



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL
ESCUELA DE POSGRADOS “ESPOG”

MAESTRÍA EN
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
Resolución: RPC-SO-09-No.265-2021

PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGÍSTER

Título del proyecto:
Análisis de eficiencia energética en un sistema domótico centralizado por comunicación Zigbee.
Línea de Investigación:
Ciencias de la ingeniería aplicadas a la producción, sociedad y desarrollo sustentable.
Campo amplio de conocimiento:
Ingeniería, industria y construcción.
Autor/a:
David Patricio Talabera Jácome
Tutor/a:
Phd. Maryory Urdaneta Mg. Wilmer Albarracín

Quito – Ecuador

2025

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, Maryory Urdaneta Herrera con C.I: 1759316126 en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: **Análisis de eficiencia energética en un sistema domótico centralizado por comunicación Zigbee.**

Elaborado por: David Patricio Talabera Jácome, de C.I: 0401582127, estudiante de la Maestría: en Electrónica y Automatización de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 08 de abril de 2025

Firma



Yo, Wilmer Fabián Albarracín Guarochico con C.I: 1713341152 en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: **Análisis de eficiencia energética en un sistema domótico centralizado por comunicación Zigbee.**

Elaborado por: David Patricio Talabera Jácome, de C.I: 0401582127, estudiante de la Maestría: en Electrónica y Automatización de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 08 abril de 2025

Firma

DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, Talabera Jácome David Patricio con C.I: 0401582127, autor/a del proyecto de titulación denominado: **Análisis de eficiencia energética en un sistema domótico centralizado por comunicación Zigbee**. Previo a la obtención del título de Magister en Electrónica y Automatización.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar el respectivo trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor@ del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Quito D.M., 08 de abril de 2025

Firma

Tabla de contenidos

INFORMACIÓN GENERAL	5
Contextualización del tema.....	5
Problema de investigación.....	6
Objetivo general.....	7
Objetivos específicos.....	7
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:.....	7
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	9
1.1. Contextualización general del estado del arte.....	9
1.2. Proceso investigativo metodológico	11
CAPÍTULO II: PROPUESTA.....	13
2.1. Fundamentos teóricos aplicados	13
2.1.1. Domótica.....	13
2.1.2. Protocolos de Comunicación en Sistemas Domóticos.....	14
2.1.3. Protocolo de comunicación Zigbee, IEEE 802.15.4	16
2.1.4. Home Assistant	20
2.2. Descripción de la propuesta.....	22
a. Estructura general.....	23
2.2.1. Diseño de Arquitectura del sistema domótico	25
2.2.2. Instalación de Home Assistant	27
2.2.3. Configuración del Gateway con Zigbee2MQTT.....	28
2.2.4. Configuración de Zigbee2MQTT	30
2.2.5. Instalación e integración de dispositivos inteligentes.....	31
2.2.6. Ubicación de los dispositivos	32
2.2.7. Integración de los dispositivos a Home Assistant	37
2.2.8. Programación de automatizaciones.....	39
2.2.9. Análisis Energético	42
b. Explicación del aporte	47
c. Estrategias y/o técnicas.....	48
2.3 Validación de la propuesta.....	49
2.4. Matriz de articulación de la investigación.....	51
2.5. Análisis de resultados. Presentación y discusión.....	53

CONCLUSIONES.....	57
RECOMENDACIONES.....	58
ANEXOS	63

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Principales protocolos de comunicación domóticos.</i>	15
Tabla 2	<i>Arquitectura del trabajo de investigación</i>	26
Tabla 3	<i>Características técnicas de los dispositivos comúnmente utilizados para instalación de Home Assistant.</i>	27
Tabla 4	<i>Características técnicas de los coordinadores comúnmente utilizados con home assistant.</i>	29
Tabla 5	<i>Dispositivos Inteligentes Utilizados en el Proyecto.</i>	31
Tabla 6	<i>Luminaria y su Potencia</i>	43
Tabla 7	<i>Descripción de perfil de validadores</i>	49
Tabla 8	<i>Criterios de Evaluación</i>	49
Tabla 9	<i>Evaluación realizada por el Mg. Diego Imbaquingo</i>	50
Tabla 10	<i>Evaluación realizada por el Mg. Sandro Enríquez</i>	50
Tabla 11	<i>Evaluación realizada por el Ing. Fernando Hurtado</i>	50
Tabla 12	<i>Matriz de articulación</i>	51

Índice de figuras

Figura 1 Modelo de capas que tiene el protocolo Zigbee.....	16
Figura 2 Diagrama de Flujo de la Propuesta del Sistema Domótico	24
Figura 3 Instalación del Broker Mosquitto.....	30
Figura 4 Configuración del Enlace Mosquitto-Zigbee2MQTT.	30
Figura 5 Distribución de los Dispositivos IoT del Primer Piso	33
Figura 6 Distribución de los IoT del Segundo Piso.	34
Figura 7 Esquema de conexión relé ZBMINIL2.....	35
Figura 8 Esquema de conexión relé ZBMINIL2.....	36
Figura 9 IoTs de Medición de los Circuitos Generales	37
Figura 10 Pantalla de Zigbee2Mqtt.....	38
Figura 11 Red Mesh del Proyecto	39
Figura 12 Diagrama de Flujo de la Automatización de Luces	40
Figura 13 Diagrama de Flujo de la Automatización de los Enchufes	41
Figura 14 Dashboard para Control de Dispositivos	42
Figura 15 Visualización de un Sensor de Iluminación	43
Figura 16 Datos del Sensor Enchufe general 2.....	44
Figura 17 Dashboard de Energía y Potencia Dispositivos IoT	45
Figura 18 Dashboard Análisis Energético General	46
Figura 19 Listado de Entidades que se Pueden Analizar.....	47
Figura 20 Gráfica de barras de consumo diario	53
Figura 21 Gráfica de barras de consumo horario del 12 feb 2025.....	54
Figura 22 Gráfica de barras de consumo diario de la refrigeradora	55
Figura 23 Planilla de consumo mes de Enero 2025	55

INFORMACIÓN GENERAL

Contextualización del tema

El progreso en las tecnologías de automatización y eficiencia energética ha transformado la forma en que interactuamos con nuestros hogares. Los sistemas domóticos que existen actualmente, que vinculan entre sí sus diversos dispositivos y servicios en el hogar con la ayuda de las redes de comunicación, no solo proporcionan al usuario la posibilidad de un mayor control y comodidad; sino que también permiten un análisis energético de la vivienda. Zigbee es, por lo tanto, uno de los mejores protocolos para implementar para la automatización del hogar. La topología tipo malla, bajo consumo de energía y costo, permite que sensores y actuadores funcionen durante gran parte de la vida.

Este análisis se enfoca en la aplicación de un sistema domótico centralizado fundamentado en Zigbee en un hogar específico. Este sistema facilitará el manejo y seguimiento de varios aparatos eléctricos y electrónicos, valorando su influencia en la eficiencia energética de la vivienda y estudiando el ahorro de energía. La relevancia del proyecto radica en la creciente necesidad de soluciones sustentables que no solo favorezcan la comodidad de los usuarios, sino también el ahorro de energía y, consecuentemente, la reducción de la huella de carbono.

La ejecución de este estudio se llevará a cabo en una casa situada en la provincia de Imbabura, ciudad de Ibarra, donde se comprarán los equipos y aparatos requeridos para la instalación del sistema domótico. La vivienda cuenta con dos pisos, tres habitaciones, cocina, tres baños y cuenta con una variedad de electrodomésticos. Estos componentes inteligentes se van a gestionar mediante el protocolo de comunicación Zigbee. La incorporación de estos aparatos posibilitará un análisis exhaustivo del desempeño y la eficiencia energética del sistema en un ambiente familiar y controlado, simplificando la toma de decisiones y la valoración de la efectividad de las soluciones aplicadas.

Se va a utilizar Home Assistant, la cual es una aplicación de código abierto que facilita la tanto la integración de IoT como el análisis energético de la vivienda, con HA se puede gestioná la iluminación, los interruptores y el análisis energético, lo que facilita la creación de automatizaciones y escenarios a medida que mejoran el uso de energía. El asistente de casa, al facilitar la conexión de aparatos de diversas marcas y tecnologías, facilita la incorporación de los componentes IoT empleados en la investigación.

Este trabajo de tesis aporta al incremento de la necesidad de tecnologías de automatización doméstica que sean asequibles, eficaces y sostenibles. Mediante la incorporación de dispositivos

Zigbee para la gestión de dispositivos inteligentes y la utilización del software Home Assistant, se pretende evidenciar cómo la interoperabilidad y la automatización pueden maximizar el uso de energía y mejorar la comodidad de los usuarios. Este análisis no solo ofrece notables ventajas económicas y medioambientales, sino que también sienta las bases para futuros estudios en el área de la domótica y la eficiencia energética, progresando hacia viviendas más inteligentes y sustentables.

Problema de investigación

En la actualidad, en numerosas viviendas en la ciudad de Ibarra, la gestión de aparatos eléctricos y sistemas de seguridad se lleva a cabo manualmente, lo que no solo conlleva un consumo ineficaz de energía, sino también una disminución en la comodidad y seguridad de los residentes. Los sistemas convencionales de iluminación, tomacorrientes y seguridad no están diseñados para un uso eficiente de energía, lo que conduce a un aumento innecesario en los gastos de electricidad y a una huella de carbono más alta. Esta circunstancia se vuelve progresivamente insostenible en un entorno mundial donde la eficiencia energética y la sostenibilidad son prioridades apremiantes.

En este escenario, la dificultad se encuentra en la ausencia de un sistema de automatización centralizado que facilite un manejo eficaz y perfeccionado de los aparatos eléctricos y de seguridad en la vivienda. La falta de integración y automatización de estos sistemas obstaculiza la puesta en marcha de tácticas inteligentes de conservación de energía y regulación de seguridad, que podrían incrementar notablemente tanto el confort de los residentes como la eficacia en el consumo de energía.

La necesidad de dispositivos manuales y la falta de interoperabilidad entre aparatos de distintos fabricantes generan un proceso de administración del hogar que resulta tanto ineficaz como incómodo. Es necesario que los usuarios interactúen con diversas interfaces y dispositivos, lo que no solo resulta tedioso sino también susceptible a fallos y descuidos que pueden poner en riesgo la eficiencia energética y la seguridad de la casa.

De continuar esta situación, se perpetuarán los elevados costos de energía y se mantendrán los riesgos de seguridad, junto con una creciente insatisfacción por la falta de comodidad en la gestión del hogar. Además, la ineficiencia energética continuará contribuyendo negativamente al impacto ambiental, contraviniendo los esfuerzos globales por reducir las emisiones de carbono y fomentar prácticas sostenibles.

Por lo antes expuesto, se presenta la necesidad de implementar un sistema domótico centralizado, fundamentado en la tecnología Zigbee y administrado a través del software Home Assistant para realizar un análisis energético. La puesta en marcha de este sistema no solo disminuirá los gastos en electricidad y potenciará la eficiencia energética, sino que también ofrecerá una plataforma adaptable y escalable para futuras ampliaciones y optimizaciones en la automatización doméstica. Esta solución no solo logrará un nivel superior de sostenibilidad y eficiencia energética, sino también crear un modelo a seguir para otras viviendas.

De continuar esta situación, persistirán los altos gastos energéticos, además de un aumento en la insatisfacción por la incomodidad en la administración del hogar. Adicionalmente, la ineficiencia energética seguirá aportando de manera negativa al impacto ecológico, en contraposición a los esfuerzos mundiales para disminuir las emisiones de carbono y promover prácticas sustentables.

Objetivo general

Analizar la eficiencia energética en un sistema de automatización del hogar centralizado operado a través de comunicación Zigbee en una residencia en la ciudad de Ibarra mediante el monitoreo del consumo eléctrico a través de dispositivos inteligentes.

Objetivos específicos

- Diseñar la arquitectura del sistema domótico centralizado.
- Implementar un sistema domótico centralizado con comunicación Zigbee para el control de iluminación, enchufes inteligentes y seguridad en una residencia.
- Evaluar el consumo de energía de los dispositivos instalados en la casa inteligente, teniendo un análisis del comportamiento de uso de energía para el hogar.

Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:

La implementación de un sistema domótico centralizado basado en Zigbee y supervisado con el software de Home Assistant, en esta residencia ubicada en la ciudad de Ibarra, tendrá una transformación notoria en la sociedad y en la comunidad, ya que se pone en evidencia los beneficios palpables en la automatización del hogar. Este trabajo espera contribuir a la sostenibilidad de los hogares por medio de la modernización de su infraestructura, proporcionándoles a los hogares un ejemplo concreto del uso de las tecnologías domóticas que ayudan a la eficiencia energética, la seguridad y el confort. El proyecto no solo pretende optimizar el ahorro eléctrico de los usuarios, sino también con un menor consumo de energía,

al disminuir el uso de combustibles fósiles, se aportará a la reducción de la contaminación al medio ambiente. La mayor implementación de la tecnología también ayudará a reducir el consumo, y al automatizar los sistemas de seguridad, se mejorará la seguridad, protegiendo y otorgando confort a los habitantes, mejorando así su calidad de vida.

Los principales beneficiarios de este proyecto son los residentes de la vivienda donde se implementará el sistema domótico, quienes vivirán de manera directa los avances en eficiencia energética, seguridad y comodidad. Además, profesionales afines y estudiantes se beneficiarían de la información y puede servir como punto de partida para nuevas investigaciones.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Contextualización general del estado del arte

El problema de estudio se enfoca en la necesidad de optimizar el uso de energía y aumentar la seguridad y confort en un hogar de la ciudad de Ibarra, a través de la puesta en marcha de un sistema domótico centralizado, fundamentado en la tecnología Zigbee y administrado con el programa Home Assistant. Este sistema posibilitará no solo la automatización y gestión de aparatos eléctricos, sino también la supervisión minuciosa del uso de energía. Mediante el estudio de la información recolectada, se valorará la eficiencia energética del sistema, detectando patrones de consumo y tácticas de optimización para disminuir el derroche de energía y optimizar su utilización en el hogar. Los documentos disponibles abarcarán artículos de investigación, análisis de casos, regulaciones tecnológicas y guías técnicas de los últimos cinco años. Los criterios de búsqueda de información se basarán en la relevancia y actualidad de los documentos, focalizándose en aspectos cronológicos recientes y estudios cuyo objetivo sea la mejora de la eficiencia energética y la seguridad a través de la domótica. Para la investigación se hará uso de fuentes de investigaciones actuales.

Se ha encontrado diversa documentación semejante al tema, entre los cuales destacan los siguientes trabajos: Vera (2022), en su tesis cuyo tema es “Diseño de un sistema domótico en la reducción de costos de energía en una urbanización de la provincia de Huancavelica” en donde diseña e implementa un sistema domótico que permite el control remoto a través de una plataforma web y comandos de voz, con el objetivo de optimizar el consumo energético. Para ello, se comparan dos tecnologías de automatización evaluando su impacto en la eficiencia energética dentro de las viviendas de la urbanización El Mirador de Ascensión, ubicada en la provincia de Huancavelica. El estudio contempla la instalación del sistema en diez departamentos, mientras que otros diez permanecen sin automatización para establecer una comparación. Se lleva a cabo la configuración de módulos, sensores y actuadores, además de pruebas de comunicación para garantizar su correcto desempeño. Asimismo, se desarrolla una interfaz en LabVIEW que permite la gestión por voz mediante la API de Google Chrome. Finalmente, se realiza un análisis detallado de costos y ahorro energético para cada tecnología, resaltando las ventajas de la domótica, especialmente para personas con discapacidades.

Campo et al. (2021) en su artículo científico denominado “Análisis del diseño e implementación de un sistema inteligente para el control de la energía en usos residenciales” se enfoca en la optimización del consumo de energía eléctrica y plantea una alternativa para fortalecer la seguridad en los hogares mediante el desarrollo de un sistema fácil de utilizar y enfocado en la eficiencia energética. La incorporación de innovaciones tecnológicas en las viviendas ha transformado tanto la dinámica familiar como la configuración urbana. En este sentido, la domótica, que integra las tecnologías de la información y comunicación en el entorno doméstico, está generando cambios importantes en la funcionalidad y el uso de las viviendas, profundizando las modificaciones en la percepción del espacio y el tiempo que ya se han evidenciado en otros ámbitos de la vida cotidiana. En países como Estados Unidos, más de la mitad de los usuarios de teléfonos inteligentes utilizan dispositivos con el sistema operativo Android, seguido por iOS de Apple, lo que demuestra una marcada preferencia por la plataforma de Google.

Por su parte Benavent (2023), en su tesis de grado “Diseño de un sistema domótico para la plataforma Home Assistant”, en donde su investigación se enfoca en la creación de un sistema domótico reprogramable que se conecta directamente a la red eléctrica y a los dispositivos, permitiendo una alta adaptabilidad en entornos domésticos. El diseño del sistema emplea el software Eagle para la creación de la placa de circuito impreso, Fusion 360 para el desarrollo del chasis, y Home Assistant para la programación del software. Los resultados destacan que el dispositivo logrado es compacto e incluye actuadores y sensores de luminosidad y temperatura, integrando además la fuente de alimentación en su estructura. No obstante, se detectó una limitación en la potencia soportada, atribuida al método de fabricación de la placa, lo que plantea la necesidad de futuras investigaciones para evaluar la estabilidad del sistema bajo cargas sostenidas.

