



Artículo de investigación

Implementación de tecnologías IoT para la reducción del consumo energético en oficinas inteligentes mediante el control de la iluminación

Implementation of IoT technologies to reduce energy consumption in smart offices by controlling lighting

Fabian Peña de Loza¹ , Francisco Javier Ibarra Villegas² 

¹Posgrado CIATEQ, A.C., Av. Nodo Servidor Público #165 Col. Anexa al Club de Golf, Las Lomas, 45136 Zapopan, Jalisco, México

²CIATEQ, A.C. Centro de Tecnología Avanzada, Av. Nodo Servidor Público #165 Col. Anexa al Club de Golf, Las Lomas, Zapopan, 45136, Jalisco, México

Autor de correspondencia: Fabian Peña de Loza, Posgrado CIATEQ, A.C., Av. Nodo Servidor Público #165 Col. Anexa al Club de Golf, Las Lomas, 45136 Zapopan, Jalisco, México. Correo electrónico: fabian.pena1007@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2108-7082>

Recibido: 18 de Octubre del 2023

Aceptado: 6 de Agosto del 2024

Publicado: 12 de Agosto del 2024

Resumen. – Según un informe de la IEA de 2017, el consumo de energía en los edificios es aproximadamente un tercio del consumo total de energía en el mundo. Además, la iluminación representa el 19% del consumo de electricidad en todo el mundo. Tomando como referencia estos datos, surge la necesidad de implementar una solución que permita reducir dichos consumos. Una forma de hacerlo es la implementación de dispositivos que permitan convertir las áreas de trabajo en espacios inteligentes. El objetivo de este trabajo es la implementación de una oficina inteligente, monitoreando y controlando el consumo energético de los dispositivos eléctricos mediante tecnologías IoT, logrando un ahorro energético significativo y a la vez proporcionando confort al personal que labora en dicha oficina. Para ello, se instalaron diversos sensores tales como sensores para la detección del estado de las puertas (abiertas o cerradas), sensores de presencia (para determinar si se encuentran o no personas en áreas específicas) y actuadores, los cuales, con base a las señales transmitidas por los sensores instalados, se pudieron crear escenas que permiten el control de la iluminación de manera automática. La Raspberry Pi 4 se utilizó como controlador central, se integró la herramienta Node-Red para establecer la comunicación entre los dispositivos IoT. Node-Red es una herramienta de desarrollo basada en flujo para la programación visual que permite conectar dispositivos de hardware, API y servicios en línea. Esta herramienta nos facilita la integración de diferentes sensores y marcas, en donde se realizó la programación de diferentes escenas para poder generar un ahorro energético de manera automática. Asimismo, se estableció comunicación con una nube para poder monitorear y controlar de manera remota el sistema implementado mediante el protocolo de comunicación MQTT, el cual es un protocolo de transmisión de datos diseñado para la transición de datos de máquina a máquina. Un servidor, denominado “bróker” de mensajes, recibe transmisiones de dispositivos que “publican” información en “tópicos” particulares y, posteriormente, entregan esos mensajes a otras máquinas que se “suscriben” a esos “tópicos” específicos. Para lograr esto, se utilizaron los servicios de HiveMQ, los cuales permiten conectar hasta 100 dispositivos de manera gratuita. El resultado del proyecto es un sistema que puede ser controlado de manera remota que, debido a las tecnologías implementadas, ha generado un ahorro energético del 6.1%. Este ahorro reduce los costos operativos y apoya los objetivos de sostenibilidad de la oficina. Además, el sistema brinda confort para las personas que trabajan en dicha oficina. También cabe mencionar que este proyecto puede ser escalable, es decir, a medida que la oficina amplíe sus instalaciones, el sistema puede ser modificado para agregar los sensores y actuadores que se requieran para poder controlar dicha ampliación.

Palabras Clave: IoT (Internet de las cosas); Node-red; MQTT; Eficiencia energética; Oficinas inteligentes.

Abstract. – According to a 2017 IEA report, energy consumption in buildings accounts for approximately one-third of the total energy consumption worldwide. Additionally, lighting represents 19% of electricity consumption globally. Given these data, there is a need to implement a solution to reduce these energy consumptions. One way to achieve this is by implementing devices that can turn work areas into smart spaces. The objective of this project is to implement a smart office by monitoring and controlling the energy consumption of electrical devices through IoT technologies, achieving significant energy savings while providing comfort to the office personnel. To achieve this, various sensors were installed, including door sensors to detect their state (open or closed), presence sensors (to determine if there are people in specific areas), and actuators. Based on the signals transmitted by these installed sensors scenes were created to enable automatic control of lighting. The central controller used for this purpose was the Raspberry Pi 4, and the Node-Red tool was integrated to establish communication between IoT devices. Node-Red is a flow-based development tool for visual programming that allows the connection of hardware devices, APIs, and online services. This tool facilitated the integration of different sensors and brands, and the programming of different scenes to achieve automatic energy savings. Furthermore, communication was established with a cloud to monitor and control the implemented system remotely, using the MQTT communication protocol. MQTT is a data transmission protocol designed for machine-to-machine data transition. A message broker server receives transmissions from devices that “publish” information on specific “topics” and subsequently delivers those messages to other machines that “subscribe” to those specific “topics.” The HiveMQ services were used for this purpose, enabling the connection of up to 100 devices for free. The result of the project is a system that can be controlled remotely, and due to the implemented technologies, has generated energy savings of 6.1%. This saving reduces operational costs and supports the office’s sustainability goals. Additionally, the system provides comfort for the people working in the office. It is worth mentioning that this project is scalable, meaning that as the office expands its facilities, the system can be modified to add the necessary sensors and actuators to control the expansion effectively.

Keywords: IoT (Internet of things); Node-red; MQTT; Energy efficiency; Smart offices.



1. Introducción

En la era digital en constante evolución, la convergencia de la tecnología y la eficiencia se ha convertido en una prioridad para diversas áreas, y el entorno laboral no es una excepción. El avance de las tecnologías del Internet de las Cosas ha abierto la puerta a un nuevo paradigma en el diseño y funcionamiento de las oficinas: las oficinas inteligentes. El sector de los edificios representa aproximadamente entre el 17% y el 40% del consumo global de energía según datos obtenidos por la U.N.E.P. [1], M. Rehman [2], IEA [3], lo que resalta un amplio margen de oportunidad para disminuir el consumo energético, a través del uso de tecnologías IoT. Estos espacios incorporan una amplia gama de dispositivos conectados, sensores y sistemas de automatización que buscan mejorar la experiencia del usuario, a su vez, optimizar recursos, siendo el ahorro energético un factor clave en esta ecuación.

