga de mantener un case completamente sellado.

Figura 34

Diseño del Case para el Nodo 2.



Capítulo IV: Implementación y Resultados

En este capítulo, se lleva a cabo la implementación de los componentes de hardware y software tras completar las fases de requerimiento y diseño presentadas en el capítulo tres. En primer lugar, se realiza la integración de los componentes de hardware para los Nodos 1 y 2, seguido de su programación. Luego, se despliegan y configuran los servicios alojados en la nube, como el Bróker MQTT, la base de datos y la plataforma de gestión Home Assistant. Posteriormente, se implementa el sistema en un entorno controlado y, finalmente, se realizan las pruebas de funcionamiento del sistema.

4.1 Implementación del Hardware

Con respecto a la implementación del hardware, se lleva a cabo la integración de los componentes electrónicos en las placas PCB diseñadas para los Nodos 1 y 2 (véase apartado 3.5.9 y 3.5.10), junto con el Case que protege los componentes electrónicos. Luego, se realiza la programación de los nodos encargados de medir el consumo eléctrico general del hogar y de los electrodomésticos. Estos nodos se configuran de manera que tengan las funcionalidades para la conexión a internet y al bróker, permitiendo el envío de información y la recepción de instrucciones a través del protocolo MQTT.

La programación de los nodos se realiza a través de Arduino IDE y el lenguaje de programación C++. Este IDE es una excelente opción, ya que permite programar las placas ESP32 aplicando pequeñas configuraciones dentro del software, las cuales se describen en el Anexo C. En la Tabla 21, se detallan las librerías que se utilizan para la programación del Nodo 1 y 2: *Wifi.h* para gestionar la conectividad Wi-Fi del ESP32, *PubSubClient.h* para designar al microcontrolador como cliente MQTT, y finalmente *PZEM004Tv30.h* que permite la comunicación entre el sensor PZEM004-T v3 y el ESP32.

Tabla 21

Librerías a utilizar en la programación de los nodos.

Entorno de Desarrollo Integrado: Arduino IDE	
Librería	Descripción
Wifi.h	Permite la conexión del microcontrolador ESP32 a la red Wi-Fi
PubSubClient.h	Permite al microcontrolador comportarse como un cliente MQTT encargado de la publicación y suscripción a un tema
PZEM004Tv30.h	Permite el trabajo del módulo sensor PZEM-004t junto con el ESP32 y las funciones de comunicación entre estos dos componentes.

4.1.1 Integración de Componentes del Nodo 1

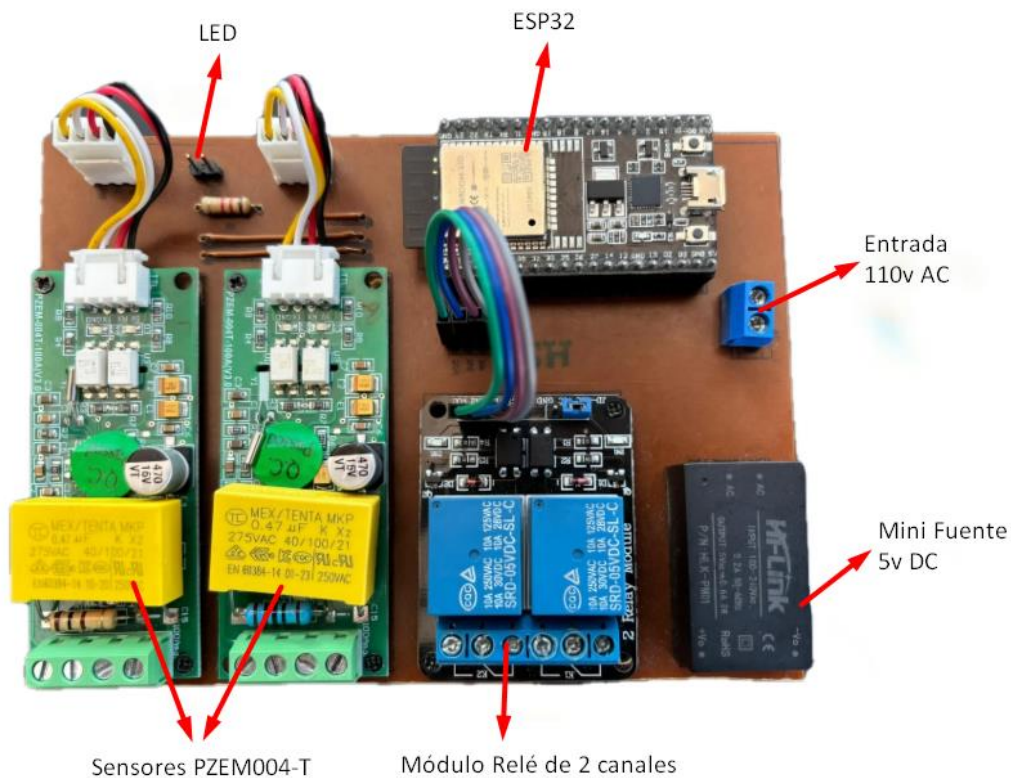
En este apartado se lleva a cabo la integración de los componentes de hardware seleccionados, como los sensores PZEM004-T, el microcontrolador ESP32 y el módulo relé, junto con la placa PCB diseñada para el nodo encargado de medir el consumo eléctrico de los electrodomésticos (véase apartado 3.5.9). A continuación, se realiza la integración de la placa PCB y el Case diseñado.

Montaje de la PCB y los Componentes Electrónicos

El montaje de los componentes electrónicos junto con la placa PCB se presenta en la Figura 35. En ella se identifican la bornera para la entrada de 110V AC y la mini fuente transformadora de 5V DC, que alimenta a todo el circuito, los dos sensores PZEM004-T encargados de la medición de las variables eléctricas de dos electrodomésticos de manera individual, y el módulo relé de dos canales, necesario para las funciones de gestión de los dos electrodomésticos conectados al nodo. Finalmente, se encuentra el microcontrolador ESP32, responsable del envío y recepción de mensajes bajo el protocolo MQTT hacia el bróker.

Figura 35

Montaje de los componentes electrónicos en la PCB del nodo 1

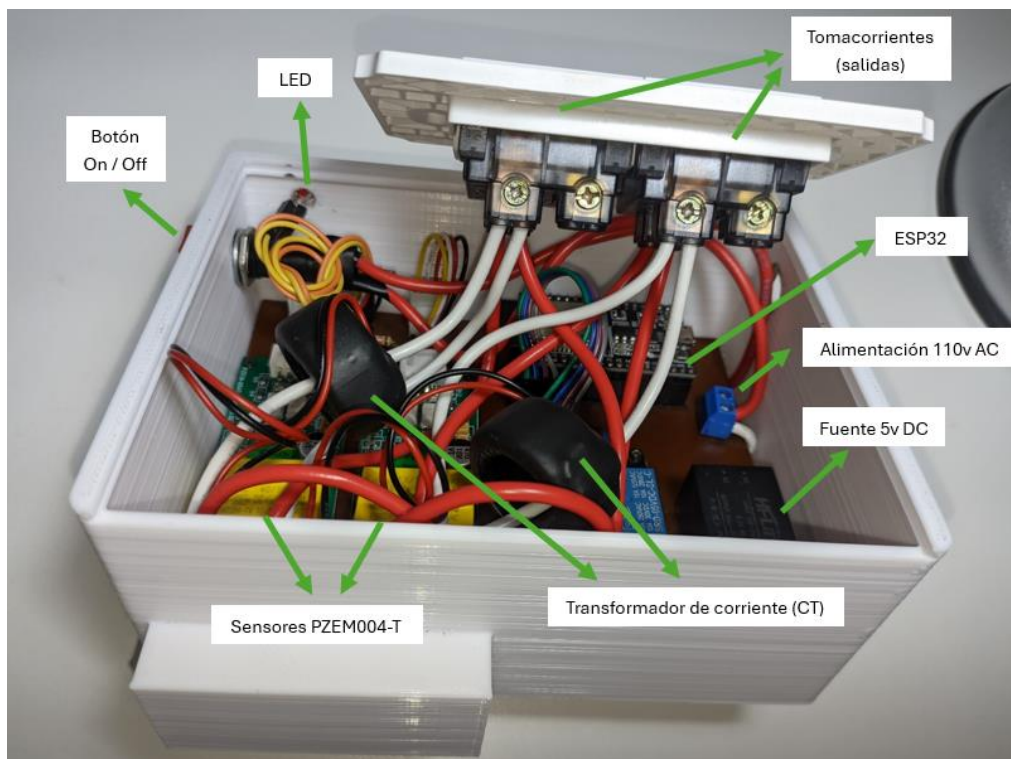


Integración de la PCB y el Case

Con los componentes electrónicos montados en la placa PCB, se procede a la integración con el Case, como se muestra en la Figura 36. En ella se identifican los diferentes conductores eléctricos: fase (rojo), neutro (blanco) y tierra (rojo y negro), que mantienen la conexión entre las terminales de los enchufes, tomacorriente y las borneras presentes en el sensor PZEM004-T. Para la entrada de 110V AC se realiza la conexión (fase y neutro) entre la bornera y los terminales de un enchufe. Por otro lado, el conductor eléctrico designado como neutro se coloca a través del transformador de corriente (CT) para medir la corriente eléctrica. Finalmente, se integra un tomacorriente de dos entradas al Case, donde se conectan los electrodomésticos que se monitorean de manera individual.

Figura 36

Integración de la PCB y el Case del nodo 1.



En la Figura 37 se presenta el nodo completado, con la integración de todos los componentes electrónicos y el Case. La parte frontal, contiene dos tomacorrientes (salidas) para la conexión de dos electrodomésticos a monitorear. En la parte lateral, se presenta el botón encargado de activar o desactivar el nodo, junto con el LED, que tiene la función de informar al usuario el estado en el que se encuentra el nodo. Finalmente, en la parte trasera se encuentran dos enchufes (entradas), que alimentan eléctricamente, de manera individual, a los electrodomésticos a monitorear. Uno de ellos también proporciona la alimentación al nodo a 110V AC, que luego son transformados a 5V DC. El Nodo 1 puede conectarse a cualquier tomacorriente disponible en el hogar.

Figura 37

Ensamble final del nodo 1.



4.1.2 Integración de Componentes del Nodo 2

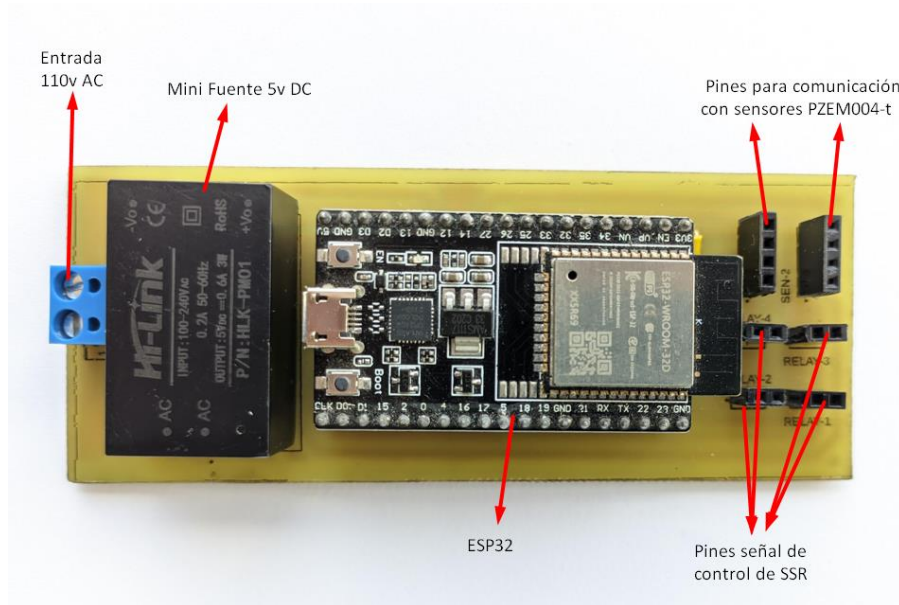
En esta sección se describe la integración de los componentes electrónicos del nodo encargado de medir el consumo eléctrico general del hogar y de gestionar los circuitos eléctricos presentes en el tablero de distribución eléctrica. Se expone el montaje de los sensores PZEM004-T y los relés de estado sólido en la placa PCB (véase apartado 3.5.10), para luego realizar la integración con el Case y terminal con el montaje final del nodo.

Montaje de la PCB y los Componentes Electrónicos

La Figura 38 muestra el montaje de los componentes electrónicos del Nodo 2 en la placa PCB. Se identifican dos sensores PZEM004-T, responsables de la lectura de las variables eléctricas de cada fase y el envío de esta información al microcontrolador ESP32 a través de los pines de comunicación. Además, se encuentran los relés de estado sólido (SSR), que gestionan los diferentes circuitos eléctricos presentes en el tablero de distribución eléctrica del hogar. También se observa a la bornera de entrada de 110V AC, que se reduce a 5V DC mediante una mini fuente transformadora. Finalmente, se encuentran los pines que se encargan del envío de la señal de control desde el ESP32 hacia los relés de estado sólido (SSR).

Figura 38

Montaje de los componentes electrónicos en la PCB del nodo 2



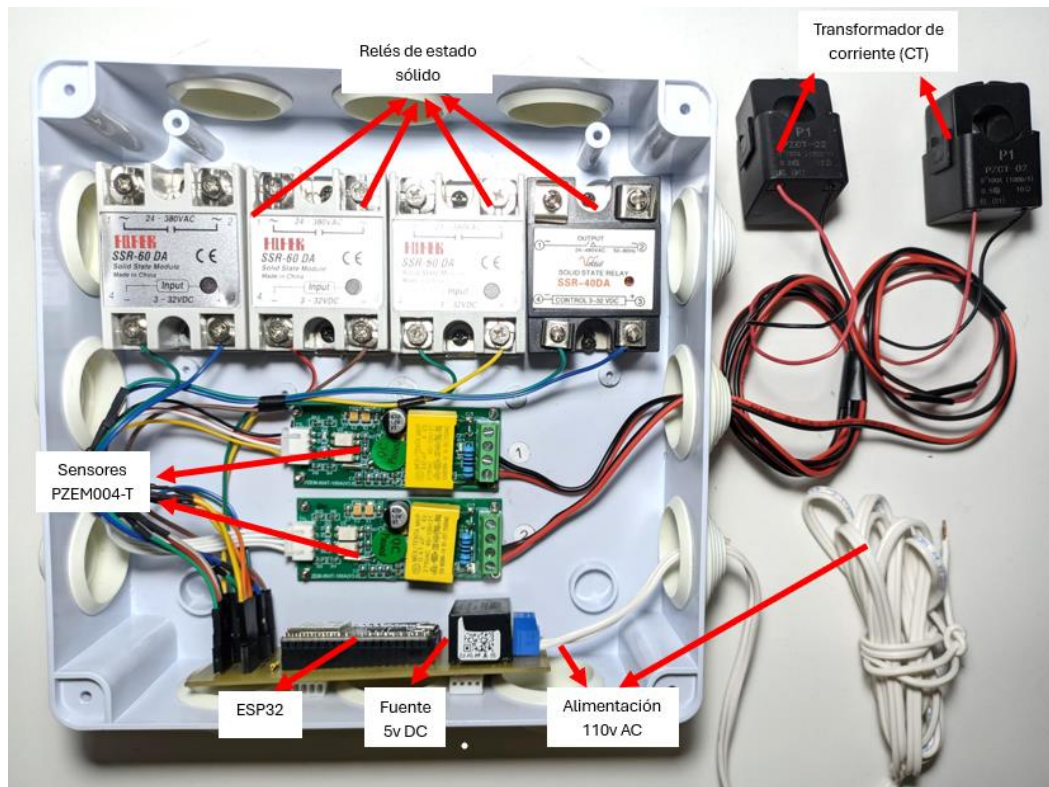
Integración de la PCB y el Case

En la Figura 39 se muestra la integración de la PCB y el Case del Nodo 2. Se identifican los diversos componentes electrónicos del nodo, como sensores, transformadores de corriente (CT), relés de estado sólido (SSR), entre otros. Se utiliza un Case comercial de la marca Voltio, modelo Karluz KL2238, cuyas dimensiones de 20 cm x 20 cm x 8 cm son similares a las del Case diseñado para el Nodo 2 (véase apartado 3.5.15). A través de las ranuras del Case se introducen los diferentes conductores eléctricos (Fase y Neutro) que conectan las borneras de los sensores con las borneras o la barra de fase y neutro del tablero de distribución eléctrica, según corresponda. Los transformadores de corriente (CT), al ser sensores no invasivos, se conectan a través de los conductores designados como Fase 1 y 2. Finalmente, las ranuras superiores del Case se utilizan para la entrada y salida de los conductores eléctricos que conectan las salidas de los breakers junto con los relés de estado

sólido (SSRs), permitiendo o bloqueando el flujo eléctrico según las instrucciones enviadas por el usuario.

Figura 39

Integración de la PCB y el Case del nodo 2.



El ensamble final del Nodo 2 se muestra en la Figura 40. En ella, se presentan la vista frontal que contiene a los transformadores de corriente (CT) y los conductores encargados de alimentar al nodo. Por otro lado, la parte lateral contiene las diferentes ranuras para la entrada y salida de conductores eléctricos hacia el tablero de distribución eléctrica, lugar en donde se realiza la instalación del nodo.

Figura 40

Ensamble final del nodo 2.



4.1.3 Programación del Nodo 1

El Nodo 1 contiene al microcontrolador ESP32, encargado de la recolección y procesamiento de los datos obtenidos a través de los sensores PZEM004-T, así como del envío de información y la recepción de instrucciones bajo el protocolo MQTT. Para habilitar estas funcionalidades, el código de programación consta de las siguientes secciones:

Conexiones a Red Wi-Fi y Bróker MQTT

Se inicia definiendo los parámetros de conexión para la placa ESP32, como se observa en la Figura 41. Para el proceso de conexión Wi-Fi del ESP32, se requieren los parámetros de SSID y contraseña de la red Wi-Fi a la que se conectará. De igual manera, un cliente MQTT requiere un bróker para la publicación y suscripción de mensajes; en ese sentido, se define la dirección IP del bróker para la comunicación entre el cliente y el bróker.

Figura 41

Configuración de conexión Wi-Fi y conexión al Broker MQTT.

```
// Credenciales para conexión a red Wi-Fi
const char* ssid = "PLUS_FLIA_MARTINEZ"; // SSID de red Wi-Fi a conectarse
const char* password = "M@rtine$24*"; // Contraseña de red Wi-Fi a conectarse

const char* mqtt_server = "18.116.15.199"; // Dirección IP Broker
```

Lectura de Datos y Publicación de Mensajes Bajo MQTT

En esta parte del código se implementan las funciones encargadas de la lectura y publicación de los datos correspondientes a las variables eléctricas registradas por los sensores PZEM004-T bajo el protocolo MQTT. La Figura 42 presenta la función encargada de realizar la lectura y publicación de los datos obtenidos por los sensores. El proceso inicia con la lectura de las variables eléctricas como voltaje, corriente, potencia y consumo eléctrico. A continuación, convierten los datos obtenidos en una cadena de caracteres para cada variable. Posteriormente, publican los datos a través de MQTT utilizando el método *client.publish(topic,valor)*. En el parámetro “*topic*”, se especifica el tema en el que el cliente MQTT publica los mensajes (*nodo1_1/t1/voltaje*), mientras que el valor de la variable eléctrica medida se especifica en el parámetro “*valor*”. Este proceso se realiza para la publicación de cada una de las variables eléctricas registradas por los sensores.

Figura 42

Función de lectura y publicación de los datos relacionados a los parámetros eléctricos

```

voltaje_t1 = pzem_t1.voltage();
corriente_t1 = pzem_t1.current();
potencia_t1 = pzem_t1.power();
consumo_t1 = pzem_t1.energy();

dtostrf(voltaje_t1,10,4,pVoltaje_t1);
client.publish("nodo1_1/t1/voltaje",pVoltaje_t1);

```

lectura variables eléctricas

Publicación de mensajes

Procesamiento de Instrucciones Recibidas Bajo MQTT

En esta sección del código se implementa la función responsable del procesamiento de las instrucciones recibidas desde el bróker MQTT. La Figura 43 muestra la función denominada *callback()*, que se ejecuta cada vez que se recibe un mensaje bajo el protocolo MQTT. La función recibe tres parámetros: *topic*, *message* y *length*. El parámetro *topic* es de tipo *String* y contiene el tema en específico en el que se recibe el un mensaje; *message* es un arreglo de bytes que representa el contenido del mensaje; y *length* indica la longitud del mensaje recibido. Finalmente, la variable *message_Estado*, almacena cada uno de los bytes transformados a caracteres, de este modo se obtiene al mensaje completo de un tema en específico. Esto permite identificar las acciones enviadas por los usuarios en un tema específico bajo el protocolo MQTT.

Figura 43

Función para el procesamiento del mensaje recibido.

```

función
↑
void callback(String topic, byte* message, unsigned int length) {
    parámetros
    ↑
    for(int i=0;i<length;i++)
    {
        message_Estado += (char)message[i]; → variable con
        mensaje
    }
}

```

A continuación, se realiza el proceso de verificación del tema o tópico que, según el contenido del mensaje, determina las acciones a tomar sobre el módulo relé. En este contexto, en la Figura 44 se observa la comparación del tópico recibido desde el bróker MQTT. En caso de que el contenido del mensaje sea **“On”**, cambia el estado del relé y se ejecuta la lectura y publicación de mensajes a través de MQTT de las variables eléctricas registradas por el sensor. Por el contrario, si el contenido del mensaje es **“Off”**, se realiza la desactivación del relé y se finaliza con la lectura y el envío de las variables eléctricas hacia el bróker.

Figura 44

Comparación del tema recibido y ejecución de acciones de acuerdo con el contenido del mensaje.

```

if(topic=="nodol_1/t1/relay") { → comparación del tema
    if(message_Estado=="On") {
        estado_relay_t1 = true;
        digitalWrite(pin_t1,LOW); → activación relé
    }else if(message_Estado=="Off") {
        estado_relay_t1 = false;
        digitalWrite(pin_t1,HIGH); → desactivación relé
    }
}

```

4.1.4 Programación del Nodo 2

En esta sección se describe el desarrollo del código de programación para el Nodo 2, el cual se encarga de realizar la medición del consumo general de la residencia (medidor inteligente) y la gestión de los circuitos presentes en el tablero de distribución eléctrica. Las librerías que se utilizan en la programación de este nodo se describen en la Tabla 18. El código de programación consta de las siguientes secciones.

Conexiones a Red Wi-Fi y Bróker MQTT

En esta sección se definen los parámetros necesarios para la conexión del microcontrolador ESP32 a la red Wi-Fi y al bróker MQTT. En la Figura 45 se presenta el desarrollo del código para esta tarea, donde se asignan las variables de conexión de la red Wi-Fi como son el SSID y la contraseña de la red. Finalmente, se establece en la variable *mqtt_server* la dirección IP del bróker MQTT.

Figura 45

Parámetros para la conexión a red Wi-Fi y bróker MQTT.

```
// Credenciales para conexión a red Wi-Fi

const char* ssid = "PLUS_FLIA_MARTINEZ"; // SSID de red Wi-Fi a conectarse
const char* password = "M@rtine$24*"; // Contraseña de red Wi-Fi a conectarse

const char* mqtt_server = "18.116.15.199"; // Dirección IP Broker
```

Lectura de Datos y Publicación de Mensajes

A continuación, en la Figura 46 se presenta la función que realiza el proceso de publicación de mensajes con los datos recolectados por los sensores. La función comienza con la lectura y almacenamiento de las variables eléctricas medidas por el sensor. Estos datos se convierten a una cadena de caracteres, y luego se ejecuta el proceso de *publicación* de

mensajes bajo el protocolo MQTT mediante el método *client.publish(topic,valor)*. El parámetro *topic* especifica el tema de publicación (por ejemplo, nodo2/p2/voltaje), y en *valor* (pVoltaje_p2) se asigna la variable eléctrica que contiene el valor del voltaje de la Fase 2, registrado por el sensor.

Figura 46

Función de lectura y publicación de los datos relacionados a los parámetros eléctricos.

```

voltaje_p2 = pzem_p2.voltage();
corriente_p2 = pzem_p2.current();
potencia_p2 = pzem_p2.power();
consumo_p2 = pzem_p2.energy();

dtostrf(voltaje_p2, 10, 4, pVoltaje_p2);
client.publish("nodo2/p2/voltaje", pVoltaje_p2);

```

Lectura variables eléctricas

publicación de mensajes

Para el segundo módulo sensor PZEM-004T, encargado de realizar la medición de los parámetros eléctricos de la segunda Fase presente en el tablero de distribución eléctrica del hogar, se sigue la misma lógica de programación que en el caso anterior, con la variación de los nombres de los *temas* y las variables que almacenan y envían los datos a través de los temas requeridos bajo el protocolo MQTT.

Procesamiento del Mensaje Recibido desde el Bróker

La función *callback()*, presentada en la Figura 47, se encarga del procesamiento de los mensajes recibidos a través de los temas enviados desde el bróker bajo el protocolo MQTT. En esta función, la variable *message_Estado* almacena el mensaje recibido en el tema. Luego, se compara el tema recibido y se verifica la acción enviada a través del mensaje. Si el tema contiene el mensaje “*On*”, se activa el relé de estado sólido que controla a un determinado circuito del tablero de distribución eléctrica; Si el mensaje es “*Off*”, se desactiva

el relé de estado sólido. Este proceso se realiza para cada uno de los relés de estado sólido que gestionan los circuitos presentes en el tablero de distribución eléctrica.

Figura 47

Función para el procesamiento del mensaje recibido.

El diagrama muestra un fragmento de código C++ con las siguientes anotaciones:

- función:** Una flecha roja apunta al nombre de la función `callback`.
- parámetros:** Una flecha roja apunta a los parámetros de la función: `String topic`, `byte* message` y `unsigned int length`.
- mensaje:** Una flecha roja apunta al elemento `message[i]` dentro de un recuadro rojo que rodea la línea `message_Estado += (char)message[i];`.
- comparación de tema:** Una flecha roja apunta a la condición `topic=="nodo2/c1/ssr1"`.
- activa SSR del circuito:** Una flecha roja apunta a la llamada `digitalWrite(pin_ssrl,HIGH);`.
- desactiva SSR del circuito:** Una flecha roja apunta a la llamada `digitalWrite(pin_ssrl,LOW);`.

```
void callback(String topic, byte* message, unsigned int length) {
  String message_Estado;
  for(int i=0;i<length;i++)
  {
    message_Estado += (char)message[i];
  }

  if(topic=="nodo2/c1/ssr1") {
    if(message_Estado=="On") {
      digitalWrite(pin_ssrl,HIGH);
    }else if(message_Estado=="Off") {
      digitalWrite(pin_ssrl,LOW);
    }
  } else if (topic=="nodo2/c2/ssr1") {
```

4.2 Implementación del Software

De acuerdo con la arquitectura IoT (véase la Figura 14), se realiza el despliegue de los servicios alojados en la nube correspondientes a la capa denominada “Capa de Servicio” necesarios para el desarrollo del sistema. En esta capa se encuentran el Broker Mosquitto MQTT, Node-RED, InfluxDB y Home Assistant. Cada uno de los servicios están desplegados sobre una instancia en la plataforma de Amazon Web Services (AWS) previamente elegida. El proceso del lanzamiento de la instancia se presenta en el Anexo D.

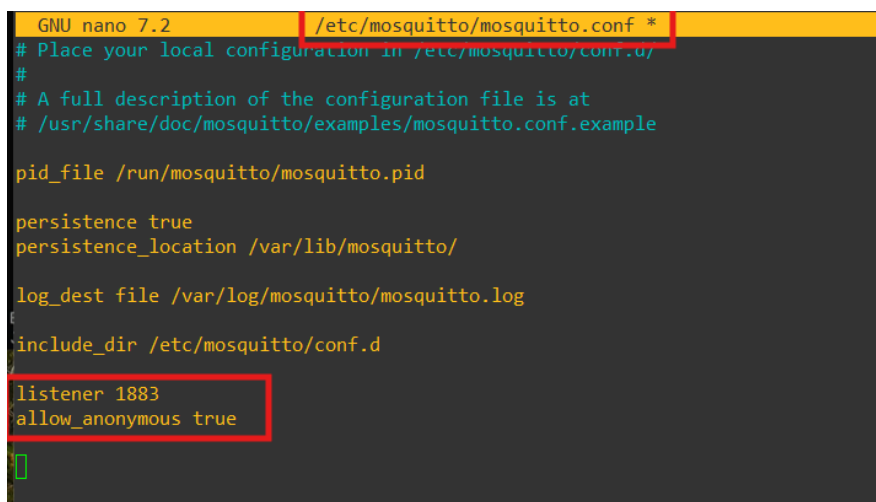
4.2.1 Despliegue de Broker MQTT

En esta sección, se realiza el despliegue del Bróker Mosquitto MQTT en la instancia alojada en la nube. La función del bróker en el sistema es recibir los mensajes enviados por los publicadores (nodos), clasificarlos por tema y distribuir a los clientes suscritos a dichos temas. En la Figura 48, se muestra la habilitación del puerto 1883 en el archivo de

configuración *mosquitto.conf* de Mosquitto, lo cual permite al bróker ejecutar las funcionalidades de publicación y suscripción de mensajes en temas específicos. Los detalles adicionales sobre el proceso de instalación del bróker Mosquitto MQTT se presentan en el Anexo E.

Figura 48

Habilitación del puerto de escucha del broker Mosquitto MQTT



```
GNU nano 7.2 /etc/mosquitto/mosquitto.conf *
# Place your local configuration in /etc/mosquitto/conf.d/
#
# A full description of the configuration file is at
# /usr/share/doc/mosquitto/examples/mosquitto.conf.example

pid_file /run/mosquitto/mosquitto.pid

persistence true
persistence_location /var/lib/mosquitto/

log_dest file /var/log/mosquitto/mosquitto.log

include_dir /etc/mosquitto/conf.d

listener 1883
allow_anonymous true

[]
```

Es fundamental reiniciar y verificar el estado del servicio Mosquitto MQTT después de realizar la configuración. En la Figura 49, se presenta el estado del servicio Mosquitto MQTT tras configurar el puerto de escucha y reiniciar el servicio. El estado indica que el servicio se encuentra activo y en ejecución, lo cual garantiza que el bróker pueda gestionar eficazmente las tareas de publicación y suscripción de mensajes para los clientes MQTT.

Figura 49

Reinicio y verificación del estado del servicio Mosquitto MQTT.

```

admin@ip-172-31-20-170:~$ sudo systemctl restart mosquitto.service
admin@ip-172-31-20-170:~$ sudo systemctl status mosquitto.service
● mosquitto.service - Mosquitto MQTT Broker
   Loaded: loaded (/lib/systemd/system/mosquitto.service; enabled; preset: ena
   Active: active (running) since Sat 2024-05-18 15:34:09 UTC; 9s ago
     Docs: man:mosquitto.conf(5)
           man:mosquitto(8)
   Process: 2013 ExecStartPre=/bin/mkdir -m 740 -p /var/log/mosquitto (code=exi
   Process: 2015 ExecStartPre=/bin/chown mosquitto /var/log/mosquitto (code=exi
   Process: 2016 ExecStartPre=/bin/mkdir -m 740 -p /run/mosquitto (code=exite
   Process: 2017 ExecStartPre=/bin/chown mosquitto /run/mosquitto (code=exite
   Main PID: 2018 (mosquitto)
     Tasks: 1 (limit: 2349)
    Memory: 1.1M
       CPU: 15ms
    CGroup: /system.slice/mosquitto.service
           └─2018 /usr/sbin/mosquitto -c /etc/mosquitto/mosquitto.conf

May 18 15:34:09 ip-172-31-20-170 systemd[1]: Starting mosquitto.service - Mosq
May 18 15:34:09 ip-172-31-20-170 systemd[1]: Started mosquitto.service - Mosq
lines 1-18/18 (END)
admin@ip-172-31-20-170:~$

```

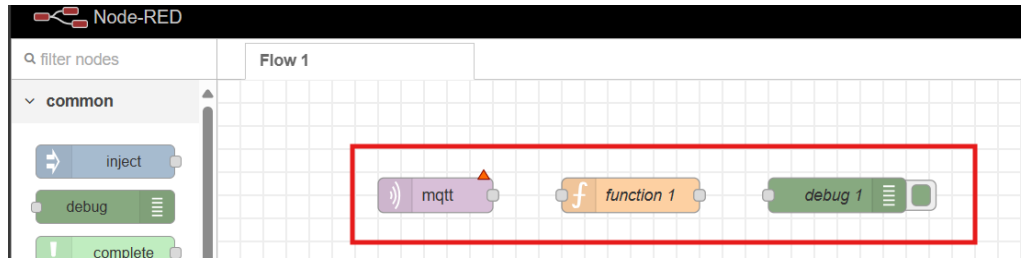
4.2.2 Procesamiento de Datos en Node-RED

La estructura del flujo en Node-RED incluye varios nodos que permiten la suscripción y publicación de mensajes a través de temas, el procesamiento y transformación de los datos y las funciones de almacenamiento de datos en InfluxDB. Un flujo en Node-RED se compone de diferentes nodos interconectados entre sí que definen el flujo de los datos. Los nodos empleados en la estructura del flujo de Node-RED se presentan en la Figura 50 y cumplen las siguientes funciones:

- `mqt in`: Establece la conexión al bróker y permite la suscripción a un tema específico.
- `Función`: Ejecuta funciones sobre los mensajes recibidos.
- `Debug`: Indica las propiedades de los mensajes a través de la pestaña de visualización y, opcionalmente el registro del tiempo de ejecución.

Figura 50

Nodos utilizados en Node-RED.

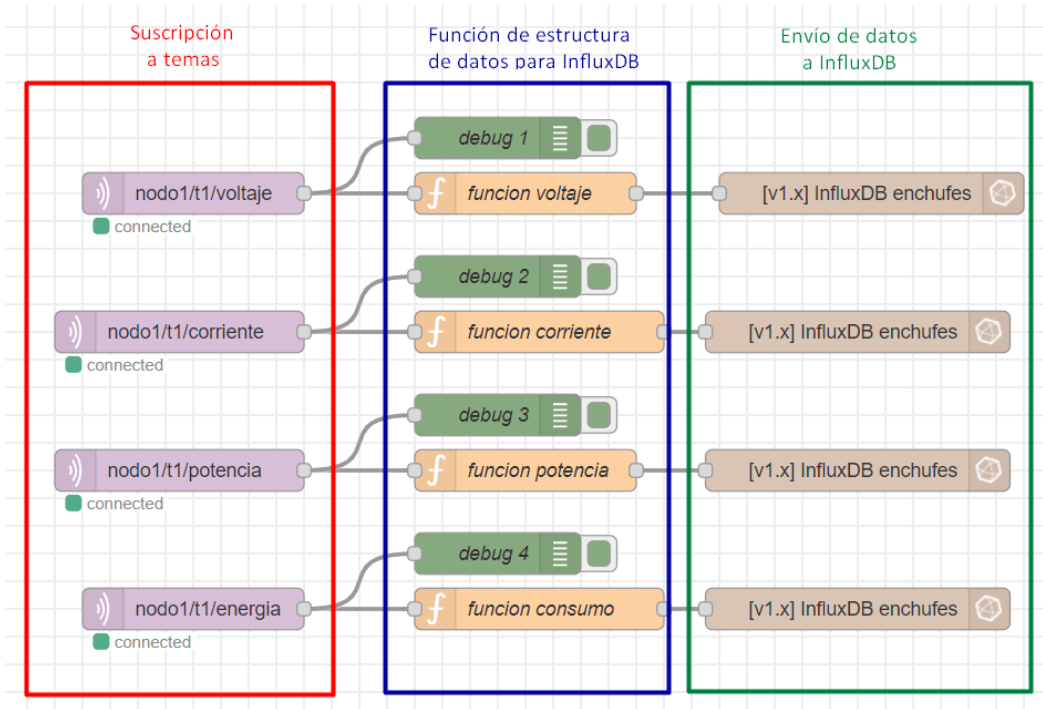


En la Figura 51 se observa la conexión de los nodos del flujo principal en Node-RED, requeridos para brindar el sentido al flujo de los datos. La estructura del flujo se organiza en tres secciones, descritas a continuación:

- Suscripción a temas: Nodos encargados de la suscripción a los diferentes temas establecidos por los publicadores (nodos encargados de medir el consumo eléctrico).
- Función de estructura de datos para InfluxDB: Nodos encargados del procesamiento y transformación de los datos provenientes de la sección de “Suscripción a temas”, definiendo la estructura de los datos para el almacenamiento en InfluxDB. La estructura de datos para InfluxDB se presenta en el apartado 3.5.13.
- Envío de datos InfluxDB: Es la sección de nodos encargados del envío de los datos a la base de datos InfluxDB para su almacenamiento.

Figura 51

Conexión de los nodos del flujo principal en Node-RED.

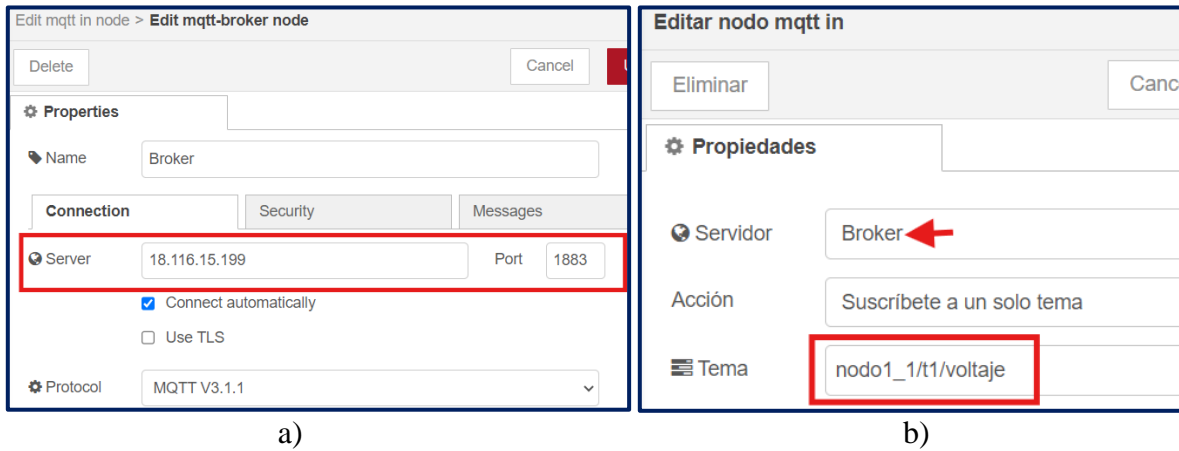


Configuración de Nodo MQTT IN

La configuración del modo *mqtt in* se presenta en la Figura 52. En este nodo se especifican la dirección IP del bróker, el puerto de escucha y la versión del protocolo MQTT a utilizar (Figura 52a). Una vez configurado el bróker, se le asigna un nombre referencial para facilitar su identificación. Dentro de este nodo, también se define el tema al cual el nodo *mqtt in* se va a suscribir (Figura 52b).

Figura 52

Configuración de nodo *mqtt in*.



Configuración del Nodo Function

El mensaje recibido a través del nodo *mqtt in* se procesa a través del nodo *function*, como se muestra en la Figura 53. El propósito de este nodo es tomar el *payload* del mensaje de tipo “*String*” proveniente de un tema específico y convertirlo a un valor numérico de tipo flotante, que luego se almacena en el *valor de campo (field value)*, correspondiente a la *llave de campo (field key)* denominada *voltaje*. Además, se asigna el *valor de etiqueta (tag value)* como *nodo1_1* (ID). Este proceso asegura que el envío de datos a InfluxDB mantenga una estructura de datos *clave-valor*, cuya organización se explica en la sección 3.5.13.

Figura 53

Configuración de nodo function.

```

Configuración | Al inicio | En mensaje | Al final
1  msg.payload = [
2    {voltaje: parseFloat(msg.payload)},
3    {id_nodo: "nodo1_1" }]
4  return msg;

```

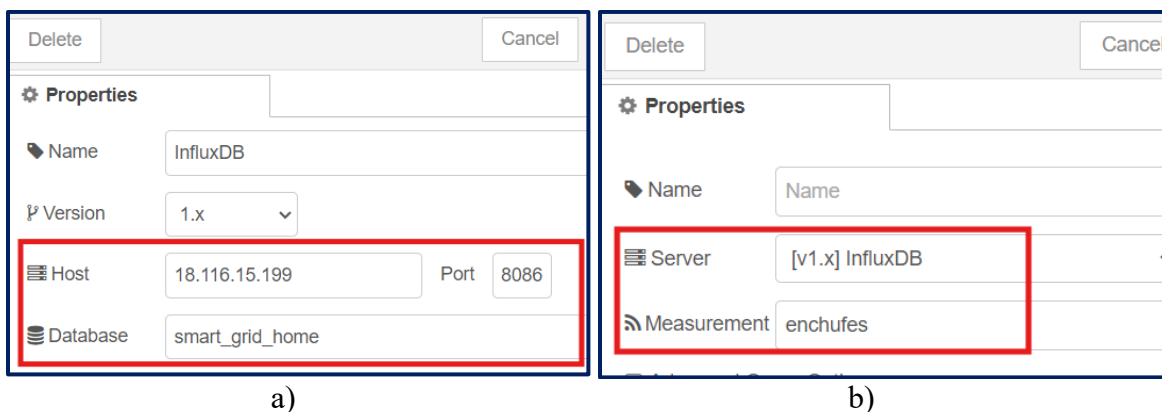
Configuración de Nodo InfluxDB Out

El nodo *influxdb out* es el encargado de la conexión y envío de datos hacia InfluxDB para su almacenamiento. En la Figura 54 se presenta la configuración de este nodo, donde se asignan los siguientes parámetros:

- Nombre: nombre que se le asigna a la conexión con la base de datos InfluxDB.
- Versión: versión de InfluxDB.
- Host: dirección IP del servicio de base de datos
- Puerto: puerto de escucha de InfluxDB.
- Medición: nombre de la medición (tabla).

