

SYSTEM FOR ENERGY EFFICIENCY IN EDUCATIONAL BUILDINGS USING IoT TECHNOLOGIES

SISTEMA PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES EDUCATIVAS UTILIZANDO TECNOLOGÍAS IoT

**Fernando José Moreno Arrieta¹, Carlos Arturo Vides Herrera²,
Claudia Camila Ropero Castillo³, Jarol Derley Ramón Valencia⁴, Daniel Camilo Ruiz Ayala⁵**

¹Esp., Universidad de Pamplona, Grupo LOGOS, Pamplona, Colombia, <https://orcid.org/0009-0000-5321-9303>

²MSc., Universidad de Pamplona, Grupo LOGOS, Pamplona, Colombia, <https://orcid.org/0000-0001-8708-5470>.

³Esp., Instituto Superior de Educación Rural, Pamplona, Colombia, <https://orcid.org/0009-0000-7634-0755>

⁴PhD., Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia, <https://orcid.org/0000-0002-4929-8544>.

⁵Ing., Universidad de Pamplona, Grupo Automatización y Control, Ingeniería Electrónica, Pamplona, Colombia, <https://orcid.org/0000-0003-4852-9176>.

fernando.moreno@unipamplona.edu.co

Cite this article as: F. Moreno-Arrieta, C. Vides- Herrera, C. Ropero-Castillo, J. Ramon Valencia, D. Ruiz- Ayala "SISTEMA PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES EDUCATIVAS UTILIZANDO TECNOLOGÍAS IoT"
Prospectiva, Vol. 23 N° 1 2025

Recibido: 20/03/2025 / Aceptado: 20/05/2025

<http://doi.org/10.15665/rp.v23i1.3768>

RESUMEN

El presente trabajo trata sobre el diseño e implementación de un sistema que utiliza tecnología basada en el Internet de las Cosas (IoT), orientado a la supervisión y gestión eficiente del consumo energético en infraestructuras pertenecientes al sector educativo. A través de la incorporación de estrategias de automatización y control, se logró detectar ineficiencia energética que llevaron a plantear y aplicar medidas correctivas que contribuyan a la optimización del uso de la energía y la reducción de costos operativos. La validación se realizó de forma experimental y se llevó a cabo en un laboratorio de informática de una institución educativa ubicada en Pamplona Norte de Santander, donde se implementó un esquema de control automatizado el cual se compone de sensores de presencia, iluminación, movimiento y consumo de energía eléctrica. Para el desarrollo del entorno IoT, se seleccionaron varias tecnologías de hardware y software que permitieron la instalación de una red de sensores distribuida en diferentes locaciones estratégicas en el aula, facilitando la recolección y análisis de datos en tiempo real de los parámetros ambientales y eléctricos de los equipos y elementos que consumen energía. Los resultados obtenidos evidenciaron una disminución del consumo energético y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental de la institución.

Palabras clave: Eficiencias energética, Internet de las cosas, IoT, Sensores.

ABSTRACT

This paper addresses the design and implementation of a system that utilizes Internet of Things (IoT) technology for the efficient monitoring and management of energy consumption in educational infrastructure. By incorporating automation and control strategies, energy inefficiencies were detected, leading to the development and implementation of corrective measures that contribute to optimizing energy use and reducing operating costs. The validation was conducted experimentally in a computer lab at an educational institution located in Pamplona Norte de Santander, where an automated control scheme was implemented. It consists of presence, lighting, motion, and electrical energy consumption sensors. For the development of the IoT environment, several hardware and software technologies were selected to enable the installation of a distributed sensor network in different strategic locations within the classroom, facilitating the collection and analysis of real-time data on environmental and electrical parameters of the equipment and energy-consuming elements. The results showed a decrease in energy consumption and contributed to the institution's environmental sustainability.

Keywords: Energy efficiency, Internet of Things, IoT, Sensors.

1. INTRODUCCIÓN

En un mundo donde los desafíos ambientales y energéticos ocupan un lugar central en la agenda global [1], la gestión eficiente de los recursos energéticos se ha vuelto una prioridad ineludible para los gobiernos, las industrias y las instituciones. El cambio climático, junto con el agotamiento de los recursos naturales [2], ha puesto de manifiesto la necesidad de transformar el modo en que consumimos energía. En este contexto, el Internet de las Cosas (IoT), visto como la integración de internet, las redes inalámbricas y la informática, es una tecnología en rápido crecimiento en el entorno empresarial [3], planteándose no solo como una solución económica para reducir costos, sino también como una estrategia crucial para mitigar el impacto ambiental y avanzar hacia un futuro más sostenible. La eficiencia energética, constituye un vehículo para aumentar la productividad y competitividad nacional, y es una de las principales estrategias de mitigación de impactos ambientales en la cadena energética [4]; llegando a ser catalogada, como la medida más importante para evitar la demanda de energía en el escenario de cero emisiones netas para 2050 y un pilar clave, en la estrategia energética de la Unión Europea [5].

En particular, los campus universitarios presentan desafíos únicos en términos de consumo energético, estos espacios no solo albergan actividades académicas y administrativas, sino que también suelen incluir áreas residenciales, recreativas y de investigación, lo que resulta en una demanda energética constante y variada. Esto, convierte a las universidades en candidatas ideales para la implementación de tecnologías que optimicen el uso de la energía y contribuyan a la reducción de costos operativos y emisiones contaminantes. La integración de las tecnologías del Internet de las Cosas en los sistemas de domótica y gestión energética, ha impulsado una ola de transformación que convierte la forma en que se consume y gestiona la energía en los hogares [6].

Al integrar medidores inteligentes conectados a la red, estos miden y registran el consumo de electricidad en tiempo real y al mismo tiempo transmiten la información al servidor [7], el sistema inteligente de gestión energética IoT permite la monitorización, el control y la automatización del consumo energético en tiempo real [8].

Este proyecto se basa en el desarrollo de un ecosistema basado en el Internet de las Cosas para la gestión energética en edificios de instituciones educativas, tomando como caso de estudio el Instituto Superior de Educación Rural (ISER), en Pamplona, Colombia, en donde se abordó la necesidad de optimizar el

consumo energético, presentando un sistema automatizado que controla y monitorea aspectos como iluminación, climatización y otras condiciones, utilizando tecnologías como sensores, actuadores y una plataforma de control en tiempo real, abordando el vacío existente en el conocimiento y las prácticas existentes, a través del desarrollo e implementación de este ecosistema [9].

