

Área de Conocimiento de Tecnología de la Información y
Comunicación

Diseño de un Sistema de Gestión de Iluminación Basado en IoT para el Edificio Rigoberto López Pérez, planta Baja, Ala A.

TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

Elaborado por:

Br. Elliot Román
Acuña Arévalo
2015-03891

Tutor:

Ing. Marlovio José
Sevilla Hernández

Julio, 2025
Managua,

Dedicatoria

A Dios, por su infinito amor y misericordia. Por haberme sostenido en cada paso, por concederme la salud, la sabiduría y la fortaleza necesarias para alcanzar mis objetivos. Gracias por iluminar mi camino y permitirme llegar hasta este momento tan significativo en mi vida.

Dedico este trabajo monográfico a mi familia, cuyo amor incondicional, apoyo constante y comprensión han sido fundamentales a lo largo de este camino. A mi padre, por ser siempre una fuente de ánimo y motivación, impulsándome a no rendirme. A mi madre, por brindarme fuerza en los momentos difíciles y por darme el empujón necesario cuando más lo necesitaba, alentándome a continuar cuando terminar la carrera parecía inalcanzable. Y a todas aquellas personas que, de una u otra forma, influyeron positivamente en mi vida académica y personal, les agradezco profundamente por haberme ayudado a llegar hasta aquí y hacer posible la culminación de este proyecto.

Al profesor Marlovio Sevilla, por su dedicación, guía y sabiduría. Su orientación ha sido esencial para el desarrollo y culminación de esta investigación. Su pasión por la enseñanza y su profundo conocimiento han dejado una huella imborrable en mi formación académica.



Área de Conocimiento de
Tecnología de la Información
y Comunicación

SECRETARÍA DE ÁREA DEL CONOCIMIENTO

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN** hace constar que:

ACUÑA ARÉVALO ELLIOT ROMÁN

Carné: **2015-0389I** Turno: **Diurno**. Plan de Asignatura: **2015**, de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES**, en el año 2021 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte y nueve días del mes de noviembre del año dos mil veinte y cuatro.

Atentamente,



CEDRICK ELKSNHERR DALLA-TORRES AGUIRRALES
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA

Móvil: (505) 8588 8333

Av. Universidad 5000, Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

www.unl.edu.ni

Managua 09 de julio de 2025

MSc. Claudia Benavidez Rugama
Directora DACTIC
Su Despacho

Estimada MSc. Benavides.

Me dirijo a usted de la manera más atenta para hacer de su conocimiento, que el trabajo monográfico aprobado para el egresado del programa académico de Ingeniería en Telecomunicaciones **Br. Elliot Roman Acuña Arevalo** Carné: 2015-03891, trabajo monográfico titulado "Diseño de un Sistema de Gestión de Iluminación Basado en IoT para el Edificio Rigoberto López Pérez, planta Baja, Ala A.", del cual soy el tutor, luego de revisar la documentación correspondiente, considero que este ha llegado a su feliz término y se encuentra listo para realizar el proceso de defensa de rigor.

Agradeciendo su amable atención, quedo a la espera de sus instrucciones aprovechando la ocasión para reiterarle mis más sinceras muestras de consideración y respeto.


NOTA: Se anexan tres trabajos monográficos del mismo tenor, con sus respectivos CD.

Atentamente,




Ing. Marlovio José Sevilla Hernández
Profesor Auxiliar
Tutor

Cc. Archivo

 Móvil: (505) 8588 8333

 Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

 www.uni.edu.ni



Decanatura | FEC

Universidad Nacional de Ingeniería
Recinto Universitario "Simón Bolívar"
Facultad de Electrotecnia y Computación
Decanatura
DF-10-2023-52

Managua, 30 de octubre del 2023.

Bachiller.

Elliot Román Acuña Arévalo 2015-0389I.

Egresado de la Carrera de Ingeniería Telecomunicación.

Estimado Bachiller:

El suscrito Decano de la Facultad de Electrotecnia y Computación, a través de la presente autoriza de manera formal la inscripción de la Monografía Titulada "**Diseño de un Sistema de Gestión de Iluminación Basado en IoT para el Edificio Rigoberto López Pérez, planta Baja, Ala A**". Para optar al Título de Ingeniero Telecomunicación para tal efecto se nombra como Tutor de la Monografía al **Ing. Marlovio José Sevilla Hernández**.

Así mismo le solicito proceda a la **Inscripción de dicho Tema Monográfico** en secretaria Académica de la facultad, con la finalidad de darle control y seguimiento, de acuerdo a los reglamentos establecidos.

Se les recuerda que, según la normativa para los trabajos monográficos, a partir de la fecha de inscripción tiene 12 meses para defender dicho trabajo.

Sin más a que referirme y deseándoles mucho éxito en la culminación de esta etapa, me despido.

Atentamente,



Msc. Augusto César Palacios Rodríguez
Decano UNI-FEC

C/c: Ing. María Lourdes Montes.
Ing. Marlo Robleto Alemán.
Ing. Marlovio Sevilla Hernández.
Archivo.

Secretaria Académica.
Jefe de Dpto. de Sistema Digitales y Telecomunicaciones.
Tutor.

☎ Teléfono: (505) 2270 5126

📍 Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo. 5595

✉ augusto.palacios@fec.uni.edu.ni
www.fec.uni.edu.ni

Resumen del tema

El presente trabajo monográfico se enfoca en el estudio de las redes IoT en los equipos electrónicos y luminarios del edificio Rigoberto López Pérez, abarcando dos salones piloto inicialmente planificados en el primer piso del ala A. Sin embargo, debido a limitaciones como la disponibilidad de los salones por horarios de clases y otras actividades, se decidió realizar las pruebas en el salón de profesores de Telecomunicaciones del quinto piso y en una sala de profesores ubicada en el sótano.

El edificio Rigoberto López Pérez alberga una amplia variedad de espacios, tales como oficinas, salones y laboratorios. Todos estos cuentan con dispositivos electrónicos que se manejan de forma manual, lo cual genera una mala gestión, perjudicando la vida útil de los dispositivos y aumentando el consumo energético.

Para abordar esta problemática, se propuso diseñar un sistema de gestión de iluminación basado en IoT utilizando Home Assistant. Este sistema se instaló en un ordenador de placa reducida Raspberry Pi para configurar los dispositivos ubicados en los salones seleccionados y realizar acciones de manera remota.

Para dar solución a la problemática, se procedió a la instalación de la plataforma Home Assistant, la cual permitió monitorear y analizar de manera precisa el consumo energético generado por los dispositivos IoT conectados a la red Wi-Fi del edificio. Además, esta solución proporcionó una plataforma web intuitiva diseñada para que un usuario administrador pueda gestionar los dispositivos conectados de manera remota, ejecutar acciones específicas sobre ellos y supervisar continuamente tanto el comportamiento de los equipos como el consumo energético.

Palabras clave: Gestión de iluminación, IoT, Home Assistant, Raspberry Pi, consumo energético, automatización, eficiencia energética.

Índice de contenido

1.	Introducción	1
2.	Objetivos	2
2.1	Objetivo General	2
	Objetivos Específicos	2
3.	Justificación	3
4.	Marco teórico	4
4.1	Internet de las cosas (IoT)	4
4.1.1	Conformación de una red IoT	4
4.1.2	Comunicación y transporte	6
4.2	Topología de redes	10
4.2.1	Topología en estrella	10
4.3	Plataformas IoT	11
4.3.1	Home Assistant.....	11
4.3.1.1	Integración del uso de energía de dispositivos individuales Home Assistant	11
4.3.2	OpenHAB.....	12
4.3.3	Raspberry Pi.....	13
4.3.4	Maquina a Maquina (Machine to Machine)	14
5.	Análisis y presentación de resultados	15
5.1	Metodología y desarrollo del proyecto	15
5.1.1	Metodología de la investigación	15
5.2	Fases del proyecto.....	16
5.2.1	Sistema de control y gestión centralizado para programación y monitoreo de la iluminación.....	16
5.2.1.1	Instalación del sistema operativo Home Assistant en Raspberry PI 4.....	16
5.2.1.2	Configuración de Home Assistant en dispositivos móviles	24
5.3	Necesidades de iluminación y el comportamiento de los usuarios en el edificio.....	30
5.3.1	Levantamiento de las necesidades de iluminación	30
5.3.2	Comportamiento de los usuarios	33
5.4	Análisis y presentación de resultados de consumo energético en la Universidad Nacional de Ingeniería edificio Rigoberto Lopez Pérez.	34
5.5	Análisis y resultados obtenidos en el monitoreo de equipos en la oficina de dirección académica ubicado en el sótano del edificio Rigoberto Lopez Pérez	38

5.6	Análisis y resultados obtenidos en el monitoreo de equipos en la sala de profesores de telecomunicaciones ubicado en el quinto piso edificio Rigoberto Lopez Pérez.....	46
5.7	Análisis y resultados obtenidos en el monitoreo de equipos de la Pulpería Chico.	49
5.8	Presupuesto para el Sistema IoT de Gestión de Iluminación en el Edificio Rigoberto López Pérez	64
5.9.	Registro de datos de consumo energético en los escenarios de prueba	65
6.	Conclusiones y Recomendaciones	66
6.1	Conclusiones	66
6.2	Recomendaciones	68
7.	Bibliografía	69

Índice de figuras

Figura No. 1 Topología Estrella	10
Figura No. 2 Raspberry PI 4	13
Figura No. 3 Programa Raspberry PI imager	17
Figura No. 4 Instalación del S.O parte 1	18
Figura No. 5 Instalación del S.O parte 2.....	19
Figura No. 6 Instalación del S.O parte 3.....	19
Figura No. 7 Configuración de almacenamiento	20
Figura No. 8 Instalación del sistema operativo Home Assistant	21
Figura No. 9 Login de ingreso a Home Assistant	22
Figura No. 10 Panel administrativo de Home Assistant	23
Figura No. 11 Descarga de aplicación Home Assistant IOS	24
Figura No. 12 Búsqueda de servidor Home Assistant.....	25
Figura No. 13 Dashboard general en dispositivo móvil	26
Figura No. 14 Paneles de administración de Home Assistant.....	27
Figura No. 15 Vista del consumo de energía de los equipos	28
Figura No. 16 Vista del apartado de historial Home Assitant	29
Figura No. 17 Visita al salón A-I-1	30
Figura No. 18 Pabellón del salón A-I-2.....	31
Figura No. 19 Cuarto de energía del ala A	32
Figura No. 20 Direccionamiento de la red FEC-UNI.....	34
Figura No. 21 Equipo IoT para monitoreo de energía TP-Link.....	35
Figura No. 22 Primer monitoreo de los adaptadores A-1-1	36
Figura No. 23 Vista general del consumo de los adaptadores en cada salón	37
Figura No. 24 Oficina de dirección académica en el sótano del edificio Rigoberto Lopez Pérez .	38
Figura No. 25 Interior de la oficina de dirección académica.....	39
Figura No. 26 Simulación de topología estrella de la oficina de dirección académica.....	40
Figura No. 27 Conector TP-Link K115 conectado a UPS parte 1	40
Figura No. 28 Conector TP-Link K115 conectados a UPS parte 2	41
Figura No. 29 Consumo energético de oficina académica en el mes de noviembre	41
Figura No. 30 Pico de consumo alto en el mes de noviembre oficina de dirección académica....	42
Figura No. 31 consumo energético de oficina académica en el mes de noviembre	43
Figura No. 32 Consumo energético constante en el mes de noviembre en la oficina de dirección académica.....	44

Figura No. 33 Consumo energético más bajo en el mes de noviembre en la oficina de dirección académica	45
Figura No. 34 Detalle de consumo energético más bajo en el mes de noviembre en la oficina de dirección académica	45
Figura No. 35 Monitoreo de consumo energético en sala de profesores de telecomunicaciones	46
Figura No. 36 Simulación de sala de profesores de Telecomunicaciones	47
Figura No. 37 Monitoreo de consumo energético del salón de profesores de telecomunicaciones	48
Figura No. 38 Ubicación de la pulpería "Chico"	49
Figura No. 39 Ubicación de pulpería "Chico" parte 2	50
Figura No. 40 Equipo instalado en pulpería "Chico"	50
Figura No. 41 Simulación de la pulpería "Chico"	51
Figura No. 42 Mantenedora FOGEL de pulpería "Chico"	52
Figura No. 43 Congelador marca FOGEL modelo BLIZZ-12-HC de pulpería "Chico"	53
Figura No. 44 Consumo energético del mes de septiembre pulpería "Chico" parte 1	54
Figura No. 45 Consumo energético del mes de septiembre pulpería "Chico" parte 2	54
Figura No. 46 Consumo energético del mes de septiembre pulpería "Chico" parte 3	55
Figura No. 47 Consumo energético del mes de septiembre pulpería "Chico" parte 4	55
Figura No. 48 Picos de consumo de mantenedora en pulpería "Chico" parte 1	56
Figura No. 49 Picos de consumo de mantenedora en pulpería "Chico" parte 2	56
Figura No. 50 Recibo de consumo energético de pulpería "Chico"	58
Figura No. 51 Configuración del apartado de energía.....	63
Figura No. 52 Representación de la suma del consumo energético en Home Assistant	63
Figura No. 53 Especificaciones de Hardware Raspberry PI 4.....	ii
Figura No. 54 Interfaces del equipo Raspberry PI 4.....	ii
Figura No. 55 Especificaciones eléctricas Raspberry PI 4	iii
Figura No. 57 Especificaciones técnicas de procesador Lenovo Thinkpad	iv
Figura No. 58 Especificaciones de batería Lenovo Thinkpad	iv

Índice de Tablas

Tabla No. 1 Comparación Tecnologías para comunicaciones de corto/medio alcance.....	9
Tabla No. 2 Ventajas y desventajas de OpenHAB.	12
Tabla No. 3 Especificaciones técnicas Raspberry pi 4.....	14
Tabla No. 4 Especificaciones técnicas del dispositivo IoT TP-Link.....	36
Tabla No. 5 Especificaciones técnicas de mantenedora FOGEL modelo FROSTER-280	52
Tabla No. 6 Especificaciones técnicas de mantenedora FOGEL modelo BLIZZ-12-HC	53
Tabla No. 7 Tabla de presupuesto económico de todo el proyecto	64
Tabla No. 8 Registro de consumo energético de todos los escenarios propuestos.....	65
Tabla No. 9 Especificaciones técnicas router claro oficina de dirección académica	iii
Tabla No. 10 Especificaciones técnicas de mantenedora Forge modelo Froster_280 parte 1	v
Tabla No. 11 Especificaciones técnicas de mantenedora Forge modelo Froster_280 parte 2.....	v
Tabla No. 12 Especificaciones técnicas Fogel modelo Blizz-12-HC pulperia "Chico"	vi



1. Introducción

En la actualidad la tecnología juega un papel muy importante en la sociedad a tal punto que ha cambiado la manera de vivir de todas las personas, una de ellas es la domótica que nos permite automatizar las tareas cotidianas que consumen tiempo y recursos.

La UNI (Universidad Nacional de Ingeniería) cuenta con el edificio Rigoberto López Pérez (R.L.P), el cual posee 5 pisos, distribuidos en dos alas (A y B), cuenta con una amplia variedad de equipos electrónicos como aires acondicionados, televisores, proyectores y luminarias, estas se han venido controlando de manera manual causando que tengan que darle gran cantidad de tiempo y recursos para revisar si en cada una de las salas utilizadas no hayan dejado algún equipo en funcionamiento en el que se pueda desperdiciar la energía.

Como estudiante del programa académico de Ingeniería en Telecomunicaciones, hemos notado la necesidad de reducir la cantidad de personas que se puedan asignar para revisar si uno de esos equipos está funcionando de manera innecesarias generando perdidas en el consumo energético y desgastando la vida útil de los mismos: luminarias, aires a condicionados, televisores, proyectores, entre otros que se encuentran en el edificio, generando más gastos a largo plazo.

Nuestra propuesta consiste como objetivo diseñar y desarrollar un sistema de gestión de iluminación basado en IoT para el edificio Rigoberto López Pérez, específicamente en la planta baja ala A. Este sistema permitirá una gestión inteligente de la iluminación, adaptándose a las necesidades cambiantes de los usuarios y reduciendo el consumo de energía.



2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema de gestión de iluminación basado en IoT para el edificio Rigoberto López Pérez, planta baja, ala A.

Objetivos Específicos

- Realizar un levantamiento detallado de las necesidades de iluminación y el comportamiento de los usuarios en el edificio.
- Diseñar la infraestructura de los dispositivos IoT, incluyendo luminarias y adaptadores inteligentes.
- Realizar un sistema de control y gestión centralizado que permita la programación y monitorización de la iluminación.
- Evaluar el rendimiento del prototipo en términos de eficiencia energética, comodidad del usuario y sostenibilidad.

3. Justificación

El Internet Of Things (IoT) es el proceso que permite conectar los elementos físicos cotidianos al internet, desde los objetos domésticos comunes, como las luminarias, aires acondicionados; y los accesorios personales inteligentes e incluso sistemas de ciudades inteligentes.

La Universidad Nacional de Ingeniería cuenta con el edificio Rigoberto López Pérez (R.L.P) el cual inicio su construcción en el año 2008 y se inauguró el 15 de abril del año 2013, cuenta con un área de 15 mil metros cuadrados y posee cinco plantas con capacidad de albergar a más de siete mil personas, 60 aulas interactivas digitales, aulas virtuales, laboratorios, oficinas administrativas y salas de reuniones, distribuidos en dos alas (A y B), cuenta con amplia cantidad de equipos electrónicos como lámparas, abanicos y proyectores en cada salón de clase, estos equipos permanecen encendidos altas horas del día y noche de manera continua debido al descuido humano, generando un alto consumo de energía, perdidas de los mismo debido a fluctuaciones de energía y desgaste en su vida útil.