Figura 54

Configuración de nodo influxdb out.



4.2.3 Creación de la Base de Datos

Con el diseño de la base de datos, detallada en la sección 3.5.13, se procede a su creación. A partir del comando `CREATE DATABASE smart_grid_home`, se establece la base de datos denominada “*smart_grid_home*”. En ella, se definen las medidas denotadas como “*enchufes*” y “*medidor_inteligente*”, las cuales funcionan como tablas en una base de datos tradicional. El proceso descrito anteriormente se presenta en la Figura 55.

Figura 55

Creación de la base de datos en InfluxDB

```
admin@ip-172-31-20-170:~$ sudo influx
Connected to http://localhost:8086 version 1.8.10
InfluxDB shell version: 1.8.10
> CREATE DATABASE smart_grid_home
> show databases
name: databases
name
----
_internal
smart_grid_home ←
>
```

En la Figura 56 se presentan los valores de prueba correspondientes a la *measurement* denominada “enchufes” que almacena los datos referentes a las variables eléctricas registradas por los electrodomésticos que están conectados al Nodo 1, corroborando el diseño planteado en la sección 3.5.13. La Figura 56 presenta valores de prueba correspondientes a un *tag key* y los diferentes *field value* que almacenan el identificador (nodo1_1) y los valores de las variables eléctricas de cada enchufe, respectivamente. Además, la columna *time* permite ordenar cronológicamente los puntos recolectados a lo largo del tiempo, facilitando el análisis histórico de los datos.

Figura 56

Valores de prueba para la validación de creación y conexión con la base de datos

InfluxDB

```

> SELECT * FROM enchufes
name: enchufes
time                consumo corriente  id_nodo  potencia  voltaje
-----
1719556829649943026  0.42              nodo1_1  26.1      118
1719556829703722183  0.034             nodo1_1  117.7
1719556829705416762  0.034             nodo1_1
1719556829705677003  0.466             nodo1_1
1719556839651762728
1719556839666881115  0.034
1719556839666950081  0.466
  
```

4.2.4 Desarrollo de la Interfaz de Gestión y Visualización del Consumo Eléctrico en la Plataforma de Home Assistant

En esta sección se desarrolla la interfaz de gestión y visualización del consumo eléctrico en la plataforma de Home Assistant. Esta plataforma, de código abierto, permite modificar el sistema según las necesidades del usuario. Para implementar las funcionalidades requeridas, Home Assistant se integra con otros servicios como Mosquitto MQTT, Node-RED e InfluxDB. El desarrollo de la interfaz se divide en tres secciones principales: Integración del bróker Mosquitto MQTT, Integración de sensores y switches MQTT, y Creación de paneles de monitoreo y control.

1. Integración del bróker Mosquitto MQTT: Esta sección presenta la conexión entre el bróker Mosquitto MQTT y Home Assistant, lo que permite que la información enviada por los Nodos 1 y 2, a través de temas o topics, sea recibida en Home Assistant (suscripción MQTT). A su vez, desde la plataforma, el usuario puede enviar

instrucciones (publicación MQTT) como la gestión de circuitos eléctricos o electrodomésticos.

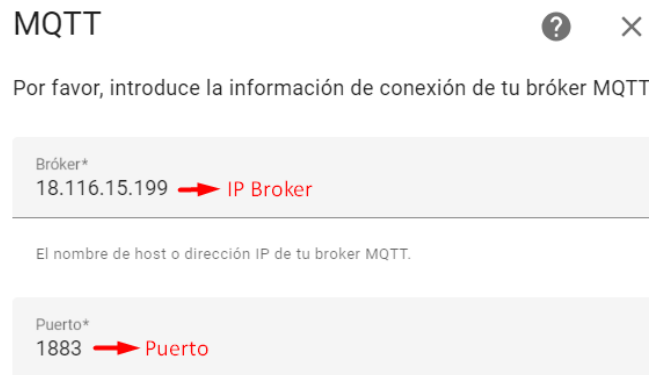
2. Integración de sensores y switches MQTT: Aquí se describe el proceso de creación de sensores y switches MQTT, comúnmente conocidos como “Entidades” en Home Assistant. El objetivo de este proceso es crear estas entidades para recibir y procesar datos bajo el protocolo MQTT, para luego ser convertidas en entidades visibles en forma de paneles, indicadores e histogramas.
3. Creación de paneles de monitoreo y control: Esta sección presenta el desarrollo de los paneles para el monitoreo de las variables eléctricas tanto del medidor general del hogar como de los electrodomésticos. Además, se configuran los paneles necesarios para gestionar los circuitos eléctricos y electrodomésticos de manera remota. Los paneles se basan en el diseño de la interfaz de usuario desarrollada en la sección 3.5.11.

4.2.5 Integración de Broker Mosquitto MQTT a Home Assistant

Para realizar la interfaz de monitoreo y gestión del consumo eléctrico para el usuario, es fundamental, en primer lugar, integrar el servicio de Mosquitto MQTT. El objetivo de esta integración es permitir la comunicación entre los nodos y Home Assistant, de modo que los nodos sean capaces de la comunicación con la plataforma de Home Assistant, permitiendo la recepción de los datos del consumo eléctrico y el envío de instrucciones hacia los nodos bajo el protocolo MQTT. En la Figura 57 se presenta el proceso de integración de Mosquitto MQTT en Home Assistant, el cual es muy sencillo: solo se requiere asignar la dirección IP y el puerto de escucha del bróker para mantener una conexión entre Home Assistant y el bróker.

Figura 57

Integración de Mosquitto MQTT a la plataforma de desarrollo de la interfaz.



MQTT

Por favor, introduce la información de conexión de tu bróker MQTT.

Bróker*
18.116.15.199 → IP Broker

El nombre de host o dirección IP de tu broker MQTT.

Puerto*
1883 → Puerto

4.2.6 Integración de Sensores y Switches MQTT

En Home Assistant, un *sensor MQTT* actúa como dispositivo de publicación y suscripción de mensajes hacia el bróker a través de temas específicos. Estos sensores MQTT corresponden a los nodos que envían los datos sobre el consumo eléctrico general del hogar y de los electrodomésticos, y reciben instrucciones bajo el protocolo MQTT. La configuración de los sensores MQTT se realiza en el archivo de configuración *configuration.yaml*, donde se pueden agregar funciones como la integración de dispositivos, servicios, automatizaciones, entre otras. En la Figura 58 se presenta la integración de los sensores MQTT, que comienza con la especificación del uso del servicio o plataforma MQTT y la definición de uno o más sensores. A continuación, se configuran las distintas variables del sensor, incluyendo el nombre (*name*), el tema de suscripción para la recepción de mensajes (*state_topic*), calidad de servicio (*qos*) y, mediante la variable *unit_of_measurement*, la unidad de medida.

Figura 58

Integración de sensores MQTT a la plataforma de desarrollo de la interfaz.

```

-
mqtt: → Plataforma
-
# Creacion de Sensores MQTT para recibir mensajes a traves de topicos de variables electricas
-
... sensor: → Creación de sensores
...
#Dispositivo 1-
-
- name: "Voltaje Nodo1_1 Tomacorriente 1" → nombre
- state_topic: "nodo1_1/t1/voltaje" → tema
- qos: 0
- unit_of_measurement: "V" → unidad de medida
-

```

Por otro lado, el envío de instrucciones para la activación o desactivación de los relés en los Nodos 1 y 2 bajo el protocolo MQTT se realiza a partir de la definición de un *switch* dentro del archivo de configuración *configuration.yaml*. En la Figura 59 se muestra la configuración de un *switch MQTT*, que comienza especificando la creación de una entidad de tipo *switch*. Luego, se asignan las diferentes variables requeridas por esta entidad, como el nombre del switch mediante la variable *name*, el tema de publicación y suscripción definidos en las variables *state_topic* y *command_topic*, respectivamente, y el estado del switch mediante la variable *value*. Finalmente, la carga útil que representa a los estados de encendido y apagado (On / Off) se define a través de las variables *payload_on* y *payload_off*.

Figura 59

Integración de switches MQTT a la plataforma de desarrollo de la interfaz.

```

-
# Creacion de Switches MQTT para envio de acciones On / Off-
-
... switch: → creación de switches mqtt
...
# Dispositivo 1-
-
- name: "On/Off Nodo1_1 Tomacorriente 1" → nombre
- state_topic: "nodo1_1/t1/relay"
- command_topic: "nodo1_1/t1/relay" → temas
- value_template: "{{ value }}"
- payload_on: "On" → carga útil
- payload_off: "Off"
-

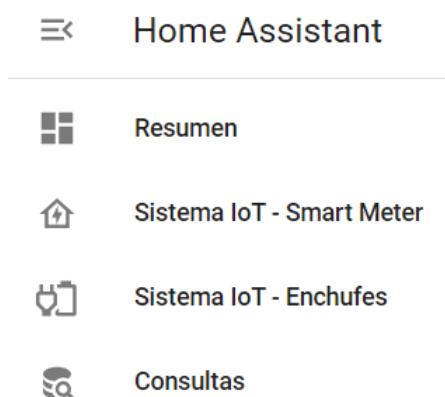
```

4.2.7 Creación de Paneles de Monitoreo y Control

Con la integración previa del servicio de Mosquitto MQTT en Home Assistant, en esta sección se elaboran los paneles de monitoreo del consumo eléctrico y gestión de nodos. La interfaz cuenta con cuatro paneles principales, como se presenta en la Figura 60: Resumen, Sistema IoT – Smart Meter, Sistema IoT – Enchufes y Consultas. El primer panel “Resumen”, se crea automáticamente y ofrece un resumen de todas las instancias creadas en la plataforma, como el consumo eléctrico general del hogar, el consumo de cada electrodoméstico, y el estado de los tomacorrientes y circuitos del tablero de distribución eléctrica (encendido/apagado). Los paneles: Sistema IoT – Smart Meter y Sistema IoT – Enchufes, contiene información sobre las variables eléctricas monitoreadas y las funcionales para gestión remota de circuitos eléctricos y electrodomésticos. Por último, el panel “Consultas” permite al usuario consultar el consumo eléctrico general del hogar y de los electrodomésticos.

Figura 60

Paneles principales de la interfaz del usuario

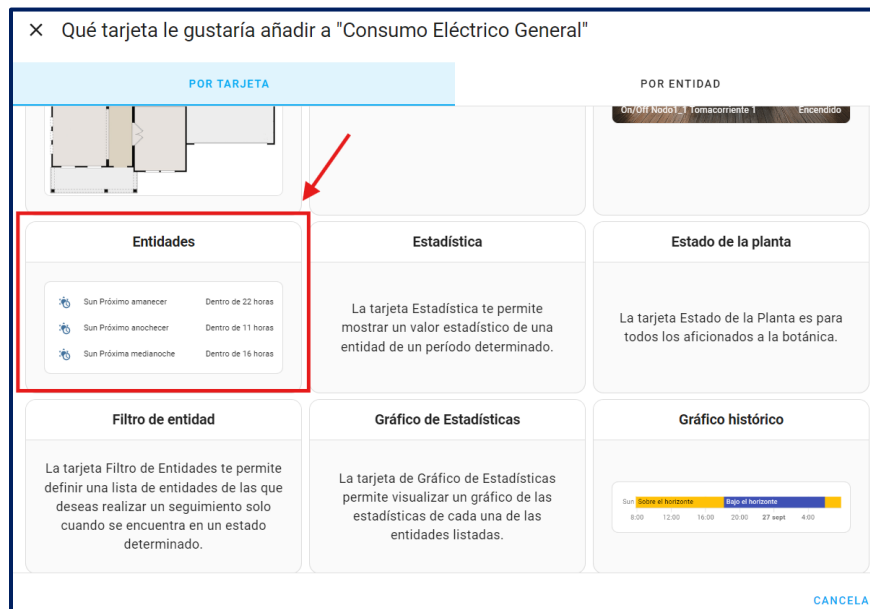


Para cada uno de los paneles de la Figura 61, se diseña la interfaz de usuario integrando tarjetas de visualización como Entidades, Botones, Indicadores e Histogramas,

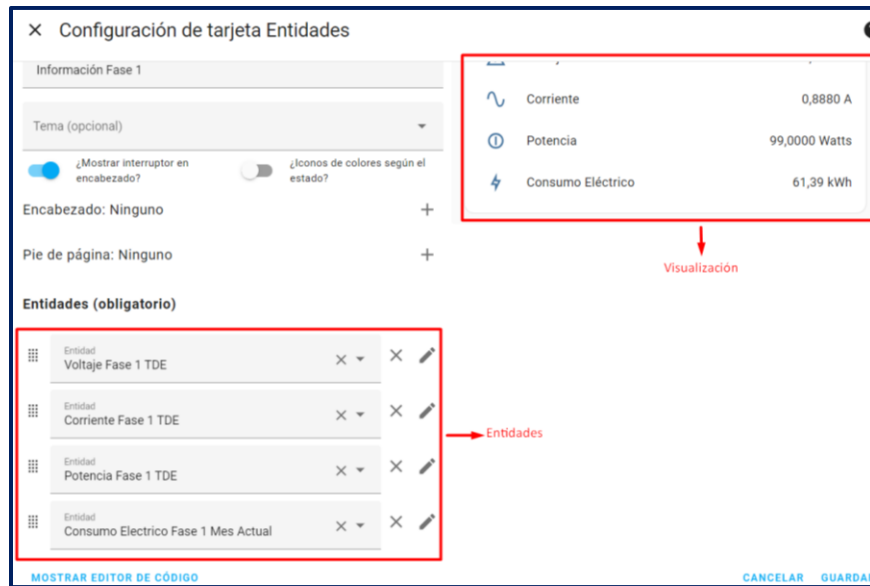
agregadas mediante “*Entidades*” a partir del nombre designado a cada sensor o switch MQTT. Por ejemplo, en el panel secundario “Sistema IoT – Smart Meter”, se agregan los sensores MQTT que reflejan los valores de voltaje, corriente, potencia y consumo eléctrico de la Fase 1, utilizando la tarjeta “*Entidades*” (Figura 61a). Aquí, se incorporan sensores que contienen los valores de las variables eléctricas, identificadas con el nombre asignado en la configuración. Conjuntamente se muestra la vista preliminar de los sensores con sus valores monitoreados, que se actualizan en tiempo real con los nuevos datos registrados por los nodos (Figura 61b).

Figura 61

Creación de panel de monitoreo y gestión del consumo eléctrico.



a)

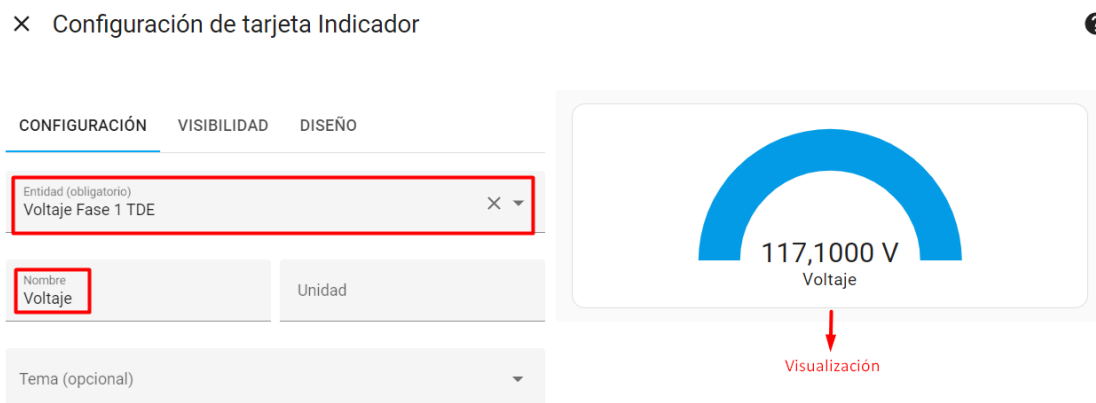


b)

Para la creación de *Indicadores* e *Histogramas* se sigue el mismo procedimiento mencionado, variando únicamente el tipo de tarjeta a utilizar. En la Figura 62 se presenta la integración de la tarjeta de *Indicador* para la visualización del voltaje de la Fase 1. En esta tarjeta, se inserta la entidad correspondiente, nombrada como “*Voltaje Fase 1 TDE*”, y se configura el indicador con el nombre “*Voltaje*”.

Figura 62

Creación de panel de monitoreo y gestión del consumo eléctrico.



En la Figura 63 se presenta la integración de la tarjeta de **Histograma**, utilizada para visualizar el consumo eléctrico general del hogar. El procedimiento de configuración es similar al de las tarjetas anteriores: se agrega a esta tarjeta la entidad denominada **“Consumo Eléctrico Total Mes Actual”**. De esta manera, se obtiene el gráfico histórico del consumo eléctrico, el mismo que permite al usuario observar la evolución del consumo a lo largo del tiempo, facilitar la identificación de patrones de consumo según los hábitos energéticos y proporcionar una visión clara del impacto de las medidas de ahorro implementadas.

Figura 63

Creación de panel de monitoreo y gestión del consumo eléctrico.

× Configuración de tarjeta Gráfico histórico ?

CONFIGURACIÓN VISIBILIDAD DISEÑO

Título
Consumo Eléctrico General

Horas para mostrar

Escala logarítmica

Mínimo del eje Y Máximo del eje Y

Entidades (obligatorio)

Entidad
Consumo Electrico Total Mes Actual

Entidad

Consumo Eléctrico General

Horario	Consumo (kWh)
9:00	68,2
12:00	68,4
15:00	68,8
18:00	68,9
21:00	69,0
27 sept 3:00	69,2
6:00	69,7

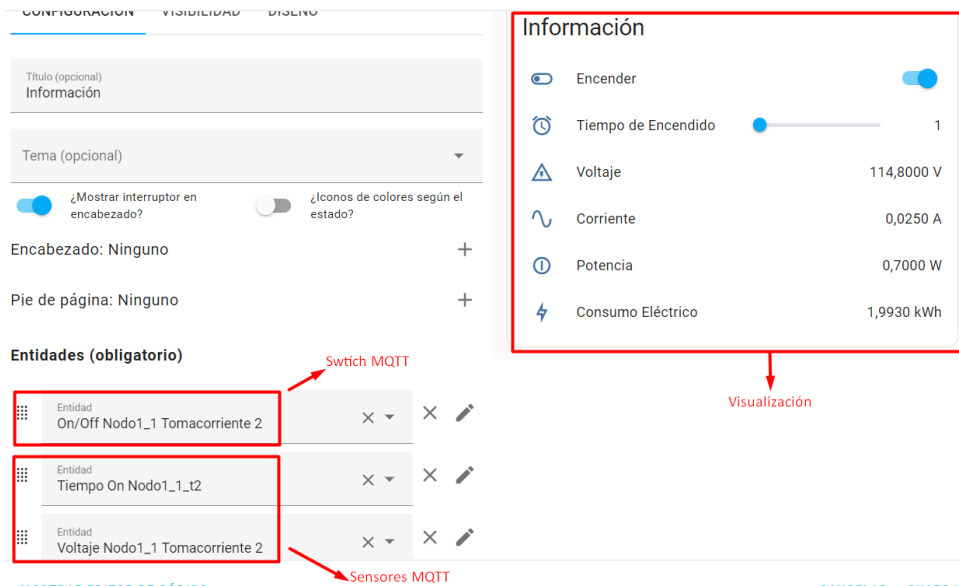
MOSTRAR EDITOR DE CÓDIGO
CANCELAR GUARDAR

Asimismo, se procede con la creación de la interfaz para los paneles adicionales mediante la integración de las **Instancias** en las tarjetas de Home Assistant. En la Figura 64 se muestra el panel “Sistema IoT - Enchufes”, donde se integran sensores y switches MQTT,

que permiten tanto el monitoreo de las variables eléctricas de un electrodoméstico y como la gestión remota del mismo. De este modo, en la visualización de las entidades se reflejan el estado del electrodoméstico monitoreado, el tiempo encendido (que activa una alerta) y los valores de las variables eléctricas. Estas funcionalidades ofrecen al usuario un mejor control y manejo del consumo eléctrico de sus electrodomésticos presentes en su hogar.

Figura 64

Creación de panel de monitoreo y gestión del consumo eléctrico.



4.3 Implementación del Sistema en el Entorno Controlado

La implementación del sistema se lleva a cabo en la casa número tres del Conjunto Residencial Belgrano, en la ciudad de Ibarra, con el objetivo de obtener los datos sobre el consumo eléctrico general del hogar y de un grupo seleccionado de electrodomésticos en un entorno controlado. Para ello, es esencial seleccionar cuatro electrodomésticos a monitorear, por lo que en la Tabla 22 se presenta a los equipos disponibles en el hogar. Estos se clasifican en tres categorías: cocina, limpieza, y entretenimiento y comunicación; junto a ellos se

identifica su potencia nominal. Aunque es claro que algunos electrodomésticos presentan un alto consumo energético, como la plancha (1200 W), el microondas (700 W) y la lavadora (700), la mayoría de ellos no se utilizan con frecuencia ni por largos periodos de tiempo. En comparación, otros electrodomésticos de menor consumo, como el televisor (135 W), el equipo de sonido (120 W) y el refrigerador (113.5 W), tienen un uso más frecuente y por períodos prolongados, especialmente este último que se mantiene encendido las 24 horas del día, lo que afecta al consumo eléctrico total del hogar.

Tabla 22

Lista de electrodomésticos presentes en la vivienda de implementación del sistema.

Electrodoméstico	Potencia (W)	N.º
Refrigeradora	113.5	1
Lavadora	700	1
Secadora	400	1
Televisor	135	2
Equipo de sonido	120	1
Computador	200	1
Plancha	1200	1
Arrocera	700	1
Cafetera	700	1
Microondas	700	1
Licuadora	600	1
Extractor de frutas	75	1

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 22, se seleccionan cuatro electrodomésticos para monitorear, considerando aquellos que presentan un mayor valor de potencia (energía que consume un aparato mientras está en uso), así como la frecuencia de uso de estos equipos. En este sentido, los electrodomésticos a monitorear se presentan en la Tabla 23, donde se identifican el refrigerador (113.5 W), la lavadora (700 W), el televisor (135 W) y equipo de sonido (120 W). Destaca la lavadora como el electrodoméstico de mayor consumo, mientras que los otros presentan un consumo más bajo, pero con una frecuencia de uso mucho mayor.

Tabla 23

Lista de electrodomésticos a monitorear.

Nº. de Equipo	Electrodoméstico	Potencia (Watts)
1	Refrigeradora	113.5
2	Lavadora	700
3	Televisor	135
4	Equipo de sonido	120

Con esta selección de los electrodomésticos a monitorear, el siguiente paso consiste en la instalación de los Nodos 1 y 2 en la residencia.

4.3.1 Instalación del Nodo 1 en los Tomacorrientes de la Residencia

Para el Nodo 1, el cual se encarga de monitorear el consumo eléctrico y gestionar los electrodomésticos conectados a él, se realiza la instalación en un tomacorriente de la residencia. Es importante considerar que, de acuerdo con la Tabla 23, se seleccionan cuatro

electrodomésticos para monitorear, lo que implica la instalación de dos nodos del tipo 1 (Nodo 1). En la Figura 65 se muestra la instalación del primer Nodo 1 en un tomacorriente del hogar, donde, a través de los enchufes que posee el nodo en la parte trasera (véase Figura 37), se provee la alimentación eléctrica al nodo y a los tomacorrientes donde se conectan los electrodomésticos (Equipo 1 y 2, según la Tabla 23).

Figura 65

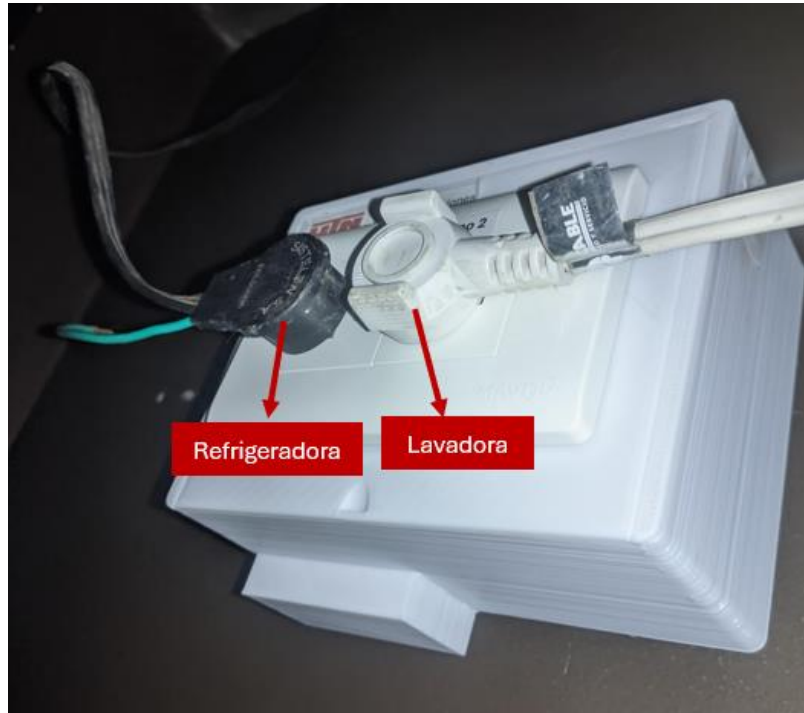
Instalación de primer nodo 1 en un tomacorriente del hogar.



Una vez ubicado e instalado el primer Nodo 1, se procede a conectar los dos electrodomésticos a monitorear: el refrigerador y la lavadora. En la Figura 66 se presentan los enchufes correspondientes al refrigerador y lavadora, conectados a los tomacorrientes del nodo e identificados como Equipo 1 y Equipo 2. De esta forma, los electrodomésticos mencionados están listos para ser monitoreados y gestionados por parte del usuario a través de la plataforma de Home Assistant.

Figura 66

Conexión del refrigerador y lavadora al primer nodo 1.



Para los siguientes electrodomésticos a monitorear (televisor y equipo de sonido), se instala un segundo Nodo 1 en un tomacorriente de la vivienda lo más cercano a estos dispositivos. En la Figura 67 se muestra el proceso de instalación del segundo Nodo 1, donde se observan dos tomacorrientes en los que se conectan los electrodomésticos a monitorear. Es importante que el nodo esté bien conectado al tomacorriente, ya que a través de esta conexión se provee de alimentación eléctrica, tanto al nodo como a los electrodomésticos.

Figura 67

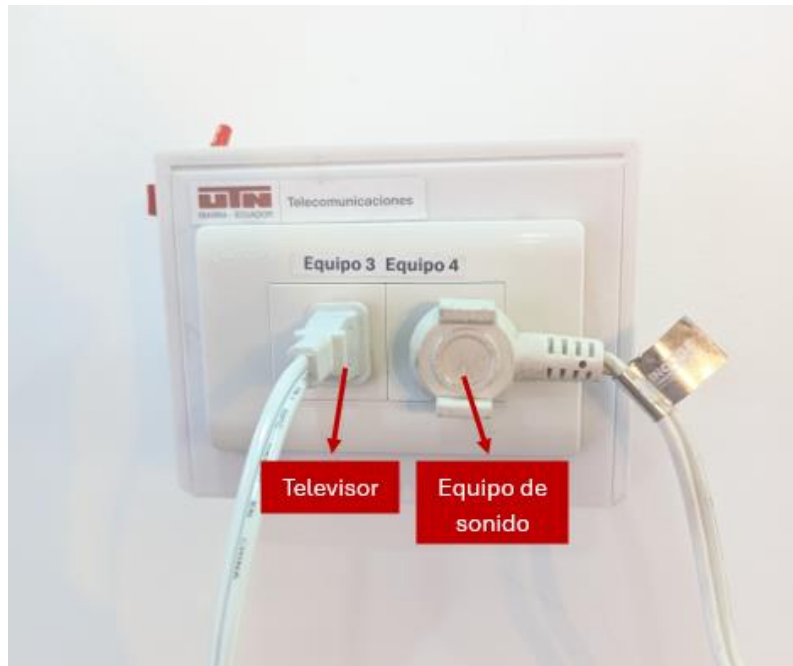
Instalación del segundo nodo 1 en un tomacorriente del hogar.



En la Figura 68 se muestra la conexión de los electrodomésticos: televisor y equipo de sonido, de acuerdo con el número de equipo establecido en la Tabla 23 y asignados a los tomacorrientes del nodo (Equipo 3 y Equipo 4). En esta figura, se observa un LED que indica el estado (apagado) en el que se encuentra el nodo. El cual, una vez que el nodo pasa a un estado de encendido, el LED se enciende, indicando que el nodo está listo para realizar el monitoreo del consumo eléctrico y gestión de los electrodomésticos conectados.

Figura 68

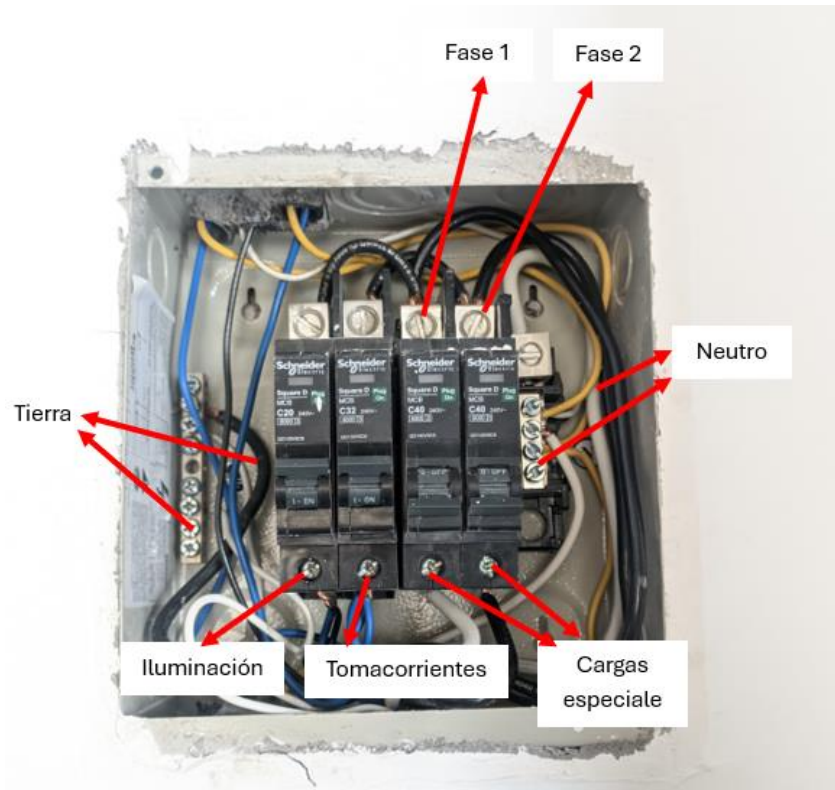
Conexión del televisor y equipo de sonido al segundo nodo1.

**4.3.2 Instalación del Nodo 2 en el Tablero de Distribución Eléctrica de la Residencia**

En esta sección se presenta la instalación de Nodo 2, encargado de medir el consumo eléctrico general del hogar y gestionar los circuitos presentes en el tablero de distribución eléctrica. Para ello, se inicia con la identificación de las conexiones eléctricas y los circuitos que se van a gestionar. En la Figura 69 se muestra el tablero de distribución eléctrica de la residencia, donde se identifican dos conductores designados como Fase, dado que el medidor es bifásico, así como las barras o borneras para las conexiones de Neutro y Tierra, requeridas para la conexión hacia los sensores. Además, el tablero cuenta con cuatro circuitos eléctricos distribuidos para iluminación, tomacorrientes y cargas especiales, respectivamente.

Figura 69

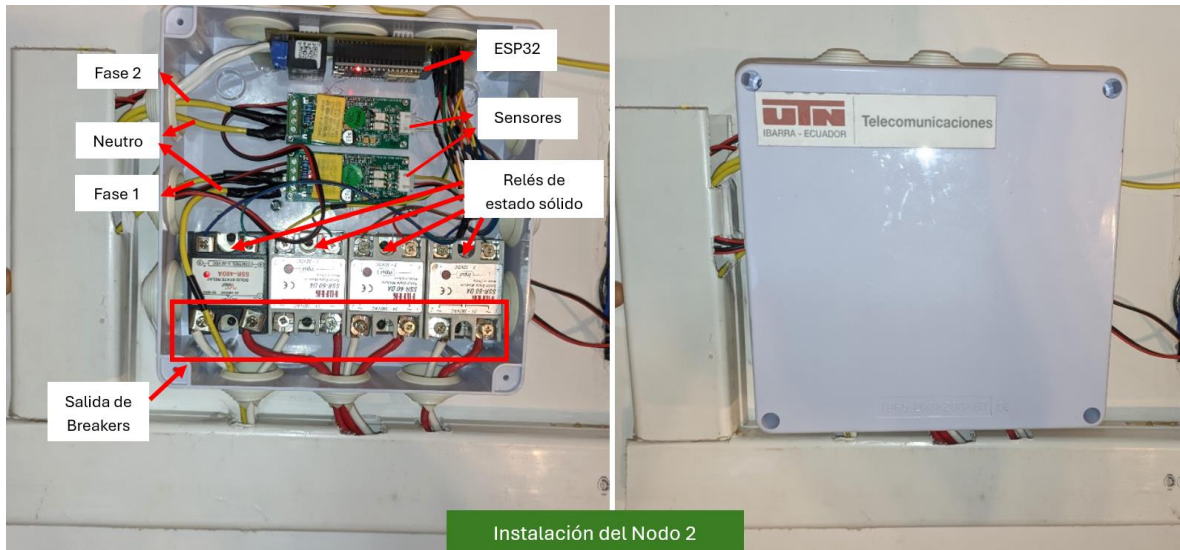
Identificación de las conexiones y circuitos presentes en el tablero de distribución eléctrica.



Con las conexiones eléctricas del tablero de distribución identificadas, se procede a instalar el Nodo 2, como se muestra en la Figura 70. En ella se identifican las conexiones desde la bornera de Fase y Neutro del tablero de distribución eléctrica hacia las borneras de los sensores PZEM004-T, que permiten realizar la medición de voltaje para la Fase 1 y Fase 2. Por otro lado, los transformadores de corriente (CT) se colocan a través de los conductores designados como Fase 1 y 2, permitiendo así la medición de corriente en fase. Finalmente, los relés de estado sólido (SSR) mantienen la conexión individual a cada salida de los breakers de los circuitos eléctricos, lo que permite gestionar las cargas mediante una señal de activación o desactivación suministrada desde el microcontrolador ESP32.

Figura 70

Instalación del nodo 2



4.3.3 Costos del Sistema de Monitoreo y Gestión del Consumo Eléctrico para Hogares

El sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico para hogares basado en el Internet de las Cosas (IoT), requiere de una inversión inicial que se divide en cuatro categorías principales: diseño, hardware, software e implementación. Este presupuesto abarca al sistema completo, desde el diseño de los nodos encargados del monitoreo del consumo eléctrico general del hogar y de la gestión de electrodomésticos, hasta los costos de adquisición de componentes electrónicos, operación de los servicios alojados en la nube y la implementación del sistema en una residencia.

En la Tabla 24 se presentan los costos iniciales relacionados con el diseño del sistema, los cuales incluyen diversos softwares necesarios para el diseño de los circuitos electrónicos y el PCB, el diseño del Case y el entorno de desarrollo integrado (IDE) para la programación de los Nodos 1 y 2. El costo del diseño es de \$00.00, ya que todas las herramientas mencionadas anteriormente son gratuitas; por lo tanto, su uso no requiere costo alguno.

Tabla 24*Costos del diseño del sistema.*

Ítem	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Fritzing	1	00.00	00.00
EasyEDA	1	00.00	00.00
Tinkercad	1	00.00	00.00
Arduino IDE	1	00.00	00.00
MockFlow	1	00.00	00.00
Costo Total de Diseño			00.00

En la Tabla 25 se presentan los costos de hardware y software requeridos por el sistema. Los costos de hardware tienen un valor total de \$192.50 y abarcan el conjunto de componentes electrónicos necesarios para el desarrollo de los Nodos 1 y 2. Cabe recalcar que la Tabla 25 considera el número total de componentes utilizados para el Nodo 1 y Nodo 2, además de los componentes requeridos para el desarrollo de dos nodos del tipo 1.

Por otro lado, los costos de software ascienden a \$120.00, que corresponden al valor de facturación de la Instancia EC2 en Amazon Web Services (AWS), tomando un plan equivalente a 6 meses. Este costo es variable y depende de los recursos asignados a la instancia. En contraste, los servicios de Mosquito, Home Assistant, InfluxDB y Node-RED, al ser de código abierto, no generan costos de instalación ni de operación.

Tabla 25*Costos de hardware y software del sistema.*

Componente	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Costos de Hardware			
Sensor PZEM004T v3	6	15.00	90.00
ESP32	3	10.00	30.00
Módulo relé de dos canales	2	4.00	8.00
Relé de estado sólido (SSR)	4	12.00	48.00
Fuente 5V DC Hi-Link PM-01	3	5.50	16.50
Costo Total de Hardware			192.50
Costos de Software			
Instancia EC2 Amazon Web Services	1	20.00	120.00
Home Assistant	1	00.00	00.00
Mosquitto MQTT	1	00.00	00.00
InfluxDB	1	00.00	00.00
Node-Red	1	00.00	00.00

Costo Total de	120.00
Software	

En la Tabla 26 se detallan los costos de instalación del sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico para hogares. El costo total de implementación es de \$111.75. Este monto incluye las impresiones 3D del Case y la PCB de los Nodos 1 y 2, junto con los costos relacionados a los componentes eléctricos necesarios para la instalación y funcionamiento de los nodos.

Tabla 26

Costos de implementación del sistema.

Componente	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Impresión 3D Case Nodo 1	2	25.00	50.00
Case comercial del Nodo 2	1	10.00	10.00
Impresión PCB del Nodo 1	2	10.00	20.00
Impresión PCB del Nodo 2	1	10.00	10.00
Tomacorrientes Dobles	2	2.00	4.00
Enchufes	4	0.75	1.50
Cable N.º 12	5 (m)	0.45	2.25
Cable N.º 10	5 (m)	0.70	3.00
Canaleta	2 (m)	11.00	11.00
Costo Total de			111.75
Implementación			

Finalmente, la Tabla 27 muestra el costo total de \$423.75 requerido para el sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico para hogares, el cual incluye los costos de diseño, hardware, software e implementación. Este presupuesto garantiza que el sistema realice el monitoreo del consumo eléctrico general del hogar, así como la gestión de un conjunto de cuatro electrodomésticos y cuatro circuitos eléctricos presentes en el tablero de distribución eléctrica. Cabe destacar que, mientras mayor sea el número de electrodomésticos a monitorear, los costos de hardware e implementación presentarán aumentos.

Tabla 27

Costo total del sistema.

Ítem	Precio (\$)
Costos de diseño	00.00
Costos de hardware	192.50
Costos de software	120.00
Costos de implementación	111.75
Costo total del sistema	423.75

4.4 Pruebas de Funcionamiento del Sistema

De acuerdo con la metodología en cascada, en esta sección se realizan las pruebas de funcionamiento del sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico, tras haber completado las fases previas de requerimientos, diseño e implementación. El propósito de estas pruebas es verificar el correcto funcionamiento del sistema tras la integración de sus diversos componentes, así como identificar y corregir posibles fallos de diseño.

Para obtener un proceso ordenado de pruebas, en la Tabla 28 se establece un plan de pruebas que se divide en dos secciones: pruebas generales, enfocadas en la verificación de la instalación y las operaciones básicas del sistema; y pruebas específicas, centradas en las operaciones y funcionalidades particulares del sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico para hogares.

Tabla 28

Plan de pruebas de funcionamiento del sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico.

Tipo de Prueba	Descripción	Resultado
Pruebas Generales	Prueba01G. Verificación de instalación de los nodos	Instalación de nodos que garanticen que no existan riesgos eléctricos en el hogar
	Prueba02G. Medición correcta de parámetros eléctricos por parte de los sensores	Verificar lecturas correctas de los datos realizadas por los sensores

	Prueba03G. Verificar la conexión inalámbrica entre los nodos y Gateway para intercambio de información	Conexión inalámbrica entre los nodos y el Gateway
	Prueba04G. Conexión de los Clientes MQTT conectados al bróker para ejecutar procesos de publicación y suscripción de mensajes	Conexión de los nodos con el bróker MQTT
	Prueba05G. Publicación de Envío de datos del consumo eléctrico (electrodomésticos y hogar) desde los nodos hacia el bróker.	Envío de datos del consumo eléctrico (electrodomésticos y hogar) desde los nodos hacia el bróker
	Prueba06G. Comprobación de la recepción de mensajes por parte de los clientes MQTT a través de la suscripción a los temas	Nodos capaces de recibir los mensajes enviados por parte del usuario por medio de la suscripción a temas.
	Prueba07G. Almacenamiento de datos registrados por los nodos	Almacenar datos del consumo eléctrico de cada nodo con su identificación
Pruebas Específicas	Prueba01E. Visualización de datos del consumo eléctrico	El usuario visualiza el avance del consumo eléctrico general del hogar y electrodomésticos
	Prueba02E. Gestión remota de los nodos	Gestión remota de activación y desactivación de los electrodomésticos conectados al nodo

Prueba03E. Generación de alertas debido a un consumo eléctrico inusual	Generación de alertas que informen al usuario sobre un consumo eléctrico inusual de un electrodoméstico conectado al nodo
Prueba04E. Acceso al historial de los datos almacenados sobre el consumo eléctrico	El usuario puede acceder a los consumos eléctricos (hogar y electrodomésticos) almacenados desde la interfaz
Prueba05E. Validación de los datos obtenidos para monitoreo y gestión del consumo eléctrico para hogares	El consumo eléctrico general del hogar registrado por el sistema deberá ser similar al obtenido por el medidor eléctrico instalado por parte de la empresa
Prueba06E. Ahorro energético	El sistema de monitoreo y gestión genera un ahorro y eficiencia energética en la residencia

4.4.1 Pruebas Generales

En esta sección, se ejecutan las pruebas generales descritas en la Tabla 28, enfocadas en verificar la instalación y las operaciones básicas del sistema, como la correcta instalación de los nodos, la validación de las lecturas realizadas por los sensores, la conexión inalámbrica de los nodos, la conexión y transmisión de mensajes con el Bróker MQTT, entre otras.