Montaño et al. (2021), en el artículo científico de la revista TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN DE FRENTE A LOS DESAFÍOS DE UN SIGLO EN CURSO, de la Universidad Israel, cuyo tema es “SISTEMA INTEGRAL DE HOGAR INTELIGENTE BASADO EN HOME ASSISTANT Y RASPBERRY PI” Esta investigación se basa en el desarrollo de un sistema de automatización del hogar utilizando el Internet de las Cosas (IoT), con el objetivo de superar limitaciones comunes en los sistemas actuales, como el uso ineficiente del IoT, la falta de interoperabilidad entre dispositivos de diferentes marcas, y los elevados costos. Se propone una arquitectura que permite el control local y remoto a través de interfaces intuitivas accesibles desde teléfonos inteligentes e interfaces web. La implementación se realiza mediante un servidor Home Assistant en un

Raspberry Pi 3, que centraliza el control y monitoreo de dispositivos. El sistema emplea tarjetas NodeMCU ESP8266 para reducir costos y mejorar la interoperabilidad, y se integra con asistentes virtuales como Alexa y Google Home.

1.2. Proceso investigativo metodológico

En el presente trabajo de investigación, se aplica la investigación cuantitativa, ya que se realizará la recolección y análisis de datos numéricos del consumo de los diferentes aparatos eléctricos y electrónicos que se encuentran en una residencia, medidos en consumo de energía, en kilovatios-hora (kWh), para a priori analizar una posible reducción del consumo energético y el impacto del sistema en la optimización de los dispositivos IoT conectados. A través de las herramientas estadísticas y las diferentes aplicaciones del software Home Assistant establece relaciones cuantificables que permitan validar la efectividad y su contribución a una optimización y mejora del rendimiento energético de un hogar familiar.

Para la realización de este proyecto, se utilizaron tanto técnicas teóricas como prácticas con el propósito de respaldar y verificar la puesta en marcha del sistema domótico centralizado con comunicación Zigbee con el fin de optimizar el uso de energía. Dentro de los enfoques teóricos, se utilizó el análisis y síntesis, lo que facilitó la revisión de estudios científicos y regulaciones relacionadas con la eficiencia energética y la domótica, condensando ideas fundamentales para el diseño del sistema. Además, se aplicó el método comparativo para valorar diversas tecnologías de automatización doméstica y escoger la más apropiada en cuanto a eficacia y compatibilidad. Respecto a los procedimientos prácticos, se llevó a cabo la experimentación, instalando el sistema en el hogar y supervisando el uso de energía antes y después de su puesta en marcha. Además, se llevó a cabo la medición y análisis estadístico de los datos obtenidos, permitiendo cuantificar el impacto del sistema en la reducción del consumo eléctrico.

En esta investigación, se emplearon enchufes e interruptores inteligentes para documentar en tiempo real el uso de energía de los electrodomésticos y aparatos conectados. Estos aparatos posibilitaron la recolección de información exacta en kilovatios-hora (kWh), para el posterior análisis energético.

Esta investigación se llevó a cabo mediante un método estructurado en diversas fases, con la finalidad de valorar el efecto de un sistema domótico centralizado con comunicación Zigbee en la eficiencia energética de un hogar. En un principio, se realizó un estudio teórico sobre eficiencia energética, domótica y protocolos de comunicación, recurriendo a publicaciones científicas, reglamentos y investigaciones anteriores para respaldar la investigación. Luego, se llevó a cabo

el diseño del sistema domótico, escogiendo los aparatos y equipos requeridos para su puesta en marcha, tomando en cuenta la compatibilidad con el protocolo Zigbee y su capacidad de monitoreo en tiempo real del consumo energético.

Previo a la puesta en marcha del sistema, se verifico el consumo antes de la implementación, para poder tener un punto de referencia. Una vez establecida esta línea de base, se colocaron y ajustaron los aparatos domóticos en el hogar, para realizar una correcta adquisición de datos. En un lapso específico, se llevaron a cabo mediciones continuas con los conectores inteligentes para medir las variaciones en el uso de energía tras la puesta en marcha del sistema.

Los datos recolectados se analizaron a través de instrumentos estadísticos para contrastar el uso de energía previo y posterior a la automatización del hogar, detectando patrones de consumo y valorando la eficacia del sistema. Finalmente, con base en los resultados obtenidos, se formularon conclusiones sobre la efectividad del sistema domótico y se propusieron recomendaciones para mejorar su desempeño en futuras implementaciones.

CAPÍTULO II: PROPUESTA

2.1. Fundamentos teóricos aplicados

2.1.1. Domótica.

La domótica (proveniente del latín domus, que significa "casa", y tica, que significa "automática") se caracteriza por la incorporación de las TICs, la comunicación y la automatización en ambientes domésticos con el objetivo de mejorar la administración de recursos, incrementar la seguridad y potenciar la comodidad de sus usuarios (Alaa et al., 2017). De acuerdo con Balaji et al. (2013), este campo utiliza sistemas vinculados como sensores, actuadores y redes inteligentes para supervisar y manejar aparatos eléctricos, meteorológicos y de seguridad en el hogar, ajustándose a las demandas de los residentes a través de algoritmos predictivos o interfaces de usuario intuitivas.

La domótica ha transformado nuestra manera de interactuar con los espacios habitables, convirtiendo las viviendas convencionales en "casas inteligentes" (European Commission, 2012). Su progreso, propulsado por progresos en Internet de las Cosas (IoT) y la computación en la nube, posibilita no solo la automatización de actividades diarias (como la iluminación o la climatización), sino también la disminución del uso de energía y el fomento de la sostenibilidad ambiental (Agencia Internacional de Energía [IEA], 2020). Investigaciones actuales resaltan su influencia en la calidad de vida, particularmente para personas de edad avanzada o discapacitadas, al proporcionar ambientes accesibles y autónomos (Harper, 2003). Pero su implementación a gran escala se topa con retos técnicos y éticos, tales como la salvaguarda de la información y la interoperabilidad entre aparatos (Zanella et al., 2014).

Objetivos de la domótica

a. Eficiencia energética

Los sistemas domóticos enfocados en la eficiencia energética posibilitan la monitorización, gestión y optimización del consumo de electricidad en cada componente dentro de un entorno específico. A través del análisis de patrones de uso, estos sistemas ajustan de manera dinámica los parámetros de la instalación para lograr una disminución considerable del consumo energético. En este sentido, la implementación de domótica orientada a la eficiencia energética representa una inversión a largo plazo que se amortiza rápidamente, al tiempo que favorece la sostenibilidad ambiental (Arroyo & Angulo, 2022).

Confort

Otro de los objetivos que tiene la domótica es el mejoramiento del confort en entornos residenciales, mediante la automatización de sistemas como la iluminación y entretenimiento, la temperatura de la casa, sistema de seguridad, entre otros, por ejemplo en zonas donde se utilizan termostatos se emplea la domótica para regular la temperatura en función de la preferencias de cada individuo y de las condiciones externas; el sistema de iluminación controlados por sensores de presencia o movimiento, y franjas horaria específicas adaptándose a actividades como el trabajo, o descanso, reduciendo la fatiga visual mejorando de alguna manera la productividad (Serrano C., 2024).

2.1.2. Protocolos de Comunicación en Sistemas Domóticos.

Protocolos Cableados.

KNX

KNX es un protocolo abierto utilizado principalmente en la automatización de edificios. Funciona sobre diferentes medios físicos por ejemplo par trenzado, radiofrecuencia, IP, destacándose por su fiabilidad en entornos industriales y residenciales complejos. Su arquitectura es descentralizada permite controlar diversos dispositivos como seguridad, iluminación y climatización con precisión, pero necesita infraestructura dedicada lo que encarece la implementación para ambientes domésticos (Gómez & Torres, 2020).

Protocolos inalámbricos.

a. Wifi (IEEE 802.11)

Este protocolo es el más popular dentro de la gran mayoría de los hogares ofreciendo velocidades de hasta 46 Gbps (Wifi 7) y compatibilidad con dispositivos IoT como cámaras, altavoces inteligentes, iluminación entre otros. Sin embargo, su alto consumo energético limita su uso en sensores alimentados por baterías (George et. al., 2023).

b. Bluetooth Low Energy (BLE)

BLE (Bluetooth 5.0) consume hasta 10 veces menos energía que el bluetooth clásico, es un protocolo ideal para wearables, y sensores de proximidad. Tiene un alcance corto de 100m en modo largo alcance y falta de soporte nativo, lo que hace que sus aplicaciones sean puntuales como cerraduras inteligentes, control remoto, monitorización, etc. (Barua et. al., 2022).

c. Zigbee

El protocolo de comunicación Zigbee está basado en el estándar IEEE 802.15.4, opera en las bandas de 2.4 GHz, 915 MHz (América) y 868 MHz (Europa). Es ideal para domótica ya que su consumo energético es bajo (≤ 1 mA en modo inactivo) y su topología de red es malla (mesh), permitiendo hasta 65,000 nodos interconectados (Zigbee Alliance, 2023). Es ampliamente usado en sensores, termostatos y luces inteligentes. No obstante, su alcance limitado (10-20 m por nodo) requiere routers intermedios, como enchufes inteligentes, que actúen como nodos repetidores para ampliar la cobertura.

d. Z-Wave

Z-Wave utiliza frecuencias sub-1 GHz (908.42 MHz en EE.UU., 868.42 MHz en Europa), las cuales evitan interferencias con Wi-Fi. Su red de malla soporta hasta 232 dispositivos y con latencias menores a 100 ms, adecuadas para aplicaciones en tiempo real como seguridad (Z-Wave Alliance, 2023). Aunque es propietario, su estricta certificación garantiza interoperabilidad. Su principal desventaja es el costo elevado de dispositivos comparado con Zigbee (Yepez G. 2023).

Protocolos emergentes.

Thread, basado en IEEE 802.15.4 y respaldado por Google, Apple y Amazon, combina la eficiencia de Zigbee con soporte IPv6. Su red de malla auto reparadora y compatibilidad con dispositivos de borde (border routers) lo posicionan como alternativa para hogares conectados (Thread Group, 2023).

Matter (antes CHIP) es un estándar de comunicación unificado impulsado por la Connectivity Standards Alliance (CSA). Funciona sobre Wi-Fi, Thread y Ethernet, prometiendo interoperabilidad entre ecosistemas existentes y consolidados como Alexa, Google Home y Apple HomeKit. Su lanzamiento en 2022 busca resolver la fragmentación actual en domótica (CSA, 2023).

Los protocolos de comunicación son la columna vertebral de un sistema domótico, como se muestra en la Tabla 1 los protocolos Zigbee y Z-Wave dominan la eficiencia energética mientras que Wi-Fi ofrece integración con las tecnologías existentes.

Tabla 1

Principales protocolos de comunicación domóticos.

Parámetro	Zigbee	Z-Wave	Wi-Fi	KNX
Frecuencia	2.4 GHz/Sub-1 GHz	Sub-1 GHz	2.4/5 GHz	Cable/Radio/IP

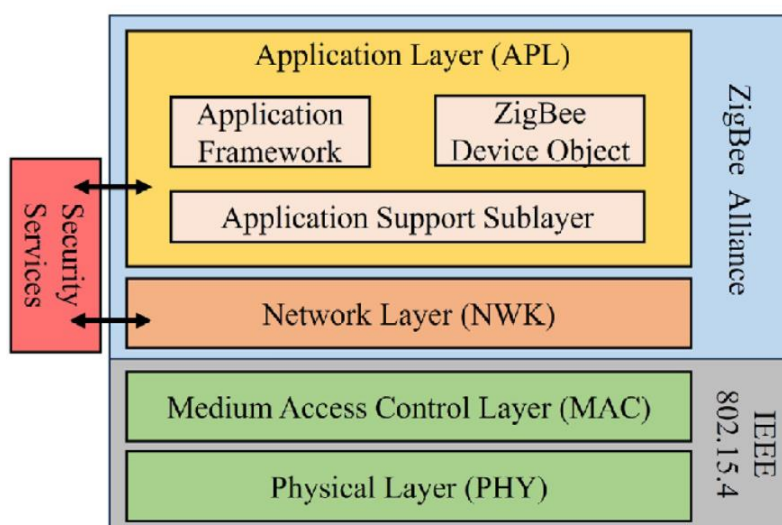
Consumo	Muy bajo	Bajo	Alto	Bajo (cableado)
Alcance	10-100 m (malla)	30-100 m	50-100 m	Hasta 1,000 m
Velocidad	250 kbps	100 kbps	Hasta 9.6 Gbps	9.6 kbps
Topología	Malla	Malla	Estrella	Árbol/Malla

2.1.3 Protocolo de comunicación Zigbee, IEEE 802.15.4

El protocolo IEEE 802.15.4 es un estándar fundamental para redes de área personal (PAN) inalámbricas, está diseñado para dispositivos de bajo consumo energético y bajas tasas de transmisión de datos. Su objetivo principal es optimizar el uso del ancho de banda y la eficiencia energética en aplicaciones como el Internet de las Cosas (IoT), automatización industrial, domótica entre otras (Averos, 2017). Como se muestra en la figura 1, el protocolo Zigbee define dos capas esenciales para la comunicación: la capa física (PHY) y la capa de control de acceso al medio (MAC).

Figura 1

Modelo de capas que tiene el protocolo Zigbee.



Nota: Obtenido de Pauca et al. (2015)

A continuación, se describe brevemente cada una de las cuatro capas de la arquitectura del protocolo Zigbee.

Capa Física (PHY)

La capa física de IEEE 802.15.4 establece las especificaciones para la transmisión inalámbrica en tres bandas de frecuencia (IEEE, 2020):

868.3 MHz: Un solo canal, reservado para Europa.

915 MHz: Diez canales, utilizados en América y Australia.

2.4 GHz: Dieciséis canales, disponibles globalmente en la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical).

Técnicas de Modulación y Transmisión

Dependiendo de la banda de frecuencia utilizada, se aplican diferentes esquemas de modulación:

Para frecuencias inferiores a 2.4 GHz, se emplea Binary Phase Shift Keying (BPSK) con un filtro Raised Cosine Pulse (RCP).

Para la banda de 2.4 GHz, se usa Offset Quadrature Phase Shift Keying (O-QPSK) también con filtrado RCP (Peña, 2018).

Se implementa una técnica de transmisión denominada Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS), la cual mezcla los datos con una secuencia de ruido pseudoaleatoria para expandir el espectro, permitiendo la coexistencia de múltiples canales en la misma frecuencia portadora.

El acceso al canal se gestiona mediante Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA-CA), donde un nodo sólo transmite si detecta que el canal está libre, minimizando colisiones. Esto permite una mayor eficiencia en entornos con múltiples dispositivos intentando comunicarse simultáneamente.

Los dispositivos en Zigbee se clasifican en:

Full Function Devices (FFD): Capaces de transmitir y recibir paquetes de datos. Estos dispositivos pueden actuar como coordinadores o routers dentro de la red.

Reduced Function Devices (RFD): Diseñados sólo para transmitir, reduciendo su complejidad y consumo energético. Generalmente, estos dispositivos son sensores o actuadores de baja potencia.

Capa MAC en Zigbee (Medium Access Control)

La capa MAC en Zigbee actúa como un intermediario entre la capa física y la capa de red, proporcionando dos servicios esenciales (IEEE, 2020):

- Servicio de datos MAC, que permite la transmisión de datos mediante unidades conocidas como MPDU (MAC Protocol Data Units).

- Servicio de control MAC, encargado de la gestión de la red, incluyendo la asociación y desasociación de dispositivos.

Estructuras de la Capa MAC en Zigbee

La Capa de Enlace de Datos (MAC) en Zigbee está compuesta por diversas estructuras de tramas que permiten la comunicación eficiente dentro de la red:

Tramas de datos: Son las encargadas de transportar la información útil entre los dispositivos de la red. Estas tramas contienen la dirección del origen y destino, el contenido de la comunicación y una verificación de errores para garantizar la correcta transmisión de la información.

Señal de sincronización (Beacon): En redes Zigbee configuradas en modo beacon, estos mensajes permiten la asignación de tiempos de acceso al canal y ayudan a los dispositivos a sincronizarse. Los beacons son particularmente útiles en redes con baja actividad de transmisión, ya que permiten que los dispositivos entren en modo de bajo consumo y solo se activen cuando es necesario transmitir o recibir datos.

Tramas de reconocimiento: Se utilizan para confirmar la recepción exitosa de paquetes de datos. Cuando un dispositivo recibe correctamente un mensaje, envía una trama de reconocimiento al emisor para asegurar que la información ha sido recibida sin errores. Si el emisor no recibe la confirmación, puede retransmitir el paquete para garantizar la entrega de la información.

Comandos MAC: Son tramas de control utilizadas para gestionar la red y sus dispositivos. Entre sus funciones principales se encuentran la solicitud de asociación de nuevos dispositivos, la actualización de la tabla de encaminamiento y la gestión de colisiones en el canal de comunicación. Estos comandos permiten un mejor control y administración de la red Zigbee, asegurando su estabilidad y eficiencia.