La importancia de este tema radica en la creciente conciencia sobre la sostenibilidad y la eficiencia energética en el ámbito empresarial. Según el informe “World Energy Outlook 2020” de la Agencia Internacional de Energía (AIE). Ante la necesidad de reducir la huella de carbono y mitigar el impacto ambiental, la implementación de oficinas inteligentes que aprovechen el potencial del IoT para un consumo energético más eficiente se ha convertido en una solución prometedora.

Según datos proporcionados por [4] muestran lo siguiente en cuanto al consumo de electricidad:

1. Para los edificios de oficinas únicamente, el consumo de energía es el siguiente (consumen el 20.1% del uso total de energía eléctrica en EE.UU.):

- Calefacción de espacios: 2.2%, refrigeración: 13.4%, ventilación: 24.7%, calentamiento de agua 0.2%, iluminación: 17.1%, cocinar: 0.2%, refrigeración: 3.2%,

equipamiento de oficina: 4.3%, computadoras 19.31%, otro 15.3%.

- En términos de electricidad, el 40.3% se consume en calefacción, refrigeración y ventilación de espacios; iluminación 17%; Las computadoras y equipo de oficina 23.6% (total 80.9%).

Se dice que un edificio con un sistema de control de energía puede llegar a ahorrar entre 30-50% de energía comparándolo con un edificio tradicional, sin embargo, la literatura presenta poca evidencia de estudios destinados a múltiples sistemas de un edificio simultáneamente. La mayoría de ellos tratan con un sistema a la vez [5], [6], [7]. El enfoque hacia el ahorro energético en las oficinas inteligentes se sustenta en la capacidad de las tecnologías del Internet de las Cosas para optimizar el consumo de energía de manera inteligente y eficiente. Un estudio publicado en la revista “Sustainability” titulado “A Comprehensive Survey on IoT-Based Energy Management Systems for Smart Homes and Buildings” resalta que las soluciones basadas en IoT pueden lograr una reducción significativa del consumo de energía en edificios comerciales [8]. De hecho, la reducción de la demanda de energía en los edificios mediante la adopción de una política de eficiencia energética es un pilar clave en la estrategia climática y energética de la Unión Europea [9]. La utilización de sensores y actuadores inteligentes, junto con sistemas de control automatizados, permiten ajustar la iluminación, la climatización y otros servicios de manera precisa y adaptativa, minimizando el desperdicio de energía y generando ahorros significativos.

El consumo energético es un problema importante de carácter global. La contribución de la tecnología del Internet de las Cosas para el monitoreo del consumo y control de la energía es de vital importancia para lograr un ahorro energético.

Todo esto utilizando la tecnología IoT para poder monitorear la presencia de personas, así como también el consumo energético permitiendo



controlar el encendido y apagado de dispositivos, controlar la intensidad en las lámparas o la temperatura a la cual el aire acondicionado tiene una mayor eficiencia energética.

Sin embargo, la implementación de un sistema IoT en oficinas inteligentes puede presentar varios retos y desafíos como:

- Costo inicial y retorno de inversión: la inversión inicial es un aspecto muy importante para contemplar ya que se requiere una inversión significativa en hardware y software. Aunque el ahorro es a largo plazo, el retorno de la inversión no es inmediato.
- Interoperabilidad de dispositivos: actualmente no existen estándares universales, lo cual puede generar problemas de compatibilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes.
- Seguridad y privacidad: entre más dispositivos tengamos conectados la vulnerabilidad de la seguridad de la información es mayor. Es muy importante implementar medidas para proteger la información.
- Dependencia de la conectividad: la eficiencia de un sistema IoT depende de una conectividad de red fiable. En áreas con conectividad limitada, el rendimiento del sistema puede verse afectado.
- Adaptación del personal: muchas personas no tienen la facilidad de adaptación a nuevas tecnologías, lo cual puede representar un problema para el sistema.
- Escalabilidad: es un aspecto muy importante para considerar desde el diseño inicial del sistema.
- Evaluación de eficiencia energética: medir el ahorro energético con precisión puede volverse complicado debido a las variaciones en el uso diario y estacional. Por lo cual se recomienda un seguimiento continuo siempre buscando ajustar las estrategias.

En este contexto, el presente trabajo abordará la temática de las oficinas inteligentes impulsadas por el IoT, poniendo especial énfasis en el ahorro

energético como un factor fundamental para la mejora de la eficiencia y sostenibilidad en el entorno laboral. A través del análisis de distintas investigaciones y enfoques innovadores, se explorarán las ventajas y desafíos de esta tendencia emergente y su potencial impacto en la construcción de un futuro más sostenible y tecnológicamente avanzado.

Con el objetivo de implementar un sistema el cual pueda monitorear y controlar el consumo energético de los dispositivos eléctricos mediante tecnologías IoT, para lograr un ahorro energético y a la vez proporcionar confort al personal que labora en dicha oficina.

2. Antecedentes

Se llevó a cabo una revisión y un análisis de la literatura existente. En este proceso, se abarcan una variedad de trabajos y proyectos destacados en el campo. El propósito es recopilar y examinar distintos métodos y tecnologías representativos que han contribuido al desarrollo de este proyecto.

La comunidad científica ha desarrollado diversos enfoques para optimizar la gestión de energía y el confort en edificios inteligentes, tanto residenciales como comerciales. Estas estrategias abarcan desde la planificación diaria hasta la toma de decisiones en tiempo real. En donde se comparan diferentes aspectos que influyen en la optimización de la energía como diferentes tipos de control como: PID, Fuzzy, ON/OFF, MAST, MPC, etc. En donde también se analizan Algoritmos de optimización como: GA, MPSO, Scheduling Opt, etc. Herramientas de simulación como: MATLAB, Energy Plus, Simulink, TRNSYS etc [10]. Estas estrategias a menudo se basan en la observación de los patrones de comportamiento de los usuarios para identificar sus hábitos clave y, en consecuencia, tomar medidas automáticas para reducir el desperdicio de energía, como desactivar dispositivo en modo de espera [11], [12].



