

JMNJE V4. N1. 127

**Desarrollo de un sistema IoT para automatizar la iluminación,
climatización y equipos eléctricos en un establecimiento comercial de
Shushufindi**

***Development of an IoT system to automate lighting, air conditioning and
electrical equipment in a commercial establishment in Shushufindi***

Autores:

Samantha Marlene Puente Bosquez
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo–Ecuador
spuenteb@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0005-4102-8231>

Edison Yarled Ases Brunes
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo –Ecuador
eeseb@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-6010-5560>

Danner Anderson Figueroa Guerra
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo –Ecuador
dfigueroag@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1040-5485>

Josué Lenin Fuentes Véliz
Instituto Tecnológico Superior Ciudad de Valencia
Pueblo Viejo–Ecuador
josuefuentes@itscv.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-1585-1505>

Autor de correspondencia: Danner Anderson Figueroa Guerra, dfigueroag@uteq.edu.ec

Enviado: 13-05-2026
Aceptado: 10-09-2026

Revisado: 27-07-2026
Publicado: 11-09-2026



Cómo citar este artículo:

Puente Bosquez, S. M., Ases Brunes, E. Y., Figueroa Guerra, D. A., & Fuentes Véliz, J. L. (2026). Desarrollo de un sistema IoT para automatizar la iluminación, climatización y equipos eléctricos en un establecimiento comercial de Shushufindi. *Journal of Multidisciplinary Novel Journeys & Explorations*, 4(1), 1-20. <https://doi.org/10.63688/7pp62n93>

© 2026; Los autores. Este es un artículo en acceso abierto, distribuido bajo los términos de una licencia Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>) que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea correctamente citada.



RESUMEN

El establecimiento comercial “El Gato Boutique”, ubicado en el cantón Shushufindi (Sucumbíos, Ecuador), opera con gestión manual de la climatización, iluminación y equipos eléctricos, lo que genera oportunidades de mejora en el uso de la energía. El objetivo fue desarrollar un sistema basado en Internet de las Cosas (IoT) para automatizar dichos subsistemas según demanda y horarios establecidos. Se aplicó una investigación aplicada con enfoque proyectivo-descriptivo. Mediante un diagnóstico in situ se caracterizó una carga instalada de 4,622 W y se estableció como línea base el consumo facturado de 2025 (18,052 kWh). Se diseñó una arquitectura centralizada con Arduino Nano, sensores SCT-013 y ZMPT101B, multiplexación analógica, protocolo MQTT y plataforma Node-RED, cuya funcionalidad se verificó mediante simulación en Wokwi y pruebas de la interfaz de supervisión. Debido a que no se realizó una implementación física con mediciones posteriores, el efecto energético se analizó como un escenario proyectado: se adoptó un coeficiente de ahorro del 25 % sustentado en antecedentes bibliográficos, equivalente a 4,513 kWh/año. Con una tarifa marginal de 0.103 USD/kWh, el ahorro económico proyectado es de USD 464.84/año; para un CAPEX de USD 234.50, el PRI es de 0.50 años (6.05 meses) y el ROI del primer año es de 98.23 %. Bajo estos supuestos, la propuesta presenta viabilidad funcional a nivel de simulación y viabilidad financiera proyectada, cuya magnitud deberá comprobarse mediante una implementación física y seguimiento del consumo.

Palabras clave: internet de las cosas, eficiencia energética, automatización, arduino nano.

ABSTRACT

The commercial establishment “El Gato Boutique”, located in Shushufindi (Sucumbíos, Ecuador), relies on manual management of air conditioning, lighting, and electrical equipment, creating opportunities to improve energy use. The objective was to develop an Internet of Things (IoT)-based system to automate these subsystems according to demand and predefined schedules. An applied study with a projective-descriptive approach was conducted. An on-site diagnosis characterized an installed load of 4,622 W, while the 2025 electricity bills established an annual baseline of 18,052 kWh. A centralized architecture using an Arduino Nano, SCT-013 and ZMPT101B sensors, analog multiplexing, MQTT, and Node-RED was designed; its functionality was verified through Wokwi simulation and supervisory-interface tests. Because no physical implementation with post-intervention measurements was performed, the energy effect was analyzed as a projected scenario. A 25 % savings coefficient, supported by the literature, was adopted, corresponding to 4,513 kWh/year. At a marginal tariff of USD 0.103/kWh, the projected economic saving is USD 464.84/year; with a CAPEX of USD 234.50, the payback period is 0.50 years (6.05 months) and the first-year ROI is 98.23 %. Under these assumptions, the proposal shows functional feasibility at the simulation level and projected financial feasibility; the magnitude of the savings must be confirmed through physical implementation and subsequent energy monitoring.

Keywords: internet of things, energy efficiency, automation, arduino nano.



1. INTRODUCCIÓN

La transformación digital se ha consolidado como un eje estratégico del sector comercial, y en ese escenario el Internet de las Cosas (IoT) impulsa el desarrollo de edificaciones inteligentes al facilitar el monitoreo y control de los recursos disponibles (Fakhabi et al., 2024). A nivel global, las edificaciones concentran una proporción importante del consumo final de energía, siendo la iluminación y la climatización los subsistemas de mayor incidencia en ese gasto (Santamouris & Vasilakopoulou, 2021). Según informes de la Agencia Internacional de Energía, el sector de la construcción es responsable de aproximadamente el 30 % del consumo final de energía mundial (Pauliuk et al., 2024), mientras que los sistemas HVAC pueden representar hasta el 40 % del consumo de un edificio comercial y la iluminación entre el 10 % y el 15 % (Wang et al., 2023).