Cuando la señal de Beacon está deshabilitada, los paquetes se transmiten de forma asincrónica, lo que puede aumentar la latencia, pero reduce el consumo de energía en los dispositivos finales (Romero F., 2024).

Capa de Red en Zigbee (NWK)

La capa de red maneja la topología, seguridad y enrutamiento dentro de la red Zigbee. Es posible establecer tres tipos de topologías:

Estrella (Star): En esta configuración, un único coordinador actúa como el nodo central, gestionando toda la comunicación con los dispositivos finales. Cada dispositivo se comunica únicamente con el coordinador, lo que simplifica la administración de la red y minimiza el consumo de energía en dispositivos finales. Sin embargo, su principal limitación es la dependencia del coordinador: si este falla, toda la red deja de funcionar.

Árbol (Cluster Tree): Esta topología permite la expansión de la red mediante routers intermedios. Los dispositivos finales tienen la posibilidad de conectarse a routers, los cuales están vinculados con el coordinador. Este método incrementa la cobertura y promueve la capacidad de expansión de la red. Sin embargo, la comunicación se basa en la jerarquía de nodos, lo que puede provocar fallos si un router intermedio se desconecta.

Malla (Mesh): Todos los aparatos tienen la capacidad de interactuar entre ellos y definir diversas rutas para el intercambio de datos. Esta estructura es la más sólida y resistente a errores, ya que si un nodo se desconecta, la red tiene la capacidad de redirigir el tráfico mediante otro dispositivo. La topología malla es perfecta para aplicaciones en las que la fiabilidad y la resistencia son elementos esenciales, aunque su aplicación puede resultar más complicada y requerir más energía. Tipos de Dispositivos en una Red Zigbee

Dispositivos que integran una red Zigbee:

Coordinador Zigbee

Es el nodo central de la red, encargado de iniciar y administrar la comunicación entre los dispositivos. Este dispositivo es responsable de formar la red, asignar direcciones a los nodos y garantizar la integridad de la comunicación. Además, coordina el tráfico de datos y puede almacenar información sobre la red, facilitando la comunicación entre los diferentes dispositivos conectados.

Router

Funciona como repetidor dentro de la red Zigbee, permitiendo extender la cobertura de la señal y mejorar la estabilidad de la comunicación. Los routers pueden recibir y retransmitir datos, lo que contribuye a la eficiencia de la red en topologías malladas o en árbol. Además, permiten la conexión de múltiples dispositivos finales sin necesidad de comunicación directa con el coordinador, lo que optimiza la distribución de la carga y la redundancia de la red.

Dispositivo Final

Son dispositivos con funciones específicas que se conectan a la red, como sensores y actuadores. Estos dispositivos no tienen la capacidad de retransmitir datos ni extender la cobertura de la red, ya que solo envían y reciben información desde el coordinador o un router Zigbee. Su función principal es ejecutar tareas específicas, como medir temperatura, controlar luces o activar cerraduras electrónicas, optimizando el consumo energético al permanecer en estado de reposo cuando no están en uso (Trujillo, 2021).

Capa de Aplicación en Zigbee (APL)

La capa de aplicación (APL) en Zigbee gestiona la interacción de los dispositivos con el usuario y se divide en tres subcapas principales:

Application Support Sublayer (APS): Dirige la administración de la comunicación entre aparatos, la transformación de direcciones y la gestión del flujo de datos. Esta capa también gestiona la división y reestructuración de paquetes de gran envergadura, garantizando una entrega fiable.

Application Framework (AF): Ofrece el ambiente de funcionamiento para las aplicaciones Zigbee. Establece cómo los aparatos pueden compartir información de forma organizada y facilita la interacción entre objetos de aplicación.

Zigbee Device Object (ZDO): Se encarga de la gestión y configuración de la red, del hallazgo de aparatos, la verificación y la administración de seguridad. Además, gestiona las peticiones de conexión, asegurando una red sólida y protegida.

2.1.4. Home Assistant

Home Assistant es una plataforma de automatización creada para el ámbito doméstico, de código abierto, creada para incorporar y gestionar una extensa gama de dispositivos inteligentes. Su flexibilidad, compatibilidad con diferentes protocolos de comunicación y su enfoque en la privacidad lo han convertido en una de las soluciones más populares para la gestión de hogares inteligente

Arquitectura

Home Assistant se basa en una arquitectura modular y flexible que permite la integración de diversos dispositivos y servicios. Su diseño está compuesto por varias capas que trabajan en conjunto para proporcionar una experiencia fluida y eficiente.

Arquitectura Centralizada

En esta arquitectura, Home Assistant actúa como un servidor central que recibe y procesa datos de diferentes dispositivos conectados. Todos los componentes se comunican con el servidor, el cual administra las automatizaciones, registros y comandos para los dispositivos.

Las ventajas que tiene la arquitectura centralizada es que se tiene mayor control sobre los dispositivos que se conectan al sistema, con la posibilidad de almacenar datos localmente sin depender de la nube, reduciendo riesgos y obteniendo mayor privacidad al reducir la exposición a terceros

La arquitectura centralizada como implica que la carga computacional en el servidor central es alta por ende dependiendo de la aplicación que le demos se necesita un servidor con mayores o menores características, y la dependencia de un solo punto de falla.

Arquitectura Distribuida

En este enfoque, varios nodos Home Assistant pueden operar en conjunto para distribuir la carga de procesamiento. Se pueden emplear dispositivos adicionales para mejorar la redundancia y el rendimiento, obteniendo mayor estabilidad con la adición de nuevos nodos, redundancia y tolerancia a fallos y mejor rendimiento con varios dispositivos.

Funcionalidades de Home Assistant

Home Assistant proporciona una variedad de funcionalidades que permiten gestionar dispositivos inteligentes de manera eficiente:

- Automatizaciones avanzadas: Permite la creación de escenarios complejos basados en eventos y condiciones.
- Integración con dispositivos: Compatible con una amplia gama de marcas y protocolos como Zigbee, Z-Wave, MQTT y Bluetooth.
- Panel de control personalizable: A través de Lovelace, los usuarios pueden crear interfaces gráficas adaptadas a sus necesidades.
- Soporte para asistentes de voz: Compatible con Google Assistant y Amazon Alexa.
- Registro de datos y análisis: Almacena información de sensores y permite la visualización de tendencias a lo largo del tiempo.
- Accesibilidad remota: A través de Home Assistant Cloud o configuraciones personalizadas de acceso remoto (Szot A. et al., 2021).

Seguridad en Home Assistant

La seguridad es un aspecto clave en Home Assistant, dado que gestiona dispositivos críticos dentro del hogar. Algunas de las medidas de seguridad implementadas incluyen:

- Autenticación de dos factores (2FA): Protege el acceso a la plataforma con un segundo nivel de verificación.
- Cifrado de comunicaciones: Uso de TLS/SSL para proteger la transmisión de datos entre dispositivos.
- Control de acceso por roles: Permite definir permisos específicos para diferentes usuarios.
- Firewall y protección de red: Se recomienda el uso de firewalls y VPNs para prevenir accesos no autorizados.
- Auditoría de eventos: Registro de todas las acciones realizadas dentro de la plataforma para identificar posibles amenazas.

Implementación de Home Assistant

Para implementar Home Assistant, es necesario considerar los siguientes aspectos:

Requisitos de Hardware

Home Assistant puede ejecutarse en diferentes plataformas de hardware, tales como:

Raspberry Pi, mini PC, Servidores dedicados o NAS para entornos más exigentes.

Dispositivos con Docker para mayor flexibilidad.

Proceso de Instalación

Existen diferentes métodos de instalación, pero el más utilizado es la instalación de Home Assistant OS, se puede instalar sobre la base de Linux, para posteriormente configurar los dispositivos IoT, accesibilidad remota y medidas de seguridad.

2.2. Descripción de la propuesta

La creciente demanda de eficiencia energética en los hogares ha impulsado el desarrollo de tecnologías de automatización que optimizan el consumo eléctrico y mejoran la gestión de los recursos. En este contexto, la presente investigación propone la implementación de un sistema domótico centralizado mediante comunicación Zigbee con análisis de eficiencia energética en una residencia en Ibarra.

La implementación del sistema domótico se compone de tres módulos principales:

Control de luminosidad: Se implementa un sistema inteligente de iluminación basado en sensores de presencia y luminosidad, junto con actuadores Sonoff ZBMINIL2 para la automatización de la iluminación en función de distintos factores ambientales y horarios

Enchufes inteligentes: Se realiza el monitoreo y control del consumo eléctrico de dispositivos conectados, permitiendo la automatización y el ahorro energético.

Seguridad: Implementación de sensores de movimiento, de presencia, si como también sensores magnéticos para las puertas.

La interacción entre los aparatos se llevará a cabo a través del protocolo Zigbee, que asegura una mínima latencia y eficacia energética. La integración del sistema se administrará mediante Home Assistant, facilitando la centralización, la interoperabilidad y el seguimiento en tiempo real, la automatización a medida y la recolección de información para el estudio de la eficiencia energética.

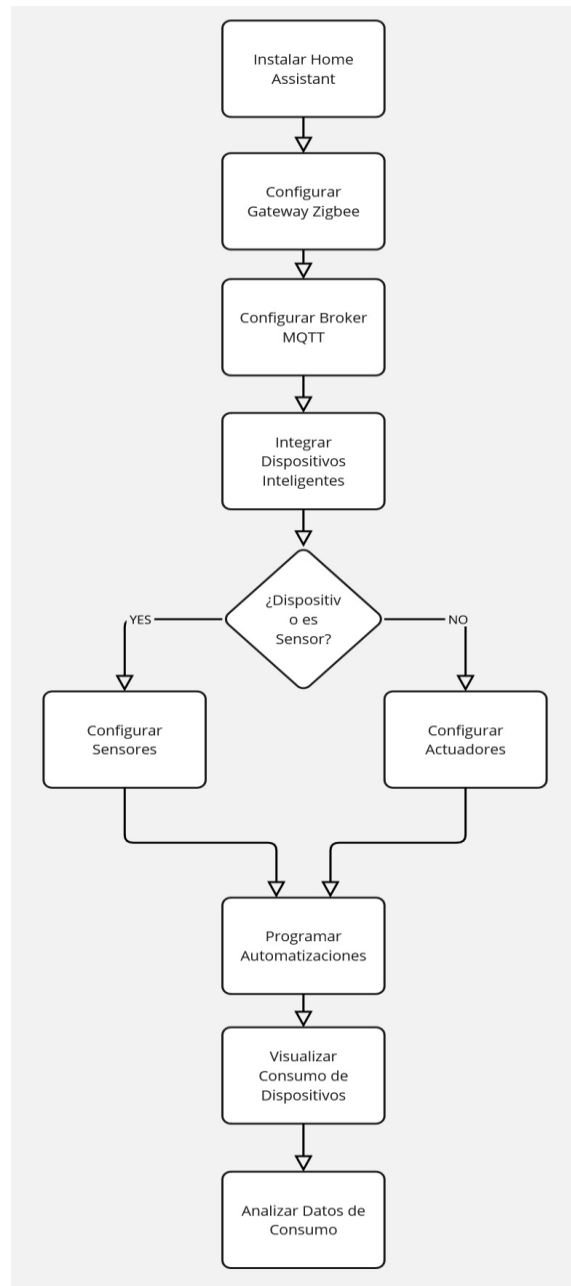
En el marco de la investigación, se examinarán los patrones de consumo y las tácticas de optimización, con la finalidad de disminuir el consumo energético minimizando la huella de carbono sin perjudicar el confort y la seguridad de los residentes.

a. Estructura general

La figura 2 muestra el esquema de flujo que se empleó para implementar el sistema domótico mediante Home Assistant. A continuación, se detallan de manera breve las fases específicas del proceso:

Figura 2

Diagrama de Flujo de la Propuesta del Sistema Domótico



- Como primer paso se realiza la instalación de sistema operativo Home Assistant OS, en un servidor local, que cumpla con las características técnicas requeridas para que el sistema pueda correr sin problemas, en este caso se utilizó un mini PC, el cual actúa como eje central del proyecto.
- Luego se lleva a cabo la configuración del gateway Zigbee, que funciona como enlace para la comunicación entre los dispositivos inteligentes que emplean este protocolo y el servidor del asistente de casa. Se configura un broker MQTT para gestionar la comunicación entre

dispositivos y sensores. Esto permite un intercambio eficiente de datos en tiempo real.

- Posteriormente se integran al sistema los dispositivos inteligentes, como son: enchufes, disyuntores inteligentes, sensores de presencia, interruptores.
- Una vez configurados los dispositivos, se diseñan y programan automatizaciones para optimizar la operación del sistema y mejorar su eficiencia.
- Se diseña la monitorización en tiempo real del consumo energético de los dispositivos conectados, permitiendo un análisis detallado.
- Finalmente, se realiza un análisis energético mediante de los datos recopilados por los dispositivos IoT, para evaluar de la eficiencia energética del sistema y una optimización futura.

2.2.1. Diseño de Arquitectura del sistema domótico

La Tabla 2 presenta la arquitectura del sistema domótico, la misma que está dividida en cuatro capas. En la Capa del Sistema se encuentran los dispositivos inteligentes que constituyen el nivel físico. Aquí se incluyen los interruptores de iluminación (Sonoff ZBMINI L2 para circuitos simples y GIRIER Tuya ZigBee 3.0 para circuitos dobles), los enchufes inteligentes (Tuya Smart 16A BSD01) y los sensores de presencia (Tuya ZG-205Z/A), que permiten no solo controlar y automatizar la iluminación, sino también monitorear el consumo energético y activar automatizaciones basadas en la detección de movimiento. Además, se incorpora un repetidor Zigbee (Tuya Repeater) para ampliar la cobertura de la red, y se incluyen los interruptores de consumo total (Tongou 63A, uno por cada fase) para medir el consumo global de la instalación eléctrica.

En la Capa de Comunicación y Procesamiento se integran y conectan los dispositivos inteligentes con el servidor central. Esta capa está compuesta por el Gateway Zigbee (SLZB-06 con conexión Ethernet), que actúa como puente entre los dispositivos y el sistema de control, transmitiendo las señales a través de Zigbee2MQTT y el broker MQTT (Mosquitto). El servidor domótico, basado en un CHUWI LarkBox con Home Assistant OS, recibe y procesa la información en tiempo real, permitiendo que los datos se gestionen de forma centralizada y se apliquen automatizaciones que optimicen el consumo energético.

La Capa de Almacenamiento y Análisis de Datos se encarga de recopilar, procesar y visualizar la información generada por el sistema. Para ello, se utiliza una base de datos (InfluxDB) que almacena los datos de consumo y permite su análisis mediante herramientas de visualización como Grafana y el dashboard integrado de Home Assistant. Finalmente, la Capa de Interacción con el Usuario facilita el acceso y control del sistema a través de una interfaz web y una

aplicación móvil, donde se pueden monitorear en tiempo real los consumos y configurar automatizaciones y reglas de control. Esta estructura integral no solo mejora la gestión energética de la vivienda, sino que también permite una supervisión detallada y una toma de decisiones informada para optimizar el uso de la energía

Tabla 2

Arquitectura del trabajo de investigación

Capa del Sistema	Componentes	Descripción y Función
1. Dispositivos Inteligentes (Nivel Físico)	- Interruptores de Iluminación: Sonoff ZBMINI L2 Zigbee GIRIER Tuya ZigBee 3.0 (interruptor doble)	Son los dispositivos encargados del control y monitoreo local en la vivienda. Permiten gestionar la iluminación, medir el consumo de energía de electrodomésticos y detectar la presencia para activar automatizaciones, además de monitorear el consumo total eléctrico de cada fase.
	- Enchufes Inteligentes: Tuya Smart 16A BSD01 con monitoreo de energía	
	- Sensores de Presencia: Tuya ZG-205Z/A	
	- Repetidor Zigbee: Tuya Repeater	
	- Interruptores de Consumo Total: Tongou 63A (uno por fase)	
2. Comunicación y Procesamiento	- Gateway Zigbee: SLZB-06 (con conexión Ethernet)	Esta capa integra y comunica los dispositivos inteligentes con el servidor central. El gateway recibe las señales Zigbee y, a través de Zigbee2MQTT y Mosquitto, transmite los datos a Home Assistant para su procesamiento en tiempo real.
	- Servidor Domótico: CHUWI LarkBox con Home Assistant OS	
	- Middleware: Zigbee2MQTT	
	- Broker MQTT: Mosquitto MQTT	
3. Almacenamiento y Análisis de Datos	Base de Datos: InfluxDB	Se encarga de almacenar y procesar la información generada por los dispositivos. Los datos de consumo energético se analizan y visualizan mediante dashboards, permitiendo la evaluación y
	- Plataforma de Visualización: Grafana y Home Assistant Dashboard	

		optimización de la eficiencia energética en la vivienda.
4. Interacción con el Usuario	- Interfaz de Usuario: Home Assistant Web Interface y Aplicación Móvil	Proporciona acceso al usuario para monitorear en tiempo real, controlar dispositivos y configurar automatizaciones basadas en los datos recopilados, facilitando la gestión y optimización del consumo energético de la vivienda.
	- Automatizaciones y Reglas de Control	

2.2.2. Instalación de Home Assistant

La Tabla 3 muestra una comparación de varias opciones de mini PC para implementar el sistema domótico con Home Assistant. Se analizaron tres dispositivos: el CHUWI LarkBox, el Raspberry Pi 4 Model B y el Intel NUC 11 Essential.