El proyecto comenzó con la instalación de sensores, los cuales miden las variables ambientales y de consumo eléctrico en tiempo real, permitiendo una comunicación por medio de señales inalámbricas con protocolos de comunicación wifi, bluetooth, y Zigbee; asimismo, se estableció comunicación con una nube para poder monitorear y controlar de manera remota el sistema implementado mediante el protocolo de comunicación MQTT [10], con el objetivo de recopilar datos precisos sobre el consumo energético en tiempo real, identificando las áreas de mayor desperdicio y posteriormente diseñar estrategias específicas para optimizar el uso de la energía.

El contexto histórico se sitúa en un momento en que el mundo enfrenta desafíos significativos relacionados con el cambio climático, la escasez de recursos y la necesidad de adoptar prácticas más sostenibles. El contexto global actual ha incrementado la demanda y el uso de la energía eléctrica, ya que la mayoría de las herramientas o maquinarias que se utilizan en todos los sectores del mercado dependen de la electricidad [11]. En Colombia, el sector educativo, en particular, ha visto un aumento en la matrícula académica y la demanda de sus servicios, lo que ha incrementado el consumo energético en sus instalaciones [12]. Es esencial, por lo tanto, optimizar este consumo no solo para reducir costos operativos, sino también para contribuir a la sostenibilidad ambiental y hacer frente a las expectativas sociales sobre el uso responsable de los recursos.

En Colombia, la conciencia sobre la sostenibilidad y el uso responsable de los recursos ha ido en aumento en las últimas décadas; desde los diseños bioclimáticos, esenciales para aprovechar las condiciones naturales y reducir el consumo energético [13], hasta la implementación de tecnologías IoT y el interés mismo por la eficiencia energética, se están convirtiendo en tendencia cultural, logrando un cambio de comportamiento de los ciudadanos basado en la monitorización, la gestión y el control inteligente de los datos de consumo energético [14].

Las instituciones educativas, al igual que otras organizaciones, desempeñan un papel fundamental en la formación de ciudadanos responsables al integrar un sistema IoT que permite monitorear y gestionar el consumo energético, creando una plataforma para educar a estudiantes y personal sobre prácticas sostenibles. La utilización de técnicas de control avanzadas (como control PID y control difuso), que mejorará la respuesta del sistema frente a fluctuaciones en la demanda energética, resultando en una mayor estabilidad térmica y luminosidad en los espacios de aprendizaje; permitiendo, además, una adaptación de espacios interiores a condiciones y comodidades deseadas [15].

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en esta investigación es de naturaleza cuantitativa ya que permite analizar y calcular una amplia gama de variables estadísticas referente al consumo eléctrico. La metodología se basa en la recolección y el análisis de datos numéricos para medir variables específicas y establecer relaciones causales. En la figura 1, se detallan cada una de las etapas de la metodología aplicada para la investigación.

Figura 1. Etapas de la metodología aplicada.
Figure 1. Stages of the applied methodology



3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

La investigación fue desarrollada en 5 etapas, de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

Etapa I- Identificación y Selección Inicial

Se identificaron las instalaciones del aula en la cual se implementó el sistema de control para el mejoramiento energético, teniendo presente los equipos que generan un consumo pasivo o activo como la iluminación, los sistemas de climatización, los ordenadores y otros equipos de alta demanda. Una vez identificados estos puntos clave, se seleccionaron los dispositivos adecuados para medir y supervisar el consumo de energía. Para el desarrollo del ecosistema IoT, el desarrollador puede escoger un tipo de hardware sobre otro, en un amplio rango de industrias [16].

De esta manera, los dispositivos seleccionados, para el monitoreo del consumo energético, se optó por el sensor Sonoff Pow R2, el cual cuenta con un relé que realiza la función de actuador. Este actuador se encarga de recibir la información proveniente del sensor de presencia, lo que a su vez determina cuándo debe activarse o desactivarse el dispositivo conectado [10]. Se instalaron sensores de luz BH1750 y de presencia, asegurándose de que todos estos sean compatibles con el entorno IoT y permitan una comunicación eficaz con la plataforma central; así mismo, se identificaron los patrones de consumo en las horas en las que se tenía mayor demanda energética cuando las aulas de clases están en uso y también las horas en donde existía un consumo pasivo por equipos conectados a la red sin que estuvieran en uso.

Etapa II - Diseño e Integración de la Arquitectura del Sistema.

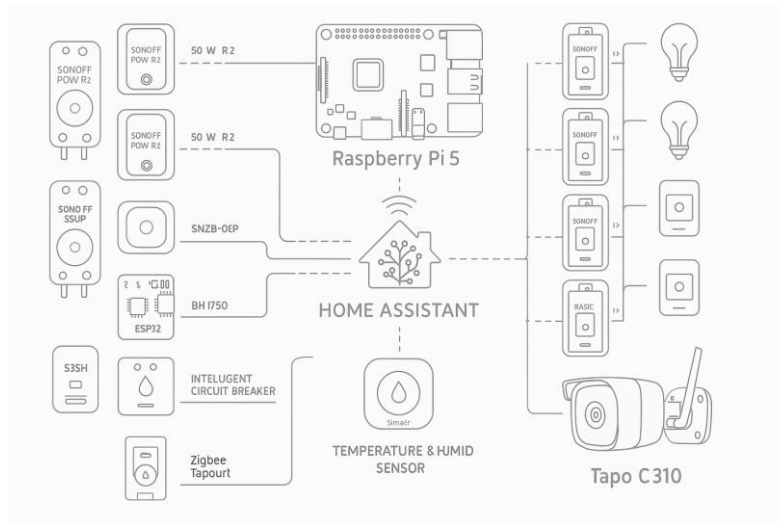
Para realizar el diseño e integración de la arquitectura de sistema IoT enfocado a la gestión energética de edificios, se implementó un enfoque sistemático, abordando la recolección de datos, procesamiento, y visualización de la información; para ello, se analizaron referentes teóricos [17] y se estructuró la siguiente arquitectura para el sistema propuesto, bajo cuatro capas, las cuales se muestran a continuación.

- **Capa de Percepción:** Sensores y actuadores recopilan datos del entorno físico.
- **Capa de Red:** Proporciona conectividad entre dispositivos de campo y el sistema central.
- **Capa de Procesamiento:** Analiza datos en tiempo real, aplica algoritmos de IA y almacena información.
- **Capa de Aplicación:** Ofrece visualización, reportes y control a los usuarios finales.

