

**AUDITORÍA ENERGÉTICA DEL USO RACIONAL DE LA ENERGÍA EN LA
UNIVERSIDAD DE ENVIGADO MEDIANTE MEDICIÓN REMOTA LOT Y ANÁLISIS DE
DATOS.**

**LAURA C. ESTRADA RODRIGUEZ
BRYAN A. GALLEGO QUINTERO**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERIA ELECTRICA
MEDELLÍN
2025**

**AUDITORÍA ENERGÉTICA DEL USO RACIONAL DE LA ENERGÍA EN LA
UNIVERSIDAD DE ENVIGADO MEDIANTE MEDICIÓN REMOTA LOT Y ANÁLISIS DE
DATOS.**

**LAURA C. ESTRADA RODRIGUEZ
BRYAN A. GALLEGO QUINTERO**

**PROYECTO DE GRADO, EXIGIDO PARA OPTAR A EL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRICISTA**

**ASESOR TÉCNICO
BAYRON ÁLVAREZ ARBOLEDA
DOCTORADO ESTUDIOS ORGANIZACIONALES**

**ASESOR METODOLÓGICO
WILLIAM OROZCO MURILLO
MSC. GESTIÓN ENERGÉTICA INDUSTRIAL**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERIA ELECTRICA
MEDELLÍN
2025**

Dedicatoria

Primeramente, doy gracias a Dios por darme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para alcanzar este título. Hoy compruebo que los sueños sí se cumplen, y este logro representa uno de los más grandes en mi vida.

Dedico este logro a mi familia, en especial a mi madre, por su amor incondicional, su confianza y por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo y dedicación. Gracias por acompañarme en cada paso de este camino y brindarme fuerzas en los momentos más difíciles de mi carrera.

Agradezco también a la Institución Universitaria Pascual Bravo por su acompañamiento, orientación y compromiso académico, que fueron fundamentales para culminar con éxito esta meta profesional.

Laura Catalina Estrada Rodríguez

Dedicatoria

A mis padres, por su constante apoyo, por inculcarme los valores del esfuerzo, la responsabilidad y la perseverancia, pilares fundamentales en la culminación de esta etapa académica.

A la Facultad de Ingeniería Eléctrica, por brindarme una formación integral, por fomentar el pensamiento crítico y por contribuir al desarrollo profesional de sus estudiantes.

A todas las personas que, de manera directa o indirecta, han influido positivamente en mi proceso de formación, mi más sincero agradecimiento.

Bryan Gallego Quintero

Tabla de contenido

Introducción	14
1. Planteamiento del problema	16
1.1 Descripción.....	16
1.2 Formulación.....	17
2. Justificación	18
3. Objetivos	19
3.1 Objetivo general.	19
3.2 Objetivos específicos.	19
4. Marco teórico.....	20
Marco normativo en eficiencia energética:	20
Fundamentos conceptuales y tecnológicos.	21
Sostenibilidad y uso racional de la energía	22
Antecedentes y estudios previos	22
5. Metodología.....	25
Tipo de proyecto	25
Método	25
Población y muestra	29
Instrumentos de recolección de información	30
Fuentes primarias.	31
Fuentes secundarias.	31
6. Resultados del proyecto.	33
6.1 Descripción general del monitoreo	33
6.2 Análisis de los datos energéticos	35
6.3 Interpretación técnica	43
6.4 Hallazgos principales.....	45
7. Conclusiones.....	47
8. Recomendaciones	49
9. Referencias bibliografía	50

Lista de tablas

Tabla 1. Data base DRACMON-3.....	34
Tabla 2. Tensiones del sistema	36
Tabla 3. Corrientes del sistema	37
Tabla 4. Variables Potencias Activa, Reactiva y Aparente	38
Tabla 5. Indicadores de desempeño energético – comparación semanal.....	42

Lista de figuras

Figura 1. Tensiones del sistema.	36
Figura 2. Comportamiento de corrientes del sistema	37
Figura 3. Variables Potencias Activa, Reactiva y Aparente	39

Resumen

El proyecto realiza una auditoría energética en la Universidad de Envigado enfocado a optimizar el uso de la energía eléctrica abordando la norma ISO 50002:2014 y fomentar la sostenibilidad institucional. Actualmente, la universidad carece de un sistema automatizado que permita monitorear en tiempo real su consumo energético, lo cual dificulta detectar ineficiencias, sobrecargas y pérdidas eléctricas.

Para abordar esta problemática, se planteó implementar un sistema de medición remota basado en tecnología IoT (Internet de las Cosas), capaz de recopilar, transmitir y analizar datos eléctricos en tiempo real. Este sistema permitió identificar patrones de consumo, detectar anomalías y proponer estrategias para mejorar la eficiencia energética.

Palabras claves: auditoria energética, norma ISO 50002, tecnología IoT, internet de las cosas, variables eléctricas, sostenibilidad.

Abstract

The project proposes to carry out an energy audit at the University of Envigado with the purpose of optimizing the use of electrical energy, in compliance with the ISO 50002:2014 standard, and promoting institutional sustainability. Currently, the university does not have an automated system that allows real-time monitoring of its energy consumption, which makes it difficult to detect inefficiencies, overloads, and electrical losses.

To address this issue, the implementation of a remote measurement system based on IoT (Internet of Things) technology is proposed, capable of collecting, transmitting, and analyzing electrical data in real time. This system will allow the identification of consumption patterns, detection of anomalies, and the formulation of improvement strategies that contribute to the rational and efficient use of energy, thereby strengthening the institution's energy management and environmental commitment.

Keywords: energy audit, ISO 50002:2014 standard, IoT technology, Internet of Things, electrical variables, sustainability.

Glosario

Analizador multifuncional: Equipo utilizado para medir y registrar diferentes variables eléctricas de un sistema, como tensión, corriente, potencia y factor de potencia, con el fin de evaluar el comportamiento energético.

Anomalía energética: Evento inusual en el consumo eléctrico que indica fallas, pérdidas o un uso ineficiente de la energía dentro del sistema.

Auditoria energética: inspección y análisis de los flujos de energía en una residencia, industria, comercio, con el objetivo de entender la eficiencia energética. Proceso sistemático que permite conocer, analizar y evaluar el uso de la energía en una instalación, identificando oportunidades de mejora y proponiendo acciones que optimicen la eficiencia energética.

Base de datos energética: Sistema digital donde se almacenan los registros de consumo eléctrico, con el propósito de analizarlos y generar reportes de desempeño.

Eficiencia energética: tiene como propósito la reducción de consumo de energía, lo cual se logra a partir de la optimización de procesos productivos. Capacidad de un sistema o proceso para utilizar la menor cantidad posible de energía sin comprometer la calidad, productividad o confort.

Energía reactiva: Energía utilizada por equipos inductivos (motores, transformadores, balastos, etc.) para mantener sus campos magnéticos, sin generar trabajo útil.

Huella de carbono: Medida del impacto ambiental expresada en emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el consumo energético o por las actividades humanas.

Indicadores de desempeño energético (IDEn): Parámetros cuantitativos que permiten evaluar el comportamiento energético de una instalación, comparando resultados a lo largo del tiempo o entre diferentes áreas.

Internet de las Cosas (IoT): Tecnología que permite la interconexión digital de objetos físicos a través de Internet, posibilitando la recopilación, transmisión y análisis de datos en tiempo real.

Medición remota: Procedimiento que permite registrar y transmitir variables eléctricas desde un punto específico hasta un sistema central de almacenamiento o análisis sin intervención manual directa.

Microcontrolador PLC: Dispositivo electrónico programable que permite adquirir, procesar y enviar datos provenientes de sensores eléctricos. En sistemas IoT actúa como nodo de control y transmisión.

Norma ISO 50002:2014: establece un marco internacional para el suministro, uso y consumo de energía en organizaciones industriales, comerciales e institucionales. Estándar internacional que establece los lineamientos para realizar auditorías energéticas de forma estructurada, garantizando calidad, trazabilidad y mejora continua en la gestión energética.

Patrones de consumo: Tendencias o comportamientos repetitivos en el uso de energía dentro de una instalación, que permiten identificar horarios, áreas o equipos de mayor demanda.

RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas): Norma técnica colombiana que regula las condiciones de seguridad y eficiencia en las instalaciones eléctricas del país.

Sistema de monitoreo IoT: Conjunto de sensores, microcontroladores y plataformas de software que permiten medir, visualizar y analizar en tiempo real los consumos eléctricos de una instalación

Sostenibilidad: Principio que busca equilibrar el desarrollo económico, social y ambiental, garantizando que los recursos naturales puedan satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

Uso racional de la energía (URE): Aplicación eficiente de la energía para cumplir una función o servicio, minimizando los desperdicios y reduciendo el impacto ambiental.

Variables eléctricas: Magnitudes que definen el comportamiento de un sistema eléctrico, como corriente, voltaje, potencia activa, potencia reactiva, energía consumida y factor de potencia.

Introducción

El uso racional y eficiente de la energía eléctrica constituye un desafío prioritario en el contexto actual de sostenibilidad, especialmente en entornos institucionales como las universidades, donde el consumo energético es elevado y continuo. La Universidad de Envigado, como institución educativa y administrativa, no cuenta actualmente con un sistema automatizado que permita supervisar en tiempo real el comportamiento energético de sus instalaciones, lo que limita la detección oportuna de consumos anómalos, sobrecargas, pérdidas energéticas o posibles fallas en los sistemas eléctricos.

En respuesta a esta problemática, el presente proyecto de grado propuso la realización de una auditoría energética mediante la implementación de un sistema de medición remota basado en tecnología IoT (Internet de las Cosas), con el fin de diagnosticar el estado actual del sistema energético, identificar patrones de consumo y establecer estrategias de mejora que promuevan el uso racional y eficiente de la energía eléctrica dentro de la institución.

La propuesta se fundamentó en la instalación de un medidor multifuncional no invasivos en punto estratégico de la universidad, el cual se encontrará conectado a microcontroladores PCL capaces de adquirir y transmitir datos en tiempo real a una plataforma central de análisis. A partir de estos datos, se desarrollará un proceso de análisis técnico y estadístico que permitirá detectar ineficiencias, formular recomendaciones específicas de mejora y establecer indicadores clave de desempeño energético.