La justificación de este proyecto se basa en los siguientes aspectos como la eficiencia energética que brindara un sistema iluminación basado en IoT reduciendo el consumo de energía al apagar o ajustar automáticamente las luces cuando no sea necesario, la comodidad del usuario al poder gestionar y personalizar según sus necesidades y la sostenibilidad del medio ambiente reduciendo las emisiones de carbono al uso responsable de los recursos energéticos.

4. Marco teórico

En este apartado, se presentan todos los conceptos y definiciones empleados para el desarrollo de este proyecto. Se esclarecen los conceptos relacionados con el diseño de un sistema de gestión de iluminación basado en IoT para optimizar el control y el consumo energético en el Edificio Rigoberto Lopez Pérez, planta baja ala A.

4.1 Internet de las cosas (IoT)

Internet Of Things (IoT) se denomina al concepto de la interconexión de cualquier cosa o dispositivo cotidiano mediante un protocolo estándar de internet, el cual pueda ser controlado o monitoreado de forma remota desde cualquier lado, permitiendo de esta manera que las “cosas” puedan estar conectadas intercambiando datos sin intervención humana [4].

4.1.1 Conformación de una red IoT

Internet ha evolucionado rápidamente y esto ha permitido que IoT ya sea una realidad que se está comenzando a expandir rápidamente. Esta tecnología radica principalmente en todas las aplicaciones y posibilidades que nos proporciona tanto para mejorar la vida cotidiana de las personas como a escalar al sector empresarial donde ya hace algún tiempo han estado implementándolo.

Dentro de la estructura de una red IoT utilizada para varios tipos de aplicaciones, el modelo ha sido propuesto por diferentes organizaciones o investigadores. La UIT (International Telecommunication Union), a como se establece en la recomendación ITU-T Y.2060 en el año 2012 definiciones acerca de IoT y características además de un modelo de cuatro capas. De igual manera, el modelo planteado por el comité de arquitectura IoTWF (Internet of Things World Forum) que lo conforman empresas de renombre como CISCO entre otras determinaron en el año 2014 que una red IoT posee 7 capas [5].

Capa 1: Elementos físicos y controladores

La primera capa del modelo planteado por lo TWF, cuenta con datos generados por dispositivos finales, ya sean sensores o actuadores que envían la información a la red IoT.

Capa 2: Conectividad

Con la implementación de la comunicación de datos que atraviesan en una red IoT, la capa 2 contempla el paso de información desde los dispositivos finales hacia la red y de la red rumbo a la capa 3. Además, incluir características de confianza para el paso de información a través de la red, Switching y Routing, manejo de protocolos y seguridad.

Capa 3: Computación de borde

Una característica de la computación de borde permite a la información que ingresa a la capa 3 la posibilidad de reducción, almacenamiento y procesamiento de datos que pasan a la capa superior. Con el filtrado de información permite que el tráfico sea reducido generando una notificación de exceso de umbrales predefinidos.

Capa 4: Almacenamiento de datos

La acumulación de datos permite que la información de mayor importancia sea utilizada por aplicaciones en el momento necesario y en capas superiores. Resaltar que el procesamiento realizado parte de datos de eventos y datos de consultas.

Capa 5: Abstracción de información

La información que ingresa en la capa 5 son organizados en uno o varios cientos de datos por medio de la virtualización. La semántica y organización denota que la información está completa.

Capa 6: Reporte análisis y control

Para el manejo de la información de sensores o actuadores, la capa 6 tiene la ventaja de monitorear, controlar y analizar la información que se circula en la red IoT por medio de aplicaciones, pudiendo de esta manera la visualización en dispositivos como teléfonos inteligentes o computadoras que sean compatibles con la aplicación.

Capa 7: Colaboración y procesos

Para la interacción entre usuarios y la red IoT, la información que es analizada por las aplicaciones facilita la manipulación en procesos empresariales o comerciales de grandes y pequeñas empresas, permitiendo así el control de la red IoT.

4.1.2 Comunicación y transporte

Las tecnologías se han caracterizado por la gran variedad de métodos y protocolos que utilizan para poder comunicarse entre los distintos equipos que existen alrededor del mundo, siendo esta comunicación a velocidades tan rápidas que suceden en segundos, a día de hoy existen ciertas tecnologías que nos permiten una amplia variedad para que estas puedan compartir información.

Existen varias tecnologías y protocolos dentro de la arquitectura del IoT que permiten la conexión entre los dispositivos. Dada la cantidad y diversidad técnica, se mencionarán algunos de los protocolos estándares más utilizados que existen dentro de las distintas soluciones que se brindan en la ciudad, ya que la interoperabilidad de los dispositivos y los estándares abiertos son los puntos clave para el diseño y de desarrollo de IoT [4].

Bluetooth

Bluetooth es una tecnología de comunicación que se ha utilizado desde mucho antes para la comunicación entre dispositivos que les permitía el poder compartir información entre ellos a cierta distancia, esta tecnología con el pasar del tiempo se ha actualizado a tal punto de poderse encontrar en dispositivos domóticos que comparten información a alta velocidad.

Muchos dispositivos de IoT están utilizando redes de corto alcance, para conectar a los usuarios. Debido al auge de dispositivos de conexión inalámbrica de bajo consumo se ha extendido el uso del Bluetooth convencional low energy (BLE). La principal diferencia con el Bluetooth convencional es que con menos potencia posee un rango de alcance considerable, muy similar al convencional. Opera en la banda

ISM de 2.4 GHz y tiene un tiempo de conexión de pocos milisegundos. Una de las características más importantes de este protocolo es que no se procesan los datos, únicamente recoge y es por esta razón por la que los dispositivos de batería pueden estar activos al menos 5 horas.

Wifi

Wifi es mundialmente conocido como un protocolo que permite a los usuarios el poder acceder a internet de manera remota, también es otro medio de comunicación que se utiliza en IoT para que los equipos domóticos puedan intercambiar información estando conectados en el mismo entorno de red.

Wifi es la más común dentro de los entornos domésticos a través de una red local o LAN (local area network). El estándar más utilizado es el 802.11 que permite un alcance de hasta 100 metros, aunque la cobertura se limita a 10-35 metros. Ofrece una rápida transferencia de datos y puede procesar grandes cantidades de datos. Utiliza en 2.4 GHz. Una desventaja es que el uso de esta tecnología conlleva un alto consumo de energía para determinadas aplicaciones de IoT. Un aspecto muy importante dentro de esta tecnología es que los fabricantes han podido integrar estos chips de forma más sencilla en los dispositivos y sensores de IoT [6].

La versión 802.11b tiene especificaciones similares, con una tasa de datos más baja, pero en mayor alcance de señal debido que la modulación DSSS ocasionaba interferencias con otras ondas de frecuencia. La versión 802.11n fue un gran salto tecnológico debido a que utilizaban tecnología MIMO 3x3, capaz de transmitir y recibir simultáneamente múltiples frecuencias, logrando una tasa de transferencia de datos de 600Mbps [4]

ZigBee

Es un estándar de comunicación inalámbrica que está siendo muy utilizada para las aplicaciones de domótica, ya que, entre otras cosas, puede formar su propia red con gran número de dispositivos y prescindir del cableado, además de posibilitar el control remoto. También permite formar redes de tipo estrella, rejilla o árbol; mediante la utilización de tres dispositivos [14].

- Coordinador de red: Encargado de mantener información general de la red y tiene los mayores requisitos de memoria y capacidad de procesado.
- Función completa: Soporta todas las funciones definidas por el estándar IEEE 802.15.4 (Redes WPAN) y ZigBee. Además, puede funcionar como coordinador de red.
- Función reducida: Implementan solo una parte de las funciones de acuerdo con su tarea. Esta funcionalidad permite que sea de menor costo y complejidad y por lo tanto mayor consumo.

Tabla No. 1 Comparación Tecnologías para comunicaciones de corto/medio alcance.

Especificaciones	Bluetooth	Wifi	RFID IoT	Zigbee
Frecuencia de trabajo	2.4GHz	2.4GHz – 5GHz	135KHz-960MHz	2.4GHz 868/915MHz
Alcance	10-30 m	30-100 m	10-20 cm	30-75 m
Velocidad Binaria	1Mbps	100+ Mbps	200bps/1kbps	20/40/250 kbps
Consumo de potencia	Bajo	Alto	Bajo	Bajo
Introducción al mercado	Alto	Alto	Bajo	Bajo
Dispositivos	8	50-200	1	255-65K
Intensidad de señal	-95dBm	-95dBm	-30dBm	-100dBm
Características	Bajo nivel de consumo y mejoramiento de largo alcance, además tiene un ancho de banda de 2.4 a 2.485 GHz, con sensibilidad de -95dBm y velocidad de 1-2 Mb/s.	Es una tecnología conocida como la norma de conectividad IEEE 802.11 con velocidad entre 1-54Mb/s con sensibilidad de -95 dBm y opera en frecuencia de 2.4GHz/5 GHz.	Las características de esta tecnología lo definen de la intensidad de frecuencia de bajo y alto nivel y su propagación de radiofrecuencia es de 135KHz a 960 MHz.	A diferencia de Bluetooth es más barato con sus servicios y proporciona mayor alcance en un área de 100 m a la redonda, aunque este puede ser mayor mediante la aplicación de una arquitectura de red tipo malla.

4.2 Topología de redes

4.2.1 Topología en estrella

Todos los elementos de la red se encuentran conectados directamente mediante un enlace punto a punto al nodo central de la red, quien se encarga de gestionar las transmisiones de información por toda la estrella. La topología de estrella es una buena elección siempre que se tenga varias unidades dependientes de un procesador, esta es la situación de una típica mainframe, donde el personal requiere estar accediendo frecuentemente esta computadora. En este caso, todos los cables están conectados hacia un solo sitio, esto es, un panel central.

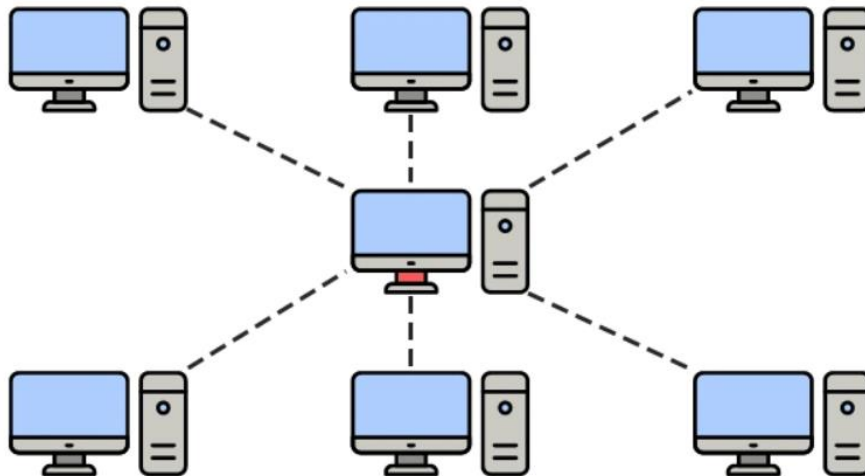


Figura No. 1 Topología Estrella

4.3 Plataformas IoT

4.3.1 Home Assistant

Es una plataforma que tiene un enfoque en que debe presentar lo más fácil posible de usar, con un gran crecimiento en aumento y al igual que domótica se puede ampliar sus funciones mediante el uso de complemento que se encuentran disponibles dentro de sus secciones de add-ons que es actualizada con mucha frecuencia por la comunidad [9].

4.3.1.1 Integración del uso de energía de dispositivos individuales Home Assistant

Home Assistant permite, integral y monitorear el consumo energético de dispositivos individuales mediante sensores inteligentes. Esto proporciona una visión detallada del impacto de cada dispositivo en el consumo energético total, la metodología utilizada combina hardware compatible con protocolos específicos y el uso de cálculos avanzados, como la integración de suma de Riemann para obtener datos del consumo de energía.

- Enchufe inteligente (Smart Plugs): Se conecta entre el dispositivo y el tomacorriente para medir la energía que fluye a través del dispositivo. Dependiendo del protocolo utilizado en el hogar, se puede usar dispositivos basados en Zigbee, Z-Wave o Wi-Fi.
- Relés inteligentes (Smart Relay) Estos dispositivos se instalan detrás de interruptores normales para convertirlos en inteligentes, permitiendo controlar los dispositivos a través de Home Assistant y mediante botones o interruptores conectados.
- Dispositivos con sensores de potencia (W): Algunos dispositivos inteligentes, como aires acondicionados o calentadores, incluyen sensores integrados que miden la potencia consumida los cuales también son compatibles con Home Assistant.

4.3.2 OpenHAB

Es una tecnología cuyo software es de código abierto, diseñado para integrar diferentes sistemas de automatización de viviendas, dispositivos y tecnologías dentro de una misma solución. Es una solución basada en java y proporciona una interfaz de usuario uniforme, centralizado y con un enfoque común para las reglas de automatización de todo el sistema [10].

Tabla No. 2 Ventajas y desventajas de OpenHAB.

Ventajas	Inconvenientes
Código abierto	Curva de aprendizaje pronunciada
Multiprotocolo	Requiere habilidades técnicas
Autónomo	
Personalizable	
Actualizaciones estables	

4.3.3 Raspberry Pi

La Raspberry PI es conocida por ser un computador con tamaño de una placa de microcontrolador, en el cual como toda computadora se puede instalar archivos y hacer funciones como una computadora de escritorio o laptop siendo limitada un poco en potencia, pero con el pasar de tiempo sus equipos han mejorado en rendimiento que ofrece diferentes versiones que tienen la potencia suficiente para poder montar la plataforma IoT con la cual se gestionaran los equipos domóticos.

Son mini ordenadores que disponen de un procesador ARM. Se utiliza este tipo de procesadores por su bajo consumo y gran rendimiento que ofrecen y a su gran popularidad por su bajo consumo y gran rendimiento que ofrecen y a su gran popularidad por su utilización en dispositivos móviles como smartphone y Tablet [11].



Figura No. 2 Raspberry PI 4

Tabla No. 3 Especificaciones técnicas Raspberry pi 4

Categoría	Especificaciones
Procesador	Quad Core 64-bit ARM-Cortex A72 a 1.5GHz
Memoria RAM	4 GB LPDDR4
Decodificación de video	H.265 (HEVC) hasta 4Kp60 hasta 1080p60
Gráficos	VideoCore VI 3D Graphics
Conectividad Inalámbrica	802.11 b/g/n/ac Wifi, Bluetooth 5.0 con BLE
Almacenamiento	1x ranura para tarjeta SD
Puertos	2x micro-HDMI, 2x USB 2.0, 2xusb.3.0, 1x Gigabit Ethernet (Compatible con PoE)

4.3.4 Maquina a Maquina (Machine to Machine)

Machine to Machine (M2M) o Maquina a Maquina es el intercambio de información entre dos máquinas de forma remota ya sea de forma cableada o inalámbrica y es la configuración de red mayormente utilizada en sistemas IoT. [9]

Los intercambios de maquina a máquina se basan más en los terminales y servidores (por ejemplo, registro apropiado, servidores domésticos, otros) que, en los puntos centrales, como en los sistemas actuales. La ampliación de la capacidad a menores costos lograra la receptividad local de la mayor parte de la información requerida por las personas o las cosas/objetos. Esto puede combinarse con capacidades de manejo mejoradas y en consecuencia, con la accesibilidad. [10]

5. Análisis y presentación de resultados

5.1 Metodología y desarrollo del proyecto

5.1.1 Metodología de la investigación

En esta sección, se presentan las bases teóricas que giran en torno a la metodología a aplicar en este proyecto.

Diseño de Topología IoT que permite la comunicación óptima entre los dispositivos para luego ser configurados a nivel de red y poder establecer comunicación entre ellos y el sistema de control.

El desarrollo y configuración del sistema de control centralizado basado en IoT que permita la programación y monitorización de los dispositivos luminarios en tiempo real.

Luego la recopilación de datos durante las pruebas para evaluar el rendimiento en términos de eficiencia energética y comodidad del usuario.

Este enfoque metodológico asegurara la ejecución eficiente y efectiva del proyecto de diseño de un sistema de gestión de iluminación basado en IoT para el edificio Rigoberto López Pérez, planta baja, ala A.



5.2 Fases del proyecto

5.2.1 Sistema de control y gestión centralizado para programación y monitoreo de la iluminación.

5.2.1.1 Instalación del sistema operativo Home Assistant en Raspberry PI 4.

Para llevar a cabo la automatización del sistema de iluminación, se utilizará Home Assistant, un software de código abierto diseñado para la gestión de dispositivos IoT. Home Assistant es ideal por su versatilidad y amplia compatibilidad con diferentes plataformas de hardware y software. En este caso, se instalará en una Raspberry Pi 4, un dispositivo asequible y eficiente que servirá como el centro de control del sistema de iluminación. La Raspberry Pi 4, con su capacidad de procesamiento y conectividad, es adecuada para ejecutar Home Assistant y manejar la comunicación con los dispositivos IoT responsables de controlar la iluminación.