Tabla 3

Características técnicas de los dispositivos comúnmente utilizados para instalación de Home Assistant.

Criterio	CHUWI LarkBox 	Raspberry Pi 4 Model B 	Intel NUC 11 Essential 
Procesador	Intel N100 (3.4 GHz)	Broadcom BCM2711 (1.5 GHz)	Intel Celeron N5105 (2.9 GHz)
Memoria RAM	12 GB	4 GB / 8 GB	8 GB
Almacenamiento	512 GB SSD	MicroSD (32-128 GB)	256 GB SSD
Sistema Operativo Compatible	Linux, Windows 11 Home, Ubuntu	Linux (Raspberry OS, Ubuntu)	Linux, Windows 11
Puertos	4 USB, 1 HDMI, 2 Ethernet, 1 audio	2 USB 3.0, 2 USB 2.0, 1 HDMI	4 USB, 1 HDMI, 1 Ethernet
Consumo de Energía	Bajo	Muy bajo	Moderado
Tamaño	Compacto (61 x 61 x 43 mm)	Compacto (85.6 x 56.5 x 17 mm)	Compacto (117 x 112 x 38 mm)

Costo Aproximado	USD 150-250	USD 70-120	USD 250-350
Ventajas	Alto rendimiento, almacenamiento interno amplio, compatible con múltiples SO	Bajo costo, excelente soporte comunitario	Gran capacidad de procesamiento y escalabilidad.
Desventajas	Precio más alto en comparación con Raspberry Pi	Menor capacidad de procesamiento y almacenamiento	Mayor consumo energético y costo inicial.
Adecuación para el Proyecto	Alta: especificaciones robustas y diseño compacto	Media: limita almacenamiento y procesamiento	AltaA1:D12: buen rendimiento, pero mayor costo.

Como lo muestra la Tabla 3, la mini PC CHUWI LarkBox fue elegida como el servidor del proyecto, gracias a sus características que se distinguen de las otras propuestas, que son: un procesador Intel N100 de 3.4 GHz, 12 GB de RAM y 512 GB de almacenamiento SSD. Estas especificaciones son las ideales para la realización del presente trabajo de investigación.

Por otro lado, la Raspberry Pi 4, la cual es una buena opción, por ser económica y eficiente en cuanto a consumo energético, no es apta por su limitación en el procesamiento y en su memoria. En cuanto al Intel NUC 11 Essential, si bien tiene potencia de procesamiento, su mayor costo y consumo de energía no es una opción ideal para el desarrollo del proyecto.

2.2.3. Configuración del Gateway con Zigbee2MQTT.

En la tabla 4 se comparan las características que tienen los diferentes dispositivos utilizados como Gateway del protocolo Zigbee, entre ellos se han tomado en cuenta: SLZB-06, Sonoff Zigbee 3.0 USB Dongle Plus, ConBee II y CC2652P Coordinator.

Al comparar las características presentadas en la Tabla 4, se eligió el SLZB-06 para este proyecto por su estabilidad, su amplio soporte con Zigbee2MQTT y su versatilidad en la conexión. Gracias a la opción de conectarse mediante Ethernet, se puede ubicar en un lugar estratégico para optimizar la cobertura y el rendimiento de la red Zigbe. Además, su antena externa ofrece un mayor alcance en comparación con otros modelos. Aunque el Sonoff Zigbee 3.0 USB Dongle Plus es una alternativa más económica y fácil de configurar, el SLZB-06 proporciona una mejor compatibilidad con dispositivos Zigbee y una mayor capacidad de gestión de la red, lo que lo convierte en la opción ideal para el sistema domótico que se ha implementado.

Tabla 4

Características técnicas de los coordinadores comúnmente utilizados con home assistant.

Criterio	SLZB-06 (Seleccionado)	Sonoff Zigbee 3.0 USB Dongle Plus	ConBee II	CC2652P Coordinator
Compatibilidad	Home Assistant, Zigbee2MQTT, ZHA	Home Assistant, Zigbee2MQTT, ZHA	Home Assistant, deCONZ, ZHA	Home Assistant, Zigbee2MQTT, ZHA
Interfaz de conexión	USB, Wi-fi, ethernet.	USB	USB	USB
Chipset	EFR32MG21	CC2652P	ATSAMR21	CC2652P
Frecuencia	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
Alcance	~200 m (con antena externa)	~150 m (con antena externa)	~100 m	~200 m
Soporte de dispositivos	Alta (soporta múltiples redes Zigbee)	Alta	Media	Alta
Facilidad de instalación	Fácil (flasheado de firmware disponible)	Fácil (plug & play en algunos casos)	Media (requiere configuración con deCONZ)	Media (puede necesitar flasheo)
Soporte de firmware	EZSP (EmberZNet)	Z-Stack (Texas Instruments)	deCONZ	Z-Stack (Texas Instruments)
Precio aproximado	\$30 - \$50 USD	\$20 - \$40 USD	\$40 - \$60 USD	\$30 - \$50 USD
Ventajas	Estabilidad, compatibilidad amplia, buen alcance	Económico, fácil de usar, buen soporte comunitario	Buen soporte oficial, integración con deCONZ	Potente, buen alcance, soporte comunitario activo
Desventajas	Requiere configuración inicial, disponibilidad limitada	Puede necesitar actualización de firmware	Alcance limitado, dependencia de deCONZ	Puede requerir flasheo manual

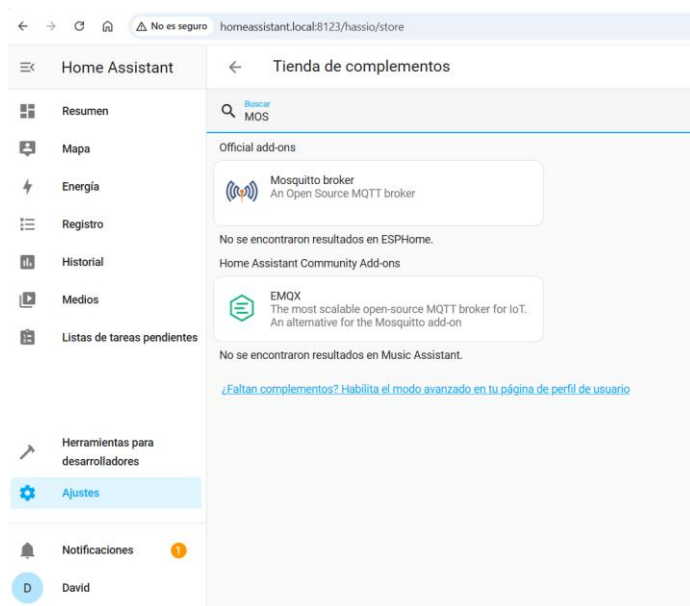
La conexión del dispositivo SLZB-06 se realizó mediante cable ethernet, para poder ubicar al Gateway en el centro de los dispositivos IoT, y tener un mayor alcance, para la integración de los dispositivos se utilizó Zigbee2MQTT, permitiendo el control y monitoreo de los dispositivos en Home Assistant de una manera centralizada.

2.2.4. Configuración de Zigbee2MQTT

La Figura 3 muestra la interfaz de la tienda de complementos en Home Assistant, donde se puede buscar e instalar el complemento Mosquitto MQTT. Este broker actúa como intermediario en la comunicación entre los dispositivos Zigbee, el coordinador Zigbee2MQTT y la plataforma de control Home Assistant, permitiendo el intercambio de datos en tiempo real. Al instalar y configurar el broker desde esta sección, se habilita el envío y recepción de mensajes que posibilitan la gestión eficiente de los dispositivos IoT y la implementación de automatizaciones inteligentes en el sistema domótico.

Figura 3

Instalación del Broker Mosquitto.



Posterior a esto, instalar el complemento Zigbee2MQTT en la tienda de complementos de Home Assistant siguiendo los siguientes pasos:

- Ir a Configuración > Complementos > Tienda de complementos.
- Buscar e instalar Zigbee2MQTT.
- Iniciar el complemento después de la instalación.
- Edición del archivo de configuración
- Para conectar Zigbee2MQTT con Mosquitto, es necesario modificar el archivo: `/config/zigbee2mqtt/configuration.yaml` como se muestra en la figura 4

Figura 4

Configuración del Enlace Mosquitto-Zigbee2MQTT.

```

1 Homeassistant: true # Habilita la integración con Home Assistant
2 permit_join: true # Permite la unión de nuevos dispositivos (temporalmente)
3
4 mqtt:
5   base_topic: zigbee2mqtt
6   server: 'mqtt://core-mosquitto' # Dirección del broker MQTT en Home Assistant
7   user: mqtt # Nombre de usuario configurado en Mosquitto
8   password: # Contraseña de Mosquitto
9
10  serial:
11    port: 'tcp://192.168.1.15:6638' # Dirección IP y puerto del gateway SLZB-06
12
13  advanced:
14    log_level: info # Nivel de logs
15    pan_id: 6754 # Identificador de la red Zigbee
16    channel: 11 # Canal Zigbee utilizado
17    network_key: GENERATE # Genera una clave de cifrado automática
18
19  frontend:
20    port: 8099 # Activa la interfaz web de Zigbee2MQTT en Home Assistant

```

2.2.5. Instalación e integración de dispositivos inteligentes.

Para cumplir con el objetivo de analizar el consumo energético de la vivienda, se han implementado diversos dispositivos IoT encargados de recolectar los datos necesarios para este análisis. Entre ellos se incluyen interruptores inteligentes para el control de la iluminación, enchufes inteligentes con capacidad de monitoreo energético y sensores de presencia como se muestra en la Tabla 5. Además, para obtener una visión global del consumo eléctrico, se han instalado dos disyuntores inteligentes destinados a medir el consumo en cada una de las fases de la vivienda.

Tabla 5

Dispositivos Inteligentes Utilizados en el Proyecto.

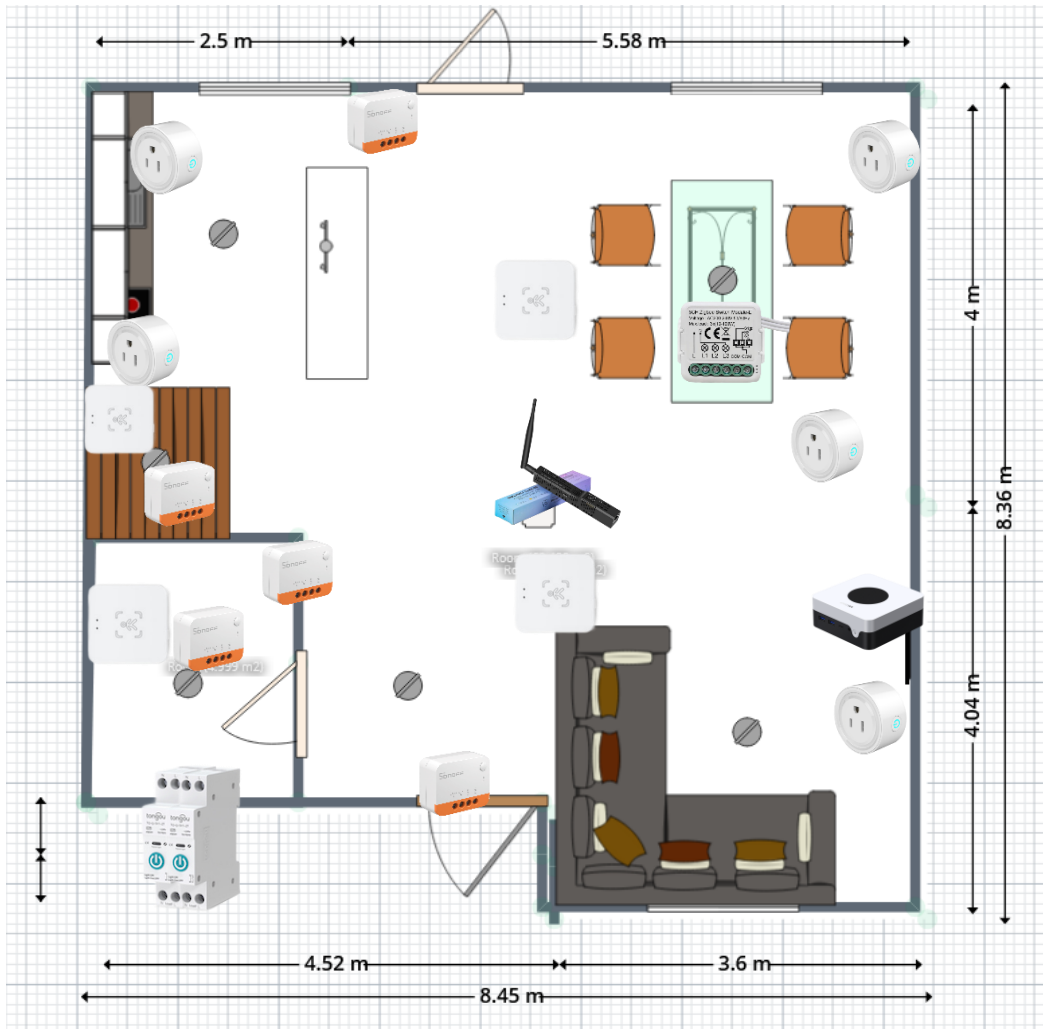
Componente IoT	Marca/Modelo	Función	Protocolo	Observaciones
Interruptor Inteligente (Simple)	Sonoff ZBMINI L2 Zigbee	Control individual de la iluminación	Zigbee	Compatible con Zigbee2MQTT y Home Assistant; instalación sencilla ya que no se necesita neutro en entornos residenciales.
Interruptor Inteligente (Doble)	GIRIER Tuya ZigBee 3.0	Control simultáneo de dos circuitos de iluminación	Zigbee	Interruptor para el control de interruptores dobles.
Enchufe Inteligente	Tuya Smart 16A BSD01	Medición y control del consumo energético de dispositivos	Zigbee	Permite monitoreo de energía y potencia en tiempo real y contribuye a la optimización del consumo energético.

Sensor de Presencia	Tuya ZG-205Z/A	Detección de movimiento para automatizar la activación de sistemas	Zigbee	Facilita la automatización y reduce el consumo al activar dispositivos solo cuando es necesario.
Repetidor Zigbee	Tuya	Extender la señal zigbee	Zigbee	Optimiza la comunicación y mejora la estabilidad de la red
Disyuntor Inteligente para Consumo Total	Tongou TO-Q-SY1-JWT	Monitoreo global del consumo eléctrico en cada fase de la vivienda	Zigbee/Wifi	Se instala uno por cada fase para obtener una visión completa y detallada del consumo energético.

2.2.6. Ubicación de los dispositivos

La vivienda en donde se instalaron los dispositivos IoT, como se muestra en la Figura 5 y Figura 6, cuenta con los espacios de sala, cocina, comedor y baño de visitas ubicados en el primer piso. Además, en el segundo piso se encuentran los dormitorios, un baño compartido y un área de gradas que conecta ambos niveles. Cada uno de estos espacios ha sido equipado con dispositivos inteligentes estratégicamente ubicados para optimizar el monitoreo y control del consumo energético, garantizando así una gestión eficiente de la domótica en la vivienda.

Figura 5
Distribución de los Dispositivos IoT del Primer Piso



En el primer piso de la vivienda, los dispositivos IoT han sido distribuidos estratégicamente para maximizar el control y la eficiencia energética. A continuación, se describe la disposición de los dispositivos en cada área:

Sala: Se ha instalado enchufes inteligentes en los puntos clave para controlar dispositivos electrónicos como el centro de entretenimiento y monitorear el consumo del router wi-fi que es un dispositivo que siempre esta encendido, dos interruptores inteligentes para controlar y monitorear el foco central y el marco de ojo de buey que se encuentran tanto en la sala como en el comedor. También se cuenta con un sensor de presencia para la automatización del sistema de iluminación.

Comedor: Se ha colocado un sensor de presencia que permite activar o desactivar las luces de forma automática según la ocupación del espacio, de igual manera un enchufe inteligente

que controle la iluminación. Se han colocado un enchufe inteligente que monitorea la energía de la refrigeradora.

Cocina: Se han instalado enchufes inteligentes para monitorear el consumo de electrodomésticos como la licuadora y el dispositivo Alexa. Un interruptor inteligente permite controlar la iluminación de la zona.

Baño de visitas: Cuenta con un sensor de presencia para el control automatizado de la iluminación y un interruptor inteligente que gestiona las luces.