En Ecuador, la demanda eléctrica mantiene un crecimiento sostenido: el sector terciario incrementará su consumo en un 87 % entre 2020 y 2040, y la actividad comercial concentrará el 31 % de ese consumo proyectado, dinamizado por las necesidades de iluminación, aire acondicionado y sistemas electrónicos (Villaprado et al., 2025). El cantón Shushufindi, en la provincia de Sucumbíos, presenta un clima tropical húmedo con temperaturas que superan habitualmente los 30 °C y elevada humedad relativa (Dahua-Gualinga et al., 2025), motivo por el cual la climatización constituye una carga relevante en establecimientos comerciales. En “El Gato Boutique”, el encendido y apagado de luces, equipos y aire acondicionado se gestiona de manera manual y empírica, sin protocolos estandarizados. La inspección de campo permitió identificar prácticas potencialmente ineficientes luminarias encendidas en zonas desocupadas, equipos conectados en periodos de inactividad y climatización operada sin control automático; sin embargo, el porcentaje de energía recuperable no fue medido experimentalmente en el establecimiento y se estimó posteriormente mediante un escenario de modelación sustentado en antecedentes bibliográficos.

La ausencia de automatización coloca al establecimiento en desventaja competitiva frente a locales modernizados (Štofková et al., 2024). Para atender esta brecha se planteó como objetivo general desarrollar un sistema IoT para la automatización de la iluminación, climatización y equipos eléctricos según la demanda y horarios establecidos. Las variables consideradas fueron la potencia instalada, el consumo energético histórico y el ahorro



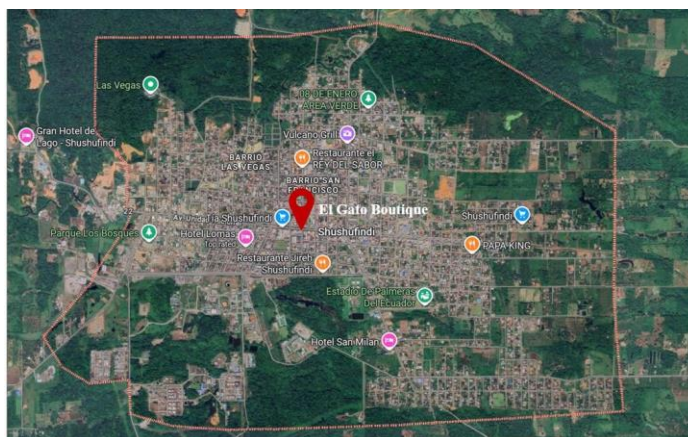
energético y económico proyectado. El estudio corresponde a una investigación aplicada con enfoque proyectivo-descriptivo.

2. METODOLOGÍA

El estudio correspondió a una investigación aplicada con enfoque proyectivo-descriptivo, apoyada en los métodos analítico-sintético, de modelación y simulación, hipotético-deductivo y estadístico-cuantitativo. El área de estudio fue el establecimiento comercial “El Gato Boutique”, localizado en el sector urbano del cantón Shushufindi, provincia de Sucumbíos, en las coordenadas 0°11'15.6" de latitud y 76°38'48.3" de longitud (Figura 1).

Figura 1.

Ubicación geográfica del establecimiento dentro del cantón Shushufindi, Sucumbíos



Nota. Fuente cartográfica: Google Maps (Google, n.d.); localización del establecimiento y edición gráfica realizadas por los autores.

Para el diagnóstico se realizó una inspección técnica directa de todas las áreas del establecimiento mediante una ficha de registro de cargas. El instrumento consignó, para cada equipo, el subsistema al que pertenecía (iluminación, climatización o fuerza/auxiliares), descripción, cantidad, tensión de operación, potencia nominal y horas de uso diario diferenciadas entre días hábiles y fines de semana. Los valores eléctricos se verificaron en las placas de características o manuales técnicos. La potencia instalada total se calculó como $P_{inst} = \sum(Q_i \times P_{nom,i})$, donde Q_i es la cantidad de equipos del tipo i y $P_{nom,i}$ su potencia nominal unitaria. Para caracterizar los horarios de funcionamiento se realizaron entrevistas no estructuradas al personal directamente relacionado con la operación del establecimiento, identificado en la tesis como gerencia y personal administrativo.



Participaron 50 personas, las entrevistas se orientaron a identificar los horarios de apertura y cierre, las horas de utilización diaria de cada carga y las prácticas de encendido/apagado en días hábiles y fines de semana; la información obtenida se contrastó con la observación directa y con el inventario de cargas.