- Primer paso es descargar el programa Raspberry Pi imager

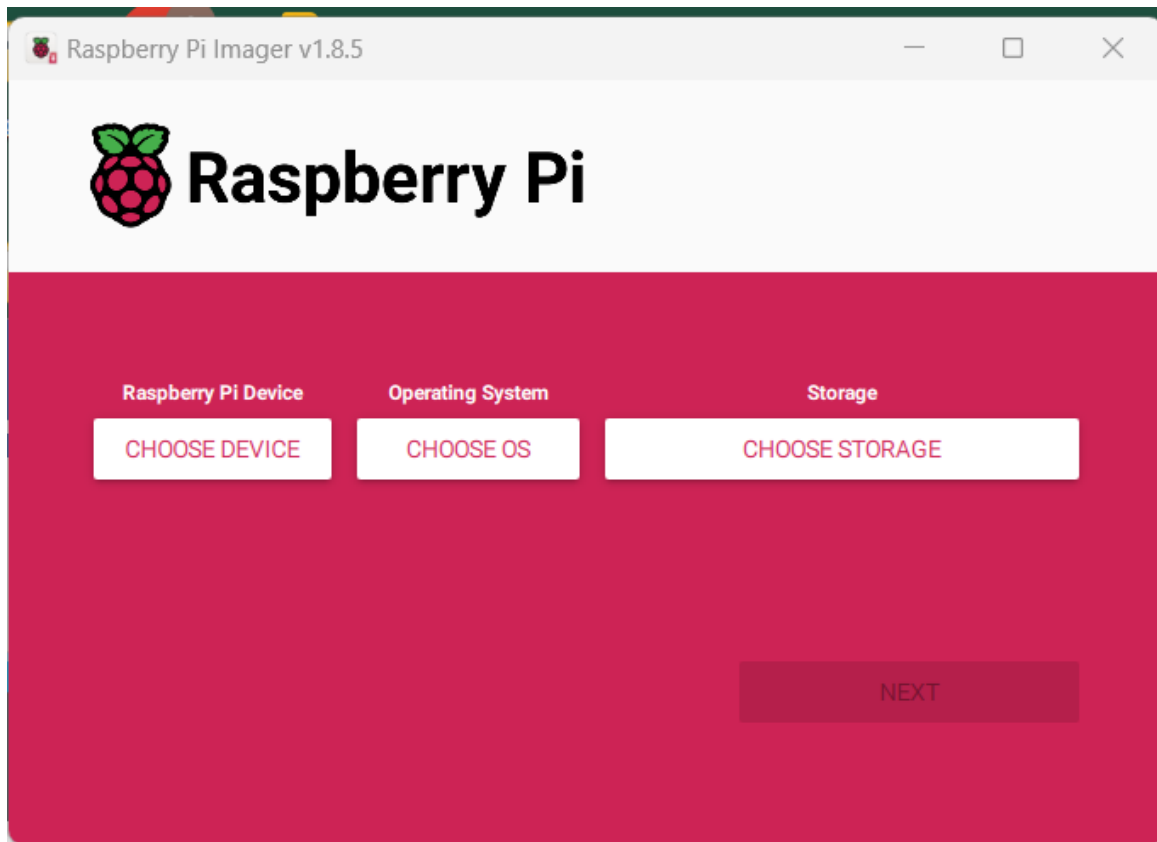


Figura No. 3 Programa Raspberry PI imager

Con este programa se selecciona el dispositivo Raspberry pi con el vamos a trabajar, para la selección del sistema operativo se tienen que realizar unos pasos adicionales y por último el almacenamiento donde se instalara el sistema operativo.

Para la instalación del sistema operativo seleccionamos la opción de seleccionar sistema y entre muchas opciones, se hace click en la opción de **other specific-purpose OS**.

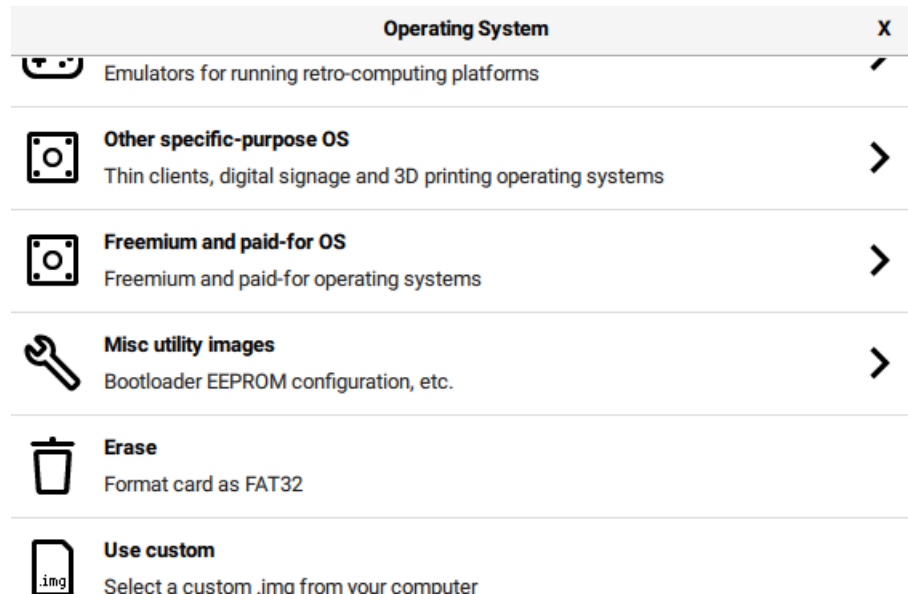


Figura No. 4 Instalación del S.O parte 1

Al seleccionar **Other specific-purpose OS** nos mostrara más opciones de sistemas a instalar y seleccionamos la opción de Home Assistants and home automation como sistema operativo.

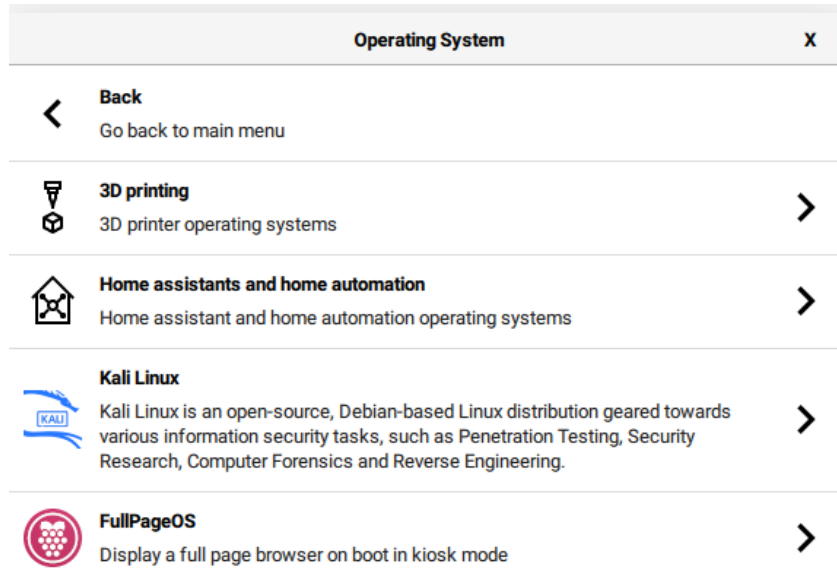


Figura No. 5 Instalación del S.O parte 2

Al presionar la opción de home assistant and home automation nos muestra la version del sistema operativo y el hardware al cual este será instalado.

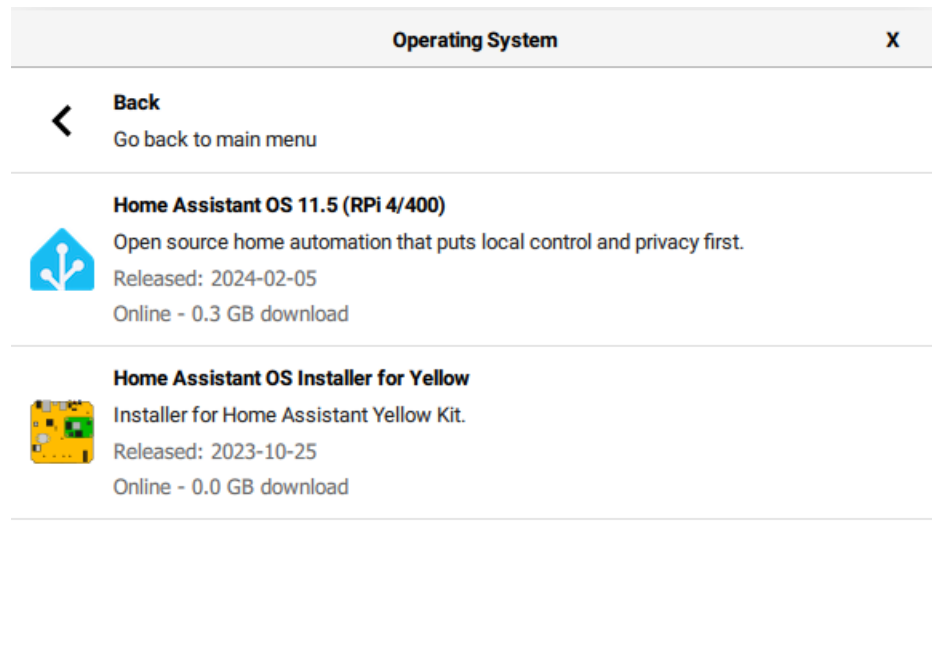


Figura No. 6 Instalación del S.O parte 3

Habiendo seleccionado el sistema operativo, pasamos al apartado de almacenamiento que debe detectar automáticamente el dispositivo de almacenamiento que se va a utilizar, para esta instalación se utiliza una memoria micro sd clase 10 con capacidad de 64GB.

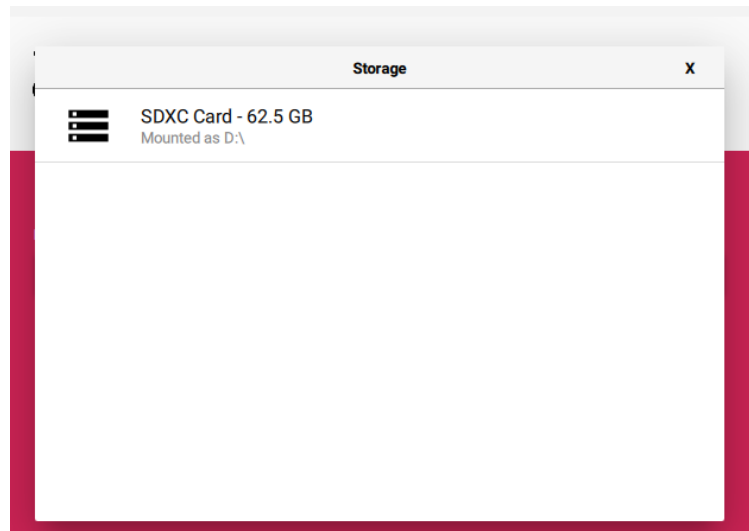


Figura No. 7 Configuración de almacenamiento

Ya teniendo todos los datos seleccionados, se procede a formatear la memoria y realizar la instalación del sistema operativo en el equipo.

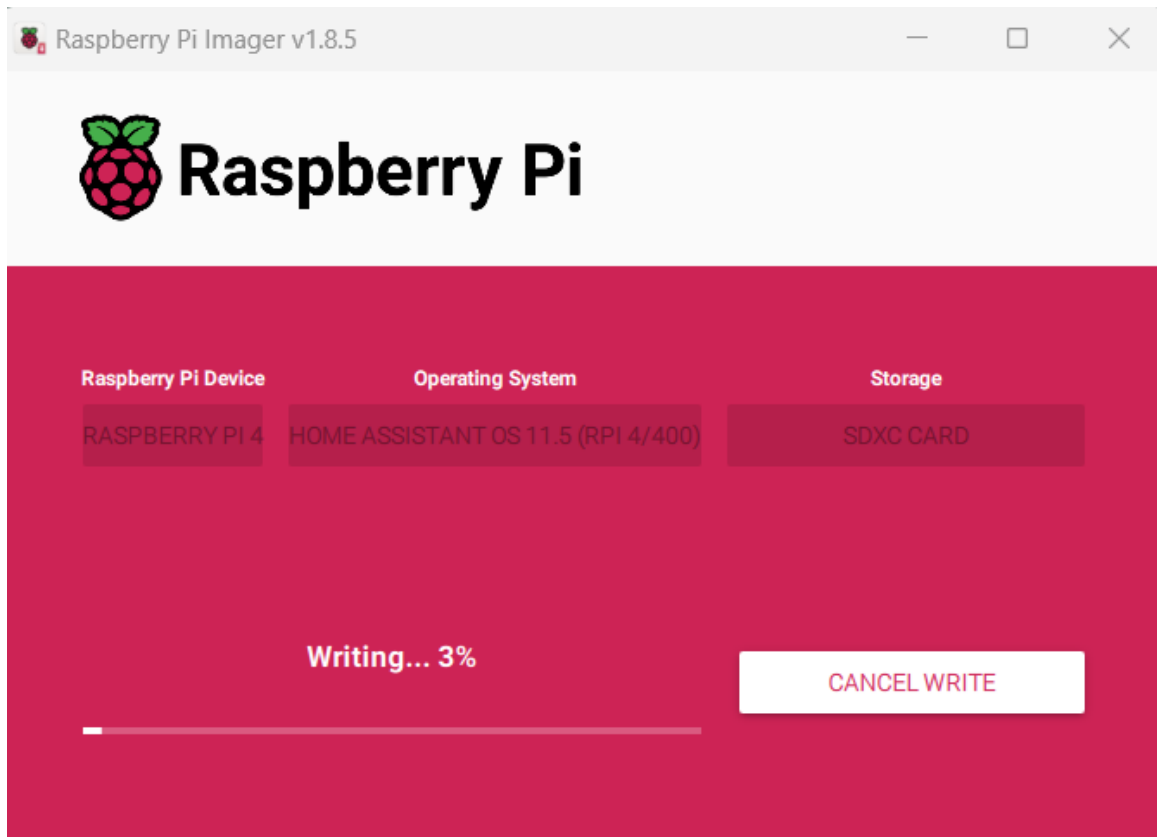


Figura No. 8 Instalación del sistema operativo Home Assistant

Con el sistema operativo correctamente instalado en el sistema procedemos a configurar la plataforma de home assistant, esta plataforma es web por lo cual para acceder se necesita un navegador y la IP que fue dada al equipo y usando el puerto por defecto 8123.

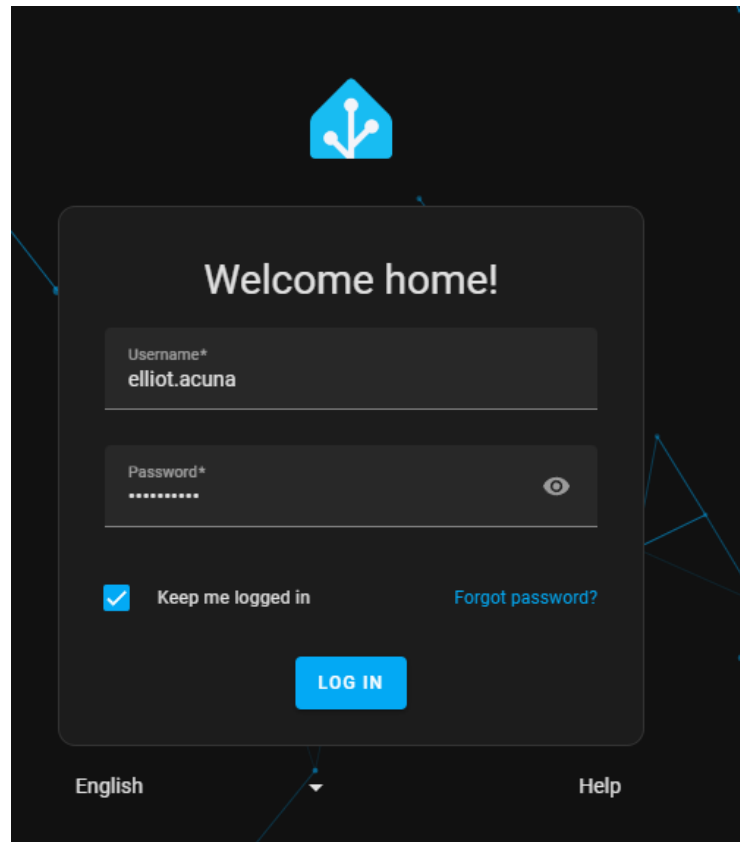


Figura No. 9 Login de ingreso a Home Assistant

Para poder tener acceso al Dashboard que nos muestra Home Assistant tenemos que iniciar sesión con un usuario que crearemos luego de haberlo instalado.

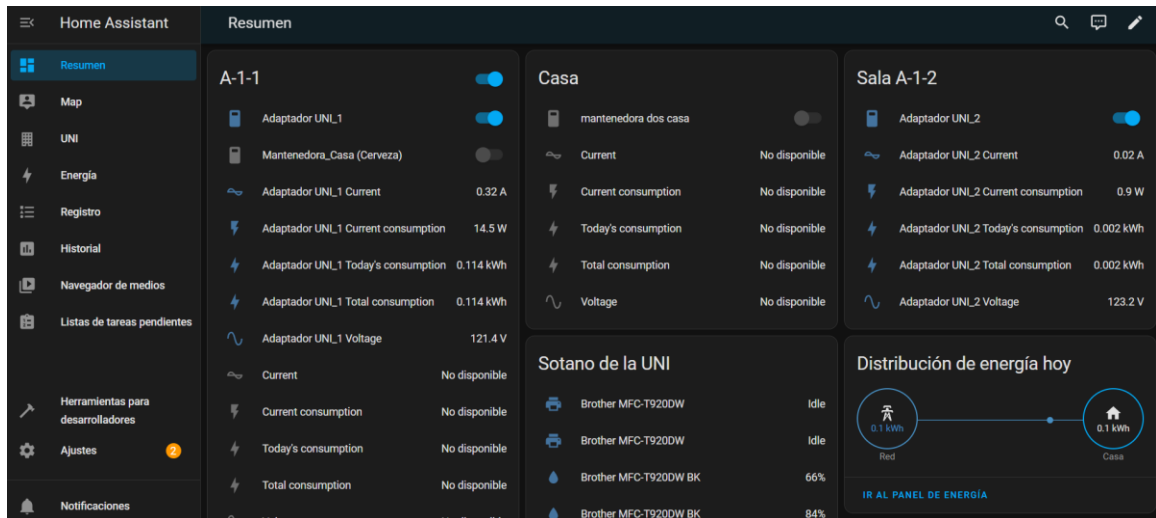


Figura No. 10 Panel administrativo de Home Assistant

En este panel administrativo se muestra de primera mano el control de los dispositivos que estén sincronizados con la plataforma, de esta manera se podrá conocer cuando consumen estos equipos, así como la manera de poder gestionarlos.

