

**AUDITORÍA ENERGÉTICA EN LA SUBESTACIÓN BLOQUE INGENIERÍA DE LA  
UNIVERSIDAD UNIREMINGTON MEDIANTE UN SISTEMA DE MEDICIÓN  
REMOTA TIPO IOT**

**JORGE MARIO ESCOBAR HOYOS  
JHON FREDY ISAZA MUÑOZ  
EMILSON ENRIQUE MOSQUERA MORENO**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2025**

**AUDITORÍA ENERGÉTICA EN LA SUBESTACIÓN BLOQUE INGENIERÍA DE LA  
UNIVERSIDAD UNIREMINGTON MEDIANTE UN SISTEMA DE MEDICIÓN  
REMOTA TIPO IOT**

**JORGE MARIO ESCOBAR HOYOS  
JHON FREDY ISAZA MUÑOZ  
EMILSON ENRIQUE MOSQUERA MORENO**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista**

**Asesor técnico**

**Jauder Alexander Ocampo Toro  
Doctor en Ingeniería**

**Asesor metodológico**

**Andrés Fernando Pérez González  
Magíster en Ingeniería**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN**

**2025**

## Contenido

	<b>Pág.</b>
1. Planteamiento del problema .....	3
1.1 Descripción .....	3
1.2 Formulación .....	4
2. Justificación .....	5
3. Objetivos.....	7
3.1 Objetivo general.....	7
3.2 Objetivos específicos .....	7
4. Referentes teóricos .....	8
4.1 Definición conceptual de auditoría energética.....	8
4.2 Normas ISO 50002 .....	9
4.3 Clasificación de las Auditorías Energéticas.....	10
4.3.1. El diagnóstico energético.....	10
4.3.2. La auditoría energética básica.. ..	10
4.3.3. Auditoría energética profunda.. ..	11
4.3.4. Auditoría energética dinámica o continua.. ..	11
4.4 Uso Racional y Eficiente de la Energía en Colombia.....	13
4.5 Tecnologías de apoyo: Internet de las Cosas (IoT).....	14
5. Metodología.....	17
5.1 Tipo de Proyecto .....	17
5.2 Método .....	18
5.3 Instrumentos de recolección de información. ....	20
5.3.1. Fuentes primarias.....	20

5.3.2. Fuentes secundarias .....	20
6. Resultados.....	21
6.1 Descripción del Proyecto .....	21
6.2 Herramienta de Medición .....	23
6.3 Análisis del comportamiento de la tensión .....	24
6.4 Análisis de la corriente por fase.....	26
6.5 Potencia activa (kW).....	27
6.6 Potencia reactiva (kVAr) .....	28
6.7 Potencia aparente (kVA) y factor de potencia .....	30
6.8 Relación voltaje–corriente por fase .....	31
7. Conclusiones.....	36
8. Recomendaciones .....	38
9. Referencias bibliográficas .....	40
10. Anexos .....	44

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Reseña histórica legislación energética en Colombia. ....	14
Figura 2. Metodología de funcionamiento de la aplicación de monitoreo remoto.....	15
Figura 3. Ubicación geográfica de la Universidad Uniremington.....	22
Figura 4. Diagrama de conexión del equipo de medida (medidor multifuncional).....	23
Figura 5. Resultado final de conexión del equipo de medida medidor multifuncional.....	24
Figura 6. Comportamiento del voltaje por fase .....	25
Figura 7. Comportamiento de la corriente por fase .....	26
Figura 8. Comportamiento de la potencia activa por fase .....	28
Figura 9. Comportamiento de la potencia reactiva por fase .....	29
Figura 10. Comportamiento de la potencia aparente por fase .....	31
Figura 11. Comportamiento del factor de potencia por fase .....	31
Figura 12. Relación voltaje-corriente en la fase A.....	32
Figura 13. Relación voltaje-corriente en la fase C .....	33

## Lista de tablas

**Pág.**

Tabla 1. Análisis comparativo entre los tipos de auditorías energéticas .....	12
---	----

## Lista de anexos

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo A</b> Protocolo de instalación del equipo	44
<b>Anexo B</b> Se pone en funcionamiento el medidor de energía Dracmon-3.	48
<b>Anexo C</b> Transformadores de corrientes en funcionamiento	48
<b>Anexo D</b> Reporte de datos entregados por el medidor.	49
<b>Anexo E</b> Libro en Google Colab	50
<b>Anexo F</b> Registro fotográfico 1 se HVAC Migración de tecnología para mejorar la eficiencia energética	51
<b>Anexo G</b> Registro fotográfico 2 Migración de tecnología para mejorar la eficiencia energética	51
<b>Anexo H</b> Registro fotográfico 3 Migración de tecnología para mejorar la eficiencia energética	52
<b>Anexo I</b> Registro fotográfico 4 Migración de tecnología para mejorar la eficiencia energética	52
<b>Anexo J</b> Registro fotográfico 5 Migración de tecnología para mejorar la eficiencia energética	53
<b>Anexo K</b> Registro fotográfico 6 Migración de tecnología para mejorar la eficiencia energética	53
<b>Anexo L</b> Registro fotográfico 7 Migración de tecnología para mejorar la eficiencia energética	53
<b>Anexo M</b> Información relevante obtenida del Dataset con Google Colab	54

## **Resumen**

# **AUDITORÍA ENERGÉTICA EN LA SUBESTACIÓN BLOQUE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD UNIREMINGTON MEDIANTE UN SISTEMA DE MEDICIÓN REMOTA TIPO IOT**

**JORGE MARIO ESCOBAR HOYOS  
JHON FREDY ISAZA MUÑOZ  
EMILSON ENRIQUE MOSQUERA MORENO**

El presente trabajo desarrolla una auditoría energética en la subestación eléctrica del bloque de ingeniería de la Universidad Uniremington mediante la implementación de un sistema de monitoreo remoto basado en tecnología IoT. El estudio se fundamenta en los lineamientos establecidos por la norma ISO 50001:2018 para la gestión de la energía y la ISO 50002:2014 para la ejecución de auditorías energéticas. Para ello, se instaló un analizador de redes conectado a la plataforma MDB-FRE, permitiendo registrar variables críticas de voltaje, corriente, potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia en un lapso de seis semanas.

Los resultados evidenciaron un comportamiento energético inestable en una de sus fases, con fluctuaciones en la corriente de la fase A, mínima presencia de potencia reactiva y factores de potencia dentro de los rangos recomendados por IEEE 1159. En paralelo a esto, se constató que las intervenciones previas de repotenciación, la migración hacia luminarias LED y la sustitución de equipos obsoletos han contribuido a mantener una operación eficiente.

Finalmente, se puede afirmar que la subestación presenta un nivel avanzado de optimización energética y que el uso de tecnologías IoT constituye una herramienta efectiva para la verificación del desempeño y la toma de decisiones institucionales orientadas a la sostenibilidad.

*Palabras claves:* Auditoría energética; Internet de las Cosas; ISO 50002; Monitoreo eléctrico; Eficiencia energética; Calidad de energía.