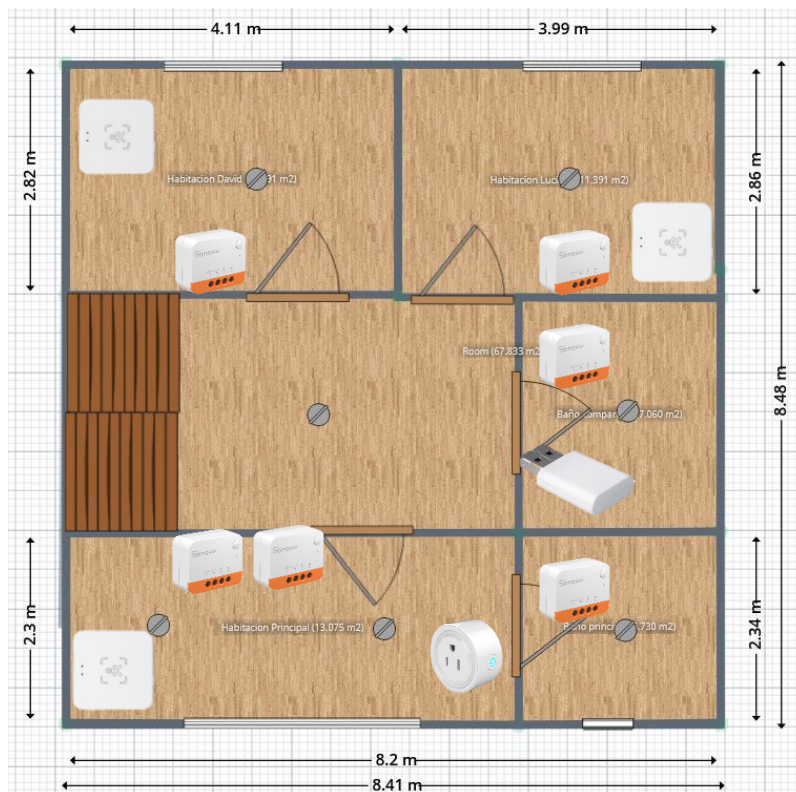
Escaleras: Se ha instalado un sensor de presencia para la activación automática de la iluminación en el área de gradas cuando se detecta movimiento y un interruptor inteligente para el control de las luces.

Tablero eléctrico: Se han instalado dos interruptores inteligentes de 63A, cada uno para adquirir valores de energía, kWh, A, V, W, en cada una de las fases de la vivienda.

Servidor y Gateway Zigbee: Ubicados cerca al router proveedor de internet y en una posición central del primer piso para optimizar la conectividad y el control de todos los dispositivos IoT dentro de la vivienda.

Figura 6

Distribución de los IoT del Segundo Piso.



En el segundo piso se ha instalado un enchufe inteligente que controla y monitorea la tv del cuarto principal, un interruptor en cada cuarto que controla la iluminación, a excepción del cuarto principal ya que hay dos interruptores, para poder mejorar la señal Zigbee, se instaló un repetidor en la zona central del pasillo, y tres sensores de presencia, uno para cada habitación.

Conexión e instalación de los interruptores inteligentes

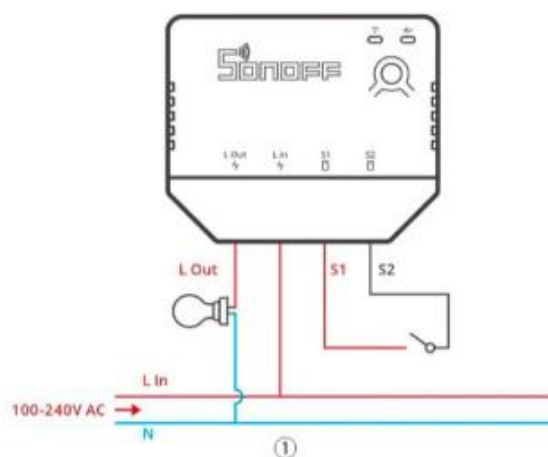
Para la implementación de la presente investigación, se ha utilizado interruptores inteligentes Sonoff ZBMINI L2 para el control de luminarias individuales y Girier Tuya ZigBee 3.0 para el control de luminarias dobles.

Conexión del interruptor Sonoff ZBMINI L2

El Sonoff ZBMINI L2 es un módulo interruptor inteligente de tipo relé que permite el control de un solo circuito de iluminación. Su principal ventaja es la capacidad de operar sin la necesidad de un cable neutro, lo que hace más sencilla su instalación ya que no se requiere pasar cables por los conductos eléctricos.

Figura 7

Esquema de conexión relé ZBMINIL2.



Nota: Tomado de (Mia, 2023)

Según la Figura 7, la conexión se realiza de la siguiente manera:

L In (fase de entrada): Se conecta directamente a la línea de alimentación.

L Out (fase de salida): Se conecta al cable de fase que alimenta la luminaria.

S1 y S2 (conexión para interruptor externo): Permiten la instalación de un interruptor físico convencional para el control manual.

Funcionamiento:

Este dispositivo permite el encendido y apagado de la luminaria a través del interruptor físico y de manera remota mediante la plataforma domótica. La conexión Zigbee posibilita la automatización de la iluminación, integrando el control con sensores de presencia o programación de horarios.

Conexión del interruptor doble Girier Tuya ZigBee 3.0

El interruptor Girier Tuya ZigBee 3.0 permite el control independiente de dos circuitos de iluminación.

Figura 8

Esquema de conexión relé ZBMINIL2



Esquema de conexión:

Como se observa en la Figura 8, la conexión de este dispositivo se realiza de la siguiente manera:

L (línea de alimentación): Se conecta a la fase del sistema eléctrico.

N (neutro): Se conecta al neutro de la instalación.

L1 y L2 (salida a luminarias): Se conectan a cada una de las luminarias controladas de manera independiente.

S1 y S2 (interruptores físicos): Permiten la integración con interruptores convencionales para el control manual.

Conexión del disyuntor Tongou TO-Q-SY1-JWT

La vivienda en la cual se está desarrollando la investigación tiene dos fases y un neutro, por lo que como se observa en la figura 9 se conectó un equipo por fase, para que de esta manera tener la medición independiente y de alguna manera se facilite la toma de decisiones.

Figura 9

IoT de Medición de los Circuitos Generales



2.2.7. Integración de los dispositivos a Home Assistant

Una vez instalado home Assistant en el servidor, instalado los equipos, el bróker mosquitto, y el complemento zigbee2mqtt se debe añadir los dispositivos, de la siguiente manera:

Al energizar el equipo, se debe asegurar que este en modo integración, es decir que se encuentre el led titilando, posteriormente entrar en home Assistant al apartado: Configuración/Complementos/Zigbee2Mqtt/, y abrir la interfaz.

Como se muestra en la figura 10, hacer clic en el apartado “Permitir unirse desde (Todos)”, automáticamente aparecerá el dispositivo IoT que se quiere integrar, cambiar el ID, posterior se añadirá al dashboard de home Assistant automáticamente.

Figura 10

Pantalla de Zigbee2Mqtt



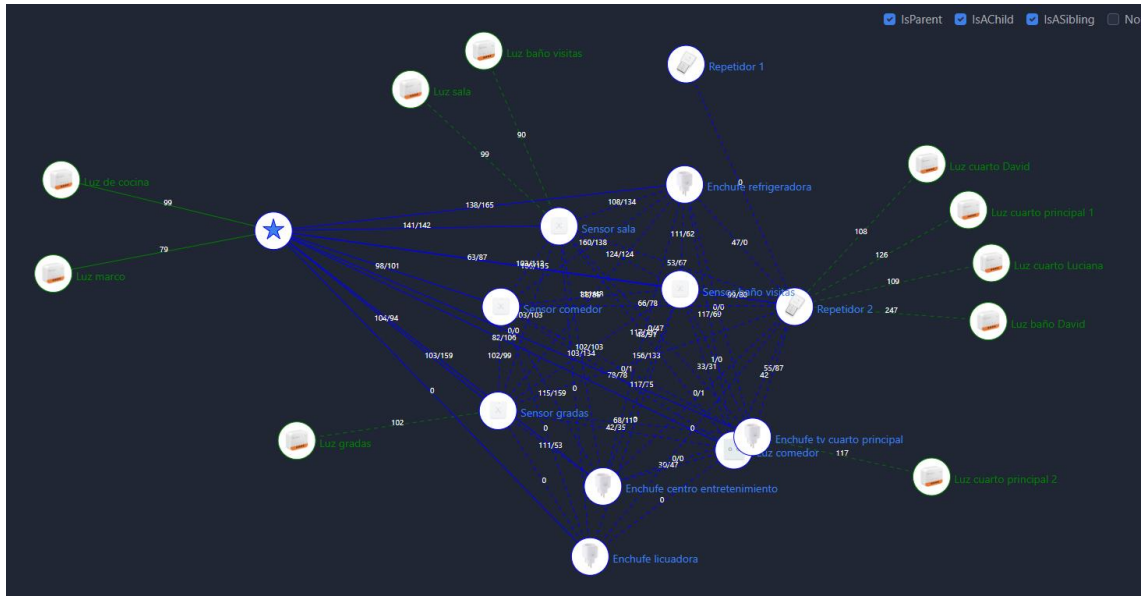
#	Foto	Nombre amistoso	Dirección IEEE	Fabricante	Modelo	LQI	Alimentación
1		Luz de cocina	0xb0c7deffee975ca (0x093C)	SONOFF	ZBMINIL2	87	
2		Sensor sala	0xa4c13868da08bbac (0xA068)	Tuya	ZG-205Z/A	145	
3		Enchufe licuadora	0x70b3d52b600b8511 (0xBDD5)	Tuya	TS011F_plug_3	69	
4		Enchufe refrigeradora	0x70b3d52b600bb873 (0x0479)	Tuya	TS011F_plug_3	123	
5		Sensor comedor	0xa4c138be7e8bd5de (0x0697)	Tuya	ZG-205Z/A	134	
6		Luz marco	0x0ceff6ffe594a79 (0x7E3E)	SONOFF	ZBMINIL2	102	
7		Luz sala	0xb42712ffe40ffc2 (0xFE32)	SONOFF	ZBMINIL2	127	
8		Luz comedor	0xa4c138ce318ef96c (0x28D9)	Tuya	TS0002_basic	54	

La figura 11 representa la estructura de la red Mesh Zigbee implementada en el sistema domótico, donde el coordinador (estrella azul) actúa como el nodo central que gestiona la comunicación entre los dispositivos. Existen enrutadores que el caso del proyecto son los enchufes inteligentes y los sensores de presencia, que extienden la señal y permiten la conexión de dispositivos finales que son los interruptores para la iluminación, los cuales dependen de los enrutadores o del coordinador para transmitir datos. Las líneas en la imagen indican los enlaces directos e indirectos, con valores numéricos que representan la calidad de la conexión, donde un número más alto indica una mejor estabilidad.

El uso de esta red Mesh Zigbee garantiza una comunicación eficiente y estable, permitiendo la autorreparación en caso de fallos, la ampliación del alcance mediante enrutadores y la optimización del consumo energético al permitir que los dispositivos finales entren en modo de bajo consumo cuando no están activos. Esto mejora la fiabilidad del sistema domótico y facilita la gestión del consumo eléctrico en el hogar.

Figura 11

Red Mesh del Proyecto



2.2.8. Programación de automatizaciones.

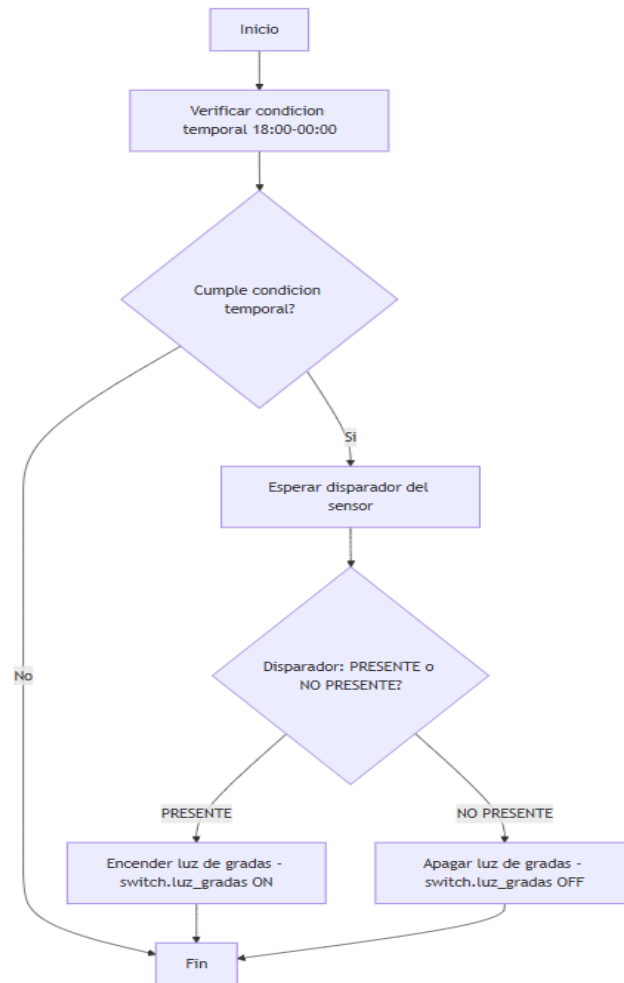
En el presente proyecto se ha automatizado la iluminación así como también los interruptores inteligentes, ya que permite optimizar el consumo energético, y mediante los datos obtenidos por los sensores de potencia poder tomar decisiones. A través de la creación de reglas y scripts, se logra un control centralizado y dinámico que responde a condiciones específicas, contribuyendo a la eficiencia energética y al confort del usuario. A continuación, se describe el proceso de automatización de los dispositivos implementados en Home Assistant.

Automatización de la iluminación

En la figura 12 se muestra la lógica de la automatización de la iluminación, primero comprueba si la hora actual se encuentra entre las 18h00 y 00h00, en caso de que la condición se cumpla, se espera a la señal del sensor de presencia, caso contrario la automatización finaliza sin realizar ninguna acción, posterior se monitorea la señal enviada por el sensor de presencia, en donde si el sensor detecta presencia se enciende la luz, si el sensor indica ausencia el foco se apaga. Garantizando que la iluminación de las gradas se active solo cuando es necesaria y se apague en ausencia de presencia durante el intervalo de tiempo definido.

Figura 12

Diagrama de Flujo de la Automatización de Luces



Generalmente las automatizaciones en Home Assistant se las realiza en formato YAML lo cual permite una configuración clara, y fácilmente modificable, como se muestra en el anexo 1, la estructura del código tiene tres niveles principales:

Disparadores (Triggers): Son los eventos o condiciones que inician la ejecución de una automatización. Estos pueden ser temporales como la hora o día, basados en la detección de presencia por medio de sensores o derivados del estado de un dispositivo como por ejemplo el estado de un interruptor ya sea encendido o apagado.

Condiciones: Permiten restringir la ejecución de las acciones, asegurando que la automatización se ejecute únicamente cuando se cumplen ciertos criterios dados.

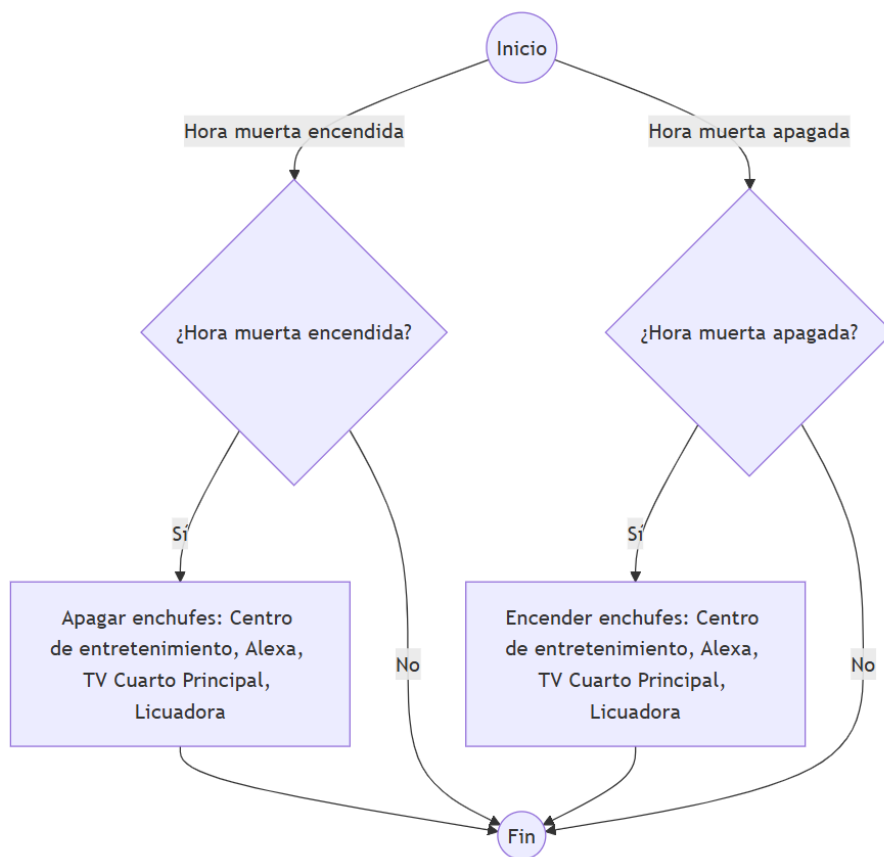
Acciones: Son las tareas que se ejecutan como resultado de la automatización, tales como encender o apagar luces, activar enchufes, o enviar notificaciones.