Actualmente ya están disponibles algunos sistemas comerciales de gestión de energía en edificios (BEMS) [13] que ayudan a controlar, monitorear y optimizar el uso de energía en los edificios, en donde se instalan medidores no intrusivos en los circuitos eléctricos para recopilar datos sobre el uso de la energía. En donde algunos utilizan diferentes tipos de algoritmos como el algoritmo bat (BA) con peso de inercia exponencial para ahorrar energía en un hogar inteligente sin deteriorar la comodidad del usuario [14]. Existe otro tipo de trabajos en donde realizan la automatización del sistema HVAC como el mostrado en [15]. Así como también podemos encontrar una lista de nuevos enfoques hacia la gestión de la energía en [16].

En [17], se presenta un diseño de iluminación que se basa en la temperatura y la intensidad de la iluminación, lo cual resulta en un aumento significativo de la eficiencia energética, llegando hasta un 82.77% durante el día. Además, este diseño contribuye a la reducción de las emisiones de carbono al eliminar los dispositivos fluorescentes y al implementar un control dinámico de energía estática. La propuesta de diseño incorpora tecnología LED y sensores capaces de detectar la luz y la temperatura en el entorno.

Yeh en [18] y Pan en [19] presentan un sistema para aprovechar la luz natural, asumiendo que se conocen las ubicaciones de los ocupantes de la oficina y que llevan sensores de luz inalámbricos en sus celulares. Se propusieron estrategias de control de iluminación basadas en programación lineal y algoritmos de programación cuadrática secuencial para satisfacer los requerimientos de iluminación individuales de los usuarios, en función de sus actividades

En [20], presenta un sistema de iluminación interior que se integra con tecnología de detección, control y redes para optimizar las

operaciones de iluminación. Interconecta sensores, luminarias, controladores y Gateway a través de internet. Las luminarias cuentan con sensores ubicados en el techo, lo que facilita su mantenimiento y proporciona una alta resolución de datos. Estos datos se utilizan para lograr una optimización precisa de la iluminación.

El edificio “The Edge” de las oficinas de Deloitte en Ámsterdam, fue reconocido como el edificio más sustentable del mundo en su momento. Utiliza eficientes paneles LED para la iluminación, los cuales funcionan de manera automatizada, apagándose cuando las salas están vacías, y ajustando la climatización. Además, el edificio aprovecha paneles solares para generar electricidad y recoge agua de lluvia para uso en áreas verdes, inodoros y calefacción [21].

3. Metodología

Durante un mes y se empleó un medidor de energía, que fue instalado en las instalaciones de la oficina, manteniendo intacta su configuración, se registró el consumo energético con el propósito fundamental de tener un parámetro inicial para su posterior comparación, misma metodología que se utilizó en [22], en donde se instalaron sensores para el monitoreo de energía, con el fin de poder comparar el consumo energético antes y después de la instalación del sistema IoT. Paralelamente, se llevó a cabo un análisis minucioso de los recibos emitidos por el proveedor de servicios eléctricos correspondientes a meses previos. Este estudio permitió la obtención de un conjunto más amplio y completo de datos para su posterior comparación y análisis detallado. Como resultado directo de esta actividad, se logró la identificación de potenciales zonas de ineficiencia energética.

3.1 Análisis del consumo energético registrado por el medidor de energía.

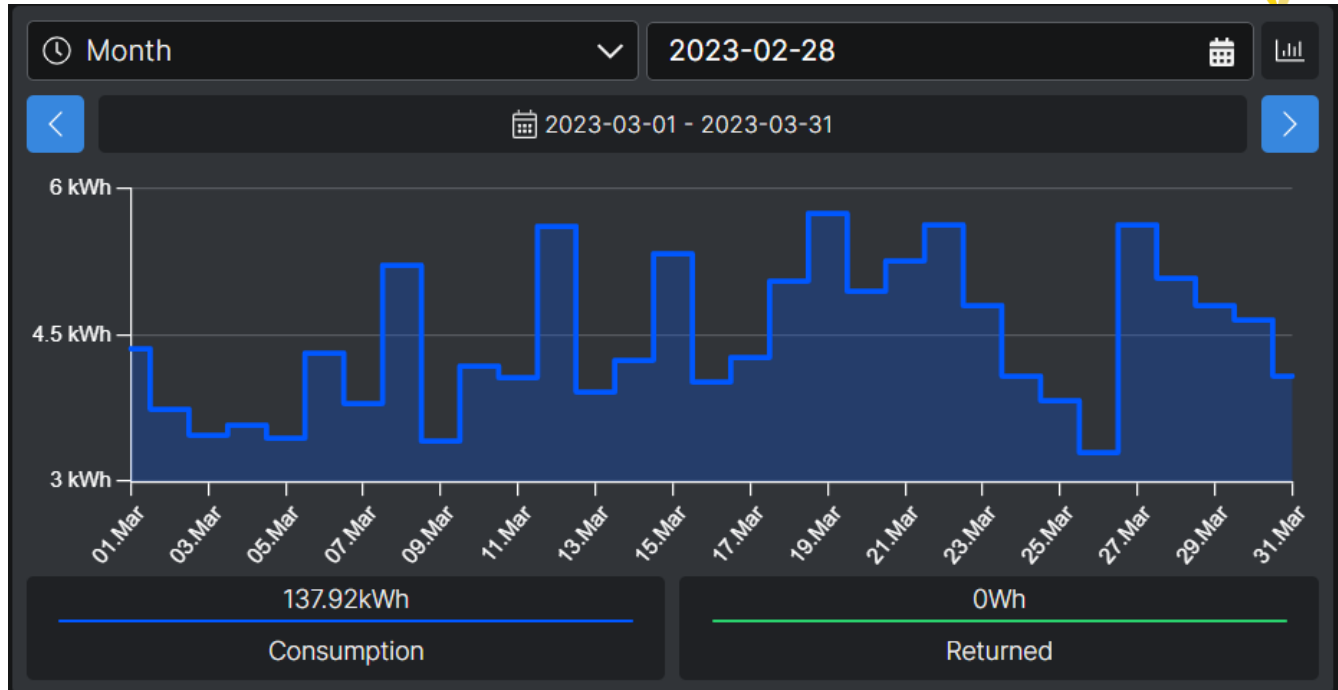


Figura 1. Monitoreo de Energía Shelly-EM.

En la **Figura 1** se muestran los datos de consumo de energía registrados durante el mes de marzo de 2023, antes de la implementación de cualquier dispositivo considerado en este proyecto. Durante esta medición, se obtuvo un consumo promedio diario de 4449.15 Wh. El día con el menor consumo de energía registró un valor de 3301.79 Wh, mientras que el día con el mayor consumo alcanzó los 5752.53 Wh. El consumo total durante todo el mes de marzo ascendió a 137.92 kWh. Otro aspecto relevante por considerar en este apartado es el clima. Durante este periodo, la temperatura máxima suele alcanzar los 28°C, mientras que la temperatura mínima puede descender hasta 7°C, la puesta de sol suele ocurrir alrededor de las 19:00 hrs.