## **Abstract**

This study presents an energy audit of the electrical substation of the Engineering Block at Universidad Uniremington through the implementation of a remote monitoring system based on IoT technology. The research follows the guidelines of ISO 50001:2018 for energy management systems and ISO 50002:2014 for energy audits. An electrical grid analyzer connected to the MDB-FRE platform was installed to record critical variables—voltage, current, active power, reactive power, and power factor—over a six-week monitoring period.

The results show unstable energy performance, with some deviations in phase a currents, minimal reactive power, and power factor values within the limits recommended by the IEEE 1159 standard. Additionally, it was confirmed that the previous upgrades to the substation, the transition to LED lighting, and the replacement of obsolete equipment contributed to maintaining efficient operation.

It is concluded that the substation exhibits an advanced level of energy optimization and that IoT-based monitoring tools are effective for verifying system performance and supporting institutional decision-making toward sustainability.

*Keywords:* Energy audit; Internet of Things; ISO 50001; ISO 50002; Electrical monitoring; Energy efficiency; Power quality

## Glosario

**Ahorro energético:** consiste en usar de manera responsable y adecuada cualquier equipo o dispositivo eléctrico en general para reducir el gasto de energía.

**Auditoría energética:** es un proceso de revisión y análisis de los flujos de energía en viviendas, industrias o comercios, con el propósito de evaluar y comprender su eficiencia.

**Analizador de redes eléctricas:** es un dispositivo de medición que permite registrar valores como potencia real y aparente, factor de potencia, consumo de energía, corriente y voltaje tanto en corriente alterna como continua, además de resistencia y frecuencia.

**Huella de carbono:** es un indicador ambiental que muestra la cantidad total de gases de efecto invernadero generados directa o indirectamente por una persona, actividad o producto.

**Transformadores de corriente (TC):** son equipos diseñados para aumentar o disminuir corrientes alternas. Su funcionamiento se basa en producir en el devanado secundario una corriente proporcional a la que circula por el devanado primario.

## Introducción

La gestión estratégica en las instituciones educativas es un desafío técnico y ambiental que exige soluciones innovadoras apoyadas en tecnologías de monitoreo inteligente. Por eso, este trabajo propone una auditoría energética con monitoreo IoT en la subestación del bloque de ingeniería de la Universidad Uniremington, con el fin de optimizar el consumo eléctrico institucional. Las subestaciones eléctricas, siendo las encargadas de distribuir y transformar la energía eléctrica en un rango de tensiones medias, típicamente entre 1kV y 13.2 kV, son elementos críticos cuya gestión impacta directamente en los costos operativos en la sostenibilidad ambiental.

La norma ISO 50001:2018 establece un marco internacionalmente reconocido para la gestión eficiente de la energía. Este estándar ha mostrado resultados significativos en diversos sectores donde se ha implementado. Estudios recientes de Ruiz y Martínez (2022) evidencian reducciones de hasta un 20% en el consumo energético mediante auditorías desarrolladas bajo los lineamientos de este estándar internacional.

En esa misma línea, este proyecto plantea la implementación de un sistema de monitoreo IoT para variables como corriente, energía reactiva, potencia activa y potencia reactiva. El proyecto tiene una metodología que considera los lineamientos de la ISO 50002 junto con los análisis de datos obtenidos por monitoreo a través del medidor Dracmon-3 y las estrategias de optimización energética.

En esta etapa se combinaron los lineamientos de la ISO 50002 con el análisis del consumo energético, utilizando el monitoreo remoto para proponer estrategias de optimización de la energía. Las mediciones de la auditoría fueron programadas para un periodo aproximado de un

mes, permitiendo identificar oportunidades de mejora, establecer medidas correctivas medibles y evaluar los resultados con base en las gráficas obtenidas.

Estos hallazgos permitirán comprender mejor el comportamiento energético del consumo de energía en la Universidad Uniremington y, al mismo tiempo, la importancia de implementar sistemas de gestión de medición avanzada.

El trabajo contribuye a la sostenibilidad institucional mediante la implementación de un sistema de monitoreo IoT que permita monitorear el consumo en tiempo real, para la toma de decisiones que pueden contribuir a la eficiencia energética.

## **1. Planteamiento del problema**

### **1.1 Descripción**

Actualmente, la subestación eléctrica del bloque de ingeniería de la Universidad Uniremington presenta un sistema de gestión energética el cual no cuenta con monitoreo de variables en tiempo real. Al no contar con un sistema de monitoreo en tiempo real, se hace impreciso detectar anomalías en el consumo energético de la Universidad, dificultando a la contribución del ahorro energético.

Al no contar con monitoreo en tiempo real, no es posible construir una línea base de consumo. Como consecuencia, resulta más difícil implementar estrategias de optimización energética basadas en información precisa y reciente. De acuerdo con la Agencia de Sostenibilidad Energética (2018), para lograr una gestión energética efectiva es indispensable identificar las variables que influyen en el consumo, de modo que sea posible determinar las variaciones registradas.

A su vez, la falta de indicadores de desempeño energético que se enmarca en los estándares internacionales como la ISO 50002, limita la evaluación energética de la Universidad Uniremington.

Con este proyecto se pretende fortalecer la gestión energética a través de la implementación de tecnologías IoT. Esto ayuda a detectar oportunidades de mejora, reducir costos operativos y favorecer el ahorro de energía en la institución, en coherencia con la norma ISO 50002.

## **1.2 Formulación**

¿De qué manera la implementación de un sistema de monitoreo remoto basado en tecnología IoT contribuye a la optimización energética de la subestación eléctrica del bloque de ingeniería de la Universidad Uniremington, conforme a la norma ISO 50002?

## 2. Justificación

La gestión eficiente de la energía se ha vuelto un tema clave en las instituciones educativas. No solo impacta la sostenibilidad ambiental, sino que también tiene efectos directos en los costos operativos y en la forma como se administra la infraestructura. En este caso particular, incorporar un sistema de monitoreo IoT en la subestación del bloque de ingeniería de la Universidad Uniremington se convierte en una oportunidad concreta para vigilar mejor el consumo de energía y ajustar su uso cuando sea necesario.

Diversos estudios señalan que, cuando las auditorías energéticas se realizan bajo la norma ISO 50001, en algunos casos se han alcanzado reducciones cercanas al 20 % en el consumo energético institucional (International Organization for Standardization, 2018; Serrano-García & Rodríguez-Moreno, 2021). El proyecto busca que la Universidad avance hacia un modelo integral de gestión energética, capaz de identificar posibles ahorros en la demanda de energía.

El uso de tecnologías IoT ofrece ventajas claras frente a los métodos tradicionales de medición. Estas herramientas permiten registrar de manera continua variables críticas como la corriente, la energía reactiva y la potencia activa/reactiva, y facilitan la detección temprana de anomalías (Barragán Charry, 2022; González et al., 2023). Con esta implementación se podrá detectar comportamientos anómalos en el consumo energético.