La metodología del proyecto se estructuró en cuatro fases: diagnóstico energético, implementación del sistema IoT, monitoreo y análisis de datos, y formulación de recomendaciones. El enfoque es predominantemente cuantitativo, complementado por observaciones cualitativas obtenidas mediante interacción con el personal técnico de la universidad. Las limitaciones del trabajo se relacionan principalmente con el alcance físico de la intervención, que se centrará en áreas específicas representativas del consumo institucional, y con el tiempo disponible para el monitoreo de datos en campo.

Este proyecto busca no solo optimizar el desempeño energético de la Universidad de Envigado y reducir su huella ambiental, sino también fortalecer las capacidades técnicas y analíticas de los estudiantes involucrados, enmarcando la ingeniería eléctrica dentro de los principios de innovación, sostenibilidad y compromiso social.

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción

La gestión eficiente de la energía eléctrica es un desafío constante en entornos institucionales, especialmente en universidades donde el consumo energético está altamente influenciado por la infraestructura, el equipamiento y las actividades académicas y administrativas. En el caso de la Universidad de Envigado, actualmente no se dispone de un sistema automatizado que permita supervisar de forma continua, detallada y en tiempo real el consumo de energía en los diferentes subsistemas eléctricos de sus instalaciones. Esta falta de monitoreo impide detectar a tiempo consumos innecesarios, sobrecargas, pérdidas energéticas o posibles fallas, lo que puede derivar en costos operativos elevados, bajo desempeño energético y un impacto ambiental mayor.

La ausencia de datos fiables y actualizados dificulta la implementación de estrategias efectivas de ahorro y limita la capacidad de diagnóstico técnico, restringiendo la toma de decisiones informadas por parte de los responsables de mantenimiento y planeación. Además, la falta de información precisa sobre el consumo de energía puede generar problemas de eficiencia y eficacia en la gestión de la energía eléctrica, afectando negativamente la calidad de la educación y la investigación en la universidad.

Ante este panorama, la implementación de un sistema de medición remota basado en Internet de las Cosas (IoT) que permita supervisar en tiempo real el consumo de energía en los diferentes subsistemas eléctricos de la Universidad de Envigado se vislumbra como una necesidad fundamental para abordar el problema. Un sistema de monitoreo IoT de estas características permitiría detectar en tiempo real consumos innecesarios y sobrecargas, implementar estrategias de ahorro, reducir el consumo energético, mejorar el desempeño energético de la universidad y disminuir el impacto ambiental asociado.

Adicionalmente, un sistema de medición remota proporcionaría datos confiables y

actualizados para la toma de decisiones informadas por parte de los responsables de mantenimiento y planeación, optimizando la gestión de la energía eléctrica y reduciendo los costos operativos. La recopilación y análisis continuo de datos también permitirían identificar oportunidades de mejora y desarrollar estrategias puntuales para promover el uso racional y eficiente de la energía en la institución.

En resumen, la falta de monitoreo energético en la Universidad de Envigado constituye un problema que afecta la eficiencia y sostenibilidad institucional. La implementación de un sistema IoT de medición remota se propone como una solución efectiva para mejorar la eficiencia energética, reducir costos operativos y promover la sostenibilidad en la universidad.

1.2 Formulación.

¿De qué manera la implementación de un sistema de medición remota basado en tecnología IoT puede contribuir a la auditoría energética en la Universidad de Envigado, permitiendo identificar patrones de consumo, detectar anomalías y formular estrategias para el uso racional y eficiente de la energía eléctrica?

2. Justificación

La realización de este proyecto se justifica por la necesidad de mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental en la Universidad de Envigado. Como institución educativa y administrativa, la universidad tiene un papel importante en la promoción de la sostenibilidad y el uso racional de la energía. Un proyecto de auditoría energética apoyado en tecnología IoT no solo atenderá una necesidad operativa interna, sino que también alineará a la institución con principios de sostenibilidad, eficiencia tecnológica e innovación educativa, reflejando su compromiso con la responsabilidad social y ambiental.

Implementar tecnologías IoT en la gestión energética permitirá obtener datos precisos en tiempo real sobre el consumo de energía, facilitando la toma de decisiones basadas en evidencia. Con esta información, se podrán identificar oportunidades de mejora, optimizar el consumo energético y reducir la huella de carbono institucional. Asimismo, el proyecto constituirá una experiencia formativa de alto valor para los estudiantes involucrados, permitiéndoles desarrollar habilidades y conocimientos prácticos en áreas como la gestión energética, la tecnología IoT y el análisis de datos.

En este sentido, el proyecto no solo beneficiará a la Universidad de Envigado al mejorar su desempeño energético y disminuir sus costos operativos, sino que también contribuirá a la formación de profesionales capacitados en gestión energética y sostenibilidad, con impacto positivo a nivel social y ambiental. La importancia de este proyecto radica en su capacidad para generar un impacto significativo en la reducción del consumo de energía y la promoción de una cultura de sostenibilidad en la Universidad de Envigado, lo que a su vez puede servir como modelo para otras instituciones educativas y organizaciones.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general.

Realizar una auditoría sobre el uso de la energía eléctrica en la Universidad de Envigado mediante la implementación de sistemas de medición remota basados en tecnología IoT para el cumplimiento de los estándares de eficiencia energética.

3.2 Objetivos específicos.

Diagnosticar el estado actual del sistema energético de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Envigado, identificando los patrones de consumo y puntos críticos.

Implementar un sistema de medición remota utilizando tecnología IoT para monitorear variables eléctricas clave en tiempo real para el análisis de los datos recolectados estableciendo patrones de consumo energético, detección de anomalías o ineficiencias y cuantificación del desempeño energético actual.

Proponer acciones de mejora y recomendaciones para la optimización del uso de la energía, incluyendo estrategias de eficiencia energética y uso racional, en concordancia con los hallazgos de la auditoría.

4. Marco teórico

En este apartado se presentan los fundamentos teóricos, antecedentes, conceptos y normativas que sustentan el proyecto. Se abordan las leyes y regulaciones relevantes en materia de eficiencia energética, los conceptos claves como IoT, sostenibilidad y uso racional de la energía y antecedentes o estudios previos relacionados con auditorías y gestión energéticas mediante IoT. Este marco teórico integra el tema de la investigación con teorías, conceptos, estudios y antecedentes que respaldan el planteamiento del problema y la propuesta de solución.

Marco normativo en eficiencia energética:

La gestión energética en instituciones educativas debe enmarcarse en las normativas nacionales e internacionales vigentes sobre eficiencia y sostenibilidad. En Colombia existen leyes y regulaciones que promueven el uso racional de la energía y las fuentes de energía renovable, entre las cuales destacan:

Ley 697 de 2001 (Ley de Eficiencia Energética): Esta ley establece la promoción del uso racional y eficiente de la energía y fomenta la utilización de fuentes no convencionales de energía. Busca incentivar prácticas de eficiencia energética en todos los sectores de la economía, creando programas y fomentando una cultura de ahorro energético (Congreso de Colombia, 2001).

Ley 1715 de 2014 (Energías Renovables): Esta ley regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional y promueve incentivos para su desarrollo. También refuerza aspectos de eficiencia energética al vincular la adopción de tecnologías limpias con la reducción de emisiones y el desarrollo sostenible (Congreso de Colombia, 2014).

Adicionalmente, existen reglamentos técnicos y estándares aplicables. Por ejemplo, el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) establece requisitos de seguridad y eficiencia en las instalaciones eléctricas en Colombia, y en el contexto internacional la norma ISO 50002:2014 proporciona un marco para los sistemas de gestión de auditorías de energía. Estas directrices sirven como referencia para garantizar que las intervenciones propuestas en la

universidad cumplan con criterios reconocidos de eficiencia y seguridad. En la fase de formulación de recomendaciones, se compararán los hallazgos con estándares como RETIE, la Norma Técnica Colombiana NTC y mejores prácticas internacionales en eficiencia energética.

Fundamentos conceptuales y tecnológicos.

Internet de las Cosas (IoT) aplicado a la energía: El Internet de las Cosas se refiere a la interconexión digital de objetos cotidianos a través de Internet, permitiendo que “las cosas” (dispositivos, sensores, actuadores) recopilen y compartan datos automáticamente (Atzori, Iera & Morabito, 2010). En el ámbito de la gestión energética, la tecnología IoT habilita la monitorización remota de parámetros eléctricos (como voltaje, corriente, potencia, etc.) mediante sensores distribuidos en la infraestructura.

Estos dispositivos IoT pueden transmitir datos en tiempo real a plataformas de visualización y bases de datos, haciendo posible un seguimiento detallado del consumo energético. Gracias a la IoT, emergen los edificios y campus inteligentes, donde sistemas autónomos optimizan el uso de la energía.

Para este proyecto, IoT es un pilar fundamental, pues facilita la auditoría energética continua a través de sensores conectados que proveen información granular y oportuna para el análisis.

Teoría de la complejidad y enfoque sistémico: El sistema eléctrico de una universidad puede concebirse como un sistema complejo, donde interactúan múltiples componentes (edificios, equipos, personas, horarios) con comportamientos dinámicos. La teoría de la complejidad nos recuerda la importancia de entender el sistema energético institucional de forma holística, considerando las interrelaciones entre sus partes y las múltiples variables que inciden en el consumo (Morin, 2007).

Un enfoque sistémico implica que los cambios o mejoras en un subsistema (por ejemplo, optimizar la iluminación en un edificio) pueden tener efectos en el comportamiento global. Por ello, la auditoría energética debe abarcar una visión integral del campus como un sistema interconectado, más que una suma de elementos aislados.