Automatización de enchufes inteligentes

En lo que tiene que ver con los enchufes, la lógica se muestra en la figura 13. se realizó en primer lugar un sensor ficticio binario, llamado “hora muerta”, el cual muestra encendido a las 23h00 y muestra apagada 6h00, con esto se puede realizar la lógica de si el sensor hora muerta este encendido, apaga los enchufes centro d entretenimiento, Alexa, TV cuarto principal, Licuadora, y, en caso de que el sensor ficticio este apagado, realiza lo contrario, enciende los enchufes mencionados.

Figura 13

Diagrama de Flujo de la Automatización de los Enchufes

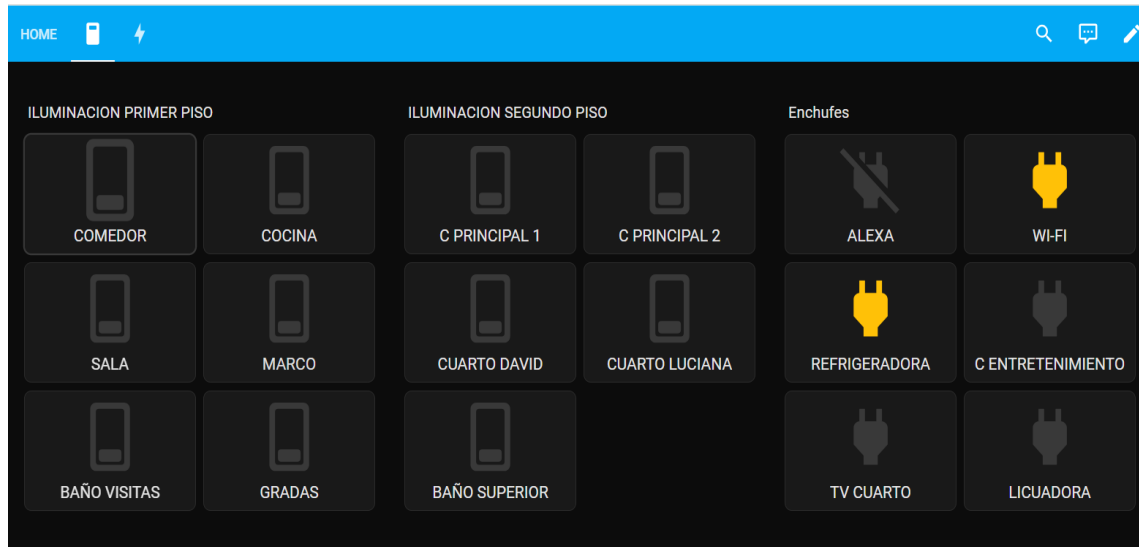


Dashboard para el control de los dispositivos

Se ha desarrollado un dashboard en Home Assistant con el objetivo de centralizar el control y la monitorización de los dispositivos IoT instalados en la vivienda. Durante su elaboración se definieron vistas específicas que agrupan los dispositivos por áreas, permitiendo una visualización clara y ordenada de la información relevante. Se configuraron dashboards personalizadas que muestran el estado en tiempo real de interruptores inteligentes, enchufes y sensores de presencia, facilitando la operación y visualización de datos en tiempo real.

Figura 14

Dashboard para Control de Dispositivos



El procedimiento consistió en ajustar la interfaz gráfica de Home Assistant, optimizando la dashboard a través de "Entities" y "Button", mediante los cuales se otorga nombres e íconos descriptivos a cada aparato, lo que resultó en una navegación sencilla y una gestión eficaz de las automatizaciones. Además, se incorporaron accesos inmediatos a funciones fundamentales, como la gestión de la iluminación y la puesta en marcha de escenas programadas, asegurando de esta manera un ambiente domótico dinámico y flexible.

Finalmente, se llevó a cabo una etapa de pruebas y modificaciones para garantizar que la información se renovara de manera constante y que los comandos se llevaran a cabo de manera adecuada. Este dashboard, presentado en la Figura 14, es una herramienta para el control y la administración de las automatizaciones.

2.2.9. Análisis Energético

Para realizar un análisis exhaustivo del uso eléctrico de los aparatos conectados y su influencia en la eficiencia energética de la vivienda, se han establecido varias tácticas de medición. Además de emplear aparatos específicos para documentar el consumo total, como los disyuntores inteligentes y los enchufes inteligentes vinculados a los electrodomésticos principales, se han creado sensores auxiliares con el complemento Home Assistant PowerCalc, con el objetivo de supervisar de manera individual el consumo de cada componente de iluminación.

Estos sensores auxiliares facilitan el monitoreo del consumo de energía de cada elemento de iluminación, empleando como referencia la potencia indicada en la Tabla 6. Los valores de

potencia utilizados en estos cálculos corresponden al vatiaje de los focos que conforman cada interruptor, lo que permite estimar con precisión la energía utilizada por cada zona iluminada del hogar, un ejemplo es la luz de cocina como se observa en la figura 15. Esta estrategia no solo mejora la precisión del análisis energético, sino que también facilita la identificación de posibles áreas de optimización y ahorro en el consumo eléctrico

Figura 15

Visualización de un Sensor de Iluminación

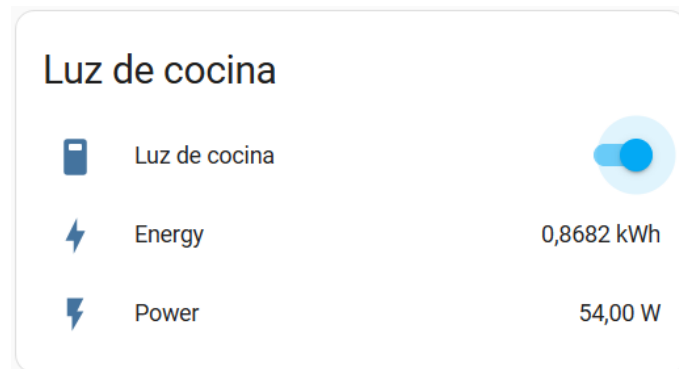


Tabla 6

Luminaria y su Potencia

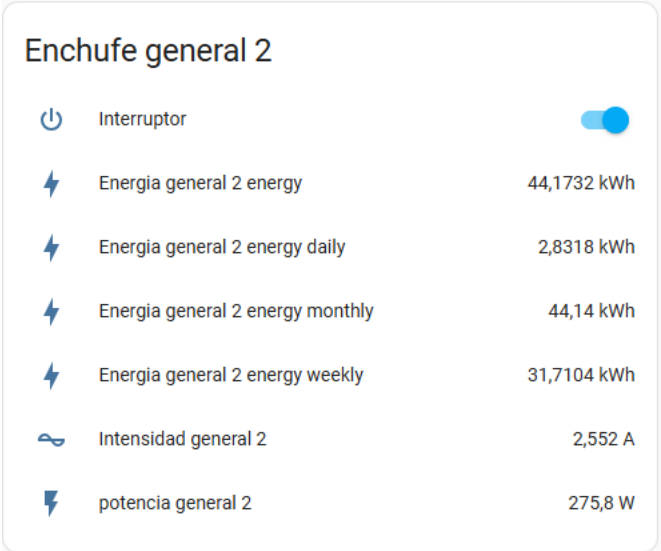
Entidad	Potencia (W)
Luz cocina	54
Luz sala	33
Luz comedor	20
Luz marco	120
Luz gradas	18
Luz Baño visitas	18
Luz cuarto David	18
Luz cuarto Luciana	18
Luz cuarto principal 1	18
Luz cuarto principal 2	36
Luz baño David	32

A partir de los disyuntores y enchufes inteligentes, se desarrollaron sensores cíclicos que registran el consumo energético y se reinician automáticamente en intervalos diarios, semanales y mensuales. Como ejemplo, en la Figura 16 se muestra el disyuntor general 2, el cual monitorea y controla el consumo de todos los circuitos de la vivienda, con excepción del sistema de iluminación. Esta implementación permite obtener una visión más detallada y segmentada

del consumo energético, facilitando el análisis de patrones de uso y la optimización de la eficiencia eléctrica del hogar.

Figura 16

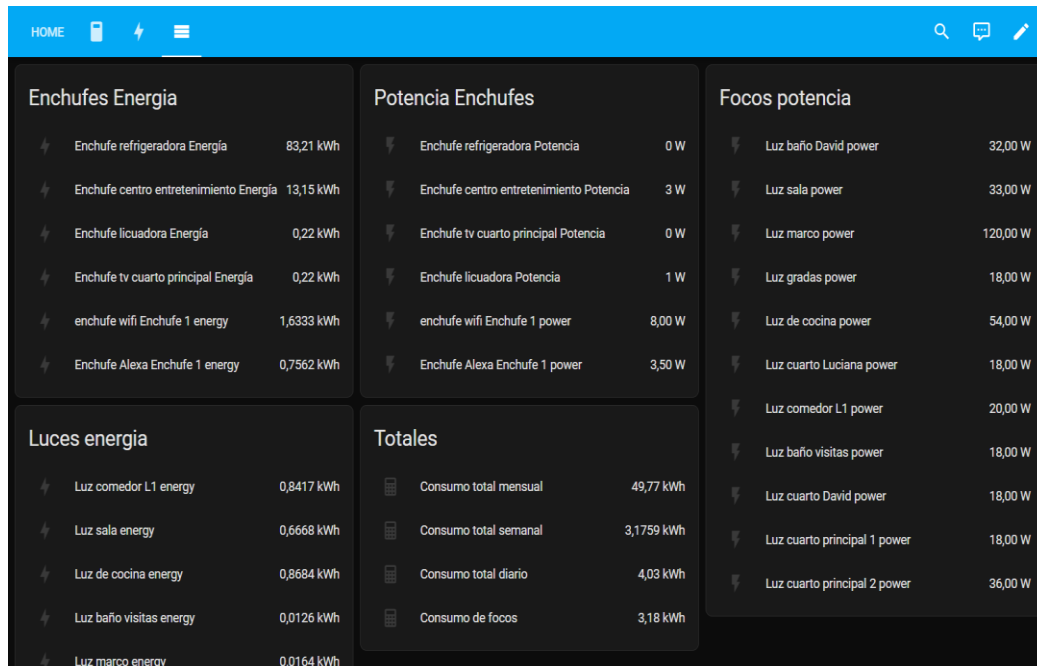
Datos del Sensor Enchufe general 2



El dashboard desarrollado en Home Assistant que se muestra en la figura 17 tiene como objetivo principal el monitoreo y análisis del consumo energético de los diferentes dispositivos y sistemas de iluminación del hogar. Para lograrlo, se ha incorporado datos recolectados mediante enchufes inteligentes y sensores auxiliares, que facilitan el registro de tanto el consumo energético como la potencia en tiempo real. Con esto se puede visualizar una perspectiva del comportamiento energético en el hogar, lo que facilita la toma de decisiones para incrementar la eficiencia y minimizar el derroche de energía.

Figura 17

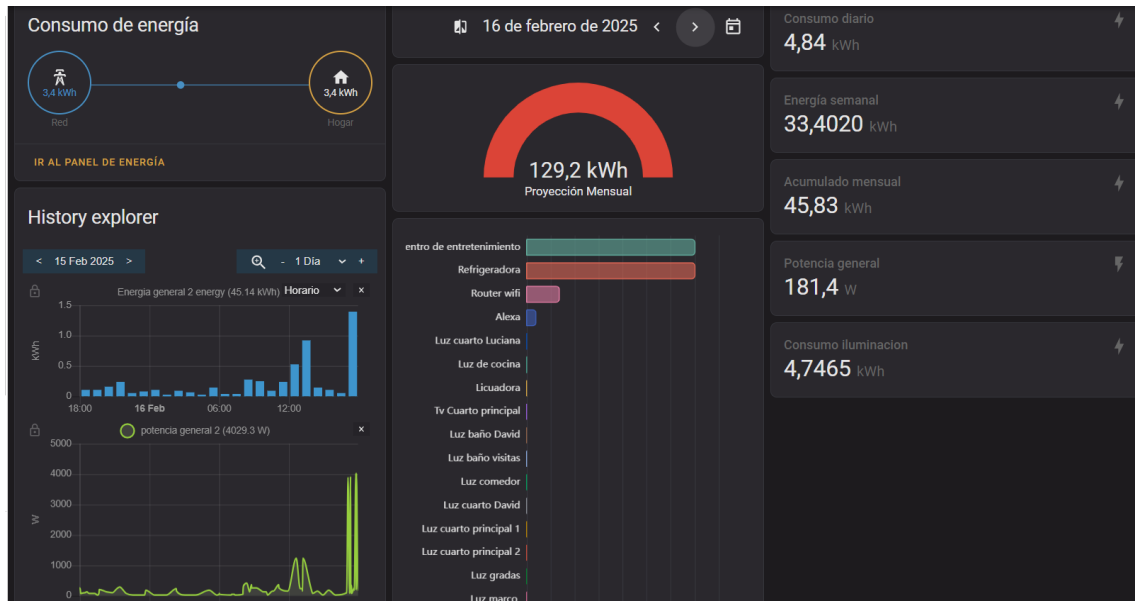
Dashboard de Energía y Potencia Dispositivos IoT



La interfaz del panel de control se divide en varias secciones importantes. En la primera, se ilustra el consumo de energía de los electrodomésticos conectados a los enchufes inteligentes, como el refrigerador, el centro de entretenimiento y otros aparatos. Otra sección muy relevante es la de la potencia en tiempo real, que te permite saber qué dispositivos están operativos en un momento dado. Además, hay un monitoreo del consumo de iluminación donde se registra la energía utilizada por cada luz instalada en diferentes zonas de la casa. Por último, una sección de totales resume el consumo diario, semanal y mensual, permitiendo evaluar el uso de energía de la casa en general.

Figura 18

Dashboard Análisis Energético General



Se realizó un diseño más profundo en el monitoreo del consumo energético del hogar, presentado en la figura 18, elaborando un desglose más explícito del gasto energético por el hogar mediante la construcción de diversos módulos que permiten interpretar la información. En la parte alta, un resumen del gasto de energía se da marcando la electricidad que entra de la red y la que se gasta dentro de la vivienda, lo que facilita la comprobación del balance de la medición. También se incluye un indicador del gasto que se espera en base al consumo actual durante el mes, conteniendo una estimación del consumo energético que se proyecta en el presente mes.

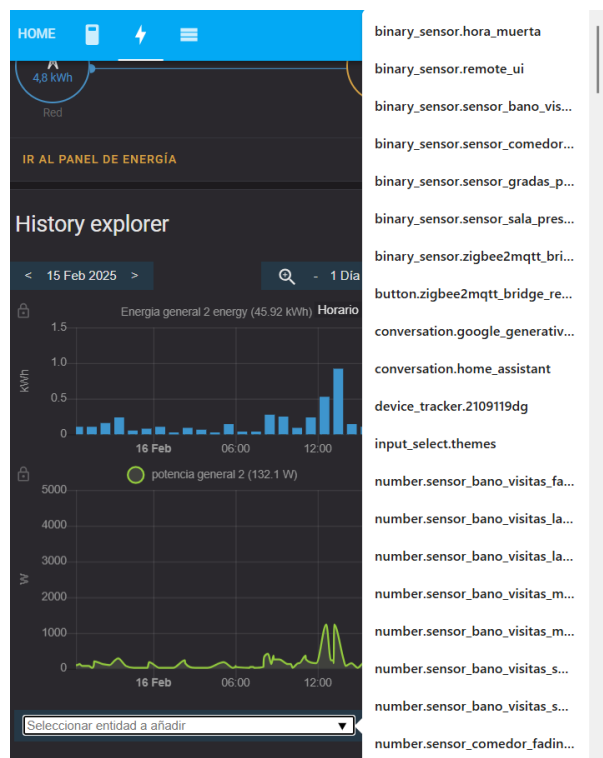
En la sección de historial de consumo, se presentan gráficos de barras y líneas que representan en tiempo real y datos históricos del consumo eléctrico de cada dispositivo, y también en general de todo el hogar, permitiendo visualizar los momentos de mayor demanda energética. Asimismo, se muestra la potencia general en tiempo real, lo que ayuda a identificar picos de consumo que podrían corresponder a la activación de ciertos dispositivos o electrodomésticos. Un gráfico de barras comparativo desglosa el consumo por dispositivo, evidenciando cuáles son los aparatos que más energía demandan, con la refrigeradora y el centro de entretenimiento como los principales consumidores.

Finalmente, en el lado derecho del panel, se encuentran métricas acumuladas que detallan el consumo diario, semanal y mensual, junto con la potencia total registrada y el consumo específico de iluminación. Gracias a esta organización, se puede no solo monitorear el consumo

en tiempo real, sino también detectar patrones de uso y oportunidades de optimización, contribuyendo a una gestión energética más eficiente dentro del hogar.

Figura 19

Listado de Entidades que se Pueden Analizar.