5.2.1.2 Configuración de Home Assistant en dispositivos móviles

Home Assistant es una plataforma de automatización del hogar de código abierto que permite integrar, monitorear y controlar dispositivos inteligentes desde una interfaz unificada. Para maximizar la conveniencia y el control, Home Assistant ofrece aplicaciones móviles tanto para iOS como para Android, permitiendo a los usuarios gestionar su hogar inteligente desde cualquier lugar.

La configuración de Home Assistant en dispositivos móviles es sencilla y está diseñada para proporcionar una experiencia de usuario fluida. Esta configuración incluye la instalación de la aplicación oficial, la conexión con el servidor Home Assistant, y la personalización de notificaciones y accesos rápidos a las funcionalidades más importantes. Las aplicaciones móviles también aprovechan características como la geolocalización y los widgets, facilitando la automatización basada en la ubicación del usuario o el acceso rápido a funciones comunes.

Para la configuración en dispositivos móviles es necesario descargar la aplicación oficial desde la tienda de aplicaciones, para este ejemplo se usó un dispositivo IOS.

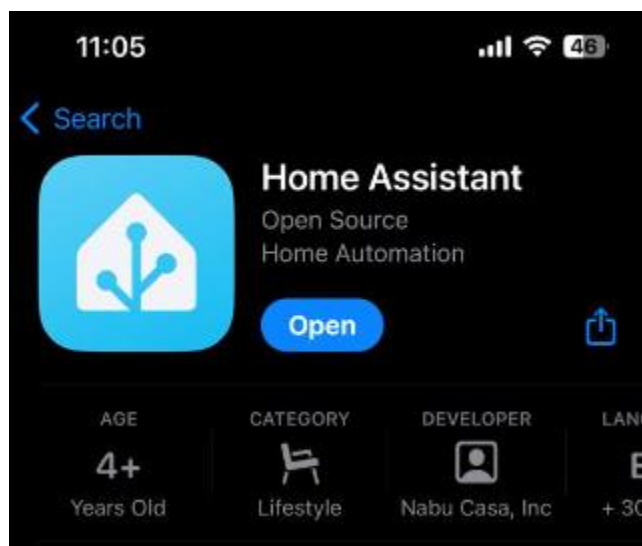


Figura No. 11 Descarga de aplicación Home Assistant IOS

Al descargar e instalar la aplicación en el dispositivo, se inicia la aplicación y nos pedirá encontrar el servidor Home Assistant que necesitamos acceder, tiene función de escaneo automático por medio de la red a la cual estamos conectados o bien podemos ingresar manualmente la dirección URL.

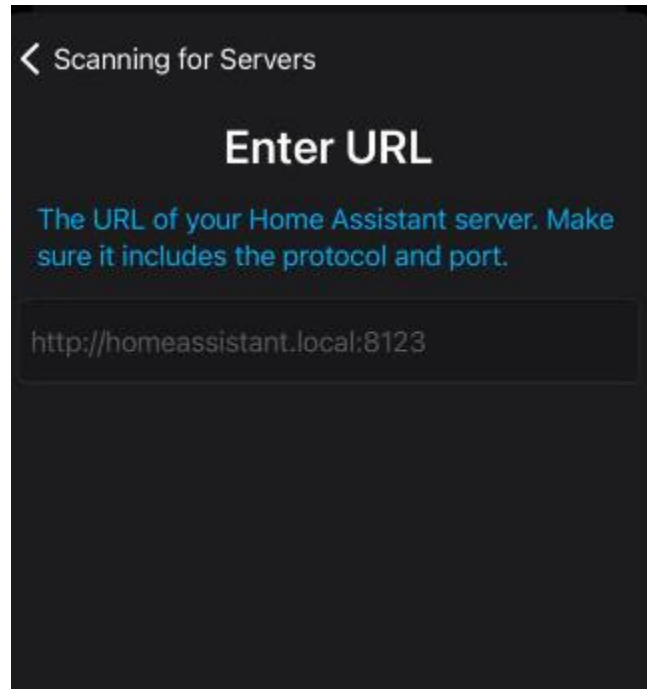


Figura No. 12 Búsqueda de servidor Home Assistant

Al ingresar a la URL de nuestro servidor Home Assistant, accedemos al panel de control general (Dashboard), donde se muestran los dispositivos conectados y las acciones disponibles para cada uno. En la sección izquierda, se organizan los paneles de reportes, permitiendo una vista detallada del consumo energético de cada equipo. En este ejemplo, se monitorean valores como corriente, consumo actual, consumo total y voltaje de los adaptadores conectados, ofreciendo un control completo del uso energético en tiempo real.

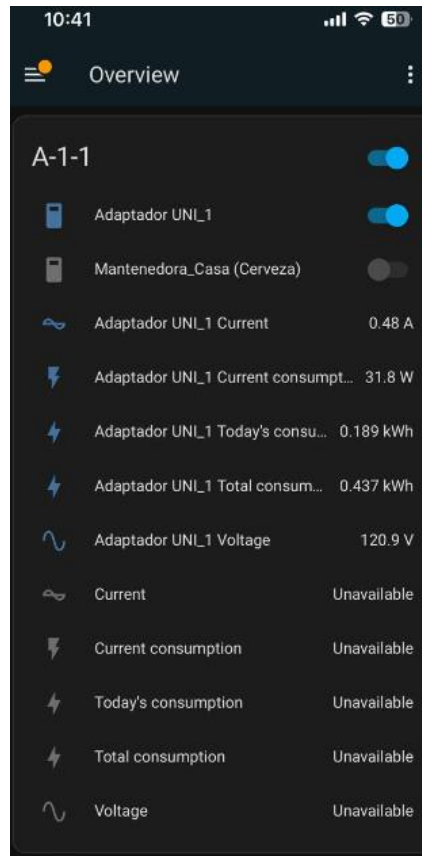


Figura No. 13 Dashboard general en dispositivo móvil

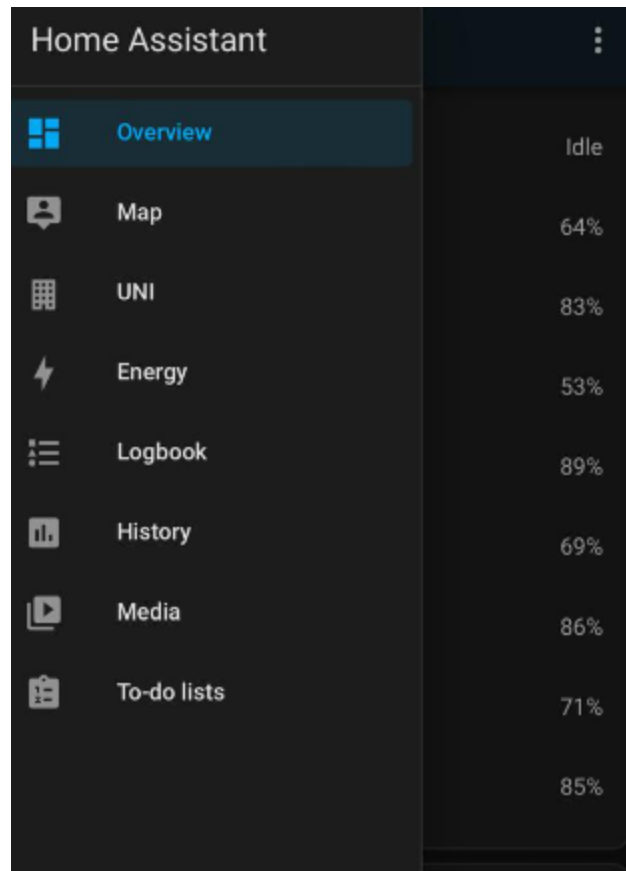


Figura No. 14 Paneles de administración de Home Assistant

En dispositivos móviles, la vista de energía (Energy) permite monitorear el consumo eléctrico de forma detallada mediante gráficos. La sección muestra el uso de energía por hora, la distribución de energía entre la red y el hogar, y un desglose de las fuentes de consumo específicas. Esto facilita el seguimiento en tiempo real y el análisis de los patrones de consumo energético.

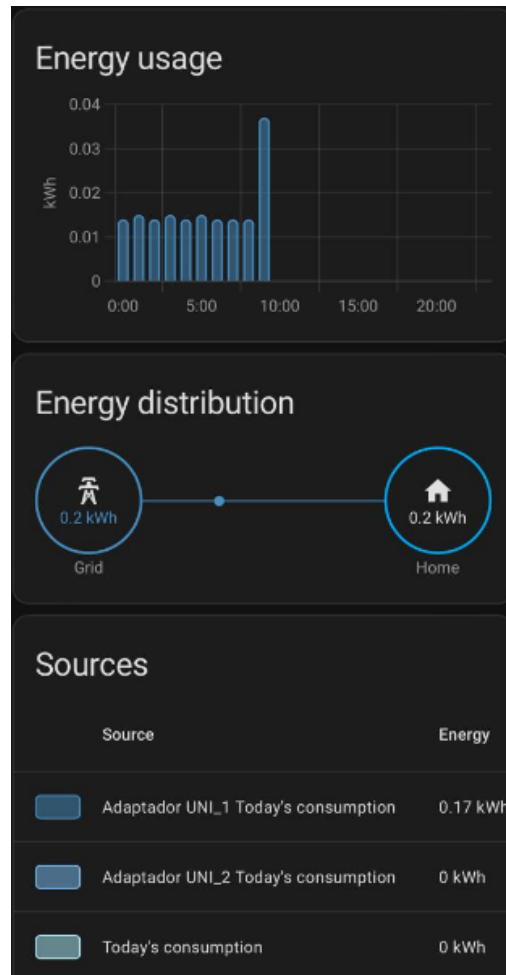


Figura No. 15 Vista del consumo de energía de los equipos

En la pestaña de historial (History) puedes personalizar la visualización seleccionando los dispositivos que deseas analizar en detalle. Esta vista permite elegir áreas, dispositivos, entidades y etiquetas, facilitando el seguimiento de cada parámetro. En el ejemplo, se observan los estados de dispositivos específicos en el "Sótano de la UNI", incluyendo el encendido y apagado de los interruptores.

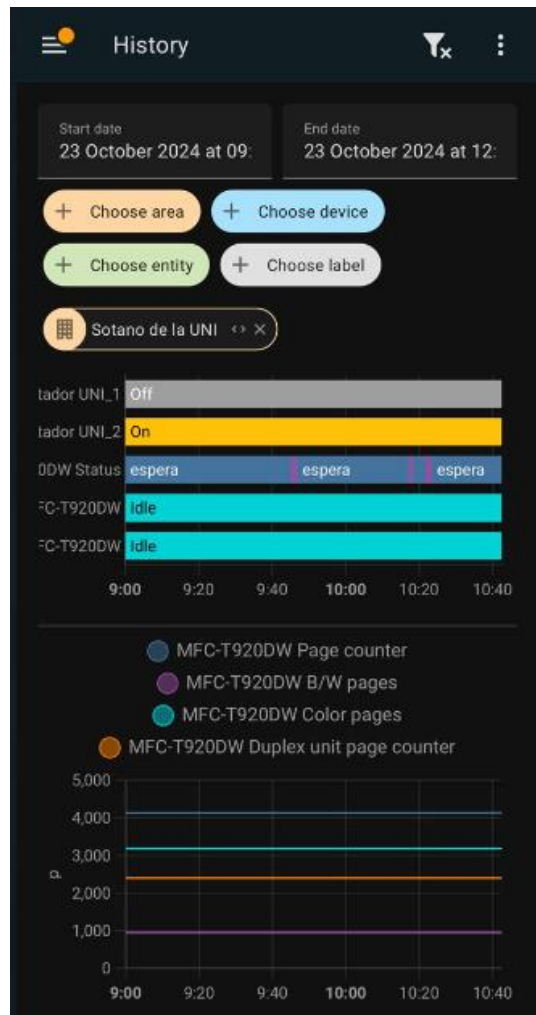


Figura No. 16 Vista del apartado de historial Home Assitant

5.3 Necesidades de iluminación y el comportamiento de los usuarios en el edificio.

5.3.1 Levantamiento de las necesidades de iluminación

Actualmente el edificio Rigoberto López Pérez cuenta con 5 pisos, distribuidos en dos alas (A y B) en las cuales se estará trabajando con dos salones de clases ubicados en el primer piso del ala A, el salón A-I-1 cuenta con seis luminarias fluorescentes de alto rendimiento y confort visual, seis abanicos de pared, cuatro toma corrientes y un data show.



Figura No. 17 Visita al salón A-I-1

Para el salón A-I-2 tiene las mismas características presentadas por el salón A-I-1 teniendo la misma cantidad de luminarias, abanicos de pared, data show y toma corrientes, por lo cual estos serían los salones piloto que serán utilizados para poder integrar dispositivos IoT que permitan el monitorear y controlar a distancia esos equipos previamente mencionados en ambos salones de clases.



Figura No. 18 Pabellón del salón A-I--2

Estos salones están siendo suministrados de energía a través de un cuarto ubicado al final del primer piso, este cuarto de energía no solo brinda electricidad a estos salones sino, a toda el ala A del primer piso siendo este uno de los cuartos más importantes y restringido para la mayoría de usuarios.



Figura No. 19 Cuarto de energía del ala A

5.3.2 Comportamiento de los usuarios

Cada año estos salones alberga a una gran cantidad de estudiantes, docentes que reciben e imparten clases, por lo cual el uso constante de abanicos, luminarias es el más utilizado diariamente sobre todo en los turnos matutino y vespertino que es donde se encuentra el mayor flujo de usuarios haciendo uso de las instalaciones y de los equipos que este posee.

En ocasiones hay usuarios descuidados que dejan en funcionamiento una luminaria o abanico aun cuando el salón no está siendo utilizado por lo cual esto genera desgaste en su vida útil y a su vez genera un costo adicional al consumo de energía eléctrica.

Debido al rápido avance de las tecnologías durante el siglo XXI, la sociedad está dirigiéndose a un modelo de estar siempre conectado, la aparición del Internet de la cosa supuso un gran cambio en la vida del ser humano, tanto que, desde la comunicación hasta los hogares, la educación, la ciencia y los negocios siendo estas una evolución de la internet utilizando equipos inteligentes que faciliten la vida al usuario. Ante todo, se pretende realizar los requerimientos mínimos para implementar este tipo de tecnologías en el edificio Rigoberto López Pérez ya que es el principal enfoque desde este proyecto, después el análisis de los diferentes equipos IoT, desarrollar la comunicación de los nodos a implementar en el edificio y la interfaz de control y monitoreo que tendrán la tarea de supervisar cualquier equipo IoT que esté conectado a la red y toda la plataforma estará configurada en una Raspberry PI que será el servidor que gestione cada uno de los dispositivos.

5.4 Análisis y presentación de resultados de consumo energético en la Universidad Nacional de Ingeniería edificio Rigoberto Lopez Pérez.

Inicialmente, se planifico realizar las pruebas en los salones A-I-1 y A-I-2 por la cercanía del salón A-I de usos múltiples que cuenta con puertos ethernet los cuales permitían la conexión con el equipo Raspberry PI 4 y brindarle acceso a la red y no tener inconvenientes con la latencia generada en la comunicación de los equipos IoT a través de los salones.

Sin embargo, debido a su ocupación por los horarios de clases y por actividades internas de la institución se seleccionó como alternativa las siguientes ubicaciones:

1. **Oficina de dirección Académica:** Se solicito permiso al Arq. Hugo Mendoza Ruiz, responsable de esta oficina, para realizar las pruebas en el espacio administrativo.
2. **Salón de profesores de Telecomunicaciones:** Este espacio, se seleccionó debido a que contaba con las condiciones necesarias como conectores Ethernet y equipos electrónicos con los cuales poder realizar pruebas de consumo energético

```
Ethernet adapter VMware Network Adapter VMnet1:
Connection-specific DNS Suffix . : 
Link-local IPv6 Address . . . . . : fe80::14a9:c402:1398:3ce4%7
IPv4 Address. . . . . : 192.168.234.1
Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
Default Gateway . . . . . : 

Ethernet adapter VMware Network Adapter VMnet8:
Connection-specific DNS Suffix . : 
Link-local IPv6 Address . . . . . : fe80::3974:87fa:2d75:1e8b%14
IPv4 Address. . . . . : 192.168.171.1
Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
Default Gateway . . . . . : 

Ethernet adapter Ethernet 3:
Connection-specific DNS Suffix . : uni.edu.ni
Link-local IPv6 Address . . . . . : fe80::9136:c991:df23:ba8%5
IPv4 Address. . . . . : 10.5.36.46
Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
Default Gateway . . . . . : 10.5.36.1
```

Figura No. 20 Direcccionamiento de la red FEC-UNI

En esta imagen podemos observar el direccionamiento asignado a nuestros equipos utilizando la red llamada FEC-UNI en esta red nosotros vamos a conectar lo que son nuestro servidor Home Assistant y nuestros equipos IoT que son enchufes inteligentes que tendrán la función de permitir el flujo de corriente a los equipos electrónicos.

Los equipos IoT a utilizar para estas pruebas son TP-link modelo KP115 los cuales son utilizados para medir y monitorear el consumo de energía en tiempo real.