Sostenibilidad y uso racional de la energía

El concepto de sostenibilidad es central en este proyecto, ya que el uso eficiente de la energía contribuye directamente al desarrollo sostenible. Según la Comisión Brundtland, la sostenibilidad se define como "la capacidad de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" (Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, 1987). En el contexto energético, esto se traduce en aprovechar la energía de manera responsable, minimizando desperdicios y recurriendo a fuentes limpias cuando sea posible, para no comprometer el bienestar futuro.

El uso racional de la energía (URE) implica emplear la energía necesaria para cumplir ciertas funciones o actividades, pero eliminando consumos superfluos o ineficientes. Se trata de eficiencia energética, es decir, lograr iguales o mejores resultados (confort, iluminación, producción académica) con un menor consumo de energía. Los principios fundamentales que guían la sostenibilidad y la eficiencia energética incluyen:

Eficiencia energética: reducción del consumo de energía sin comprometer la calidad de vida ni el desempeño de las actividades. Esto involucra tecnologías eficientes (por ejemplo, iluminación LED, equipos con certificación energética) y buenas prácticas operativas. **Uso de fuentes renovables:** siempre que sea posible, sustituir fuentes convencionales por fuentes de energía renovable, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y las emisiones contaminantes.

Minimización de residuos y emisiones: no solo se refiere a residuos físicos, sino también a minimizar las pérdidas de energía (ej. calor desperdiciado, consumos fantasmas) y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al consumo energético. Bajo estos principios, una auditoría energética con enfoque de sostenibilidad buscará no solo ahorrar costos, sino también disminuir el impacto ambiental de la universidad y contribuir a la mitigación del cambio climático.

Antecedentes y estudios previos

A nivel global, la gestión energética eficiente se ha convertido en una prioridad debido a su impacto en el cambio climático y la economía. El sector energético es responsable de

aproximadamente el 65% de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial (Agencia Internacional de Energía [AIE], 2020). En el ámbito de las instituciones educativas, numerosas universidades han emprendido proyectos de campus sostenible implementando sistemas de monitoreo y gestión de energía. Diversos estudios han demostrado que la implementación de sistemas de gestión energética en edificios puede reducir el consumo de energía de forma significativa. Por ejemplo, un estudio realizado por la Universidad de California encontró que la instalación de sistemas avanzados de monitoreo y control en edificios permitió reducir el consumo energético en alrededor de un 15% manteniendo las mismas condiciones operativas (Universidad de California, 2019).

Existen antecedentes de auditorías energéticas en entornos universitarios que sirven de referencia para este proyecto. En muchos casos, las auditorías iniciales revelan oportunidades de ahorro de entre un 10% y 30% mediante medidas de bajo costo o cambios operacionales sencillos, como mejores prácticas de apagado de equipos, ajustes en climatización e iluminación eficiente.

La introducción de tecnología IoT potencia estos esfuerzos al proporcionar un flujo continuo de información. Por ejemplo, proyectos de smart campus en universidades han utilizado sensores IoT para monitorear salones, laboratorios y oficinas, logrando optimizar el uso de aire acondicionado e iluminación de acuerdo con la ocupación real, con mejoras tanto económicas como ambientales.

En cuanto a las auditorías energéticas formales, estas se enmarcan en estándares como la norma ISO 50002:2014 (directrices para auditorías energéticas) y suelen incluir un análisis sistemático del perfil de consumo, comparación con indicadores de referencia y la identificación de medidas de mejora.

Si bien la Universidad de Envigado no cuenta aún con antecedentes documentados de auditoría energética mediante IoT, la convergencia de ambas áreas (auditorías + IoT) es una tendencia reciente respaldada por la literatura. La presente propuesta aprovechará estas experiencias previas reportadas para diseñar una metodología adecuada al contexto local,

esperando no solo alcanzar ahorros medibles, sino también establecer una base técnica para futuras iniciativas de eficiencia energética en la universidad.

5. Metodología

Tipo de proyecto

El método general para emplear combina la observación diagnóstica, la medición instrumental y el análisis de datos. Inicialmente se realizará un diagnóstico descriptivo del estado actual (mediante observaciones en sitio, mediciones puntuales y recopilación de información existente). Posteriormente, se implementará la solución IoT y se recopilarán datos cuantitativos continuos sobre consumo de energía. Estos datos serán analizados empleando técnicas estadísticas y analítica descriptiva para extraer patrones y conclusiones. El enfoque es predominantemente cuantitativo, dado que se medirán variables eléctricas objetivas, aunque también se incorporará información cualitativa (por ejemplo, observaciones del personal de mantenimiento) para complementar la interpretación de resultados.

Método

La metodología del proyecto está diseñada para alcanzar los objetivos planteados de manera ordenada, rigurosa y fundamentada. A continuación, se describen el tipo de estudio, el enfoque metodológico general, las fases de desarrollo del proyecto, así como consideraciones sobre población (ámbito) de estudio, instrumentos de recolección de información y fuentes de datos.

En resumen, el método seguirá un diseño longitudinal (monitoreo en el tiempo antes y después de la implementación, estructurado en fases secuenciales que garantizan la trazabilidad desde la identificación del problema hasta la generación de recomendaciones basadas en evidencia.

El proyecto se desarrollará en cuatro fases secuenciales, cada una con actividades y resultados definidos, que en conjunto permitirán cumplir los objetivos:

Fase 1 – Diagnóstico del sistema energético actual: En esta etapa se realizará una revisión detallada de las instalaciones eléctricas de la Universidad de Envigado. Se inspeccionarán los tableros eléctricos, las cargas conectadas, los horarios de mayor consumo y los equipos o áreas que presentan mayor demanda energética. Asimismo, se recopilará información técnica de los sistemas existentes, tales como planos eléctricos, fichas técnicas de equipos y registros históricos

de consumo (por ejemplo, facturas de electricidad si están disponibles). Estas actividades permitirán establecer una línea base del comportamiento energético actual.

Herramientas y actividades: inspección técnica en sitio de las instalaciones, revisión documental de archivos técnicos, y entrevistas semiestructuradas con el personal de mantenimiento y operaciones para conocer rutinas de uso de equipos y posibles problemas detectados previamente.

Resultado esperado: un informe de diagnóstico energético que caracterice el sistema eléctrico actual de la Universidad de Envigado, con datos de consumo estimados por área/equipo, identificación de ineficiencias evidentes y puntos críticos de alto consumo.

Fase 2 – Diseño e instalación del sistema de medición remota (IoT): Con base en el diagnóstico previo, se definirán los puntos estratégicos donde se instalará el analizador multifuncional y dispositivos IoT para medir variables eléctricas relevantes (corriente, voltaje, potencia activa/reactiva, energía consumida, entre otras). Se seleccionarán dispositivos apropiados, compatibles con plataformas de visualización y almacenamiento de datos (ya sea en la nube o en servidores locales). El diseño incluirá la arquitectura del sistema IoT: tipos de sensores (por ejemplo, transformadores de corriente, módulos de medición), nodos de adquisición de datos (microcontroladores PCL con capacidad de comunicación Wifi), y un sistema central que envíe los datos a una base de datos.

Una vez diseñado el sistema, se procederá a su implementación física: instalación de sensores en los tableros o circuitos seleccionados, configuración y programación de los dispositivos IoT para que midan y transmitan datos, y realización de pruebas de conectividad. Se asegurará el cumplimiento de las normas de seguridad eléctrica durante la instalación (siguiendo las directrices de RETIE para manipulación de instalaciones).

Actividades principales: adquisición de los sensores eléctricos y nodos IoT necesarios; programación de los microcontroladores para leer los sensores y enviar datos; instalación física de los sensores en los circuitos correspondientes, procurando la mínima interferencia con la

operación normal; pruebas integrales para verificar que los datos transmitidos sean correctos (comparando con lecturas de equipamiento estándar).

Resultado esperado: sistema IoT de monitoreo instalado y en funcionamiento, capaz de capturar y registrar en tiempo real los datos de consumo energético de los puntos medidos. Esto incluye un conjunto de dispositivos desplegados y un repositorio central (base de datos o plataforma IoT) donde quedan almacenados los datos para su análisis.

Fase 3 – Recolección y análisis de datos: Durante un período de observación definido (por ejemplo, 4 semanas continuas una vez instalado el sistema), se recopilarán y almacenarán los datos generados por el sistema de medición remota. Diariamente (o con la frecuencia que se configure, los registros de consumo quedarán guardados para su posterior procesamiento.

Con la base de datos de mediciones consolidada, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de los datos. Este análisis incluirá cálculo de indicadores estadísticos (promedios diarios, máximos y mínimos, variaciones), visualización gráfica de los perfiles de carga (gráficas de consumo por hora, curvas de carga diarias y semanales) e identificación de patrones o eventos anómalos. El análisis permitirá identificar, por ejemplo:

Patrones de consumo característicos en ciertos horarios o días ¿hay picos en las mañanas? ¿baja el consumo los fines de semana?

Comportamiento específico de ciertas cargas o equipos de alto consumo (por ejemplo, cuánta energía consumen los aires acondicionados vs. los equipos de cómputo).

Picos de demanda o consumos atípicos que puedan sugerir ineficiencias o irregularidades. ejemplo: consumo elevado en horarios donde el edificio debería estar vacío.

Posibles pérdidas energéticas, por ejemplo, corrientes de fuga, o consumos base que no disminuyen nunca indicando aparatos encendidos permanentemente.

Herramientas para el análisis: se utilizarán herramientas de software para manejo de datos; por ejemplo, una base de datos donde estén almacenados los registros y lenguajes de programación o software para procesar la información. Para la visualización de resultados, se pueden emplear herramientas que permitan generar gráficos comprensibles. Así mismo, podrían

aplicarse algoritmos sencillos de detección de anomalías si se identifica la necesidad de profundizar en consumos anómalos.

Resultado esperado: un informe de análisis de datos que incluya visualizaciones claras la interpretación de los patrones encontrados y la identificación concreta de áreas de oportunidad para mejora. Este informe servirá de base para la siguiente fase de recomendaciones.