En esta etapa de instaló el ecosistema IoT, que consta de un hardware Raspberry Pi 5, el cual se utilizó como servidor, sensores de corriente y voltaje de Sonoff pow r2, sensor de presencia SNZB-06P, sensor de luz BH1750 conectado a un ESP 32, relé Inteligente Basic R2, Disyuntor Inteligente, sensores de temperatura y humedad Zigbee, cámara Tapo C310, lámparas inteligentes, modem Wifi. Todos los

dispositivos son administrados por la plataforma de Home Assistant. A continuación, la figura 2, muestra la arquitectura del sistema IoT.

Figura 2. Arquitectura del sistema IoT
Figure 2. IoT system architecture



Etapa III - Implementación de la Plataforma de Gestión de Datos.

Se estableció una plataforma central que recolecta y almacena los datos de los dispositivos de medición, lo que facilita el análisis de estos datos, esta aplicación o plataforma debe ser fácil de usar y permitir la generación de informes y alertas para detectar ineficiencias en el consumo. Para desarrollar el ecosistema IoT que facilite el control y monitoreo eficiente del consumo energético, se evaluaron las siguientes plataformas de hardware y software, con el fin de seleccionar la que mejor se ajuste a las necesidades del proyecto.

Microsoft Azure IoT Hub: Permite una comunicación bidireccional confiable y la integración con herramientas como Power BI y Azure ML, ideal para análisis de datos en tiempo real y administración de dispositivos remotos con protocolos de comunicación MQTT, AMQP, HTTPS, de amplia compatibilidad con hardware y protocolos industriales, diseñada para proyectos empresariales [18].

Home Assistant: Es una plataforma de automatización de código abierto que permite integrar y controlar diversos dispositivos inteligentes, de diferentes fabricantes en una única interfaz, es compatible con energías renovables y dispositivos inteligentes [19]. Ofrece control avanzado mediante YAML y dashboards personalizables, con protocolos de comunicación MQTT, Zigbee, Z-Wave, HTTP, CoAP, HomeKit, es compatible con cientos de dispositivos y protocolos, con una escalabilidad media limitada por hardware local y una eficiencia alta, eficiente al operar localmente sin depender de la nube Home Assistant Features.

Node-RED: Es una plataforma de código abierto que facilita la implementación de técnicas de control avanzadas, permitiendo la integración fluida entre hardware y software especializados [20]; también permite una programación visual basada en nodos de integración rápida con APIs, hardware y sistemas IoT. Extensiones para plataformas industriales como OPC-UA y Modbus, con protocolos de comunicación MQTT, HTTP, WebSockets, Modbus, OPC-UA, es compatible con hardware y servicios

industriales, permitiendo la integración con sistemas complejos y alta eficiencia en desarrollo, gracias a la lógica visual.

Tuya IoT Platform: Plataforma comercial robusta para dispositivos inteligentes, la cual permite configurar y monitorear dispositivos integrados[21]; ofrece además, herramientas para desarrollo de hardware y software IoT, con integración rápida en ecosistemas como Alexa y Google Assistant, con protocolo de comunicación MQTT, HTTPS, Zigbee, Wi-Fi. Es compatible con dispositivos inteligentes y sistemas comerciales, alta escalabilidad diseñada para proyectos masivos y es eficiente en productos comerciales optimizados.

BACnet: Plataforma de protocolo estándar abierto para automatización de edificios. Facilita la interoperabilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes. Ideal para sistemas HVAC, iluminación y control de acceso, con protocolo de comunicación, BACnet/IP, BACnet/MSTP, Ethernet, Zigbee, compatible con dispositivos de múltiples fabricantes, eficiencia elevada en redes locales y sistemas distribuidos [22].

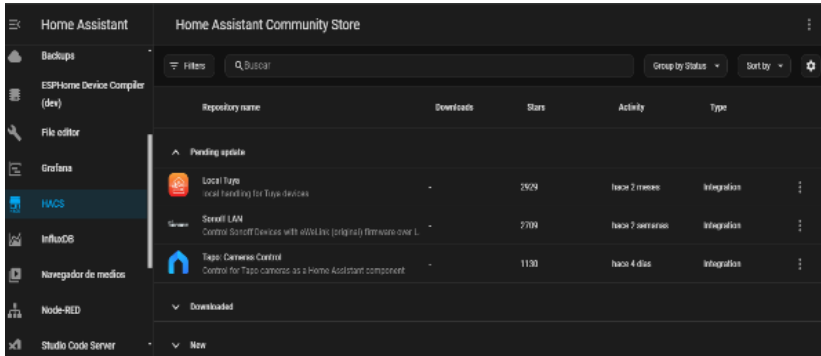
Una vez que validada las características de cada una de las plataformas mencionadas anteriormente, decidí optar por Home Assistant, debido a su versatilidad, escalabilidad y economía al momento de implementar, además su interfaz es personalizable y accesible desde navegadores web y aplicaciones móviles, permitiendo configurar flujos de trabajo personalizados basados en eventos o condiciones específicas, su arquitectura modular facilitaba la integración con una amplia variedad de servicios y protocolos.

Para simplificar la integración de dispositivos de diferentes marcas, se instaló el complemento “HACS” (Home Assistant “Community” Store), permitiendo añadir repositorios de terceros facilitando la instalación de dispositivos no disponibles en el repositorio oficial de Home Assistant. Entre los complementos clave instalados se incluyeron:

- Tuya local, permite integrar dispositivos Tuya como luces y enchufes inteligentes sin depender de la nube, mejorando la velocidad y la privacidad.
- Sonoff LAN, permite conectar dispositivos Sonoff localmente sin necesidad de utilizar la nube eWeLink, optimizando la velocidad y la fiabilidad del control
- Tapo en Home Assistant-Tapo Camera Control, permite que las cámaras Tapo se integren en Home Assistant, permitiendo el “streaming” en tiempo real y la gestión, útil para la monitorización en tiempo real de zonas controladas.

Estas integraciones permitieron centralizar todos los dispositivos en Home Assistant, gestionando de manera efectiva los sistemas en tiempo real en una plataforma unificada y accesible. Con estos complementos, el sistema ofrece una experiencia de control robusta y adaptable, mejorando la capacidad de respuesta y la gestión completa de los dispositivos desde un solo lugar. A continuación, la figura 3, muestra la interfaz de Home Assistant.

Figura 3. Interfaz de Home Assistant
Figure 3. Home Assistant interface



4. RESULTADOS

Para presentar los resultados de la implementación en hardware y software continuamos con la etapa IV de la metodología del desarrollo de este proyecto. La validación del funcionamiento del sistema se realizó mediante pruebas de diferentes controles y el ecosistema IoT que comparan el consumo energético en condiciones normales, con el consumo energético tras la optimización del sistema de control. Este proceso garantiza que el sistema funcione de acuerdo con los objetivos de eficiencia fijados.