3.2 Análisis recibos energéticos

Tabla 1. Historial de consumo energético según los recibos de electricidad.

Año	Bimestre	Consumo (kWh)
2022	Ene-Feb	289
2022	Jul-Ago	325
2022	Sep-Oct	285
2022	Nov-Dic	267
2023	Ene-Feb	265
2023	Mar-Abr	266
2023	May-Jun	355

La **Tabla 1** presenta el registro de los recibos de electricidad con los que cuenta la oficina. Estos registros se compararon con las mediciones obtenidas a través de un medidor Shelly EM que fue instalado. Es notable que los datos coinciden en gran medida: el medidor registró un consumo de 137.92 kWh únicamente durante el mes de marzo del 2023, mientras que el recibo de la compañía eléctrica refleja un total de 266 kWh para los meses de marzo y abril del 2023 combinados. Esa cifra es casi el doble del



consumo de marzo. Estos resultados permiten concluir que el medidor de energía instalado es confiable y se puede tomar como referencia para

comparar el consumo energético después de instalados los dispositivos IoT.

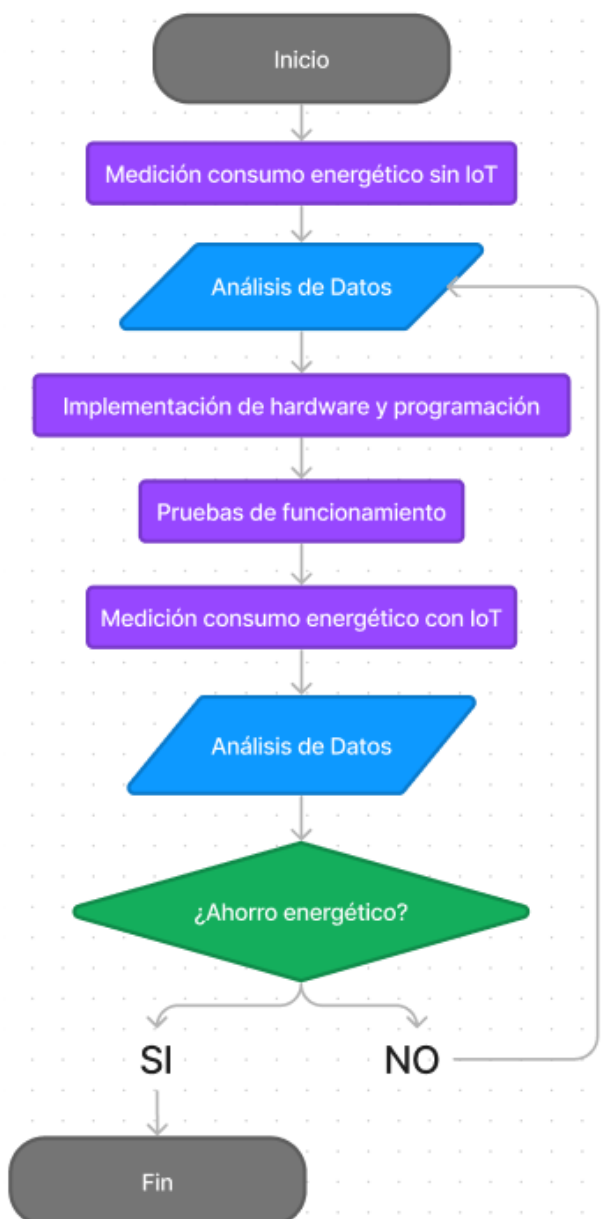


Figura 2. Diagrama de flujo de la Metodología empleada

4. Diseño del sistema IoT

Los edificios comerciales engloban una diversidad de necesidades relacionadas con el seguimiento, la gestión y la optimización de los recursos. Estos requisitos comprenden la gestión de la energía, que incluye la iluminación, así

como video vigilancia, la gestión de accesos y la monitorización ambiental [23], [24], [25].

La gestión de la energía es donde normalmente se encuentran los mayores gastos operativos. Los edificios comerciales tienen múltiples necesidades energéticas los cuales se benefician



enormemente de una detección, automatización y gestión basada en tecnologías IoT [26].

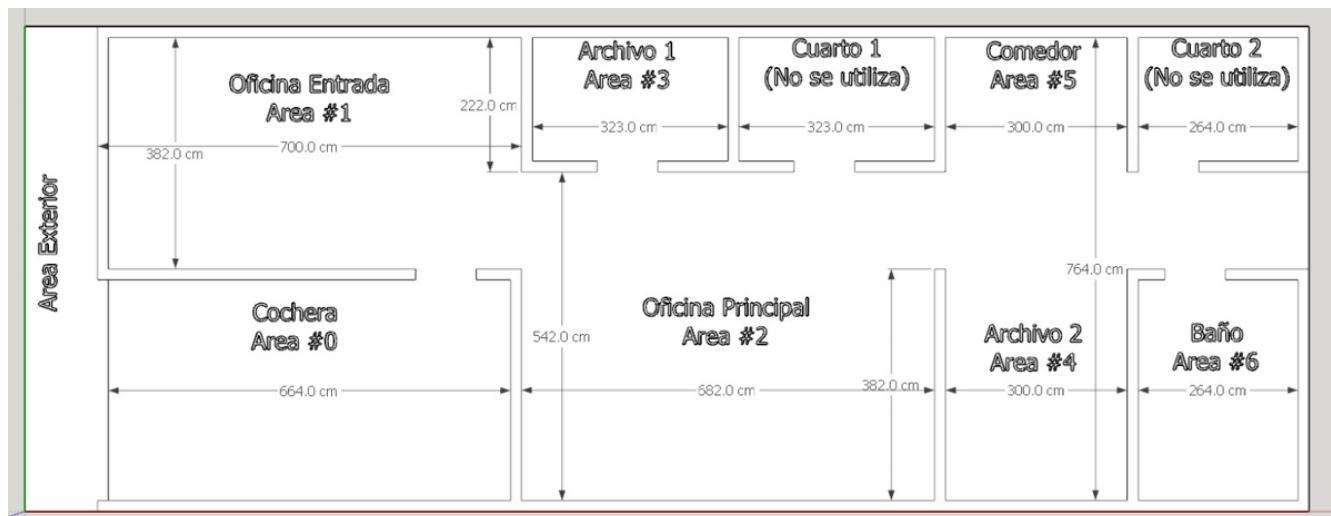
Tras una exhaustiva investigación, se identificó que el área de mayor ineficiencia energética es el sector denominado como “Área #1” (ver

Figura 3), donde se concentra la mayoría de los empleados (4). Otra área de alta ineficiencia energética se localizó en el exterior de la oficina, donde se encuentran las luminarias que dan al exterior. Esta problemática de ineficiencia energética surge debido a descuidos por parte de los empleados, quienes en ocasiones olvidan apagar las luces al concluir su jornada laboral, lo que resulta en que estas permanezcan encendidas durante toda la noche.