La línea base energética se estableció a partir de las doce planillas de facturación correspondientes a enero-diciembre de 2025, cuyo consumo acumulado fue de 18,052 kWh. Debido a que el establecimiento no disponía de medición inteligente previa ni de una campaña experimental que cuantificara pérdidas antes y después de la automatización, el ahorro se modeló como una proyección y no como un resultado experimental. Se adoptó un coeficiente conservador del 25 % a partir de antecedentes que reportan márgenes de ineficiencia y ahorro del orden del 20 % al 35 % en edificaciones sin automatización o con gestión IoT (Poyyamozhi et al., 2024; Peña De Loza & Ibarra Villegas, 2024; Png et al., 2019). Para cada mes, el consumo recuperable proyectado se calculó como $C_f = 0.25 \times C_t$, donde C_t es el consumo histórico mensual. Por tanto, este 25 % constituye un supuesto de escenario respaldado bibliográficamente y no una medición del ahorro real obtenida después de implementar físicamente el sistema.

La arquitectura propuesta es centralizada y se fundamenta en el Arduino Nano como núcleo de control. La adquisición no invasiva considera sensores de corriente SCT-013 y de tensión ZMPT101B, acondicionados mediante amplificadores operacionales LM358, junto con un sensor DHT22 para el control térmico; la lectura de los canales analógicos se resolvió mediante multiplexación por barrido de entradas. La etapa de potencia adoptó aislamiento galvánico (Shah et al., 2023): para cargas de iluminación y fuerza se utilizaron módulos de relé optoacoplados (SRD-05VDC/PC817), mientras que la climatización se conmutó mediante un contactor de potencia, adecuado para el manejo de cargas inductivas (Ren & Zheng, 2022).

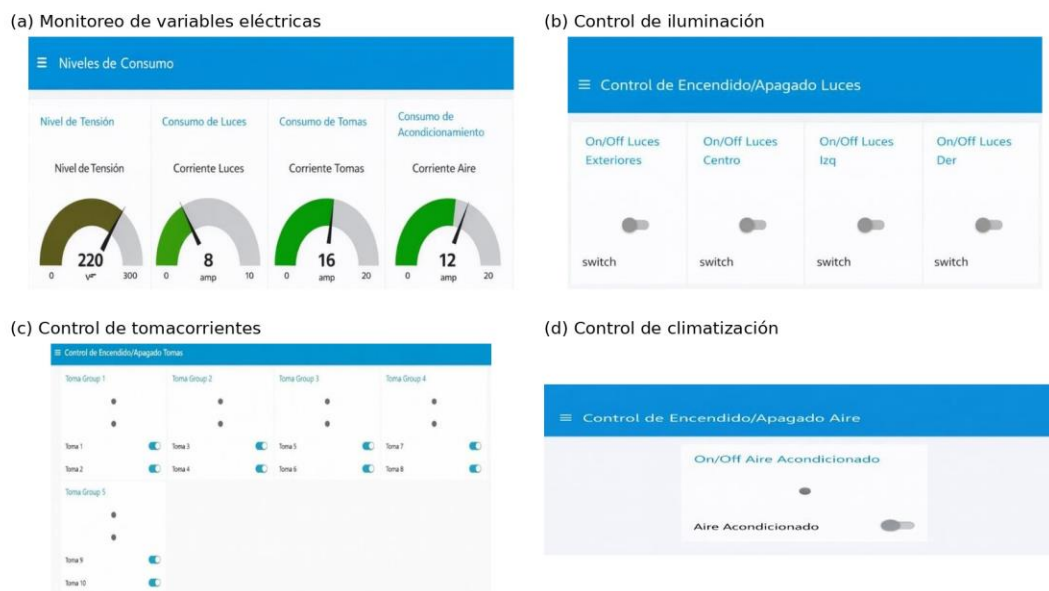
La comunicación se estructuró mediante MQTT y la supervisión se implementó en Node-RED (Koutras et al., 2024; Thuluva et al., 2020). La validación se realizó como prueba funcional en entorno virtual, no como ensayo de desempeño energético del establecimiento. En Wokwi se instanció un Arduino Nano y se utilizaron entradas analógicas virtuales para emular los sensores SCT-013 y ZMPT101B; el firmware se ejecutó en C++, con 500 muestras por ciclo para el cálculo RMS, tensión nominal de referencia de 220 V,



transmisión serie a 9,600 bit/s y actualización de la trama JSON cada 1 s. Para hacer trazable la validación, los procedimientos documentados se organizaron en cinco comprobaciones funcionales: inicialización/ejecución del firmware, adquisición de los tres canales analógicos, cálculo RMS y potencia, transmisión/lectura de datos en Node-RED y correspondencia entre órdenes de control y estado de las salidas. Los criterios de aceptación fueron ausencia de errores de ejecución, lectura independiente de canales sin conflictos de pines, actualización numérica coherente, recepción de la trama en la interfaz y concordancia entre comando y estado. Estas cinco comprobaciones corresponden a funciones diferenciadas del sistema y no a repeticiones experimentales para inferencia estadística.

Figura 2.

Evidencia de la interfaz de monitoreo y control utilizada en la validación funcional



Nota. Panel compuesto a partir de las interfaces desarrolladas en Node-RED: (a) monitoreo de variables eléctricas, (b) iluminación, (c) tomacorrientes y (d) climatización. Elaboración propia.