4.4.1.1 Prueba01G. Verificación de Instalación de los Nodos

La primera prueba general consiste en verificar la correcta instalación del Nodo 1 y Nodo 2. El objetivo de esta prueba es evitar riesgos eléctricos en el entorno controlado que podrían representar un peligro para los residentes de la vivienda. En este contexto, la Figura 71 muestra la verificación de la ausencia de continuidad entre los puntos de Fase y Neutro en los tomacorrientes de los nodos encargados de monitorear el consumo eléctrico de los electrodomésticos, previniendo de esta manera cualquier riesgo de cortocircuito.

Figura 71

Comprobación de la ausencia de riesgos eléctricos en la instalación del nodo1_1.



De manera similar, en el Nodo 2, encargado de monitorear el consumo eléctrico general del hogar y gestionar los circuitos eléctricos, se realiza la misma prueba, enfocada en garantizar la ausencia de riesgos eléctricos. En la Figura 72 se comprueba la ausencia de continuidad entre los conductores designados como Fase y Neutro provenientes del tablero

de distribución eléctrica, conectados a las borneras de los sensores PZEM004-T. El multímetro indica la ausencia de continuidad, lo que garantiza que las conexiones están realizadas correctamente y no representa un riesgo eléctrico en la residencia.

Figura 72

Comprobación de la ausencia de riesgos eléctricos en la instalación del nodo2.



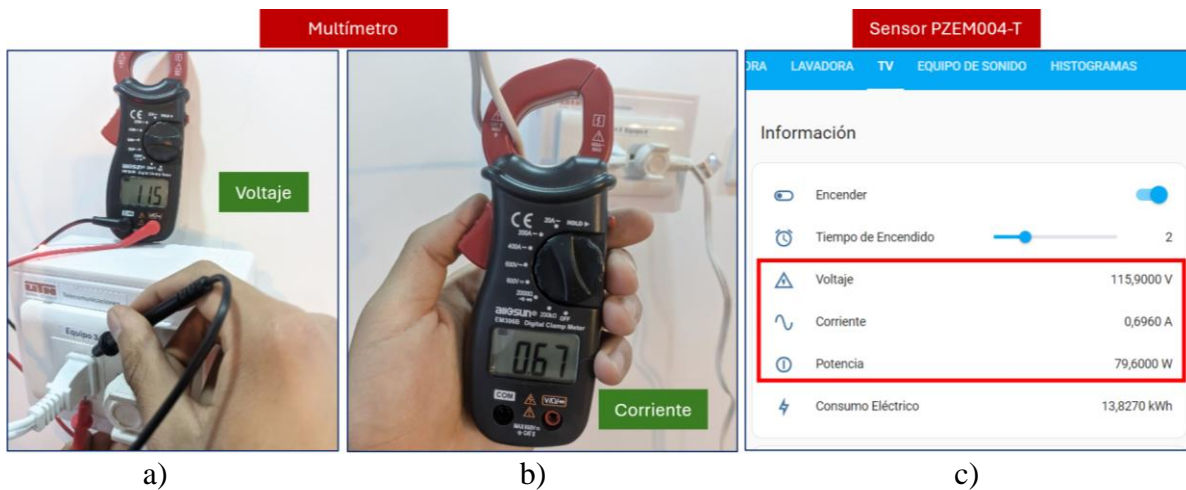
4.4.1.2 Prueba02G. Medición Correcta de Parámetros Eléctricos por Parte de los Sensores

La segunda prueba general tiene como objetivo comprobar que las lecturas de las variables eléctricas, como voltaje, corriente y potencia, realizadas por los sensores sean

correctas, para garantizar una fiabilidad en los datos obtenidos. Para la validación de las medidas de las variables eléctricas obtenidas de los electrodomésticos, se toma como referencia al televisor y se realiza la medición de voltaje y corriente con el multímetro cuando el equipo está encendido. En la Figura 73 se presentan los resultados de las mediciones de voltaje (Figura 73a) y corriente (Figura 73b), realizadas con el multímetro, y las mediciones registradas por el sensor PZEM004-T (Figura 73c). El valor del voltaje obtenido por el multímetro es de 115 V, mientras que el calculado por el sensor es de 115.9 V. Por otro lado, la corriente medida por el multímetro es de 0.67 A, mientras que el calculado por el sensor es de 0.696 A. El valor de la potencia registrada por el sensor es de 79.6 W, correspondiente al producto entre el voltaje y la corriente.

Figura 73

Comparación entre las lecturas de las variables eléctricas tomadas por el multímetro y el sensor.



De acuerdo con los datos de voltaje y corriente obtenidos con el multímetro, se calcula la potencia aplicando la Ec. 2.

$$P = V \times I \quad (\text{Ec. 2})$$

Considerando un voltaje de 115 V y una corriente de 0.67 A, se reemplaza en la Ec. 2, como se muestra a continuación:

$$P = 115V \times 0.67A$$

$$P = 77.05 W$$

Con estos datos, se calcula el valor del error absoluto y relativo a partir de las Ec. 3 y Ec. 4, respectivamente, considerando los valores de voltaje, corriente y potencia determinados por el multímetro y el sensor PZEM004-T.

$$E_a = |V_{\text{exacto}} - V_{\text{aproximado}}| \quad (\text{Ec. 3})$$

$$E_r = \frac{E_a}{V_{\text{exacto}}} \quad (\text{Ec. 4})$$

En la Tabla 29 se presentan los valores de las variables eléctricas obtenidas por el multímetro y el sensor PZEM004-T, así como los resultados del error absoluto y relativo para cada variable medida: voltaje, corriente y potencia correspondiente al televisor. El voltaje obtenido por el multímetro y el sensor es de 115 V y 115.9 V, respectivamente, resultando en un error relativo de 0.70%, lo que refleja una medición altamente confiable. Los valores de la corriente obtenidos por el multímetro y el sensor son 0.67 A y 0.696 A, respectivamente, con un error relativo de 3.88%, lo que indica una fidelidad aceptable en las mediciones. Finalmente, los valores de potencia son 77.05 W y 79.6 W para el multímetro y el sensor, respectivamente, resultando en un error relativo de 3.30%. Los errores relativos de cada

variable eléctrica no superan el 5%, lo que implica que las lecturas proporcionadas por el sensor son fiables, aunque estas presenten pequeñas variaciones con las del multímetro, se deben a la precisión de cada dispositivo de medición y los decimales considerados cada uno.

Tabla 29

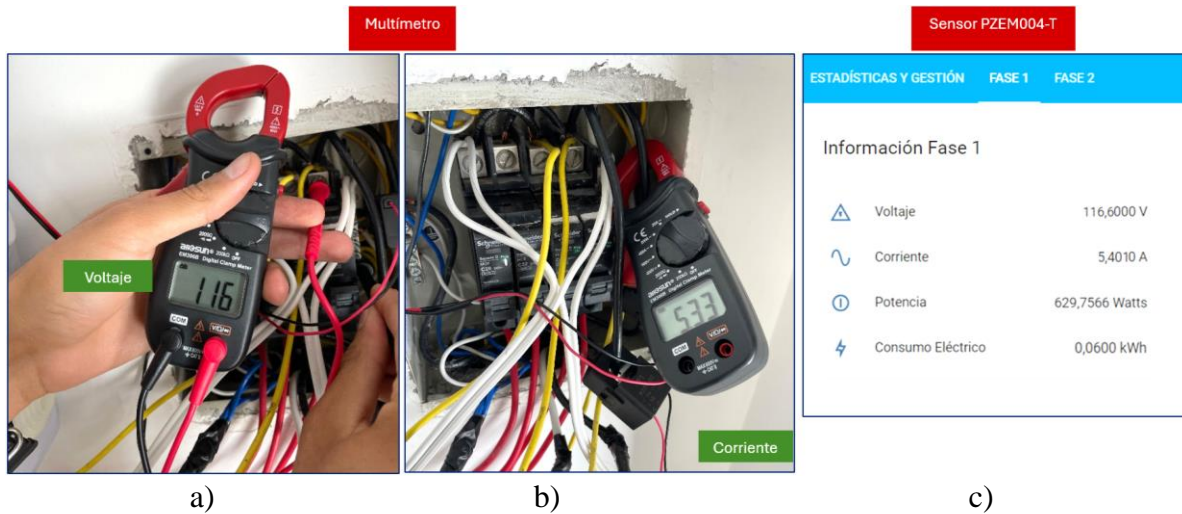
Valores de las variables eléctricas obtenidas por el multímetro y el sensor PZEM004-T.

	Multímetro	Sensor PZEM004-T	Error Absoluto	Error Relativo
Voltaje (V)	115	115.9	0.9	0.70%
Corriente (A)	0.67	0.696	0.026	3.88%
Potencia (W)	77.05	79.6	2.55	3.30%

Por otro lado, se ejecuta el mismo procedimiento para el Nodo 2, en el cual se realizan las mediciones del voltaje y corriente para una de las Fases presentes en el tablero de distribución. Las mediciones se llevan a cabo tanto con el multímetro como con los sensores PZEM004-T, garantizando así la fiabilidad de las lecturas. En este sentido, se mide el voltaje y la corriente de la Fase 1 del tablero de distribución eléctrica, colocando las puntas de prueba del multímetro sobre la línea de Fase y Neutro correspondientes, y la pinza amperimétrica sobre la línea de Fase. En la Figura 74 se presentan los resultados de las mediciones obtenidas por el multímetro y el sensor PZEM00-T, respectivamente. Los valores de voltaje y corriente medidos por el multímetro son de 116 V (Figura 74a) y 5.33 A (Figura 764). Los valores obtenidos por el sensor son 116.6 V y 5.401 A (Figura 74c), determinando pequeñas variaciones en las medidas de ambos dispositivos.

Figura 74

Comparación entre las lecturas de las variables eléctricas tomadas por el multímetro y el sensor.



Por otro lado, el valor de la potencia, considerando los valores de voltaje de 116 V y corriente de 5.33 A medidos por el multímetro, se calculan a partir de la Ec. 2, obteniendo el siguiente resultado.

$$P = 116 \text{ V} \times 5.33 \text{ A}$$

$$P = 618.28 \text{ W}$$

En la Tabla 30 se presentan los valores de las variables eléctricas obtenidas por el multímetro y el sensor PZEM004-T, junto con el error absoluto y relativo correspondiente a la medición de la Fase 1 presente en el tablero de distribución eléctrica. El error relativo en la medición del voltaje es de 0.51%, lo cual indica una medición altamente confiable. La medición de corriente presenta un error relativo de 1.33%, por lo que esta lectura también se considera confiable. Finalmente, la medida de la potencia resulta en un error relativo de

1.85%, clasificado como fiable. En conclusión, las mediciones realizadas por el sensor PZEM004-T en comparación con las del multímetro reflejan errores relativos menores a 2%, lo que permite deducir que las lecturas del sensor son válidas.

Tabla 30

Valores de las variables eléctricas obtenidas por el multímetro y el sensor PZEM004-T.

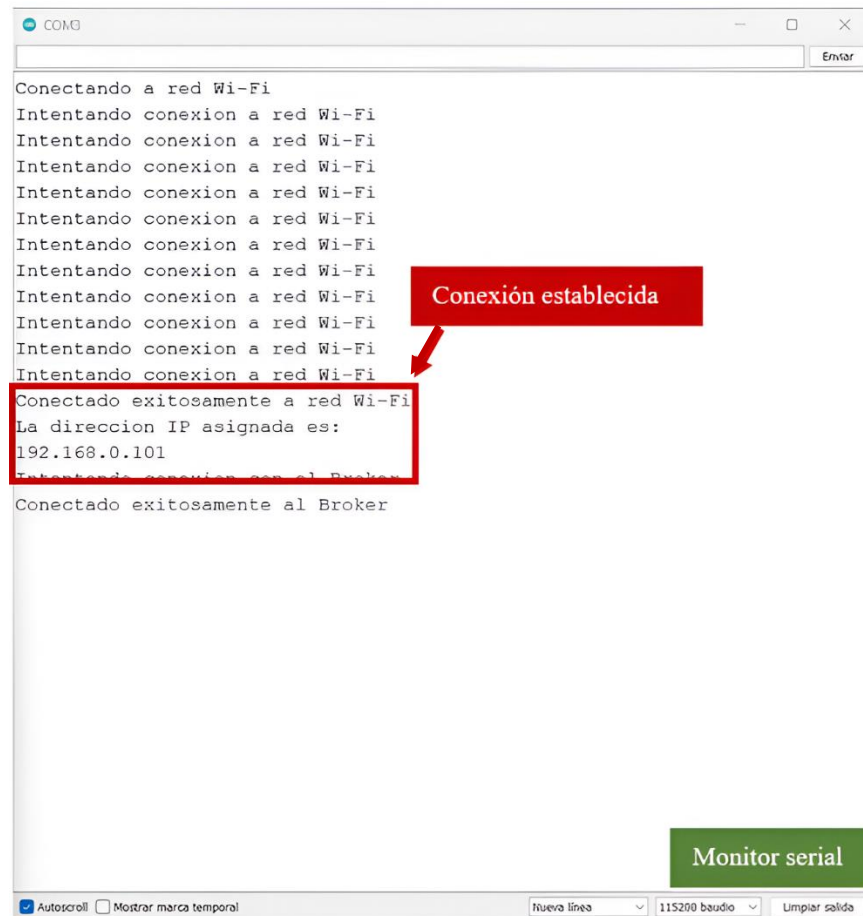
	Multímetro	Sensor PZEM004-T	Error Absoluto	Error Relativo
Voltaje (V)	116	116.60	0.60	0.51%
Corriente (A)	5.33	5.401	0.071	1.33%
Potencia (W)	618.28	629.7566	11.47	1.85%

4.4.1.3 Prueba03G. Verificación de Conexión Inalámbrica entre los Nodos y el Gateway

Esta prueba se centra en verificar la correcta conexión inalámbrica entre los nodos y el Gateway/Router, disponible en la vivienda, que es el encargado de proporcionar acceso a Internet a los nodos. En la Figura 75 se muestra, mediante el Monitor Serial de Arduino IDE, la conexión exitosa entre el nodo y el Gateway/Router, así como la dirección IP estática asignada a dicho nodo. De esta manera, el nodo está listo para realizar el proceso de conexión hacia el bróker Mosquitto alojado en la nube y ejecutar los procesos de publicación y suscripción de mensajes bajo el protocolo MQTT.

Figura 75

Comprobación de la conexión inalámbrica entre el nodo y el Gateway/Router.



```
COM3
Conectando a red Wi-Fi
Intentando conexión a red Wi-Fi
Intentando conexión a red Wi-Fi
Intentando conexión a red Wi-Fi
Intentando conexión a red Wi-Fi
Intentando conexión a red Wi-Fi
Intentando conexión a red Wi-Fi
Intentando conexión a red Wi-Fi
Intentando conexión a red Wi-Fi
Intentando conexión a red Wi-Fi
Intentando conexión a red Wi-Fi
Intentando conexión a red Wi-Fi
Intentando conexión a red Wi-Fi
Intentando conexión a red Wi-Fi
Conectado exitosamente a red Wi-Fi
La dirección IP asignada es:
192.168.0.101
Intentando conexión con el Broker
Conectado exitosamente al Broker

Monitor serial
Autoscroll [x] Mostrar marca temporal [ ]
Nueva línea [v] 115200 baudio [v] Limpiar salida [v]
```

4.4.1.4 Prueba04G. Conexión de los Nodos con el bróker MQTT

La cuarta prueba general se enfoca en validar la conexión de los nodos al bróker Mosquitto MQTT alojado en la nube, permitiendo a los nodos ejecutar las funciones de publicación de mensajes que contiene los valores de voltaje, corriente, potencia y consumo eléctrico, así como la suscripción a tópicos que gestionan los electrodomésticos conectados al Nodo 1 y los circuitos eléctricos del tablero eléctrico conectados al Nodo 2. Garantizar esta conexión es fundamental, ya que sin ella no serían posibles las tareas de publicación, suscripción y las funcionalidades asociadas. En la Figura 76 se muestra, mediante el Monitor

Serial de Arduino IDE, la conexión exitosa del nodo hacia el bróker Mosquitto, realizada después de la conexión del nodo a la red Wi-Fi local. A través de esta conexión exitosa, los nodos aseguran el monitoreo de las variables eléctricas de los electrodomésticos y de la residencia, así como las funciones de gestión remota controladas por el usuario a través de la plataforma de Home Assistant.

Figura 76

Comprobación de la conexión entre el nodo y el Broker Mosquitto.



```
COM3
Conectando a red Wi-Fi
Intentando conexion a red Wi-Fi
Intentando conexion a red Wi-Fi
Intentando conexion a red Wi-Fi
Intentando conexion a red Wi-Fi
Intentando conexion a red Wi-Fi
Intentando conexion a red Wi-Fi
Intentando conexion a red Wi-Fi
Intentando conexion a red Wi-Fi
Intentando conexion a red Wi-Fi
Intentando conexion a red Wi-Fi
Intentando conexion a red Wi-Fi
Conectado exitosamente a red Wi-Fi
La direccion IP asignada es:
192.168.0.101
Intentando conexion con el Broker
Conectado exitosamente al Broker
```

Conexión al Broker establecida

Monitor serial

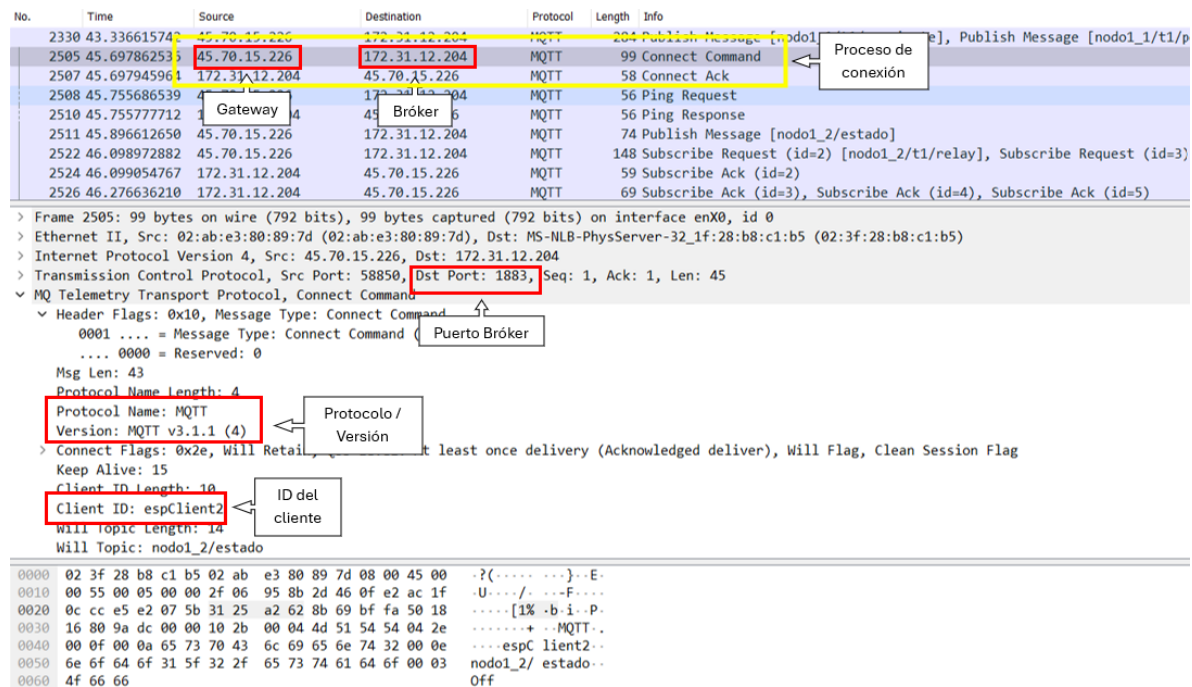
Autoscroll Mostrar marca temporal Nueva línea 115200 baudio Limpiar salida

Este proceso de conexión también se verifica mediante la captura de paquetes en Wireshark, ejecutada en la instancia EC2 ubicada en la plataforma de AWS. En la Figura 77 se muestran los dos paquetes clave para la conexión entre el nodo (IP 45.70.15.226) y el

Bróker (IP 172.31.12.204): **Connect Command** y **Connect ACK**. En el primer paquete, se visualizan los valores específicos requeridos para la conexión, como la versión del protocolo MQTT y el ID del cliente MQTT, en este caso, **espClient2**. Por otro lado, el segundo paquete enviado desde el bróker Mosquitto confirma la conexión exitosa a la petición enviada por el cliente. La dirección IP del bróker (172.31.12.204) corresponde a la dirección IPv4 privada de la instancia alojada en la nube. Esto se debe a que, en la arquitectura de red de AWS, se utiliza el proceso de NAT para la traducción de la IPv4 pública (18.116.15.199) a la dirección IPv4 privada.

Figura 77

Captura de paquetes MQTT generados en el proceso de conexión entre el nodo y el Broker.

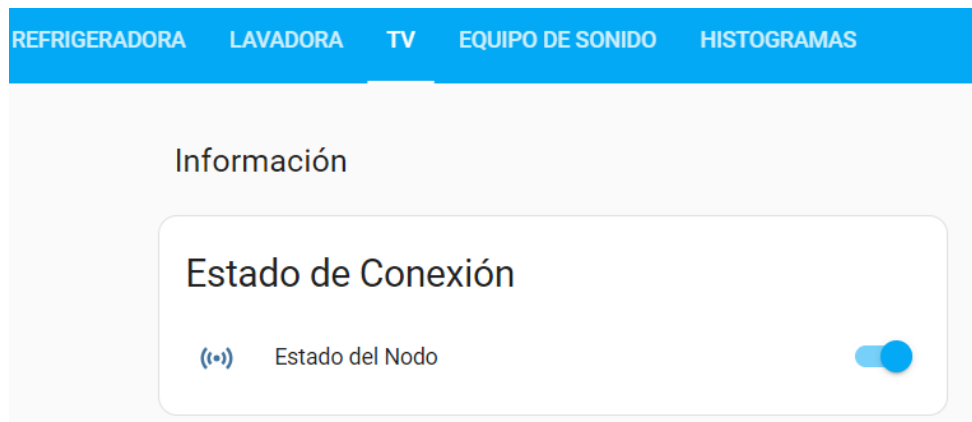


Es importante que la interfaz de usuario refleje el estado de conexión entre los nodos y el bróker, ya que esto indica cuando los nodos están disponibles para gestionar remotamente y monitorear las variables eléctricas. De lo contrario, el usuario podría ejecutar instrucciones

a las cuales los nodos no podrían responder. En este contexto, la Figura 78 muestra la pestaña correspondiente al televisor en el panel “Sistema IoT – Enchufes”. En ella, se identifica al Switch MQTT denominado “*Estado del Nodo*”, el cual recibe periódicamente el estado de conexión del nodo con el bróker, permitiendo al usuario saber si el nodo que controla al televisor está encendido y disponible para el monitoreo y gestión, o, de lo contrario, si está apagado, en cuyo caso las funcionalidades del nodo no serán posibles de ejecutar.

Figura 78

Estado de conexión del Nodo hacia el Bróker desde la interfaz de usuario.



4.4.1.5 Prueba05G. Publicación de Mensajes desde los Nodos hacia el Bróker Mosquitto MQTT

Como quinta prueba general, se valida la publicación de mensajes desde los nodos (clientes MQTT) hacia el bróker Mosquitto MQTT. El propósito de esta prueba es verificar que los datos obtenidos por los sensores sean procesados por el microcontrolador y enviados al bróker bajo el protocolo MQTT a través de Internet. Para ello, los nodos realizan el proceso de **publicación** de mensajes que contienen las mediciones de las variables eléctricas. La validación de esta prueba se presenta en la Figura 79; donde se toman como referencia los datos enviados por el nodo donde está conectado el refrigerador, y se realiza el proceso de

suscripción a los temas que contienen dicha información a través de la consola de la instancia creada en AWS. Así se verifica que los valores de las variables eléctricas, como voltaje, corriente, potencia y consumo eléctrico, son enviados exitosamente desde el nodo hacia el bróker bajo el protocolo MQTT. Esto garantiza que dichos datos también se reflejen y visualicen en la plataforma de Home Assistant. Es importante mencionar que el envío de estos valores se efectúa únicamente cuando el usuario activa el electrodoméstico conectado al Nodo 1; si el usuario lo desactiva, el envío de datos se detiene hasta que se vuelva a ejecutar una nueva instrucción de activación.

Figura 79

Publicación de mensajes desde los nodos hacia el Bróker Mosquitto.

The figure displays four terminal windows arranged in a 2x2 grid, each showing the execution of the `mosquitto_sub` command to receive MQTT messages. Red boxes highlight the topic names, and red arrows point to the received message values.

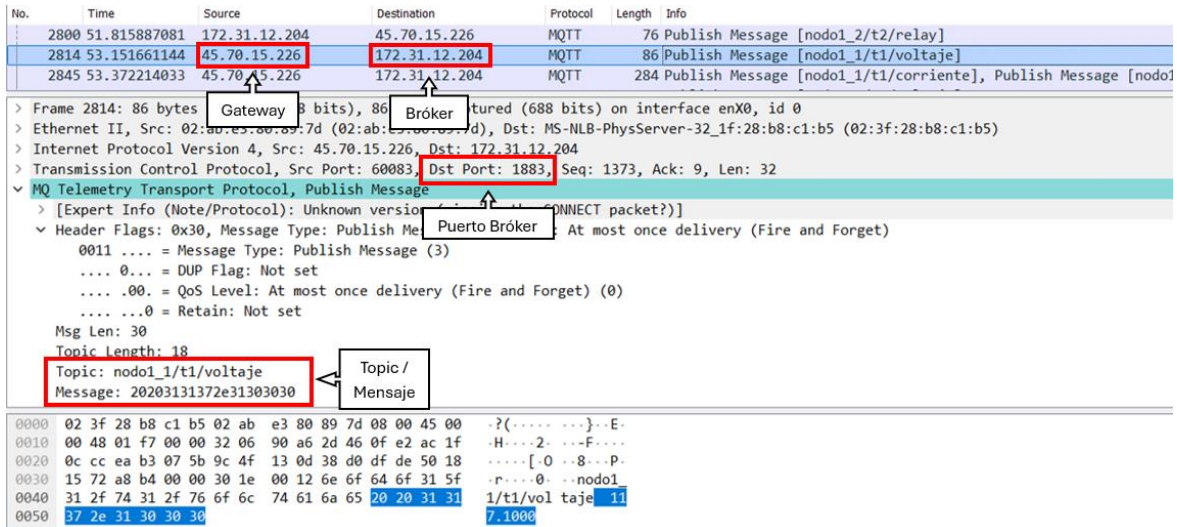
- Top-left:** Topic `nodo1_1/t1/voltaje`. Messages include values like 116.7000, 116.1000, 116.7000, 116.2000, 116.6000, 116.3000, 116.2000, 116.2000, 116.1000, 116.3000, and 116.3000.
- Top-right:** Topic `nodo1_1/t1/corriente`. Messages include values like 0.0400, 1.6810, 1.6850, 1.6640, 1.6260, 1.5950, 1.5770, 1.5720, 1.5690, 1.5710, and 1.5730.
- Bottom-left:** Topic `nodo1_1/t1/potencia`. Messages include values like 0.7000, 121.8000, 121.7000, 118.6000, 110.5000, 104.4000, 100.9000, 99.6000, 98.8000, and 98.7000.
- Bottom-right:** Topic `nodo1_1/t1/consumo`. Messages include values like 4.6500, 4.6510, 4.6510, 4.6520, 4.6520, 4.6520, 4.6520, 4.6520, 4.6530, 4.6530, and 4.6530.

Para verificar el correcto funcionamiento del protocolo MQTT, se realiza una captura de paquetes utilizando Wireshark en instancia EC2 ubicada en la plataforma de AWS. En la Figura 80, se identifican las direcciones IP del Gateway (45.70.15.226) y el Bróker Mosquitto (172.31.12.204), el puerto de escucha 1883 utilizado por el bróker para los procesos de publicación y suscripción, así como el tema y el mensaje enviado a través de él, y en este

caso, el valor de voltaje (117.1 V) registrado en el primer Nodo 1 correspondiente al tomacorriente 1.

Figura 80

Captura de paquetes MQTT generados en el proceso de envío de mensajes hacia el Broker.



4.4.1.6 Prueba06G. Recepción de Instrucciones en el Bróker Mosquitto MQTT a Través de la Suscripción a Temas

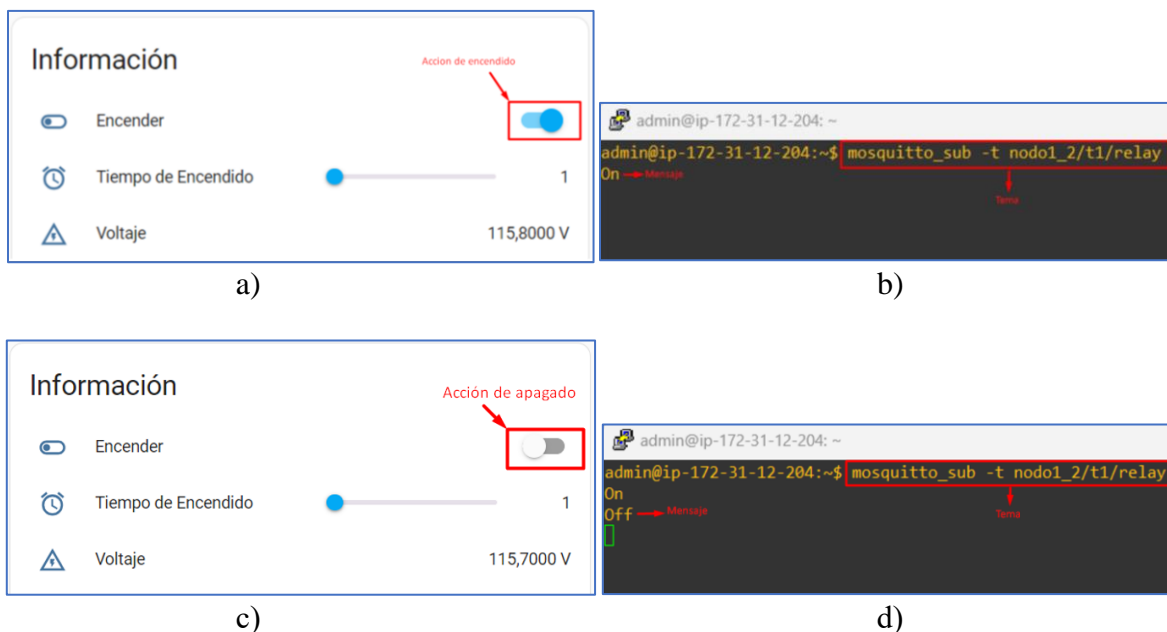
Como sexta prueba general, se evalúa la gestión de mensajes desde el bróker hacia los clientes subscriptores. El propósito de esta prueba es garantizar la gestión remota de los electrodomésticos conectados al Nodo 1 y de los circuitos eléctricos del tablero de distribución eléctrica conectados al Nodo 2, a partir de las instrucciones ejecutadas por los usuarios. Estos comandos se envían mediante la publicación de mensajes a través de temas específicos, que luego son recibidos y procesados por el microcontrolador ESP32 para ejecutar las acciones correspondientes.

La validación de esta prueba se presenta en la Figura 81. En ella se observa el switch MQTT, que permite controlar el encendido o apagado de un electrodoméstico conectado al

Nodo 1. Al activar el switch, este pasa a un estado de encendido (Figura 83a), permitiendo que el relé en el nodo deje pasar corriente eléctrica para alimentar al electrodoméstico y continuar monitoreando su consumo eléctrico. En la terminal de consola de la instancia alojada en AWS, se realiza la suscripción al tema *nodo1_2/t1/relay* (Figura 83b), donde se recibe el mensaje con la instrucción “*On*”, validando la publicación del comando desde el switch MQTT en Home Assistant y su recepción en el bróker Mosquitto. En el caso contrario, el switch MQTT envía el estado de apagado (Figura 83c), lo que desactiva el relé y detiene el paso de electricidad al electrodoméstico, finalizando el monitoreo del consumo eléctrico hasta una nueva instrucción de encendido. Del mismo modo, la suscripción al tema *nodo1_2/t1/relay* desde la consola de la instancia (Figura 83d) muestra el mensaje con la instrucción “*Off*”.

Figura 81

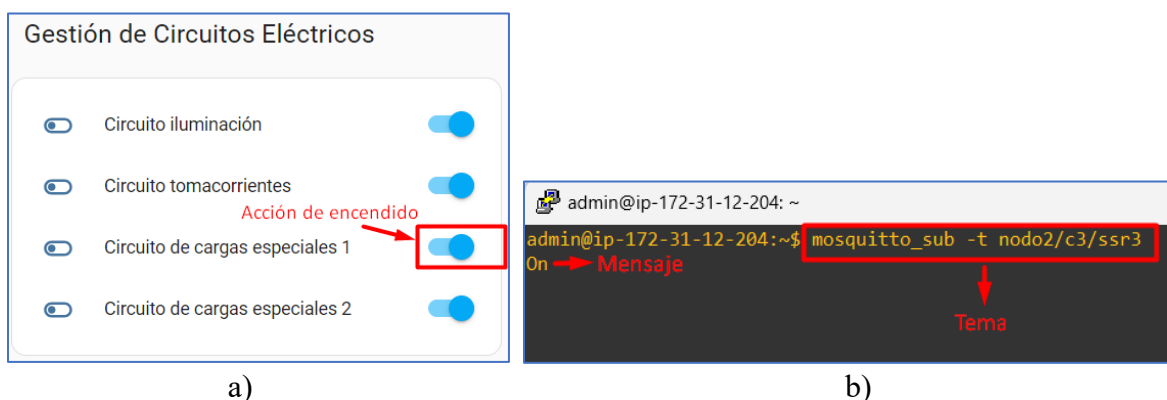
Recepción de mensajes para la gestión remota de los electrodomésticos conectados al nodo 1.

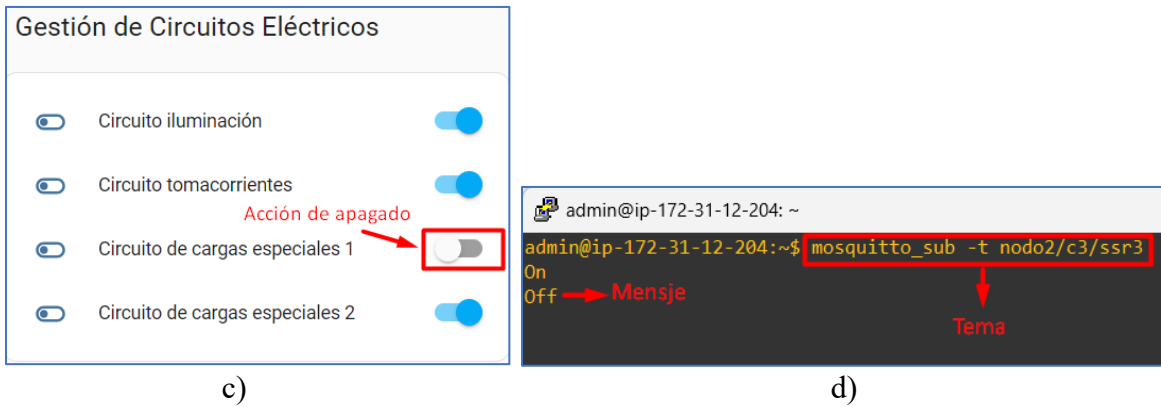


Por otro lado, se sigue el mismo procedimiento para validar la recepción de instrucciones ejecutadas desde la plataforma de Home Assistant. La interfaz de usuario dispone de cuatro switches MQTT asignados para la gestión de los circuitos eléctricos: iluminación, tomacorrientes, cargas especiales 1 y 2. Como ejemplo, se utiliza el circuito de cargas especiales 1, y se ejecuta la acción de encendido mediante el switch correspondiente (Figura 82a). En la consola de la instancia se realiza la suscripción al tema *nodo2/c3/ssr3*, a través del cual el bróker recibe el mensaje de activación de este circuito, permitiendo que el relé de estado sólido conmute para dar paso de corriente eléctrica a este circuito (Figura 82b). Para la acción de apagado, desactiva el switch MQTT designado para el circuito (Figura 82c), y al suscribirse al tema *nodo2/c3/ssr3* en la consola de la instancia (Figura 82d), se verifica la recepción del mensaje con “*Off*”. Esto hace que el relé de estado sólido se desactive, interrumpiendo el de corriente eléctrica hacia dicho circuito.

Figura 82

Recepción de mensajes para la gestión remota de los circuitos eléctricos presentes en el tablero de distribución eléctrica de la vivienda.



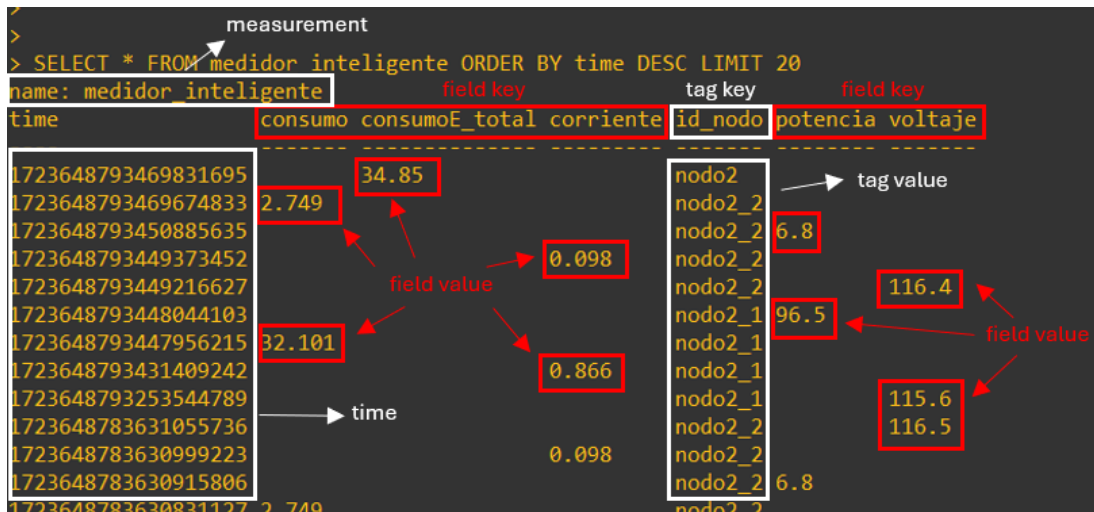


4.4.1.7 Prueba07G. Almacenamiento de Datos Registrados por los Nodos

La prueba general final tiene como objetivo validar el almacenamiento de los datos relacionados con las variables eléctricas, el consumo eléctrico general del hogar y el consumo de los electrodomésticos monitoreados. En la Figura 83 se muestra el almacenamiento de las variables de *voltaje*, *corriente*, *potencia* y *consumo eléctrico* en la *measurement* denominada *medidor_inteligente*, correspondiente a cada una de las fases monitoreadas: Fase 1 y Fase 2, identificadas mediante los *tag values* designados como *nodo2_1* y *nodo2_2*, respectivamente. Además, se identifica al *field key* denominado como *consumoE_total*, registrado con el *tag value* denominado *nodo2*, que registra continuamente la suma del consumo eléctrico de cada fase, proporcionando así el consumo eléctrico general del hogar. Finalmente, se verifica la variable *time*, que almacena la marca de tiempo en la que cada dato ha sido registrado, dado que InfluxDB gestiona bases de datos basadas en series temporales.

Figura 83

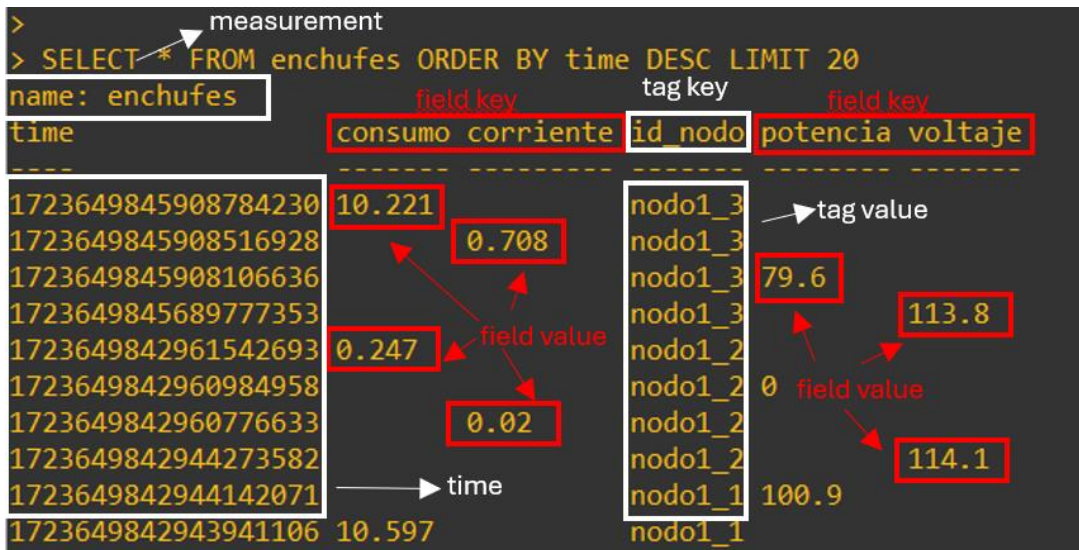
Almacenamiento de los valores correspondientes a las variables eléctricas enviadas por el nodo 2.