En términos prácticos, se espera al menos una disminución cercana al 3 % en el consumo mensual y una mejora aproximada de 0,1 puntos en el factor de potencia. Esto, aunque parece un cambio pequeño, ayuda a bajar costos y a sostener el esfuerzo institucional por ser más eficiente.

Este proyecto se enmarca en el Plan Nacional de Eficiencia Energética 2017–2022 y en la regulación de la UPME y la CREG, que buscan incentivar el uso más responsable de la energía en distintos sectores. Estas políticas impulsan la realización de auditorías, el monitoreo

permanente y el uso de tecnologías emergentes, justamente el tipo de enfoque que se aplica en este trabajo.

Complementariamente, la iniciativa se articula con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) y el ODS 13 (Acción por el clima). La implementación de sistemas eficientes contribuye a reducir el impacto ambiental asociado al consumo energético y a promover infraestructuras con sistemas de medición avanzada.

En cuanto a su alcance, el proyecto no se restringe al componente técnico, sino que también puede traducirse en beneficios económicos para la institución. Desde el ámbito formativo, permitirá que los estudiantes de ingeniería interactúen con tecnologías emergentes aplicadas en un contexto real, fortaleciendo competencias en eficiencia energética, IoT y análisis de datos.

El personal administrativo y técnico dispondrá de una herramienta que respalde la toma de decisiones estratégicas relacionadas con la operación de la infraestructura eléctrica. Esto ayudará a la administración del sistema de energía y a la toma de decisiones.

Este proyecto también abre la puerta a desarrollar estudios de caso sobre el uso de la energía en campus universitarios, producir material didáctico y registrar experiencias que luego puedan replicarse o ajustarse en otras instituciones. Con ello, la Universidad podrá consolidarse como un referente regional en prácticas de eficiencia energética y fortalecerá su conocimiento en sistemas de medición avanzada con tecnología IoT.

La estructura implementada se puede extender hacia otras instituciones académicas permitiendo el fortalecimiento de la gestión energética y transmitiendo el conocimiento a los estudiantes.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Realizar una auditoría energética en la subestación eléctrica del bloque de ingeniería de la Universidad Uniremington, mediante el monitoreo remoto de variables como: Corriente, energía reactiva, potencia activa y potencia reactiva, de esta manera se puede identificar oportunidades de mejora en el consumo eléctrico que permitan optimizar la eficiencia energética de la subestación.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Implementar un sistema de monitoreo remoto mediante dispositivos IoT para medir y registrar en tiempo real las variables eléctricas críticas (corriente, energía reactiva, potencia activa y potencia reactiva) de la subestación, estableciendo una línea de base de consumo conforme a los lineamientos de la norma ISO 50002.

Analizar los datos recopilados durante un periodo de un mes para identificar patrones de consumo, factores de potencia inadecuados, picos de demanda y otras ineficiencias en el sistema eléctrico de la subestación, determinando las principales causas de un desperdicio energético.

Desarrollar un plan de optimización energética que incluya al menos cinco medidas técnicas y operativas específicas para la subestación, con un análisis costo beneficio de cada una proyectando el porcentaje de ahorro energético esperado y estableciendo indicadores de desempeño energético que permite evaluar el impacto de las mejores propuestas en conformidad con la norma ISO 50002.

## **4. Referentes teóricos**

La eficiencia energética continúa siendo un reto estratégico para las organizaciones de todos los sectores. En particular, las universidades enfrentan el gran desafío de gestionar infraestructuras eléctricas complejas, altos niveles de demanda y variaciones propias de actividades académicas, administrativas y de investigación. En este caso, la auditoría energética funciona como una herramienta indispensable la cual permitirá comprender y optimizar el consumo energético, apoyada en marcos normativos internacionales como lo son las Normas ISO 50002, políticas nacionales de Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE), y tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT).

Este trabajo pretende fortalecer la auditoría energética en la subestación del bloque de ingeniería de la Universidad Uniremington.

### **4.1 Definición conceptual de auditoría energética**

La auditoría energética es un proceso sistemático que busca obtener información confiable sobre el consumo de energía dentro de una organización, con el fin de identificar anomalías en el suministro eléctrico. Según la Agencia Internacional de Energía (2021), estas auditorías constituyen una base de la gestión energética moderna, que permite realizar indicadores para realizar mediciones de consumo energético.

Los estudios recientes plantean la auditoría energética como una herramienta integral: no solo ofrece un diagnóstico en un momento dado, sino que se integra a un proceso permanente de mejora. Plienis et al. (2023) sostienen que la implementación de auditorías respaldadas en tecnologías digitales fortalece la confiabilidad de los resultados, ya que permite detectar en ellos

los patrones de consumo invisibles en las mediciones tradicionales y proyectar ahorros con mucha mayor precisión.

Existen tres tipos de auditoría: las preliminares, que permiten un diagnóstico rápido; las detalladas, que profundizan en cada sistema de consumo; y las auditorías continuas, soportadas en tecnologías de monitoreo remoto. Rodríguez-Pabón et al. (2022) pero los tres tipos de auditorías persiguen el monitoreo de variables para la implementación de eficiencia energética.

La auditoría adquiere una doble función: actúa como instrumento de medición institucional que permite la reducción de costos y mejorar la infraestructura; de forma paralela, se convierte en un recurso académico que fortalece la formación en ingeniería y sostenibilidad ambiental.

#### **4.2 Normas ISO 50002**

La norma ISO 50002:2014, se enfoca particularmente en la ejecución de auditorías energéticas, definiendo su alcance, fases y metodología. Distingue entre auditorías preliminares y de detalle, y resalta la necesidad de adaptar la metodología al tamaño y naturaleza de la organización (ISO, 2014).

Diversos ejemplos de aplicación en universidades demuestran su eficacia. González et al. (2022) documentan cómo los campus que adoptaron ISO 50001 lograron reducir sus consumos hasta en un 20%, al tiempo que generaron espacios de innovación en torno al uso de las energías renovables. Otros estudios señalan que la aplicación de ISO 50002 facilita la estandarización de diagnósticos energéticos en edificios académicos, garantizando comparabilidad y rigor en los resultados.

En el contexto de este trabajo, la integración de ambas normas resulta estratégica: ISO 50001 como marco de gestión institucional e ISO 50002 como guía metodológica para la auditoría en la subestación del bloque de ingeniería de la Universidad Uniremington.

### **4.3 Clasificación de las Auditorías Energéticas**

Las auditorías energéticas pueden dividirse de acuerdo con la profundidad del análisis deseado y las condiciones específicas del sistema de gestión energética establecidos permitiendo determinar la profundidad del análisis, recursos y necesarios y el tipo de información que se desea obtener. Según López (2017), las auditorías energéticas pueden clasificarse en cuatro niveles principales de acuerdo con su alcance y profundidad.

**4.3.1. El diagnóstico energético.** Se enfoca en evaluar el estado actual de una instalación, principalmente con fines de verificación o certificación, como en los casos donde se busca cumplir con los requerimientos del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). En este tipo de evaluación, el objetivo principal es identificar deficiencias y establecer las acciones correctivas necesarias para garantizar la conformidad técnica de la red.