El escenario optimizado se obtuvo mediante $C_{opt} = C_t - C_f$, y el ahorro energético mensual proyectado mediante $A_E = C_t - C_{opt}$. El ahorro económico mensual se calculó como $A_{\$} = A_E \times T$, con $T = 0.103$ USD/kWh, y el ahorro anual como la suma de los doce valores mensuales. Los cálculos se efectuaron con los valores exactos; el redondeo a dos decimales se aplicó únicamente para su presentación en tablas. El CAPEX se



definió como $CAPEX = \Sigma(C_{u,i} \times Q_i) + C_{inst}$, donde $C_{u,i}$ es el costo unitario, Q_i la cantidad y C_{inst} el costo de integración/montaje. El periodo de recuperación se calculó mediante $PRI = CAPEX / \text{Ahorro económico anual}$, y el retorno sobre la inversión del primer año mediante $ROI = [(\text{Ahorro económico anual} - CAPEX) / CAPEX] \times 100$. Estos indicadores son proyecciones financieras condicionadas al cumplimiento del escenario de ahorro del 25 %.

Para documentar el presupuesto, los precios de componentes electrónicos se contrastaron con comercios en línea que operan en Ecuador, principalmente Piqua y Electrónica SIEC, consultados el 16 de marzo de 2026 (Electrónica SIEC, n.d.; Piqua, n.d.). El valor de USD 120.00, la Tabla 4 identifica el origen de cada grupo de costos para facilitar su verificación. Consideraciones éticas. El manuscrito identifica al establecimiento y utiliza información de facturación, además de datos obtenidos mediante entrevistas al personal. Las respuestas se emplearon únicamente para caracterizar rutinas de operación y el manuscrito no divulga nombres ni otros identificadores personales de los participantes.

3. RESULTADOS

El diagnóstico caracterizó la carga instalada del establecimiento (Tabla 1), que asciende a 4,622 W y evidencia una distribución eléctricamente crítica: el sistema de climatización concentra el 47.6 % de la potencia total, el subsistema de fuerza y tomacorrientes el 38.7 % (atribuido principalmente a equipos de uso intermitente y elevada potencia nominal, como la plancha a vapor) y la iluminación el 13.7 %, distribuida en 15 luminarias sectorizadas en cuatro circuitos.

Tabla 1.

Inventario de carga eléctrica instalada en el establecimiento

Subsistema	Descripción del Equipo	Cant.	Pot. Unit. (W)	Pot. Total (W)
Iluminación	Reflectores LED	4	60	240
Iluminación	Paneles LED 60x60	4	50	200
Iluminación	Lámparas colgantes (mostrador)	3	24	72
Iluminación	Spots dirigibles en riel (exhibidores)	4	30	120



Climatización	Aire acondicionado Split (24000 BTU)	1	2,200	2,200
Fuerza	Computador de escritorio (caja)	1	350	350
Fuerza	Equipo de sonido ambiental	1	100	100
Fuerza	Plancha a vapor vertical (uso 1 intermitente)	1	1,200	1,200
Fuerza	Impresora multifunción	1	50	50
Fuerza	Cargadores y periféricos menores	6	15	90
Total				4,622

Nota. Elaboración propia.

El histórico de facturación de 2025 estableció un consumo anual de 18,052 kWh y un promedio mensual de 1,504.33 kWh, con un máximo de 2,831 kWh en diciembre. A partir de esta línea base se construyó exclusivamente un escenario proyectado de ahorro del 25 %. La Tabla 2 integra en un solo elemento el consumo histórico, el ahorro energético proyectado, el consumo optimizado y su equivalente económico, evitando duplicidad entre las tablas originales de consumo y ahorro.

Tabla 2.

Escenario base y proyección energética-económica mensual

Mes	Consumo histórico (kWh)	Ahorro proyectado 25 % (kWh)	Consumo optimizado proyectado (kWh)	Ahorro económico proyectado (USD)
Enero	1,872.00	468.00	1,404.00	48.20
Febrero	1,384.00	346.00	1,038.00	35.64
Marzo	1,040.00	260.00	780.00	26.78
Abril	1,197.00	299.25	897.75	30.82
Mayo	863.00	215.75	647.25	22.22



Mes	Consumo histórico (kWh)	Ahorro proyectado 25 % (kWh)	Consumo optimizado proyectado (kWh)	Ahorro económico proyectado (USD)
Junio	1,664.00	416.00	1,248.00	42.85
Julio	1,436.00	359.00	1,077.00	36.98
Agosto	1,342.00	335.50	1,006.50	34.56
Septiembre	1,811.00	452.75	1,358.25	46.63
Octubre	1,397.00	349.25	1,047.75	35.97
Noviembre	1,215.00	303.75	911.25	31.29
Diciembre	2,831.00	707.75	2,123.25	72.90
Total	18,052.00	4,513.00	13,539.00	464.84

Nota. Ahorro proyectado = $0.25 \times$ consumo histórico; consumo optimizado = consumo histórico – ahorro proyectado; ahorro económico = ahorro energético $\times$ 0.103 USD/kWh. Los cálculos se realizaron con valores exactos y las cifras mostradas se redondearon a dos decimales. El total anual de 4,513.00 kWh es una proyección, no una medición posterior a la implementación.