Esta sección permite a los usuarios visualizar datos, gráficos e informes de consumo de energía, identificar patrones de uso y posibles ahorros de energía, como se observa a continuación, en la figura 4.

Figura 4. Datos de consumo - Home Assistant
Figure 4. Consumption data - Home Assistant



Implementación de Acciones de Control

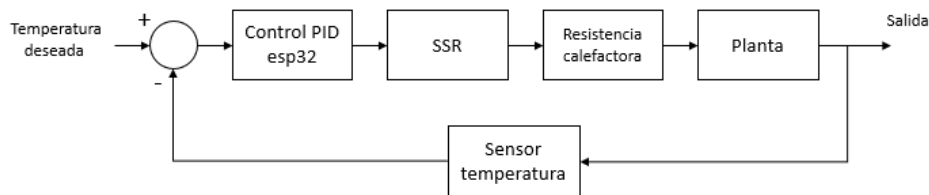
Para realizar el control de los actuadores que permiten realizar la gestión energética, se implementaron 4 tipos de control. Control PID, Control Difuso para la Iluminación, Control condicional para la iluminación, On/Off para el control de la temperatura.

El Control PID (Proporcional, Integral, Derivativo) es un controlador de retroalimentación que involucra tres ramas de comportamiento de control básico y que combinados, puede permitir alcanzar los

resultados deseados[23]; además, es uno de los métodos de control más utilizados en la industria, combina tres tipos de acciones: La acción proporcional (P), que responde proporcionalmente al error; la acción integral (I), que tiene en cuenta la acumulación del error en el tiempo para eliminar el error permanente; y la acción derivativa (D), que anticipa los cambios futuros del error basándose en su tasa de cambio. Esto permite un control más fino y preciso en procesos complejos, como el control de velocidad de motores o el mantenimiento de Control difuso Control PID temperatura. El lazo de control PID, figura 5, en el sistema implementado regula la respuesta de una planta; es decir, el sistema que se desea controlar, en relación con una señal de referencia, con el objetivo de minimizar la diferencia entre la salida deseada y la salida real del sistema.

Figura 5. Controlador PID de temperatura

Figure 5. PID temperature controller

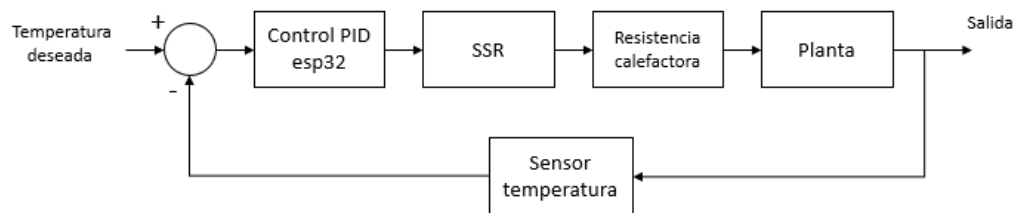


El diseño del control PID se realizó mediante la aplicación MATLAB, iniciando con la adquisición de datos, la identificación del sistema y finalmente el ajuste de los parámetros del controlador. Para la adquisición de datos, se utilizó el sensor DHT22 conectado al ESP 32. Este sensor captura los resultados de la medición y los transmite a través del programa PLX DAQ, utilizamos la interfaz PLX DAQ, un complemento de Excel que facilita la recuperación de datos en tiempo real desde el ESP 32, lo que nos permite recuperar la información y registrarla en una hoja de cálculo a través de la comunicación serie. Los datos se registran cada 5 segundos, capturando los cambios incrementales en las variables de medida del DHT22, para un total de 1.305 registros, creando una potente base de datos adecuada para el análisis y modelado del sistema.

Control Proporcional Temperatura. Para implementar el control proporcional de la temperatura en el proyecto, se utilizó Home Assistant para programar la automatización con el fin de ajustar la salida del sistema en función del error de temperatura. Se configuró el sensor de temperatura para controlar el entorno y se crearon puntos de referencia de temperatura a través de la entidad “input number” de Home Assistant, lo que permitió establecer la temperatura deseada directamente desde la interfaz de usuario. A continuación, la figura 6, permite ver el lazo de control proporcional utilizado para el control de temperatura.

Figura 6. Lazo de control proporcional de temperatura

Figure 6. Proportional temperature control loop

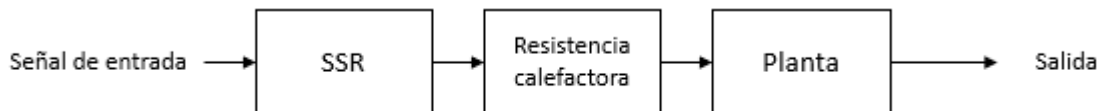


El diseño automatizado calcula la diferencia (error) entre la temperatura real y la temperatura deseada y genera una señal de control proporcional al error basada en una constante de ganancia proporcional. Esta

señal ajusta la potencia de salida del sistema de calefacción o refrigeración para acercar la temperatura al valor deseado.

Control ON/OFF. En este proyecto, el control de ON/OFF se implementa manualmente en la plataforma centralizada, lo que permite al usuario encender o apagar el sistema de calefacción o refrigeración en función de la temperatura ambiente. El sistema muestra la temperatura en tiempo real a través de un sensor conectado, lo que permite al usuario controlar las condiciones actuales. Basándose en esta información y en el propio juicio del usuario, éste puede decidir si enciende o apaga el sistema para mantener la temperatura dentro del rango deseado. A continuación, la figura 7, permite visualizar el control On / Off, para controlar la temperatura.

Figura 7. Control On/Off – Temperatura
Figure 7. On/Off Control – Temperature



Control Difuso Iluminación. El control difuso es una técnica de control que emplea lógica difusa para manejar sistemas con variables inciertas o imprecisas [24]. A diferencia de los sistemas de control tradicionales, que se basan en modelos matemáticos exactos, el control difuso utiliza un conjunto de reglas heurísticas basadas en la experiencia y el conocimiento de expertos para decidir las acciones de control [25].

Como anteriormente se mencionó, se implementa un sistema de control difuso para ajustar el brillo de una luz en función de la entrada de un sensor de luz, integrándose con Home Assistant mediante su API REST. Se describe el funcionamiento y aspectos a tener en cuenta:

La configuración del sistema comienza con la definición de la URL y el token de acceso a la API de Home Assistant, asegurándose de que dicho token cuente con los permisos necesarios para acceder y modificar los estados de las entidades. En cuanto a las variables difusas, se define sensor input, que representa el nivel de luz captado por el sensor con un rango de 0 a 1000, y “brightness”, que establece los niveles de brillo para la luz en un rango de 0 a 255. Los conjuntos lingüísticos para estas variables se modelan mediante funciones trapezoidales (trapmf) y triangulares (trimf), permitiendo representar los valores de manera difusa.