**4.3.2. La auditoría energética básica.** Esta amplía el alcance del diagnóstico al incluir una evaluación económica y técnica de las posibles mejoras. Además de analizar el estado de las instalaciones, se formulan propuestas de optimización del consumo, reducción de costos operativos y mitigación de emisiones contaminantes. Durante los años 2015 y 2016, diversas entidades estatales en Colombia aplicaron este tipo de auditorías mediante contrataciones públicas bajo el modelo de mínima cuantía, con el fin de obtener diagnósticos energéticos y

estudios de viabilidad económica. Dichos procesos fueron gestionados y publicados en el SECOP (Sistema Electrónico de Contratación Pública), garantizando transparencia y control institucional.

**4.3.3. Auditoría energética profunda.** Se aplica comúnmente en el sector industrial, donde además de los elementos de las auditorías previas, se incorporan análisis detallados de los procesos productivos. Este tipo de auditoría permite identificar oportunidades de mejora integral, incluyendo modificaciones en el proceso de producción o la implementación de energías renovables para autogeneración o cogeneración. Gracias a este enfoque, las empresas pueden relacionar el consumo energético con la productividad y optimizar los costos de producción.

**4.3.4. Auditoría energética dinámica o continua.** Comprende los componentes de los tipos anteriores, pero se caracteriza por su carácter permanente y sistemático dentro del Sistema de Gestión Energética de una organización. Su finalidad es asegurar la mejora continua del desempeño energético, a través del monitoreo constante y la evaluación periódica de resultados.

En conjunto, estas modalidades permiten establecer un enfoque escalonado de análisis energético, adaptado a las necesidades y características de cada instalación (López, 2017).

Tabla 1.

*Análisis comparativo entre los tipos de auditorías energéticas:*

Actividad	DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO	AUDITORÍA ENERGÉTICA BÁSICA	AUDITORÍA ENERGÉTICA PROFUNDA	AUDITORÍA ENERGÉTICA DINÁMICA Y CONTINUA
Diagnóstico del estado actual de una red eléctrica con base en los lineamientos RETIE	X	X	X	X
Propuestas de mejora de la red eléctrica para ahorro de energía.		X	X	X
Estudio Económico de implementaciones		X	X	X
Identificación de consumos asociados a la producción en el caso de procesos industriales.			X	X
Estudio de prefactibilidad para la implementación de energías renovables.			X	X
Proceso de auditoría como parte de un Sistema de Gestión de Energía				X

Fuente. <https://bffrepositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/a86d2cf1-a2e6-412d-9bde-f72b3ca61d74/conten>.

#### **4.4 Uso Racional y Eficiente de la Energía en Colombia**

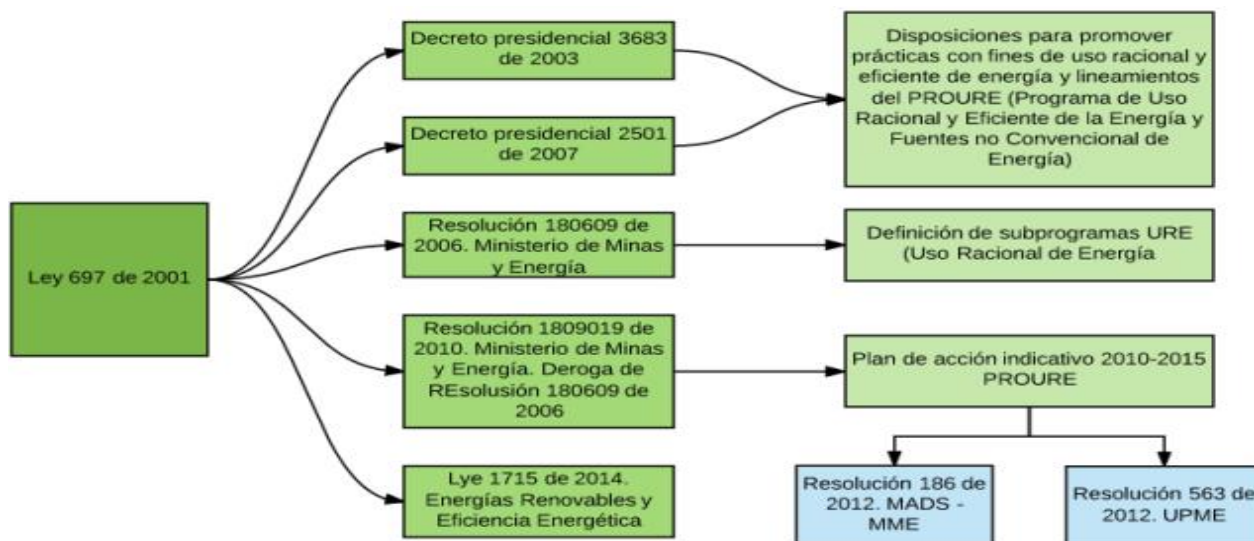
El Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) en Colombia fue declarado de interés nacional mediante la Ley 697 de 2001, la cual establece lineamientos para garantizar el abastecimiento energético, promover la eficiencia energética. Esta ley constituye la base para políticas posteriores que impulsan la modernización y sostenibilidad del sistema energético nacional.

Según Ruiz et al. (2024), los programas UREE permiten reducir el consumo energético, minimizar emisiones contaminantes y mejorar la competitividad de las organizaciones, al tiempo que contribuyen al cumplimiento de compromisos internacionales asociados a la mitigación del cambio climático.

La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), a través de la Estrategia Energética 2050, indica la importancia de integrar la eficiencia energética con la transición energética, para la confiabilidad del suministro eléctrico y la innovación tecnológica. Por lo anterior las instituciones de educación superior juegan un papel importante como escenarios de experimentación y validación de soluciones sostenibles.

La implementación de la política pública uso racional de la Energía (URE) se refleja en acciones como la sustitución de luminarias obsoletas, la redistribución de cargas, la instalación de sistemas fotovoltaicos y la ejecución de programas de sensibilización. Estas acciones ayudan a consolidar una cultura energética institucional permitiendo avanzar en tecnología de medición avanzada.

El marco normativo colombiano no solo brinda soporte a la auditoría energética implementada, sino que también posiciona a la universidad como una Universidad que impulsa la medición avanzada para lograr ahorros significativos.



*Figura 1.* Reseña histórica legislación energética en Colombia.

Fuente. Extraído de <https://bffrepositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/a86d2cf1-a2e6-412d-9bde-f72b3ca61d74/conten>.