Para la elaboración de los diagramas históricos se puede escoger cualquier entidad para graficar (figura 19), ya sea interruptor, enchufe o sensor, o inclusive aumentar en numero de gráficas y así comparar el consumo diferentes elementos con el total ya sea diario, semanal, mensual.

b. Explicación del aporte

En este proyecto se han incorporado acciones dinámicas que facilitan a los usuarios la interacción con el sistema domótico y obtener datos sobre el uso de energía y la eficacia de los aparatos de forma inmediata. Para llevar a cabo esta interactividad, se emplean interfaces sencillas, tableros en tiempo real, y la elección de los dispositivos que serán ilustrados y examinados. Todo esto permite tomar decisiones acertadas y modificar comportamientos basándose en la información obtenida.

El sistema pone en marcha una serie de aparatos que respaldan el aprendizaje y el saber en el campo de la eficiencia energética. Estos aparatos comprenden disyuntores inteligentes, tomacorrientes y enchufes con medida de consumo, sensores auxiliares de energía y potencia, y en Home Assistant, miles de tableros personalizados que montan y muestran la información. Estos aparatos no solo desempeñan un papel técnico en la evaluación y regulación del consumo, sino que también actúan como herramientas educativas, dado que posibilitan al usuario visualizar y examinar datos, identificar tendencias y comprender el efecto de su uso.

Para evaluar el rendimiento del sistema, así como la efectividad de las intervenciones, se han diseñado actividades de evaluación que analizan la comparación de los datos antes y después de la implementación, el análisis de indicadores clave de rendimiento (como la disminución del consumo de energía y el aumento en la eficiencia de los dispositivos). Esto permite determinar el impacto de la propuesta, asegurar que las mejoras en el consumo de energía se transformen en beneficios reales y realizar modificaciones basadas en evidencias.

Por último, puede ayudar construir conocimiento sobre la eficiencia energética. En este sentido, las más relevantes son los talleres prácticos de configuración y uso de los dispositivos inteligentes, el análisis de datos en tiempo real a través de los dashboards disponibles, y ejercicios de simulación destinados a permitir que los usuarios jueguen con diferentes escenarios de consumo. Estas actividades están dirigidas hacia la creación de una cultura de aprendizaje activo, experimentación y compartir experiencias, comprensión profunda de los conceptos y estrategias para el uso eficiente de la energía en el hogar.

c. Estrategias y/o técnicas

Durante el desarrollo de este proyecto se usaron estrategias metodológicas de aprendizaje colaborativo y colectivo, dirigidas a lograr aprendizajes a partir de una práctica y reflexión real. Se planearon acciones que propician la participación activa de los usuarios en el control y mejora del consumo de energía, donde es posible recibir, manipular y analizar información en tiempo real. Este enfoque ayuda a desarrollar el pensamiento crítico, la solución de casos, y el análisis del uso de la energía de una manera tal que el usuario se convierte en un activo de la educación.

Por otra parte, se cubrieron diferentes oportunidades con herramientas tecnológicas que permiten la aplicación del sistema domótico y la posterior visualización y análisis del gasto eléctrico. Se puede destacar Home Assistant, ya que funciona como el servidor donde se integran y administran todos los dispositivos IoT a través de dashboards y automatización.

Se emplearon dispositivos como disyuntores inteligentes, enchufes monitoreados y sensores Zigbee, para la adquisición de datos en tiempo real. Estos dispositivos fueron escogidos porque permiten una integración robusta y escalable, facilitando la adquisición de datos que a su vez, apoya el proceso de aprendizaje y la toma de decisiones en función de la información obtenida.

2.3 Validación de la propuesta

Para la selección de los especialistas, así como Cevallos (2020), se consideró un perfil que cumpliera con determinados requisitos, tales como: tener una formación académica acorde con el tema de estudio, contar con experiencia profesional y/o académica en el ámbito de la gestión administrativa, y mostrar un alto nivel de interés en participar. La tabla 7 proporciona información detallada sobre los participantes que contribuyeron a la validación del modelo.

Tabla 7

Descripción de perfil de validadores

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
Diego Orlando Imbaquingo Velasco	14	Ingeniero en Electrónica y Control Magister en electrónica y automatización	Jefe del Centro de Control Scada
Sandro Bolívar Enríquez Tulcanaza	10	Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico Magister en electrónica y automatización	Director de Generación
Fernando Andrés Hurtado Morillo	9	Ingeniero Eléctrico	Jefe de Operación, Centro de Control

Tabla 8

Criterios de Evaluación

Criterios	Descripción
Impacto	Representa el alcance que tendrá el modelo de gestión y su representatividad en la generación de valor público.
Aplicabilidad	La capacidad de implementación del modelo considerando que los contenidos de la propuesta sean aplicables
Conceptualización	Los componentes de la propuesta tienen como base conceptos y teorías propias de la gestión por resultados de manera sistémica y articulada.
Actualidad	Los contenidos de la propuesta consideran los procedimientos actuales y los cambios científicos y tecnológicos que se producen en la nueva gestión pública.
Calidad Técnica	Miden los atributos cualitativos del contenido de la propuesta.
Factibilidad	Nivel de utilización del modelo propuesto por parte de la Entidad.
Pertinencia	Los contenidos de la propuesta son conducentes, concernientes y convenientes para solucionar el problema planteado.

Tabla 9*Evaluación realizada por el Mg. Diego Imbaquingo*

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X

Tabla 10*Evaluación realizada por el Mg. Sandro Enríquez*

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia				X	

Tabla 11*Evaluación realizada por el Ing. Fernando Hurtado*

CRITERIOS	EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				
	En Total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	Totalmente Acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización				X	
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X

2.4. Matriz de articulación de la investigación.

La Tabla 12 resume de forma concisa cómo se integró el producto final, apoyándose en los fundamentos teóricos, metodológicos, estratégicos

Tabla 12

Matriz de articulación

Ejes o partes principales del proyecto	Breve descripción de los resultados de cada parte	Sustento teórico aplicado en la construcción del proyecto	Metodologías, herramientas técnicas y tecnológicas empleadas
1. Definición de los componentes y requisitos del sistema	1.1. Identificación de los dispositivos IoT a utilizar (enchufes inteligentes, sensores de presencia, controladores de iluminación, etc.). 1.2. Análisis de consumo energético de los dispositivos. 1.3. Especificación de protocolos de comunicación y arquitectura de red Zigbee. 1.4. Determinación de métricas para evaluar la eficiencia energética.	- Internet de las Cosas (IoT) - Protocolos de comunicación Zigbee - Gestión eficiente de la energía - Domótica y automatización del hogar	- Comparación de dispositivos y selección en función del consumo energético y compatibilidad. - Análisis de viabilidad técnica y económica. - Evaluación de eficiencia mediante registros de consumo eléctrico en Home Assistant.
2. Diseño del sistema domótico	2.1. Esquema de red Zigbee con nodos, repetidores y controlador central. 2.2. Diseño del dashboard en Home Assistant para monitoreo y control. 2.4. Definición de reglas de automatización y optimización del consumo energético.	- Diseño de redes de comunicación inalámbrica - Integración de sistemas IoT - Automatización y control inteligente.	- Uso de Home Assistant para la centralización de datos y control de dispositivos. - Programación de automatizaciones en YAML

3. Implementación del sistema	3.1. Instalación y configuración de enchufes inteligentes, sensores y controladores Zigbee. 3.2. Integración de los dispositivos en la plataforma Home Assistant. 3.3. Implementación de reglas de automatización para optimización del consumo. 3.4. Configuración del sistema de almacenamiento y análisis de datos energéticos.	- Sistemas embebidos en domótica - Configuración de redes inalámbricas Zigbee	- Instalación y configuración de dispositivos Tuya y Sonoff Zigbee. - Implementación de Home Assistant como software central. - Configuración de bases de datos en InfluxDB y visualización en Grafana. - Pruebas de funcionamiento y medición de eficiencia energética.
4. Evaluación del sistema y análisis de eficiencia energética	4.1. Monitoreo del consumo energético durante un periodo determinado. 4.2. Análisis de datos para identificar patrones de consumo. 4.3. Evaluación de impacto y recomendaciones para mejorar la eficiencia.	- Análisis de datos en eficiencia energética - Evaluación de impacto en consumo energético	- Uso de Loelace para la visualización de datos. - Análisis de patrones de consumo - Evaluación de impacto con métricas de ahorro energético.

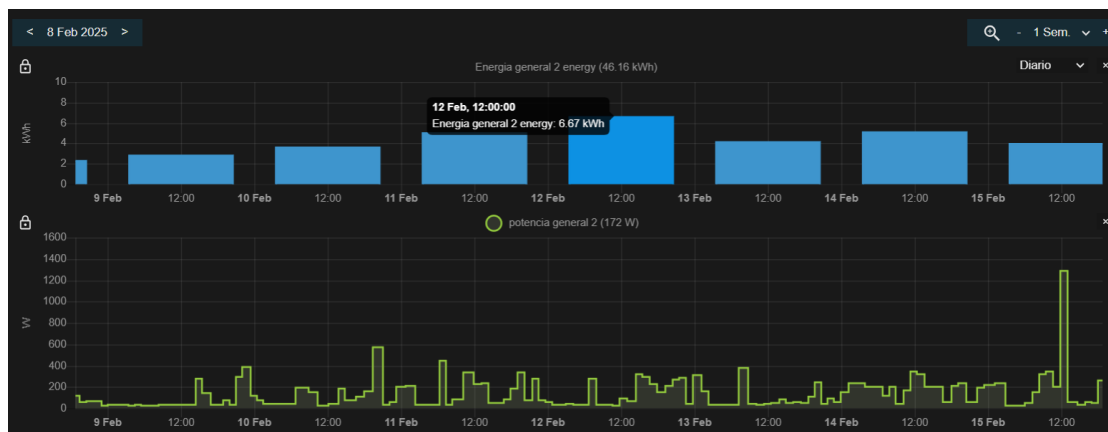
2.5. Análisis de resultados. Presentación y discusión.

Se ha realizado un monitoreo continuo del consumo diario de energía, así como de los dispositivos IoT presentes en la vivienda, con el fin de identificar patrones de uso y picos de consumo que permitan optimizar la gestión energética. Tal como se observa en la Figura 20, el 12 de febrero registró el consumo más alto, alcanzando los 6.67 kWh. A partir de este dato, se procedió a analizar la energía y la potencia consumida de forma más detallada, información que se presenta en la Figura 21. En dicho gráfico se aprecian picos de potencia cercanos a los 3000W, los cuales son indicativos del uso de la ducha eléctrica. Estos picos se repitieron en cuatro ocasiones a lo largo del día, resultando en un incremento aproximado de 2 kWh asociado exclusivamente a la ducha.

La Figura 20 presenta un gráfico de barras del consumo diario de duchas, facilitando una comparación entre distintos días y reconociendo las fechas de mayor demanda. En la Figura 21 se observa el consumo horario del 12 de febrero de 2025, en donde se grafica los momentos en los que se registró la máxima potencia. La ducha eléctrica es el elemento que mas incrementa la factura de energía por lo que se hace imprescindible limitar o moderar su uso para disminuir el consumo de energía eléctrica.

Figura 20

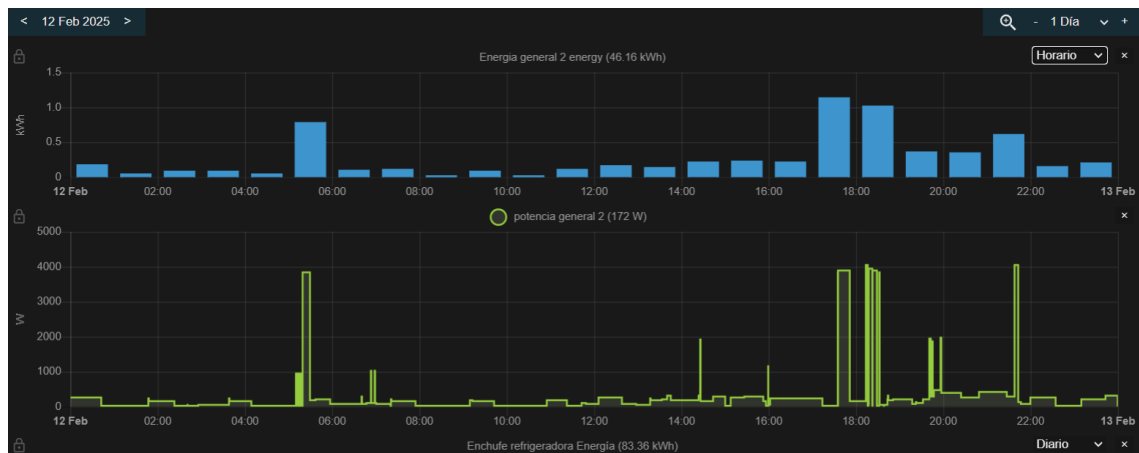
Gráfica de barras de consumo diario



Mediante esta información, es posible tomar decisiones exactas para maximizar el uso de energía, como restringir o definir horarios de ducha más adecuados. Estas medidas contribuyen a disminuir el consumo de energía, mientras promueven un sentido de responsabilidad en relación al uso de energía en el hogar.

Figura 21

Gráfica de barras de consumo horario del 12 feb 2025



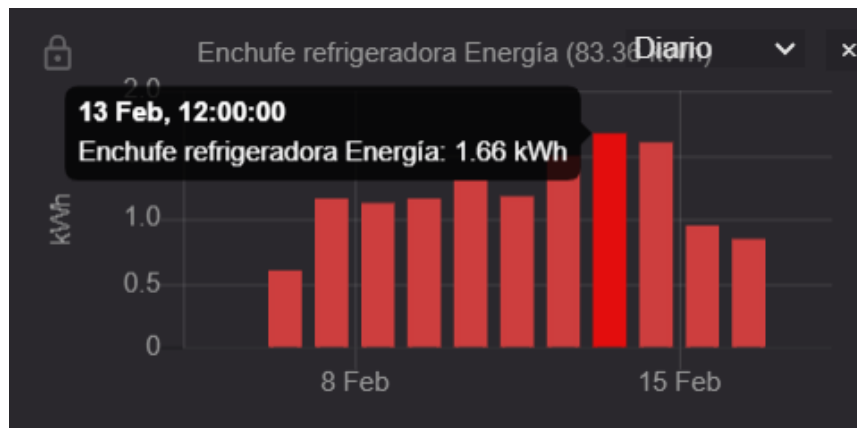
Otro análisis fue realizado sobre el uso energético de la refrigeradora usando la misma metodología observacional diaria que se utilizó para otras máquinas. Como indica la figura 22, este electrodoméstico tenía una luz indicativa que sugería un aumento en el uso energético. Por esa razón, se empezó revisando los parámetros de configuración y operación, y en ese sentido se logró identificar que el termostato había sido fijado en dos, siendo el nivel uno el más eficiente.

Algunos ajustes de los termostatos en refrigeradores han sido conocidos para ayudar a bajar el uso energético diario de los aparatos electrónicos. En este caso se logró mejorar la economía de energía que el equipo gastaba durante su funcionamiento en más de 0.5 kWh al día. Este cambio ayuda a mejorar la eficiencia energética de la maquina sin cambiar la temperatura de refrigerador que se debe mantener, y muestra la necesidad de efectuar ajustes en los electrodomésticos a intervalos adicionales.

La figura 22 sirve para mostrar que uno de los cambios que se pueden hacer en la configuración de la refrigeradora implica un cambio en la cantidad de energía que se usa en el hogar. El monitoreo permanente del uso de energía limitado para dispositivos interactivos resalta la necesidad de contar con un sistema automatizado de control, seguimiento y gestión de energía, que permita identificar y corregir cualquier fallo que lleve a un mayor consumo de energía.

Figura 22

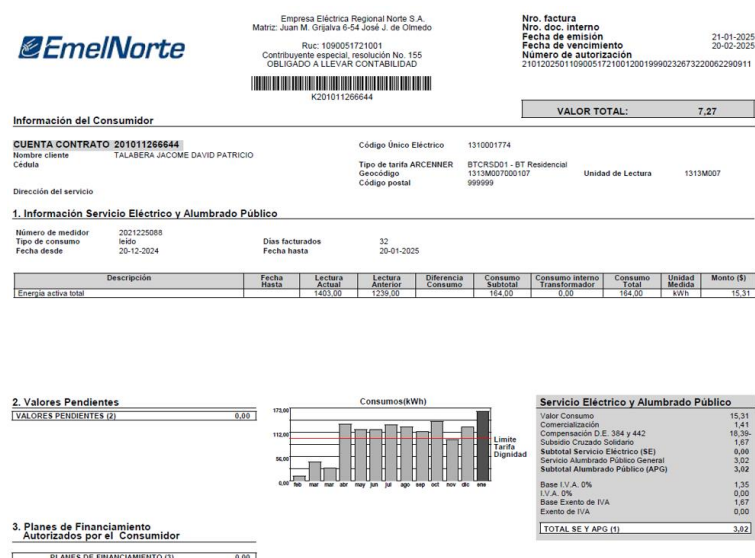
Gráfica de barras de consumo diario de la refrigeradora



En la figura 23 se observa la planilla de electricidad del mes de enero, en donde se tuvo un consumo 164 kWh, mientras que la estimación para el mes de febrero aproximadamente es de 130 kWh de acuerdo con la figura 18, evidenciando una reducción de 34 kWh en consumo eléctrico. Este descenso puede atribuirse a cambios en los hábitos de uso de dispositivos de alto consumo, como la ducha eléctrica o la refrigeradora, y a la implementación de estrategias de optimización energética. Al comparar ambas cifras, se observa una tendencia positiva hacia el ahorro, lo cual permite evidenciar la efectividad de las medidas aplicadas e identificar nuevas oportunidades de mejora para mantener o incluso ampliar esta disminución en el consumo futuro.