Fase 4 – Formulación de recomendaciones y plan de mejoras: Con base en el diagnóstico y el análisis de datos realizados en las fases anteriores, se elaborará un conjunto de recomendaciones técnicas y acciones de mejora orientadas a optimizar la eficiencia energética en la Universidad de Envigado. Estas recomendaciones podrán incluir, entre otras: sustitución o mantenimiento de equipos ineficientes, ajustes en los horarios de uso de ciertos aparatos o instalaciones, por ejemplo, programar el apagado automático de climatización fuera de horas de uso, implementación de sistemas de control o automatización como sensores de presencia para iluminación, e iniciativas de concientización al personal y estudiantes sobre buenas prácticas de ahorro.

Así mismo, se propondrán indicadores clave de desempeño energético que permitan a la institución dar seguimiento a su progreso en eficiencia energética a futuro. Por ejemplo, consumo eléctrico por metro cuadrado, consumo por estudiante, reducción porcentual mensual después de implementar mejoras, entre otros indicadores que sean relevantes y medibles.

En esta fase se compararán los hallazgos y propuestas con referentes y estándares que se podría contrastar con el desempeño actual con estándares de la medición. Esto ayudará a priorizar las recomendaciones con mayor impacto.

Actividades principales: evaluación técnica y económica de cada propuesta de mejora en el plan de implementación en etapas. Finalmente, redacción del informe final del anteproyecto, integrando todos los resultados, conclusiones y anexos técnicos pertinentes.

Resultado esperado: un informe técnico final que incluya las conclusiones de la auditoría

energética y un plan de acción con propuestas concretas de mejora. Este documento servirá como hoja de ruta para la universidad, indicando qué acciones emprender, en qué prioridad, y cuáles serían los beneficios esperados en términos de ahorro de energía y mejora en la sostenibilidad institucional.

Al término de estas cuatro fases, se espera haber logrado los objetivos del proyecto. A continuación, se resumen los resultados esperados correspondientes a cada etapa del trabajo:

Informe de diagnóstico energético del sistema actual (resultado Fase 1).

Sistema funcional de medición remota IoT instalado y operando (resultado Fase 2).

Base de datos de registros de consumo eléctrico real de la facultad, recopilados durante el período de monitoreo (resultado Fase 3).

Informe analítico con recomendaciones de eficiencia energética, incluyendo propuestas de mejora para seguimiento (resultado Fase 4, y que constituye el principal entregable del proyecto).

Población y muestra

En este proyecto, al no tratarse de una investigación con sujetos humanos sino de sistemas técnicos, la noción de "población y muestra" se adapta al contexto de estudio de instalaciones. Podemos considerar como población el conjunto de todos los sistemas eléctricos y patrones de consumo de la Universidad de Envigado. Dado que por alcance del proyecto no es viable auditar cada componente eléctrico de toda la universidad, se delimita una muestra específica: la auditoría se enfocará en la subestación de la Universidad de Envigado. Esta se toma como caso de estudio representativo del consumo institucional. Dentro de dicha muestra, se seleccionarán subsistemas eléctricos particulares (por ejemplo, laboratorio de electrónica, salas de cómputo, iluminación de pasillos, aire acondicionado de aulas) para la instalación del analizador multifuncional IoT. La elección de la Universidad de Envigado obedece tanto a criterios académicos es el entorno de los investigadores, facilitando la intervención como prácticos se espera que en ingeniería el consumo sea significativo por los equipos de laboratorio y cómputo, ofreciendo oportunidades claras de mejora que luego podrían extrapolarse a otras facultades.

En resumen, la unidad de análisis principal en la Universidad de Envigado, considerando sus espacios y equipos consumidores de electricidad. Los hallazgos sobre esta muestra servirán para inferir recomendaciones que potencialmente puedan extenderse al resto de la institución en trabajos futuros.

Instrumentos de recolección de información

Los instrumentos de recolección de información en este proyecto serán principalmente de carácter tecnológico y documental, dado el enfoque técnico de la investigación:

Sistema de medición IoT: Constituye el instrumento principal de recolección de datos cuantitativos. Incluye sensores de variables eléctricas (por ejemplo, transformadores de corriente para medición de amperaje, sensores de voltaje, módulos de medición de energía) acoplados a microcontroladores PLC con conectividad a la nube. Este sistema medirá y transmitirá los datos de consumo hacia una base de datos, actuando como un instrumento de monitoreo automático que reemplaza la necesidad de mediciones manuales frecuentes.

Equipos de medición complementarios: Para la fase de diagnóstico y para calibrar/validar el sistema IoT, se utilizarán instrumentos tradicionales de medición eléctrica, como multímetros digitales, pinzas amperimétricas o analizadores de energía portátiles. Estos permiten tomar mediciones puntuales de corriente, voltaje, factor de potencia, etc., durante las inspecciones, y sirven de referencia para contrastar con los datos que luego proveerá el sistema IoT (asegurando la fiabilidad de los sensores instalados).

Guía de entrevista/encuesta informal: Si bien el enfoque es técnico, se contempla realizar entrevistas informales o encuestas breves al personal de mantenimiento y a algunos usuarios clave (por ejemplo, coordinadores de laboratorio, personal de aseo que maneja iluminación) para recoger información cualitativa.

Se preparará una guía con preguntas sobre hábitos de uso de equipos, problemas conocidos

(como áreas donde a veces "saltan" los breakers por sobrecarga), horarios de ocupación, etc. Este instrumento aportará contexto a los datos duros.

Revisión de documentos y registros: Se empleará como instrumento la recopilación de documentos existentes: registros de facturación eléctrica de la universidad en meses o años anteriores, informes o mediciones previas (si las hay), inventarios de equipos eléctricos, políticas institucionales de ahorro de energía, entre otros. Estos documentos proveen datos históricos y referencias para entender el panorama general de consumo y para comparar antes/después de la intervención.

En síntesis, la combinación de medición instrumental automatizada (sistema IoT), medición convencional (instrumentos eléctricos manuales) y recolección de información cualitativa/documental garantizará una captación completa de la información necesaria para la auditoría.

Fuentes primarias.

Corresponden a datos originales obtenidos directamente a través de la implementación del proyecto. Aquí se incluyen todas las mediciones de consumo eléctrico realizadas en sitio, ya sea manualmente durante el diagnóstico o automáticamente por los sensores IoT. Son información de primera mano los registros de la base de datos de consumo generada por este proyecto, así como las observaciones del equipo investigador durante las inspecciones. También son fuentes primarias las opiniones o conocimientos aportados por el personal de la universidad durante entrevistas, en tanto provienen directamente de actores involucrados en el contexto estudiado. Estas fuentes primarias proporcionan evidencia específica y actual sobre la situación energética en la Universidad de Envigado.

Fuentes secundarias.

Se refiere a aquella información que ha sido recopilada y elaborada por otros, y que se consulta para contextualizar y sustentar teóricamente el proyecto. En este rubro se incluyen la bibliografía y documentación técnica relevante: libros, artículos científicos, normas técnicas, informes de otras universidades o instituciones sobre proyectos similares, bases de datos y reportes de organismos

especializados como la Agencia Internacional de Energía, comisiones gubernamentales, etc. Por ejemplo, los datos globales de emisiones y consumo (AIE, 2020) o el estudio de caso de la Universidad de California (2019) mencionados en el marco teórico son fuentes secundarias que apoyan el análisis.

También las leyes y reglamentos energéticos mencionados, así como manuales técnicos, son fuentes secundarias que orientan el proyecto. Estas fuentes permiten comparar los hallazgos locales con tendencias generales y garantizan que el proyecto se sustenta en conocimientos ya validados en la comunidad académica y profesional. Todas las fuentes de información utilizadas, tanto primarias como secundarias, serán adecuadamente citadas y referenciadas siguiendo la norma APA séptima edición, garantizando la transparencia y rigor académico del anteproyecto

6. Resultados del proyecto.

6.1 Descripción general del monitoreo

Durante el periodo comprendido entre el 10 y el 24 de julio de 2025, se desarrolló la fase de monitoreo energético en la Universidad de Envigado, implementando el sistema de medición DRACMON-3 con tecnología IoT (Internet de las Cosas), se efectuó el registro continuo de las variables eléctricas correspondientes al circuito objeto de estudio, mediante el medidor multifuncional de energía instalado en el tablero general. Este sistema permitió la captura y transmisión continua de variables eléctricas principalmente voltaje, corriente y potencias a través de un módulo de comunicaciones Modbus-TCP, integrándose a una red local con acceso remoto seguro.

Los datos obtenidos fueron descargados y organizados en el archivo Data Base.xlsx, donde se registraron las siguientes magnitudes:

P_A, P_B, P_C: Potencias activas por fase (kW)
Q_A, Q_B, Q_C: Potencias reactivas por fase (kVAr)
S_A, S_B, S_C: Potencias aparentes por fase (kVA)

A partir de estas variables se calcularon las potencias totales mediante las expresiones:

$$\begin{aligned}P_{total} &= P_A + P_B + P_C \\ Q_{total} &= Q_A + Q_B + Q_C \\ S_{total} &= \sqrt{(P_{total}^2 + Q_{total}^2)}\end{aligned}$$

El monitoreo se realizó con un intervalo de muestreo constante, garantizando una resolución suficiente para analizar los perfiles de consumo horario. Los datos fueron procesados mediante herramientas de análisis digital para obtener las curvas de comportamiento energético, los valores promedio por hora y los indicadores de desempeño energético (IDEn).

Las condiciones de operación se mantuvieron estables durante todo el periodo de registro, sin

interrupciones significativas en la toma de datos. La instalación medida corresponde a un circuito con cargas de tipo general, con predominio de iluminación, equipos electrónicos y sistemas auxiliares.

Antes del análisis, se aplicó un proceso de validación y control de calidad de los registros, eliminando valores atípicos, duplicados o lecturas fuera de rango. Posteriormente, se analizaron los valores de potencia en kilovatios (kW) para estandarizar las unidades de análisis.

Se obtuvieron los promedios diarios y horarios, así como los indicadores característicos del comportamiento energético del circuito. Estos cálculos permitieron generar las curvas de carga y determinar el perfil de consumo energético durante las dos semanas de monitoreo. Como lo muestra en la base de datos presentado en la **Figura.1**.