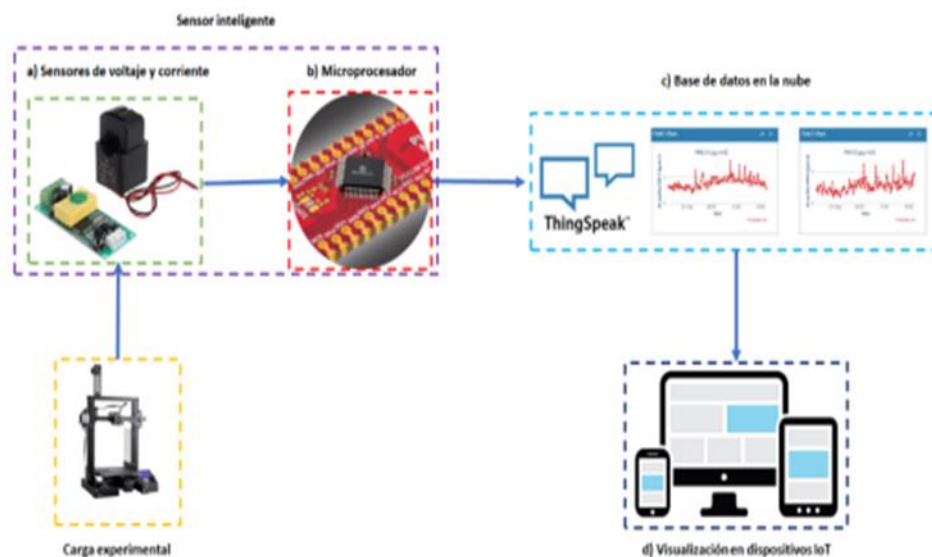
#### 4.5 Tecnologías de apoyo: Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las Cosas (IoT) permite realizar el registro y transmisión de los datos en tiempo real. De acuerdo con Plienis et al. (2023), la incorporación de sistemas IoT para auditorías, mejora la obtención de los datos de forma rápida y precisa.

Según Rodríguez-Pabón et al. (2022), la incorporación de IoT hace posible utilizar esquemas de muestreo adaptativo que mejoran el consumo de los dispositivos de monitoreo, disminuyen costos elevados y apoyan la sostenibilidad en sistemas diseñados para operar durante largos periodos. Este aporte resulta altamente significativo para las instalaciones como los campus universitarios, donde la cantidad de variables y usuarios es significativa y variable.

Con fines explicativos, se hace necesario mencionar que arquitectura básica de un sistema IoT en auditoría energética incluye: sensores de corriente y de voltaje, un microprocesador que

organiza la información, una plataforma en la nube que almacena los datos recopilados y las aplicaciones que permiten visualizarlos en tiempo real.



*Figura 2.* Metodología de funcionamiento de la aplicación de monitoreo remoto  
Fuente <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas>.

Además de lo anterior, el valor del IoT en universidades trasciende lo técnico ya que, además de mejorar la gestión energética, sirve como herramienta pedagógica. Estudiantes con sus docentes pueden interactuar con los datos reales, diseñar experimentos en clase y evaluar soluciones, todo esto integrado al proyecto con los objetivos académicos de formación en ingeniería y en sostenibilidad.

Para cerrar, el IoT plantea algunos retos como los son los costos de inversión, la ciberseguridad y la interoperabilidad de los dispositivos, lo que exige planes institucionales de gobernanza tecnológica. Sin embargo, sus beneficios superan por mucho las limitaciones, consolidándose como la herramienta idónea para fortalecer auditorías energéticas en Instituciones de Educación Superior.

En síntesis, estos referentes teóricos reúnen los conceptos centrales que sustentan la investigación: la auditoría energética como instrumento de diagnóstico y mejora; las normas ISO 50001 y 50002 como marcos de referencia internacionales; la normativa nacional sobre URE como soporte legal; y las tecnologías IoT como apoyo para fortalecer el proceso. Estos elementos brindan un panorama conceptual, normativo y tecnológico que sustenta la propuesta de auditoría en la subestación del bloque de ingeniería de la Universidad Uniremington.

## **5. Metodología**

Para realizar el proceso de auditoria en el boque de ingeniería de la Universidad Uniremington se llevó a cabo siguiendo una serie de procedimientos estructurados en diversas etapas, con las cuales se puede evaluar el desempeño de la instalación y plantear alternativas enfocadas en optimizar la eficiencia energética.

### **5.1 Tipo de Proyecto**

El presente proyecto se definió dentro de la categoría investigativa ya que contempla una descripción detallada de las etapas y estrategias que serán implementados durante el proceso de la auditoria. En cuanto a la toma de decisiones orientadas a las acciones que permitan obtener resultados coherentes y técnicamente sólidos para garantizar la calidad del estudio él cual juega un papel muy importante entre todos los involucrados en este proceso.

El tratamiento y análisis de la información se llevará a cabo mediante el uso de herramientas de analítica de datos específicamente usando estadística descriptiva, las cuales permiten interpretar el comportamiento energético de los sistemas con mayor precisión. Por medio de indicadores como la demanda promedio, la mediana y la variabilidad, al implementar estos indicadores es posible representar de forma clara como se distribuye el consumo eléctrico como este puede variar en función de las condiciones operativas o estacionales, facilitando así la identificación de patrones de consumo.

Cabe destacar que mediante la elaboración de gráficos descriptivos tales como histogramas, diagramas de línea y tablas comparativas permiten analizar los resultados obtenidos y de esta forma la estadística descriptiva actúa como una herramienta sólida para la formulación de recomendaciones técnicas orientada al proyecto que se está tratando.

## 5.2 Método

Implementación del sistema de monitoreo IoT: La primera fase consistió en la instalación y puesta en marcha del sistema IoT basado en el analizador de redes DRACMON 3, dispositivo seleccionado para la medición trifásica en la subestación eléctrica. El proceso inició con la gestión institucional realizada por los docentes encargados del proyecto, quienes coordinaron el acceso a la Subestación No. 2 y aseguraron el acompañamiento del personal técnico de la Universidad Uniremington.

El DRACMON 3 es un equipo industrial diseñado para registrar variables eléctricas críticas. Aunque no se dispone de una ficha técnica completa dentro de este informe, durante el proceso se identificaron sus principales funciones:

- Medición simultánea de voltaje y corriente por fase.
- Cálculo de potencia activa, reactiva y aparente.
- Obtención del factor de potencia.
- Transmisión de datos en tiempo real mediante la aplicación MDB-FRE.
- Conexión mediante tres transformadores de corriente (TC) de núcleo abierto, permitiendo

su instalación sin interrumpir el servicio eléctrico.

El equipo fue instalado el 1 de octubre en la Subestación No. 2. Durante su funcionamiento, fue reubicado cada semana en un circuito distinto, siguiendo una estrategia de muestreo rotativo recomendada por Rodríguez-Pabón et al. (2022), quienes afirman que este método mejora la capacidad diagnóstica sin necesidad de múltiples analizadores. El periodo de monitoreo se extendió hasta el 15 de noviembre, tiempo durante el cual el DRACMON 3 permaneció en operación continua.

Recolección y análisis de datos eléctricos: Durante esta fase se registraron las variables que caracterizan el comportamiento energético de los circuitos evaluados. Las mediciones fueron procesadas por la plataforma MDB-FRE, que generó gráficas temporales para cada variable eléctrica:

- Voltaje (V) por fase.
- Corriente (A) por fase.
- Potencia activa (kW).
- Potencia reactiva (kVAr).
- Potencia aparente (kVA).
- Factor de potencia (FP).