A partir de estos conjuntos, se formulan reglas que relacionan los valores de entrada con los de salida, por ejemplo, si el sensor detecta luz "muy baja", el brillo será "máximo"; y si detecta luz "muy alta", el brillo será "apagado". La lógica principal incluye la obtención de datos del sensor mediante consultas a la API REST de Home Assistant, el cálculo del nivel de brillo adecuado utilizando un sistema de control difuso implementado con “skfuzzy”, y la actualización del valor de brillo en Home Assistant a través de solicitudes POST. Finalmente, el programa se ejecuta en un bucle infinito con intervalos de 5 segundos, en los que lee el estado del sensor, calcula el brillo y actualiza el sistema con el nuevo valor.

A continuación, se relacionan las reglas definidas del control difuso que regulan el comportamiento del brillo, en función de los valores captados por el sensor de luz, teniendo en cuenta la norma ISO 8995-1:2016 [26 p.26].

Regla 1: Cuando el sensor detecta niveles de luz ambiente inferiores a 150 lux, se considera que la iluminación natural es insuficiente. En este caso, el sistema establece el brillo de la iluminación artificial al nivel máximo para garantizar una visibilidad adecuada.

Regla 2: Si el valor del sensor se encuentra en el rango de aproximadamente 150 a 500 lux, con una mayor intensidad alrededor de 350 lux, se interpreta que la luz ambiente es baja. El sistema ajusta el brillo de la luz artificial a un nivel alto para complementar la iluminación natural.

Regla 3: Cuando el sensor registra valores alrededor de 500 lux, se considera que la iluminación ambiente es moderada. El sistema ajusta el brillo de la iluminación artificial a un nivel medio, proporcionando un equilibrio adecuado entre la luz natural y artificial.

Regla 4: En caso de que el sensor detecte niveles de luz ambiente entre aproximadamente 850 y 950 lux, se interpreta que la iluminación natural es alta. El sistema reduce el brillo de la luz artificial a un nivel bajo, ya que la luz natural es suficiente para las actividades en el laboratorio.

Regla 5: Si el sensor detecta niveles de luz ambiente superiores a 950 lux, se considera que la iluminación natural es muy alta. En este caso, el sistema apaga la luz artificial, ya que no es necesaria bajo estas condiciones

A continuación, en la atabla 1, se relaciona las categorías de brillo asignadas a control difuso en la plataforma Home Assistant y el porcentaje de intensidad a la que se ajusta el valor de la luz artificial.

Tabla 1. Categoría de brillo

Table 1. Brightness category

Categoría de Brillo	Valor en lux de la luz artificial	Porcentaje de Intensidad
Máximo	750 lux	100 %
Alto	500 lux	66.67 %
Medio	300 lux	40.00 %
Bajo	100 lux	13.33 %
Apagado	0 lux	0 %

A continuación, las figuras 8 y 9 representa las funciones de pertenencia de los “sensores Input” y “Brightness”, respectivamente.

Figura 8. Función de pertenencia – “Sensor Input”, “sensor Brightness”

Figure 8. Membership function – “Sensor Input”, “Brightness sensor”

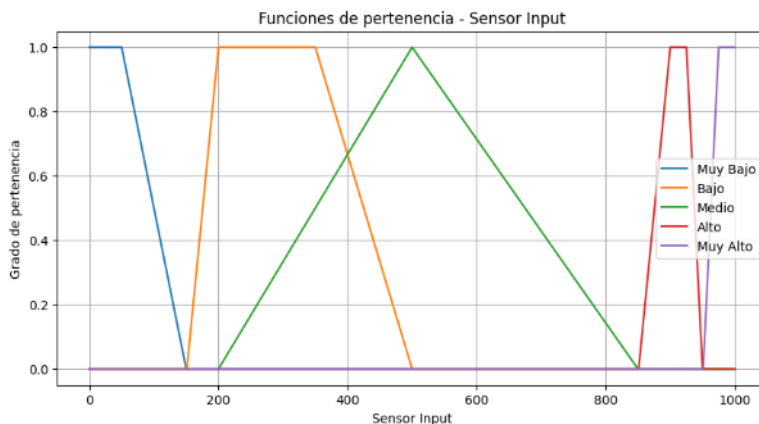
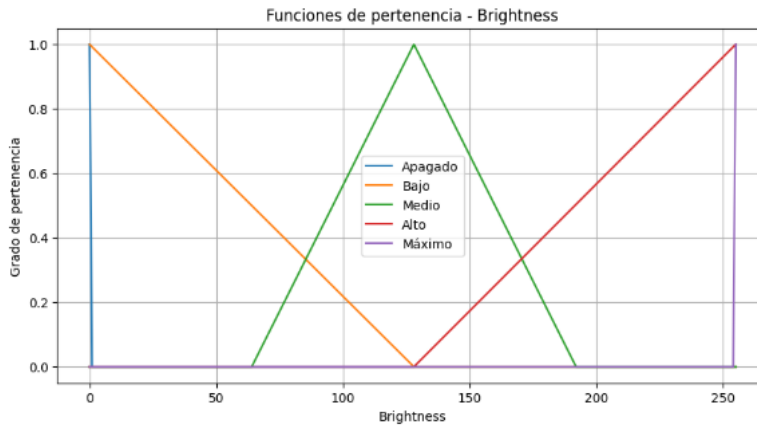


Figura 9. Función de pertenencia – “Sensor Input”, “sensor Brightness”
Figure 9. Membership function – “Sensor Input”, “Brightness sensor”



Después de esclarecer las reglas del control difuso, se realizó la implementación y pruebas del control, se operó durante un mes, comparándola con un control condicional obteniendo resultados considerablemente mejores, se comparó el consumo de corriente, potencia y voltaje.

Control condicional de iluminación. El control condicional de la intensidad luminosa se utilizó para ajustar dinámicamente la intensidad de la luz en función de parámetros específicos (por ejemplo, la hora del día, la presencia de personas, la luz natural, etc.). Esto se obtuvo mediante las siguientes condiciones. Si se detectaba movimiento entre el horario establecido, la primera función de automatización encendía las luces al 50% de luminosidad, verificando que las condiciones horarias se encontraran dentro de este rango antes de ejecutar el movimiento. La segunda función de automatización encienda las luces al 10% de luminosidad cuando se detectara una persona entre las 23:00 y las 06:00 horas, proporcionando una iluminación suave durante la noche. Estas acciones eran activadas por un sensor de presencia que corresponde a la cámara tapo c310 y controladas a través del servicio light turn_on (light, room) que, ajustaba dinámicamente la iluminación en función de la hora del día y de las necesidades del usuario.