Figura No. 21 Equipo IoT para monitoreo de energía TP-Link

Para estas pruebas se utilizaron cuatro TP-Link modelo KP115 para monitorear el flujo de energía de ciertos equipos electrónicos como cafeteras, cargadores de laptops de trabajo y a su vez el consumo de energía de la raspberry pi.

Tabla No. 4 Especificaciones técnicas del dispositivo IoT TP-Link

Especificaciones	Valor
Modelo	KP115
Protocolo	IEEE 802.11b/g/n
Tipo de red inalámbrico	2.4 GHz Wifi
Sistemas Operativos requeridos	Android 5.0 / IOS 10.0
Entrada	100 – 120 VAC, 15 A
Carga Máxima	15 A, 1.8KW para 120 V

Las primeras pruebas realizadas en la Universidad Nacional de Ingeniería se realizaron el día martes 29 de octubre de 2024 en donde se configuro los 4 adaptadores TP-Link para poder monitorear el consumo de energía de los equipos conectados a los adaptadores.

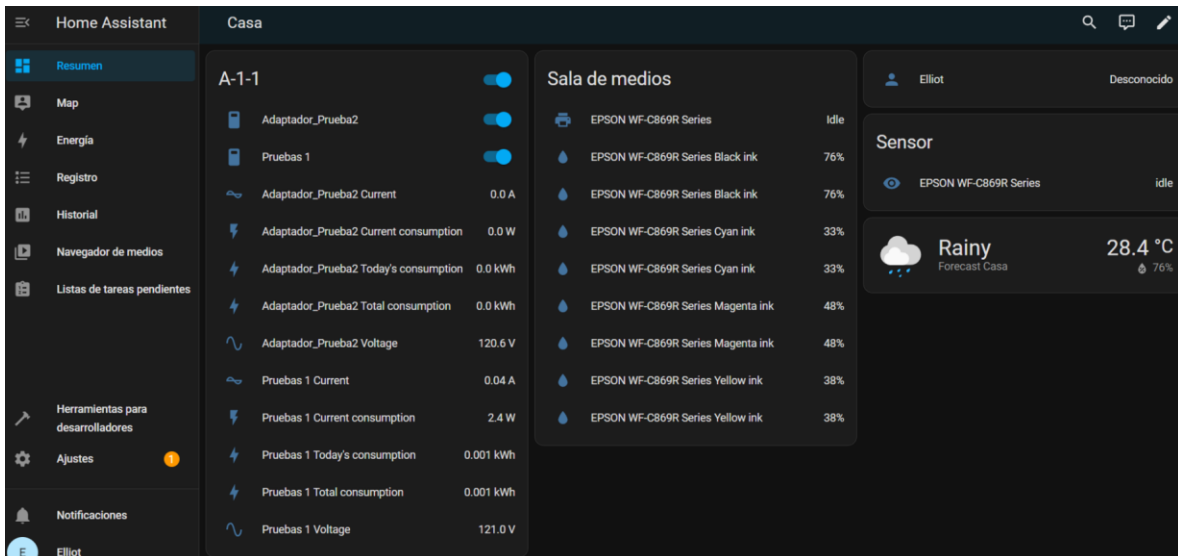


Figura No. 22 Primer monitoreo de los adaptadores A-1-1

Se puede observar en la figura No. 22 que se realizó un apartado de A-I-1 que indica el conocimiento de 2 adaptadores de pruebas ubicados en el salón A-I-1 el cual nos muestra valores de consumo, como agregado en la configuración se logró encontrar en la misma red una impresora EPSON WF-C89R se vinculó y la plataforma comenzó a reconocer los niveles de tinta que tenía en uso la impresora.

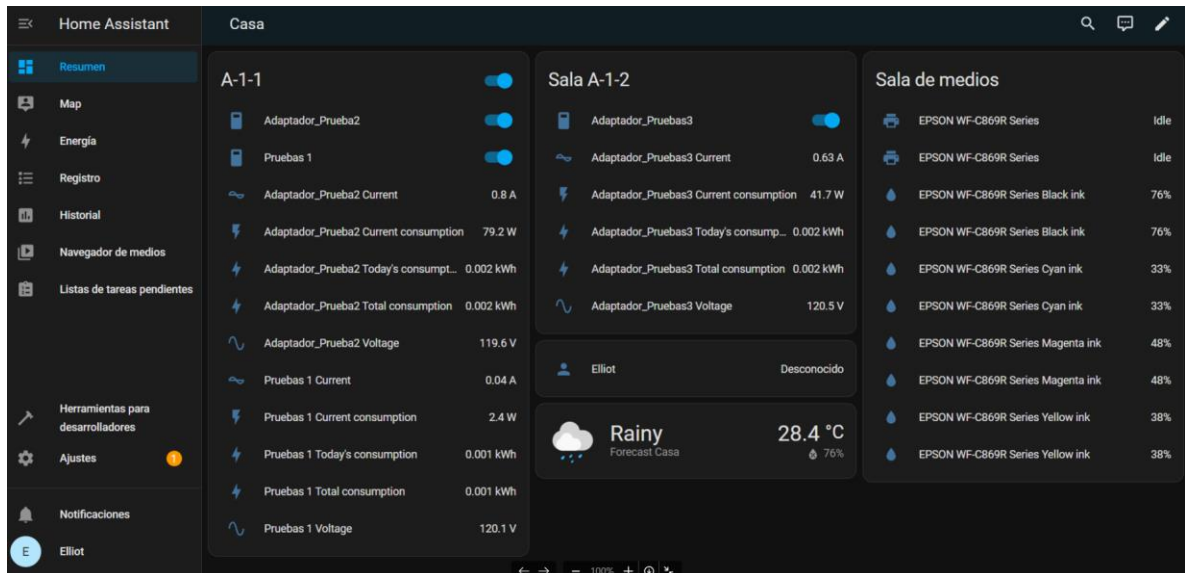


Figura No. 23 Vista general del consumo de los adaptadores en cada salón

Esta es una vista general de los equipos que se están monitoreando actualmente, el día martes 29 de octubre de 2024 en la Universidad Nacional de Ingeniería, Se tienen en el salón A-I-1 dos adaptadores inteligentes los cuales el llamado Prueba 1 está midiendo la corriente que pasa para el equipo de la Raspberry PI 4 que es el servidor del Home Assitant, Adaptador_Prueba2 está midiendo la corriente que pasa por el cargador de laptop y en el salón A-I-2 el adaptador_Prueba3 Está midiendo el consumo de energía de un cargador de Laptop.

5.5 Análisis y resultados obtenidos en el monitoreo de equipos en la oficina de dirección académica ubicado en el sótano del edificio Rigoberto Lopez Pérez

En este apartado se presentan los resultados obtenidos a partir del monitoreo de los equipos ubicados en la oficina de dirección académica, situada en el sótano del edificio Rigoberto López Pérez. El monitoreo se llevó a cabo el 5 de noviembre hasta el 29 de noviembre de 2024, para registrar el consumo energético, se utilizaron los conectores inteligentes TP-Link K115, capaces de medir en tiempo real el flujo de energía consumida por los dispositivos conectados.



Figura No. 24 Oficina de dirección académica en el sótano del edificio Rigoberto Lopez Pérez



Figura No. 25 Interior de la oficina de dirección académica

Para estos análisis se utilizaron dos conectores TP-Link K115, configurados para integrarse en la red Wi-Fi de la oficina de informática junto con el servidor Raspberry Pi 4. Estos conectores fueron empleados para medir el flujo de energía de una UPS, la cual alimentaba un cargador de laptop, la fuente del Raspberry Pi 4 y un router de la compañía Claro. Esta configuración permitió obtener mediciones del consumo energético de cada dispositivo, facilitando un análisis detallado de su impacto en el consumo total.

Se realizó una simulación utilizando el programa Cisco Packet Tracer el cual a través de sus diferentes módulos se trató de hacer una representación acercada de los equipos utilizados en la prueba. El medidor de potencia hace de referencia al sensor utilizado para la conexión de la UPS con el router claro

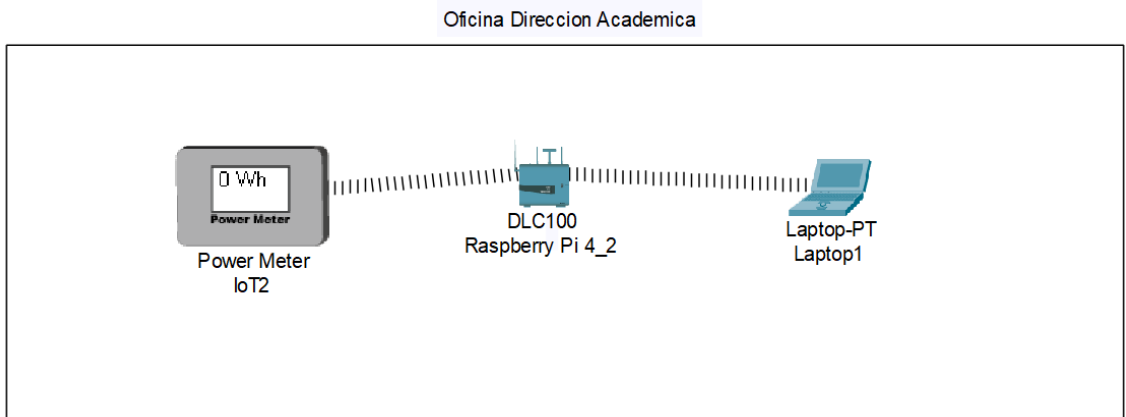


Figura No. 26 Simulación de topología estrella de la oficina de dirección académica



Figura No. 27 Conector TP-Link K115 conectado a UPS parte 1



Figura No. 28 Conector TP-Link K115 conectados a UPS parte 2

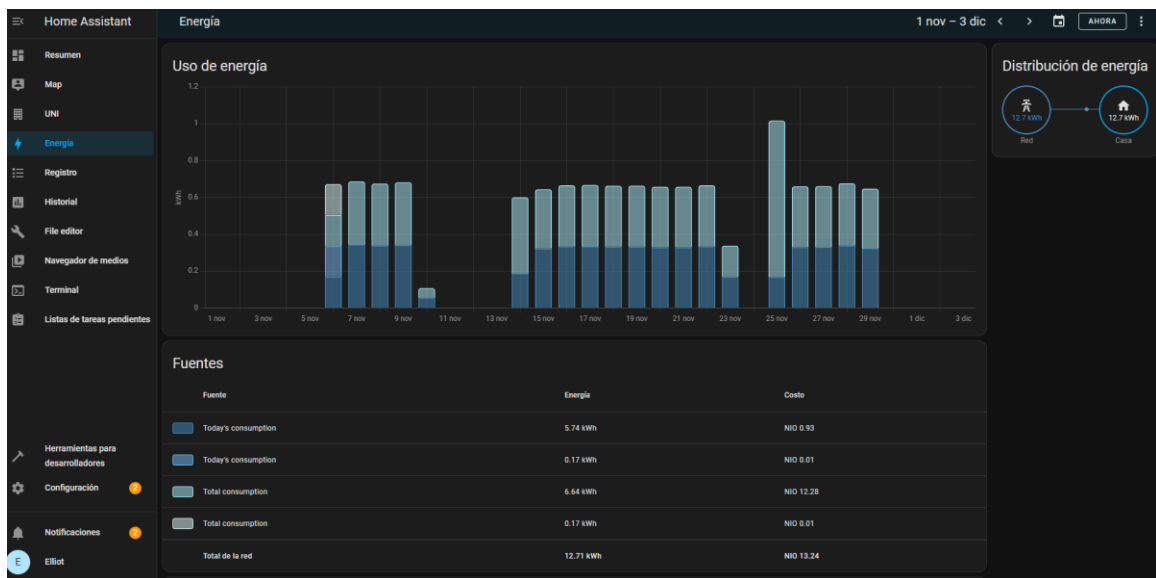


Figura No. 29 Consumo energético de oficina académica en el mes de noviembre

En esta figura podemos observar que en el periodo del 5 de noviembre hasta el 29 de noviembre se registró el consumo energético del equipo Raspberry pi 4 y un router claro modelo ZXHN H108N el cual nos permitía monitorear los equipos conectados en la red, para esta prueba solo se utilizó un sensor TP-Link K115 el cual conectada directamente con la UPS que conectaba con los equipos ya mencionados.

En la sección de fuentes podemos ver el consumido por todos los equipos generando un total de 12.71 kWh, estos cálculos la plataforma Home Assistant los realiza a través del cálculo de suma integral de Riemann, la tarifa calculada es un valor estimado que realiza la plataforma con el precio de la moneda en cada país.

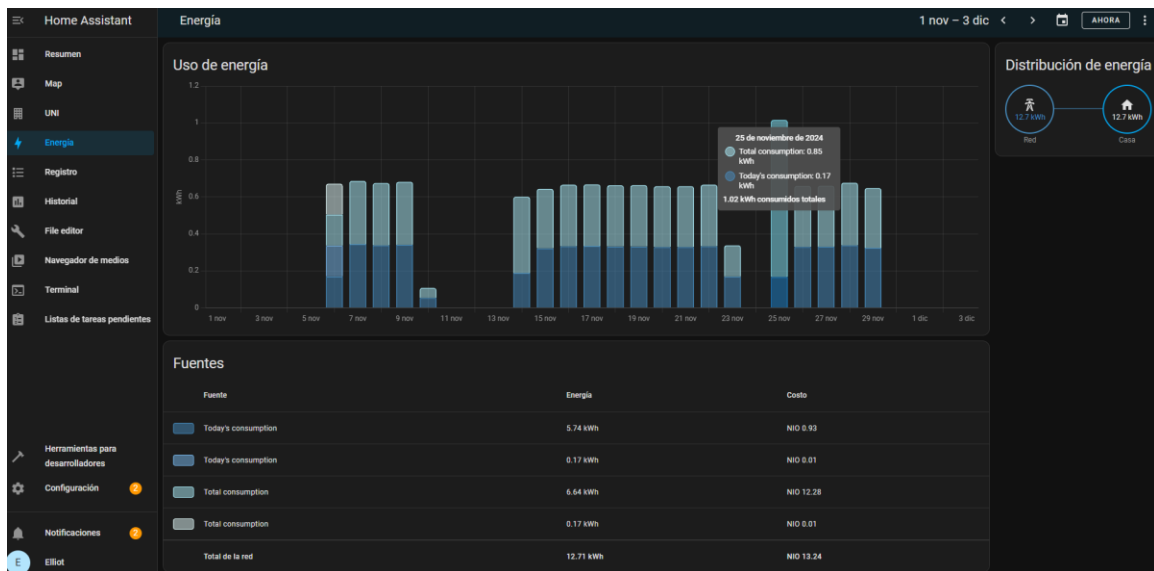


Figura No. 30 Pico de consumo alto en el mes de noviembre oficina de dirección académica

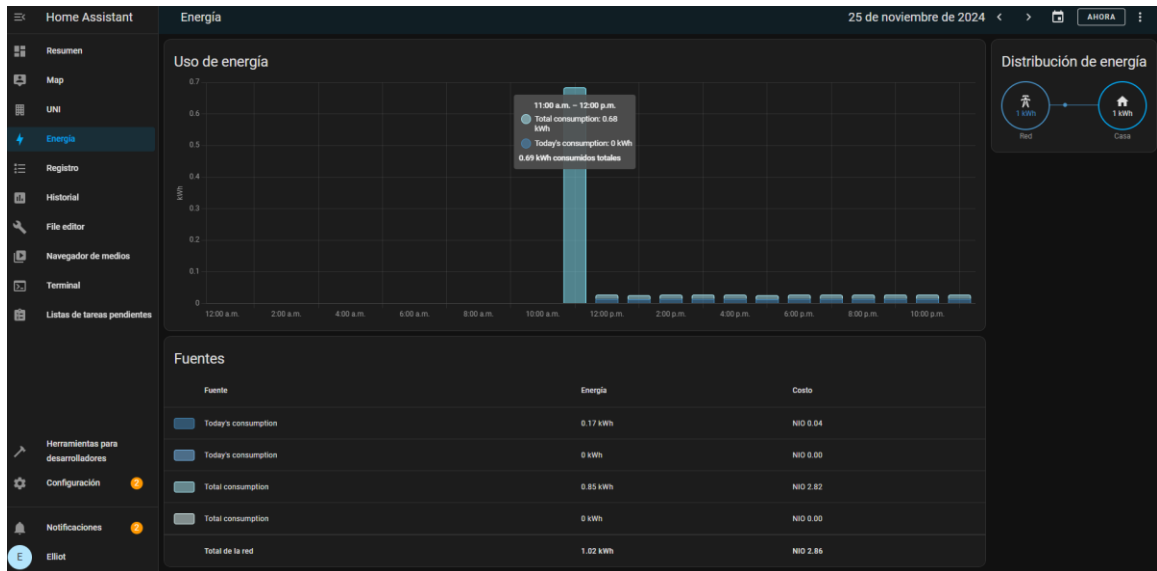


Figura No. 31 consumo energético de oficina académica en el mes de noviembre

En la figura No 30 y 31 se puede observar que en la fecha del 25 de noviembre se registró el pico más alto de consumo energético. Siendo en el intervalo de tiempo de las 10:00 am a 12:00 pm registrando un consumo de 0.68 kWh siendo posible que otros equipos electrónicos fueran conectados en la ups generando mayor consumo energético, luego se redujo a tener un valor constante de 0.01 kWh.