La validación funcional verificó en el entorno virtual las funciones que sustentan la arquitectura propuesta: ejecución del firmware, adquisición de señales, cálculo de variables eléctricas, transferencia de datos e interacción con las salidas de control. La evidencia visual de Node-RED se presenta en la Figura 2, mientras que la Tabla 3 documenta las cinco comprobaciones funcionales y sus criterios de aceptación. No se realizaron ensayos físicos prolongados ni repeticiones destinadas a estimar incertidumbre o significancia estadística. En consecuencia, la simulación respalda la coherencia lógica y funcional del prototipo, pero no demuestra por sí misma el porcentaje de ahorro energético del establecimiento. Ese efecto se evaluó de manera independiente mediante el escenario proyectado del 25 % aplicado a la línea base de facturación.

Tabla 3.

Matriz de validación funcional del sistema en Wokwi y Node-RED



Comprobación	Configuración/variable evaluada	Criterio de aceptación	Resultado documentado
1. Inicialización y firmware	Arduino Nano; C++; comunicación serie 9,600 bit/s; actualización cada 1 s.	Inicio y ejecución sin errores que impidan el ciclo de lectura/control.	Conforme: el firmware ejecutó la secuencia de adquisición y envío prevista.
2. Adquisición analógica	Tres canales: A0 (luces), A1 (tomas) y A2 (climatización); entradas virtuales para emular sensores.	Respuesta independiente de los canales y ausencia de conflictos de asignación de pines.	Conforme: se verificó la asignación y el tratamiento separado de las entradas.
3. Cálculo RMS y potencia	500 muestras por ciclo; $V_{red} = 220\text{ V}$; cálculo de corriente RMS y potencia por subsistema.	Obtención de valores numéricos actualizados y coherentes con las entradas simuladas.	Conforme: se ejecutó el algoritmo RMS y el cálculo de potencia instantánea.
4. Transmisión y visualización	Trama JSON y recepción/visualización en Node-RED.	Recepción e interpretación de la trama y actualización del dashboard sin error de formato.	Conforme: los valores se mostraron en la interfaz de monitoreo.
5. Actuación y control	Salidas de relé para iluminación, tomacorrientes y climatización; interfaz ON/OFF.	Correspondencia entre la orden emitida y el estado representado/ejecutado por la salida asociada.	Conforme: se verificó la correspondencia funcional comando-estado.

Nota. Las cinco comprobaciones corresponden a funciones diferenciadas del sistema; no representan cinco repeticiones experimentales. La validación fue virtual y funcional, por lo que no permite estimar el ahorro real postimplementación.

Con el criterio de cálculo unificado, el ahorro energético anual proyectado es de 4,513.00 kWh. Al aplicar la tarifa marginal de 0.103 USD/kWh, el ahorro económico proyectado corresponde a USD 464.84/año. Esta cifra deriva del escenario de modelación y no



de una reducción observada en facturas posteriores a la implementación. El CAPEX estimado del sistema es de USD 234.50. Con un ahorro económico anual proyectado de USD 464.84, el PRI es 0.50 años, equivalente a aproximadamente 6.05 meses, y el ROI del primer año es 98.23 %. Por tanto, bajo el escenario adoptado, la inversión se recuperaría aproximadamente en seis meses. La Tabla 4 integra los costos y los principales indicadores financieros.

Tabla 4.

Presupuesto e indicadores de viabilidad económica proyectada

Concepto	Cant.	Costo unit. (USD)	Costo/valor (USD)	Fuente o criterio de verificación
Arduino Nano (ATmega328P)	1	9.00	9.00	Piqoa / Electrónica SIEC; consulta 16-03-2026
Módulo WiFi ESP8266	1	6.55	6.55	Piqoa / Electrónica SIEC; consulta 16-03-2026
Sensor DHT22	1	7.00	7.00	Piqoa / Electrónica SIEC; consulta 16-03-2026
Sensor SCT-013 (100A/50mA)	3	11.50	34.50	Piqoa / Electrónica SIEC; consulta 16-03-2026
Sensor de voltaje ZMPT101B	1	6.00	6.00	Piqoa / Electrónica SIEC; consulta 16-03-2026
Módulo de relés optoacoplados, 4 canales	1	6.00	6.00	Piqoa / Electrónica SIEC; consulta 16-03-2026
Contactor trifásico de potencia (220 V–25 A)	1	20.00	20.00	Piqoa / Electrónica SIEC; consulta 16-03-2026
LM358, PCB y cableado	1	25.45	25.45	Piqoa / Electrónica SIEC; consulta 16-03-2026
Integración y montaje técnico		120.00	120.00	
CAPEX total			234.50	Suma de costos de implementación



Concepto	Cant.	Costo unit. (USD)	Costo/valor (USD)	Fuente o criterio de verificación
Ahorro económico anual proyectado			464.84	4,513.00 kWh $\times$ 0.103 USD/kWh
PRI proyectado			0.50 años	234.50 / 464.839 = 0.5045 años $\approx$ 6.05 meses
ROI proyectado, primer año			98.23 %	[(464.839 – 234.50) / 234.50] $\times$ 100

Nota. Los precios electrónicos fueron contrastados con Piqua y Electrónica SIEC, consultados el 16 de marzo de 2026. Los indicadores financieros son proyectados y se calcularon con valores exactos antes del redondeo.