Asimismo, en la Figura 84, se verifica el correcto almacenamiento de los datos registrados por los nodos encargados del monitoreo del consumo eléctrico de los electrodomésticos. En esta figura, se comprueba el registro de variable eléctrica en los *field keys* designados como *voltaje*, *corriente*, *potencia* y *consumo* para cada tomacorriente de cada nodo. Dado que cada nodo cuenta con dos tomacorrientes, estos deben ser identificados según el modo y el tomacorriente al que está conectado un electrodoméstico. Así, el origen de los datos registrados se identifica mediante el *id_nodo* con los valores *nodo1_1*, *nodo1_2* para el primer Nodo 1 y tomacorrientes 1 y 2, respectivamente, y *nodo2_1* y *nodo2_2* para el segundo Nodo 1 y tomacorrientes 1 y 2 en la *measurement* denominada *enchufes*.

Figura 84

Almacenamiento de los valores correspondientes a las variables eléctricas enviadas por el nodo 2.



4.4.2 Pruebas Específicas

En esta sección se realizan las pruebas específicas que verifican las operaciones y funcionalidades del sistema, tales como la visualización de los datos de las variables eléctricas del hogar y de los electrodomésticos monitoreados, la gestión remota de los electrodomésticos conectados al Nodo 1, la generación de alertas en caso de un consumo eléctrico inusual, y la consulta del consumo eléctrico, entre otras. A continuación, se presentan dichas pruebas en detalle.

4.4.2.1 Prueba01E. Visualización de Datos del Consumo Eléctrico

La primera prueba específica se centra en validar la visualización de los datos correspondientes a las variables y el consumo eléctrico general del hogar, así como de los electrodomésticos monitoreados. En este contexto, en la Figura 85 se muestra el panel de monitoreo del consumo eléctrico general del hogar. Este panel muestra el consumo eléctrico

del mes en curso, medido en kWh, junto con un histograma que se actualiza continuamente conforme avanza el consumo a lo largo del tiempo. De esta manera, el usuario puede observar el progreso de su consumo eléctrico, proyectar el consumo al final del mes y compararlo con meses anteriores, lo que permite planificar su consumo y tomar medidas orientadas a un ahorro energético.

Además, el panel muestra información sobre las variables eléctricas monitoreadas, como el voltaje, corriente, potencia y consumo eléctrico, correspondiente a cada fase. Con estos datos, el usuario puede identificar posibles anomalías eléctricas, como sobretensiones que podrían dañar a los electrodomésticos, y monitorear de manera constantemente para evitar sobrecargas en los circuitos eléctricos.

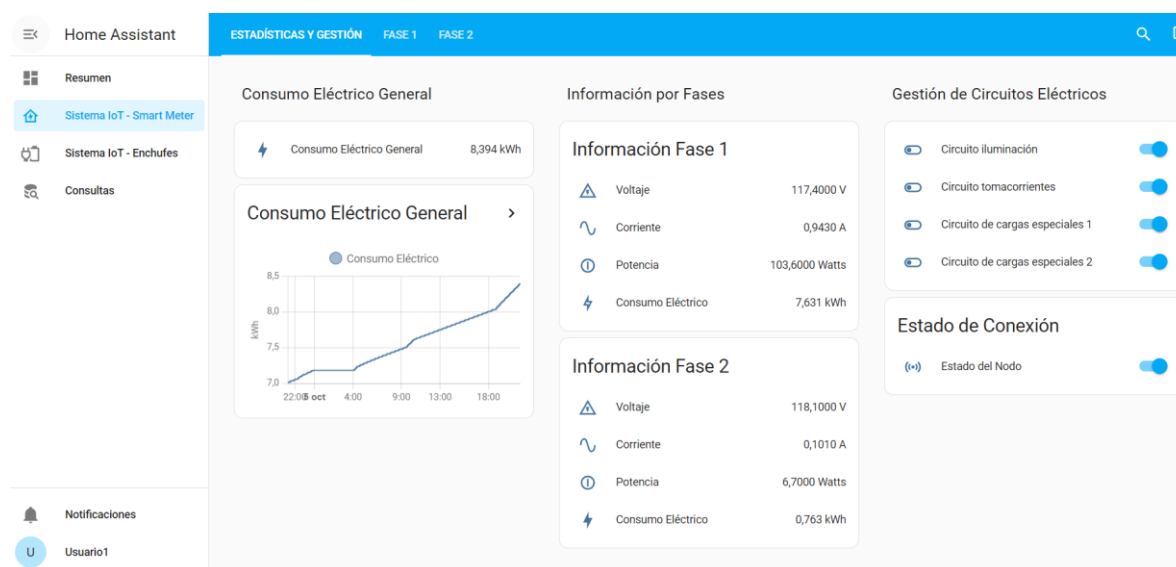
También se incluye información sobre el estado de conexión del nodo, que indica si está activo y presenta una conexión con el bróker. Cuando la conexión permanece activa, todas las funcionalidades del nodo pueden ejecutarlas con normalidad. El panel muestra el estado de los circuitos eléctricos (encendido/apagado) a través de cuatro switches designados para los circuitos de iluminación, tomacorrientes y cargas especiales 1 y 2. En este caso, todos los switches están activos, lo que indica que cada circuito está alimentado eléctricamente.

Gracias a estas funcionalidades, el usuario puede gestionar diferentes zonas del hogar de manera remota; por ejemplo, apagar las luces cuando esté fuera de casa para evitar que permanezcan encendidas innecesariamente. También puede controlar los dispositivos conectados a los tomacorrientes, lo que permite reducir el consumo eléctrico en modo “stand-by” de los electrodomésticos, que ocurre cuando un electrodoméstico está conectado al tomacorriente, pero no está en uso. Estas funcionalidades permiten al usuario administrar

mejor el uso de la electricidad y adoptar mejores hábitos de consumo más eficientes, reflejándose en un ahorro energético y económico a final de cada mes.

Figura 85

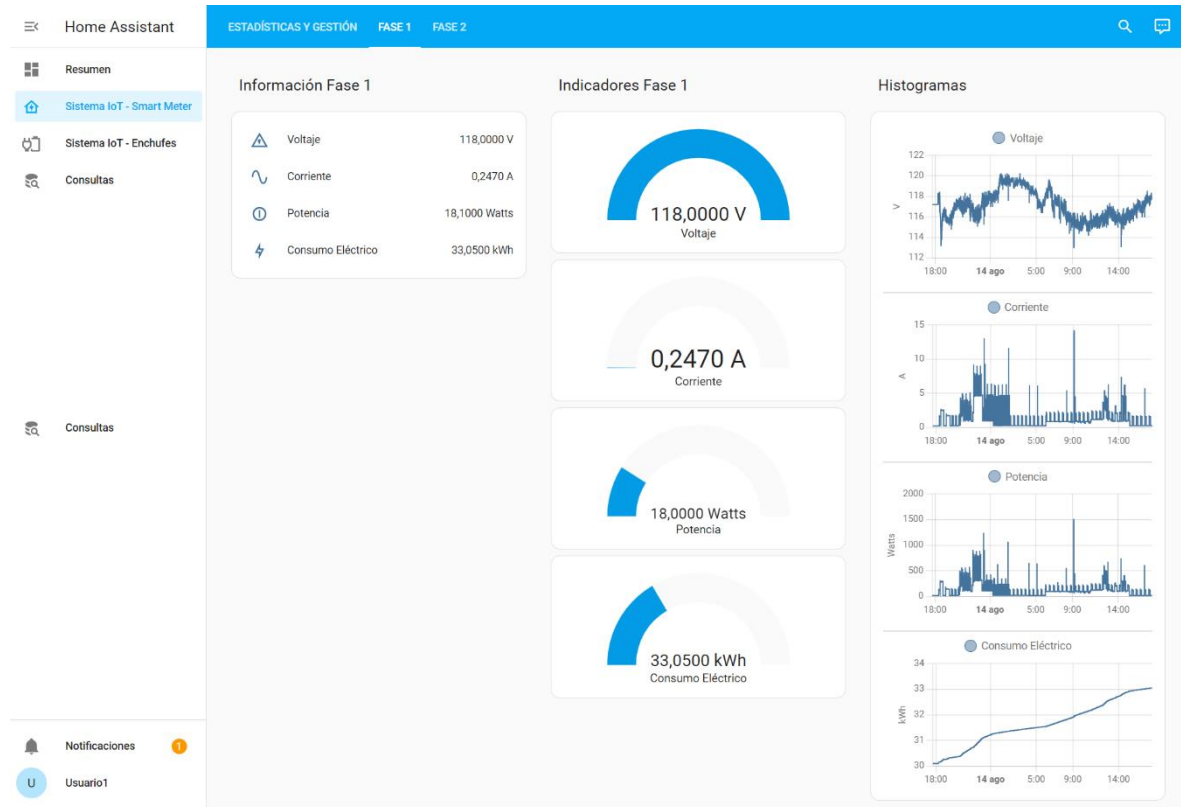
Visualización de los datos del consumo eléctrico general del hogar, variables eléctricas de cada fase y estado de los diferentes circuitos eléctricos.



En la pestaña secundaria denominada “Fase 1” (véase Figura 86) del panel “Sistema IoT – Smart Meter”, se visualizan las variables eléctricas de la Fase 1 del tablero de distribución eléctrica. Estas variables se complementan a través de los “Indicadores” que se actualizan cada 10 segundos conforme a las lecturas de los sensores. Además, esta pestaña incluye la representación gráfica de las instancias (sensores MQTT) a través de los “Histogramas”, lo cual permite al usuario analizar el comportamiento de las variables eléctricas monitoreadas a lo largo del tiempo. Así es posible identificar, por ejemplo, las horas del día en las que existe una mayor demanda del consumo eléctrico para la Fase 1. Un análisis similar puede realizarse en la pestaña correspondiente a la Fase 2.

Figura 86

Visualización de los valores correspondientes a las variables eléctricas de la fase 1.

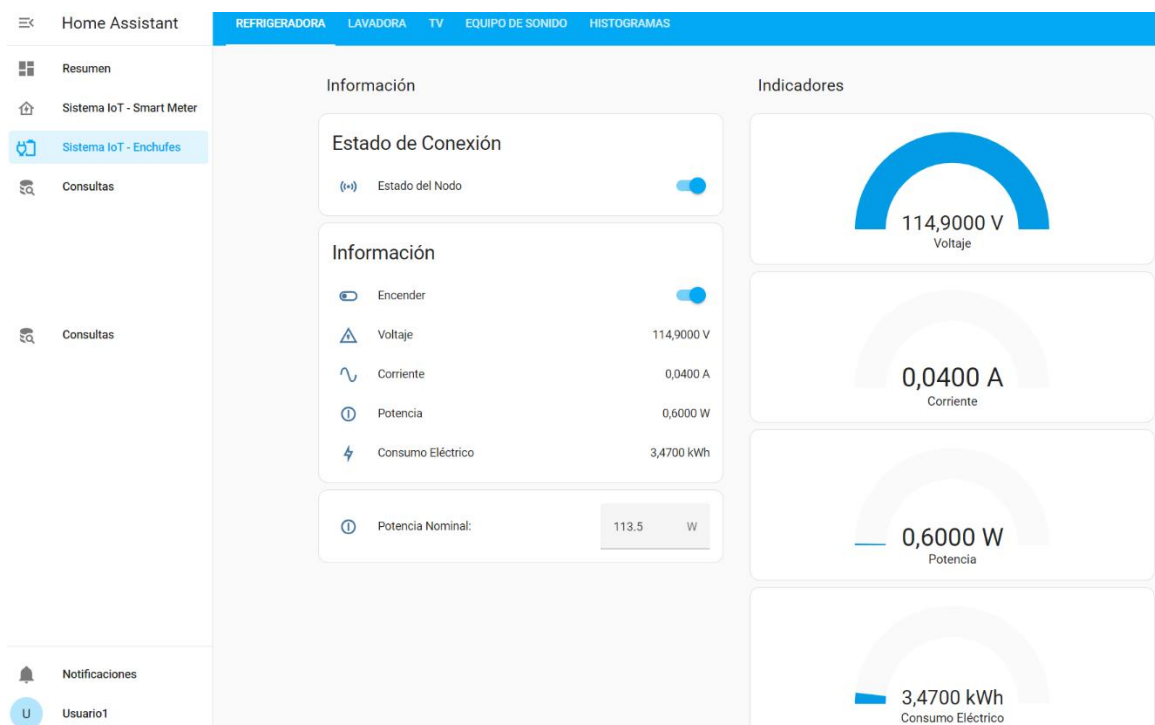


En la Figura 87 se presenta el panel “Sistema IoT - Enchufes”, encargado de la visualización de los datos de las variables eléctricas de los electrodomésticos monitoreados desde la interfaz web de Home Assistant. En este caso, se presenta la pestaña correspondiente al “Refrigerador”, donde se identifican diversas instancias, como el switch y los sensores MQTT, que permiten la interacción del usuario con el sistema. A través de la sección “Estado de Conexión” del nodo, el usuario puede identificar si el nodo al que está conectado el electrodoméstico (en este caso, el refrigerador) se encuentra activo y tiene conexión con el bróker. Aquí, esta variable muestra un estado de “*encendido*”, lo que habilita la gestión remota del electrodoméstico y permite la visualización de las variables eléctricas demandadas.

El usuario puede llevar a cabo la gestión remota mediante el switch “Encender”, y visualizar el valor de las variables eléctricas monitoreadas: voltaje, corriente, potencia y consumo eléctrico. Estas variables están representadas mediante “Indicadores” que facilitan una interpretación intuitiva de posibles anomalías o consumos excesivos. Es importante señalar que la variable de consumo eléctrico del equipo monitoreado muestra el consumo acumulado para el mes en curso, reiniciándose al inicio de cada mes. Finalmente, el valor de la potencia nominal, ingresado a partir de la instancia “Potencia nominal”, indica la potencia a la cual el electrodoméstico opera bajo condiciones normales. Si se supera este límite, se genera una alerta para el usuario, notificando sobre un consumo eléctrico inusual.

Figura 87

Visualización de los valores correspondientes a las variables eléctricas monitoreadas del refrigerador.



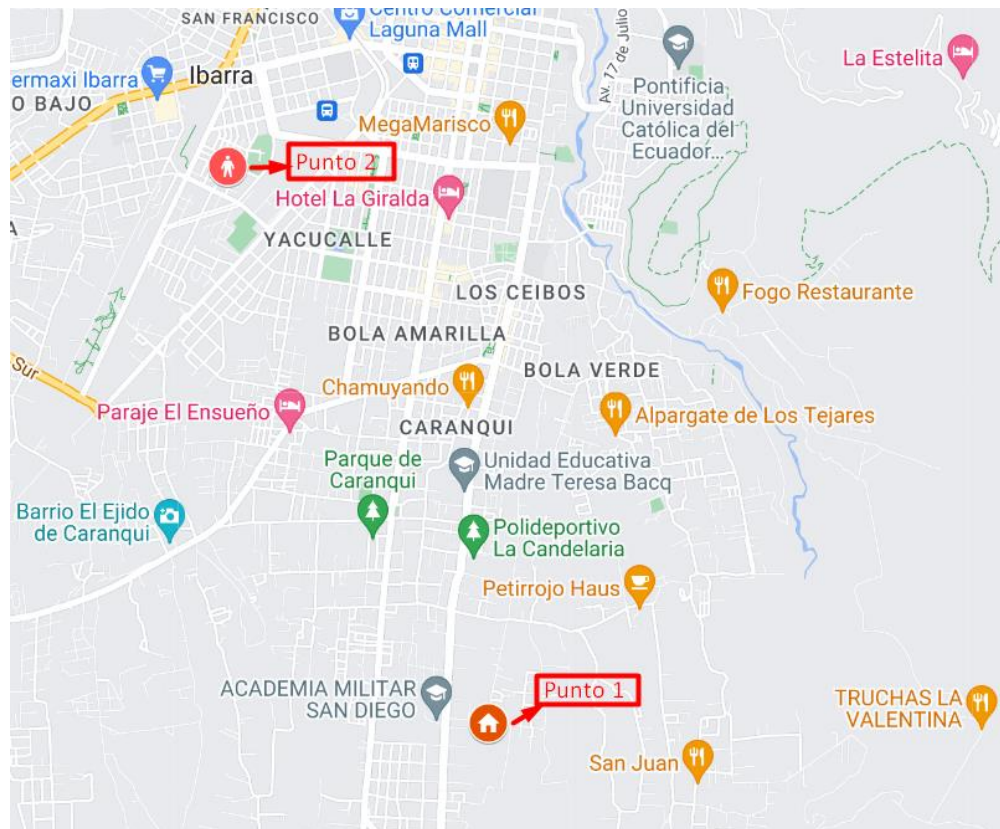
4.4.2.2 Prueba02E. Gestión Remota de los Nodos

Como segunda prueba general, se realiza la validación de la gestión remota de los nodos. Esta prueba tiene como finalidad comprobar el control remoto de los circuitos eléctricos del tablero de distribución, así como de los electrodomésticos monitoreados. Esta funcionalidad del sistema permite al usuario evitar consumos eléctricos innecesarios en situaciones como, por ejemplo, al dejar encendido algún electrodoméstico al salir de casa. Además, el usuario puede gestionar remotamente cada uno de los circuitos eléctricos del hogar. Por ejemplo, puede apagar el circuito de iluminación desde la interfaz de Home Assistant en caso de olvidar apagar algunas luces del hogar, lo cual contribuye a un manejo más eficiente del sistema eléctrico de la residencia, resultando en un ahorro energético.

En este contexto se seleccionan dos puntos, visibles en la imagen de Google Maps de la Figura 88. El Punto uno corresponde al hogar donde se encuentra implementado el sistema de monitoreo y gestión, ubicado en el Conjunto Residencial Belgrano en la ciudad de Ibarra. El Punto dos, donde se encuentra ubicado el usuario remoto, está en el sector de Pilanqui de la misma ciudad, a una distancia de aproximadamente 4 km. La elección de estos dos sectores permite validar el acceso a la interfaz de usuario y las funcionalidades de gestión remota de los circuitos eléctricos y los electrodomésticos monitoreados, así como la visualización de las variables eléctricas desde diferentes lugares.

Figura 88

Ubicación de los puntos para la validación de la gestión remota.



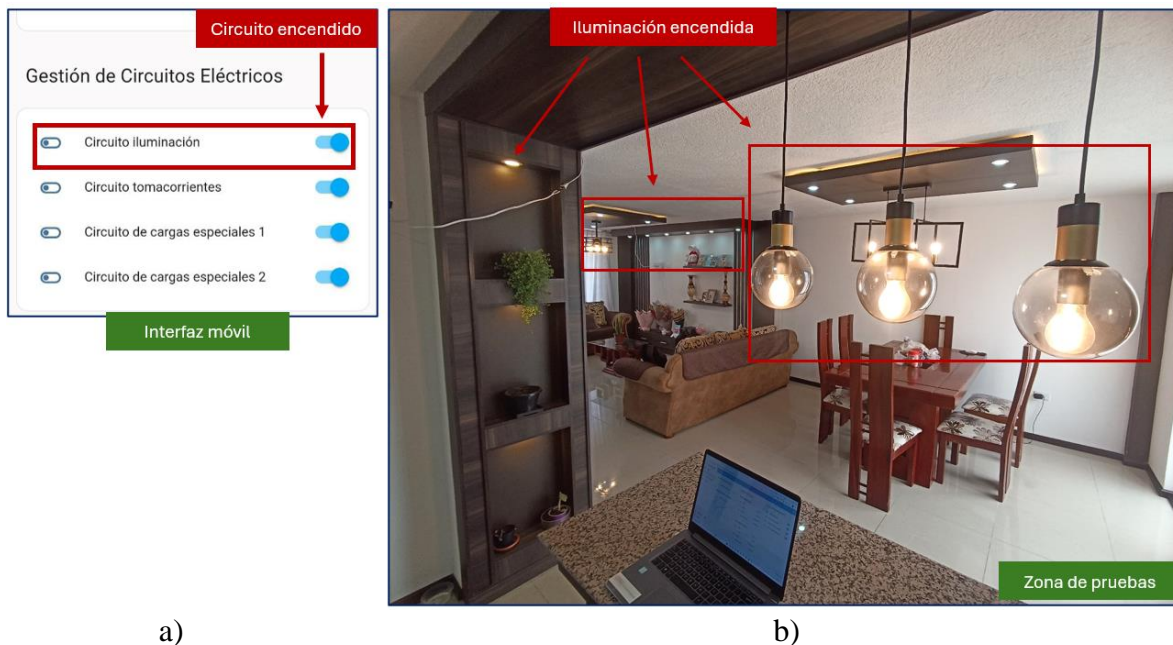
Gestión Remota del Circuito de Iluminación del Tablero de Distribución Eléctrica

Para el desarrollo de esta prueba, se accede a la plataforma de visualización y gestión de Home Assistant desde el punto remoto ubicado en el sector de Pilanqui de la ciudad de Ibarra (véase Figura 88). Como referencia, se toma al circuito de iluminación del tablero de distribución eléctrica. En la Figura 89a se presenta el acceso a la interfaz móvil de Home Assistant, donde se observa que el estado en el que se encuentra el switch para la gestión del circuito de iluminación está **“activado”**. En la Figura 89b se evidencia que todas las luces de

la residencia, ubicadas en la zona de pruebas que comprende las áreas de sala, comedor y cocina, permanezcan encendidas con normalidad.

Figura 89

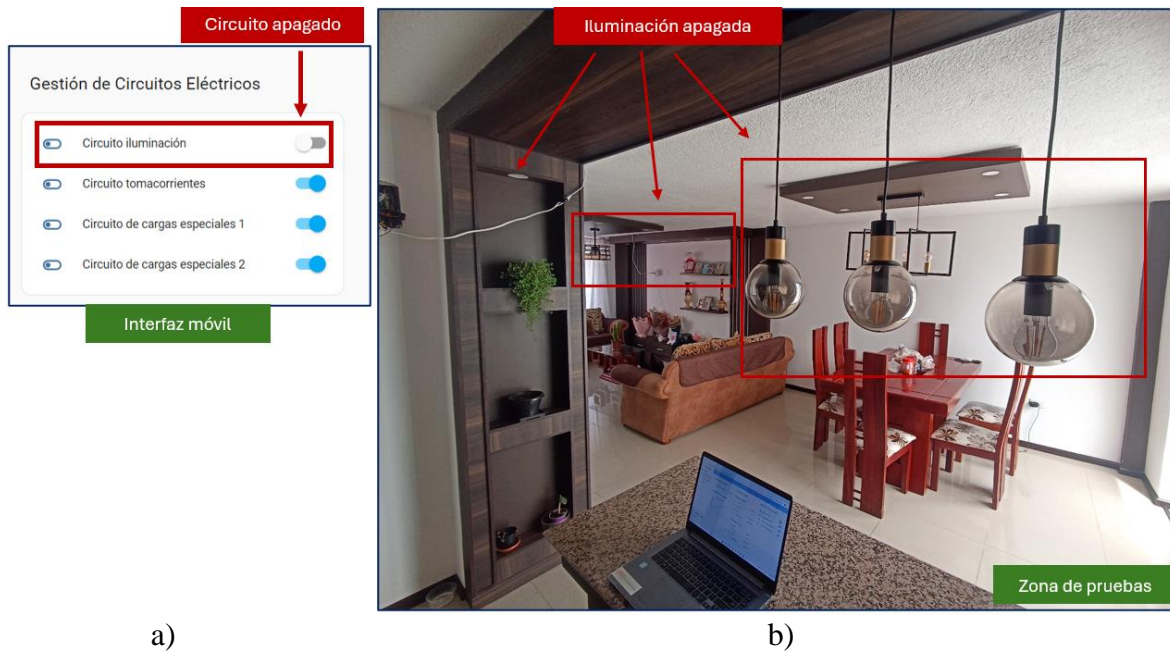
Estado activo del circuito eléctrico de iluminación desde la interfaz móvil y zona de pruebas.



Posteriormente, en la Figura 90a se muestra la interfaz móvil, desde la cual el usuario remoto ejecuta el proceso de desactivación del circuito de iluminación. Esta acción ocasiona que la iluminación en la zona de pruebas se apague completamente (Figura 90b). De esta forma, se valida la gestión remota de este circuito eléctrico, funcionalidad que permite al usuario gestionar el circuito de iluminación cuando este no se encuentre en casa, evitando consumos eléctricos innecesarios.

Figura 90

Estado desactivado del circuito eléctrico de iluminación desde la interfaz móvil y zona de pruebas.



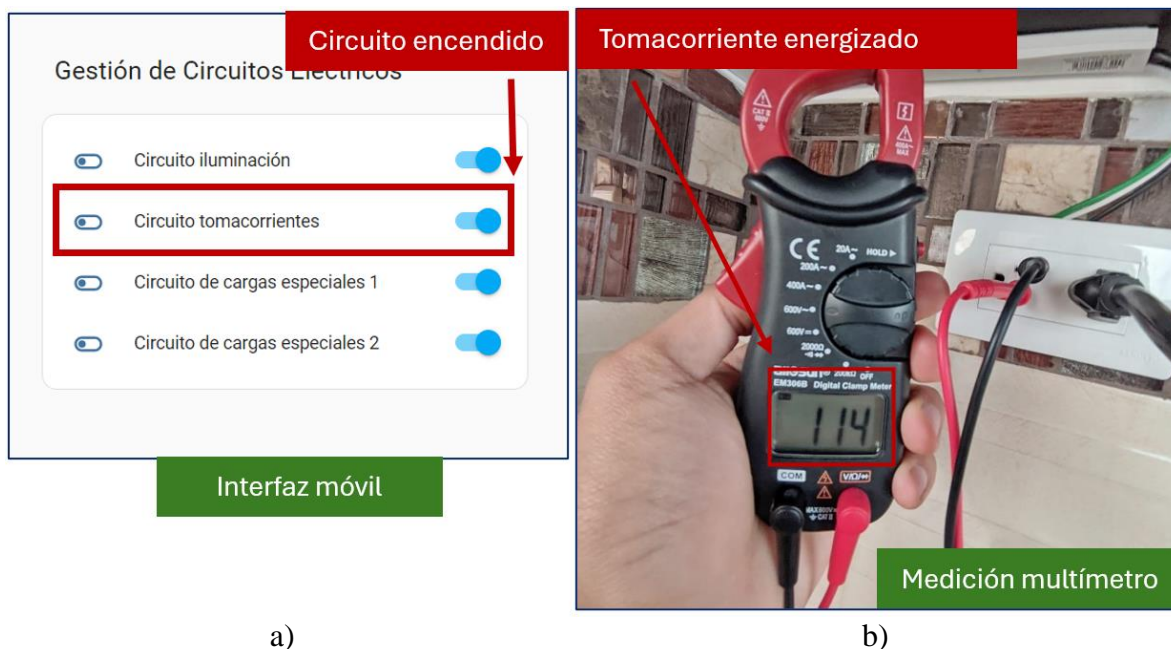
Gestión Remota del Circuito de Tomacorrientes del Tablero de Distribución Eléctrica

En esta prueba, se toma como referencia al circuito de tomacorrientes presente en el tablero de distribución eléctrica, el cual se activa al iniciar el Nodo 2. En la figura 91a se verifica que, en la interfaz móvil, accesible para el usuario remoto, el switch que controla al relé de estado sólido del circuito de tomacorrientes está en estado de *“encendido”*. De este modo, se espera que los tomacorrientes de la residencia estén energizados, lo cual se comprueba mediante una medición de voltaje con un multímetro en un tomacorriente disponible en el hogar. En la Figura 91b, se muestra la lectura del multímetro, que presenta

un valor de 114 V, lo que confirma que el tomacorriente está energizado y operando con normalidad.

Figura 91

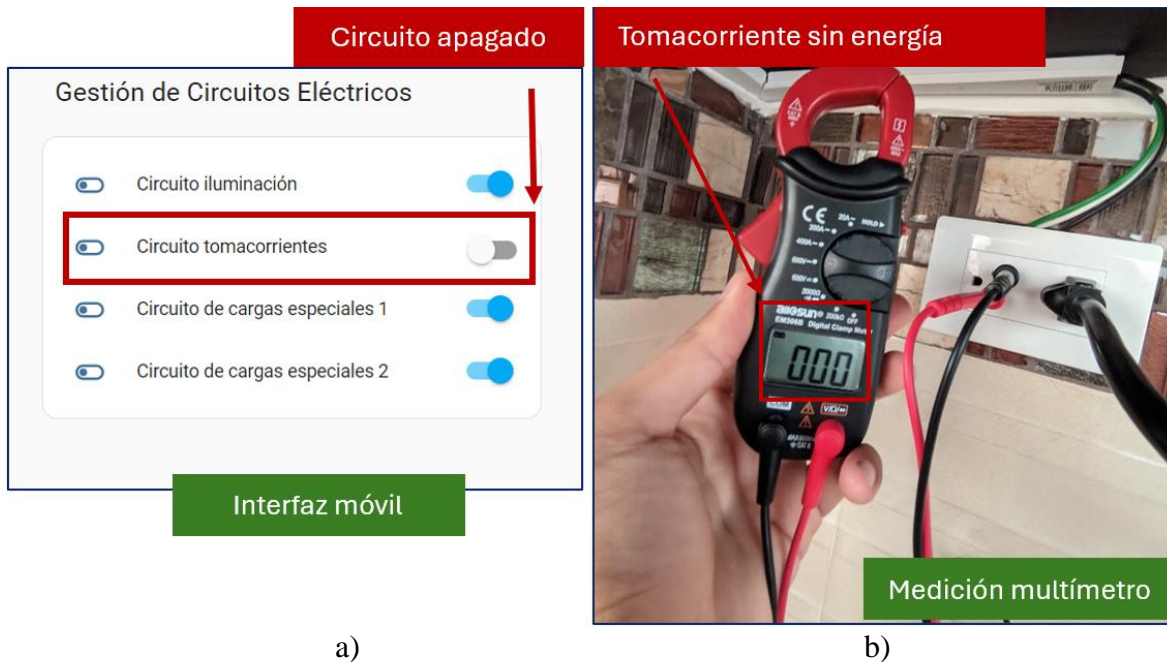
Estado activo del circuito eléctrico de tomacorrientes desde la interfaz móvil y el tomacorriente de pruebas.



A continuación, se realiza el proceso inverso: desde la interfaz móvil, el usuario remoto desactiva el circuito de tomacorrientes (véase Figura 92a), Esta instrucción ejecutada por el usuario hace que el relé de estado sólido (SSR) que controla al circuito de tomacorrientes se desactive, interrumpiendo el flujo de electricidad. Como resultado, los tomacorrientes de la vivienda quedan sin energía, mostrando un voltaje de 0 V al realizar la medición con un multímetro en el tomacorriente de pruebas. El proceso descrito anteriormente se verifica en la Figura 92b.

Figura 92

Estado desactivado del circuito eléctrico de tomacorrientes desde la interfaz móvil y tomacorriente de pruebas.



Gestión Remota de los Electrodomésticos Conectados al Nodo 1

Finalmente, se realiza la gestión remota de un electrodoméstico, en este caso, un televisor conectado al nodo 1, encargado de monitorear y gestionar estos equipos. En la Figura 93a se presenta la interfaz móvil de Home Assistant, desde la cual el usuario remoto, ubicado en el sector de Pílanqui (véase Figura 88), ha accedido exitosamente. En ella se visualiza que el estado del switch para la gestión remota de la TV conectada al nodo está en **“encendido”**, lo que implica que el electrodoméstico localizado en la vivienda donde se encuentra implementado el sistema se encuentre activo y disponible para los residentes (Figura 93b). Además, con esta instrucción ejecutada por el usuario, inicia el proceso de monitoreo de las variables eléctricas.

Figura 93

Estado de encendido del Televisor monitoreado.



En la Figura 94a se observa la interfaz móvil de Home Assistant, desde donde el usuario remoto cambia el switch asignado para la gestión de la TV a un estado de *“apagado”*. Esta acción provoca que el televisor en la residencia se desactive. La validación de este proceso se muestra en la Figura 94b, donde se verifica que el televisor permanece apagado, hasta que el usuario remoto decida activarlo nuevamente. De esta manera, esta funcionalidad permite gestionar a los electrodomésticos monitoreados cuando el usuario no se encuentre en casa, evitando un consumo eléctrico incensario y promoviendo un uso responsable de la energía.

Figura 94

Estado de apagado del Televisor monitoreado.



4.4.2.3 Prueba03E. Generación de Alertas Debido a un Consumo Eléctrico Inusual

La tercera prueba se centra en la generación de alertas ante un consumo eléctrico inusual. Esta se divide en dos casos: electrodomésticos que sobrepasan la potencia nominal establecida por el fabricante y aquellos que permanecen encendidos durante un largo período de tiempo. La primera prueba de esta sección aborda las alertas generadas debido a un elevado valor de potencia que excede la potencia nominal establecida, con el fin de informar al usuario cuando un electrodoméstico no opera bajo condiciones normales. Para validar esta prueba, se toma como referencia el refrigerador monitoreado. En la Figura 95, se muestra el valor de la potencia nominal de 113.5 Watts, establecido por el fabricante como el consumo eléctrico normal del electrodoméstico.

Figura 95

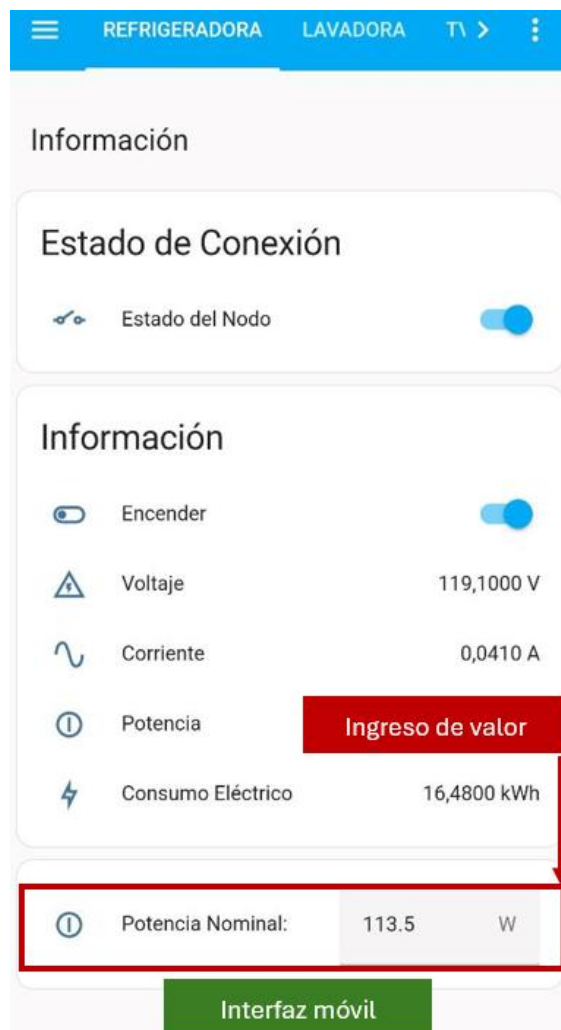
Potencia nominal del refrigerador establecida por el fabricante.



El valor de la potencia nominal del refrigerador (véase Figura 95) debe ingresarse en la interfaz web o móvil de Home Assistant, en el campo denominado “Potencia Nominal”, como se presenta en la Figura 96. Esto permite establecer el límite de potencia bajo el cual el electrodoméstico se mantiene trabajando bajo condiciones normales, de modo que se generan las notificaciones en caso de que se supere dicho nivel de vatios (W).

Figura 96

Parametrización de la potencia nominal del refrigerador desde la interfaz móvil.

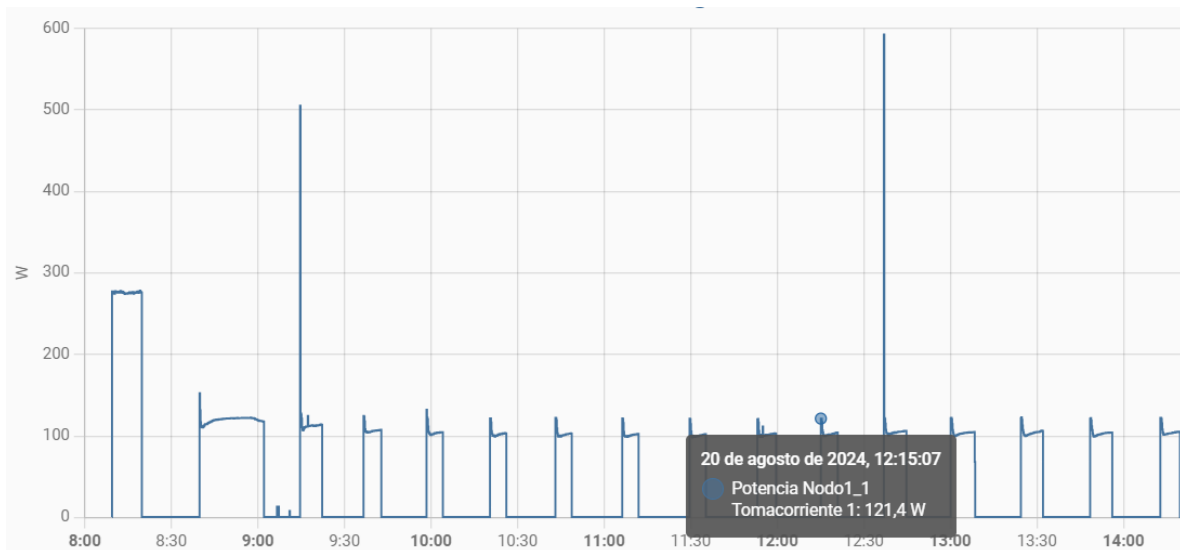


Según las mediciones realizadas por el nodo encargado de monitorear el consumo eléctrico del refrigerador, se detecta que en ciertos períodos de tiempo este electrodoméstico consume una potencia superior al establecido por el fabricante (113.5 W). En el histograma de valores de la potencia registrados por el refrigerador, presentado en la Figura 97, se observan picos de potencia que oscilan entre 270 W y 600 W, los cuales corresponden al inicio del ciclo de operación del compresor. Estos picos, de corta duración, no representan un consumo inusual, ya que es una característica propia de los sistemas de refrigeración. Sin

embargo, se identifican períodos de tiempo posteriores al ciclo de operación del compresor, donde los valores de la potencia se ubicaron por encima de los 113.5 W, como el registrado a las 12:12 PM, con un valor de 121.4 W. Esto indica un incremento en el consumo eléctrico del refrigerador de aproximadamente un 7% en ese período de tiempo, considerándose como un consumo inusual.

Figura 97

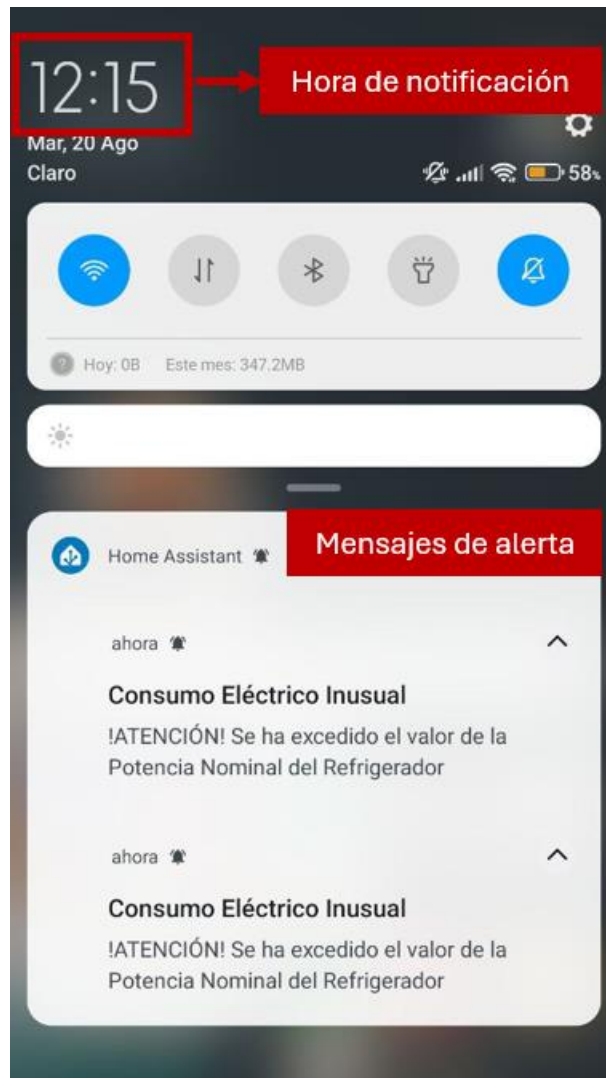
Histograma de valores de potencia del refrigerador monitoreado.



La alerta generada a través de la aplicación móvil de Home Assistant debido al consumo excesivo de su potencia nominal se presenta en la Figura 98. Se puede observar que a las 12:12 PM, hora en que se registró dicho consumo (véase Figura 97), se emitieron mensajes informando al usuario sobre este consumo inusual. Las alertas se envían cada 10 segundos hasta que la potencia vuelva a sus niveles normales (113.5 W).

Figura 98

Alerta generada debido al consumo eléctrico inusual registrado por el refrigerador.