Las mediciones se analizaron siguiendo las recomendaciones de la IEEE Std 1159-2019 y las orientaciones de la ISO 50002:2014 para auditorías energéticas, lo que facilitó una lectura detallada de las tendencias, la estabilidad y el desempeño.

### **5.3 Instrumentos de recolección de información.**

#### **5.3.1. Fuentes primarias.**

- ❖ Norma ISO 50001 y 50002
- ❖ Trabajos de grado sobre auditorías energéticas en la Institución Universitaria Pascual Bravo
- ❖ Especificaciones técnicas de los equipos incluyendo rendimiento y mantenimiento
- ❖ Mediciones directas para el registro del consumo energético
- ❖ Consultas directas con el personal encargado del manejo de la subestación.
- ❖ Asesorías técnicas con docentes del departamento de eléctrica.
- ❖ Utilización de equipos de medición eléctrica (pinza amperimétrica, multímetro, medidor multifuncional, etc.)
- ❖ Herramientas de análisis de datos (Excel, Google Colab)
- ❖ Software de programación y simulación (Python, dialux)

#### **5.3.2. Fuentes secundarias.**

- ❖ Reglamento Técnico de Instalaciones y Alumbrado Público - RETILAP
- ❖ Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE
- ❖ Reglamento Técnico de Etiquetado - RETIQ
- ❖ Normas de la Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG
- ❖ Norma MINMINAS

## 6. Resultados

Para el desarrollo de este trabajo se tomó como referencia la subestación ubicada en la torre 2 de la Universidad Uniremington, la cual cuenta con un transformador seco trifásico de 630 kVA. La acometida es de 3XN 1/0+N#2, con una protección principal de 2000 A y cargas asociadas a laboratorios, oficinas, iluminación interior, impresoras, biblioteca, museo, cafeterías, auditorio, estudio de televisión y ascensores.

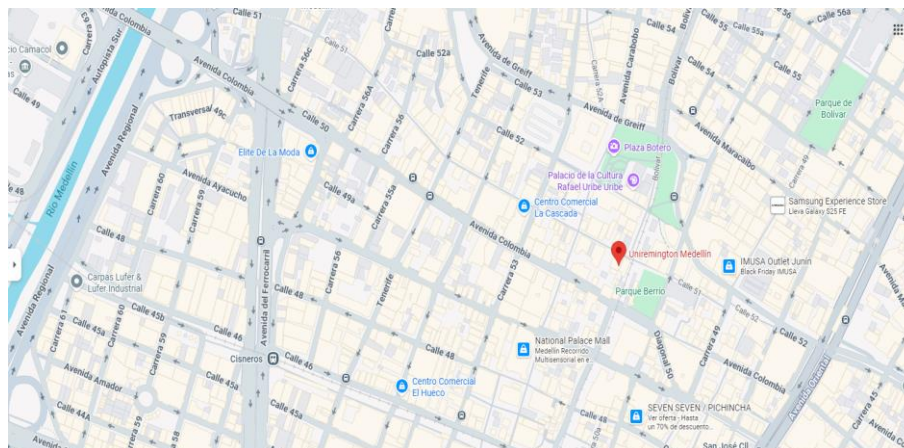
En lo que sigue se muestran los datos obtenidos a través del sistema de monitoreo IoT implementado en la subestación eléctrica de la torre 2, correspondiente al bloque de ingeniería de la Universidad Uniremington.

Los datos se obtuvieron a lo largo de un periodo de seis semanas, en el que se midieron diversos circuitos para seguir el comportamiento energético de la instalación. Cada variable fue evaluada a partir de los datos tomados por el analizador DRACMON 3 y la aplicación MDB-FRE, las cuales se contrastaron con los lineamientos de calidad definidos en IEEE Standards Association (2019) y los criterios establecidos en la norma ISO 50002:2014.

Los resultados permitieron identificar patrones de desbalance de cargas, posiblemente relacionados con la demanda de equipos y el flujo de personas. En contraste, las demás variables eléctricas se mantuvieron dentro de rangos considerados normales.

### 6.1 Descripción del Proyecto

La Universidad Uniremington se encuentra ubicada en el entorno del tradicional Parque Berrio de la Ciudad de Medellín con dirección Edificio Banco de Colombia, Calle 51 #49-59.



*Figura 3.* Ubicación geográfica de la Universidad Uniremington

Fuente. Google Maps

Para iniciar con el proceso de auditoria fue indispensable realizar un protocolo de visita y uno de instalación del equipo. El protocolo de instalación del equipo es una etapa fundamental de la implementación del sistema de monitoreo remoto, en el cual se incluye información general y técnica del equipo, herramientas y materiales requeridos para la instalación, verificaciones previas, procedimiento de instalación, alimentaciones auxiliares, conexiones de transformadores de corrientes, configuración inicial, pruebas de funcionamiento, recomendaciones generales, documentación y entrega. Para información más detallada del protocolo de instalación que se encuentra en el anexo A.

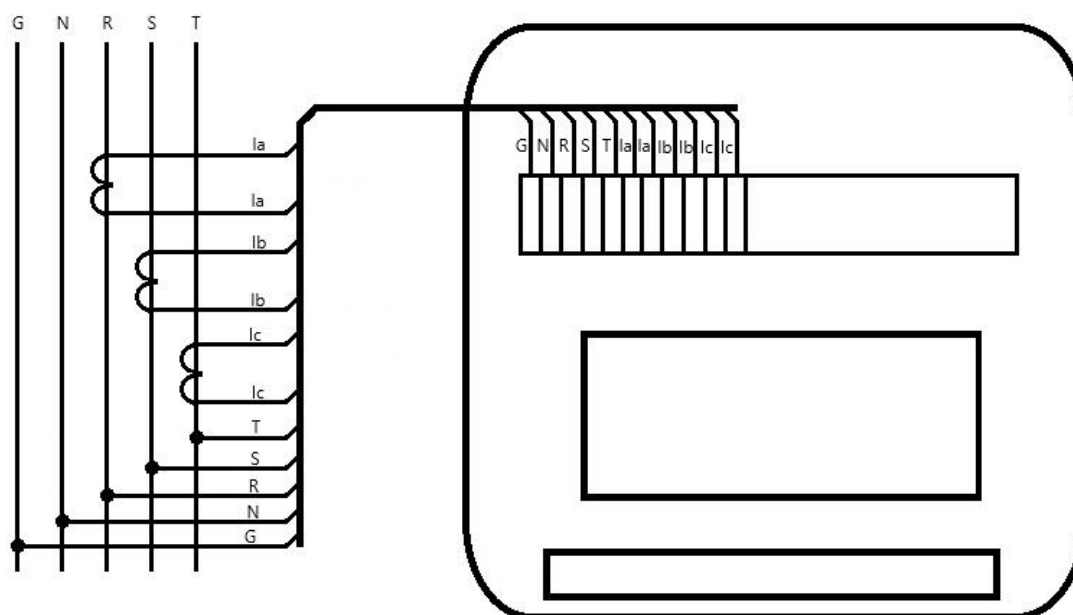
Se intento cuantificar y describir las cargas eléctricas del edificio, pero no se pudo tener acceso a todas las oficinas y otros lugares del edificio, por demoras en trámites de permisos y tiempo limitado para visitas.