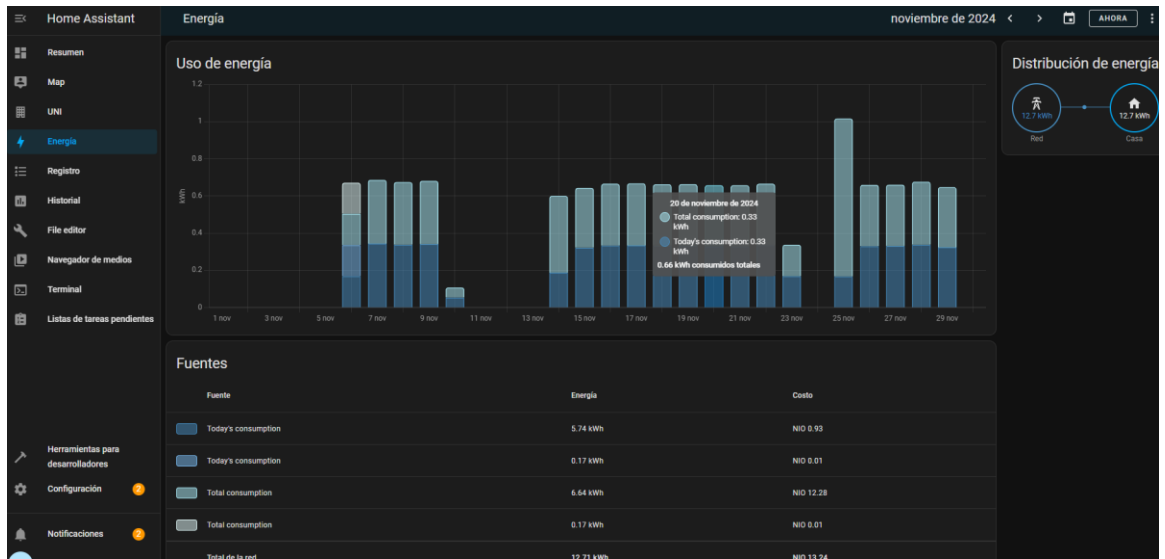


Figura No. 32 Consumo energético constante en el mes de noviembre en la oficina de dirección académica

En la figura No. 32 se muestra que en el todo el mes de noviembre se registró constante un consumo de 0.33 kWh esto indica que gran parte del mes de noviembre no se generó mucho consumo energético por parte de los equipos conectados.

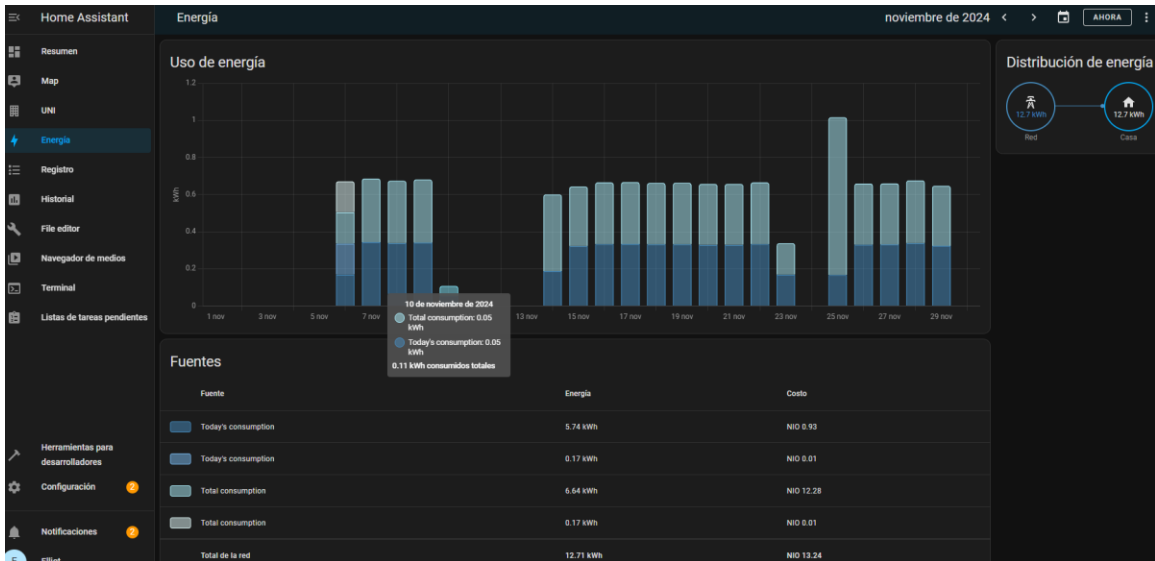


Figura No. 33 Consumo energético más bajo en el mes de noviembre en la oficina de dirección académica

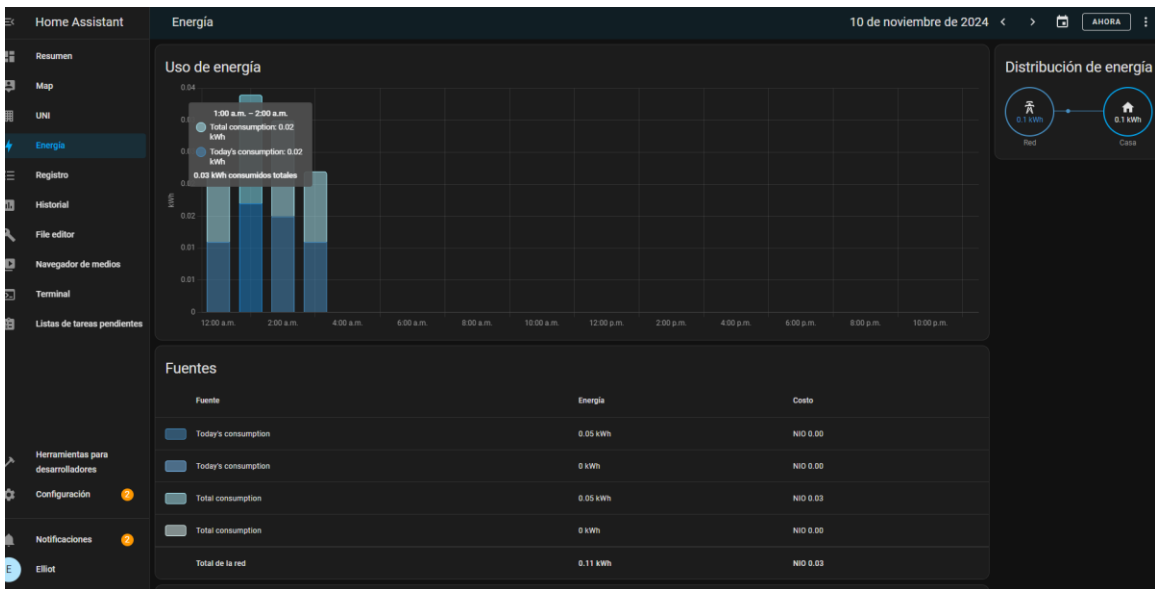


Figura No. 34 Detalle de consumo energético más bajo en el mes de noviembre en la oficina de dirección académica

En las figuras No. 33 y 34 se muestra a detalle el día 10 de noviembre el cual fue registrado con el día con menor consumo energético, en el cual se puede observar que los consumos energéticos registrados fueron en horarios de madrugada siendo desde las 12:00 am a 4:00 am

5.6 Análisis y resultados obtenidos en el monitoreo de equipos en la sala de profesores de telecomunicaciones ubicado en el quinto piso edificio Rigoberto Lopez Pérez.

En el edificio Rigoberto López Pérez de la Universidad Nacional de Ingeniería, inicialmente se seleccionaron los salones A-I-1 y A-I-2 como pilotos para monitorear el consumo generado por los abanicos y otros equipos utilizados durante las actividades académicas. Sin embargo, debido a limitaciones técnicas, como la falta de un puerto Ethernet para conectar la plataforma Home Assistant a internet, y la disponibilidad limitada de los salones por los horarios de clases, las pruebas se llevaron a cabo finalmente en la sala de profesores de Telecomunicaciones.



Figura No. 35 Monitoreo de consumo energético en sala de profesores de telecomunicaciones

Se realizó una simulación utilizando el programa Cisco Packet Tracer para poder mostrar la topología estrella en el funcionamiento del equipo Raspberry PI 4 con la plataforma Home Assistant y como esta conecta con los diferentes dispositivos conectados en una misma red.

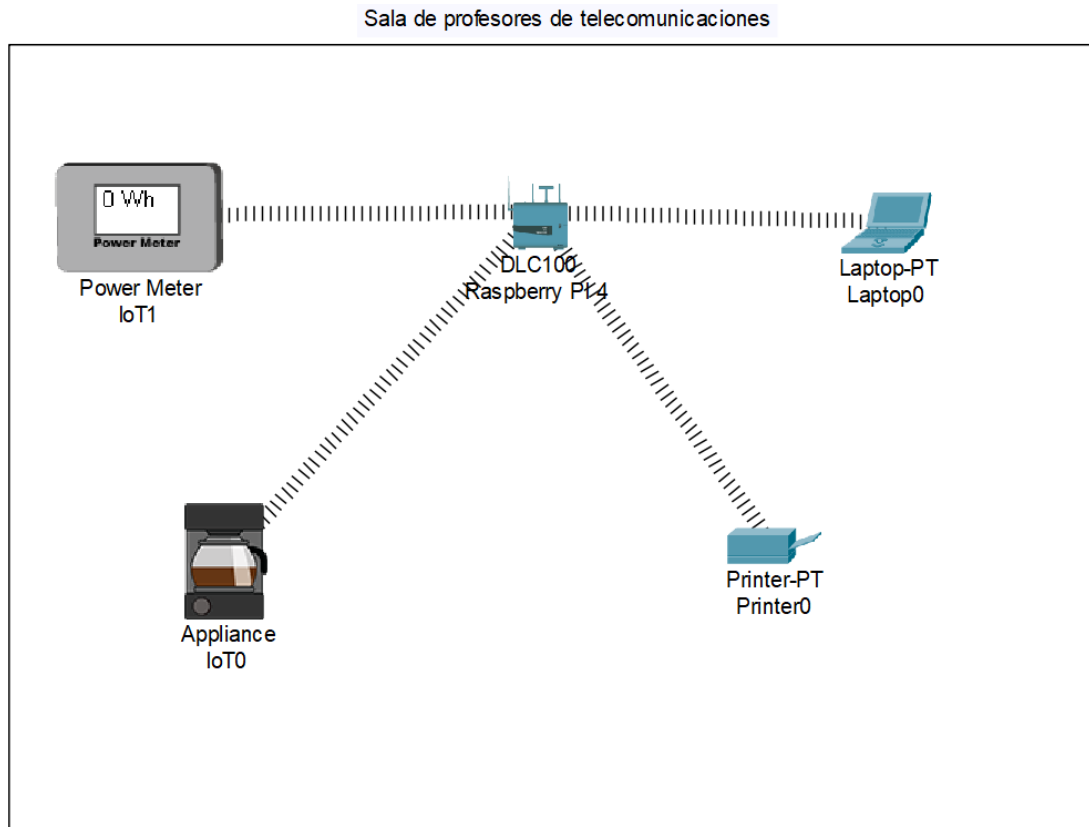


Figura No. 36 Simulación de sala de profesores de Telecomunicaciones

Para la prueba de monitoreo se realizaron pruebas con una cafetera disponible conectada al dispositivo IoT y también se tenía monitoreando el consumo que estaba generando la raspberry PI 4 al momento de hacer las pruebas.



Figura No. 37 Monitoreo de consumo energético del salón de profesores de telecomunicaciones

En la figura No. 37 podemos observar el consumo registrado en el rango de tiempo de 9:00 am a 12:00 pm, el adaptador1 estaba realizando monitoreando el consumo de un cargador de laptop de 20W, adaptador2 monitoreaba el consumo de la fuente del equipo Raspberry PI 4 y por ultimo adaptador3 registro el consumo energético generado por una cafetera, en las mediciones de la cafetera se observó que el equipo IoT detecta consumo al momento de hacer uso de la cafetera, por lo cual existen ciertos equipos que no generan gran consumo si estos no están siendo utilizados.

5.7 Análisis y resultados obtenidos en el monitoreo de equipos de la Pulpería Chico.

Como parte del interés en evaluar la versatilidad del sistema en otros entornos distintos al universitario, se decidió realizar pruebas adicionales en un entorno comercial real. La pulpería "Chico", fue seleccionada como caso de estudio complementario debido a su constante uso de equipos de refrigeración que representan una carga energética significativa. Esta evaluación permitió validar el uso de Home Assistant y los sensores IoT en contextos distintos al académico, explorando así el potencial de la solución propuesta en pequeños negocios.

La pulpería "Chico", es un negocio ubicado en la ciudad de Managua, específicamente en el Distrito número cinco, barrio Isaías Gómez. Este negocio emplea dos mantenedoras para conservar productos congelados, las cuales fueron seleccionadas como punto focal para llevar a cabo un monitoreo constante de su consumo energético.

Las mediciones se efectuaron durante todo el mes de septiembre, con el propósito de obtener datos precisos y representativos sobre el comportamiento energético de las mantenedoras. Este enfoque permitió optimizar la interpretación de los datos recopilados a través de la plataforma Home Assistant y proporcionó una visión más detallada del impacto energético de estos equipos en las operaciones del negocio.

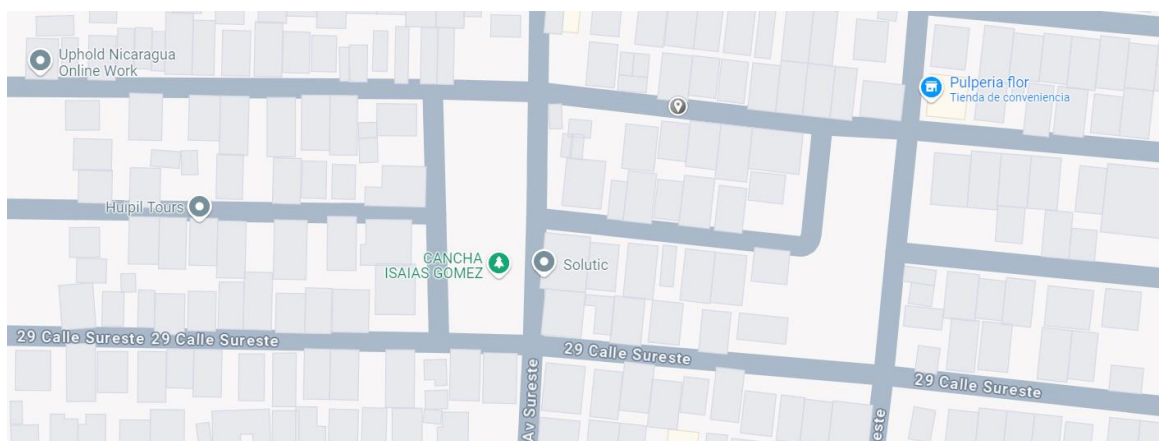


Figura No. 38 Ubicación de la pulpería "Chico"

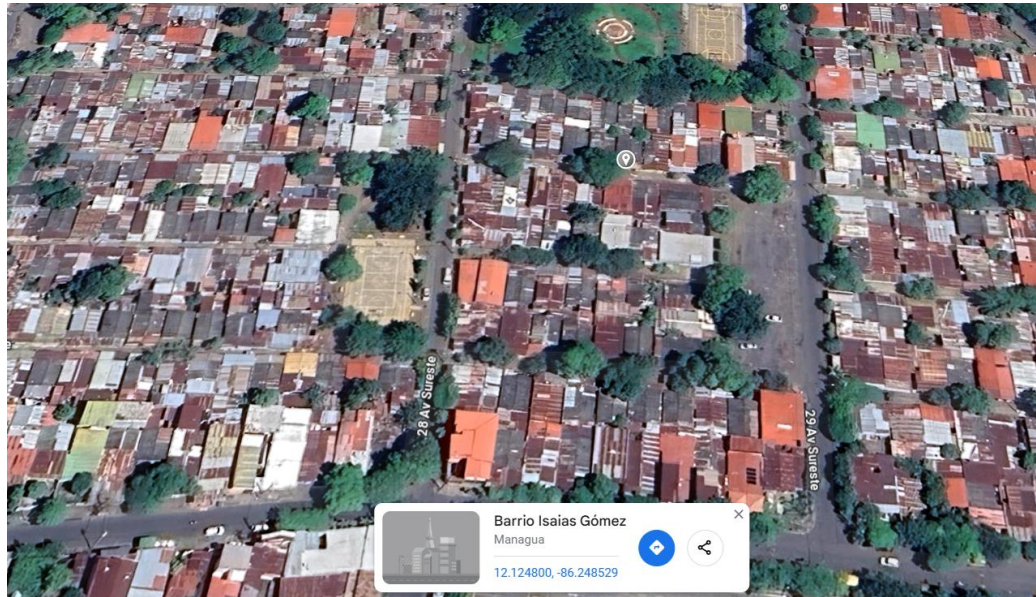


Figura No. 39 Ubicación de pulpería "Chico" parte 2



Figura No. 40 Equipo instalado en pulpería "Chico"

Para la simulación de la pulpería “Chico” en el programa de Cisco Packet Tracer se utiliza de manera representativa servidores para simular lo que son las mantenedoras utilizadas en esta prueba y a su vez utilizando un medidor de energía que es el sensor TP-link K115

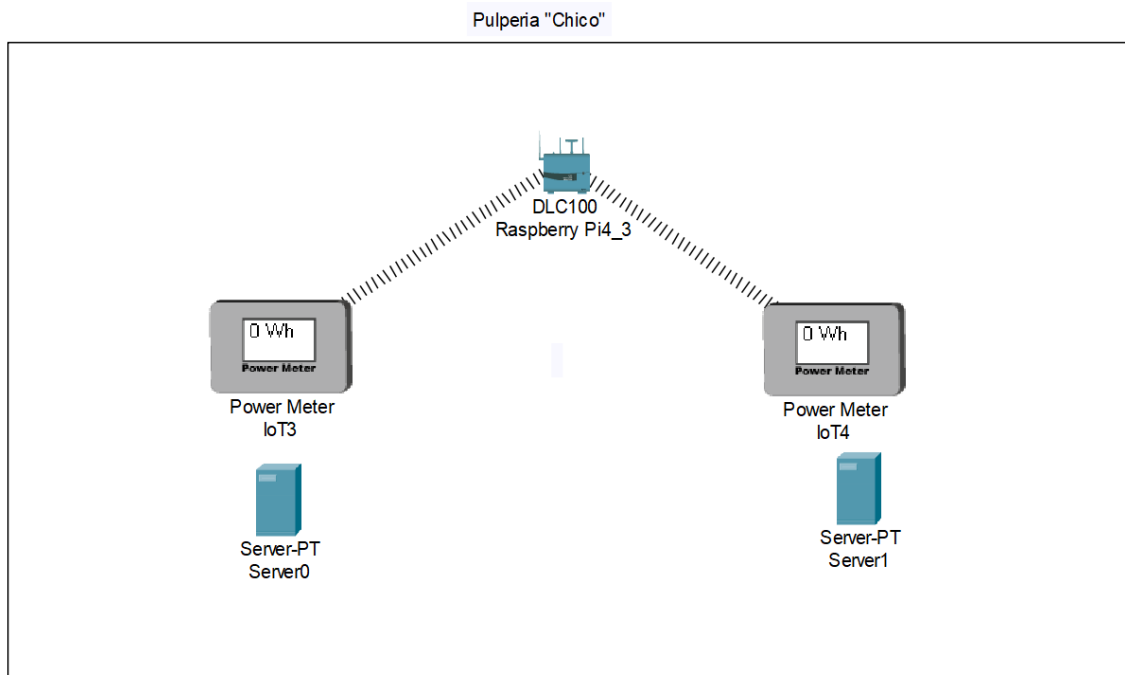


Figura No. 41 Simulación de la pulpería "Chico"

Para este análisis se realizaron pruebas con los siguientes equipos electrónicos utilizados para mantener bebidas y alimentos para su venta. El primer equipo es una mantenedora únicamente para bebidas alcohólicas de marca FOGEL con el modelo FROSTER-280-LM-HC.