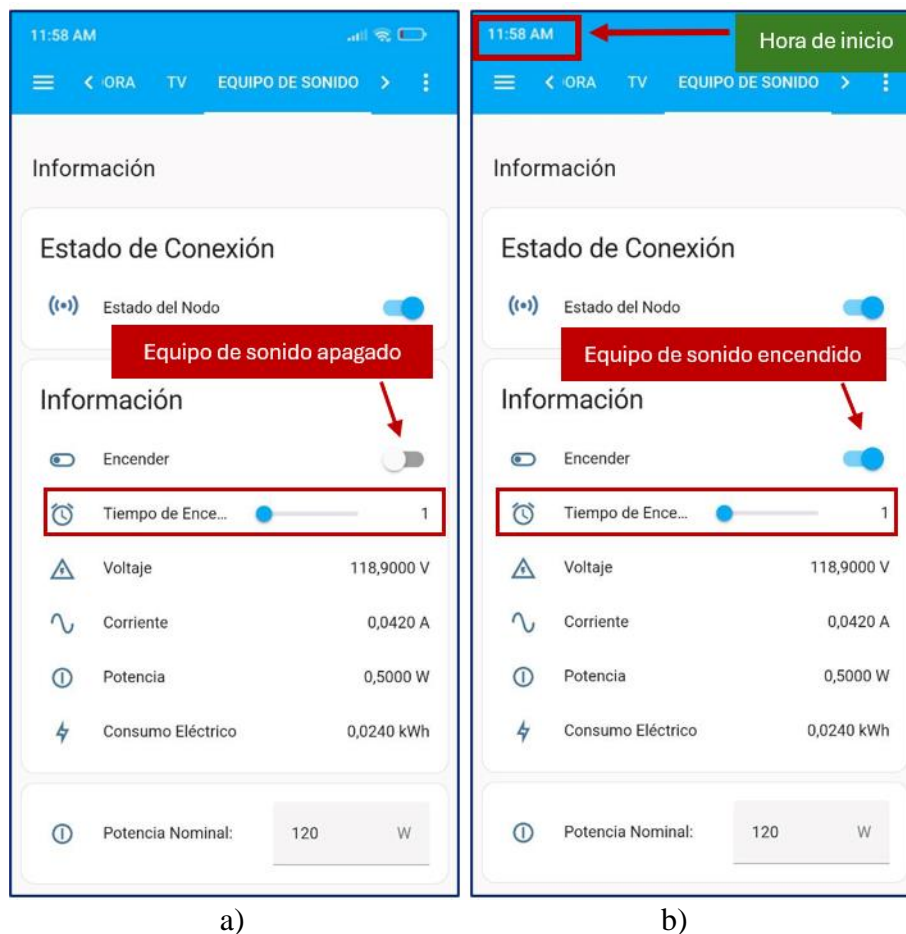


La segunda prueba se centra en alertar al usuario cuando un electrodoméstico permanece encendido por un período prolongado, ya sea por un uso extendido o por un descuido del usuario al olvidar de apagarlo, lo que resulta en un consumo eléctrico innecesario. En este caso, se toma como referencia al equipo de sonido. Desde la interfaz móvil del usuario, se verifica inicialmente que el switch de gestión esté en estado de

“*apagado*” y, a continuación, se establece el tiempo en promedio durante el cual se utilizará el equipo (Figura 99a). Con estos parámetros configurados, se acciona el switch (Figura 99b), iniciando el conteo del tiempo definido (1 hora).

Figura 99

Parametrización del tiempo de encendido del Equipo de Sonido desde la interfaz móvil.



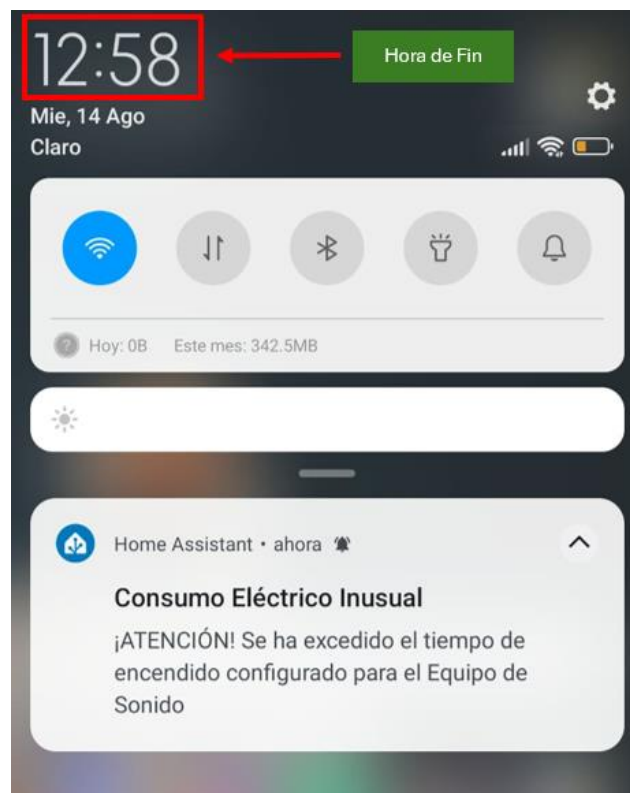
Cuando el intervalo de tiempo configurado (1 hora) se supera, se genera una alerta. En la Figura 100, se observa que, una hora después (12:58 PM), se envía una notificación a través de la aplicación móvil de Home Assistant, informando que el tiempo de uso establecido para el equipo de sonido se ha superado. De esta manera, se recuerda al usuario

que el electrodoméstico sigue encendido, lo cual le permite decidir si desea mantenerlo activo, en caso de estar usándolo conscientemente durante ese período, o si prefiere apagarlo, ya que podría haber quedado encendido accidentalmente al salir de casa o simplemente estar funcionando sin ser utilizado.

Con estas funcionalidades, el usuario puede adoptar medidas para un ahorro energético y evitar consumos innecesarios que impactan en el consumo eléctrico mensual de la residencia.

Figura 100

Alerta generada debido al consumo eléctrico inusual registrado por el equipo de sonido.



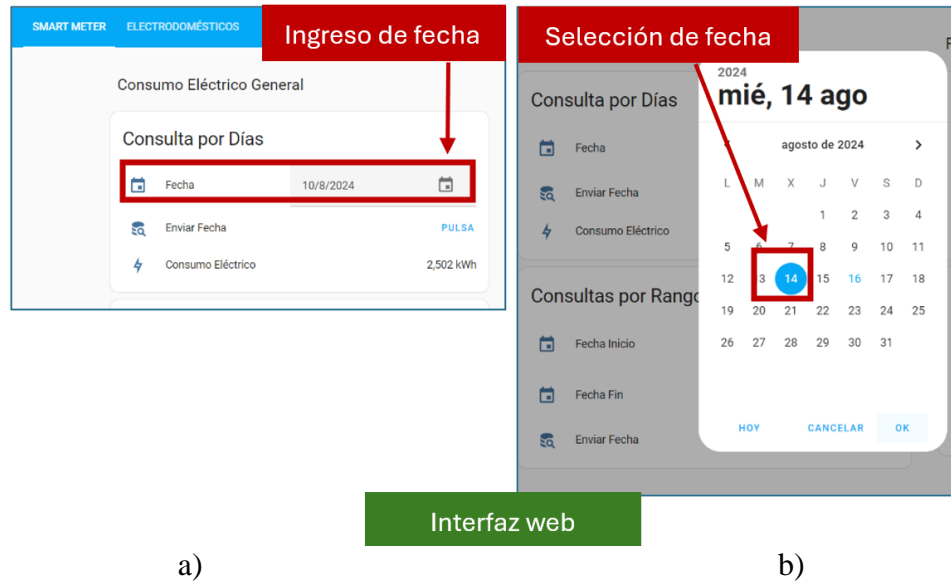
4.4.2.4 Prueba04E. Acceso al Historial de los Datos Almacenados sobre el Consumo Eléctrico

Esta prueba se centra en la validación del acceso a los datos almacenados sobre el consumo eléctrico general del hogar y de los electrodomésticos monitoreados, desde la interfaz web o móvil de Home Assistant. Esta funcionalidad permite al usuario identificar que electrodomésticos presentan un mayor consumo eléctrico y monitorear el comportamiento del consumo en relación con los hábitos energéticos, lo que facilita al usuario la implementación de medidas orientadas a la reducción del consumo.

Como primera prueba, se realiza la validación del acceso al historial del consumo eléctrico general del hogar. En la interfaz web, se accede a la pestaña correspondiente, la cual presenta dos opciones: “Consumos eléctricos diarios” y “Consumo eléctrico por rango de tiempo”. En este caso, se selecciona la primera opción para la consulta por días (Figura 101a). Dentro de esta sección, se encuentra la opción “*Fechas*” que despliega un calendario desde el cual se selecciona la fecha deseada para la consulta (Figura 101b).

Figura 101

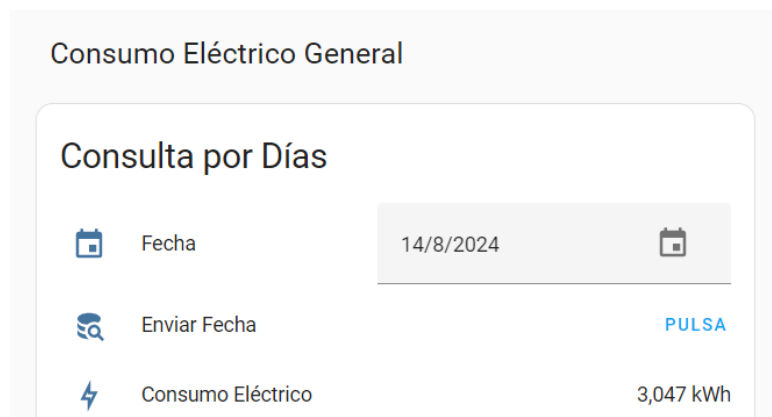
Selección de la fecha de consulta del consumo eléctrico registrado.



En la Figura 102, se presenta la fecha seleccionada de consulta (14-08-2024) y, al ejecutar la opción **“Pulsa”**, se envía la fecha a la plataforma de Node-RED. Esta toma la fecha seleccionada y ejecuta la consulta en la base de datos de InfluxDB mediante el lenguaje InfluxQL, obteniendo como resultado un consumo eléctrico de 3.047 kWh.

Figura 102

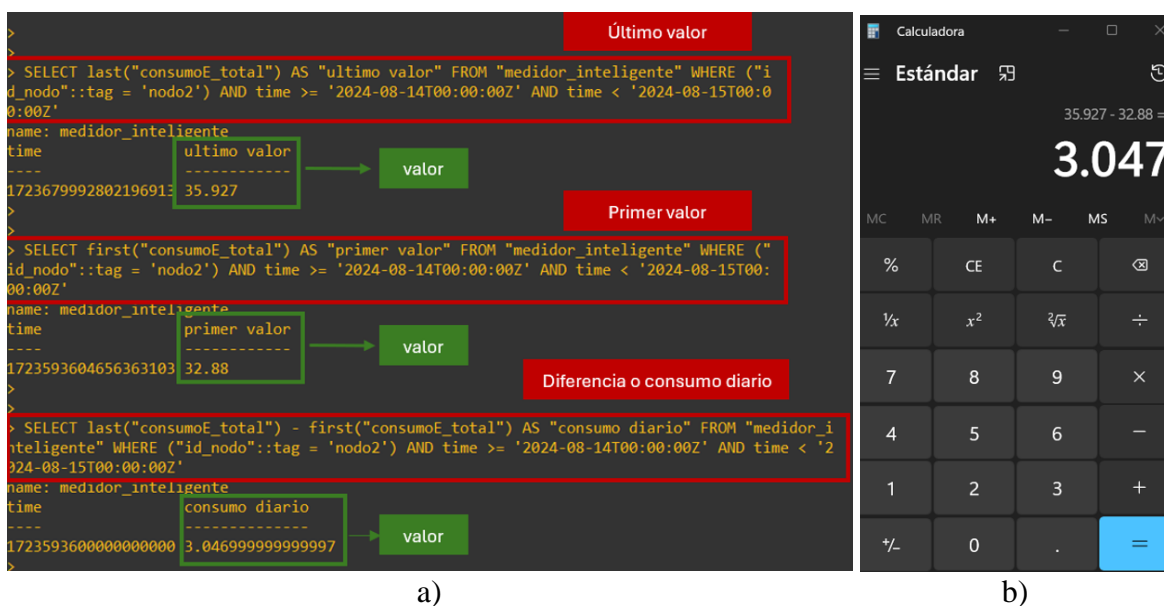
Resultado de la consulta sobre el consumo eléctrico registrado para la fecha seleccionada.



Para la validación del valor del consumo eléctrico obtenido en la Figura 103, se realiza una consulta directa en la base de datos de InfluxDB a través de la terminal de consola de la instancia de AWS. Las consultas se ejecutan a través del lenguaje InfluxQL. Como el consumo eléctrico registrado es acumulativo, el consumo de un día en específico se obtiene como la diferencia entre el último y el primer valor registrado. En este sentido, se realizan tres consultas para obtener el último valor, el primero, y su diferencia, la cual da un total de 3.046 kWh, que representa el consumo eléctrico del 14-08-2024 (Figura 103a). La diferencia entre los valores de 35.927 (último valor) y 32.88 kWh (primer valor) se valida mediante la operación matemática presentada en la Figura 103b.

Figura 103

Validación de la consulta del consumo eléctrico para el día seleccionado.



Adicionalmente, se realiza una prueba para consultar el consumo eléctrico general del hogar para un rango de fechas establecido. En la Figura 104 se muestra la sección “Consultas por Rango” de la pestaña principal del panel de consultas, que permite seleccionar

una fecha de inicio y una de fin, calculando el consumo eléctrico entre estas fechas. Para esta prueba, se establece un rango entre los días 05-08-2024 y 14-08-2024, mediante los calendarios que incorpora el panel de consultas en la interfaz de Home Assistant, obteniendo un consumo eléctrico residencial de 28.947 kWh.

Figura 104

Resultado de la consulta sobre el consumo eléctrico registrado para el rango de fechas seleccionadas.



De igual manera, este resultado se comprueba a través de las consultas mediante InfluxQL y su operación matemática. En la Figura 105a se presentan los resultados obtenidos

del último valor registrado el 14-08-2024, el primer valor registrado el 05-08-2024, y el resultado de la diferencia entre los valores obtenidos previamente. Esta última consulta arroja un valor de 28.947 kWh, misma se valida a través de la operación matemática de la Figura 105b.

Figura 105

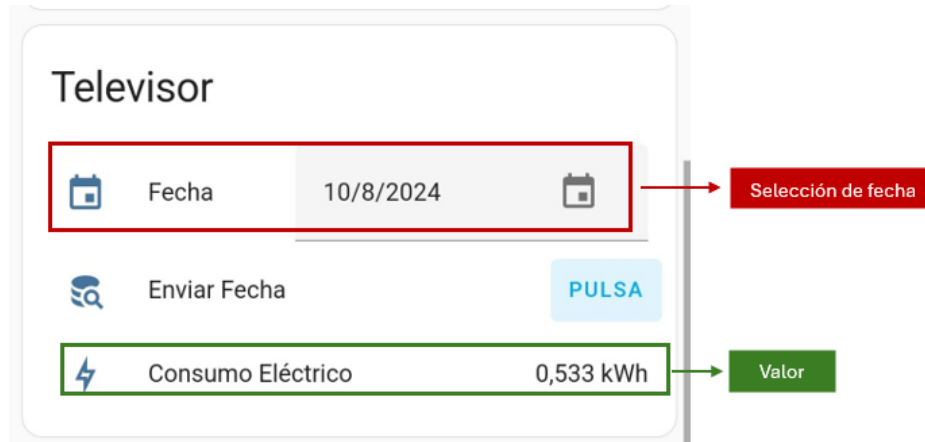
Validación de la consulta del consumo eléctrico para el rango de fechas seleccionado.



Finalmente, se realiza una consulta de los consumos eléctricos diarios para los electrodomésticos monitoreados. En la Figura 106 se presenta la consulta del consumo eléctrico diario del televisor para la fecha del 10-08-2024, realizada desde la interfaz móvil de Home Assistant, la cual refleja un consumo de 0.533 kWh. Esta funcionalidad permite al usuario identificar qué electrodomésticos tienen consumo elevado y analizar su consumo en relación con los hábitos energéticos, con el objetivo de implementar medidas de ahorro energético.

Figura 106

Resultado de la consulta sobre el consumo eléctrico registrado para la fecha seleccionada.



De igual manera, se valida el resultado de la consulta del consumo eléctrico diario del televisor, obtenido a través de la plataforma de Home Assistant. En la Figura 107, se presenta la consulta a la base de datos desde la consola de la instancia alojada en AWS utilizando el lenguaje InfluxQL, donde se obtiene la diferencia entre el último y el primer valor registrados del consumo eléctrico para la fecha del 10-08-2024, resultando en un consumo de 0.53 kWh.

Figura 107

Validación de la consulta del consumo eléctrico para el día seleccionado.

```

Consulta
> SELECT last("consumo") - first("consumo") AS "consumo diario" FROM "enchufes" WHERE ("id_nodo":tag = 'nodo1_3') AND time >= '2024-08-10T00:00:00Z' AND time < '2024-08-11T00:00:00Z'
name: enchufes
time                consumo diario
-----
1723248000000000000 0.5330000000000004
>

```

The image shows a terminal window with a dark background. A red box highlights the InfluxQL query. A green box highlights the result value "0.5330000000000004", with a green arrow pointing to a green label "valor".

4.4.2.5 Prueba05E. Validación de los Datos Obtenidos por el Sistema de Monitoreo y Gestión del Consumo Eléctrico para Hogares

Esta prueba se enfoca en validar los datos obtenidos por el sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico implementado en un entorno controlado y consta de dos etapas. La primera etapa analiza el consumo del mes de agosto, comparando las mediciones del consumo eléctrico general del hogar registradas por el sistema de monitoreo con las del contador eléctrico instalado por la empresa eléctrica. En la segunda etapa, correspondiente a septiembre, se comparan los consumos registrados por el sistema con los reflejados en la factura mensual emitida por la empresa eléctrica.

Es importante destacar que, en la primera etapa de pruebas (agosto), no es posible comparar directamente el consumo mensual registrado por el sistema con el de la factura emitida por la empresa eléctrica, ya que el sistema se instaló el 2 de agosto; Esto podría causar discrepancia con los rangos de lectura reflejados en la factura mensual, ya que la empresa realiza las lecturas a finales de cada mes, lo cual podría introducir una variación considerable en los kWh registrados por el sistema y los medidos por la empresa eléctrica.

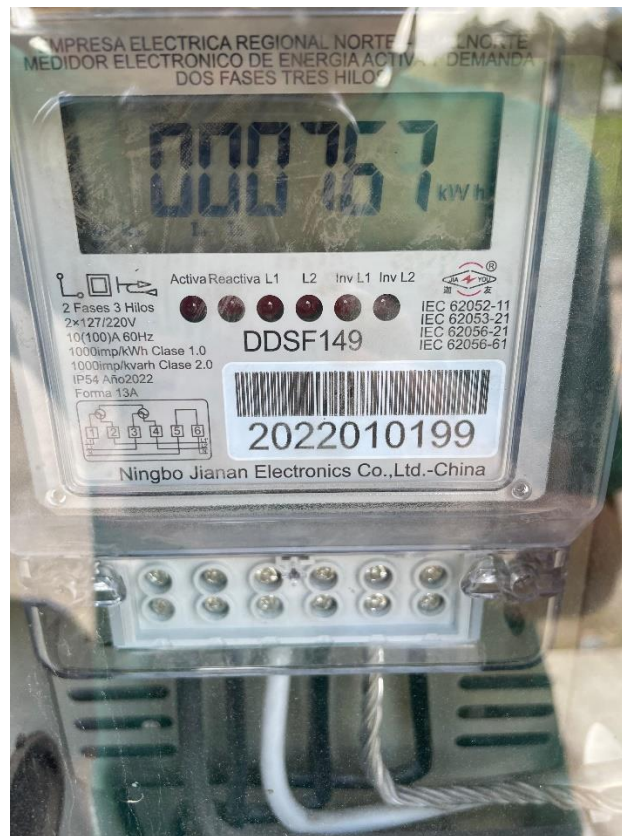
Prueba05E. Etapa 1

En esta etapa de pruebas, se comparan los datos registrados por el Nodo 2, encargado de realizar la medición del consumo general del hogar, con los datos del medidor eléctrico de la empresa durante el mes de agosto. Las lecturas se realizan en intervalos de dos o tres semanas después de la instalación del sistema, finalizando la lectura al término del mes. En la Figura 108 se muestra la medición del consumo eléctrico general de la vivienda, obtenida del medidor eléctrico, realizada el 02-08-2024 a la 1:00 PM, mismo día en el que se realiza la instalación del sistema y el inicio del registro de los datos. El valor de consumo en ese

momento es de 767 kWh, el cual se utiliza como punto de referencia para las lecturas realizadas semanas posteriores.

Figura 108

Consumo eléctrico inicial registrado por el medidor eléctrico de la empresa eléctrica.



La primera validación entre los datos registrados por el sistema y el medidor de la empresa eléctrica se realiza con las lecturas obtenidas hasta el 15-08-2024 (dos semanas desde del inicio de pruebas). En la Figura 109, se presenta el consumo eléctrico acumulado registrado por el medidor de la empresa eléctrica, el cual es equivalente a 805 kWh, reflejando un consumo de 38 kWh durante este periodo de pruebas.

Figura 109

Consumo eléctrico registrado por el medidor eléctrico instalado por la empresa eléctrica dos semanas después del inicio de las pruebas.



Las mediciones registradas por el medidor eléctrico de la vivienda, instalado por la empresa eléctrica, se resumen en la Tabla 31. En ella se presentan los datos correspondientes al período de pruebas del sistema. Para la fecha de inicio de las pruebas, el contador eléctrico registra 767 kWh, mientras que el término de las dos semanas registra 805 kWh, lo cual indica un consumo de 38 kWh durante este período de pruebas.

Tabla 31

Consumos eléctricos registrados por el medidor eléctrico de la empresa durante el período de pruebas de dos semanas.

Datos del Medidor Eléctrico de la Empresa	
Fecha	Consumo Eléctrico (kWh)
Fecha de inicio: 02-08-2024	767 kWh
Fecha de fin: 15-08-2024	805 kWh
Consumo durante el período de prueba	38 kWh

En la Figura 110 se presenta la medición del consumo eléctrico general del hogar, registrada por el sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico y visualizada desde la interfaz de Home Assistant. Esta medición corresponde a la fecha del 15-08-2024 (dos semanas después del inicio de pruebas), muestra un valor total del 37.389 kWh, muy cercano al valor registrado por el medidor eléctrico de la residencia.

Figura 110

Consumo eléctrico registrado por el sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico dos semanas después del inicio de las pruebas.



En la Tabla 32 se presentan los datos recopilados por el sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico implementado en el entorno controlado (vivienda), junto con los valores registrados por el contador eléctrico durante el período de prueba (véase Tabla 27). A partir de estos valores y utilizando las Ec. 3 y Ec. 4, se calcula el error absoluto y relativo. Los resultados indican un error relativo de 1.60% en comparación con el medidor eléctrico de referencia, lo cual demuestra la fiabilidad de los datos obtenidos por el sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico.

Cálculo del Error absoluto:

$$E_a = | 38 - 37.389 |$$

$$E_a = 0.611 \text{ kWh}$$

Cálculo del Error relativo:

$$E_r = \frac{0.611 \text{ kWh}}{38 \text{ kWh}}$$

$$E_r = 0.160 \times 100$$

$$E_r = 1.60\%$$

Tabla 32

Consumos eléctricos registrados por el contador eléctrico de la empresa y el sistema de monitoreo y gestión durante el período de pruebas de dos semanas.

Medidor	Sistema de Monitoreo y Gestión de Consumo	Error	Error
Eléctrico	Eléctrico	Absoluto	Relativo
38 kWh	37.389 kWh	0.611	1.60%

En Figura 111 se presenta el valor registrado por el medidor eléctrico de la empresa, que asciende a los 824 kWh. Esta lectura corresponde a la segunda validación de los datos obtenidos por el sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico, realizada el 23-08-2024 (tres semanas desde el inicio de pruebas).

Figura 111

Consumo eléctrico registrado por el medidor eléctrico instalado por la empresa eléctrica tres semanas después del inicio de las pruebas.



En la Tabla 33 se detallan los valores del consumo eléctrico registrado por el medidor eléctrico durante el período de prueba comprendido entre el 02-08-2024 y el 23-08-2024. El registro inicial mantiene un valor de 767 kWh, y al final del período se obtiene un valor de 824 kWh, lo cual reflejan un consumo total de 57 kWh.

Tabla 33

Consumos eléctricos registrados por el medidor eléctrico de la empresa durante el período de pruebas de tres semanas.

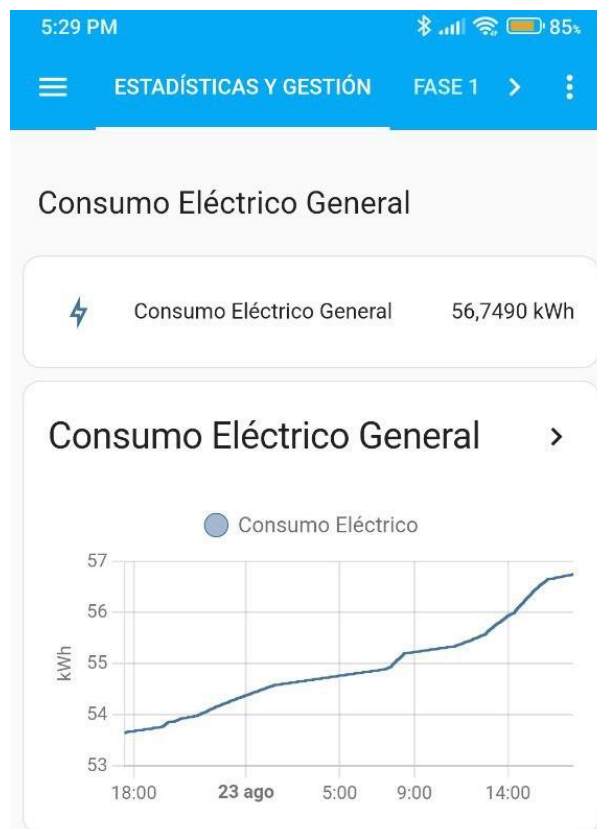
Datos del Medidor Eléctrico de la Empresa	
Fecha	Consumo Eléctrico (kWh)
Fecha de inicio: 02-08-2024	767 kWh

Fecha de fin: 23-08-2024	824 kWh
Consumo durante el período de prueba	57 kWh

En la Figura 112 se presenta la medición del consumo eléctrico general del hogar realizada por el sistema de monitoreo y gestión, visualizada a través de la interfaz de Home Assistant. La medición del 23-08-2024 muestra un consumo de 56.7490 kWh, muy aproximado al valor real que registra el contador eléctrico de la empresa (véase Tabla 33).

Figura 112

Consumo eléctrico registrado por el sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico dos semanas después del inicio de las pruebas.



Los datos registrados por el sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico, junto con los obtenidos del medidor eléctrico de la empresa durante el período de prueba, se detallan en la Tabla 34. Los resultados confirman la fiabilidad del sistema, al presentar un error relativo de apenas un 0.44% en comparación con las mediciones del medidor eléctrico de la empresa estas tres semanas de pruebas. A continuación, se detallan los cálculos del error absoluto y relativo utilizando las ecuaciones Ec.2 y Ec.3.

Tabla 34

Consumos eléctricos registrados por el medidor eléctrico de la empresa y el sistema de monitoreo y gestión durante el período de pruebas de tres semanas.

Medidor	Sistema de Monitoreo y Gestión de Consumo	Error	Error
Eléctrico	Eléctrico	Absoluto	Relativo
57 kWh	56.7490 kWh	0.251	0.44%

Cálculo del Error absoluto:

$$E_a = | 57 - 56.7490 |$$

$$E_a = 0.251 \text{ kWh}$$

Cálculo del Error relativo:

$$E_r = \frac{0.251 \text{ kWh}}{57 \text{ kWh}}$$

$$E_r = 0.0044 \times 100$$

$$E_r = 0.44\%$$

En la tercera validación, se consideran los datos registrados por el sistema de monitoreo y el medidor eléctrico de la empresa hasta la fecha del 31-08-2024 (fin de mes). En la Figura 113 se presenta el consumo eléctrico acumulado, correspondiente al contador eléctrico instalado en el hogar, que asciende a 850 kWh, lo cual representa un consumo de 83 kWh desde el 02-08-2024 (fecha de implementación del sistema e inicio de pruebas), cuando el contador registraba un consumo de 767 kWh.

Figura 113

Consumo eléctrico registrado por el medidor eléctrico instalado por la empresa eléctrica a un mes del inicio de las pruebas.



En la Tabla 35 se detallan los valores del consumo eléctrico registrados por el medidor eléctrico durante el período comprendido entre el 02-08-2024 y el 31-08-2024, equivalente a

un mes. Al inicio de las pruebas, el medidor eléctrico marcaba un valor de 767 kWh, y al finalizar se registra un valor de 850 kWh, reflejando un consumo eléctrico total de 83 kWh.

Tabla 35

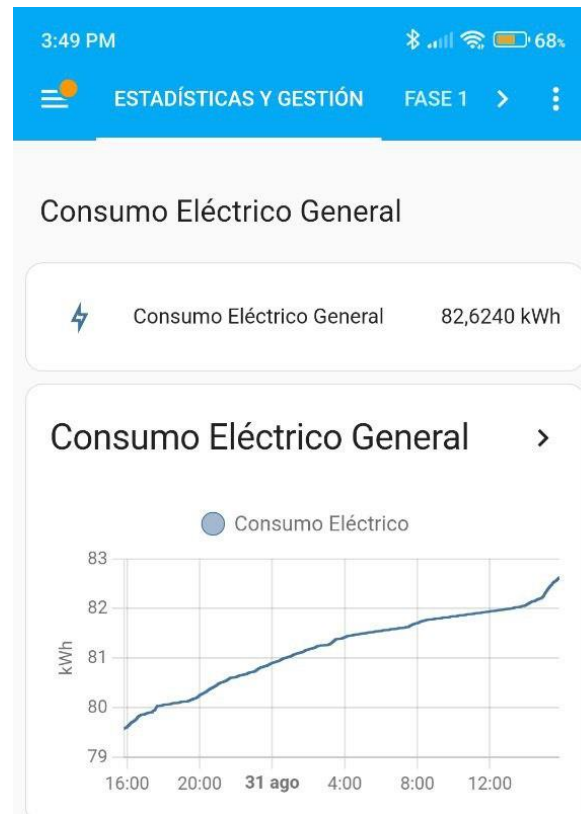
Consumos eléctricos registrados por el medidor eléctrico de la empresa durante el período de pruebas de un mes.

Datos del Medidor Eléctrico de la Empresa	
Fecha	Consumo Eléctrico (kWh)
Fecha de inicio: 02-08-2024	767 kWh
Fecha de fin: 31-08-2024	850 kWh
Consumo durante el período de prueba	83 kWh

La medición del consumo eléctrico general del hogar realizada por el sistema de monitoreo y gestión se presenta en la Figura 114, en la cual a través de la interfaz de Home Assistant, se visualiza un consumo de 82.6240 kWh hasta el 31-08-2024, un valor muy aproximado a los 83 kWh detallados en la Tabla 35.

Figura 114

Consumo eléctrico registrado por el sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico a un mes del inicio de pruebas.



En la Tabla 36 se presentan los valores registrados tanto por el sistema de monitoreo y gestión como por el contador eléctrico de la empresa durante el período de un mes. Con base en el cálculo del error absoluto, usando la Ec.3, se confirma la fiabilidad de los datos registrados por el sistema, al presentar un error de apenas un 0.45% respecto a la medición del contador eléctrico de la empresa. A continuación, se detallan los cálculos del error absoluto y relativo.

Tabla 36

Consumos eléctricos registrados por el medidor eléctrico de la empresa y el sistema de monitoreo y gestión durante el período de pruebas de un mes.

Medidor	Sistema de Monitoreo y Gestión de Consumo	Error	Error
Eléctrico	Eléctrico	Absoluto	Relativo
83 kWh	82.6240 kWh	0.376	0.45%

Cálculo del Error absoluto:

$$E_a = | 83 - 82.6240 |$$

$$E_a = 0.376 \text{ kWh}$$

Cálculo del Error relativo:

$$E_r = \frac{0.376 \text{ kWh}}{83 \text{ kWh}}$$

$$E_r = 0.0045 \times 100$$

$$E_r = 0.45\%$$

Prueba05E. Etapa 2

En la segunda etapa de esta prueba, se realiza la validación de los datos obtenidos por el sistema de monitoreo y gestión en comparación con la información proporcionada en la planilla de electricidad emitida por la empresa eléctrica para el mes de septiembre. Esta prueba tiene como objetivo garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos por el sistema. En la Figura 115 se presenta el consumo eléctrico mensual del mes de septiembre del año 2024, comprendido entre el 29-08-2024 y 26-09-2024, lo que cubre un total de 29 días

facturados y refleja un consumo total de 80 kWh. Por motivos de seguridad, la información personal del consumidor esta oculta.


Figura 115

Consumo eléctrico mensual registrado por la empresa eléctrica.



Empresa Eléctrica Regional Norte S.A.
Matriz: Juan M. Grijalva 6-54 José J. de Olmedo

Ruc: 1090051721001
Contribuyente especial, resolución No. 155
OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD



K201010334526

Nro. factura 001-5
Nro. doc. interno
Fecha de emisión
Fecha de vencimiento
Número de autorización
26092024011090051721001200199902218453

VALOR TOTAL:

Información del Consumidor

<p>CUENTA CONTRATO ██████████</p> <p>Nombre cliente ██████████</p> <p>Cédula ██████████</p> <p>Dirección del servicio SIN NOMBRE SN STA LUCIA RETORNO / SAN FRANCISCO - IBARRA</p>	<p>Código Único Eléctrico 1310012947</p> <p>Tipo de tarifa ARCERNR BTCRSD01 - BT Residencial</p> <p>Geocódigo 1318M004000111 Unidad de Lectura 1311</p> <p>Código postal 999999</p>
---	--

1. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

Número de medidor	2022010199	Días facturados	29
Tipo de consumo	leído	Fecha hasta	26-09-2024
Fecha desde	29-08-2024		

Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo interno Transformador	Consumo Total	Unidad Medida
Energía activa total	26-09-2024	919,00	839,00	0,00	80,00	0,00	80,00	kWh

De forma similar, en la Figura 116 se presenta el consumo eléctrico residencial registrado a través del panel de “Consultas” de la interfaz de Home Assistant, empleando el mismo rango de fechas (29-08-2024 al 26-09-2024) que se presenta en la planilla de electricidad. En este caso, el sistema presenta un consumo de 78.82 kWh, un valor muy cercano al que presenta el contador eléctrico de la empresa. La ligera diferencia se atribuye a que el sistema realiza la consulta tomando en cuenta el primer valor registrado a partir de las 00:00 horas del día de inicio y el último valor registrado antes de las 23:59 horas del día de finalización, mientras que la empresa eléctrica, a partir del personal encargado, realiza la lectura del medidor eléctrico en horarios variables durante el día. No obstante, los resultados son bastantes similares.

Figura 116

Consumo eléctricos registrado por el sistema de monitore y gestión durante el período de pruebas registrado en la factura eléctrica.

The image shows a mobile application interface for 'SMART METER ELECTRODOMÉSTICOS'. It features two main sections for querying electricity consumption data:

- Consulta por Días:** This section allows for a daily query. The date is set to 28/10/2024. The 'Enviar Fecha' button is labeled 'PULSA'. The current consumption is listed as 'Desconocido'.
- Consultas por Rangos:** This section allows for a range query. The start date is 29/8/2024 and the end date is 26/9/2024. The 'Enviar Fecha' button is labeled 'PULSA'. The resulting consumption is 78,82 kWh, which is highlighted with a red circle.

La Tabla 37 muestra los resultados obtenidos al comparar las mediciones del consumo eléctrico mensual emitidas por la planilla eléctrica de la empresa con los datos registrados por el sistema de monitoreo y gestión. En ella, se evidencia que los resultados de ambos sistemas de medición son muy similares. Con un error relativo de solo 1.47%, lo que equivale a una diferencia de 1.18 kWh, se puede confirmar que el sistema ofrece un nivel de precisión aceptable y confiable para el usuario. De esta manera, el sistema proporciona una mayor seguridad sobre lecturas registradas por la empresa eléctrica y reflejadas en la planilla mensual. En caso de duda o discrepancia en la lectura ejecutada por la empresa, el usuario

cuenta con los datos registrados por el sistema de monitoreo y gestión para justificar un posible reclamo sobre su consumo real.

Tabla 37

Consumos eléctricos presentados en la factura eléctrica de la empresa y el sistema de monitoreo y gestión para el mes de septiembre.

Factura	Sistema de Monitoreo y Gestión de Consumo	Error	Error
Eléctrica	Eléctrico	Absoluto	Relativo
80 kWh	78.82 kWh	1.18	1.47%

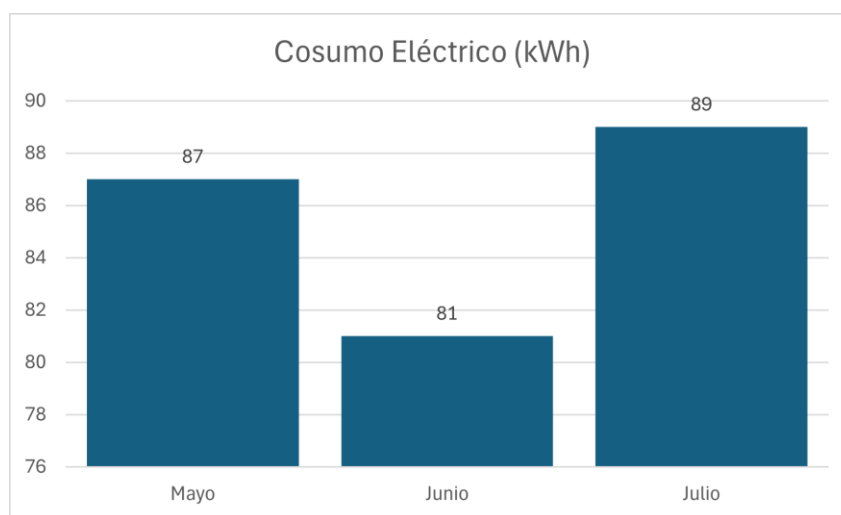
4.4.2.6 Ahorro Energético

La prueba final se enfoca en analizar el comportamiento del consumo eléctrico general del hogar, medido en kWh, antes y después de la implementación del sistema. Su objetivo es determinar la efectividad del sistema e identificar el ahorro energético logrado a partir de la implementación del sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico. En la Figura 117 se presentan los valores del consumo eléctrico del hogar durante los tres meses previos a la implementación. En esta, destaca julio como el mes de mayor consumo, con 89 kWh, seguido de mayo con un total de 87 kWh. El menor consumo se registró en junio, descendiendo a 81 kWh. Así el consumo promedio es de 85,67 kWh durante este período previo a la implementación del sistema. Las variaciones de los consumos eléctricos mensuales de la residencia pueden atribuirse a varios factores relacionados con la ausencia de un sistema de monitoreo y gestión. Entre estos factores destaca la falta del seguimiento en tiempo real de los consumos individuales de los electrodomésticos, lo que impide identificar a equipos que se encuentren generando un consumo eléctrico inusual. Además, al no contar

con una funcionalidad de gestión remota para los electrodomésticos e iluminación, no es posible corregir y evitar los malos hábitos de consumo, los cuales contribuyen al incremento en el consumo eléctrico general del hogar.

Figura 117

Consumos eléctricos mensuales antes de la implementación del sistema.



La Figura 118 muestra el consumo eléctrico registrado en los meses posteriores a la implementación del sistema. Antes de analizar los resultados, es importante señalar que en octubre y noviembre el consumo disminuyó notablemente a 59 kWh y 55 kWh, respectivamente, como consecuencia de los racionamientos de electricidad en Ecuador, implementados por la crisis energética, que implicaron varias horas sin suministro energético. Sin embargo, los consumos registrados presentan estabilidad y evidencian una reducción de 4 kWh, equivalente a un ahorro del 6,78% en el consumo de noviembre. Este factor afecta considerablemente el consumo mensual, por lo cual los meses de octubre y noviembre no se toman en cuenta en el análisis de este resultado.

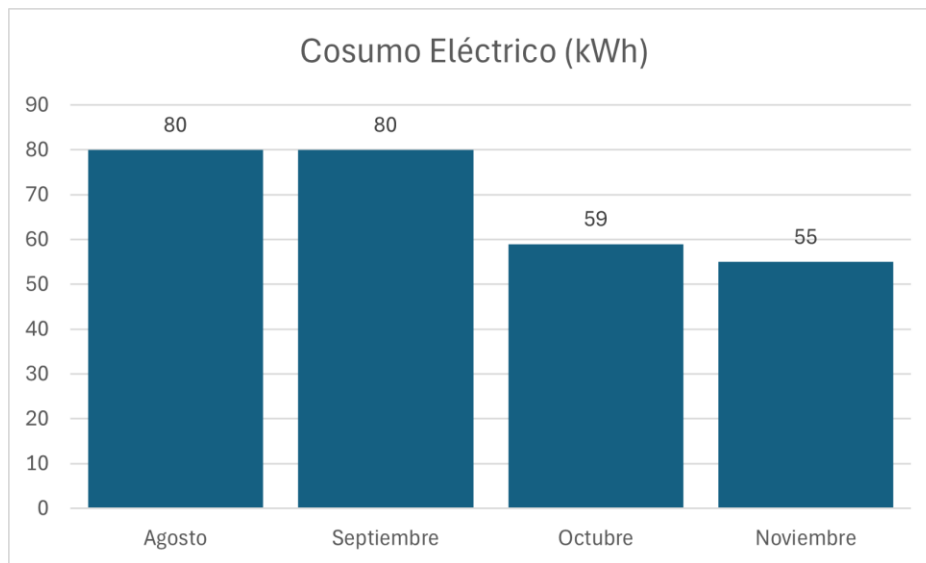
Así, durante los meses de agosto y septiembre se registra un consumo promedio de 80 kWh, inferior al promedio de 85,67 kWh registrados en los tres meses previos a la implementación del sistema. Esto representa un ahorro energético de 6.6% en el consumo eléctrico mensual de la residencia. Este ahorro es el resultado de una mejor gestión de electricidad que el sistema ofrece al usuario, como la visualización en tiempo real del consumo eléctrico residencial, permitiendo planificar el consumo, comparar con meses anteriores y aplicar medidas de ahorro energético. Además, a través del monitoreo y gestión de los electrodomésticos conectados a los nodos de tipo 1 (Nodo 1), permite al usuario generar un ahorro energético, encendiendo los equipos solo cuando sean necesarios, evitando consumos en “stand-by” y reduciendo el tiempo de uso de los equipos a partir de las alertas enviadas por el sistema. Considerando un ahorro mensual de 5.67 kWh, en base a la diferencia entre los promedios mensuales registrados antes y después de la implementación del sistema, en una proyección a largo plazo, se obtendría un ahorro de 34.02 kWh en seis meses y de 68.04 kWh en un año, demostrando el impacto positivo del sistema en el ahorro del consumo eléctrico general del hogar.