Figura 3. Mapa distribución de la oficina.

Para abordar esa situación, se ha concebido una arquitectura de sistemas IoT escalable y segura. En esta arquitectura **Figura 4**, destaca un controlador central el cual es una Raspberry Pi 4, misma que se utilizó en [27] , [28]. En este controlador, se ha implementado la plataforma Node-Red [29], que sirve como herramienta para la integración y gestión de los diversos sensores y actuadores que se emplearán en el proyecto, así como del manejo de los datos adquiridos.

La conectividad del controlador con los sensores y actuadores se logra a través de Wi-Fi, permitiéndole acceder a internet. Esto resulta esencial para vincular el conjunto de hardware mediante el protocolo de comunicación MQTT, estableciendo así una sólida base para la interconexión y el intercambio de datos en el sistema propuesto.



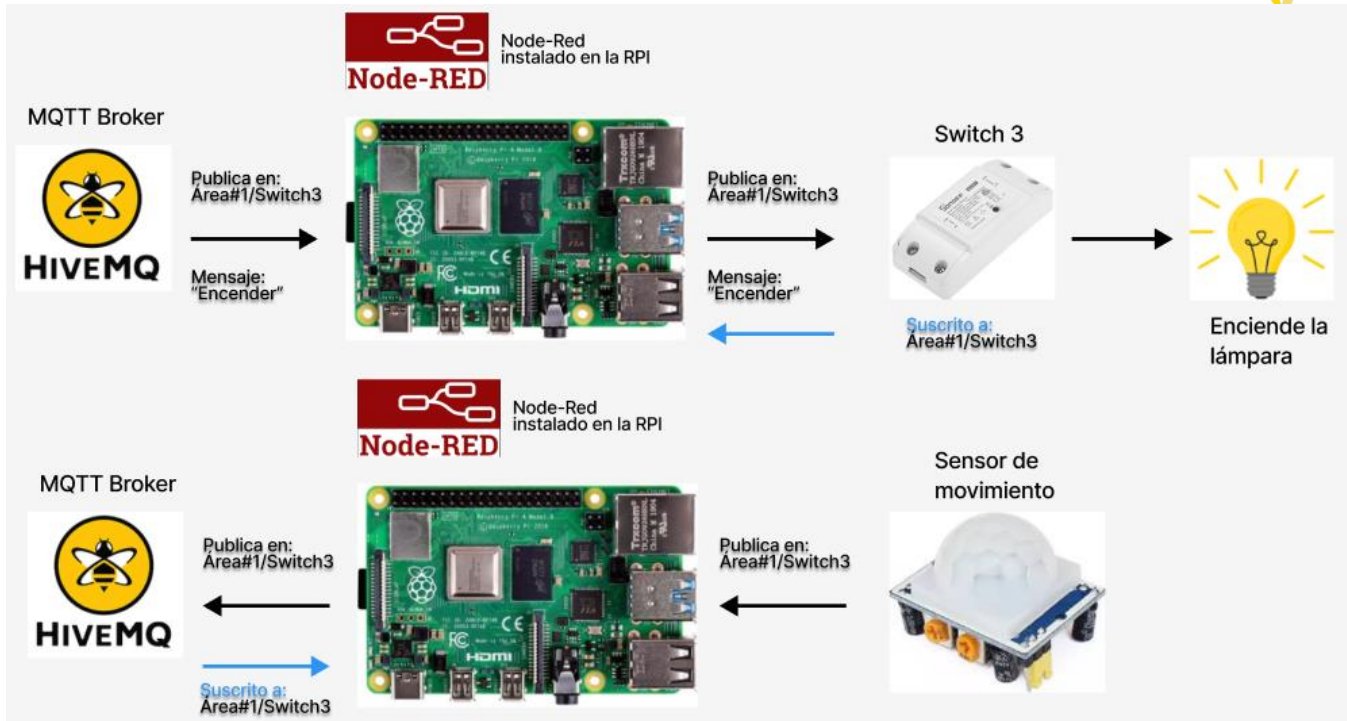


Figura 4. Arquitectura del proyecto.

Cabe mencionar que se tomó en cuenta las condiciones de iluminación que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008 en donde establece que los espacios de distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina deben de cumplir con 300 luxes como nivel mínimo de iluminación. La oficina cuenta dos lámparas tipo Barrina LED de 5,000 lúmenes cada distribuidas equitativamente en el Área #1 la cual es de 26.74 m². Para comprobar la iluminación en el área se realizó el siguiente cálculo:

$$\text{Lux} = \frac{\text{Lúmenes}}{\text{Área en metros cuadrados}} \quad (1)$$

$$\text{Lux} = \frac{5000 \text{ lúmenes}}{13.37 \text{ m}^2} = 373.97 \text{ Lux} \quad (2)$$

En la ecuación (2) se utilizó los lúmenes que contiene cada lámpara y el área se dividió entre dos (26.74 m² / 2) debido a que son dos lámparas las que se encuentran en el Área #1. Obteniendo

como resultado 373.97 luxes lo cual indica que la iluminación es la adecuada en el área.

5. 1. Selección de sensores y actuadores

Tras analizar los resultados del estudio de eficiencia energética por área, se destacó que el “Área #1” y las luminarias exteriores presentan las mayores oportunidades de mejora. Enfocaremos nuestros esfuerzos en la automatización de la iluminación en estas áreas específicas.

Para poder lograr esta automatización de manera efectiva, se requiere la implementación de un sensor de presencia. Este dispositivo se encargará de detectar la presencia de personas en el área y determinar si la iluminación debe encenderse o apagarse en función de esta información.