El sistema fue programado para reconocer la presencia de personas dentro del Aula y en caso de detectar ocupación durante los horarios estipulados para clases o actividades programadas, envía una señal para activar automáticamente el sistema y con ello, la operatividad de los equipos de cómputo. Esto garantizando que, durante los periodos de uso activo, el consumo de energía de los equipos se registre adecuadamente como parte del uso planificado del aula.

Fuera de los horarios estipulados, cuando el aula debería permanecer vacía, la cámara asegura que no haya presencia no autorizada y que los equipos permanezcan apagados, registrándose exclusivamente su consumo energético base. Esto no solo permite obtener datos confiables sobre el consumo imprevisto, sino que también contribuye a la seguridad del aula al detectar accesos no programados o actividades irregulares.

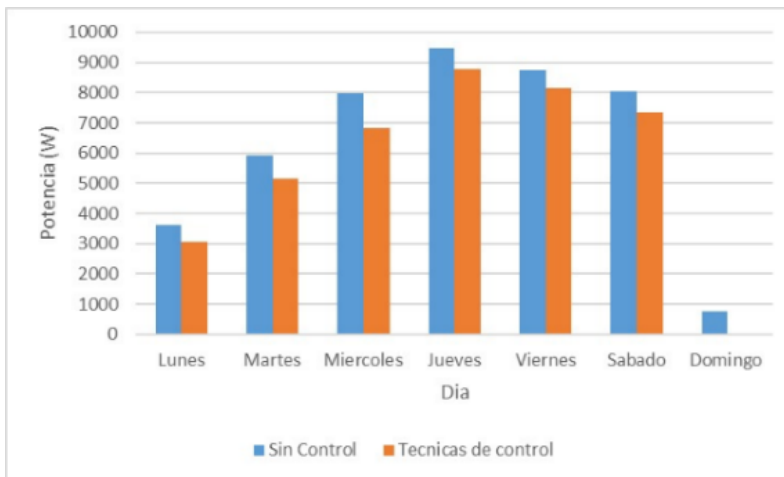
En la figura 10, se observa la relación de la potencia (W) y las horas diarias de consumo de los equipos de cómputo sin sistema y con sistema de control, durante un intervalo de 24 horas.

Figura 10. Comparativo consumo diario potencia consumida acometida, Sin Control Vs Técnicas
Figure 10. Comparative daily power consumption, without control vs. techniques



De igual manera se puede observar que la mayor diferencia de ahorro energético se presenta en los intervalos de tiempos donde no hubo actividades en las instalaciones del aula, debido a que el sistema de control eliminó las cargas pasivas; esta comparativa se observa mejor cuando se cuantifica el consumo total durante una semana, véase la figura 10.

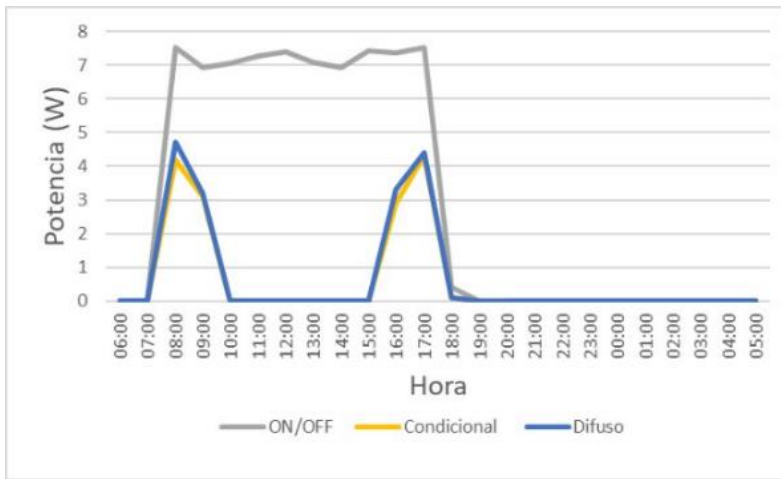
Figura 11. Comparativo consumo Semanal potencia consumida acometida, Sin Control Vs Técnicas de control
Figure 11. Comparative weekly consumption of power consumed by the connection, without control vs. control techniques



Al hacer un análisis más detallado de la figura anterior, se determinó que, hubo una reducción del consumo aproximadamente del 21.72%, esto calculando el porcentaje de diferencia entre el sistema con control y sistema sin control, donde el promedio máximo de la potencia sin control es de 44125.05 W, menos el promedio máximo de la potencia del sistema con control que es de 34539.02W. La diferencia de estos valores se multiplica por 100 para luego ser dividido entre la potencia sin control, obteniendo así, el porcentaje de reducción de consumo.

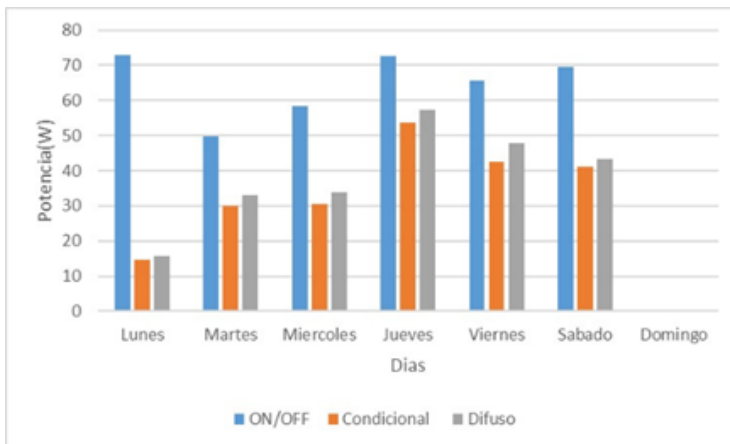
De igual manera, se pudo visualizar el consumo energético del sistema de luces en un intervalo de 24 horas, como lo podemos ver a continuación, en la figura 12.