Se identificó que en el edificio se vienen realizando cambios de equipos y tecnologías para hacer un manejo más eficiente de la energía, pero no fue posible conocer datos como fechas de instalación o de cambio, históricos de consumos, horas o hábitos de uso, etc.

Tampoco fue posible aislar circuitos o las cargas de más consumo, por lo tanto, la “auditoría” no se pudo hacer en todas sus etapas y se limitó a mediciones generales en la subestación y a un análisis de calidad de energía de la misma.

## 6.2 Herramienta de Medición

Para alcanzar los objetivos establecidos en esta auditoría, el equipo de trabajo en acompañamiento con los docentes encargados del proyecto realizó la entrega del sistema de medición, el cual se encargó de registrar los datos de consumo; dichos registros eran generados a partir de la señal digital emitida por el Gateway mediante tecnología IoT, permitiendo la recopilación de la información en una base de datos en Excel. En la Figura 4 se presenta el diagrama de conexión empleado para realizar el montaje correspondiente del equipo.



*Figura 4.* Diagrama de conexión del equipo de medida (medidor multifuncional)

Fuente. Semillero de investigación de valoración del desempeño energético en la I.U Pascual Bravo

De acuerdo al diagrama de montaje ilustrado anteriormente se obtuvo el resultado del montaje físico del cual se instaló en subestación de la Torre 2 de la Universidad Uniremington.



*Figura 5.* Resultado final de conexión del equipo de medida medidor multifuncional  
Fuente. Diseño Propio

A través de la instalación del medidor multifuncional en la Subestación de la Torre 2 de la Universidad Uniremington, se realizó el registro correspondiente del consumo energético, recopilando información durante veinticuatro días; para ello, el equipo fue configurado de manera que almacenara mediciones cada 10 minutos, obteniéndose un total de 2909 datos. Como se puede observar en el anexo M y a través del link que aparece en el anexo N.

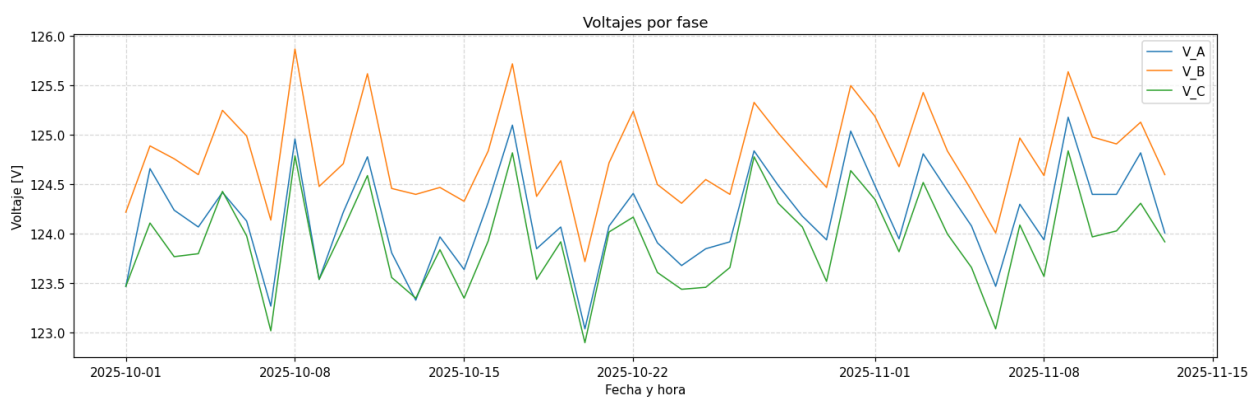
### **6.3 Análisis del comportamiento de la tensión**

El voltaje es una de las variables clave para determinar la estabilidad del suministro eléctrico y la calidad de energía. De acuerdo con IEEE Std 1159-2019, las variaciones permitidas para

sistemas de baja tensión deben mantenerse en rangos cercanos al valor nominal operativo (generalmente 120 V o 208/240 V en sistemas trifásicos).

En las mediciones realizadas, el voltaje por fase no se mantuvo estable durante todo el periodo de monitoreo. La Figura 6 muestra que las tres fases evaluadas (V\_A, V\_B y V\_C) permanecieron dentro de los rangos operativos aceptables, sin caídas de tensión ni picos que superaran los valores recomendados por IEEE Std 1159-2019, los cuales se estipulan dentro de un rango de variación de más o menos el 5% y el 10% del voltaje nominal. Este patrón estable confirmó que la subestación opera con niveles adecuados de calidad de energía, coherentes con sistemas recientemente repotenciados y con una correcta distribución de cargas internas.

Posiblemente las fluctuaciones menores reportadas pueden indicar variaciones en la carga con el suministro de la red o quizás anomalías que se registraron erróneamente de los datos.



*Figura 6.* Comportamiento del voltaje por fase

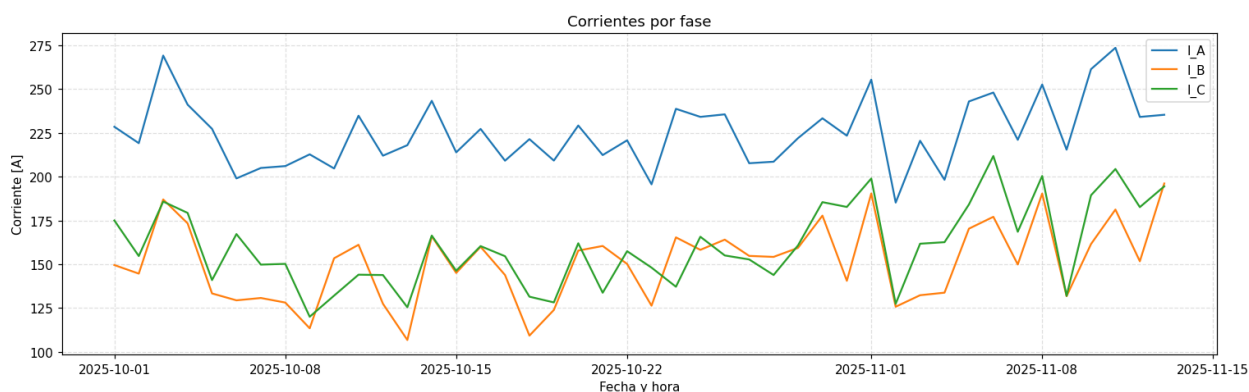
Fuente. Diseño Propio

## 6.4 Análisis de la corriente por fase

La corriente eléctrica es un indicador directo del nivel de carga que soporta cada circuito. En sistemas trifásicos, un comportamiento equilibrado entre fases es fundamental para evitar sobrecalentamiento o desbalances que puedan perjudicar equipos o aumentar costos operativos.