Considerando una proyección del ahorro energético para el conjunto residencial compuesto por 21 hogares, y un hogar promedio con el mismo número y características de electrodomésticos, tal y como se detallan en la Tabla 22, y sistemas de iluminación similares debido a que todas las viviendas comparten características de arquitectura uniformes, se obtiene un impacto mayor del sistema. Si el consumo promedio por hogar es de 80 kWh, lo que representa un ahorro del 6,6% en comparación a los 85.67 kWh registrados antes de implementar el sistema, se puede estimar el ahorro total para el conjunto residencial.

Aplicando el mismo porcentaje de ahorro del 6,6% a las 21 viviendas, se lograría un ahorro energético mensual de 119,07 kWh. A mediano y largo plazo, este ahorro se traduciría en 714,42 kWh en seis meses y 1428,84 kWh en un año. Esta proyección evidencia el impacto del sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico en la reducción del consumo energético, tanto a nivel individual como a nivel del conjunto residencial, promoviendo la eficiencia energética.

Figura 118

Consumos eléctricos mensuales antes de la implementación del sistema.



4.5 Discusión

Los resultados obtenidos en el presente trabajo demuestran que la implementación de un sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico para hogares contribuye a un mejor control y eficiencia energética, lo que conlleva un ahorro energético. Resultados que coinciden con los obtenidos por Madera Rosero (2019), quien, a partir de la gestión programada de los electrodomésticos, reportó una reducción en el consumo eléctrico de estos dispositivos. Sin embargo, este trabajo va más allá de incluir solo el monitoreo y gestión de

electrodomésticos. La coincidencia de los resultados evidencia que la aplicación de las nuevas tecnologías, como el Internet de las Cosas (IoT), permiten a los residentes la toma de decisiones orientadas a la reducción de consumos innecesarios y la implementación de medidas de ahorro energético, lo que se traduce en una reducción del consumo eléctrico residencial, el cual ha venido incrementando su demanda anualmente en el ámbito ecuatoriano.

Los resultados del presente trabajo muestran una reducción en el consumo eléctrico residencial, producto de la implementación del sistema desarrollado. Estos resultados coinciden con Yachi Huamán (2023), quien, a partir del monitoreo del consumo eléctrico de un conjunto de electrodomésticos, logró influir en los hábitos de consumo de los residentes, alcanzando una reducción en los consumos de estos dispositivos. Si bien ambos proyectos lograron el mismo objetivo, el sistema desarrollado en el presente trabajo va más allá de solo implementar el monitoreo, sino también funcionalidades de gestión remota de electrodomésticos y de los circuitos eléctricos del hogar, lo que conllevaría un mayor ahorro. La coincidencia de ambos resultados evidencia que las aplicaciones de IoT orientadas al monitoreo y ahorro energético permiten a los usuarios identificar patrones de consumo y aplicar medidas de eficiencia energética, que favorecen al ahorro eléctrico residencial.

El sistema desarrollado en el presente trabajo de titulación demostró confiabilidad en los datos obtenidos relacionados al consumo eléctrico general del hogar, junto con resultados favorables en el ahorro energético. Estos resultados coinciden con el sistema desarrollado por Salavarría Sarmiento & Matovelle Rentería (2023), quienes mediante el monitoreo energético de la residencia y el control remoto de dispositivos domóticos lograron reducir el consumo de energía en la vivienda. Si bien ambos sistemas cumplen el mismo objetivo, el

sistema desarrollado en este trabajo se distingue al incorporar la gestión remota de los circuitos eléctricos del hogar, característica que puede aportar un mayor ahorro y eficiencia energética. La implementación de ambos sistemas demuestra que las aplicaciones IoT orientadas a la gestión y ahorro energético en los hogares, al brindar información en tiempo real sobre el consumo, permiten que los residentes adopten un uso más responsable de su electricidad, mejoren sus hábitos de consumo y logren reducir su consumo energético, lo que se traduce en una disminución en la factura eléctrica mensual.

El sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico para hogares desarrollado en el presente trabajo de titulación demuestra que el desarrollo de los paneles personalizados para la visualización del consumo energético residencial y gestión remota de los electrodomésticos y circuitos eléctricos permite llevar un seguimiento detallado sobre el gasto energético en general. Si bien es cierto que Home Assistant integra su propio panel “Gestión Energética del Hogar” donde se realiza automáticamente el seguimiento energético del hogar y de cada dispositivo monitoreado a través de la integración de dispositivos comerciales, la interfaz de monitoreo y gestión, junto con los nodos desarrollados como fuente de información en el presente trabajo, son ampliamente compatibles con la plataforma de Home Assistant.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

A través de la revisión bibliográfica realizada en el capítulo teórico, se analizó la situación energética de Ecuador, destacando a la generación hidroeléctrica como la principal fuente de energía, y el incremento del 8.42% en el consumo promedio del sector residencial en 2023 respecto al año anterior. Se analizó el concepto de Smart Home junto con los diversos dispositivos inteligentes que operan mediante tecnologías de comunicación inalámbrica como Wi-Fi, ZigBee y Z-Wave, así como su integración con el Internet de las Cosas (IoT) para el desarrollo de soluciones orientadas a la gestión eficiente y el ahorro energético residencial.

Mediante el estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2018 se determinó los requerimientos de hardware y software necesarios para el diseño del sistema, que permita la visualización del consumo eléctrico general del hogar y gestión de electrodomésticos. Se seleccionaron el microcontrolador ESP32 y el sensor PZEM004-T v3 para la medición y envío de información de las variables eléctricas bajo el protocolo MQTT. Así como InfluxDB para el almacenamiento de datos y Home Assistant como la plataforma de gestión y visualización, servicios alojados en la nube de Amazon Web Services.

Se realizó las pruebas de funcionamiento del sistema durante un período de cuatro meses, validando tanto el registro como la visualización del consumo eléctrico del hogar y un conjunto de electrodomésticos. Asimismo, se comprobó la gestión remota de los circuitos eléctricos (iluminación, tomacorrientes y cargas especiales) y de los electrodomésticos monitoreados, a través de la plataforma de Home Assistant. Estas funcionalidades

permitieron lograr una reducción del 6.6% en el consumo general del hogar, resultado de la implementación de medidas de ahorro y eficiencia energética.

Se realizó las pruebas de funcionamiento del sistema, demostrando la confiabilidad en el registro de datos del consumo eléctrico general del hogar. Los resultados demuestran un error relativo de 1.47%, lo que equivale a una diferencia de 1.18 kWh al comparar el consumo registrado por el sistema con la planilla eléctrica emitida por la empresa.

Los resultados del sistema demostraron la capacidad para generar un ahorro energético a nivel residencial. En una proyección de implementación en el conjunto residencial, considerando hogares promedio con características y número de electrodomésticos similares a los descritos en este proyecto, se estimaría un ahorro energético mensual de 119,07 kWh. Este impacto resalta la eficacia del sistema para fomentar un mayor ahorro energético en comunidades residenciales, traducándose en beneficios ambientales, sociales y económicos.

Recomendaciones

Se recomienda que, al iniciar los Nodos 1 y 2, se verifique desde la plataforma de Home Assistant el estado de conexión de cada nodo, asegurándose de que mantenga una conexión activa con el bróker Mosquitto MQTT alojado en la nube. Esto garantiza que los nodos realicen el envío de información del consumo eléctrico y respondan a las instrucciones de gestión remota enviadas por el usuario desde la interfaz de Home Assistant.

Previo a la instalación del Nodo 2, encargado de monitorear el consumo eléctrico general del hogar y gestionar de los circuitos eléctricos, es importante identificar cada circuito eléctrico en el tablero de distribución (iluminación, tomacorrientes y cargas especiales), para asociarlo con un relé de estado sólido (SSR) específico. De esta manera se evita la activación o desactivación errónea de un circuito desde la plataforma de Home Assistant.

Se recomienda la implementación de un certificado digital de seguridad para las plataformas de Node-RED y Home Assistant a fin de establecer una comunicación segura y cifrada entre el usuario y los servicios.

Para trabajos futuros, se recomienda la integración de una fuente de energía alternativa, como paneles solares, junto con dispositivos inteligentes comerciales relacionados al monitoreo y gestión de energía del hogar. Estos dispositivos pueden integrarse fácilmente en Home Assistant y, a través del panel “Gestión Energética del Hogar”, permitir un monitoreo más detallado de la energía producida y consumida en la residencia.

Se recomienda que, para una futura integración del sistema desarrollado en este trabajo en entornos residenciales, se contemple en la arquitectura de las viviendas la disposición de espacios estratégicos que permitan la instalación de los nodos directamente en la pared, evitando instalaciones sobrepuestas tanto en los tomacorrientes como junto al tablero de distribución eléctrica.

Se recomienda, a futuro, la integración de sistemas domóticos en el mercado ecuatoriano enfocados a la gestión inteligente de energía en los hogares. Dada la creciente demanda del consumo energético en el sector residencial en los últimos años, estas soluciones pueden reducir significativamente el consumo mensual de energía, generando beneficios tanto ambientales como económicos.

Referencias

Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2023).

Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2023.

<https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/04/EstadisticaAnual2023-WEB-2.pdf>

Agudelo, D. (2018). *Humanismo, tecnologías e innovación.*

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=t9jEDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=Humanismo,+tecnolog%C3%ADas+e+innovaci%C3%B3n.+Sello+Editorial+Javeriano->

[Pontificia+Universidad+Javeriana,+Cali.&ots=gfC7ILmKrd&sig=AJrhWFFJ99MCX0pI2EeDJdAG4Y8](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=t9jEDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=Humanismo,+tecnolog%C3%ADas+e+innovaci%C3%B3n.+Sello+Editorial+Javeriano-Pontificia+Universidad+Javeriana,+Cali.&ots=gfC7ILmKrd&sig=AJrhWFFJ99MCX0pI2EeDJdAG4Y8)

Aguilar, L. J. (2021). *Internet de las cosas: Un futuro hiperconectado: 5G, Inteligencia Artificial, Big Data, Cloud, Blockchain, Ciberseguridad.* Alpha Editorial.

<https://books.google.com.ec/books?id=t816EAAAQBAJ>

Alloza, J. M. (2021). *Montaje de componentes y periféricos microinformáticos. IFCT0108.*

IC Editorial. <https://books.google.com.ec/books?id=435KEAAAQBAJ>

Arroyo, R., & Angulo, J. (2022). La domótica como aplicación de eficiencia energética en

Ecuador. *Dialnet.Unirioja.Es* R Arroyo, J Angulo *GICOS: Revista Del Grupo de Investigaciones En Comunidad y Salud, 2022*•*dialnet.Unirioja.Es.*

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8721745>

Associated Press. (2023, October 27). *Ecuador comienza a racionar energía eléctrica con cortes de hasta cuatro horas en casi todo el país.*

<https://www.vozdeamerica.com/a/ecuador-comienza-a-rationar-energia-electrica-con-cortes/7330356.html>

Beer, W. (2021). *Open Source Home Automation: Introduction into Home Assistant Open Source Home Automation with ESP8266*. Wolfgang Beer.

<https://books.google.com.ec/books?id=auVSEAAAQBAJ>

Candel, J. M. O. (2020). *Tecnologías para arquitecturas basadas en microservicios: Patrones y soluciones para aplicaciones desplegadas en contenedores*. José Manuel

Ortega. <https://books.google.com.ec/books?id=5xfzDwAAQBAJ>

Choukou, M. A., & Syed-Abdul, S. (2021). *Smart Home Technologies and Services for Geriatric Rehabilitation*. Elsevier Science.

<https://books.google.com.ec/books?id=fRExEAAAQBAJ>

Debian. (2024, January 3). *Razones para escoger Debian*.

García, C. (2023, October 18). *Ecuador declara la emergencia en el sistema eléctrico ante la falta de lluvias - El Diario Ecuador*. <https://www.eldiario.ec/actualidad/ecuador-declara-la-emergencia-en-el-sistema-electrico-ante-la-falta-de-lluvias/>

Gobierno del Ecuador. (2019). *Ley Orgánica de Eficiencia Energética*.

http://esacc.corteconstitucional.gob.ec/storage/api/v1/10_DWL_FL/eyJjYXJwZXRhIjoicm8iLCJ1dWlkIjoieWmEwZjY4NjgtMWVmNi00YzU2LWI1N2YtZDIwMmFmZDZhNDFhLnBkZiJ9

International Energy Agency. (2023, July 11). *Smart Grids*. <https://www.iea.org/energy-system/electricity/smart-grids>

- Kim Ceda. (2022, June 1). *IoT Energy Meter with Cayenne Dashboard using PZEM-004T v3 and Wemos D1 Mini*.
- Li, W., Yigitcanlar, T., Erol, I., & Liu, A. (2021). Motivations, barriers and risks of smart home adoption: From systematic literature review to conceptual framework. *Energy Research & Social Science*, 80, 102211. <https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2021.102211>
- López, E. R. V. S. J. B. (2023). *Inteligencia Artificial para la transformación de la educación*. SOMECE. <https://books.google.com.ec/books?id=G2LoEAAAQBAJ>
- Luna, J. A. A., Osuna-Millán, N., Parra, J. M. F., & Cisneros, R. F. R. (2022). Hacia la selección de una metodología adecuada de gestión de proyectos de TI. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, E54, 631–643.
- Madera Rosero, R. J. (2019). *Prototipo de infraestructura de comunicación para notificaciones generadas por el consumo eléctrico en un hogar*. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9003>
- Mantuano, G. (2023, October 23). *Lanzan campaña para el ahorro de energía en Ecuador - El Diario Ecuador*. <https://www.eldiario.ec/actualidad/ecuador/lanzan-campana-para-el-ahorro-de-energia-en-ecuador/>
- Marques, G., González-Briones, A., & López, J. M. M. (2022). *Machine Learning for Smart Environments/Cities: An IoT Approach*. Springer International Publishing. <https://books.google.com.ec/books?id=111oEAAAQBAJ>
- Martínez, V. G., Encinas, L. H., & Guardado, D. A. (2020). *Ciberseguridad*. Los Libros de La Catarata. <https://books.google.com.ec/books?id=5sgKEAAAQBAJ>

- Midhun Moorthi, C. (2023). *Getting Started With The IOT*. Academic Guru Publishing House. https://books.google.com.ec/books?id=_MPcEAAAQBAJ
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2017). *Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador*. https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2017/09/1.PLAN_NACIONAL_EFICIENCIA_ENERGETICAmaqueta-final-digital.pdf
- Ministerio de Energía y Minas. (2023). *Balance Energético Nacional 2022*. www.recursosyenergia.gob.ec
- Muñoz, O. Q. (2019). *Internet de las Cosas (IoT)*. Ibukku, LLC. <https://books.google.com.ec/books?id=vnnEDwAAQBAJ>
- Novillo-Vicuña, J., Rojas, D., Olivo, B., & Ríos, J. (2018). *Arduino y el internet de las cosas*. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=FIlyDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA14&dq=arduino+y+el+internet+de+las+cosas&ots=xa19zTycOm&sig=Ma7hqZwrvgWamKw-zcNDCUzz-Mg>
- Operador Nacional de Electricidad CENACE. (2022). *Informe Anual 2022*.
- Operador Nacional de Electricidad CENACE. (2023). *Informe Anual 2023*. <https://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/04/Parte-1-Informe-Anual-CENACE-2023.pdf>
- Palacios, A. (2020). *Eficiencia Energética Residencial*. <https://www.ucacue.edu.ec>

PETROENERGÍA. (2021, December 27). *Importancia de la categorización del consumo eléctrico del sector residencial en Ecuador.*

<https://www.petroenergia.info/post/importancia-de-la-categorizaci%C3%B3n-del-consumo-el%C3%A9ctrico-del-sector-residencial-en-ecuador>

Pilicita-Garrido, A. E., & Cevallos-Duque, D. C. (2019). Technological Innovation of a Comprehensive System to Monitor Electric Consumption. *Ingenius*, 2019(22), 9–16.

<https://doi.org/10.17163/INGS.N22.2019.01>

Pizarro Peláez, J. (2020). *Internet de las cosas (IOT) con ESP. Manual práctico.* Ediciones

Paraninfo, S.A. <https://books.google.com.ec/books?id=B2oHEAAAQBAJ>

Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025. (2021). *Secretaría Nacional de*

Planificación. <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/09/Plan-de-Creacio%CC%81n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado.pdf>

Politi, M. (2022). *Internet de las cosas aplicado a Generación Distribuida.* Editorial

Autores de Argentina. <https://books.google.com.ec/books?id=iC1iEAAAQBAJ>

Ponce Jara, M. A. (2019). *La energía solar fotovoltaica distribuida y las Smart Grid como modelo para diversificar la matriz energética de Ecuador.*

Quishpe Gaibor, J., & Quishpe Freire, J. (2018). Deontología aplicada al consumo de

electricidad en hogares del Ecuador. *Caribeña de Ciencias Sociales*, septiembre.

Radionov, A. A., & Gasiyarov, V. R. (2023). *Advances in Automation IV: Proceedings of the International Russian Automation Conference, RusAutoCon2022, September 4-10, 2022, Sochi, Russia.* Springer International Publishing.

<https://books.google.com.ec/books?id=9pOoEAAAQBAJ>

- Ramos Males, P. J., & Bautista Segovia, A. M. (2022). La Eficiencia Energética: Una Estrategia Para la Economía Doméstica en Ecuador. *Dialnet.Unirioja.EsPJR Males, AMB SegoviaDominio de Las Ciencias, 2022•dialnet.Unirioja.Es*, 8(2), 1334–1346. <https://doi.org/10.23857/dc.v8i2.2708>
- Refaat, S. S., Ellabban, O., Bayhan, S., Abu-Rub, H., Blaabjerg, F., & Begovic, M. M. (2021). *Smart Grid and Enabling Technologies*. Wiley. <https://books.google.com.ec/books?id=e104EAAAQBAJ>
- Roy, R., Ruggeri, A., Bommakanti, V., Cole, A., Doiche, B., Scott, N., LeFevour, J., & Adamuz, M. (2017). *ODROID Magazine: July 2017*. Hardkernel, Ltd. <https://books.google.com.ec/books?id=p2wsDwAAQBAJ>
- Salavarría Sarmiento, J. D., & Matovelle Rentería, H. A. (2023). *Desarrollar una plataforma web mediante un sistema distribuido de recolección de datos para el control domótico del consumo energético de una vivienda residencial*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25930>
- Schmidt, D. (2022). *MikroC Pro para PIC y ARM Cortex: programación y ejemplos*. Marcombo. <https://books.google.com.ec/books?id=OzyGEAAAQBAJ>
- Singh, N., & Paliwal, P. (2022). Planning and monitoring of smart grid Architecture using Internet of Things. *2022 IEEE 6th International Conference on Condition Assessment Techniques in Electrical Systems (CATCON)*, 12–16. <https://doi.org/10.1109/CATCON56237.2022.10077659>
- Singh, V. P., Kumar, M. N., Misra, M. A. K., & Kuncha, P. (2023). *IoT Communication Protocols* (Vol. 1). GCS PUBLISHERS.

Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2012, June 15). *Visión general de la Internet de las cosas*. https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-Y.2060-201206-I!!PDF-S&type=items

United Nations. (2015). *TRANSFORMING OUR WORLD: THE 2030 AGENDA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT*.
<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>

Vandome, Nick. (2020). *100 Top Tips - Create Your Smart Home to Stay Safe and Save Money*.

Viswanath, S. K., Yuen, C., Tushar, W., Li, W.-T., Wen, C.-K., Hu, K., Chen, C., & Liu, X. (2016). System design of the internet of things for residential smart grid. *IEEE Wireless Communications*, 23(5), 90–98. <https://doi.org/10.1109/MWC.2016.7721747>

Wankhede, P., Talati, M., & Chinchamalature, R. (2020). Comparative study of cloud platforms-microsoft azure, google cloud platform and amazon EC2. *J. Res. Eng. Appl. Sci*, 5(02), 60–64.

Wu, X., Kadambi, S., Kandhare, D., & Ploetz, A. (2018). *Seven NoSQL Databases in a Week: Get up and running with the fundamentals and functionalities of seven of the most popular NoSQL databases*. Packt Publishing.
<https://books.google.com.ec/books?id=irZTDwAAQBAJ>

Yachi Huamán, R. E. (2023). *Sistema de monitorización basado en el Internet de las cosas para mejorar el ahorro de energía eléctrica en el sector residencial*.

Zafar, U., Bayhan, S., & Sanfilippo, A. (2020). Home Energy Management System Concepts, Configurations, and Technologies for the Smart Grid. *IEEE Access*, 8, 119271–119286. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3005244>

Anexos**ANEXO A. Modelo de Encuesta**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

SISTEMA DE MONITOREO Y GESTIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO PARA
HOGARES BASADO EN EL INTERNET DE LAS COSAS

ENCUESTA

Objetivo: Recopilar información acerca de los hábitos de consumo eléctrico presentes en los hogares.

Instrucciones: Marque con una X la respuesta que considere adecuada.

1. De los siguientes electrodomésticos, seleccione aquellos que estén presentes en su hogar y que se utilicen con mayor frecuencia.

 Lavadora Aire acondicionado Televisor Ventilador Microondas Consola de videojuegos Licuadora Equipo de sonido Refrigerador Computador

Plancha de ropa

Otros: _____

2. ¿Alguna vez ha presentado errores en la lectura del medidor de consumo eléctrico del hogar?

Si ()

No ()

3. ¿Qué tan satisfecho está con la lectura del medidor de consumo eléctrico del hogar realizada por la empresa proveedora de electricidad?

Muy satisfecho ()

Satisfecho ()

Ni satisfecho ni insatisfecho ()

Insatisfecho ()

Muy insatisfecho ()

4. ¿En su hogar, implementa acciones o medidas enfocadas al ahorro de energía eléctrica?

Si ()

No ()

5. ¿Mantiene encendido aparatos eléctricos, incluso cuando estos no se están utilizando?

Si ()

No ()

6. ¿Desconecta los dispositivos eléctricos después de haberlos utilizado?

Si ()

No ()

7. ¿Alguna vez ha salido de casa y ha dejado algún aparato eléctrico encendido por varios minutos?

Si ()

No ()

8. En caso de que la pregunta anterior sea afirmativa ¿En qué períodos de tiempo el dispositivo han estado encendido y consumiendo energía?

20 m – 50 m ()

1 h – 2h ()

2 h – 4h ()

Mas de 4h ()

9. ¿Ha escuchado sobre el uso de la tecnología en el hogar como el Smart Home o Domótica para generar un ahorro y eficiencia energética?

Si ()

No ()

10. ¿Qué tan útil cree usted que sería un sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico en hogares para promover medidas de ahorro eléctrico?

Muy útil ()

Útil ()

Neural ()

No tan útil ()

Nada útil ()

11. ¿Qué tan importante cree usted que sería tener un sistema que le permita apagar sus dispositivos eléctricos desde cualquier lugar y en cualquier momento para ahorrar energía?

Muy importante ()

Importante ()

Neutral ()

Poco importante ()

Nada importante ()

12. ¿Qué tan importante cree usted que sería tener un sistema que le informe mediante una alerta cuando un dispositivo eléctrico lleva encendido un largo período de tiempo, y así poder evitar un consumo energético excesivo e innecesario?

Muy importante ()

Importante ()

Neutral ()

Poco importante ()

Nada importante ()

13. ¿Qué tan útil cree usted que sería un sistema que presente información acerca del consumo individual de sus electrodomésticos para promover medidas de ahorro energético?

Muy útil ()

Útil ()

Neural ()

No tan útil ()

Nada útil ()

14. ¿Qué tan útil cree usted que sería un sistema que presente información sobre el avance de su consumo eléctrico del hogar, a fin de poder implementar medidas y acciones que generen un ahorro energético?

Muy útil ()

Útil ()

Neural ()

No tan útil ()

Nada útil ()

MSc. Fabián Geovanny Cuzme Rodríguez

Juan Diego Martínez Morocho

TUTOR

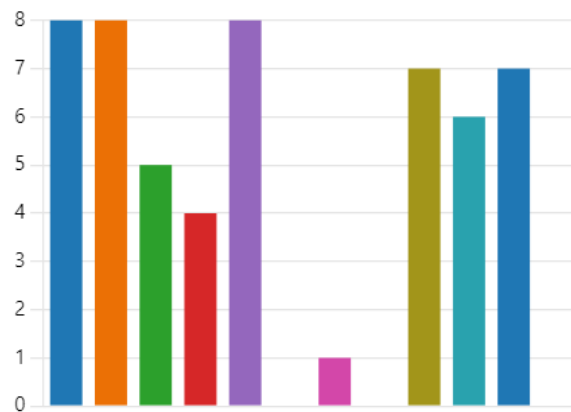
ESTUDIANTE

ANEXO B. Tabulación de Resultados

En la presente sección se presentan los resultados correspondientes a la encuesta realizada que tiene como objetivo recabar información acerca de los hábitos de consumo eléctrico y la implementación de la tecnología orientada al ahorro energético.

Pregunta 1

En base a los resultados obtenidos en la pregunta 1 se pudo determinar que los electrodomésticos con mayor presencia y consumo en los hogares encuestados son la lavadora, televisor, refrigerador, equipo de sonido y la plancha de ropa. Los cuales se mantienen en una votación de entre 8 y 7 votos. Mientras que los electrodomésticos restantes como el microondas, licuadora y el computador no presentan un mayor uso.

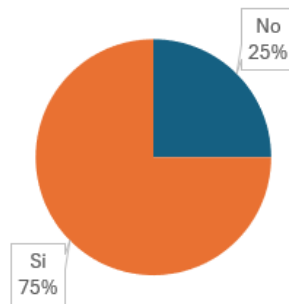


Pregunta 2

Los resultados obtenidos en la pregunta dos muestran que un 75% de las personas encuestadas han sufrido algún error en la lectura del medidor eléctrico de sus hogares, generando en cierto modo dudas sobre las correctas lecturas que se pueden generar en sus

medidores. Mientras que un 25% de los encuestados mantienen que no han experimentado algún error en las lecturas del medidor eléctrico de su hogar.

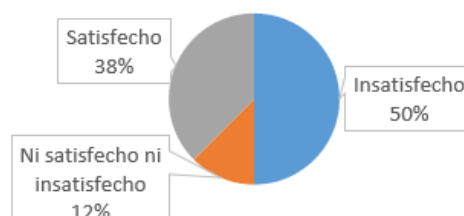
¿Alguna vez ha presentado errores en la lectura del medidor de consumo eléctrico del hogar?



Pregunta 3

En base a los resultados de la pregunta 3 se determinó que un 50% de los encuestados están insatisfechos con la lectura del medidor eléctrico de sus hogares, consecuencia de los errores en la lectura que estos han sufrido en algún momento. Mientras que un 38% se mantiene en la opción de satisfecho. Finalmente, un 12% (equivalente a un voto) mostró que no se encuentran ni satisfecho ni insatisfecho con la lectura del medidor de consumo eléctrico del hogar.

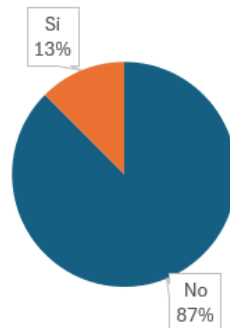
¿Qué tan satisfecho está con la lectura del medidor de consumo eléctrico del hogar realizada por la empresa proveedora de electricidad?



Pregunta 4

Los resultados de la pregunta 4 determinaron que un porcentaje de 87% de los encuestados no aplican medidas de ahorro eléctrico en sus hogares factores que afectan en los niveles del consumo eléctrico en el hogar, mientras que apenas un 13% si lo hace.

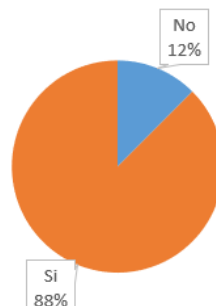
¿En su hogar, implementa acciones o medidas enfocadas al ahorro de energía eléctrica?



Pregunta 5

Los resultados de la pregunta 5 determinó que un 88% de los encuestados mantienen encendido aparatos eléctricos aún cuando estos no están siendo utilizados, el cual es un mal hábito que afectan en los niveles del consumo eléctrico en los hogares. Mientras que solo un 12% de los encuestados, afirma que mantiene esta medida de ahorro al apagar dispositivos que no se estén utilizando.

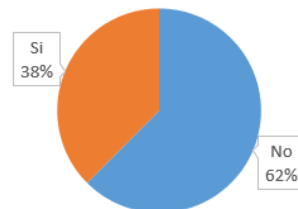
¿Mantiene encendido aparatos eléctricos, incluso cuando estos no se están utilizando?



Pregunta 6

Un total de 62% de los encuestados manifestó que no desconecta los aparatos eléctricos luego de utilizarlos, al contrario, estos se mantienen siempre conectados aún cuando no están siendo usados. Mientras que apenas el 38% de los encuestados, manifiesta que si realiza la desconexión de energía de los aparatos eléctricos, evitando consumos innecesarios como el del standby.

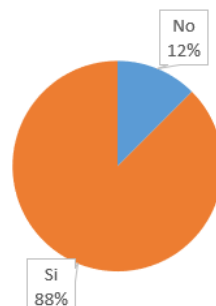
¿Desconecta los dispositivos eléctricos después de haberlos utilizado?



Pregunta 7

Un 88% de los encuestados ha dejado en algún momento un aparato eléctrico encendido al salir de casa, mismo que refleja un consumo eléctrico innecesario. Mientras que solo un 12% afirma que trata de evitar que los dispositivos eléctricos se mantengan encendidos al salir de casa y generar un ahorro de energía.

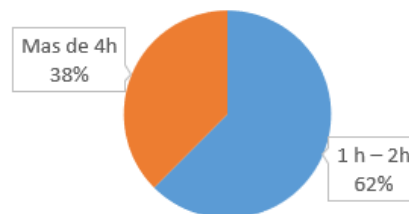
¿Alguna vez ha salido de casa y ha dejado algún aparato eléctrico encendido por varios minutos?



Pregunta 8

La mayoría de los encuestados correspondiente a un 62% afirma que el período de tiempo en el que ha dejado un aparato eléctrico encendido al salir de casa se mantiene entre 1h y 2h. Por otro lado, un 38% de los encuestados se mantuvo en un período más largo de tiempo que van a más de 4 horas que se mantuvieron los aparatos eléctricos encendidos,

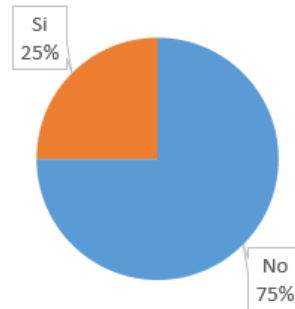
En caso de que la pregunta anterior sea afirmativa ¿En qué períodos de tiempo el dispositivos ha estado encendido y consumiendo energía?



Pregunta 9

La pregunta 9 realizada a los encuestados arrojó un porcentaje del 75% de personas que no conocen sobre las tecnologías del Smart Home y Domótica, y como estas plantean soluciones para el ahorro energético en el hogar. Por otro lado, el resto de encuestados que representa un 25% afirman que si conocen de los beneficios del Smart Home o Domótica y como estos pueden contribuir a ahorro de energía en los hogares.

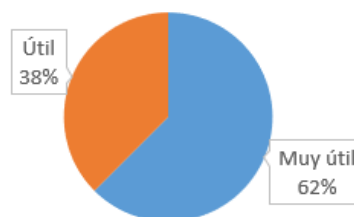
¿Ha escuchado sobre el uso de la tecnología en el hogar como el Smart Home o Domótica para generar un ahorro y eficiencia energética?



Pregunta 10

Los resultados en la pregunta 10 son muy positivos ya que los resultados de esta pregunta afirman que un sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico en los hogares es 62% “Muy útil” y un 38% considera que es “Útil”, estos resultados reflejan el interés por parte de las personas en implementar la tecnología para generar un ahorro y eficiencia energética en los hogares.

¿Qué tan útil cree usted que sería un sistema de monitoreo y gestión del consumo eléctrico en hogares para promover medidas de ahorro eléctrico?

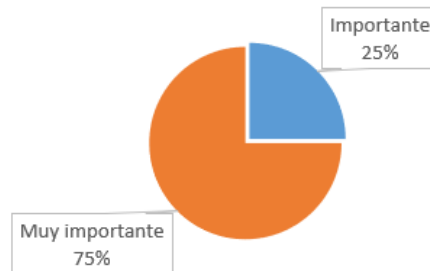


Pregunta 11

Un 75% de los encuestados manifestó que gestionar sus electrodomésticos de manera remota para evitar un consumo eléctrico innecesario es “Muy importante” debido a que se pueden

apagar dispositivos que han quedado encendidos en casa y evitar consumos innecesarios de energía. Por otro lado, un 25% de los encuestados afirmó que esta funcionalidad dentro de un sistema de gestión es “Importante” como medida de ahorro eléctrico para sus hogares.

¿Qué tan importante cree usted que sería tener un sistema que le permita apagar sus dispositivos eléctricos desde cualquier lugar y en cualquier momento para ahorrar energía?



Pregunta 12

La mayoría de los usuarios se inclinaron por las opciones de “Muy importante” e “Importante” con un 63% y 37% respectivamente, tener un sistema que le generen alarmas cuando un dispositivo eléctrico está encendido por un largo período de tiempo, que contribuyen a que una persona pueda gestionar un dispositivo evitando consumos excesivos e innecesarios en los hogares.

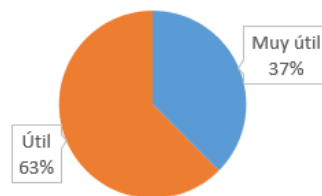
¿Qué tan importante cree usted que sería tener un sistema que le informe mediante una alerta cuando un dispositivo eléctrico lleva encendido un largo período de tiempo, y así poder evitar un consu...



Pregunta 13

Los resultados en la pregunta 13 determinaron que un 63% de los encuestados califican a un sistema que presente información acerca del consumo individual de sus electrodomésticos como “Útil”, mientras que el porcentaje restante de los encuestados (37%) mantiene su postura en “Muy útil” al tener información del consumo de sus electrodomésticos para emplear medidas y acciones que generen un ahorro energético en sus hogares.

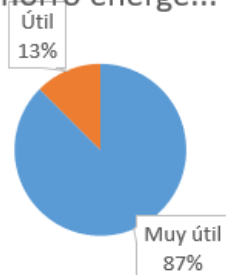
¿Qué tan útil cree usted que sería un sistema que presente información acerca del consumo individual de sus electrodomésticos para promover medidas de ahorro energético?



Pregunta 14

Los resultados de la pregunta 14 muestran que un 87% de los encuestados consideran que un sistema que presente información sobre el avance de su consumo eléctrico del hogar es “Muy útil” y un 13% lo considera como “Útil”, características de un sistema el cual a partir de esta información las personas puedan emplear medidas de ahorro eléctrico, además de un sistema de validación de lecturas del medidor eléctrico realizada por la empresa proveedora de electricidad.

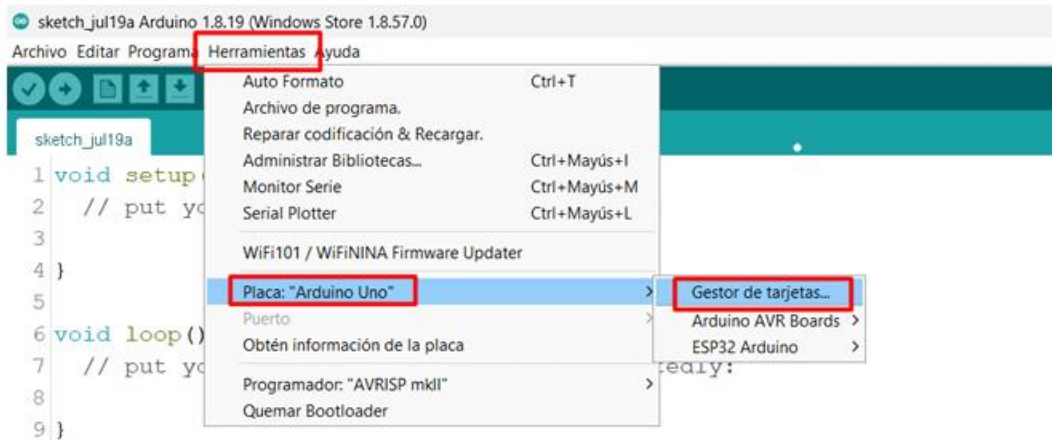
¿Qué tan útil cree usted que sería un sistema que presente información sobre el avance de su consumo eléctrico del hogar, a fin de poder implementar medidas y acciones que generen un ahorro energé...



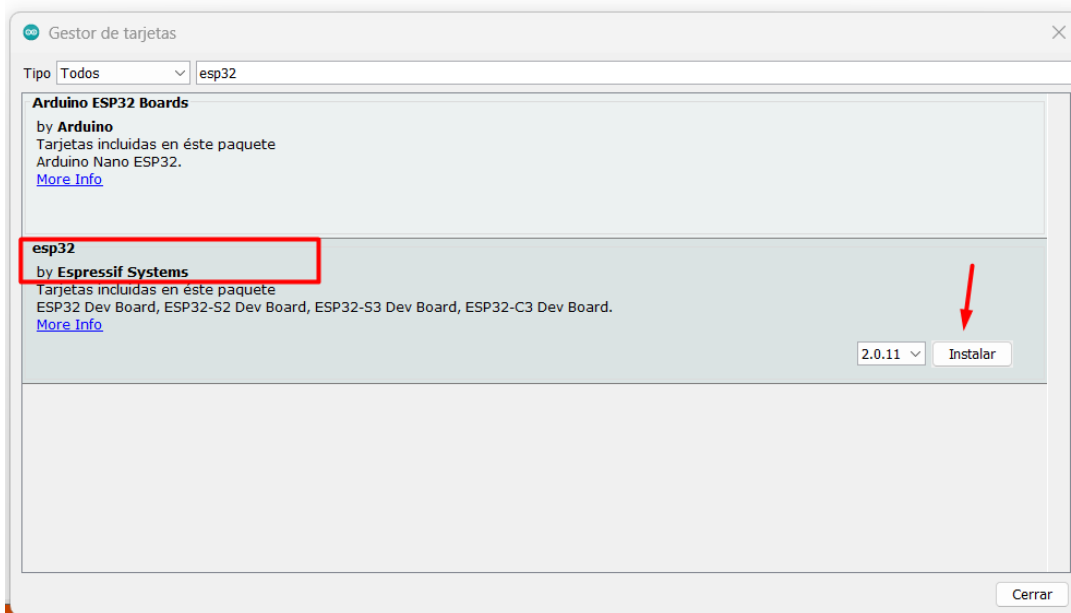
ANEXO C: Integración de ESP32 al IDE de Arduino

En esta sección de los anexos se presenta el proceso de integración de la placa ESP32 sobre el IDE de Arduino para su programación.

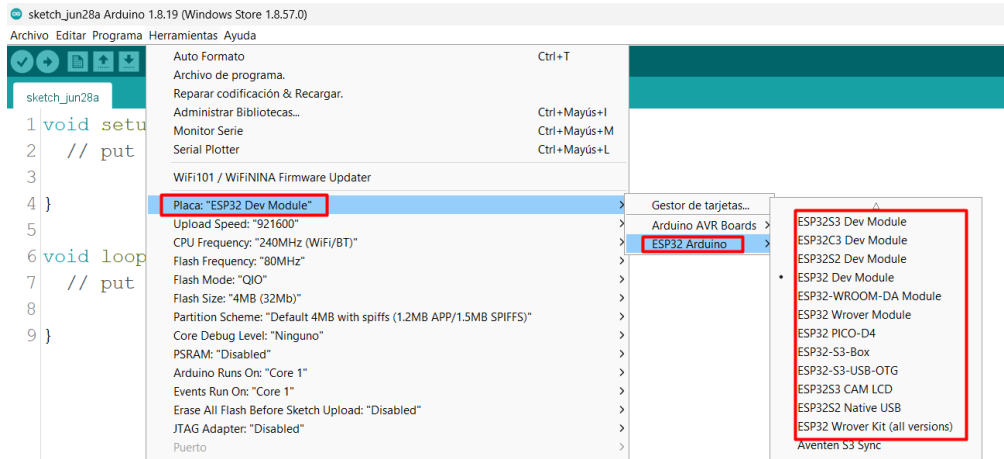
1. Se ingresa a la sección de Herramientas y la opción denominada **“Gestor de Tarjetas”**.



2. A continuación se realiza la búsqueda de la placa ESP32, se selecciona aquella que tiene como autor **“Espressif Systems”** y finalmente se ejecuta el proceso de instalación.