Figura 1. Data base DRACMON-3

Timestamp	volt A	volt B	volt C	I A	I B	I C	FP A	FP B	FP C	S A	S B	S C	P A	P B	P C	Q A	Q B	Q C	STotal	PTotal	QTotal
10/07/2025 0:09:19	127.868	127.865	127.852	0.064061	0.019088	0.090017	0.084775	0.400071	0.459995	8.19132	2.44071	11.5089	0.694422	0.978457	5.29404	7.37278	2.0261	4.11233	14.3356	6.964919	13.5112
10/07/2025 0:19:19	127.316	127.314	127.299	0.063984	0.019175	0.087726	0.085731	0.4054	0.468396	8.14615	2.44128	11.1675	0.696377	0.989696	5.23081	7.34627	2.02765	4.56146	14.03683	6.918883	13.9354
10/07/2025 0:29:19	127.834	127.83	127.817	0.064056	0.019186	0.087454	0.084897	0.408469	0.473164	8.1885	2.45257	11.1781	0.695178	1.0018	5.28908	7.37924	2.03238	4.17049	14.07184	6.986058	13.5821
10/07/2025 0:39:20	127.828	127.826	127.811	0.064687	0.019429	0.088676	0.089093	0.40924	0.463959	8.29227	2.48358	11.3337	0.738782	1.01638	5.25837	7.42206	2.0657	4.14039	14.26123	7.013532	13.6282
10/07/2025 0:49:19	127.433	127.431	127.415	0.064263	0.019124	0.089742	0.086548	0.406818	0.458096	8.1892	2.43896	11.4345	0.708756	0.9914	5.2381	7.34267	2.02718	4.22865	14.27409	6.938256	13.5985
10/07/2025 1:01:03	127.557	127.554	127.538	0.064062	0.018932	0.090043	0.08416	0.400188	0.462178	8.1715	2.4148	11.484	0.687712	0.966374	5.30765	7.38645	2.00971	4.89815	14.29869	6.961736	14.2843
10/07/2025 1:09:19	127.426	127.424	127.408	0.064587	0.018881	0.089448	0.091076	0.404556	0.461139	8.23007	2.40582	11.3964	0.749664	0.973288	5.25533	7.37733	2.00051	4.68576	14.26184	6.978182	14.0636
10/07/2025 1:19:19	127.469	127.466	127.451	0.06429	0.018996	0.090088	0.085637	0.399664	0.458005	8.19497	2.4213	11.4818	0.701792	0.965286	5.25872	7.37251	2.03091	4.69825	14.31265	6.925798	14.1017
10/07/2025 1:29:20	127.574	127.572	127.556	0.064557	0.019322	0.089479	0.087649	0.411353	0.45832	8.23572	2.46489	11.4136	0.721853	1.01394	5.23108	7.39032	2.04629	4.10375	14.28891	6.966873	13.5404
10/07/2025 1:39:23	127.487	127.485	127.469	0.064864	0.019213	0.091047	0.08886	0.406327	0.451698	8.26924	2.44932	11.6057	0.734808	0.995226	5.24227	7.38085	2.03679	4.85046	14.45931	6.972304	14.2681
10/07/2025 1:49:19	127.661	127.661	127.643	0.06522	0.019319	0.091206	0.090965	0.40935	0.447183	8.326	2.4663	11.6418	0.757377	1.00958	5.20601	7.4135	2.05555	4.08891	14.52365	6.972967	13.558
10/07/2025 1:59:19	127.768	127.767	127.751	0.065397	0.019259	0.091472	0.090388	0.406442	0.452417	8.35568	2.46062	11.6856	0.755257	1.0001	5.28676	7.40775	2.05271	4.10435	14.57482	7.042117	13.5648
10/07/2025 2:09:20	127.808	127.806	127.79	0.06455	0.019216	0.090458	0.085006	0.406729	0.458262	8.24997	2.45594	11.5595	0.701294	0.998903	5.29728	7.41063	2.0445	4.23291	14.41234	6.997477	13.688
10/07/2025 2:19:18	127.59	127.587	127.572	0.065079	0.018913	0.086389	0.090411	0.397244	0.48018	8.30346	2.41305	11.0208	0.75072	0.958569	5.29197	7.39751	2.0176	4.07059	14.00815	7.001259	13.4857
10/07/2025 2:29:18	127.675	127.673	127.657	0.064496	0.019119	0.089434	0.083978	0.404849	0.465394	8.23457	2.44097	11.4168	0.691521	0.988224	5.31331	7.39456	2.03343	4.21874	14.2867	6.993055	13.6467
10/07/2025 2:39:19	128.105	128.103	128.086	0.064657	0.019199	0.091917	0.083824	0.403763	0.451511	8.2828	2.45939	11.7733	0.694301	0.993011	5.31577	7.45527	2.05347	4.29281	14.60356	7.003082	13.8016
10/07/2025 2:49:19	127.897	127.895	127.879	0.064593	0.019154	0.090552	0.085592	0.404287	0.457684	8.2613	2.44975	11.5797	0.707102	0.990402	5.29984	7.43583	2.04984	4.54136	14.43398	6.997344	14.027
10/07/2025 2:59:18	128.321	128.318	128.301	0.064939	0.019283	0.093563	0.084933	0.407031	0.444512	8.33297	2.47438	12.0043	0.707744	1.00715	5.33605	7.4702	2.05838	5.09193	14.82107	7.050944	14.6205
10/07/2025 3:09:21	127.975	127.974	127.957	0.064666	0.018931	0.091975	0.085029	0.401834	0.450192	8.27559	2.42262	11.7688	0.703669	0.97349	5.28622	7.41859	2.02148	4.47943	14.58969	6.975379	13.9195
10/07/2025 3:19:20	128.043	128.041	128.024	0.065051	0.019178	0.093464	0.08598	0.406206	0.442089	8.3293	2.45554	11.9656	0.716156	0.997456	5.28986	7.43636	2.04824	4.82838	14.78454	7.003472	14.313
10/07/2025 3:29:19	128.16	128.16	128.143	0.066557	0.018924	0.093803	0.095833	0.399723	0.444753	8.52992	2.42533	12.0201	0.81745	0.96946	5.34598	7.48691	2.02326	4.15481	14.93735	7.13289	13.665
10/07/2025 3:39:19	128.104	128.104	128.086	0.064969	0.019413	0.093811	0.08469	0.409753	0.443947	8.32283	2.48684	12.0159	0.704859	1.01899	5.33442	7.43903	2.07416	4.88462	14.82686	7.058289	14.3978
10/07/2025 3:49:19	128.144	128.143	128.126	0.064928	0.01924	0.094026	0.085336	0.404684	0.441421	8.32008	2.46543	12.0471	0.710002	0.997719	5.31784	7.44357	2.05416	4.80847	14.84704	7.025561	14.3062
10/07/2025 3:59:19	127.84	127.838	127.822	0.064828	0.019309	0.091926	0.085315	0.412226	0.451038	8.28763	2.46843	11.7502	0.707061	1.01755	5.29979	7.40714	2.05888	4.26053	14.58921	7.024401	13.7267
10/07/2025 4:10:51	127.983	127.983	127.965	0.064907	0.018913	0.090556	0.082897	0.394092	0.461182	8.30693	2.42056	11.588	0.688621	0.953924	5.34418	7.43185	2.02562	4.72677	14.48188	6.986725	14.1842
10/07/2025 4:19:19	127.873	127.874	127.855	0.064708	0.018822	0.090157	0.084171	0.39702	0.459984	8.27442	2.4068	11.527	0.696463	0.955548	5.30223	7.40289	2.01093	4.60787	14.39203	6.955431	14.0217
10/07/2025 4:29:24	128.236	128.235	128.218	0.064827	0.018994	0.091733	0.083497	0.398916	0.452723	8.31316	2.43565	11.7617	0.694125	0.97182	5.32479	7.44891	2.03381	4.74916	14.60748	6.980535	14.2319
10/07/2025 4:39:18	128.047	128.047	128.027	0.064805	0.018936	0.091478	0.084098	0.401033	0.456788	8.29611	2.42462	11.7117	0.697855	0.972352	5.34976	7.42571	2.02035	4.27134	14.55683	7.019967	13.7174
10/07/2025 4:49:19	127.912	127.906	127.892	0.064825	0.018917	0.088864	0.084723	0.396437	0.466529	8.29188	2.41964	11.365	0.702513	0.959234	5.3021	7.41991	2.01413	4.48346	14.27491	6.963847	13.9175

Fuente: Datos procesados del sistema de monitoreo DRACMON-3 (julio de 2025).

El objetivo principal de esta fase fue caracterizar el comportamiento energético del sistema, identificar patrones de demanda eléctrica, establecer posibles anomalías y evaluar la estabilidad del consumo a lo largo del periodo analizado, en concordancia con los lineamientos de la norma ISO 50002:2014 para auditorías energéticas.

6.2 Análisis de los datos energéticos

El análisis energético se realizó con base en los datos recolectados durante las dos semanas consecutivas de monitoreo, comprendidas entre el 10 y el 24 de julio de 2025. Todos los registros se procesaron y analizaron con una resolución horaria para obtener el comportamiento promedio de la potencia activa en el intervalo diario (00:00 a 23:00 horas), lo cual permite identificar la tendencia operativa y las posibles variaciones en la demanda eléctrica del circuito evaluado.