4. DISCUSIÓN

El diagnóstico mostró que la carga de climatización representa el 47.6 % de la potencia instalada, hallazgo concordante con los estudios sobre edificaciones comerciales en zonas tropicales, que reportan que los sistemas HVAC concentran habitualmente entre el 40 % y el 60 % del consumo (Wang et al., 2023); el valor registrado en este estudio se sitúa ligeramente por encima del mínimo reportado, atribuible a las condiciones extremas de humedad y temperatura de Shushufindi. El patrón de ineficiencia identificado coincide con lo descrito por Hong y Rahmat (2022) para el sudeste asiático, donde la ausencia de control automatizado genera hasta un 30 % de desperdicio por consumo fantasma y error humano. Asimismo, la modernización de la iluminación y la gestión de cargas menores mediante IoT se confirma como estrategia complementaria indispensable para la descarbonización del sector terciario (Santamouris & Vasilakopoulou, 2021).

El escenario proyectado de ahorro del 25 % (4,513.00 kWh/año) se encuentra dentro de rangos reportados en estudios de optimización energética en edificaciones inteligentes. García-Monge et al. (2023) reportaron un ahorro del 23 % en un caso de monitoreo inteligente, mientras que Al-Ali et al. (2017) documentaron reducciones en rangos comparables. Desde la perspectiva conductual, Karlin et al. (2015) muestran que las intervenciones basadas únicamente en retroalimentación y comportamiento presentan efectos variables, mientras que la automatización puede reducir consumos asociados a operación



innecesaria. En este estudio, sin embargo, la coincidencia con esos rangos no debe interpretarse como confirmación experimental del 25 %, pues dicho valor fue adoptado como coeficiente de modelación y no se obtuvo de mediciones posteriores a una implementación física.

En el plano tecnológico, la arquitectura centralizada con un microcontrolador de 8 bits ofrece una alternativa de bajo costo para tareas de conmutación y adquisición, mientras que Node-RED y MQTT facilitan la integración de la supervisión y el intercambio de datos (Aghenta & Iqbal, 2019; Yokotani & Sasaki, 2016). El CAPEX estimado de USD 234.50 y el PRI proyectado de 0.50 años dependen directamente del supuesto de ahorro energético y de los precios utilizados; por ello, estos indicadores deben interpretarse como estimaciones de prefactibilidad y no como desempeño financiero observado.

Limitaciones del estudio. Los resultados deben interpretarse considerando cuatro restricciones principales: (1) la arquitectura fue validada funcionalmente únicamente mediante simulación y herramientas virtuales; (2) no se efectuó una implementación física con mediciones de consumo posteriores que permitan comparar un periodo preintervención y postintervención; (3) el ahorro del 25 % proviene de un coeficiente de escenario sustentado en antecedentes bibliográficos y no de una medición directa del establecimiento; y (4) el análisis corresponde a un único establecimiento comercial. En consecuencia, las estimaciones energéticas y financieras no pueden generalizarse automáticamente a otros comercios ni considerarse efectos causalmente comprobados hasta realizar validaciones físicas y en múltiples casos.

5. CONCLUSIÓN

El diagnóstico caracterizó el sistema eléctrico del establecimiento, con una potencia instalada de 4,622 W 47.6 % correspondiente a climatización y 38.7 % a fuerza y un consumo facturado de 18,052 kWh durante 2025, con el valor mensual máximo en diciembre. Esta información constituye la línea base real del estudio; la magnitud del consumo recuperable se estimó posteriormente mediante modelación.

La arquitectura IoT basada en Arduino Nano, multiplexación analógica, MQTT y Node-RED fue diseñada y sometida a validación funcional en entorno virtual. Las comprobaciones evidenciaron la ejecución del firmware, adquisición de señales, cálculo de variables



eléctricas, transferencia de datos y correspondencia entre órdenes de control y estados de salida; no obstante, esta validación no sustituye una prueba física en condiciones reales de operación.

Bajo un escenario proyectado que adopta un ahorro del 25 % sustentado en antecedentes bibliográficos, la reducción anual estimada es de 4,513.00 kWh y el ahorro económico de USD 464.84/año. Con un CAPEX estimado de USD 234.50, se obtiene un PRI proyectado de 0.50 años (aproximadamente 6.05 meses) y un ROI del primer año de 98.23 %. Estos valores no representan ahorros comprobados después de una implementación física y deberán contrastarse mediante mediciones reales.

Como línea futura de trabajo, se recomienda implementar el sistema en el establecimiento, establecer un protocolo de medición preintervención y postintervención, registrar perfiles de carga durante un periodo representativo y contrastar el ahorro observado con el coeficiente proyectado. También resulta pertinente evaluar microcontroladores con conectividad nativa y estrategias de control adaptativo para climatización y ocupación.

En términos de alcance, la arquitectura propuesta presenta potencial de replicabilidad en PYMES comerciales con características operativas semejantes; sin embargo, esa posibilidad debe considerarse una hipótesis de transferencia tecnológica sujeta a validación física y a estudios en otros establecimientos de la Amazonía ecuatoriana antes de formular conclusiones generalizables sobre desempeño energético o rentabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2024). *Apruébese el Pliego Tarifario del Servicio Público de Energía Eléctrica del año 2024*. Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables.