Figura No. 42 Mantenedora FOGEL de pulpería "Chico"

Tabla No. 5 Especificaciones técnicas de mantenedora FOGEL modelo FROSTER-280

Características	Descripción
Control de energía	Botón de ahorro de energía y tres rangos de temperatura ajustable
Aislamiento	Puerta sólida y aislamiento de poliuretano libre de CFC con ciclopentano
Motores	Motores electrónicos
Refrigerante	R-290
Voltaje y Frecuencia	115V/60Hz

El segundo equipo que se utilizó para realizar las pruebas de consumo energético generado por una mantenedora de marca FOGEL con el modelo BLIZZ-12-HC



Figura No. 43 Congelador marca FOGEL modelo BLIZZ-12-HC de pulpería "Chico"

Tabla No. 6 Especificaciones técnicas de mantenedora FOGEL modelo BLIZZ-12-HC

Características	Descripción
Puertas	2 – tapaderas de vidrio, deslizantes
Compresor	¼ HP
Rango de temperatura	-27C - -24C -17F - -11F
Refrigerante	R-290
Voltaje y Frecuencia	115V/60Hz/1



Figura No. 44 Consumo energético del mes de septiembre pulpería "Chico" parte 1

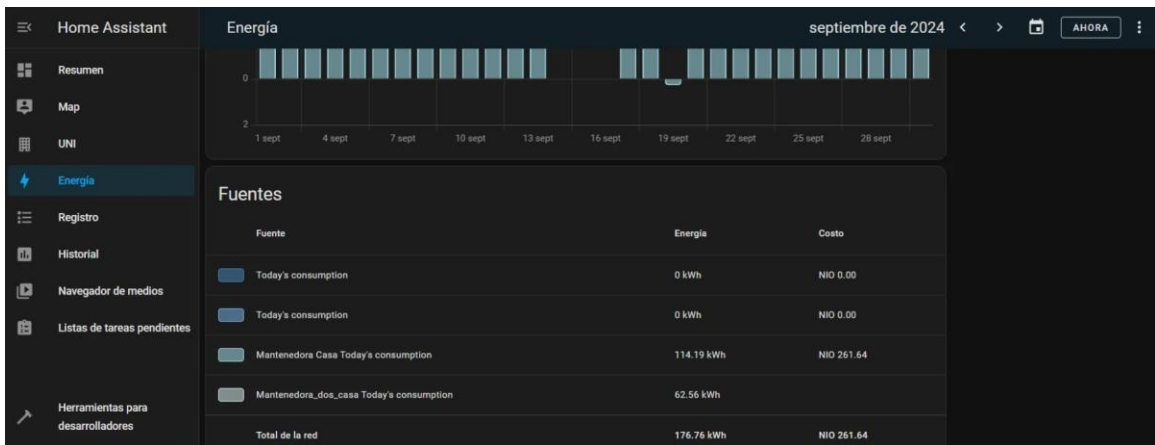
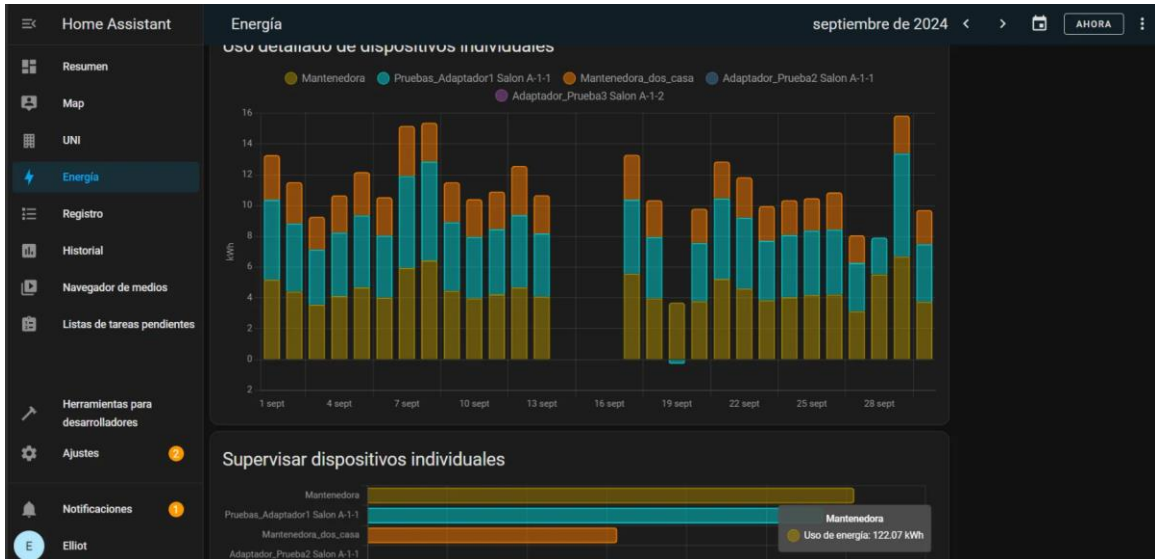


Figura No. 45 Consumo energético del mes de septiembre pulpería "Chico" parte 2



En las figuras No. 46 y 47 podemos observar el consumo energético registrado por las dos mantenedoras que funcionan en la pulpería “Chico” en los cuales se destaca el nombre de “mantenedora” que es la mantenedora vertical FORGE modelo FROSTER-280 y la que tiene la etiqueta mantenedora_dos_casa es la congeladora FORGE modelo BLIZZ-12-HC. A lo largo del mes de septiembre la mantenedora FROSTER-280 mantuvo un nivel uniforme en su consumo llegando a consumir un total de 122.07 KWh, mientras que la mantenedora horizontal llega

tener una variación en sus picos de consumo llegando a registrar un total de 62.56 KWh.

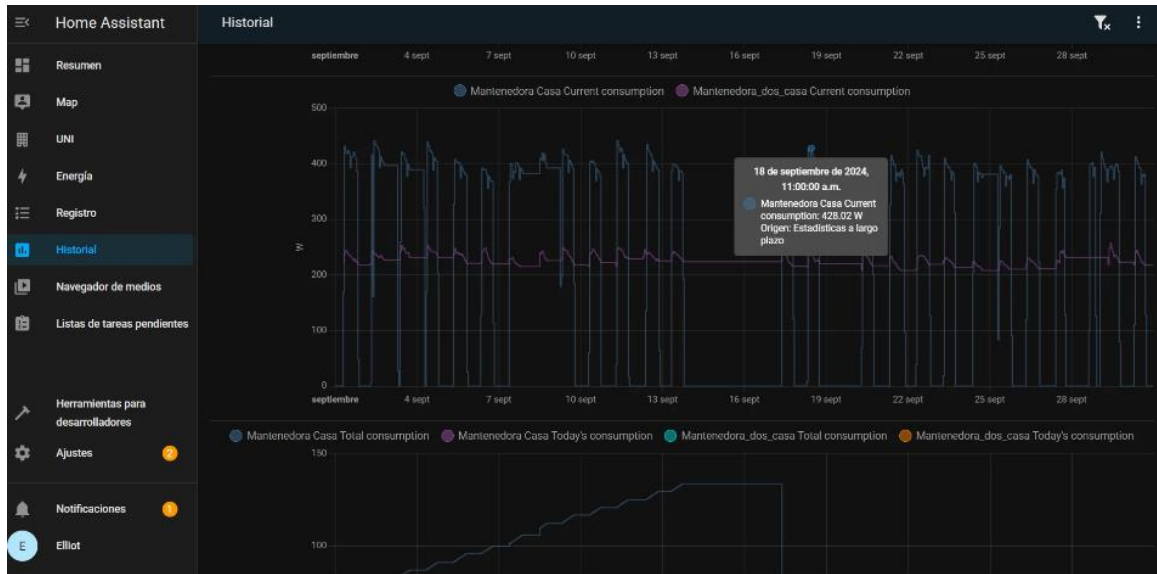


Figura No. 48 Picos de consumo de mantenedora en pulpería "Chico" parte 1



Figura No. 49 Picos de consumo de mantenedora en pulpería "Chico" parte 2

En la Figura No. 48 y 49 podemos observar un historial del consumo energético registrado en todo el mes de septiembre de ambas mantenedoras en las cuales se visualizan a través de gráficos que nos permiten dar detalles más específicos de lo recolectado, en la ilustración 27 podemos observar que el pico de consumo más alto registrado por la mantenedora FROSTER-280 fue de 428.02 W el día 18 de septiembre de 2024, y en la ilustración 28 observamos que el pico máximo registrado por la mantenedora FORGE modelo BLIZZ-12-HC fue de 256.82 W.

Con los datos obtenidos de la plataforma de Home Assistant se realizó un cálculo estimando el impacto que generan las mantenedoras en el recibo mensual del consumo energético, para esta prueba solo se toma el valor consumido en KWh de la factura, esto con el propósito de no incluir el consumo de luminarias públicas, regulaciones y el IVA.

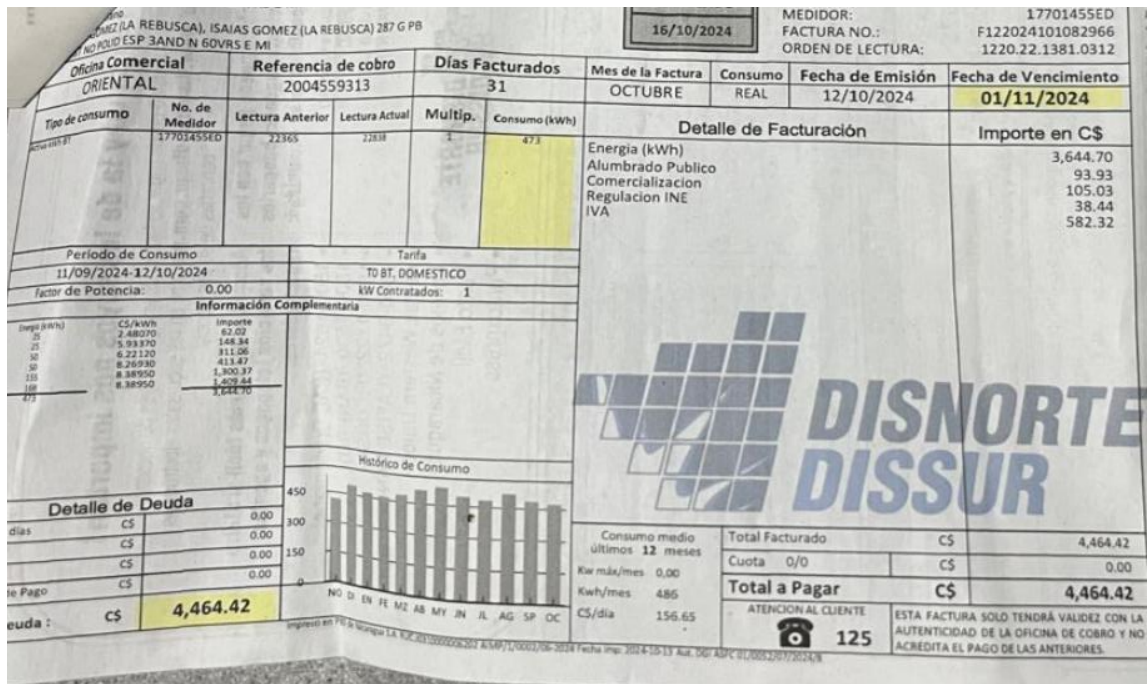


Figura No. 50 Recibo de consumo energético de pulpería "Chico"

Para el primer calculo se estará tomando la mantenedora vertical FORGE modelo FROSTER-280 que genera diariamente 122.07KWh, para conocer lo que género en todo el mes se multiplica por la cantidad de días de ese mes que fueron 30 días.

1. Fórmula utilizada para el cálculo diario:

Los datos diarios del consumo energético (122.07KWh) son proporcionados por la plataforma Home Assistant, el sistema utiliza la ecuación de integración suma de Riemann para calcular la energía consumida por los dispositivos.

2. Fórmula para calcular el consumo mensual:

Para determinar el consumo mensual, se multiplica el consumo diario promedio por el número de días del mes:

$$\text{Consumo mensual (kWh)} = \text{Consumo diario (kWh)} \times \text{Número de día}$$

$$122.07\text{KWh} \times 30 \text{ días} = 3662.1\text{KW}$$

3. Cálculo del costo del consumo energético

La fórmula utilizada es:

$$\text{Costo Total} = \text{Consumo total en kWh} \\ / \text{Limite de consumo por tarifa} \times \text{costo por limite}$$

Consumo total: 3662.1kWh (corresponde al consumo energético registrado en la factura)

Límite de consumo por tarifa: 50kWh

Costo por límite: 8.2C\$ (costo por cada bloque de 50kWh)

$$3662.1\text{KWh}/50\text{KWh} \times 8.2 \text{ C\$ kWh} = \text{C\$ } 600.56$$

Generando un costo mensual de 600.56 C\$



4. Cálculo del porcentaje consumido reflejado en la factura

La fórmula utilizada es:

$$\text{Porcentaje} = \text{Costo del consumo} / \text{Costo total de la factura} \times 100$$

Costo del consumo: 600.56 C\$

Costo total de la factura: 3644.70C\$

$$C\$ 600.56 / C\$ 3644.70 \times 100 = 16.48\%$$

El cálculo determina que el 16.48% del consumo total de la factura es generado por la mantenedora FORGE modelo FROSTER-280

Para el segundo cálculo se estará tomando las mediciones obtenidas de la mantenedora Fogel modelo BLIZZ-12-HC la cual fue un valor de 62.56KWh

1. Fórmula para calcular el consumo mensual:

Para determinar el consumo mensual, se multiplica el consumo diario promedio por el número de días del mes:

$$\text{Consumo mensual (kWh)} = \text{Consumo diario (kWh)} \times \text{Número de días}$$

$$62.56KWh \times 30 \text{ días} = 1876.8KW$$

2. Cálculo del costo del consumo energético

La fórmula utilizada es:

$$\text{Costo Total} = \text{Consumo total en kWh} \\ / \text{Limite de consumo por tarifa} \times \text{costo por limite}$$

Consumo total: 1876.8kWh (corresponde al consumo energético registrado en la factura)

Límite de consumo por tarifa: 50kWh

Costo por límite: C\$ 8.2 (costo por cada bloque de 50kWh)

$$1876.8KWh / 50KWh \times 8.2 \text{ C\$ kWh} = \text{C\$ } 307.39$$

Generando un costo mensual de C\$ 307.39



3. Cálculo del porcentaje consumido reflejado en la factura

La fórmula utilizada es:

$$\text{Porcentaje} = \text{Costo del consumo} / \text{Costo total de la factura} \times 100$$

Costo del consumo: C\$ 307.39

Costo total de la factura: C\$ 3644.70

$$C\$ 307.39 / C\$ 3644.70 \times 100 = 8.43\%$$

El cálculo determina que el 8.43% del consumo total de la factura es generado por la mantenedora Fogel modelo BLIZZ-12-HC.

A partir de los datos obtenidos y el análisis realizado del consumo energético mediante la herramienta Home Assistant y los sensores KP115 de TP-Link, se determinó que las mantenedoras representan aproximadamente un 25% del total de consumo registrado en el recibo mensual de electricidad.

Nota: Los costos que refleja la plataforma no son exactos ya que se necesita equipos más dedicados que hagan esa función. La plataforma muestra una alerta indicando que los dispositivos no tienen entidad numérica. Estos cálculos los utiliza usando la suma integral de Riemann haciendo referencia al proceso de acumular o sumar el valor de una medición (como el consumo de energía a lo largo del tiempo) para obtener una cantidad total.