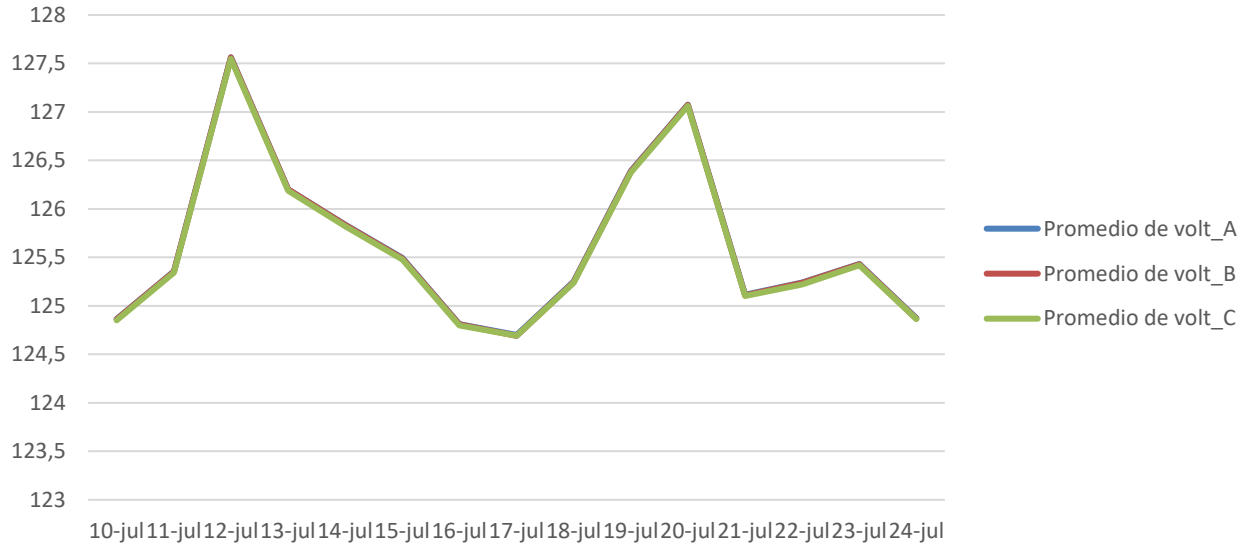
El perfil energético evidencia un comportamiento altamente estable, con fluctuaciones mínimas propias de sistemas de baja demanda. Durante la primera semana (10–16 de julio) se registró una potencia media de 0.35 kW y una potencia máxima de 2.40 kW, mientras que en la segunda semana (17–24 de julio) la potencia media fue de 0.34 kW y la máxima de 2.37 kW.

La energía total consumida durante la primera semana (10–16 de julio) se estimó en 56.66 kWh, mientras que en la segunda semana (17–24 de julio) ascendió a 83.88 kWh, lo que representa un incremento sustancial en el consumo semanal. Este aumento puede estar asociado a un mayor tiempo de operación de algunos equipos o a variaciones en las condiciones de uso u ocupación de los espacios monitorizados.

El análisis del comportamiento de las variables eléctricas registradas durante el periodo comprendido entre el 10 y el 24 de julio, en el punto de medición ubicado aguas abajo del interruptor general, aunque no se generalizó en toda la infraestructura de la Universidad de Envigado el bloque evaluado presenta una generalidad dentro de la infraestructura abarcando una condición adecuada para la implementación de la auditoría energética del uso racional de la energía en la Universidad de Envigado mediante medición remota IOT y análisis de datos, las mediciones incluyen tensiones de fase, corrientes de línea, potencias activa, reactiva y aparente, así como el comportamiento general del sistema durante el periodo observado. La **Figura 2**, relaciona cada una las tensiones del sistema.

- Comportamiento de los niveles de Tensión Línea – Neutro

Figura 2. Tensiones del sistema.



Fuente: Datos procesados del sistema de monitoreo DRACMON-3 (julio de 2025).

Durante el periodo de medición, los valores de tensión Línea-Neutro se mantuvieron dentro de un rango entre 119.96 V y 130.01 V, con un valor promedio cercano a 125.6 V en las tres fases.

Tabla 1. Tensiones del sistema

Fase	Tensión Mínima (V)	Promedio (V)	Máxima (V)
L1	119.97	125.61	130.01
L2	119.96	125.61	130.01
L3	119.96	125.60	129.99

Fuente: Datos procesados del sistema de monitoreo DRACMON-3 (julio de 2025).

De acuerdo con NTC 1340, para sistemas de 120 V, el rango permitido es +5% / -10%, es decir, entre 114 V y 126 V. Se evidencia que los valores promedio se encuentran cercanos al límite superior permitido, presentándose momentos de sobretensión ligera y sostenida, lo cual puede asociarse a:

- Regulación en el nivel de tensión del transformador

- Baja carga en ciertos periodos Compensación reactiva presente aguas arriba

Se recomienda revisar y ajustar los taps del transformador para asegurar el cumplimiento pleno de la banda reglamentaria.

- Comportamiento de las Corrientes

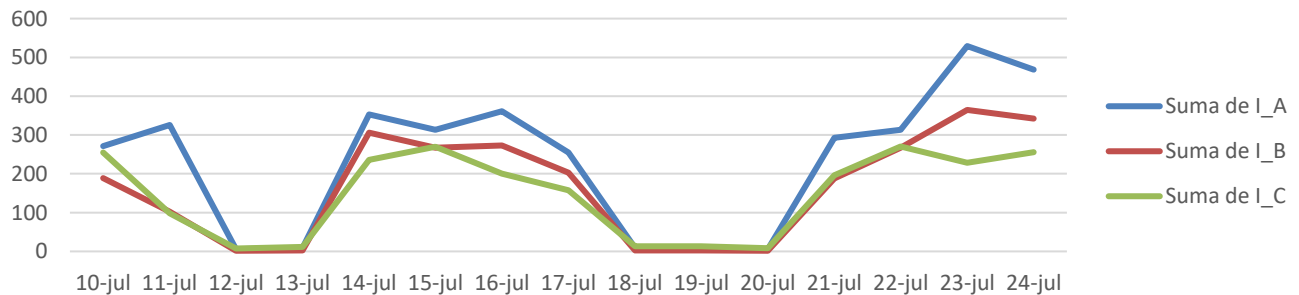
Las corrientes registradas por fase mostraron valores promedios bajos en relación con la capacidad del transformador:

Tabla 2. Corrientes del sistema

Fase	Corriente Mínima (A)	Promedio (A)
L1	0.06	1.71
L2	0.02	1.21
L3	0.08	1.10

Fuente: Datos procesados del sistema de monitoreo DRACMON-3 (julio de 2025).

Figura 3. Comportamiento de corrientes del sistema



Fuente: Datos procesados del sistema de monitoreo DRACMON-3 (julio de 2025).

La cargabilidad del transformador es baja, con demanda típica menor a su capacidad nominal. Esto indica que el sistema opera sobredimensionado y no presenta riesgo de sobrecarga térmica. Las corrientes registradas corresponden a cargas principalmente electrónicas o de bajo consumo continuo:

- El sistema opera sobredimensionado
- No existe riesgo de sobrecarga térmica

Las corrientes registradas corresponden a cargas principalmente electrónicas o de bajo consumo continuo.

- Potencias Activa, Reactiva y Aparente

Tabla 3. Variables Potencias Activa, Reactiva y Aparente

Variable	Mínimo	Promedio	Máximo
Potencia Activa (kW)	6.22	340.80	2395.44
Potencia Reactiva (kvar)	12.31	258.25	1572.82
Potencia Aparente (kVA)	12.74	314.69	1831.53

Fuente: Datos procesados del sistema de monitoreo DRACMON-3 (julio de 2025).

Se destaca la relación entre kW y kvar indica presencia significativa de consumo reactivo inductivo, probablemente asociado a motores, balastos o cargas lineales.

Porque el Factor de Carga (Fc) que calculamos fue:

$$F_c = \frac{P_{prom}}{P_{max}} \approx 0.92$$

El factor de potencia promedio (FP) calculado fue de aproximadamente 0.92, determinado mediante la relación $FP = P/S$. Este valor refleja un comportamiento levemente inductivo, dentro de un rango aceptable según la normativa nacional, aunque susceptible de optimización.

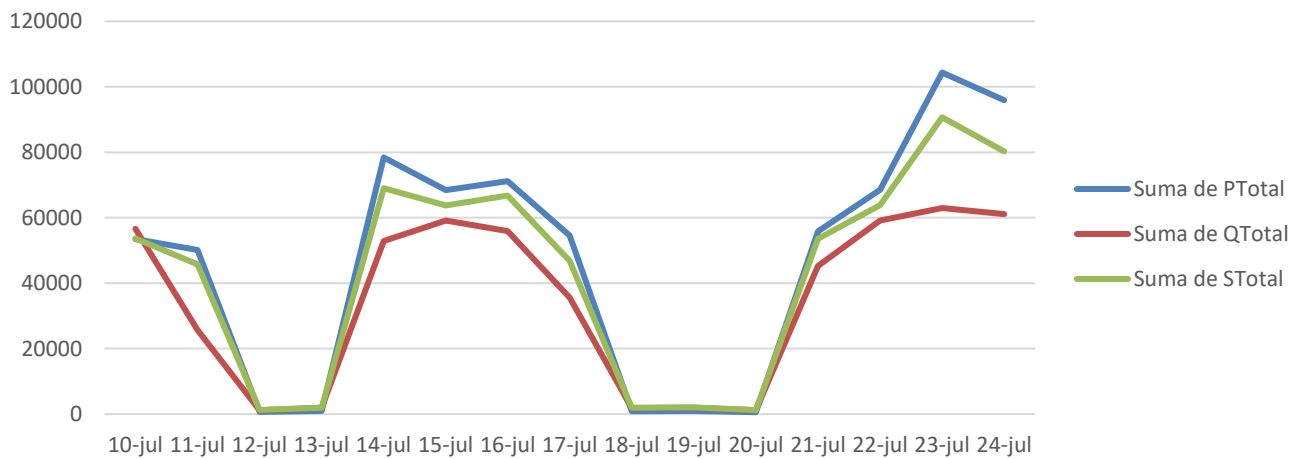
Un FP inferior a 0.95 puede implicar penalizaciones tarifarias y pérdidas adicionales por circulación de corriente reactiva. Las posibles causas incluyen:

- Predominio de cargas inductivas sin compensación (motores, transformadores en vacío).

- Baja utilización de equipos capacitivos.
- Desbalance de fases o carga distribuida de forma desigual.