Figura 23

Planilla de consumo mes de enero 2025



Para mejorar la eficiencia energética en el hogar, se recomienda optimizar el uso de dispositivos de alto consumo como la ducha eléctrica, plancha, y la refrigeradora. En el caso de la ducha, se observó que su uso prolongado en algunos momentos del día, y al ser el electrodoméstico con mayor consumo de energía incrementa significativamente el consumo energético. Se sugiere monitorear y reducir el tiempo del uso ducha. Respecto a la refrigeradora, se detectó que un ajuste inadecuado del termostato elevaba su consumo diario. Se recomienda mantener la temperatura en un nivel óptimo según las especificaciones del fabricante y realizar mantenimientos periódicos para garantizar su eficiencia. Además, resulta apropiado supervisar otros aparatos electrodomésticos y fomentar hábitos de consumo conscientes, añadiendo estas acciones a la automatización inteligente del sistema domótico para maximizar el aprovechamiento de la energía en toda la casa.

CONCLUSIONES

Se consiguió definir un modelo ideal con Zigbee para la automatización doméstica. Se establecieron componentes esenciales como los sensores de presencia, interruptores de luz y conectores inteligentes, garantizando un grado de cobertura óptimo. La arquitectura implementada posibilita la incorporación de aparatos y la expansión del sistema, lo que promueve la mejora futura.

La implementación del sistema domótico centralizado en la comunicación Zigbee consiguió incorporar los aparatos de como son: interruptores, tomacorrientes inteligentes en el hogar. Se estableció una versión de Home Assistant cuyo propósito es administrar la automatización de procesos con el fin de mejorar el confort y la optimización del consumo energético en el hogar. Verificando que la utilización de Zigbee en esta aplicación específica proporciona una comunicación fiable con un consumo energético reducido y una buena cobertura en el hogar.

En análisis energético de los diferentes aparatos conectados a la red facilitó la identificación de patrones de uso y la valoración del efecto del sistema domótico en la eficiencia energética. Mediante la supervisión constante y el análisis de datos, se identificaron posibilidades de optimización, tales como la disminución del consumo eléctrico en el frigorífico y la regulación del tiempo de utilización de la ducha eléctrica. Los hallazgos demostraron que la automatización y la administración inteligente de la energía pueden aportar de manera significativa al ahorro y uso eficaz de los recursos eléctricos en el hogar.

RECOMENDACIONES

Dependiendo de cómo se diseñe la arquitectura del sistema de domótica centralizada, se recomienda investigar más integrando tecnologías inalámbricas más nuevas como Matter o Thread para mejorar la interoperabilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes. Además, también sería beneficioso explorar la implementación de protocolos de seguridad más avanzados para asegurar la protección de datos al ser transmitidos dentro del sistema.

Con respecto a la implementación del sistema domótico, se sugiere que se amplíe la investigación para estudiar la fiabilidad y estabilidad del protocolo Zigbee en entornos electromagnéticamente más ruidosos, con el objetivo de mejorar el rendimiento en hogares más grandes o complejos. También se sugiere la incorporación de asistentes de voz más potentes y automatización basada en IA para mejorar la experiencia del usuario y la efectividad en la usabilidad del sistema.

En cuanto al análisis del consumo de energía y la eficiencia del sistema de control automático, se sugiere que se implementen estudios de aprendizaje automático enfocados en la predicción de patrones de consumo y automatización para una mayor optimización energética. Además, es importante socializar los resultados obtenidos en esta investigación a través de publicaciones científicas, entre otros, con el fin de contribuir al conocimiento en el campo de la domótica y su impacto en la eficiencia energética.

BIBLIOGRAFÍA

- Alaa, M., Zaidan, A.A., Zaidan, B.B., Talal, M., & Kiah, M.L.M. (2017). A review of smart home applications based on Internet of Things. *Journal of Network and Computer Application*, 97, 48-65. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.08.017>
- David Campo, W. n., Agudelo Arboleda2, A., Arley Salazar, K., & García Arango, D. A. (2021). Análisis del diseño e implementación de un sistema inteligente para el control de la energía en usos residenciales. *InGente Americana*, 1(1), 21-28. <https://doi.org/10.21803/ingecana.1.1.408>
- Gabriel Vera, M. A. (2022). *Diseño de un sistema domótico en la reducción de costos de energía en una urbanización de la provincia de Huancavelica, 2022*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Universidad César Vallejo <https://hdl.handle.net/20.500.12692/116137>
- Llario Benavent, I. (2023). *Diseño de un sistema domótico para la plataforma Home Assistant*. [Tesis para la obtención del título de Ingeniería, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio institucional UPV <http://hdl.handle.net/10251/196388>
- Montaño Blacio, M., Briceño Sarmiento, J., Jiménez Sarango, O., & González Malla, E. (2021). SISTEMA INTEGRAL DE HOGAR INTELIGENTE BASADO EN HOME ASSISTANT Y RASPBERRY PI. *TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN FRENTE A LOS DESAFÍOS DE UN SIGLO EN CURSO*, 1(1), 101-126. 978-9942-8945-1-9
- Balaji, B., Koh, J., Weihua, S., Agarwal, Y., Gupta, R., & Wen, J. T. (2013). Sentinel: Occupancy based HVAC actuation using existing WiFi infrastructure. *Proceedings of the 3rd ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings*, 17–24. <https://doi.org/10.1145/2528282.2528293>
- European Commission. (2012). ICT for sustainable growth: Energy efficiency. <https://ec.europa.eu/digital-agenda/en/news/ict-sustainable-growth-energy-efficiency>

- Energy Efficiency 2020 – Analysis - IEA. (2020, December 3). Energy Efficiency 2020 – Analysis - IEA. IEA. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020>
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of Things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22–32.
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2306328>
- Arroyo, R., & Juan, A. (2022). La domótica como aplicación de eficiencia energética en Ecuador. *Gicos*, 7(4), 170-186. <https://doi.org/10.53766/GICOS>
- Serrano Cruz, R. (2024). Diseño de un sistema de gestión de demanda para uso residencial. [Tesis de maestría, Tecnológico Nacional de México].
<https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/8464>.
- Gómez, J., & Torres, A. (2020). Los secretos de KNX: Guía básica para dominar la automatización de viviendas y edificios desde cero. Ediciones Técnicas Europeas
- George, A. S., George, A. H., & Baskar, T. (2023). Wi-fi 7: the next frontier in wireless connectivity. *Partners Universal International Innovation Journal*, 1(4), 133-145.
<https://doi.org/10.1109/ICRITO51393.2021.9596344>
- Barua, A., Al Alamin, M. A., Hossain, M. S., & Hossain, E. (2022). Security and privacy threats for bluetooth low energy in iot and wearable devices: A comprehensive survey. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 3, 251-281.
<https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2022.3149732> .
- Zigbee Alliance. (2023). Zigbee specification document. <https://csa-iot.org/>
- Haque, H., Labeeb, K., Riha, R. B., & Khan, M. N. R. (2021, March). IoT based water quality monitoring system by using Zigbee protocol. In *2021 International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI)* (pp. 619-622).
<https://doi.org/10.1109/ESCI50559.2021.9397031>
- Yépez Ramírez, G. J. (2023). Análisis comparativo entre las tecnologías móviles zigbee y z-wave para la automatización del hogar, en términos de alcance, velocidad de transmisión y

consumo de energía [Tesis de Licenciatura, Universidad de Babahoyo]. Repositorio de la Universidad Técnica de Babahoyo <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/15117>.

Connectivity Standards Alliance (CSA). (2023). Matter 1.0 specification. <https://csa-iot.org/all-solutions/matter/>

Z-Wave Alliance. (2023). Z-Wave technology. <https://z-wavealliance.org>.

Thread Group. (2023). Thread protocol overview. <https://www.threadgroup.org>

Trujillo J. (2021). Sistema multipropósito de aviso y anuncio basado en Zigbee. Prototipo formado por μ C Arduino y módulos XBEE. [Tesis de Ingeniería, Universidad de las Palmas de Gran Canaria]Ulpgc.es. <http://hdl.handle.net/10553/110363>

Averos Vargas, J. E. (2017). Estudio del Estándar IEEE 802.15. 6 y Simulación de los Parámetros de Transmisión en una Red de Área Corporal en la Banda de Frecuencia de 2.4 GHz [Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional] Repositorio EPN <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17019>

IEEE. (2020). Standard for Low-Rate Wireless Networks. IEEE Standards Association. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9144691>

Peña, R. V. (2018). Análisis del desempeño de los esquemas de modulación BPSK y QPSK para diferentes condiciones de canales en sistema GFDM. MASKAY, 8(1), 7–7. <https://doi.org/10.24133/maskay.v8i1.506>

Romero Verdesoto, F. A. (2024). Estudio del canal de comunicaciones entre plataformas aéreas y estaciones en tierra: toma de datos del enlace de comunicaciones IoT. [Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional] Repositorio EPN. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/26191>

Szot, A., Clegg, A., Undersander, E., Wijmans, E., Zhao, Y., Turner, J., ... & Batra, D. (2021). Habitat 2.0: Training home assistants to rearrange their habitat. Advances in neural information processing systems, 34, 251-266.

Home Assistant. (2025). *Generic x86-64*. Home Assistant. <https://www.home-assistant.io/installation/generic-x86-64>

Mia.Ma. (2023). *ZBMINI L2: Test of the Zigbee Two-way Module on Jeedom - SONOFF Official*. SONOFF Official. <https://sonoff.tech/product-review/zbmini-l2-test-of-the-zigbee-two-way-module-on-jeedom/>

ANEXOS

ANEXO 1

CODIGO YAML AUTOMATIZACIONES

```
- id: '1739374921409'
  alias: Automatizacion gradas
  description: ''
  triggers:
    - type: present
      device_id: 61f375a904ac5620f1abd2aee7e17329
      entity_id: 3ba517cf4fd6a528c115f9de78e0350f
      domain: binary_sensor
      trigger: device
      id: PRESENTE
    - type: not_present
      device_id: 61f375a904ac5620f1abd2aee7e17329
      entity_id: 3ba517cf4fd6a528c115f9de78e0350f
      domain: binary_sensor
      trigger: device
      id: NO PRESENTE
  conditions: []
  actions:
    - choose:
      - conditions:
          - condition: time
            before: 00:00:00
            weekday:
              - mon
              - tue
              - wed
              - thu
              - fri
              - sat
              - sun
            after: '18:00:00'
          - condition: trigger
            id:
              - PRESENTE
        sequence:
          - action: switch.turn_on
            metadata: {}
            data: {}
            target:
              entity_id: switch.luz_gradas
      - conditions:
          - condition: time
            before: 00:00:00
```

```

        weekday:
        - mon
        - tue
        - wed
        - thu
        - fri
        - sat
        - sun
        after: '18:00:00'
    - condition: trigger
      id:
      - NO PRESENTE
    sequence:
    - action: switch.turn_off
      metadata: {}
      data: {}
      target:
        entity_id: switch.luz_gradas
mode: single
- id: '1739394234654'
  alias: Automatizacion comedor
  description: ''
  triggers:
  - type: present
    device_id: e7653d7d86fb4a44d76e39cfdb1d01b4
    entity_id: 80b8bbb709c4a71d3fab9a818faa1df3
    domain: binary_sensor
    trigger: device
    id: PRESENTE1
  - type: not_present
    device_id: e7653d7d86fb4a44d76e39cfdb1d01b4
    entity_id: 80b8bbb709c4a71d3fab9a818faa1df3
    domain: binary_sensor
    trigger: device
    id: NO PRESENTE1
  conditions: []
  actions:
  - choose:
    - conditions:
      - condition: time
        after: '18:00:00'
        before: 00:00:00
      - condition: trigger
        id:
        - PRESENTE1
    sequence:
    - action: switch.turn_on
      metadata: {}
      data: {}

```

```

        target:
          entity_id:
            - switch.luz_comedor_l1
- conditions:
  - condition: time
    after: '18:00:00'
    before: 00:00:00
  - condition: trigger
    id:
      - NO PRESENTE1
  sequence:
    - action: switch.turn_off
      metadata: {}
      data: {}
      target:
        entity_id: switch.luz_comedor_l1
mode: single
- id: '1739497607002'
  alias: Automatizacion enchufes
  description: ''
  triggers:
    - trigger: state
      entity_id:
        - binary_sensor.hora_muerta
      to: 'on'
      id: Hora muerta encendida
    - trigger: state
      entity_id:
        - binary_sensor.hora_muerta
      to: 'off'
      id: Hora muerta apagada
  conditions: []
  actions:
    - choose:
      - conditions:
        - condition: trigger
          id:
            - Hora muerta encendida
      sequence:
        - action: switch.turn_off
          metadata: {}
          data: {}
          target:
            entity_id:
              - switch enchufe_centro_entretenimiento
              - switch enchufe_alexa enchufe_1
              - switch enchufe_tv_cuarto_principal
              - switch enchufe_licuadora
    - conditions:

```

```

- condition: trigger
  id:
    - Hora muerta apagada
sequence:
- action: switch.turn_on
  metadata: {}
  data: {}
  target:
    entity_id:
      - switch enchufe_centro_entretenimiento
      - switch enchufe_tv_cuarto_principal
      - switch enchufe_alexa enchufe_1
      - switch enchufe_licuadora
mode: single
- id: '1740076685492'
  alias: Automatizacion sala
  description: ''
  triggers:
    - type: present
      device_id: 4297a9d5b618556ffacf3a686b0a900a
      entity_id: b915890cbc673bd21251b056df26d5d9
      domain: binary_sensor
      trigger: device
      id: PRESENTE1
    - type: not_present
      device_id: 4297a9d5b618556ffacf3a686b0a900a
      entity_id: b915890cbc673bd21251b056df26d5d9
      domain: binary_sensor
      trigger: device
      id: NO PRESENTE1
  conditions: []
  actions:
    - choose:
      - conditions:
        - condition: time
          after: '18:00:00'
          before: 00:00:00
        - condition: trigger
          id:
            - PRESENTE1
      sequence:
      - action: switch.turn_on
        metadata: {}
        data: {}
        target:
          entity_id: switch.luz_sala
    - conditions:
      - condition: time
        after: '18:00:00'

```

```

        before: 00:00:00
    - condition: trigger
      id:
        - NO PRESENTE1
    sequence:
    - action: switch.turn_off
      metadata: {}
      data: {}
      target:
        entity_id: switch.luz_sala
mode: single
- id: '1740077318122'
  alias: Automatizacion baño visitas
  description: ''
  triggers:
    - type: occupied
      device_id: 7f216a1cd2829f5fc4bd1185909c5f7a
      entity_id: c63ade58cfc615616276bb7996a91d94
      domain: binary_sensor
      trigger: device
      id: PRESENTE1
    - type: occupied
      device_id: 7f216a1cd2829f5fc4bd1185909c5f7a
      entity_id: c63ade58cfc615616276bb7996a91d94
      domain: binary_sensor
      trigger: device
      id: NO PRESENTE1
  conditions: []
  actions:
    - choose:
      - conditions:
        - condition: time
          after: '13:00:00'
          before: 00:00:00
        - condition: trigger
          id:
            - PRESENTE1
          sequence:
          - action: switch.turn_on
            metadata: {}
            data: {}
            target:
              entity_id: switch.luz_bano_visitas
      - conditions:
        - condition: time
          after: '13:00:00'
          before: 00:00:00
        - condition: trigger
          id:

```

```
- NO PRESENTE1
sequence:
- action: switch.turn_off
  metadata: {}
  data: {}
  target:
    entity_id: switch.luz_bano_visitas
mode: single
```

ANEXO 2

CODIGO SENSOR PROYECCION MENSUAL

```
template:
- sensor:
  - name: "Proyección Mensual"
    unique_id: proyeccion_mensual
    unit_of_measurement: "kWh"
    state: >
      {% set consumo_actual =
+states('sensor.energia_general_2_energy_monthly') | float(0) %}
      {% set hoy = now() %}
      {% set dia_actual = hoy.day %}
      {% set effective_day = dia_actual if dia_actual >= 3 else 3 %}
      {% set primer_dia_mes_siguiente = (hoy.replace(day=28) +
timedelta(days=4)).replace(day=1) %}
      {% set ultimo_dia_mes_actual = primer_dia_mes_siguiente -
timedelta(days=1) %}
      {% set dias_en_mes = ultimo_dia_mes_actual.day %}
      {{ (consumo_actual / effective_day * dias_en_mes) | round(2) }}
```

ANEXO 3

CODIGO INTEGRACION DE BASE DE DATOS

```
influxdb:  
  host: 192.168.1.12  
  port: 8086  
  database: homeassistan  
  username: David  
  password: 10010020  
  max_retries: 3  
  default_measurement: state
```