Con este propósito, se ha optado por el uso del sensor de movimiento HC-SR501, como se muestra en la **Figura 5**. Este sensor posee un rango de detección de movimiento ajustable, siendo capaz de operar en distancias de hasta 7



metros, y con un ángulo de detección que oscila entre 90° y 110°. [30]



Figura 5. Sensor de movimiento HC-SR501.

Con el fin de lograr la automatización del encendido de la iluminación, se ha incorporado un actuador, tal como se muestra en la **Figura 6**. Este actuador se encarga de recibir la información proveniente del sensor de movimiento, lo que a su vez determina cuándo debe activarse o desactivarse.

En este contexto, se ha optado por el uso del actuador de la marca Sonoff, específicamente el modelo Basic. Este actuador presenta una entrada

compatible con voltajes de 100-240V CA 50/60 Hz y una corriente de hasta 10 A. De manera similar, su salida corresponde a voltajes de 100-240 V CA 50/60 Hz con una capacidad de corriente de hasta 10 A [31].



Figura 6. Actuador Sonoff Basic.

Para establecer la conexión entre el sensor de movimiento y el controlador central, se optó por una conexión por cable directamente al GPIO de la Raspberry Pi. Por otro lado, en cuanto al actuador Sonoff Basic, se implementó la integración mediante la herramienta Node-Red, la cual está instalada en la Raspberry Pi. A través de esta herramienta, se logró una conexión vía Wi-Fi, eliminando la necesidad de cables, tal como se muestra en la **Figura 7**.



Figura 7. Diagrama de conexión de sensores y actuadores.



Para el monitoreo del consumo energético, se optó por un sensor de la marca Shelly, específicamente el modelo Shelly EM. Este sensor está equipado con una pinza amperimétrica que puede manejar corrientes de hasta 50 A. La pinza amperimétrica rodea el conductor del circuito que se está midiendo, permitiendo así obtener mediciones precisas del consumo energético. Este modelo puede admitir la conexión de hasta dos pinzas.

El sensor Shelly EM opera en un rango de voltaje de 110-230 V 50/60 Hz. Además de su funcionalidad de monitoreo, incorpora un contactor que posibilita el control de dispositivos con una capacidad máxima de 2 A. Asimismo, dispone de conectividad Wi-Fi y a través de la nube puedes acceder a su aplicación, lo que permite visualizar datos en tiempo real desde cualquier ubicación. Esta versatilidad brinda una conveniente manera de mantener un seguimiento preciso del consumo energético [32].



Figura 8. Sensor Shelly EM.

6. Resultados

Con el propósito de evaluar los resultados de la automatización de la iluminación en el “Área 1” y las luminarias exteriores de la oficina, se extrajeron los datos recopilados por el sensor Shelly EM. Estos datos abarcan un período de medición que se extiende desde el 6 de agosto del 2023 hasta el 31 de agosto del 2023, durante el cual la iluminación estuvo automatizada, como podemos observar en **Figura 9**.

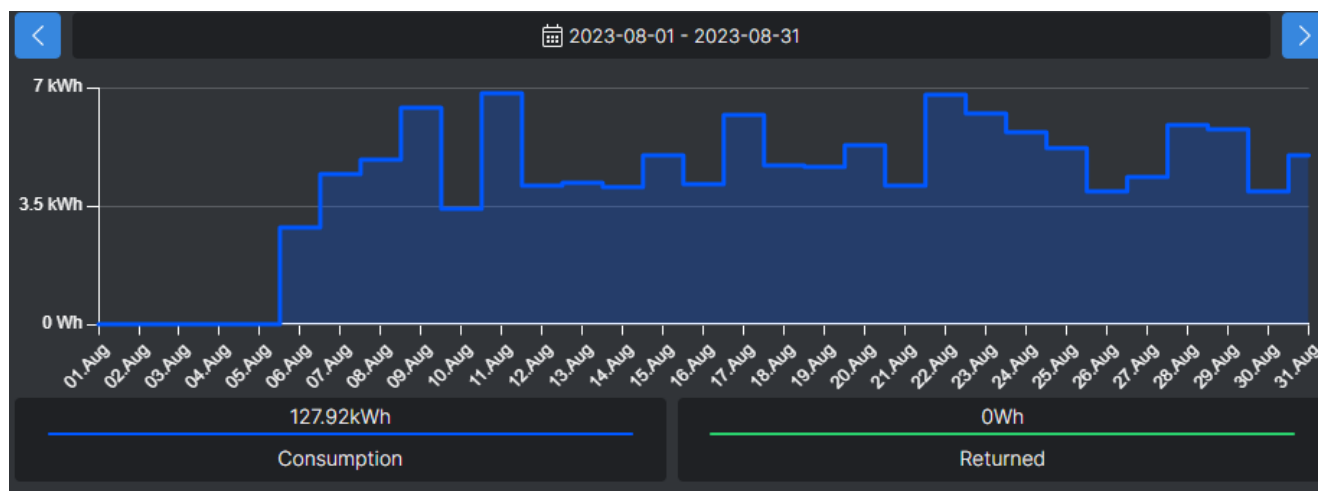


Figura 9. Consumo energético 6/08/23 - 31/08/23.

Con el propósito de llevar a cabo una comparación más precisa del ahorro energético logrado, se optó por utilizar los datos obtenidos del medidor Shelly EM durante el período del 6

de agosto al 31 de agosto del 2023. Para compararlos con el bimestre de julio-agosto de la **Tabla 1**.



La elección de este bimestre específico se justifica por las variaciones estacionales en las condiciones climáticas, que influyen en el uso de diferentes dispositivos electrónicos como ventiladores, aires acondicionados y otros. Al comparar estos dos períodos, podíamos obtener una evaluación más precisa del impacto real de la automatización en el ahorro energético.

Para facilitar la comparación, se calculó el consumo energético promedio diario utilizando la **ecuación (3)**. Los valores utilizados en esta ecuación se derivaron de los datos recopilados, tal como se muestra en la **Figura 9**.

$$\text{Consumo energético por día} = \frac{127.92 \text{ kWh}}{26} = 4.92 \text{ kWh} \quad (3)$$

Después se realizó una operación similar para poder calcular el consumo energético promedio diario, como podemos observar en la **ecuación (4)**. En esta ecuación, se utilizaron los datos obtenidos del recibo de electricidad que se encuentran detallados en la

Tabla 1.

$$\text{Consumo energético por día} = \frac{325 \text{ kWh}}{62} = 5.24 \text{ kWh} \quad (4)$$

Con los datos obtenidos del consumo energético diario, se efectuó una comparación entre el consumo energético total de la oficina con la iluminación del Área #1 y las luminarias del exterior gestionadas de manera automatizada, frente al consumo energético total de la oficina sin la iluminación automatizada.