Para mejorar el desempeño energético, se recomienda evaluar la instalación de un banco de condensadores automáticos que permita mantener el FP dentro del rango óptimo (≥ 0.95), reduciendo pérdidas y mejorando la eficiencia global del sistema, como se observa en la **Figura 4**.

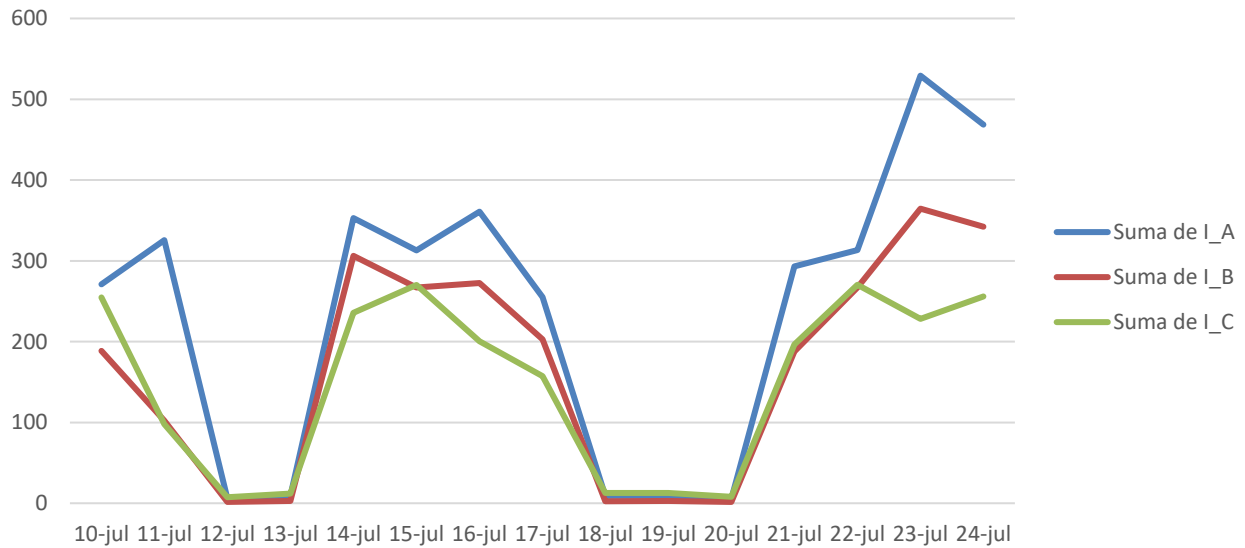
Figura 4. Variables Potencias Activa, Reactiva y Aparente



Fuente: Datos procesados del sistema de monitoreo DRACMON-3 (julio de 2025).

En la **Figura. 5** se observa la curva de carga promedio horaria correspondiente a las dos semanas de monitoreo. La forma de la curva muestra un comportamiento prácticamente plano, sin picos abruptos, característico de un sistema con cargas permanentes o de bajo consumo continuo.

Figura 5. Variables Cargas



Fuente: Datos procesados del sistema de monitoreo DRACMON-3 (julio de 2025).

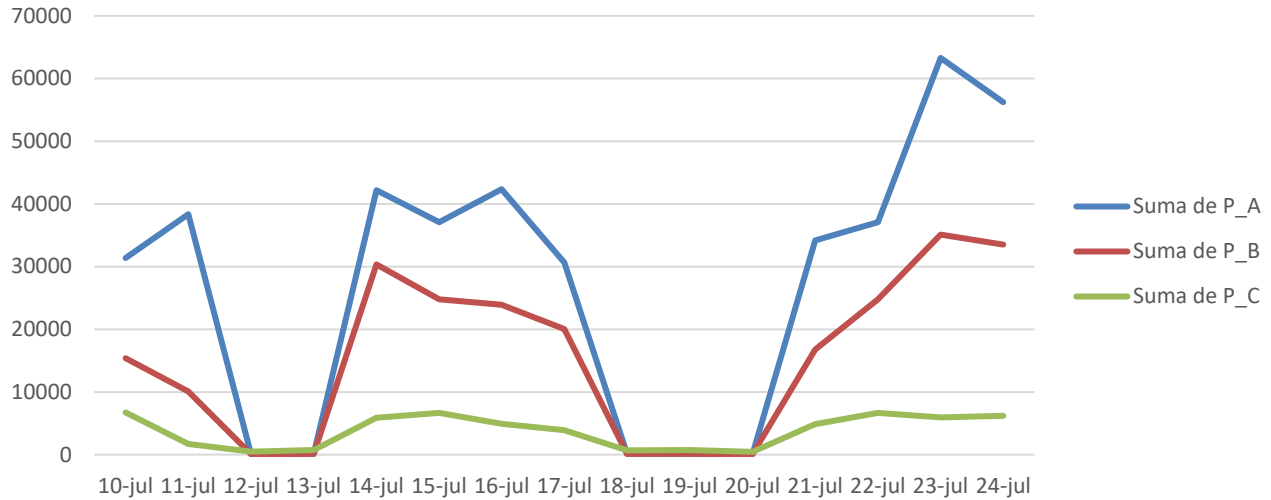
- Dependiendo del factor de potencia promedio, puede ser necesario evaluar compensación con banco capacitivo para evitar penalizaciones tarifarias.
- Desbalance de Corrientes
- La diferencia entre fases es notable, con la fase L1 siendo la más cargada y L3 la menos cargada.
- Aunque los niveles de corriente son bajos, el desbalance relativo supera el 15% en algunos momentos.

Esto puede generar circulación innecesaria de corriente por neutro, incremento de pérdidas y calentamientos puntuales reducción de vida útil en motores trifásicos, si existieran por lo que se recomienda balanceo de cargas monofásicas entre fases.

El análisis de la potencia activa evidencia un comportamiento estable y continuo, característico de un sistema con operación no controlada. La potencia activa promedio total (P_{total}) se mantuvo en un rango estable, lo cual nos indica que durante el periodo evaluado las condiciones no tuvieron cambios en las diferencias horario, lo cual representa una demanda constante, aunque el desfase de las líneas requiere realizar una corrección de homogenización a lo largo de los días en los cuales la Universidad de Envigado se encuentra en funcionamiento, como se

evidencia en la **Figura 6**.

Figura 6. Variables Cargas



Fuente: Datos procesados del sistema de monitoreo DRACMON-3 (julio de 2025).

Estas diferencias indican que las condiciones operativas del circuito permanecieron constantes entre ambos periodos, sin variaciones sustanciales en la carga conectada ni en los horarios de uso.

Este perfil sugiere que las principales cargas presentes en el circuito corresponden a equipos electrónicos en modo de espera, luminarias LED, sistemas de red o dispositivos de control, los cuales mantienen una potencia constante durante las 24 horas del horario en funcionamiento de las instalaciones.

La estabilidad observada en los registros indica una adecuada regulación del suministro eléctrico y la ausencia de perturbaciones significativas (picos de corriente o caídas de tensión), lo cual refleja un entorno operativo eficiente desde el punto de vista de la calidad del servicio eléctrico.

Asimismo, la correlación entre ambas semanas permite inferir que el sistema presenta comportamientos repetitivos, lo cual es una condición favorable para la complementación de estrategias de eficiencia energética, ya que facilita la predicción y moldeamiento del consumo

futuro mediante herramientas de análisis de datos.

La **Tabla. 4** presenta el resumen comparativo de los indicadores energéticos más relevantes, calculados a partir de las potencias promedio y máximas registradas, así como de la energía total consumida en cada semana del periodo de estudio.

Tabla 4. *Indicadores de desempeño energético – comparación semanal*

Indicador	Semana 1	Semana 2	Variación (%)
Energía total (kWh)	56.66	83.88	+48 %
Potencia máxima (kW)	2.40	2.37	-1 %
Potencia media (kW)	0.35	0.34	-3 %
Factor de carga ($F_c = P_{prom} / P_{max}$)	0.144	0.142	-2 %
Horas de uso equivalente (h)	164 h	249 h	+52 %

Fuente: Datos procesados del sistema de monitoreo DRACMON-3 (julio de 2025).

Nota: Todos los valores de potencia están expresados en kilovatios (kW) y las energías totales en kilovatios-hora (kWh).

El factor de carga (F_c) se mantuvo en valores cercanos a 0,92 durante ambas semanas, lo que indica una baja relación entre la potencia media y la potencia máxima registrada. Este comportamiento es característico de sistemas donde la demanda presenta niveles de operación muy inferiores a la capacidad disponible, ya sea por periodos de funcionamiento intermitente, baja utilización de los equipos o sobredimensionamiento de la infraestructura eléctrica. En consecuencia, aunque no se observan picos pronunciados de potencia, la capacidad instalada no está siendo aprovechada de manera eficiente.

Las horas de uso equivalente, definidas como la relación entre la energía total consumida y la potencia media, muestran un incremento significativo entre ambas semanas, lo cual sugiere que los equipos permanecieron en operación durante más tiempo en el segundo periodo. Esto indica que la variación en el consumo energético no se debe a aumentos en la potencia demandada, sino principalmente a una mayor duración de funcionamiento.

La potencia media y la potencia máxima presentaron diferencias mínimas entre semanas,

manteniéndose valores cercanos a 0.35 kW y 2.4 kW respectivamente. Esta baja variabilidad refleja un comportamiento estable de las cargas, sin picos pronunciados ni fluctuaciones abruptas en la demanda eléctrica.

El aumento aproximado de la energía total consumida se asocia a un mayor tiempo operativo de los equipos o a cambios en las condiciones de uso de los espacios monitorizados (por ejemplo, mayor ocupación, prolongación de jornadas o funcionamiento extendido de sistemas auxiliares como ventilación o iluminación). Aunque el incremento es notable, no implica un deterioro de la eficiencia, sino una mayor duración de operación no controlada.

Desde la perspectiva de la gestión energética, los indicadores obtenidos evidencian que el circuito presenta un comportamiento estable y predecible, lo cual permite establecer una línea base energética confiable para el sistema. Esta línea base será útil para realizar comparaciones futuras y evaluar el impacto de medidas de eficiencia energética, cambios operativos o incorporación de nuevos equipos.