Aghenta, L. O., & Iqbal, M. T. (2019). Development of an IoT based open source SCADA system for PV system monitoring. In *2019 IEEE Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering (CCECE)* (pp. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CCECE.2019.8861827>

Al-Ali, A. R., Zualkernan, I. A., Rashid, M., Gupta, R., & Alikarar, M. (2017). A smart home energy management system using IoT and big data analytics approach. *IEEE*



Transactions on Consumer Electronics, 63(4), 426–434.
<https://doi.org/10.1109/TCE.2017.015014>

Alam, M. R., Reaz, M. B. I., & Ali, M. A. M. (2012). A review of smart homes—Past, present, and future. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 42(6), 1190–1203.
<https://doi.org/10.1109/TSMCC.2012.2189204>

Aldin, H. N. S., Ghods, M. R., Nayeipour, F., & Torshiz, M. N. (2024). A comprehensive review of energy harvesting and routing strategies for IoT sensors sustainability and communication technology. *Sensors International*, 5, 100258.
<https://doi.org/10.1016/j.sintl.2023.100258>

Dahua-Gualinga, R. D., Conforme-Garcia, M. M., Dávila-Ulloa, M., & Mazo-Rodriguez, M. I. (2025). Evaluación del potencial biorremediador de microorganismos aislados en suelos impactados por hidrocarburos. *Revista Científica Ciencia y Método*, 3(4), 24–40. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v3/n4/93>

Demir, H., Selcuk, I., & Cosgun, A. E. (2025). Power consumption analysis of ESP32 and Arduino Nano for low-power applications. In *2025 9th International Symposium on Innovative Approaches in Smart Technologies (ISAS)* (pp. 1–4). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ISAS66241.2025.11101965>

Electrónica SIEC. (s. f.). *Electrónica SIEC | Repuestos electrónicos*.
<https://www.electronicasiec.com/>

Faddel, S., Sun, Q. Z., Tian, G., & Parlato, A. (2023). Scheduling of the HVAC system in a real commercial building considering equipment cycling and rebound effects. *Frontiers in Energy Research*, 11, 1283369.
<https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1283369>

Fakhabi, M. M., Hamidian, S. M., & Aliehyaei, M. (2024). Exploring the role of the Internet of Things in green buildings. *Energy Science & Engineering*, 12(9), 3779–3822.
<https://doi.org/10.1002/ese3.1840>

Fang, Y.-C., Yang, M.-C., & Hsueh, Y.-S. (2006). Financial assessment of a picture archiving and communication system implemented all at once. *Journal of Digital Imaging*, 19(S1), 44–51. <https://doi.org/10.1007/s10278-006-0632-6>

Fernández, M. Á. L., Murillo, M. D. C. O., Ley, L. C. M., Moreno, V. A. E., &



- Fernández, W. M. G. (2025). Relación energética-económica entre uso y ahorro de electricidad urbana, en Mérida, Yucatán, México. *South Florida Journal of Environmental and Animal Science*, 5(2), e5976. <https://doi.org/10.53499/sfjeasv5n2-003>
- García-Monge, M., Zalba, B., Casas, R., Cano, E., Guillén-Lambea, S., López-Mesa, B., & Martínez, I. (2023). Is IoT monitoring key to improve building energy efficiency? Case study of a smart campus in Spain. *Energy and Buildings*, 285, 112882. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112882>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Hong, W. Y., & Rahmat, B. N. N. N. (2022). Energy consumption, CO2 emissions and electricity costs of lighting for commercial buildings in Southeast Asia. *Scientific Reports*, 12(1), 13805. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18003-3>
- Jadhav, R. V., Lokhande, S. S., & Gohokar, V. N. (2016). Energy management system in smart grid using Internet of Things. In *2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)* (pp. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICPEICES.2016.7853441>
- Karlin, B., Zinger, J. F., & Ford, R. (2015). The effects of feedback on energy conservation: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 141(6), 1205–1227. <https://doi.org/10.1037/a0039650>
- Koutras, D., Dimitrakopoulos, G., Malamas, V., Kotzanikolaou, P., & Douligeris, C. (2024). Comparative analysis and implementation of HTTP3, MQTT, and CoAP for IoT applications. In *Proceedings of the 28th Pan-Hellenic Conference on Progress in Computing and Informatics* (pp. 127–132). ACM. <https://doi.org/10.1145/3716554.3716830>
- Mujumdar, U. B., & Joshi, J. S. (2010). Microcontroller based true RMS current measurement under harmonic conditions. In *2010 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies (ICSET)* (pp. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSET.2010.5684468>
- Mulyana, A., & Sugeng. (2025). Internet of Things learning ecosystem model development using Wokwi simulator and ThingSpeak service for beginners. In *AIP*



Conference Proceedings (Vol. 3200, p. 040039). AIP Publishing.
<https://doi.org/10.1063/5.0255961>

Ngo, X. C., & Do, N. Y. (2022). The impact of electrical energy consumption on the payback period of a rooftop grid-connected photovoltaic system: A case study from Vietnam. *International Journal of Renewable Energy Development*, 11(2), 581–589.
<https://doi.org/10.14710/ijred.2022.42981>