Esta comparativa reveló un ahorro energético del 6.1 % por día. En cuanto al confort en la oficina, los empleados ahora se benefician de la automatización de la iluminación, donde las luces se ajustan automáticamente en función de la presencia de personas. Esto elimina la necesidad de encender o apagar manualmente las luces, mejorando la comodidad y la eficiencia.

Se llevó a cabo un estudio de costo-beneficio de la implementación del sistema IoT. En la **Tabla 2**,

se detalla el hardware utilizado, su costo y el proveedor correspondiente:

Tabla 2. Costo del hardware.

Dispositivo	Costo	Proveedor
Raspberri Pi4	1000	AG Electrónica
Shelly EM	1200	Alli Express
Sonoff Basic	200	Alli Express
Sensor Movimiento	40	AG Electrónica
Total	2440	

Para cuantificar el ahorro energético en términos monetarios, se utilizó la tarifa estimada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE). En este caso, se consideró el consumo energético excedente, ya que es el consumo al que estamos atacando en este proyecto, el cual tiene un costo de 3.452 MXN por cada kWh. Tomando en cuenta esta tarifa y el ahorro energético diario que equivale a 0.32 kWh se obtuvo:

$$\begin{aligned} \text{Ahorro energético por día en \$} \\ &= (3.452 \$) \times (0.32 \text{ kWh}) \quad (5) \\ &= 1.105 \$ \end{aligned}$$

Con el dato obtenido del ahorro energético diario y el costo del Hardware, se calculó el retorno de inversión para este sistema, el cual es de 6.13 años. Es importante mencionar que tanto la Raspberry Pi4 como el sensor de energía Shelly EM se utilizaron debido a que ya se contaba con ellos. Para optimizar los costos del hardware sin comprometer la funcionalidad del sistema, se realizaron los siguientes cambios de hardware:

Tabla 3. Costos optimización del Hardware.

Dispositivo	Costo	Proveedor
Raspberry Pi Zero	422	Cyberpuerta
Tuya Wifi Dual Meter	300	Alli Express
Sonoff Basic	200	Alli Express
Sensor Movimiento	40	AG Electronica
Total	962	

Tomando en cuenta los datos obtenidos en la **Tabla 3** se realizó nuevamente el calculo del



retorno de inversión, el cual disminuyó de 6.13 años a 2.42 años.

7. Conclusiones

La implementación de tecnologías IoT en este proyecto de oficina inteligente, específicamente la automatización de la iluminación en el Área #1 y las luminarias del exterior, ha demostrado ser una estrategia efectiva para lograr un ahorro energético del 6.1%, lo que representa un paso importante hacia la sostenibilidad y la eficiencia en nuestra operación diaria.

No obstante, estudios realizados por diversos autores [33], [34], [35], quienes llevaron a cabo un control completo de la iluminación en todos sus espacios, han revelado que el ahorro energético puede ir desde un 38% hasta un impresionante 73%. Esto señala claramente que el proyecto tiene un potencial significativo para lograr ahorros energéticos aún mayores en el futuro, abarcando la iluminación de toda la oficina.

La automatización de la iluminación, lograda a través de sensores de ocupación y control inteligente, ha permitido una gestión más precisa y consciente de la energía eléctrica. Las luces se encienden y apagan automáticamente en función de la presencia de personas y las condiciones de luz natural, eliminando el desperdicio de energía cuando no es necesario.

Este éxito inicial motiva a continuar con la implementación de tecnologías IoT en otras áreas de la oficina, con el objetivo de ampliar aún más el ahorro energético.

En resumen, el ahorro energético del 6.1% representa un hito significativo en el proyecto de oficina inteligente. Esto refuerza la determinación de seguir utilizando tecnología IoT como herramienta clave para alcanzar

objetivos de sostenibilidad y eficiencia energética en el futuro.

8. Reconocimiento de autoría

Fabián Peña de Loza: Conceptualización; Metodología; Software; Análisis formal, Investigación; Borrador original; Administración de proyecto; Adquisición de fondos. *Francisco Javier Ibarra Villegas:* Conceptualización; Metodología; Software; Análisis formal, Investigación; Borrador original; Revisión y edición; Supervisión.

Referencias

- [1] U. (UNEP).. [En línea]. Available: <https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/sustainable-buildings>. [Último acceso: 04 10 2023].
- [2] M. Rehman, P. Muhammad Adeel y H. Naveed Ul, «Clean consumer energy technologies in developing countries: A case study of energy efficient lights in Pakistan,» *IEEE*.
- [3] A. I. d. Energía, «IEA,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>.
- [4] E. I. A. (eia), «Commercial Buildings Energy Consumption Survey (CBECS), Energy Usage Summary»,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.eia.gov/consumption/commercial/reports/2012/preliminary/>.
- [5] S. Rinaldi, «A Cognitive Strategy for Renovation and Maintenance of Buildings through IoT Technology,» *Industrial Electron Conf*, vol. 2020, pp. 1949-1954, 2020.
- [6] C. Marche y M. Nitti, «IoT for the users: Thermal comfort and cost saving,» *Proc. Int Symp. Mob. Ad Hoc Netw. Comput*, pp. 55-60, 2019.
- [7] W. Yaici, K. Krishnamurthy, E. Entchev y M. Longo, «Recent advances in internet of things infrastructures for building energy systems,» *A review*, vol. 21, n° 6, 2021.
- [8] C. Yongjun, R. Seung-Yoon y M. Tae, «Social Capital and Organizational Citizenship Behavior: Double-Mediation of Emotional Regulation and Job Engagement,» *Sustainability*, vol. 10, n° 10, p. 3600, 2018.