Figura 12. Comparativo consumo diario potencia consumida Alumbrado, ON/OFF Vs Control Condicional vs Control Difuso
Figure 12. Comparative daily consumption of power consumed by lighting, ON/OFF vs. Conditional Control vs. Control



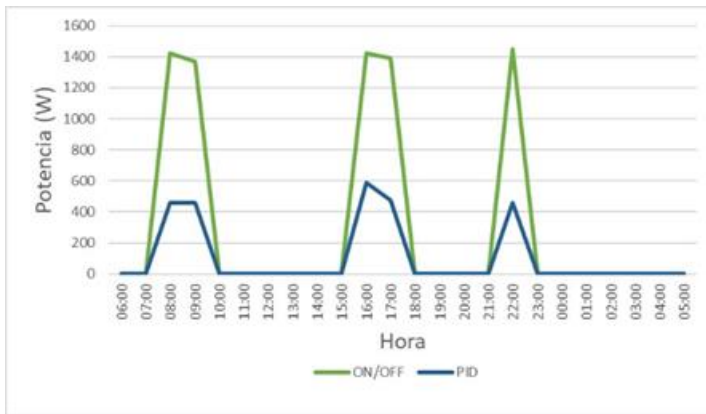
Adicionalmente, se observa la comparación de los controles para el encendido de las luces entre el sistema manual ON/OFF (línea gris), Condicional (línea naranja) y Difuso (línea azul), teniendo una disminución del consumo del condicional y difuso con respecto al On/Off. Al analizar el consumo semanal se logra observar de mejor manera la reducción de la potencia, gracias a los diferentes sistemas de control, véase la figura 13.

Figura 13. Comparativo consumo Semanal potencia consumida Iluminación, ON/OFF Vs Control Condicional vs Control Difuso
Figure 13. Comparative Weekly Power Consumption Lighting, ON/OFF vs. Conditional Control vs. Diffuse Control



Por otra parte, se realizó una comparativa del consumo del sistema de calefacción, el cual está integrado con el sistema de control de temperatura y de humedad, obteniendo los resultados de la ilustración 14, a continuación.

Figura 14. Comparativo control de temperatura On OFF vs. PID
Figure 14. Comparative On/OFF temperature control vs. P.I.D.



Al analizar el comportamiento de los controles en la figura anterior, se observa que la carga gestionada mediante control PID (línea azul) presenta un consumo total de 3200 W, en contraste con los 8400 W consumidos por la carga controlada con el sistema ON/OFF (línea verde). Esto evidencia que el control PID es considerablemente más eficiente, especialmente en aplicaciones donde no se requiere operar constantemente a máxima potencia. Esta diferencia representa un ahorro energético significativo de aproximadamente 5200 W, lo que equivale a un 61.9%, reflejando una mejora sustancial en la eficiencia del sistema.

5. CONCLUSIONES

La introducción de controladores inteligentes como el controlador difuso, ha demostrado ser una solución eficaz para optimizar la regulación de las variables energéticas y adaptarse dinámicamente a requisitos específicos. Este enfoque sirve como herramienta clave para encontrar un equilibrio entre precisión y sostenibilidad al reducir las pérdidas de energía, y garantizar un funcionamiento eficiente y consistente. Además, los resultados confirman que esta tecnología, que se utiliza habitualmente en entornos industriales, también se puede aplicar con éxito en entornos no industriales, como las instituciones educativas, lo que demuestra su versatilidad y potencial para promover ahorro y uso eficiente de energía en muchos sectores.

Entre las técnicas analizadas, el control difuso sobresalió por su eficiencia en la reducción del consumo energético, especialmente en aplicaciones complejas como la modulación de calentadores, seguido por el control condicional. En contraste, el control ON/OFF, aunque sencillo, presentó un mayor consumo energético debido a su operación a plena capacidad, mientras que el control PID se posicionó como una solución intermedia que combina simplicidad con mayor estabilidad y optimización energética, siendo ideal para aplicaciones que demandan ajustes precisos y sostenibles.

El diseño y desarrollo de la arquitectura del sistema, así como la implementación de técnicas avanzadas de control como el control difuso para el control de la iluminación, han demostrado ser eficaces en la gestión energética. Las pruebas realizadas confirman la capacidad del sistema para ajustar automáticamente los requerimientos energéticos y así garantizar un equilibrio entre la eficiencia operativa y la satisfacción de los usuarios.

El éxito de la fase piloto en el laboratorio de cómputo es la base para expandir el sistema a otras áreas del campus de la institución, lo que demuestra que las instituciones educativas pueden utilizar soluciones

con la implementación de ecosistemas IoT para resolver problemas energéticos complejos, promoviendo así una cultura de sostenibilidad y responsabilidad dentro de la comunidad académica con respecto al uso de los recursos energéticos y contribuyendo a la mejora en la gestión energética.

Como línea de trabajo futuro, se propone la implementación del sistema en otras áreas de la institución donde actualmente no se dispone de conexión Wi-Fi. Para estos entornos, se plantea el uso de módulos de comunicación XBee PRO, los cuales emplean el protocolo ZigBee como medio físico de transmisión de datos; estos módulos, ofrecen un alcance de hasta 1 km en línea de vista directa, son de fácil adquisición y permiten una integración versátil en distintos tipos de redes [27], lo que los convierte en una solución viable y escalable para extender la cobertura del sistema de monitoreo de consumo eléctrico en espacios con limitaciones de conectividad.

6. REFERENCIAS

- [1] Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL, Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile, 2018. [en línea]. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cb30a4de-7d87-4e79-8e7a-ad5279038718/content> [Acceso 04 mayo de 2025].
- [2] L. Mendoza, D. Buitrago, W. Navas y M. Suriaga, “El agotamiento de los recursos naturales y su efecto en el medio ambiente”, *Revista Multidisciplinaria Arbitrada de Investigación Científica*, vol. 8, no 4, octubre 2024, [en línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.4.2024.1611-1626> [Acceso 04 mayo de 2025].
- [3] E. A. Kalinga, S. Bazila, K. Ibwe, y A. T. Abdalla, “Cognitive internet of things-based framework for efficient consumption of electrical energy in public higher learning institutions”, *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, vol. 10, n° 1, mar. 2023, doi: 10.1186/s43067-023-00079-0.
- [4] Ministerio de Minas y Energía y Unidad de Planeación Minero Energética, “Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética 2017-2022: Una realidad y oportunidad para Colombia”, Bogotá, Colombia, dic. 2016, [en línea]. Disponible en: https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017-2022.pdf [acceso 10 de diciembre de 2024].
- [5] Iniciativa Financiera del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, “Eficiencia energética”, [en línea]. Disponible en: <https://www.unepfi.org/pollution-and-circular-economy/energy-efficiency/> [Acceso 13 diciembre de 2024].
- [6] Jordan Y. Arpilleda, “Impact of Internet of Things (IoT) on Home Automation and Energy Management”, *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, pp. 602-606, jun. 2023, doi: 10.48175/ijarsct-11297.
- [7] IBM, ¿Qué son los medidores inteligentes?, [en línea]. Disponible en: <https://www.ibm.com/mx-es/topics/smart-meter> [Acceso 06 mayo de 2025].
- [8] J. Romero y E. Loor, “Aplicaciones de internet de las cosas (IoT) en la optimización de la eficiencia energética en entornos residenciales.: Aplicaciones de Internet de las cosas (IoT) en la optimización de la eficiencia energética en entornos residenciales”, *Revista Científica Multidisciplinar G-nerando*, vol. 6, no 01, pp. 281-305, Enero 2025, https://www.researchgate.net/publication/388364137_Aplicaciones_de_internet_de_las_cosas_IoT_en