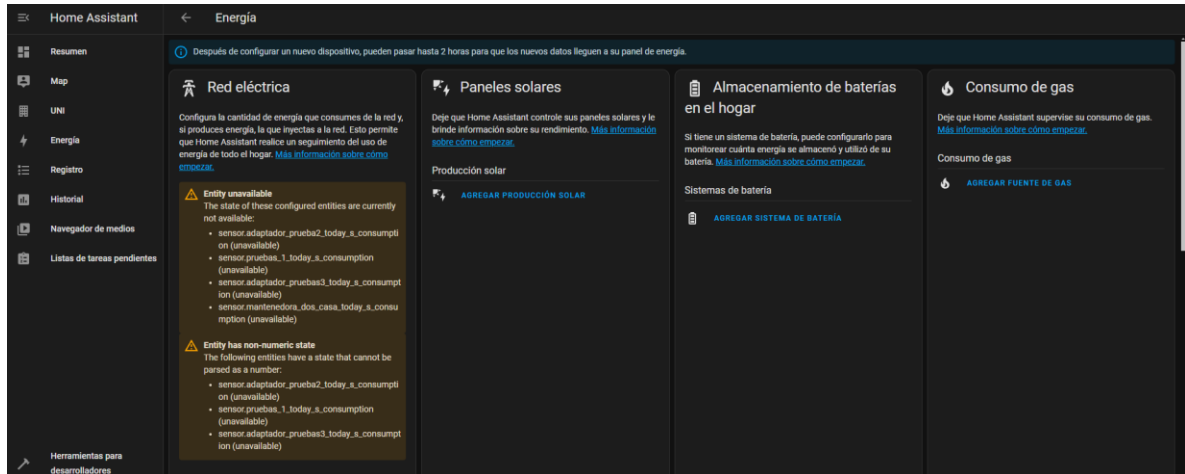


Figura No. 51 Configuración del apartado de energía

```
sensor:  
- platform: integration  
  source: sensor.current_power  
  name: energy_spent  
  unit_prefix: k  
  round: 2  
  max_sub_interval:  
    minutes: 5
```

Figura No. 52 Representación de la suma del consumo energético en Home Assistant

5.8 Presupuesto para el sistema IoT de Gestión de Iluminación en el Edificio Rigoberto López Pérez

Tabla No. 7 Tabla de presupuesto económico de todo el proyecto

Item	Cantidad	Descripción	Costo en dólares	Costo en córdobas Tasa 36.62	Costo Total	Costo total en Córdoba Tasa 36.62
Kit Raspberry Pi 4	1	Ordenador mono placa	\$ 120	C\$ 4394.4	\$ 120	C\$ 4394.4
Adaptadores IoT TP-Link 115	4	Adaptadores IoT para medir el consumo energético	\$11	C\$ 402.82	\$ 44	C\$ 1611.28
Memoria Micro SD 64 GB	1	Memoria de almacenamiento	\$8	C\$ 292.96	\$ 8	C\$ 292.96
Envío	2LB	Costo por traer los equipos	\$ 3	C\$ 109.86	\$ 6	C\$ 219.72
Mano de Obra	1	Costo por instalación, configuración de equipos IoT	\$ 35	C\$ 1281.7	\$ 35	C\$ 1281.7
Total					\$ 213	C\$ 7800.06

5.9. Registro de datos de consumo energético en los escenarios de prueba

Tabla No. 8 Registro de consumo energético de todos los escenarios propuestos

No	Descripción del escenario	Equipos monitoreados	Consumo Diario Promedio (kWh)	Consumo más alto registrado (kWh)	Consumo energético mensual (kWh)	Consumo energético de los equipos
	Oficina de dirección académica	Router Claro ZTE modelo ZXHN H108N	0.33 kWh	0.68 kWh	12.71 kWh	12 V DC
2	Oficina de profesores de telecomunicaciones	Cafetera Black and Decker	0.5 kWh	0.5 kWh	N/A	120 V
3	Oficina de profesores de telecomunicaciones	Cargador de laptop Lenovo Thinkpad	0.85 kWh	0.85 kWh	N/A	100 V - 240 V
4	Negocio pulpería "Chico"	Mantenedora Fogel modelo Froster-280	114.19 kWh	122.07 kWh	176.76 kWh	115 V
5	Negocio pulpería "Chico"	Mantenedora Fogel modelo Blizz-12-HC	62.56 kWh	62.56 kWh	176.76 kWh	115 V

Conclusiones y Recomendaciones

5.9 Conclusiones

El levantamiento detallado de las necesidades de iluminación y el análisis del comportamiento de los usuarios se logró mediante visitas técnicas al edificio Rigoberto López Pérez de la Universidad Nacional de Ingeniería. Aunque inicialmente se planificó trabajar en los salones del primer piso de las alas A y B, la disponibilidad limitada de estos espacios llevó a seleccionar la sala de profesores de Telecomunicaciones y la oficina de dirección académica como escenarios de prueba. Estos ambientes permitieron recopilar datos relevantes, observar patrones de uso de luminarias y evaluar condiciones reales de consumo energético, cumpliendo así con el propósito de identificar las necesidades funcionales para la implementación del sistema IoT.

El diseño de la infraestructura IoT fue completado exitosamente, integrando luminarias y adaptadores inteligentes bajo una topología en estrella. En esta arquitectura, el servidor central —implementado en una Raspberry Pi con Home Assistant— actúa como nodo principal, permitiendo la gestión remota y el monitoreo en tiempo real de los dispositivos. Esta estructura garantiza una comunicación eficiente entre los componentes, optimiza el uso de los recursos energéticos y sienta las bases para futuras expansiones del sistema, cumpliendo con los requerimientos funcionales y técnicos establecidos en la planificación del proyecto.

Se logró desarrollar e implementar un sistema de control y gestión centralizado utilizando la plataforma Home Assistant, permitiendo la programación automatizada y la monitorización en tiempo real de la iluminación. El sistema facilita el encendido y apagado programado de las luminarias y ofrece reportes detallados sobre el consumo energético de los dispositivos conectados. Esta implementación ha permitido validar la funcionalidad del prototipo en escenarios reales, demostrando su eficacia para el control remoto y la gestión energética. Si bien el sistema ha sido probado con éxito en espacios específicos del edificio, se requiere una implementación a mayor escala y un periodo de monitoreo extendido para cuantificar su impacto general en el consumo energético del edificio completo.

La evaluación del prototipo evidenció resultados positivos en los tres aspectos planteados: eficiencia energética, comodidad del usuario y sostenibilidad. La interfaz intuitiva de Home Assistant facilitó una experiencia de usuario accesible y funcional, permitiendo controlar y programar los dispositivos de manera remota con facilidad. En términos de eficiencia, el sistema proporcionó datos detallados del consumo energético en tiempo real, permitiendo identificar patrones de uso y oportunidades de ahorro. Además, la capacidad de automatizar acciones contribuye directamente a una gestión más responsable de los recursos. Aunque la implementación fue a pequeña escala, se demostró el potencial del sistema para optimizar el consumo energético en entornos más amplios, siempre que se cuente con el hardware y la infraestructura adecuados.

5.10 Recomendaciones

Como recomendación se debería definir una red wifi aislada de la que los alumnos no puedan utilizar esto con el fin de evitar que personas mal intencionadas puedan acceder a la plataforma y a los equipos.

Se recomienda instalar un certificado SSL/TLS para garantizar que toda la comunicación entre el panel administrativo y los usuarios esté cifrada, evitando intercepciones de datos sensibles como contraseñas y configuraciones críticas.

Para poder conectar equipos por bluetooth se recomienda instalar y configurar un adaptador bluetooth

Se recomienda realizar respaldos de las configuraciones en dispositivos externos, en caso de fallas o errores en la plataforma

Ampliación de cobertura IoT mediante MQTT o Node-RED: Para escenarios más complejos o que requieran integración con sensores o actuadores no nativamente compatibles con Home Assistant, se recomienda utilizar herramientas como MQTT o Node-RED, que permiten una comunicación más flexible entre dispositivos heterogéneos.

Sistema de control de accesos: Con el uso de sensores magnéticos, lectores RFID y cámaras IP, Home Assistant puede usarse como sistema de control de acceso a oficinas, laboratorios o salones restringidos, registrando eventos de entrada/salida y enviando alertas al administrador en caso de accesos no autorizados.

7. Bibliografía

- [1] C. G. Muelas, «lawebdelprogramador,» lawebdelprogramador, 21 mayo 2019. [En línea]. Available: <https://www.lawebdelprogramador.com/pdf/15961-Integracion-de-Redes-Telematicas-IoT-con-Raspberry-pi.html>. [Último acceso: 9 enero 2023].
- [2] B. T. Steven Mejía, «Estudio de automatización del sistema eléctrico del edificio Rigoberto López Pérez (del primer al quinto piso) para el control de (iluminación, fuerza, A/C),» Managua, 2023.
- [3] Moreno, «UAM_Biblioteca,» UAM_Biblioteca, febrero 2020. [En línea]. Available: <https://repositorio.uam.es/handle/10486/690544..> [Último acceso: 16 enero 2023].
- [4] A. Pisano, «Repositorio Digital San Andreas,» Repositorio Digital San Andreas, noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://repositorio.udesa.edu.ar/jspui/handle/10908/16159>. [Último acceso: 3 febrero 2023].
- [5] A. G. Rene Gahona, «Universidad Politécnica Salesiana,» Universidad Politécnica Salesiana, marzo 2020. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18755>. [Último acceso: 3 febrero 2023].
- [6] Ortiz, «Campus Sostenible UPM,» Campus Sostenible UPM, septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://blogs.upm.es/res2masu/2020/09/03/tfm-monitorizacion-fcojaviernieto/>. [Último acceso: 3 febrero 2023].
- [7] J. M. A. Sorin, «Repositorio Digital Pucese,» Repositorio Digital Pucese, 16 noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://repositorio.pucese.edu.ec/handle/123456789/2842>. [Último acceso: 3 febrero 2023].
- [8] S. Romero Cabrera, «Deposito de Investigación Universidad de Sevilla,» Deposito de Investigación Universidad de Sevilla, 2019. [En línea]. Available: <https://hdl.handle.net/11441/94281>. [Último acceso: 3 febrero 2023].

- [9] C. O. Chimbolema Macas, «Repositorio Digital de la UTMACH,» Repositorio Digital de la UTMACH, 2020. [En línea]. Available: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15887>. [Último acceso: 3 febrero 2023].
- [10] A. C. Ivars, 15 febrero 2019. [En línea]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/120314/Camarena%20-%20Instalaci%C3%B3n%20y%20configuraci%C3%B3n%20de%20un%20sistema%20integral%20de%20hogar%20inteligente%20basado%20en%20plat....pdf?sequence=1>. [Último acceso: 3 febrero 2023].
- [11] I. Tobar Segura, «Archivo Digital UPM,» 17 febrero 2017. [En línea]. Available: <https://oa.upm.es/52462/>. [Último acceso: 3 febrero 2023].
- [12] N. C. Viteri, agosto 2012. [En línea]. Available: <https://biblio.ecotec.edu.ec/revista/edicion2/LA%20INVESTIGACI%C3%93N%20MIXTA%20ESTRATEGIA%20ANDRAG%C3%93GICA%20FUNDAMENTAL.pdf>. [Último acceso: 13 febrero 2023].

Anexos

Índice de anexos

- 1. Especificaciones Raspberry PI 4**
- 2. Especificaciones de los equipos electrónicos de la oficina de dirección académica**
- 3. Especificaciones de los equipos electrónicos de la oficina de profesores de telecomunicaciones**
- 4. Especificaciones de los equipos electrónicos de la pulpería “Chico”**

1.1. Especificaciones de Hardware Raspberry PI 4

Quad core 64-bit ARM-Cortex A72 running at 1.5GHz

1, 2 and 4 Gigabyte LPDDR4 RAM options

H.265 (HEVC) hardware decode (up to 4Kp60)

H.264 hardware decode (up to 1080p60)

VideoCore VI 3D Graphics

Supports dual HDMI display output up to 4Kp60

Figura No. 53 Especificaciones de Hardware Raspberry PI 4

1.2. Interfaces Raspberry PI 4

- 802.11 b/g/n/ac Wireless LAN
- Bluetooth 5.0 with BLE
- 1x SD Card
- 2x micro-HDMI ports supporting dual displays up to 4Kp60 resolution
- 2x USB2 ports
- 2x USB3 ports
- 1x Gigabit Ethernet port (supports PoE with add-on PoE HAT)
- 1x Raspberry Pi camera port (2-lane MIPI CSI)
- 1x Raspberry Pi display port (2-lane MIPI DSI)
- 28x user GPIO supporting various interface options:
 - Up to 6x UART
 - Up to 6x I2C
 - Up to 5x SPI
 - 1x SDIO interface
 - 1x DPI (Parallel RGB Display)
 - 1x PCM
 - Up to 2x PWM channels
 - Up to 3x GPCLK outputs

Figura No. 54 Interfaces del equipo Raspberry PI 4

1.3. Especificaciones eléctricas de Raspberry PI 4

Symbol	Parameter	Conditions	Minimum	Typical	Maximum	Unit
V_{IL}	Input low voltage ^a	VDD_IO = 3.3V	0	-	0.8	V
V_{IH}	Input high voltage ^a	VDD_IO = 3.3V	2.0	-	VDD_IO	V
I_{IL}	Input leakage current	TA = +85°C	-	-	10	μA
C_{IN}	Input capacitance	-	-	5	-	pF
V_{OL}	Output low voltage ^b	VDD_IO = 3.3V, IOL = -2mA	-	-	0.4	V
V_{OH}	Output high voltage ^b	VDD_IO = 3.3V, IOH = 2mA	VDD_IO - 0.4	-	-	V
I_{OL}	Output low current ^c	VDD_IO = 3.3V, VO = 0.4V	7	-	-	mA
I_{OH}	Output high current ^c	VDD_IO = 3.3V, VO = 2.3V	7	-	-	mA
R_{PU}	Pullup resistor	-	18	47	73	kΩ
R_{PD}	Pulldown resistor	-	18	47	73	kΩ

^a Hysteresis enabled

^b Default drive strength (8mA)

^c Maximum drive strength (16mA)

Figura No. 55 Especificaciones eléctricas Raspberry PI 4

2.1. Especificaciones técnicas router Claro ZTE modelo ZXHN_H108N

Tabla No. 9 Especificaciones técnicas router claro oficina de dirección académica

Item	Specification
Dimensions	105 mm (height) × 108 mm (width) × 52 mm (depth)
Rated current	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Home Gateway with USB port: 1 A ▣ Home Gateway without USB port: 500 mA
Rated voltage	12 V DC
Working temperature	0 °C ~ 40 °C (32 °F~104 °F)
Working humidity	20% ~ 90%
Storage temperature	20 °C ~ 70 °C
Storage humidity	5% ~ 95%

3.1. Especificaciones técnicas de Lenovo Thinkpad

Processor							
8th Generation Intel® Core™ i7 / i9 Processor or Intel Xeon® E Processor							
Processor Number	# of Cores	# of Threads	Base Frequency	Max Turbo Frequency	Cache	Memory Types	Processor Graphics
i7-8750H	6	12	2.2 GHz	4.1 GHz	9MB	DDR4-2400	Intel UHD Graphics 630
i7-8850H			2.6 GHz	4.3 GHz	9MB		
i9-8950HK			2.9 GHz	4.8 GHz	12MB		Intel UHD Graphics P630
E-2176M			2.7 GHz	4.4 GHz	12MB		

Figura No. 56 Especificaciones técnicas de procesador Lenovo Thinkpad

3.2. Especificaciones de la batería de Lenovo Thinkpad

Battery	Swappable Li-ion 90Wh battery
Max battery life (MobileMark® 2014)	Discrete mode: 6.1 hr; Hybrid mode: 8.9 hr * Battery life varies significantly with hardware configurations, settings, usage, & other factors
AC adapter	170W slim tip AC adapter

Figura No. 57 Especificaciones de batería Lenovo Thinkpad

4.1. Especificaciones técnicas de mantenedora Fogel modelo Froster_280

Tabla No. 10 Especificaciones técnicas de mantenedora Forge modelo Froster_280 parte 1

DIMENSIONS DIMENSIONES		in / pulg mm	CAPACITY* CAPACIDAD*				SHIPPING ENVÍO
Height Alto	Width Frente	Depth Fondo	Cubic ft / lt. Pies ³ / lts.	12 Oz bottles Botellas 12 Oz	12 Oz Cans Latas 12 Oz	Shelves Parrillas	40' / 45' - container Contenedor de 40' / 45'
80 3/4 2,051	28 1/8 714	27 1/2 699	18 / 510	315	630	4	48 / 54 (FROSTER-280-LM: 44 / 52)

Tabla No. 11 Especificaciones técnicas de mantenedora Forge modelo Froster_280 parte 2

TECHNICAL INFORMATION INFORMACIÓN TÉCNICA					
Temperature Temperatura	HP	Amps Amperaje	Refrigerant Refrigerante	Voltage Voltaje	Doors Puertas
18°F – 33°F -8°C – +1°C	1/3	2.8	R 290	115V/60Hz/1	1

4.2. Especificaciones técnicas de mantenedora Fogel modelo Blizz-12-HC

Tabla No. 12 Especificaciones técnicas Fogel modelo Blizz-12-HC pulperia "Chico"

Technical Information / Datos Técnicos					
Model / Modelo	Doors / Puertas	Compressor / Compresor	Temperature Range / Rango de Temperatura	Refrigerant Gas / Gas Refrigerante	Voltage / Voltaje
BLIZZ-12-HC- CUP	2 sliding glass lids / 2- tapaderas de vidrio, deslizables	1/4 HP	-27°C — -24°C -17°F — -11°F	R 290	115V/60Hz/1

Optional voltages / Voltajes opcionales:
V1: 220V/60Hz/1 / V2: 220V/50Hz/1