Pauliuk, S., Carrer, F., Heeren, N., & Hertwich, E. G. (2024). Scenario analysis of supply- and demand-side solutions for circular economy and climate change mitigation in the global building sector. *Journal of Industrial Ecology*, 28(6), 1699–1715.
<https://doi.org/10.1111/jiec.13557>

Peña De Loza, F., & Ibarra Villegas, F. J. (2024). Implementación de tecnologías IoT para la reducción del consumo energético en oficinas inteligentes mediante el control de la iluminación. *Revista de Ciencias Tecnológicas*, 7(3), e332.
<https://doi.org/10.37636/recit.v7n3e332>

Png, E., Srinivasan, S., Bekiroglu, K., Jiang, C., Su, R., & Poolla, K. (2019). An Internet of Things upgrade for smart and scalable heating, ventilation and air-conditioning control in commercial buildings. *Applied Energy*, 239, 408–424.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.229>

Poyyamozi, M., Murugesan, B., Rajamanickam, N., Shorfuzzaman, M., & Aboelmagd, Y. (2024). IoT—A promising solution to energy management in smart buildings: A systematic review, applications, barriers, and future scope. *Buildings*, 14(11), 3446.
<https://doi.org/10.3390/buildings14113446>

Protopapadakis, E., Garbi, A., Malamou, A., Kaselimi, M., Pontikas, Z., Doulamis, A., Doulamis, N., Vasilakis, K., Michas, N., & Alexakis, E. (2020). Creating a baseline for robust energy savings estimation in households. In *24th Pan-Hellenic Conference on Informatics* (pp. 131–134). ACM. <https://doi.org/10.1145/3437120.3437291>

Ren, W., & Zheng, Z. (2022). Experimental investigation of the instantaneous contact welding failure phenomena and mechanisms for general-purpose relays. *Engineering Failure Analysis*, 135, 106096. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106096>

Santamouris, M., & Vasilakopoulou, K. (2021). Present and future energy consumption of buildings: Challenges and opportunities towards decarbonisation. *e-Prime*



- *Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 1, 100002.
<https://doi.org/10.1016/j.prime.2021.100002>

Shah, M. H., Khan, S., Khan, A., Khan, I., & Eldin, S. M. (2023). Sustainable energy management using the Internet of Things (IoT). *PLOS ONE*, 18(6), e0283754.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283754>

Štofková, K. R., Bajza, F., Janošková, P., & Kováčiková, M. (2024). Proposal of innovative smart solutions for retail store in order to support competitiveness and sustainable development. *Frontiers in Computer Science*, 6, 1328913.
<https://doi.org/10.3389/fcomp.2024.1328913>

Thuluva, A. S., Anicic, D., Rudolph, S., & Adikari, M. (2020). Semantic Node-RED for rapid development of interoperable industrial IoT applications. *Semantic Web*, 11(6), 949–975. <https://doi.org/10.3233/SW-200405>

Vallejo, C., Godoy, L., Vásquez, F., Villacreses, G., Orozco, M., & Navarro, S. (2024). Strategies for enhancing energy efficiency in public service buildings within a hot and humid climatic zone: A case study in Guayaquil, Ecuador. *Revista Técnica “Energía”*, 21(1), 133–142.
<https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v21.n1.2024.651>

Villaprado, Y. S. T., Barrera, J. S. C., Castro-Verdezoto, P., & Ortega-Pacheco, D. (2025). Energy forecast of Ecuador’s tertiary sector to 2040 using the LEAP model. *EASI: Ingeniería y Ciencias Aplicadas en la Industria*, 4(2), 1–8.
<https://doi.org/10.53591/easi.v4i2.2596>

Villavicencio Mera, J. C., Ricaurte Párraga, R. R., Yépez Ramírez, J. R., Vaca Coronel, C. A., & Ricaurte Párraga, R. M. (2024). Análisis de la optimización del consumo energético en una universidad ubicada en la provincia del Guayas. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(6).
<https://doi.org/10.56712/latam.v5i6.3038>

Wang, H., Chen, X., Vital, N., Duffy, E., & Razi, A. (2023). *Energy optimization for HVAC systems in multi-VAV open offices: A deep reinforcement learning approach*. arXiv.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.13333>

Yokotani, T., & Sasaki, Y. (2016). Comparison with HTTP and MQTT on required network resources for IoT. In *2016 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC)* (pp. 1–6). IEEE.



<https://doi.org/10.1109/ICCEREC.2016.7814989>

CONFLICTO DE INTERESES

No existe.

FINANCIAMIENTO

No aplica.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Samantha Marlene Puente Bosquez.

Metodología: Edison Yarled Ases Brunes, Josué Lenin Fuentes Véliz.

Investigación: Samantha Marlene Puente Bosquez, Edison Yarled Ases Brunes.

Redacción – borrador original: Samantha Marlene Puente Bosquez, Edison Yarled Ases Brunes, Danner Anderson Figueroa Guerra, Josué Lenin Fuentes Véliz.

Redacción – revisión y edición: Samantha Marlene Puente Bosquez, Edison Yarled Ases Brunes, Danner Anderson Figueroa Guerra, Josué Lenin Fuentes Véliz.