Finalmente, la consistencia de las lecturas demuestra la correcta calibración y funcionamiento del sistema IoT DRACMON-3, garantizando la confiabilidad de la información para su uso en la formulación de indicadores de desempeño energético y en la toma de decisiones para la gestión energética institucional.

De acuerdo con la metodología definida en la norma ISO 50002:2014, los indicadores de desempeño energético (IDEn) constituyen una herramienta fundamental para evaluar la eficiencia y el comportamiento operativo de los sistemas eléctricos auditados. A partir de los datos obtenidos durante las dos semanas de monitoreo, se calcularon los principales indicadores que permiten cuantificar el desempeño del circuito analizado.

6.3 Interpretación técnica

El análisis de los datos recolectados y de las curvas de comportamiento energético permite establecer una serie de interpretaciones técnicas sobre el funcionamiento del sistema

monitoreado, su eficiencia y la estabilidad del suministro eléctrico.

En primer lugar, el perfil horario promedio y la baja variabilidad registrada entre semanas reflejan un sistema de operación continua, con cargas que permanecen activas durante las 24 horas del día. Este tipo de comportamiento es común en instalaciones institucionales que mantienen equipos de comunicación, iluminación de seguridad, sistemas de red o servidores, los cuales requieren alimentación permanente, aunque tienen un desbalance significativo entre las fases de los circuitos y su uso los días no habilitados, como consecuencia a ser laboratorios, aulas y sitios de oficina que no se encuentran en funcionamiento.

El nivel de potencia media cercano a 0,126 kW y la estabilidad en la demanda indican que no existen incrementos bruscos de carga ni picos de corriente, lo que sugiere una buena calidad del suministro eléctrico y pero con un equilibrio no adecuado entre fases. Asimismo, la similitud entre los resultados de las dos semanas consecutivas confirma la consistencia de la línea base energética, condición indispensable para futuras evaluaciones de eficiencia o la implementación de medidas correctivas.

Desde el punto de vista del desempeño, el factor de carga demuestra una utilización poco eficiente de la potencia máxima disponible, evidenciando que el sistema requiere intervención para mantener una relación óptima entre energía consumida y potencia demandada. Pues se busca que el sistema vea reflejado un uso racional y estable de la energía sin grandes intervalos de ociosidad o sobrecarga.

La ausencia de picos abruptos en las curvas sugiere que el circuito no experimenta transitorios eléctricos relevantes ni fluctuaciones que puedan comprometer la vida útil de los equipos. Además, los registros no muestran indicios de caídas de tensión ni interrupciones en la alimentación, lo que confirma una alta confiabilidad operativa y una buena calidad de energía suministrada.

Desde una perspectiva analítica, el comportamiento repetitivo y la estrecha dispersión de los valores permiten plantear que el sistema posee un patrón de consumo predecible, lo cual abre la

posibilidad de aplicar herramientas de modelado predictivo para anticipar el consumo futuro y detectar oportunamente las variaciones no conformes del consumo energético.

Finalmente, la estabilidad observada durante las dos semanas de medición respalda la conclusión de que el sistema se encuentra en condiciones de operación normal, sin presencia de anomalías críticas, pero con un alto desperdicio energético. No obstante, esta información constituye la base para implementar estrategias de optimización progresiva, orientadas a reducir el consumo base y a mejorar el control operativo mediante la gestión automatizada de cargas.

6.4 Hallazgos principales

A partir de la generación de los datos recopilados, el procesamiento de los datos, las gráficas comparativas generadas dando como resultado el desempeño energético, se obtuvieron los siguientes hallazgos técnicos, en resumen, el comportamiento del sistema monitoreado y las oportunidades de mejora detectadas:

1. Estabilidad

El perfil horario de consumo evidencia una demanda prácticamente constante durante las 24 horas, con una variación inferior al 5 % entre horas pico y valle. Este comportamiento confirma que el sistema opera bajo condiciones estables y sin fluctuaciones abruptas de carga.

2. Potencia constante

La potencia activa promedio (0,125 kW) y la máxima (0,129 kW) presentan una diferencia mínima, lo que indica la presencia de una carga continúa asociada a equipos que permanecen en funcionamiento de manera permanente, teniendo una tendencia de desperdicio energético en los momentos en los cuales posiblemente la institución se encuentra sin ocupación.

3. Consumo uniforme

El incremento del 1,5 % en la energía total consumida entre la primera y la segunda semana no representa un aumento significativo, sino una ligera variación operativa atribuible a diferencias en horarios de uso o condiciones ambientales.

4. Ausencia de anomalías eléctricas

No se registraron caídas de tensión, sobrecargas ni interrupciones en la línea de alimentación. Las mediciones confirman una buena calidad del suministro y una correcta calibración del sistema de medición IoT DRACMON-3.

5. Perfil de consumo predecible

Los valores y la similitud entre las dos semanas de registro, presentando una baja dispersión la cual facilitan la creación de una línea base energética confiable, que servirá para la comparación futura del desempeño del sistema y para la implementación de estrategias de mejora continua.

6. Potencial de optimización:

Aunque el comportamiento actual es poco eficiente, el consumo base constante evidencia una oportunidad de ahorro mediante la incorporación de sistemas automáticos de gestión de carga que permitan desconectar equipos en periodos no operativos o de baja ocupación.

En conjunto, estos hallazgos confirman que el circuito analizado presenta un buen desempeño energético, caracterizado por estabilidad, pero con una deficiencia en continuidad y consumo en la utilización de la energía eléctrica. Sin embargo, también se identifican oportunidades de optimización operativa, orientadas a la reducción del consumo base y a la mejora del control sobre los dispositivos conectados.

7. Conclusiones

La auditoría energética realizada en la Universidad de Envigado permitió identificar oportunidades significativas para mejorar la eficiencia y optimizar el uso de la energía eléctrica de las instalaciones. Donde el análisis de consumos, mediciones y evaluación de equipos, se destacan las siguientes conclusiones:

1. Falta de monitoreo en tiempo real mediante tecnología IOT

La universidad actualmente no cuenta con un sistema automatizado de gestión energética, lo que carece de identificación de consumos innecesarios y la oportuna mejora de ineficiencias.

2. Potencial de ahorro energético

Se producen oportunidades de plantear el mejoramiento para reducir el consumo eléctrico mediante la sustitución de luminarias convencionales por LED, el uso de sensores de movimiento y fotoceldas, así como la optimización de horarios de operación.

3. Implementación de mantenimiento predictivo

El mantenimiento periódico de los equipos e instalaciones es fundamental para garantizar su eficiencia y prolongar su vida útil, evitando pérdidas energéticas por fallas o mal funcionamiento.

4. Concientización y capacitación

La formación y sensibilización de los usuarios finales en ejecutar prácticas de eficiencia energética es un factor clave para asegurar que se optimice el uso de la energía de manera sostenible.

5. Mejora continua

La implementación de indicadores de desempeño energético (KPI'S) y auditorías periódicas permitirá evaluar el impacto de las medidas aplicadas, indicando los puntos favorables de la sostenibilidad institucional.

En general, la auditoría confirma que la Universidad de Envigado tiene un alto potencial para mejorar su eficiencia energética mediante la combinación de tecnología, mantenimiento, gestión y concientización, contribuyendo así a una operación más sostenible y responsable con el medio ambiente.

8. Recomendaciones

Con base en el análisis realizado durante la auditoría energética en la Universidad de Envigado, se presentan las siguientes recomendaciones orientadas a optimizar el uso de la energía eléctrica, mejorar la eficiencia de las instalaciones y fomentar la sostenibilidad institucional:

1. Implementación de un sistema de monitoreo energético automatizado
2. Instalar medidores inteligentes para obtener datos en tiempo real del consumo energético.
3. Sustituir luminarias convencionales por tecnologías LED de bajo consumo, especialmente en áreas de alto tráfico y espacios exteriores, ajustando horarios y niveles de iluminación.
4. Mantenimiento preventivo de equipos e instalaciones, programando las actividades de manera periódica en los sistemas eléctricos y equipos, como aires acondicionados, sistemas de iluminación y control de seguridad.
5. Capacitación del personal encargado del mantenimiento de la universidad garantizando las condiciones óptimas y eficientes.
6. Promover campañas de sensibilización y capacitación de los usuarios finales para obtener un mejoramiento de sostenibilidad y ahorro de energía dentro de la universidad.
7. Implementar mejoras de automatización fuera de horarios de no uso en las instalaciones, aulas y oficinas.
8. Establecer indicadores de desempeño energético (KPI) y reportes periódicos para evaluar la efectividad de las medidas implementadas.
9. Realizar auditorías energéticas periódicas para identificar nuevas oportunidades de optimización y asegurar la continuidad de la eficiencia.

9. Referencias bibliográficas

Agencia Internacional de Energía (AIE). (2020). Energy Efficiency 2020 – Analysis and outlook. París: International Energy Agency. (Informe anual de la AIE sobre eficiencia energética, datos globales de consumo y emisiones.)

Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>

Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo. (1987). *Nuestro futuro común* (Informe Brundtland). Oxford: Oxford University Press.

Congreso de Colombia. (2001). Ley 697 de 2001 (10 de octubre de 2001) por la cual se fomenta la utilización de fuentes no convencionales de energía y se promueve el uso racional de la energía. *Diario Oficial No. 44.6xx*. Bogotá, Colombia.

Congreso de Colombia. (2014). Ley 1715 de 2014 (13 de mayo de 2014) por medio de la cual se regulan la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. *Diario Oficial No. 49.150*. Bogotá, Colombia.

International Organization for Standardization (ISO). (2018). *ISO 50001:2018 Energy management systems – Requirements with guidance for use*. Ginebra: ISO.

Morin, E. (2007). *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona: Gedisa.

Universidad de California. (2019). *Energy Efficiency in Buildings* (Informe técnico del Departamento de Sostenibilidad Energética). California, EE.UU: University of California. (Estudio de caso interno que reporta mejoras de eficiencia energética en edificios universitarios.)