la_optimizacion_de_la_eficiencia_energetica_en_entornos_residenciales_Internet_of_things_IoT_applications_in_energy_efficiency_optimization_in_residential_ [Acceso 15 febrero de 2025].

- [9] F. Moreno, “Desarrollo de un ecosistema IoT para la gestión energética en edificios de instituciones educativas,” *Libro de Memorias del VII Congreso Internacional Multidisciplinario Ciencia Latina*, 1st ed., vol. 7, C. I. D. – Centro de Investigación y Desarrollo, Ed., México: Ciencia Latina International, 2025, pp. 204, doi: 10.37811/cli_w1175.
- [10] F. Peña de Loza y F. J. Ibarra Villegas, “Implementación de tecnologías IoT para la reducción del consumo energético en oficinas inteligentes mediante el control de la iluminación”, *REVISTA DE CIENCIAS TECNOLÓGICAS*, vol. 7, n.º 3, p. e332, ago. 2024, doi: 10.37636/recit.v7n3e332.
- [11] H. Hernández, D. J. Novoa, and D. Mendoza, “Renewable energy and energy efficiency measures applicable to health providing institutions in Colombia”, *RCTA*, vol. 1, no. 41, pp. 123–131, May 2023.
- [12] Pontificia Universidad Javeriana, La educación en Colombia: hitos y retos. Informe de análisis estadístico, LABORATORIO DE ECONOMÍA DE LA EDUCACIÓN, LEE, No. 110, diciembre 2024, [en línea]. Disponible en: <https://www.javeriana.edu.co/recursosdb/5581483/11594517/INF-110.-Hitos-y-Retos-2024-LEE.pdf> [Acceso 05 de mayo de 2025].
- [13] A. Lezama, “Strategies to optimize energy consumption in smart buildings”, *Athenea*, pp. 33-45, dic. 2024, doi: 10.47460/athenea.v5i18.83.
- [14] F. Terroso, V. Moreno, A. Gonzáles, M. A. Zamora, y A. Skarmeta, “Internet de las Cosas y gamificación aplicados a eficiencia energética en edificios”, *CONSTRUIBLE*, 21 de julio de 2016, [en línea]. Disponible en: <https://www.construible.es/comunicaciones/internet-cosas-gamificacion-aplicados-eficiencia-energetica-edificios> [Acceso 13 marzo de 2025]
- [15] D. Meana, C. González, B. Pelayo, J. Cueva y N. Garcia, “IoFClime: The fuzzy logic and the Internet of Things to control indoor temperature regarding the outdoor ambient conditions”, *Future Generation Computer Systems*, vol. 76, pp. 275-284, Nov 2017. doi.org/10.1016/j.future.2016.11.020
- [16] N. Sandoval, N. M. Acevedo, and L. M. Santos, “Guidelines from the industry 4.0 to the education 4.0: case technology IoT”, *RCTA*, vol. 1, no. 39, pp. 81–92, Feb. 2022.
- [17] J. Gubbi, R. Buyya y M. Palaniswami, “Internet de las cosas (IoT): una visión, elementos arquitectónicos y direcciones futuras”, *Future Generation Computer Systems*, vol.29, no.7. pp. 1645-1660, septiembre 2023, [en línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010> [Acceso 05 mayo de 2025]
- [18] Microsoft learn, «Documentación de Azure IoT Hub», [en línea]. Disponible en: <https://learn.microsoft.com/es-es/azure/iot-hub/> [Acceso 6 mayo de 2025].
- [19] Daniel Sanchez, «Home Assistant: Automatización Libre», Integradores de Tecnologías de la Información. [En línea]. Disponible en: <https://ita.tech/home-assistant-automatizacion-domotica-libre>, [Acceso 06 mayo de 2025].
- [20] J. M. Nieblas Manríquez, L. K. Pacheco Alvarado, H. C. Piña Alcántara, A. E. Cervantes Martínez, y J. Olguin Camacho, “Node-RED: Una Herramienta de Acceso Libre para el Control de Velocidad en Motores Trifásicos”, *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 7, n.º 6, pp. 5009-5221, ene. 2024, doi: 10.37811/cl_rcm.v7i6.9076.

- [21] “Tuya Smart – Global AI Cloud Platform Service Provider.” Tuya, [en línea]. Disponible en: <https://www.tuya.com/> [Acceso 10 mayo de 2025].
- [22] CASADOMO, «BACnet: protocolo de comunicación para automatización de edificios». [En línea]. Disponible en: <https://www.casadomo.com/bacnet> [Acceso 25 marzo de 2025]
- [23] A. Shahir, B. Mokhtar, y M. Oktaviandri, «PID Controller for Optimum Energy Efficiency in Air-Conditioner», 2022. [En línea]. Disponible en: <http://www.ijeepse.ejournal.unri.ac.id> [Acceso 25 marzo 2025]
- [24] H. Hernández, D. J. Novoa, and D. Mendoza, “Renewable energy and energy efficiency measures applicable to health providing institutions in Colombia”, RCTA, vol. 1, no. 41, pp. 123–131, May 2023.
- [25] T. J. . Ross, *Fuzzy logic with engineering applications*. John Wiley, 2010.
- [26] *Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), INTE/ISO 8995-1:2016, Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Interiores, Edición 1, San José, Costa Rica, 2016, [en línea]. Disponible en:* https://www.academia.edu/44038407/INTE_ISO_8995_1_2016_ILUMINACION%C3%93N_LUGARES_DE_TRABAJO_INTERIORES [Acceso 27 febrero de 2025].
- [27] J. E. Meneses and D. P. Meneses, “Hardware / software architecture for an intelligent well prototype based on mechanical pumping”, RCTA, vol. 2, no. 36, pp. 109–121, Aug. 2020, doi.org/10.24054/rcta.v2i36.27