- [9] M. Ecibinudiy, V. Todeschi, P. Bertoldi, D. D'Agostino, P. Zangheri y L. Castellazzi, «Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings,» *Energy Build*, vol. 225, n° 110322, 2020.
- [10] P. Shaikh, N. P. Nallagownden, I. Elamvazuthi y T. Ibrahim, «A review on optimized control system for building energy and comfort management of smart sustainable buildings,» *Renew. Sustain. Energy Rev*, pp. 34, 409-429, 2014.
- [11] J. Nesse, J. Morse, M. Zemba, C. Riva y L. Luini, «Preliminary Results of the NASA Beacon Receiver for Alphasat Aldo Paraboni TDP5 Propagation Experiment. In Proceedings of the 20th Ka and Broadband Communications,» de *Navigation and Earth Observation Conference*, Vietri sul Mare/Salerno, Italy, 2014.
- [12] E. Curry, S. Hasan y S. O'Riain, «Enterprise energy management using a linked dataspace for energy,» de *In Proceedings of the Sustainable Internet and ICT for Sustainability (SustainIT)*, Pisa, Italy, 2012.
- [13] A. B. E. M. System, «ACIS™ Building Energy Management System,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.airedale.com/products/acis-bms/>. [Último acceso: 2023].
- [14] M. R. Abdul Malek, N. A. Ab. Aziz, S. Alelyani, M. Mohana, F. N. Arina Baharudin y Z. Ibrahim, «Comfort and energy consumption optimization in smart homes using bat algorithm with inertia weigh,» *Elsevier Journal of Building Engineering*, vol. 47, n° 103848, pp. 2352-7102, 2022.
- [15] D. F. Espejel-Blanco, J. A. Hoyo-Montaño, J. Arau, G. Valencia-Palomo, A. García-Barrientos, H. R. Hernández de Leon y J. L. Camas Anzueto, «HVAC Control System Using Predicted Mean Vote Index for Energy Savings in Buildings,» *Buildings 2022*, vol. 12, n° 1, p. 38, 2022.
- [16] M. Umair, M. A. Cheema, O. Cheema, H. Li y H. Lu, «Impact of COVID-19 on IoT Adoption in Healthcare, Smart Homes, Smart Buildings, Smart Cities, Transportation and Industrial IoT,» *Sensors 2021*, vol. 21, n° 11, p. 3838, 2021.
- [17] P. Jeyasheeli y J. V. Selva, «An IoT design for smart lighting in green buildings based on environmental factors,» pp. 1-5, Jan 2017.
- [18] L. Yeh, C. Lu, C. Kou, Y. Tseng y C. Yi, «Autonomous Light Control by Wireless,» *IEEE Sensors*, pp. 1029-1041, 2010.
- [19] M. Pan, L. Yeh, Y. Chen, Y. Lin y Y. Tseng, «A WSN-Based Intelligent Light Control System Considering User Activities and Profiles,» *IEEE Sensors*, vol. 8, n° 10, pp. 1710-1721, 2008.
- [20] A. Pandharipande, M. Zhao y E. Frimout, «Connected indoor lighting based applications in a building IoT ecosystem,» *IEEE Internet Things Mag*, vol. 2, pp. 22-26, Mar 2019.
- [21] «Construcción y Rehabilitación,» 19 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://construccionyrehabilitacion.com/2017/05/19/the-edge-edificio-mas-sostenible-e-inteligente-del-mundo/>.
- [22] L. Martirano, «Assessment for a Distrivuted Monitoring System fon Industrial and Comercial Applications,» *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 55, n° 6, pp. 7320-7327, 2019.
- [23] H. Ghayvat, S. Mukhopadhyay, X. Gui y N. Suryadevara, «WSN- and IOTBased Smart Homes and Their Extension to Smart Buildings,» *Sensors*, vol. 15, n° 5, pp. 10350-10379, 2015.
- [24] I. Mauser, J. Feder, J. Müller y H. Schmeck, «Evolutionary Optimization of Smart Buildings with Interdependent Devices,» *Applications of Evolutionary Computation*, Springer, vol. 9028 of the series Lecture Notes in Computer, pp. 239-251, 2015.
- [25] C. Keles, A. Karabiber, M. Akcin, A. Kaygusuz, B. B. Alagoz y O. Gul, «A Smart Building Power Management Concept: Smart Socket Applications With DC Distribution,» *International Journal Of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 64, p. 679-688, 2015.
- [26] D. Minoli, K. Sohraby y B. Occhiogrosso, «IoT Considerations, Requirements, and Architectures for Smart Buildings – Energy Optimization and Next Generation Building Management Systems,» *The IEEE Internet of Things Journal*, vol. 4, n° 1, pp. 269-283, 2017.
- [27] M. Umair, M. A. Cheema, B. Afzal y G. Shah, «Energy management of smart homes over fog-based IoT architecture,» *Elsevier Sustainable Computing: Informatics and Systems*, vol. 39, pp. 2210-5379, 2023.
- [28] N. Ma, A. Waegel, M. Hakkarainen, W. W. Braham, L. Glass y D. Aviv, «Blockchain + IoT sensor network to measure, evaluate and incentivize personal environmental accounting and efficient energy use in indoor spaces,» *Applied Energy*, vol. 332, n° 120443, pp. 0306-2619, 2023.
- [29] Node-Red, «Node-Red,» [En línea]. Available: <https://nodered.org/>. [Último acceso: 08 2023].
- [30] P. F. SA, «Punto Flotante SA,» 2017. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http>



- s://puntoflotante.net/MANUAL-DEL-USUARIO-SENSOR-DE-MOVIMIENTO-PIR-HC-SR501.pdf. [Último acceso: 2023].
- [31] Sonoff, «Sonoff User Manuals,» [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://sonoff.tech/wp-content/uploads/2021/03/%E8%AF%B4%E6%98%8E%E4%B9%A6-BASICR2-RFR2-V1.2-20210305-1.pdf. [Último acceso: 2023].
- [32] Shelly, «Shelly,» 2023. [En línea]. Available: https://kb.shelly.cloud/knowledge-base/shelly-em. [Último acceso: 2023].
- [33] S. Bannamas y P. Jiraoing, «An intelligent lighting energy management system for comercial and residential buildings,» *IEEE Inov. Smart Grid Technol*, 2015.
- [34] L. Martirano, A. Ruvio, M. Manganelli, F. Lettina , A. Venditti y G. Zori, «High-Efficiency Lighting Systems with Advanced Controls,» *IEEE Trans. Ind. Appl*, vol. 57, n° 4, pp. 3406-3415, 2021.
- [35] Z. Nagy, F. Y. Young, M. Frei y A. Schlueter, «Occupant centered lighting control for comfort and energy efficient building Operation,» *Energy Build*, vol. 94, pp. 100-108, 2015.
- [36] E. Manolis, L. Doulos, S. Niavis y L. Canale, «The impact of energy efficiency indicators on the office lighting planning and its implications for office lighting market,» *IEEE EEEIC*, 2019.

Derechos de Autor (c) 2024 Fabian Peña de Loza, Francisco Javier Ibarra Villegas



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)