3. Dentro de las placas agregadas para el Arduino IDE se visualizan todos los modelos disponibles de la serie ESP32.

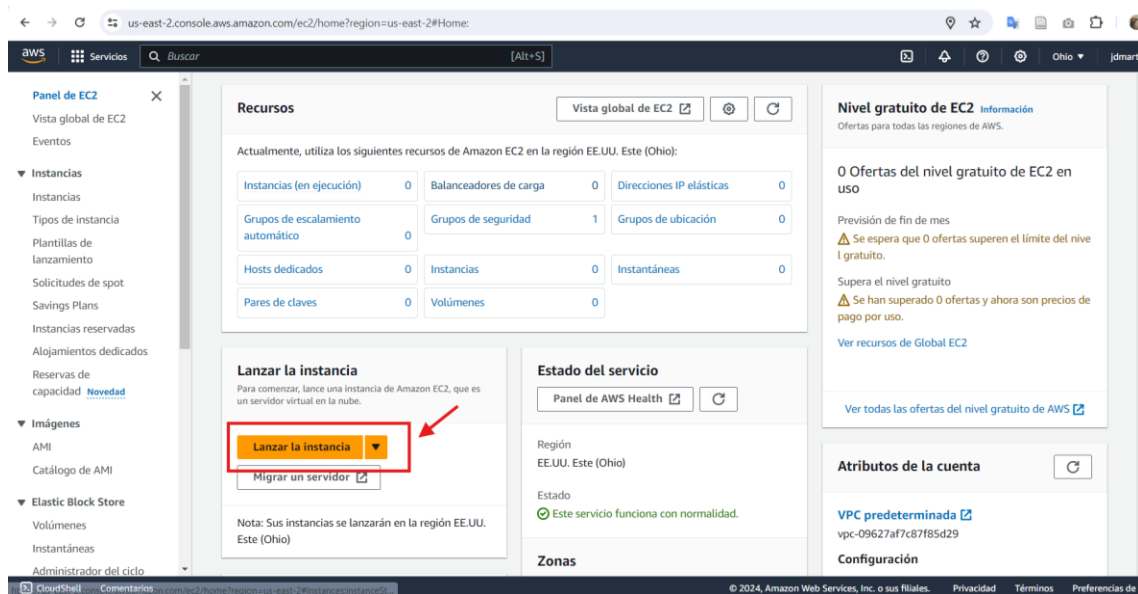


ANEXO D. Lanzamiento de EC2 en Amazon Web Services

Para el lanzamiento de una instancia en la plataforma de Amazon Web Services es necesario crear una cuenta dentro de esta plataforma.

El proceso del lanzamiento de una instancia en AWS consta de los siguientes pasos.

1. En el portal de AWS en la sección de instancias, se debe seleccionar la opción **“Lanzar la instancia”**.



The screenshot displays the AWS Management Console interface for the EC2 service. The main content area is titled 'Recursos' and shows a table of current EC2 resources in the us-east-2 region. Below this, there is a section for 'Lanzar la instancia' with a prominent orange button labeled 'Lanzar la instancia' that is highlighted by a red rectangular box and a red arrow. To the right of the 'Lanzar la instancia' section, there is a 'Estado del servicio' section showing the service is operational. The left sidebar contains navigation options for EC2, and the right sidebar shows account information and the free tier status.

Recursos				
Instancias (en ejecución)	0	Direcciones IP elásticas	0	
Grupos de escalamiento automático	0	Grupos de seguridad	1	
Hosts dedicados	0	Instancias	0	
Pares de claves	0	Volúmenes	0	
Balancedadores de carga	0	Grupos de ubicación	0	
Instantáneas				0

2. A continuación, agregue el nombre que le va a dar a la instancia.

us-east-2.console.aws.amazon.com/ec2/home?region=us-east-2#LaunchInstances:

aws Servicios [Buscar] [Alt+S]

EC2 > Instancias > Launch an instance

Launch an instance Información

Amazon EC2 le permite crear máquinas virtuales, o instancias, que se ejecutan en la nube de AWS. Comience rápidamente siguiendo los sencillos pasos que se indican a continuación.

Nombre y etiquetas Información

Nombre [Agregar etiquetas adicionales](#)

▼ Imágenes de aplicaciones y sistemas operativos (Imagen de máquina de Amazon) Información

Una AMI es una plantilla que contiene la configuración de software (sistema operativo, servidor de aplicaciones y aplicaciones) necesaria para lanzar la instancia. Busque o examine las AMI si no ve lo que busca a continuación.

[Inicio rápido](#)

▼ Resumen

Número de instancias Información
1

Imagen de software (AMI)
Amazon Linux 2023 AMI 2023.4.2...[más información](#)
ami-02bf8ce06a8ed6092

Tipo de servidor virtual (tipo de instancia)
t2.micro

Firewall (grupo de seguridad)
Nuevo grupo de seguridad

Almacenamiento (volúmenes)
Volúmenes: 1 (8 GiB)

Nivel gratuito: El primer año incluye 750 horas de uso de instancias t2.micro o t3.micro en

Cancelar [Lanzar instancia](#) [Revisar comandos](#)

CloudShell Comentarios © 2024, Amazon Web Services, Inc. o sus filiales. Privac

3. Seleccione la imagen de la máquina para la instancia. En este caso se selecciona Debian 12.

us-east-2.console.aws.amazon.com/ec2/home?region=us-east-2#LaunchInstances:

aws Servicios [Buscar] [Alt+S]

Para buscar una AMI, escriba un término de búsqueda; por ejemplo, "Windows"

AMI de inicio rápido (47) AMI de uso común Mis AMI (0) Creado por mí AMI de AWS Marketplace (9967) AWS y AMI de terceros de confianza AMI de la comunidad (500) Publicadas por cualquiera

Microsoft Windows Server 2019 Core Base
ami-0840ffbd7186bae (64 bits (x86)) [Seleccionar](#)

Windows **Apto para la capa gratuita** **Proveedor verificado**
Microsoft Windows 2019 Datacenter Core edition. [English]
Plataforma: windows Tipo de dispositivo raíz: ebs Virtualización: hvm Activado para ENA: Sí 64 bits (x86)

Debian **Apto para la capa gratuita** **Proveedor verificado**
Debian 12 (HVM), SSD Volume Type
ami-0ec3d9efcafb89e0 (64 bits (x86)) / ami-0c758b376a9cf7862 (64 bits (Arm)) [Seleccionar](#)

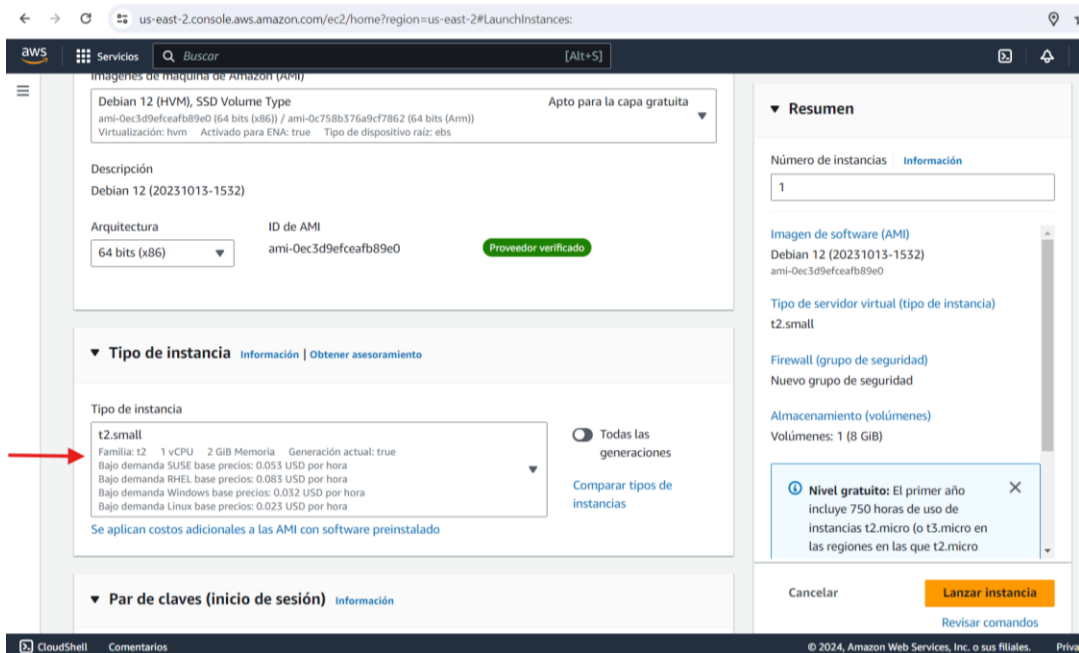
Debian **Apto para la capa gratuita** **Proveedor verificado**
Debian 12 (HVM), EBS General Purpose (SSD) Volume Type. Community developed free GNU/Linux distribution.
<https://www.debian.org/>
Plataforma: debian Tipo de dispositivo raíz: ebs Virtualización: hvm Activado para ENA: Sí 64 bits (x86) 64 bits (Arm)

Microsoft Windows Server 2016 Core Base
ami-0ec9803f7185c527e (64 bits (x86)) [Seleccionar](#)

Windows **Apto para la capa gratuita** **Proveedor verificado**
Microsoft Windows 2016 Datacenter Core edition. [English]
Plataforma: windows Tipo de dispositivo raíz: ebs Virtualización: hvm Activado para ENA: Sí 64 bits (x86)

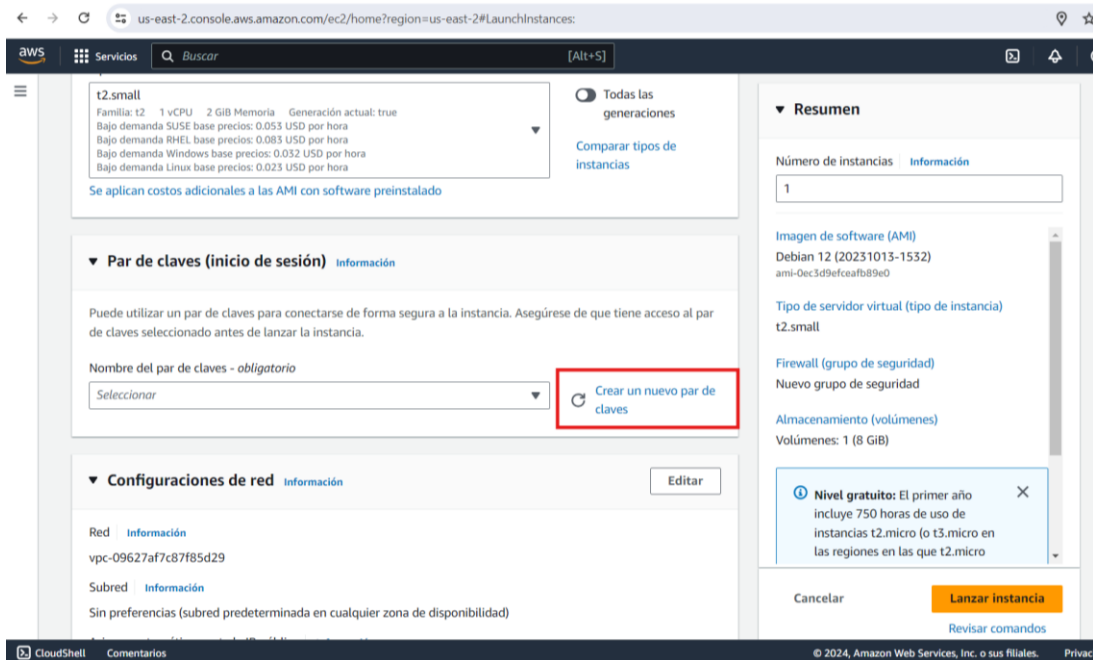
CloudShell Comentarios © 2024, Amazon Web Services, Inc. o sus filiales. Privacidad Términos Preferencias

4. Luego, seleccione las características de la instancia que va a crear.



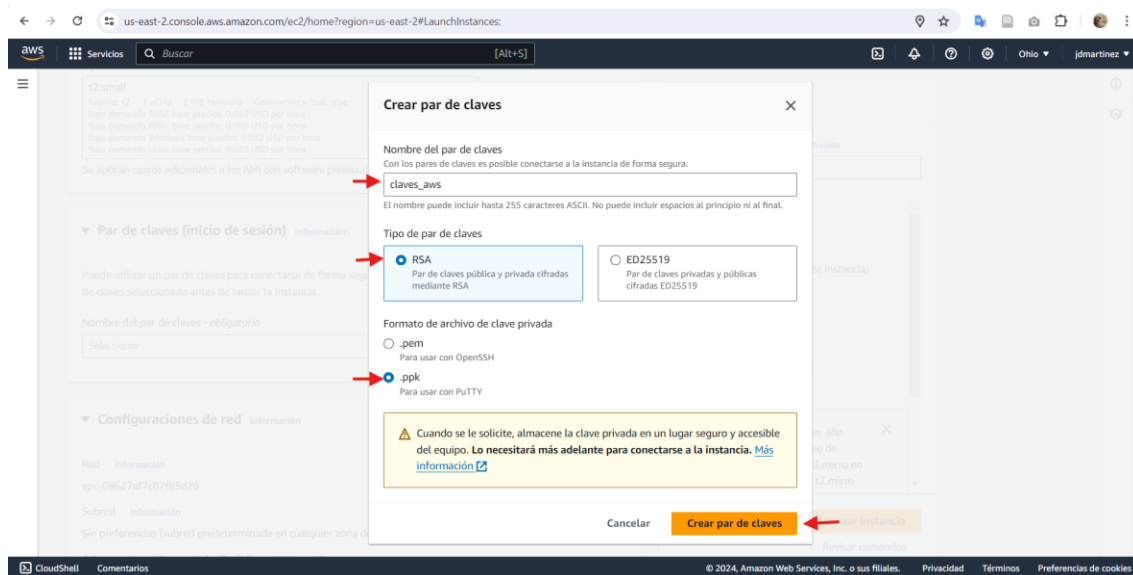
The screenshot shows the AWS Management Console interface for creating an EC2 instance. The main configuration area is titled 'Imágenes de máquina de Amazon (AMI)'. The selected AMI is 'Debian 12 (HVM), SSD Volume Type' with ID 'ami-0ec3d9efceafb89e0'. The architecture is set to '64 bits (x86)'. The instance type is 't2.small'. A red arrow points to the 'Tipo de instancia' dropdown menu, which is currently set to 't2.small'. The 'Resumen' panel on the right shows the number of instances as 1, the AMI, the instance type, and the storage configuration. A 'Lanzar instancia' button is visible at the bottom right.

5. Genere un par de llaves que le permitirán la conexión a la instancia.

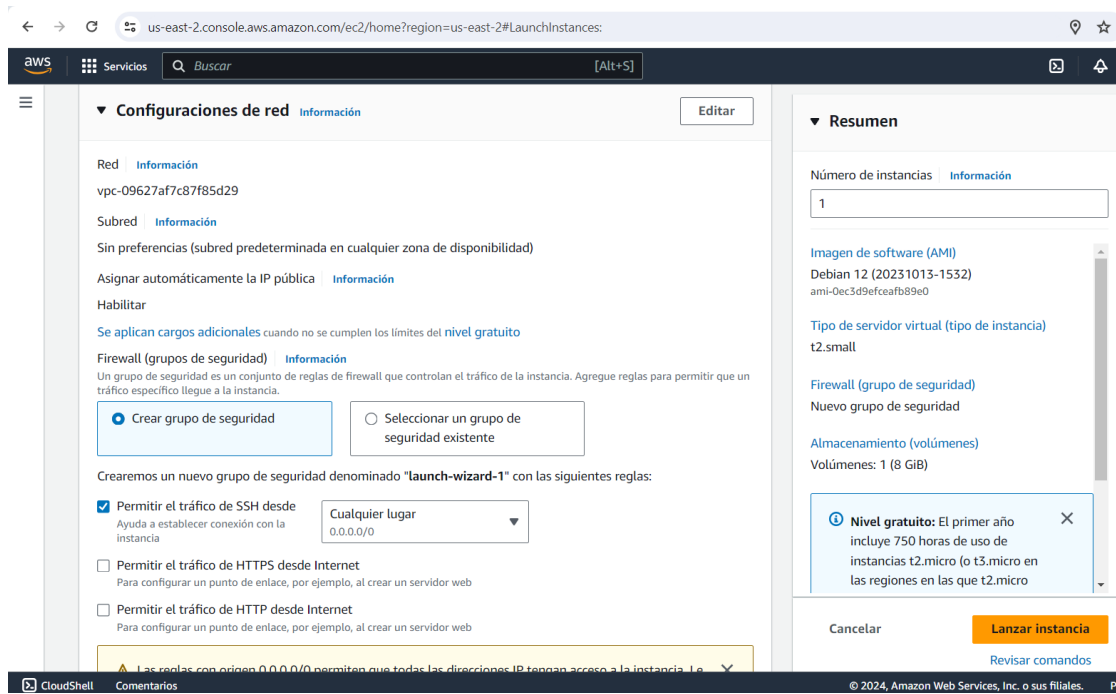


The screenshot shows the 'Par de claves (inicio de sesión)' section in the AWS Management Console. The 'Nombre del par de claves - obligatorio' dropdown menu is set to 'Seleccionar'. A red box highlights the 'Crear un nuevo par de claves' button. The 'Resumen' panel on the right shows the number of instances as 1, the AMI, the instance type, and the storage configuration. A 'Lanzar instancia' button is visible at the bottom right.

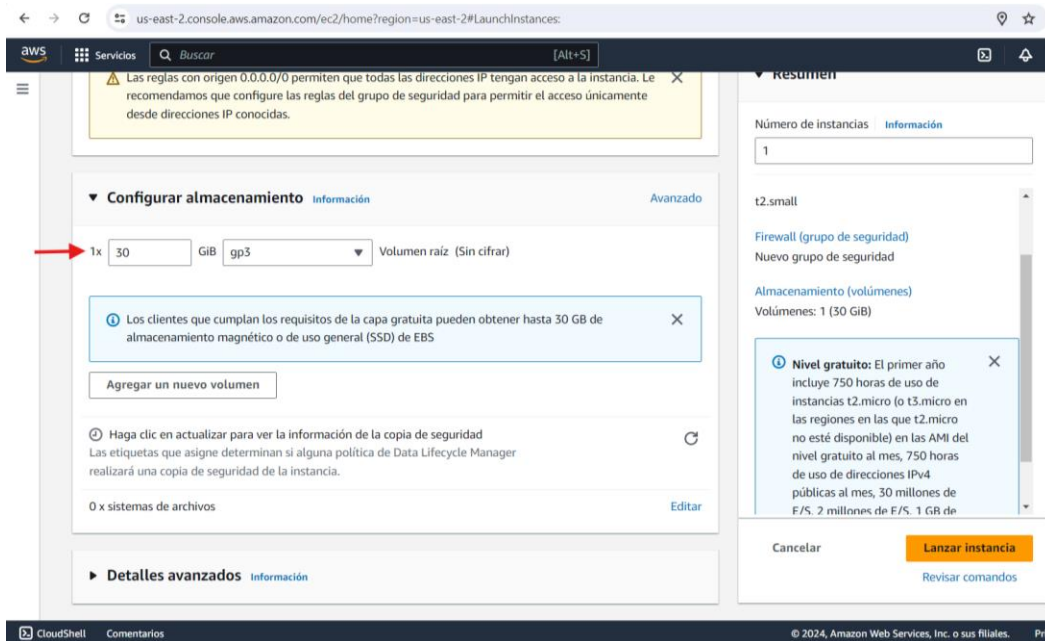
6. Asigne un nombre y el tipo de par de llaves. Adicionalmente, el formato del archivo de la clave privada.



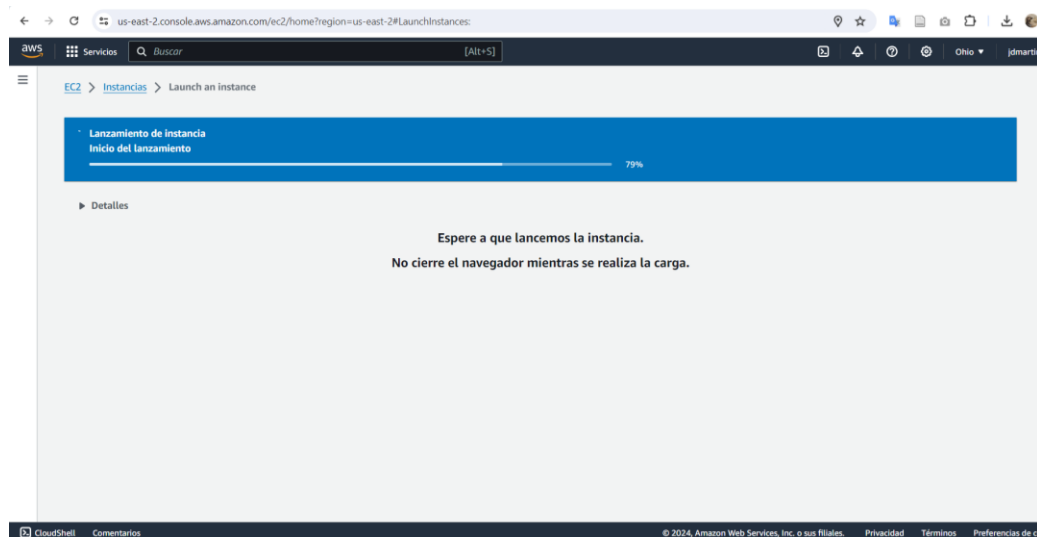
7. Configure las reglas del grupo de seguridad (Firewall) para asegurar el tráfico de la instancia. Se recomienda que se permita solo el tráfico SSH.



8. Agregue la capacidad de almacenamiento de la instancia. Para este caso, se aplica un almacenamiento de 60 GB para una gran capacidad de almacenamiento de la base de datos.



9. Revise las configuraciones de la instancia y realice el lanzamiento final de la instancia.



ANEXO E: Instalación de Bróker Mosquitto MQTT

1. El proceso de instalación de Mosquitto MQTT inicia mediante la actualización de los paquetes locales y continua con la instalación del bróker Mosquitto y Mosquitto Clients. Este último es una herramienta que permite la interacción con el bróker (publicación y suscripción) a partir de líneas de comando.

```
admin@ip-172-31-20-170:~$ sudo apt-get update
Get:1 file:/etc/apt/mirrors/debian.list Mirrorlist [38 B]
Get:5 file:/etc/apt/mirrors/debian-security.list Mirrorlist [47 B]
Hit:2 https://cdn-aws.deb.debian.org/debian bookworm InRelease
Hit:3 https://cdn-aws.deb.debian.org/debian bookworm-updates InRelease
Hit:4 https://cdn-aws.deb.debian.org/debian bookworm-backports InRelease
Hit:6 https://cdn-aws.deb.debian.org/debian-security bookworm-security InRelease
Reading package lists... Done
admin@ip-172-31-20-170:~$ sudo apt-get install -y mosquitto mosquitto-clients
Reading package lists... Done
Building dependency tree... Done
Reading state information... Done
```

2. Luego se habilita el servicio del bróker Mosquitto y se verifica la versión que ha sido instalada.

```
admin@ip-172-31-20-170:~$ sudo systemctl enable mosquitto.service
Synchronizing state of mosquitto.service with SysV service script with /lib/systemd/systemd-sysv-install.
Executing: /lib/systemd/systemd-sysv-install enable mosquitto
admin@ip-172-31-20-170:~$ sudo mosquitto -v
1716046225: mosquitto version 2.0.11 starting
1716046225: Using default config.
1716046225: Starting in local only mode. Connections will only be possible from
clients running on this machine.
1716046225: Create a configuration file which defines a listener to allow remote
access.
1716046225: For more details see https://mosquitto.org/documentation/authentication-methods/
1716046225: Opening ipv4 listen socket on port 1883.
1716046225: Error: Address already in use
1716046225: Opening ipv6 listen socket on port 1883.
1716046225: Error: Address already in use
admin@ip-172-31-20-170:~$
```

3. A continuación, dentro del archivo de configuración *mosquitto.conf* se agregan las líneas que van a establecer el puerto de escucha de Mosquitto MQTT y se habilita el permiso para que cualquier cliente pueda conectarse al bróker Mosquitto.

```

GNU nano 7.2 /etc/mosquitto/mosquitto.conf *
# Place your local configuration in /etc/mosquitto/conf.d/
#
# A full description of the configuration file is at
# /usr/share/doc/mosquitto/examples/mosquitto.conf.example

pid_file /run/mosquitto/mosquitto.pid

persistence true
persistence_location /var/lib/mosquitto/

log_dest file /var/log/mosquitto/mosquitto.log

include_dir /etc/mosquitto/conf.d

listener 1883
allow_anonymous true

```

4. Finalmente, se reinicia y se verifica el estado del servicio Mosquitto.

```

admin@ip-172-31-20-170:~$ sudo systemctl restart mosquitto.service
admin@ip-172-31-20-170:~$ sudo systemctl status mosquitto.service
● mosquitto.service - Mosquitto MQTT Broker
   Loaded: loaded (/lib/systemd/system/mosquitto.service; enabled; preset: ena
   Active: active (running) since Sat 2024-05-18 15:34:09 UTC; 9s ago
     Docs: man:mosquitto.conf(5)
           man:mosquitto(8)
   Process: 2013 ExecStartPre=/bin/mkdir -m 740 -p /var/log/mosquitto (code=exi
   Process: 2015 ExecStartPre=/bin/chown mosquitto /var/log/mosquitto (code=exi
   Process: 2016 ExecStartPre=/bin/mkdir -m 740 -p /run/mosquitto (code=exite
   Process: 2017 ExecStartPre=/bin/chown mosquitto /run/mosquitto (code=exite
   Main PID: 2018 (mosquitto)
     Tasks: 1 (limit: 2349)
    Memory: 1.1M
       CPU: 15ms
    CGroup: /system.slice/mosquitto.service
           └─2018 /usr/sbin/mosquitto -c /etc/mosquitto/mosquitto.conf

May 18 15:34:09 ip-172-31-20-170 systemd[1]: Starting mosquitto.service - Mosq
May 18 15:34:09 ip-172-31-20-170 systemd[1]: Started mosquitto.service - Mosq
lines 1-18/18 (END)
admin@ip-172-31-20-170:~$

```

ANEXO F. Instalación de Node Red

1. Se inicia con la actualización de los paquetes locales y la instalación de paquetes previos requeridos por Node-RED, como son el script de instalación del NVM, Node.js versión 16.14.0 y el paquete nmp (node package manager) necesario para la administración de Node-Red.

```
admin@ip-172-31-20-170:~$ curl https://raw.githubusercontent.com/creationix/nvm/master/install.sh | bash
% Total % Received % Xferd Average Speed Time Time Time Current
Dload Upload Total Spent Left Speed
100 16555 100 16555 0 0 98k 0 --:--:-- --:--:-- --:--:-- 99k
=> Downloading nvm as script to '/home/admin/.nvm'

=> Appending nvm source string to /home/admin/.bashrc
=> Appending bash_completion source string to /home/admin/.bashrc
=> Close and reopen your terminal to start using nvm or run the following to use
it now:

export NVM_DIR="$HOME/.nvm"
[ -s "$NVM_DIR/nvm.sh" ] && \. "$NVM_DIR/nvm.sh" # This loads nvm
[ -s "$NVM_DIR/bash_completion" ] && \. "$NVM_DIR/bash_completion" # This loads
nvm bash_completion
admin@ip-172-31-20-170:~$
admin@ip-172-31-20-170:~$ source ~/.bashrc
admin@ip-172-31-20-170:~$
admin@ip-172-31-20-170:~$ nvm install 16.14.0
Downloading and installing node v16.14.0...
Downloading https://nodejs.org/dist/v16.14.0/node-v16.14.0-linux-x64.tar.xz...
##### 100.0%
Computing checksum with sha256sum
Checksums matched!
Now using node v16.14.0 (npm v8.3.1)
Creating default alias: default -> 16.14.0 (-> v16.14.0)
admin@ip-172-31-20-170:~$
admin@ip-172-31-20-170:~$ node -v
v16.14.0
admin@ip-172-31-20-170:~$ []
```

2. Ejecutar el comando `sudo npm install -g --unsafe-perm node-red node-red-admin`, el cual realiza la instalación de Node-RED y los complementos de administración.

```
admin@ip-172-31-20-170:~$ sudo npm install -g --unsafe-perm node-red node-red-admin
added 370 packages in 16s
46 packages are looking for funding
  run `npm fund` for details
```

3. Finalmente se inicia el servicio de Node-RED a través del comando `sudo node-red`.

```
46 packages are looking for funding
  run `npm fund` for details
admin@ip-172-31-20-170:~$ sudo node-red
18 May 21:11:25 - [info]

Welcome to Node-RED
=====

18 May 21:11:25 - [info] Node-RED version: v3.1.9
18 May 21:11:25 - [info] Node.js version: v18.19.0
18 May 21:11:25 - [info] Linux 6.1.0-13-cloud-amd64 x64 LE
18 May 21:11:26 - [info] Loading palette nodes
18 May 21:11:27 - [info] Settings file : /root/.node-red/settings.js
18 May 21:11:27 - [info] Context store : 'default' [module=memory]
18 May 21:11:27 - [info] User directory : /root/.node-red
18 May 21:11:27 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.enabled=false
18 May 21:11:27 - [info] Flows file : /root/.node-red/flows.json
18 May 21:11:27 - [info] Creating new flow file
18 May 21:11:27 - [warn]
```

ANEXO G. Instalación de InfluxDB

1. En proceso de instalación de este servicio inicia con la descarga y verificación de la clave PG (GNU Privacy Guard) para la agregación del repositorio de InfluxData a la lista de fuentes de APT.

```
admin@ip-172-31-20-170:~$ wget -q https://repos.influxdata.com/influxdata-archive_compat.key
admin@ip-172-31-20-170:~$ echo '393e8779c89ac8d958f81f942f9ad7fb82a25e133faddaf92e15b16e6ac9ce4c influxdata-archive_compat.key' | sha256sum -c && cat influxdata-archive_compat.key | gpg --dearmor | sudo tee /etc/apt/trusted.gpg.d/influxdata-archive_compat.gpg > /dev/null
influxdata-archive_compat.key: OK
admin@ip-172-31-20-170:~$ echo 'deb [signed-by=/etc/apt/trusted.gpg.d/influxdata-archive_compat.gpg] https://repos.influxdata.com/debian stable main' | sudo tee /etc/apt/sources.list.d/influxdata.list
deb [signed-by=/etc/apt/trusted.gpg.d/influxdata-archive_compat.gpg] https://repos.influxdata.com/debian stable main
admin@ip-172-31-20-170:~$
```

2. Luego, a partir de los comandos: *sudo apt-get update && sudo apt-get install influxdb* se realiza la instalación de InfluxDB.

```
admin@ip-172-31-20-170:~$ sudo apt-get update && sudo apt-get install influxdb
Get:1 file:/etc/apt/mirrors/debian.list Mirrorlist [38 B]
Get:5 file:/etc/apt/mirrors/debian-security.list Mirrorlist [47 B]
Get:7 https://repos.influxdata.com/debian stable InRelease [6907 B]
Hit:2 https://cdn-aws.deb.debian.org/debian bookworm InRelease
Get:8 https://repos.influxdata.com/debian stable/main amd64 Packages [10.9 kB]
Get:3 https://cdn-aws.deb.debian.org/debian bookworm-updates InRelease [55.4 kB]
Get:4 https://cdn-aws.deb.debian.org/debian bookworm-backports InRelease [56.5 B]
Get:6 https://cdn-aws.deb.debian.org/debian-security bookworm-security InRelease [48.0 kB]
Get:9 https://cdn-aws.deb.debian.org/debian bookworm-backports/main Sources.diff/Index [63.3 kB]
Get:10 https://cdn-aws.deb.debian.org/debian bookworm-backports/main amd64 Packages.diff/Index [63.3 kB]
Get:11 https://cdn-aws.deb.debian.org/debian bookworm-backports/main Translation-en.diff/Index [63.3 kB]
Get:15 https://cdn-aws.deb.debian.org/debian bookworm-backports/main Sources Translation-en.diff/Index [27.8 kB]
Get:15 https://cdn-aws.deb.debian.org/debian bookworm-backports/main Sources Translation-en.diff/Index [27.8 kB]
Get:16 https://cdn-aws.deb.debian.org/debian bookworm-backports/main amd64 Packages Translation-en.diff/Index [18.3 kB]
Get:16 https://cdn-aws.deb.debian.org/debian bookworm-backports/main amd64 Packages Translation-en.diff/Index [18.3 kB]
```

3. Finalmente se habilita, inicia y se verifica el estado de servicio de InfluxDB. Lo que permite comprobar que el servicio ha sido correctamente instalado.

```
admin@ip-172-31-20-170:~$ sudo systemctl enable influxdb
admin@ip-172-31-20-170:~$ sudo systemctl restart influxdb
admin@ip-172-31-20-170:~$ sudo systemctl status influxdb
● influxdb.service - InfluxDB is an open-source, distributed, time series datab
   Loaded: loaded (/lib/systemd/system/influxdb.service; enabled; preset: ena
   Active: active (running) since Fri 2024-05-31 16:31:32 -05; 11s ago
     Docs: https://docs.influxdata.com/influxdb/
   Process: 9505 ExecStart=/usr/lib/influxdb/scripts/influxd-systemd-start.sh
   Main PID: 9506 (influxd)
    Tasks: 7 (limit: 2349)
   Memory: 13.8M
      CPU: 148ms
   CGroup: /system.slice/influxdb.service
           └─9506 /usr/bin/influxd -config /etc/influxdb/influxdb.conf

May 31 16:31:32 ip-172-31-20-170 influxd-systemd-start.sh[9506]: ts=2024-05-31T
May 31 16:31:32 ip-172-31-20-170 influxd-systemd-start.sh[9506]: ts=2024-05-31T
May 31 16:31:32 ip-172-31-20-170 influxd-systemd-start.sh[9506]: ts=2024-05-31T
May 31 16:31:32 ip-172-31-20-170 influxd-systemd-start.sh[9506]: ts=2024-05-31T
May 31 16:31:32 ip-172-31-20-170 influxd-systemd-start.sh[9506]: ts=2024-05-31T
May 31 16:31:32 ip-172-31-20-170 influxd-systemd-start.sh[9506]: ts=2024-05-31T
May 31 16:31:32 ip-172-31-20-170 influxd-systemd-start.sh[9506]: [httpd] 127.0.
May 31 16:31:32 ip-172-31-20-170 influxd-systemd-start.sh[9505]: InfluxDB start
```

ANEXO H. Código de Programación de Nodo 1

https://github.com/juanmm24/Red_Electrica_IoT/tree/922bd8923baec4d2272b7d08f18286752f8a9310/Codigo_Nodo1

ANEXO I. Código de Programación de Nodo 2

https://github.com/juanmm24/Red_Electrica_IoT/tree/922bd8923baec4d2272b7d08f18286752f8a9310/Codigo_Nodo2

ANEXO J. Código de Programación del Archivo configuration.yaml

https://github.com/juanmm24/Red_Electrica_IoT/tree/922bd8923baec4d2272b7d08f18286752f8a9310/Codigo_HomeAssistant_Configuration

ANEXO K. Código de Programación del Archivo automations.yaml

https://github.com/juanmm24/Red_Electrica_IoT/tree/922bd8923baec4d2272b7d08f18286752f8a9310/Codigo_HomeAssistant_Automations

ANEXO L. Manual de Administrador

El presente manual tiene como objetivo presentar una guía detallada al administrador sobre el uso y gestión del “Sistema de Monitoreo y Gestión del Consumo Eléctrico para Hogares Basado en el Internet de las Cosas”. En él se incluye la creación y administración de los usuarios de acceso a la plataforma de monitoreo de Home Assistant, la configuración de automatizaciones, la configuración de los identificativos de los electrodomésticos monitoreados, entre otras. De esta manera, el usuario administrador es capaz de llevar cabo una correcta gestión y verificación del excelente funcionamiento del sistema.

Requerimientos

- Computador o celular inteligente
- Acceso a Internet
- Navegador web o aplicación Home Assistant
- Usuario y contraseña de acceso a Home Assistant

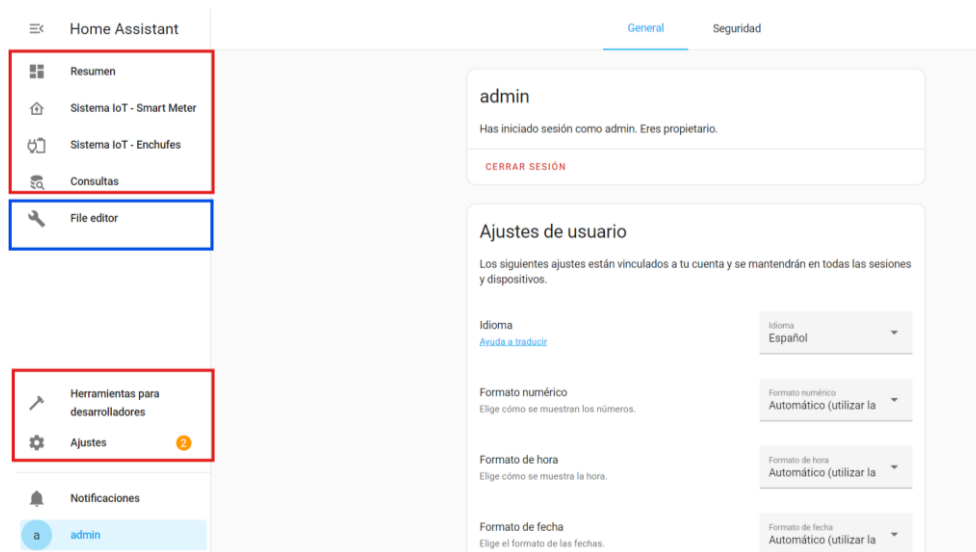
1. Acceso a la Plataforma de Monitoreo y Gestión de Home Assistant

Para el acceso a la Plataforma de Monitoreo y Gestión del Consumo Eléctrico de Home Assistant, siga los siguientes pasos:

1. Ingrese a un navegador web y diríjase al siguiente enlace:
<http://miredelectrica.ckdns.org:8123>
2. Ingrese el usuario y contraseña de administrador.
3. Pulse en ***“Iniciar sesión”***.



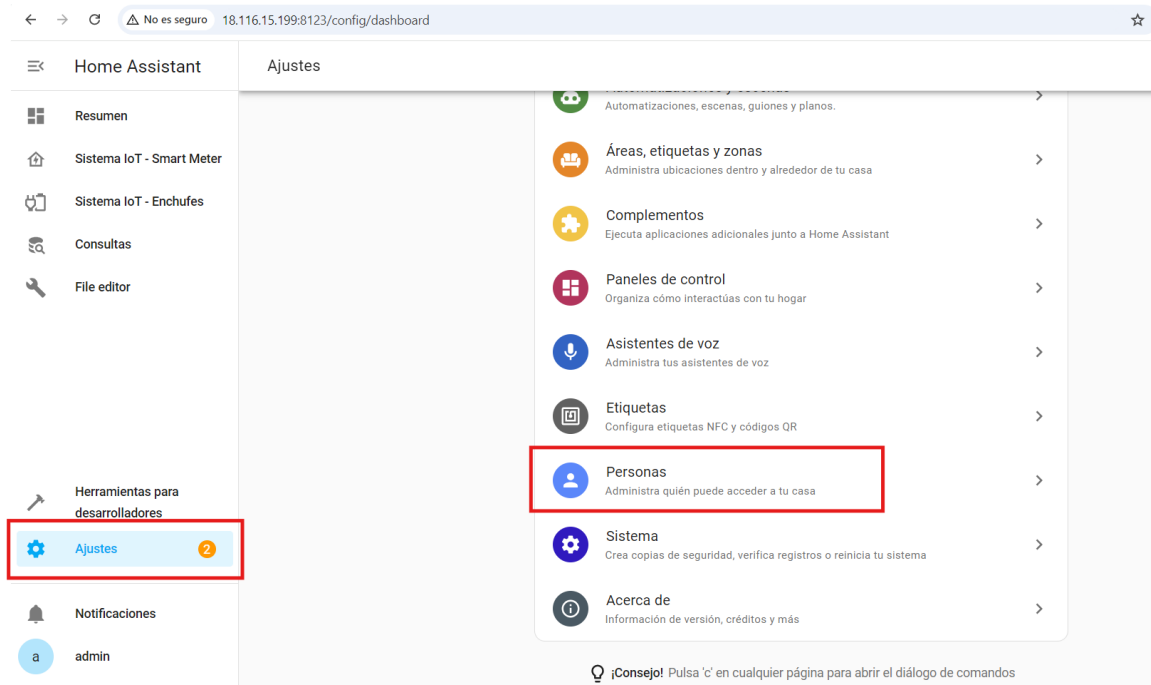
4. Se muestra la plataforma de gestión de Home Assistant, junto con las diferentes funcionalidades que posee el administrador.



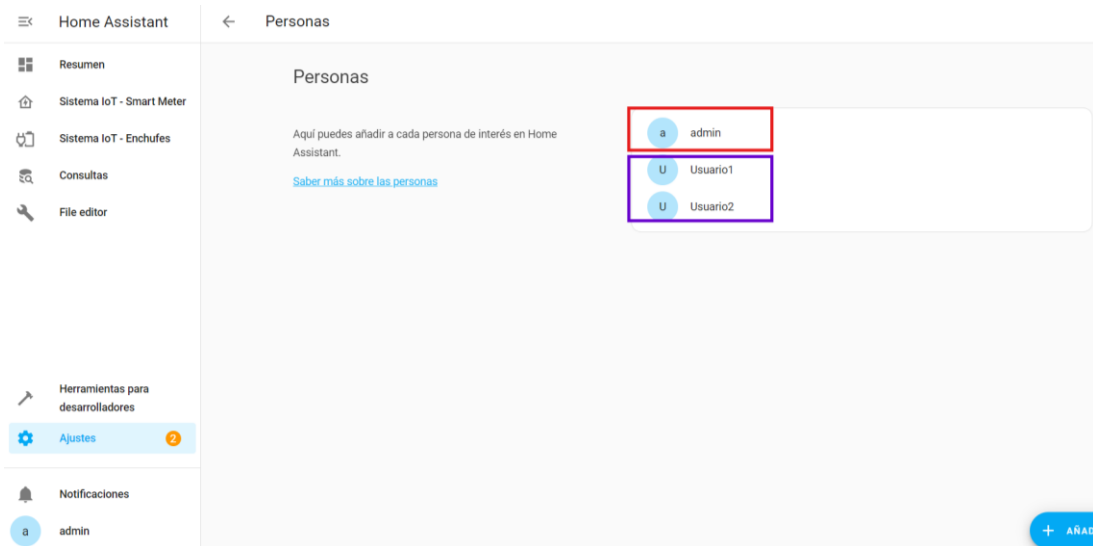
2. Administración de Usuarios de Home Assistant

La plataforma de Home Assistant cuenta con la sección de administración de usuarios, desde donde el administrador puede realizar cambios a los nombres de usuario, contraseña y eliminación de usuarios. Siga los siguientes pasos para acceder a estas funcionalidades:

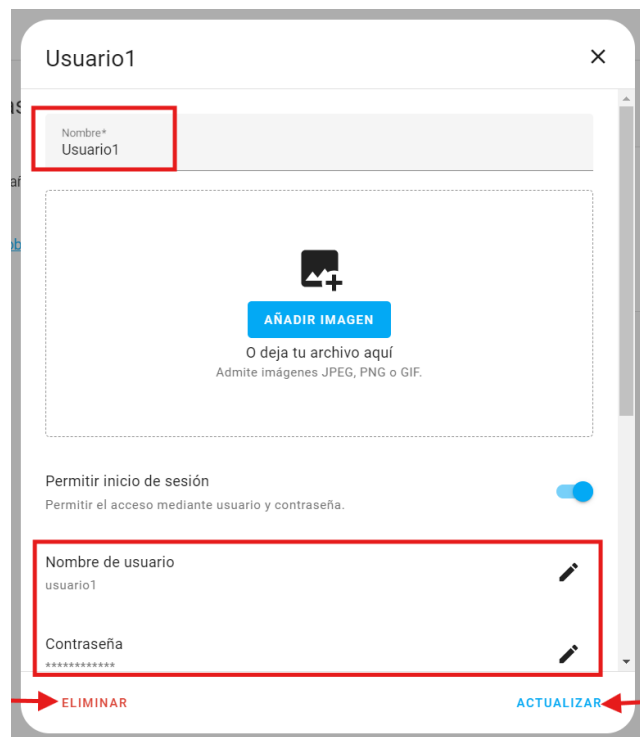
1. Ingrese a la plataforma de Home Assistant con el usuario y contraseña de administrador.
2. Diríjase a la sección de **“Ajustes”** y luego a la opción de **“Personas”**.



3. En la pestaña se muestra cada uno de los usuarios creados para el acceso a la plataforma de Home Assistant, entre usuario administrador y usuarios sin privilegios.



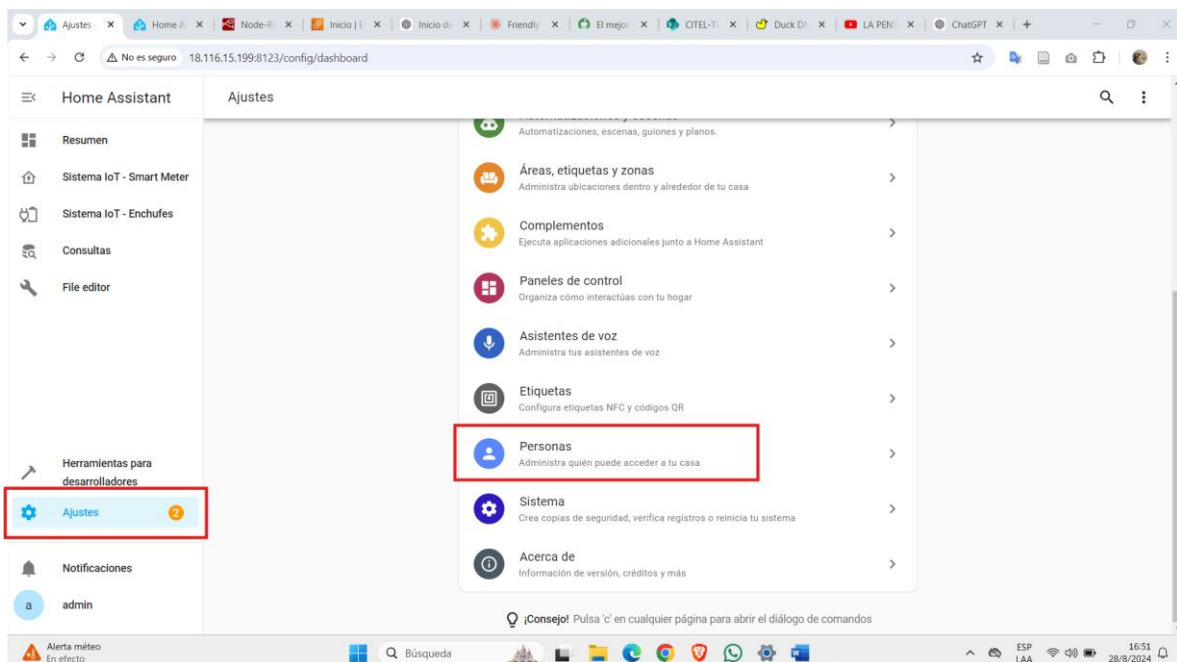
4. Pulse en el usuario que desee administrar.
5. En la siguiente ventana se presentan las opciones de administración de los datos como nombre, usuario y contraseña. En caso de realizar algún cambio, haga clic en **“Actualizar”**.
6. Si desea eliminar el usuario seleccionado, haga clic en la opción de **“Eliminar”**.



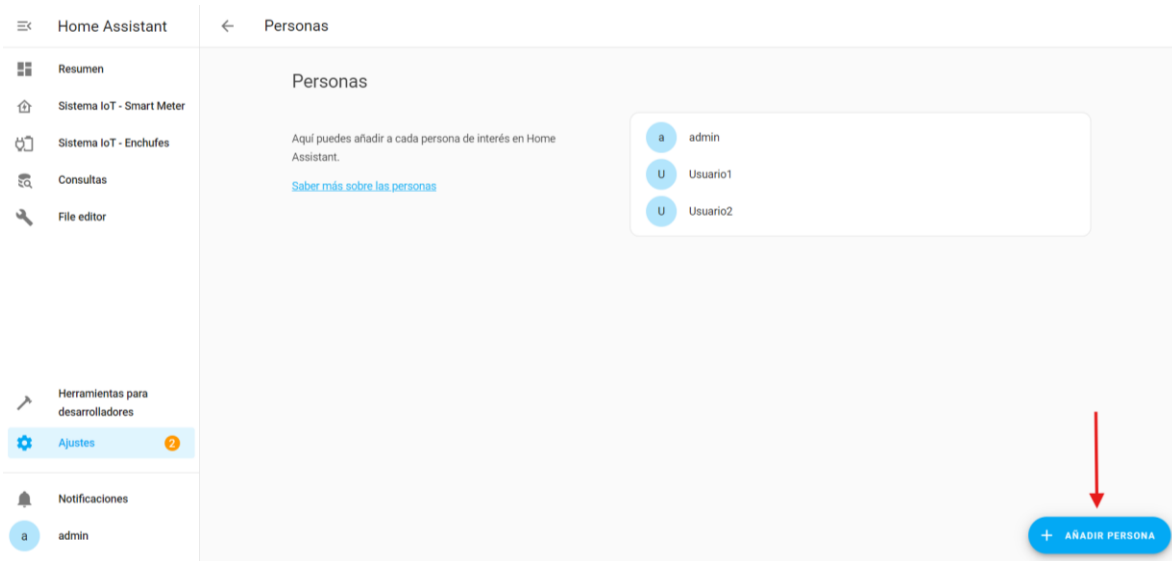
3. Creación de Nuevos Usuarios en Home Assistant

En esta sección se presenta las instrucciones necesarias para la creación de nuevos usuarios que pueden acceder a la plataforma de administración de Home Assistant.

1. Ingrese a la plataforma de Home Assistant con el usuario y contraseña de administrador.
2. Diríjase a la sección de **“Ajustes”** y luego a la opción de **“Personas”**.

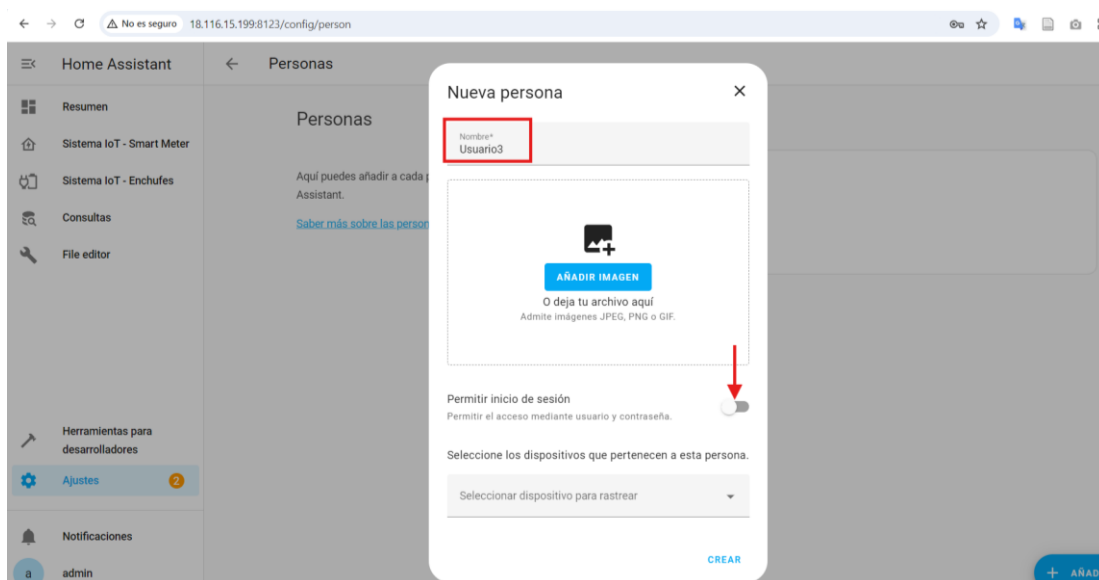


3. Diríjase a la opción de **“Añadir Persona”**.



4. Ingrese el nombre de usuario que se va a asignar.

5. Habilite la opción **“Permitir inicio de sesión”**.

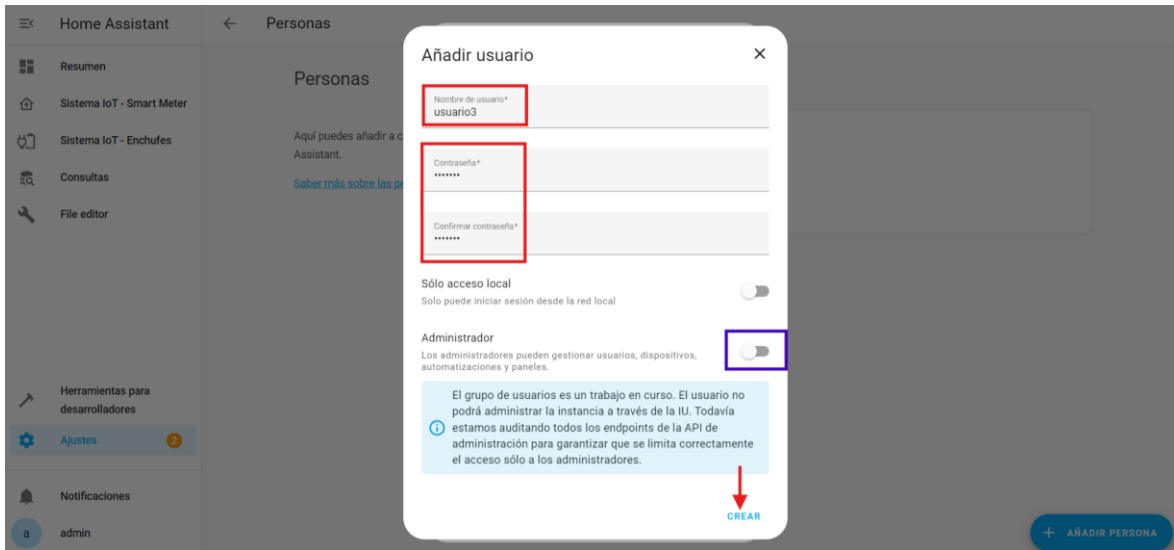


6. Ingrese el nombre de usuario junto con la contraseña de acceso.

Nota: Ingrese una contraseña segura que contenga al menos un número y un carácter especial.

7. Habilite la opción de “*Administrador*”, en caso de que el usuario creado tenga esta característica.

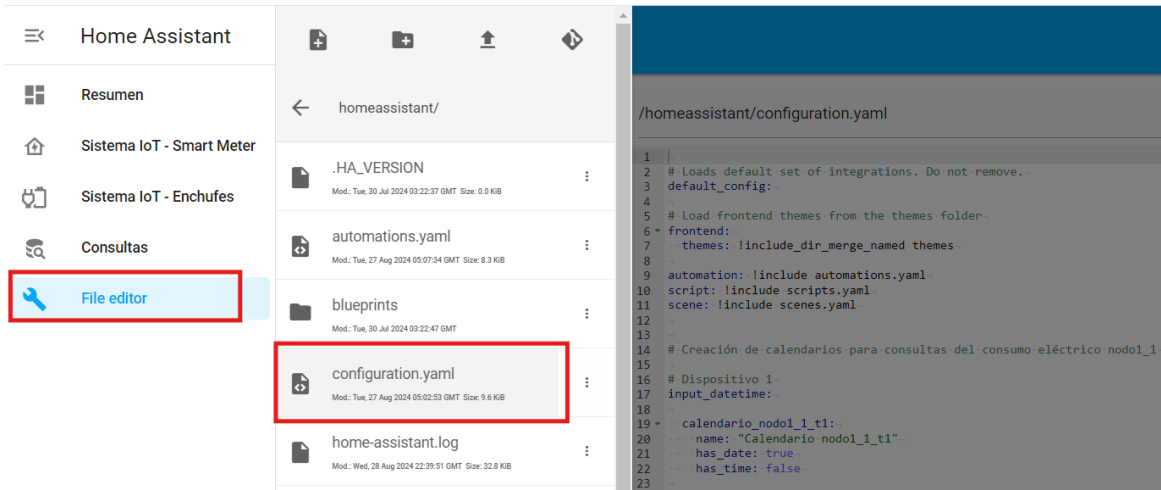
8. Revise las credenciales asignadas y haga clic en “*Crear*”.



4. Configuración de Automatizaciones en Home Assistant

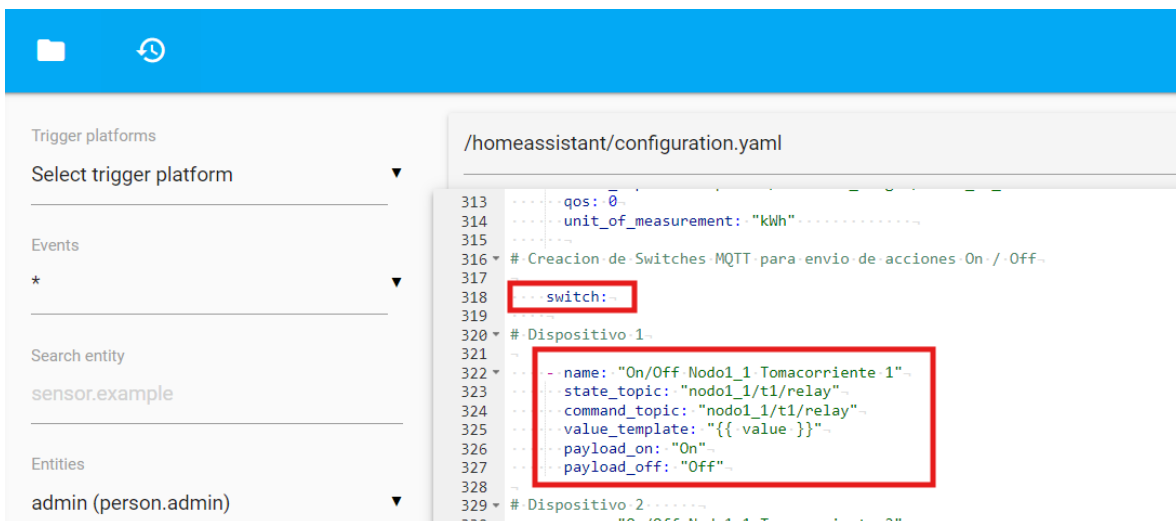
La plataforma de monitoreo y gestión de Home Assistant permite la creación de automatizaciones como son los Switches MQTT, los cuales se encargan de realizar la gestión remota de los electrodomésticos y circuitos eléctricos conectados al nodo 1 y 2, respectivamente. En este sentido, dentro de la interfaz de Home Assistant y a través de archivo de configuración *configuration.yaml* se puede realizar la creación de los switches mqtt. Los pasos para realizar la configuración descrita anteriormente, se presenta a continuación:

1. Ingrese a la plataforma de Home Assistant con el usuario y contraseña de administrador.
2. Ingrese a la sección de “**File editor**”, y elija el archivo de configuración denominado *configuration.yaml*.



3. En ella se mostrarán todas las configuraciones y automatizaciones que contiene Home Assistant. Para la creación del Switch MQTT, ingrese la clave *mqtt*, la cual indica que se va a configurar interruptores mqtt.

4. Ingrese el nombre que se va a identificar al switch mqtt, junto con el tema o topic que se utilizarán para recibir el estado y enviar comandos respectivamente, y finalmente asigna la carga útil para los estados de encendido y apagado, respectivamente.



5. Guarde las configuraciones realizadas en el archivo *configuration.yaml*.

6. Ingrese a la sección de **“Herramientas para desarrolladores”** que permite realizar una validación básica de las automatizaciones configuradas dentro del archivo ***configuration.yaml***, antes de realizar el reinicio de Home Assistant.

7. Pulse en la opción de **“Verificar Configuración”**.



Nota: Luego de verificar la configuración, asegúrese de que se muestre en mensaje de color verde **“La configuración no impedirá que se reinicie Home Assistant”**. En caso de que se muestre algún error, que no permita ejecutar el reinicio de Home Assistant, revise las configuraciones realizadas en el archivo ***configuration.yaml***.

8. Haga clic en **“Reiniciar”**, el cual ejecutará el reinicio de la plataforma de Home Assistant.

5. Configuración de Identificativos de los Electrodomésticos

Los nodos encargados de realizar el monitoreo del consumo eléctrico para los electrodomésticos pueden ser utilizados para monitorear cualquier aparato, debido a sus características de los sensores que permiten medir altos niveles de corriente y voltaje. En este sentido, si se desea monitorear un nuevo electrodoméstico es necesario cambiar su identificador, de manera que los usuarios eviten una confusión en la administración de sus

dispositivos. En este sentido, en esta sección se presentan los pasos a seguir para realizar dicha administración.

1. Ingrese a la plataforma de Home Assistant con el usuario y contraseña de administrador.
2. Ingrese al panel de **“Sistema IoT - Enchufes”**.
3. Haga clic en la opción de **“Editar panel de control”**, el cual se localiza en la parte superior derecha, identificado con un ícono similar a un lápiz.



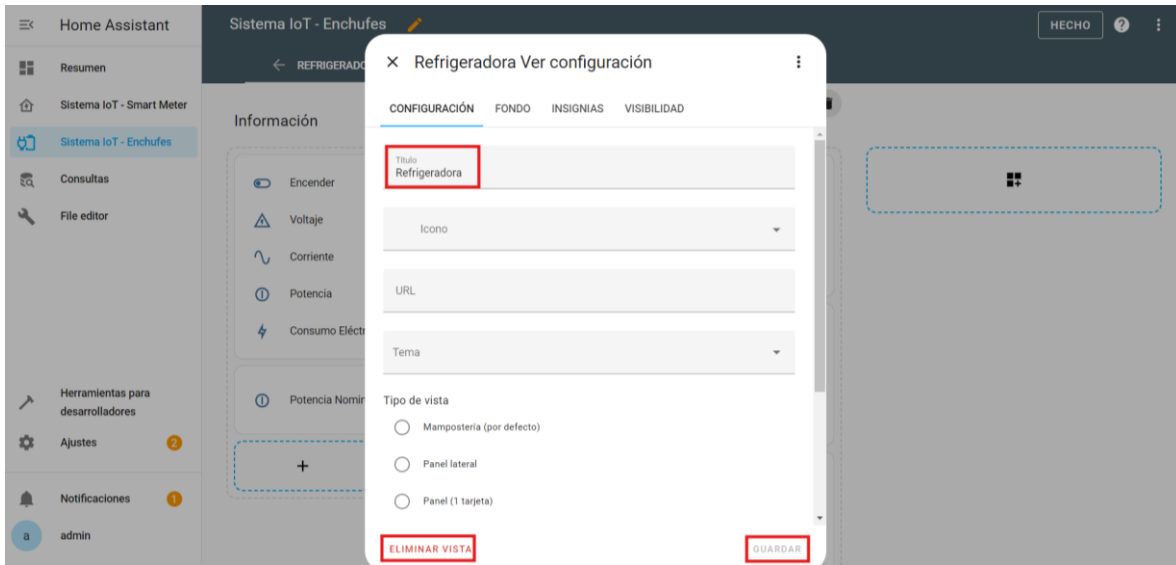
4. Diríjase a la opción de **“Editar vista”**, el cual se identifica con un ícono similar a un lápiz.



5. Ingrese el nombre del electrodoméstico, el cual permitirá identificar la pestaña donde se visualizan las variables eléctricas monitoreadas.

Nota: Si se desea eliminar esta pestaña, seleccione la opción de **“Eliminar vista”**.

6. Revise sus cambios y haga clic en **“Guardar”**.



ANEXO M. Manual de Usuario

El presente manual tiene como objetivo presentar una guía detallada a los usuarios sobre el uso de “Sistema de Monitoreo y Gestión del Consumo Eléctrico para Hogares Basado en el Internet de las Cosas”. En él se incluyen la instalación de la aplicación móvil de Home Assistant, el acceso de la interfaz web de la plataforma de Home Assistant, la visualización de los datos del consumo eléctrico de su hogar y de sus electrodomésticos, entre otras. De esta manera, los usuarios pueden llevar a cabo un uso correcto y responsable del sistema.

Requerimientos

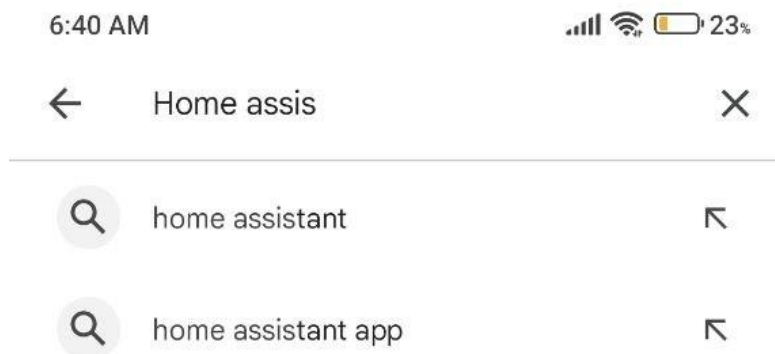
- Computador o celular inteligente
- Acceso a Internet
- Navegador web o aplicación Home Assistant
- Usuario y contraseña de acceso a Home Assistant

1. Instalación de la Aplicación Móvil de Home Assistant

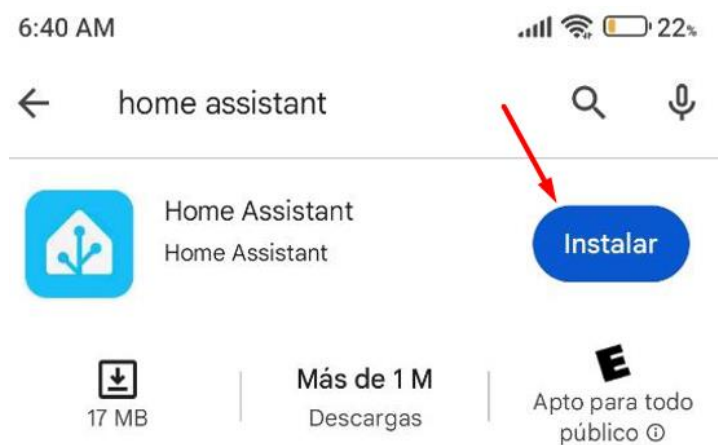
Para realizar la instalación de la aplicación móvil de Home Assistant, es necesario tener disponible un celular inteligente y acceso a Internet. A través de la aplicación el usuario tiene acceso a las diferentes funcionalidades del Sistema de Monitoreo y Gestión del Consumo Eléctrico como la visualización de los consumos eléctricos del hogar y de los electrodomésticos, la gestión remota de los electrodomésticos y circuitos eléctricos, consultas de consumos eléctricos, entre otras. De igual manera, a través de esta aplicación se reciben las diferentes alertas generadas por un consumo eléctrico inusual.

1. Ingrese a la aplicación de **“Play Store”**.

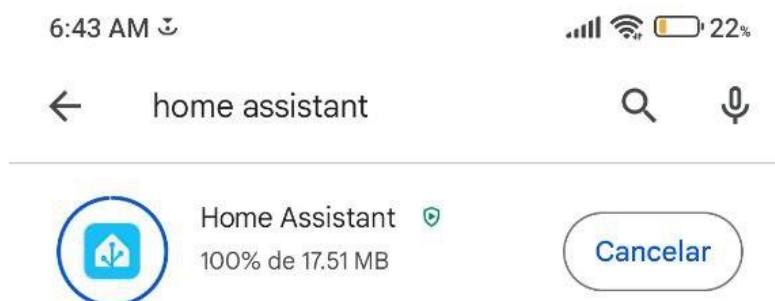
2. Realice la búsqueda de la aplicación de **“Home Assistant”**.



3. Realice la instalación de la aplicación de **“Home Assistant”**.



4. Espere unos momentos hasta que finalice el proceso de instalación.



5. Finalizado el proceso de instalación, presione en la opción de “**Abrir**”.



6. Finalmente, se presenta la ventana de bienvenida a la aplicación móvil de **Home Assistant**, concluyendo una correcta instalación de la aplicación.



2. Acceso a la Plataforma de Home Assistant desde la Aplicación Móvil

Con la aplicación previamente instalada se realiza el ingreso a la plataforma de Home Assistant del “Sistema de Monitoreo y Gestión del Consumo Eléctrico para Hogares Basado en el Internet de las Cosas” desde aplicación web. El proceso consta de los siguientes pasos:

1. Ingrese a la aplicación de Home Assistant.



¡Bienvenido a Home Assistant Companion!

Esta aplicación se conecta a tu servidor de Home Assistant y permite integrar datos sobre ti y tu teléfono.

Home Assistant es un software de automatización del hogar gratuito y de código abierto con enfoque en el control local y la privacidad.

[Más información](#)

Continuar

2. Ingrese la opción de “*Continuar*”.

Home Assistant es un software de automatización del hogar gratuito y de código abierto con enfoque en el control local y la privacidad.

[Más información](#)



3. Ingrese a la opción de **“Introducir la dirección manualmente”**.

Introducir la dirección manualmente

4. A continuación, ingrese la siguiente dirección: <http://miredelectricaaiot.duckdns.org:8123>, que le permitirá el acceso a la plataforma de Home Assistant y haga clic el **“Continuar”**.



¿Cuál es la URL de Home Assistant?

Introduce la URL de tu servidor de Home Assistant. Asegúrate de que la URL incluye el protocolo y el puerto. Por ejemplo:

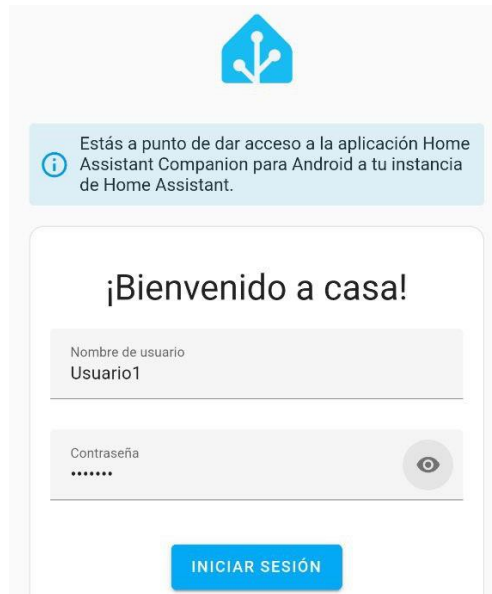
`http://homeassistant.local:8123` o
`https://ejemplo.duckdns.org`.

URL de Home Assistant
`http://miredelectricaaiot.duckdns.org:8123`

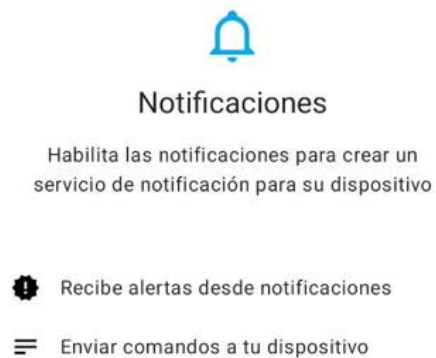


Conectar

5. Ingrese el usuario y contraseña designada para el usuario, y haga clic en **“Iniciar sesión”**.



6. Habilite las notificaciones de la aplicación, de esta manera se recibirán las alertas generadas debido a un consumo eléctrico inusual.



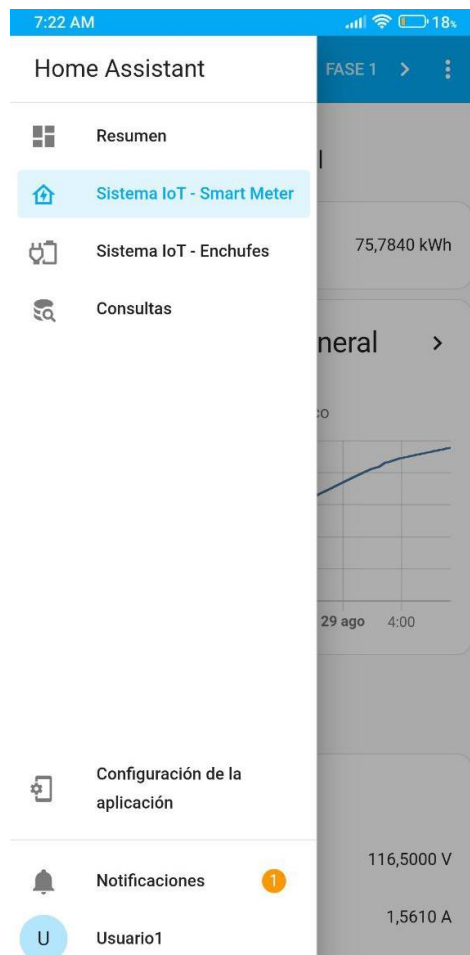
Omitir



7. A continuación, otorgue los permisos para que la aplicación de Home Assistant le envíe notificaciones.

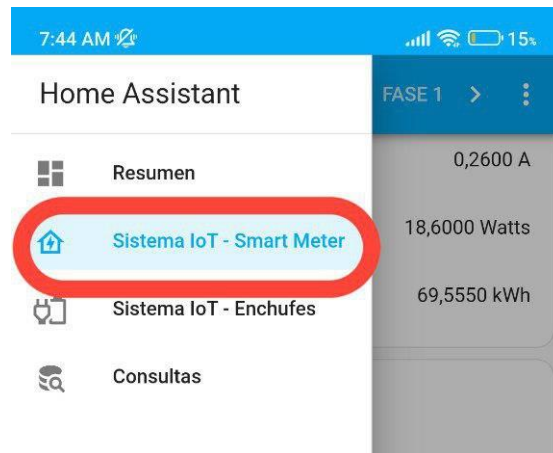


8. Finalmente se tiene el acceso a la plataforma de Home Assistant, desde la cual se puede realizar el monitoreo del consumo eléctrico del hogar y de los electrodomésticos.

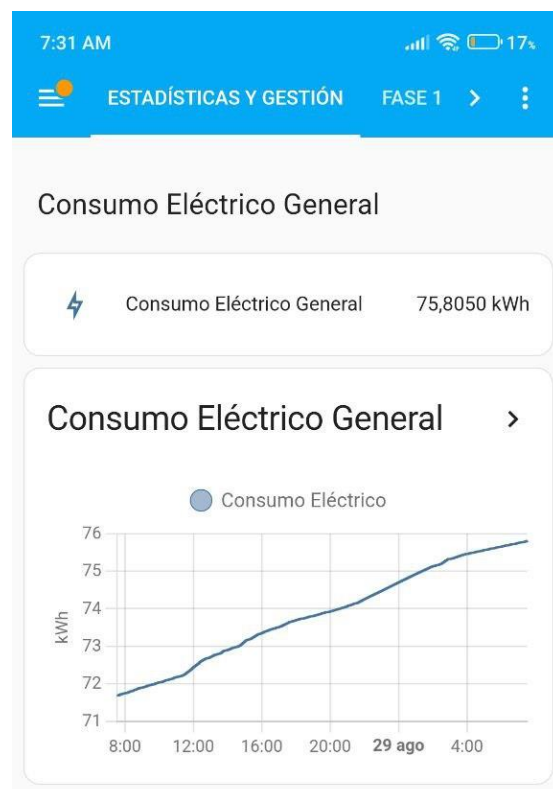


3. Visualización y Gestión del Consumo Eléctrico General del Hogar

1. Dentro de la aplicación móvil de Home Assistant, ingrese al panel “*Sistema IoT-Smart Meter*”.



2. En ella se visualizan el consumo eléctrico general del hogar y el avance de este consumo a lo largo del tiempo.



3. Deslice la pantalla hasta la ventana de **“Información por Fases”** en ella se muestran variables eléctricas monitoreadas de cada fase.



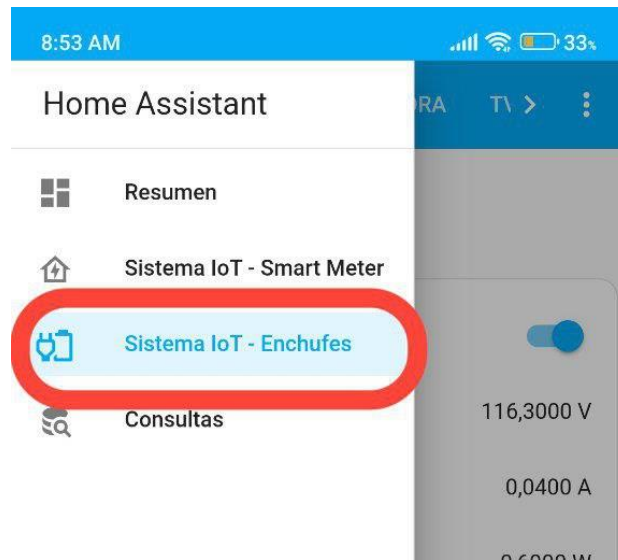
4. En la parte final de la pestaña se muestran los estados correspondientes a los circuitos eléctricos del hogar. Pulse sobre el switch, para realizar un cambio en su estado.



4. Visualización y Gestión del Consumo Eléctrico de los Electrodomésticos

Monitoreados

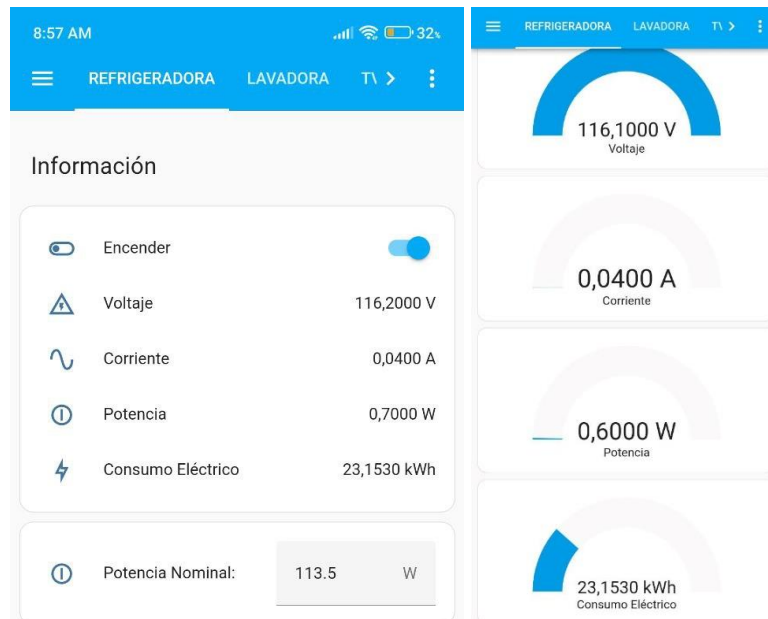
1. Dentro de la aplicación móvil de Home Assistant, ingrese al panel “*Sistema IoT-Enchufes*”.



2. En el panel se muestran los diferentes electrodomésticos monitoreados.



3. Seleccione un electrodoméstico del cual se van a visualizar los datos, en el se visualizan las diferentes variables eléctricas monitoreadas. De igual manera el estado en el que se encuentra el electrodoméstico.



4. Ingrese el valor de la potencia nominal establecida por el fabricante, dentro de la sección ***“Potencia Nominal”***.



5. Ingrese el tiempo estimado del electrodoméstico que requiera que se mantengan encendido, antes de generar la alerta.



6. Pulse en la opción de **“Encender”** para realizar la gestión remota de su electrodoméstico.



5. Consultas del Consumo Eléctrico del Hogar y de los Electrodomésticos

Monitoreados

En esta sección se presenta la guía de usuario relacionado a la consulta de los consumos eléctricos del hogar y de los electrodomésticos monitoreados. Las consultas se pueden realizar desde la interfaz web o aplicación móvil de Home Assistant. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Dentro de la aplicación móvil de Home Assistant, ingrese al panel **“Consultas”**.
2. En la pestaña **“Smart Meter”**, presenta dos opciones: **Consultas por Días** y **Consultas por Rangos**.

Consultas por Rangos

📅	Fecha Inicio	5/8/2024	📅
📅	Fecha Fin	28/8/2024	📅
🔍	Enviar Fecha	PULSA	
⚡	Consumo Eléctrico	Desconocido	

- Ingrese la fecha de consulta del consumo general del hogar para una fecha en específico.
- En caso de realizar la consulta por rangos de días, seleccione la fecha de inicio y fin, para la consulta del consumo eléctrico durante este período.
- Pulse en la opción **“Pulsa”** para realizar la consulta.

SMART METER ELECTRODOMÉSTICOS

Consumo Eléctrico General

Consulta por Días

📅	Fecha	29/8/2024	📅
🔍	Enviar Fecha	PULSA	
⚡	Consumo Eléctrico	2,154 kWh	

Consultas por Rangos

📅	Fecha Inicio	5/8/2024	📅
📅	Fecha Fin	29/8/2024	📅
🔍	Enviar Fecha	PULSA	
⚡	Consumo Eléctrico	68,975 kWh	

5. Para la consulta del consumo eléctrico de un electrodoméstico, ingrese a la pestaña **“Electrodomésticos”**.



6. Ingrese la fecha de consulta del consumo eléctrico.

7. Pulse en la opción **“Pulsa”** para realizar la consulta del consumo eléctrico para el día seleccionado.



ANEXO N. Plan de Contingencia

En plan de contingencia tiene como objetivo minimizar el impacto negativo del “Sistema de Monitoreo y Gestión del Consumo Eléctrico para Hogares Basado en el Internet de las Cosas” ante cualquier falla que puede presentar el sistema. De esta manera se busca que el sistema este continuamente operando y disponible para los usuarios.

Identificación de Fallos en el Sistema

Persistencia del Estado de los Switches tras un Corte Eléctrico en el Hogar: El estado de los switches pueden aparecer como “encendidos”, aunque el circuito eléctrico o electrodoméstico asociado esté realmente apagado.

Conexión Incorrecta del Nodo 1 al Tomacorriente: Problemas de conexión a la red eléctrica, lo que impide que el nodo 1 se encienda.

Pérdida de Conectividad a Internet: Pérdidas de conectividad a internet, lo que impide el monitoreo y gestión remota de los circuitos eléctricos y electrodomésticos.

Respuesta ante Fallos del Sistema

Persistencia del Estado de los Switches tras un Corte Eléctrico en el Hogar: Cuando existe un corte eléctrico total en la residencia, los switches de la plataforma de Home Assistant, mantienen su último estado, de esta forma aparecen como “encendidos” aunque cuando se restaure la energía estos en realidad estarán desactivados. Para corregir esto, se debe desactivar al circuito eléctrico o electrodoméstico desde la interfaz de Home Assistant, y luego volver activarlo, de esta manera se envía una nueva instrucción y se actualiza el estado real del circuito o electrodoméstico.

Conexión Incorrecta del Nodo 1 al Tomacorriente: Cuando el nodo 1 se encuentra mal conectado al tomacorriente de la residencia no permite que se active, por lo tanto, el nodo no se encuentra en modo de operación. Identifique el LED del nodo, si este no se encuentra encendido, indica que el nodo presenta el fallo descrito anteriormente. En este caso, desconecte el nodo completamente y vuelva a conectarlo, asegúrese de hacer un poco de presión, así el nodo estará bien conectado. Pulse el botón de activación del nodo, si el LED se enciende el problema ha sido solucionado.

Pérdida de Conectividad a Internet: Cuando existen problemas de conectividad a internet por parte de los nodos, impide que se lleve a cabo el envío de los datos de las variables eléctricas a los servicios en la nube, afectando a la capacidad de monitoreo y gestión de los circuitos eléctricos y electrodomésticos. Verifique la conexión a internet del Router disponible en el hogar. En case de detectar alguna falla, intente reiniciar el Router para restablecer la conectividad. Si el problema persiste, póngase en contacto con el proveedor de servicio de internet.