Como se observa en la Figura 7, La gráfica permite observar cómo se comportan las corrientes en las tres fases ( $I_A$ ,  $I_B$  e  $I_C$ ) entre los primeros días de octubre y mediados de noviembre de 2025. Cada curva corresponde a los valores de corriente medidos en amperios (A) a lo largo del tiempo. Se observa claramente que la fase A opera con valores de corriente más altos y constantes, aproximadamente entre 210 A y 260 A, mientras que las fases B y C se encuentran en rangos inferiores, alrededor de 120 A a 190 A.

Este desbalance sugiere que la carga eléctrica no está distribuida de manera uniforme entre las fases.



*Figura 7.* Comportamiento de la corriente por fase

Fuente. Diseño Propio

Las tres fases presentan variaciones a lo largo del periodo, lo cual es normal en sistemas donde la demanda cambia constantemente, sin embargo, es notable un ligero aumento en los valores de corriente hacia inicios de noviembre, probablemente asociado a un mayor consumo en la

instalación universitaria debido al alto flujo de estudiantes lo cual conlleva a la utilización de equipos como ascensores, iluminación, sistemas de aire acondicionado, equipos de cómputo y el alto flujo de consumo en zonas de comida.

### **6.5 Potencia activa (kW)**

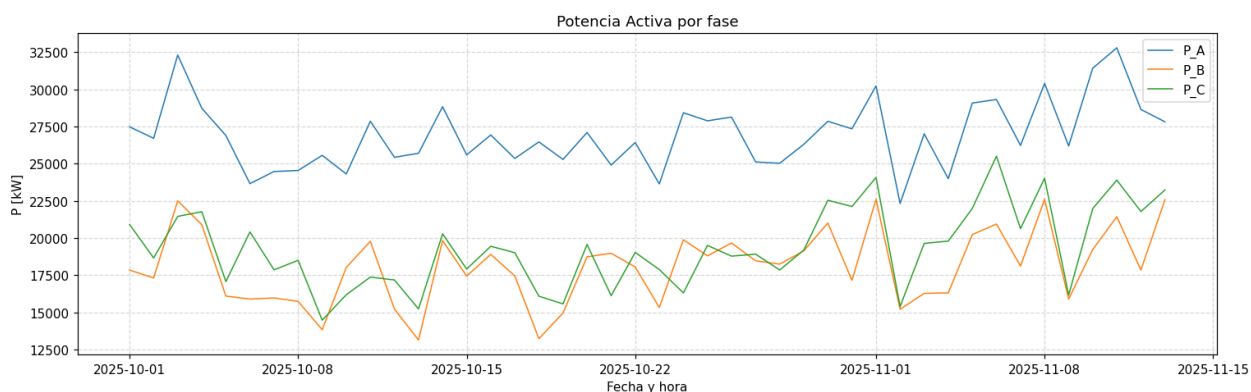
Potencia activa mide la energía efectivamente consumida por las cargas conectadas. Su comportamiento permite identificar los momentos de mayor demanda, posibles picos y la correspondencia entre actividades académicas y consumo energético.

En las mediciones obtenidas, Figura 8, la gráfica muestra cómo se comporta la potencia activa en cada una de las fases (P\_A, P\_B y P\_C), en el periodo comprendido entre inicios de octubre y mediados de noviembre de 2025. Los valores están representados en kW a lo largo del tiempo.

La fase A presenta los valores más altos durante todo el periodo, alcanzando valores máximos cercanos a 32.000 kW y mínimos alrededor de 25.000 kW.

Eso indica que la mayor parte de la carga del sistema está conectada a esta fase, lo cual confirma un desbalance en la distribución de potencia. Las fases B y C se comportan de manera más similar entre sí, con potencias entre 21.000 kW y 15.000 kW aproximadamente.

La fase C, en varios momentos, alcanza picos un poco más altos que la fase B, indicando variabilidad en el uso de cargas.



**Figura 8.** Comportamiento de la potencia activa por fase  
Fuente. Diseño Propio

La potencia activa del sistema presenta un comportamiento dinámico, con evidencia clara de una mayor carga asignada a la fase A. Esto confirma la necesidad de evaluar y posiblemente redistribuir cargas para mejorar la eficiencia energética y evitar esfuerzos excesivos sobre una sola fase del sistema impidiendo el calentamiento del conductor que conlleve a un deterioro precipitado.

## 6.6 Potencia reactiva (kVAr)

La potencia reactiva constituye uno de los factores más relevantes desde el punto de vista de penalizaciones tarifarias, ya que un exceso de energía reactiva puede generar recargos por parte del operador del servicio (como EPM).

De acuerdo con la Figura 9, esta gráfica muestra el comportamiento de la potencia reactiva en cada fase del sistema ( $Q_A$ ,  $Q_B$  y  $Q_C$ ), durante el periodo de octubre a mediados de noviembre de 2025. Los valores están en kVAR, lo que indica qué tanta energía está circulando sin ser realmente aprovechada para hacer trabajo útil.

La fase A presenta los valores más altos y constantes, generalmente entre 6.000 y 9.000 kVAR, incluso alcanzando un pico cercano a los 10.000 kVAR.

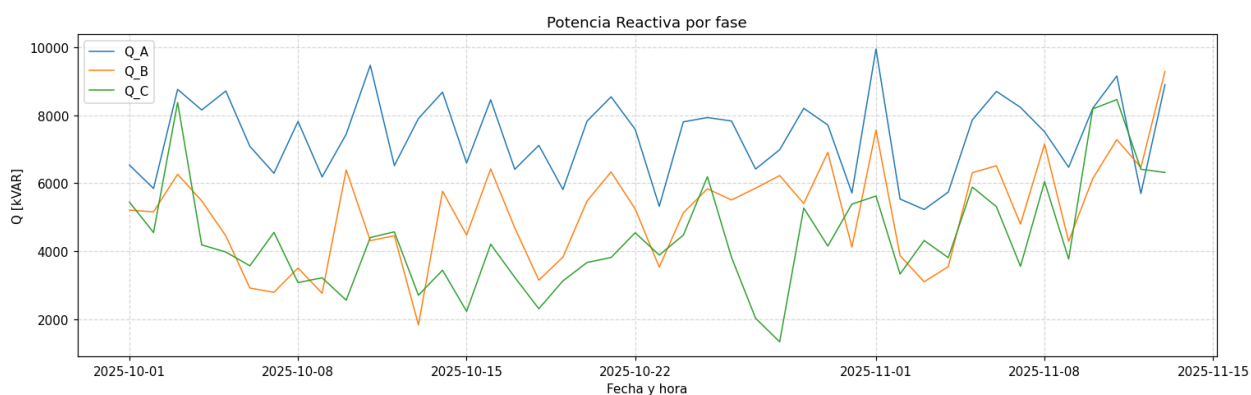
Esto confirma que la fase A también tiene mayor carga inductiva conectada, lo cual coincide con lo que se observó en la corriente y la potencia activa.

Las fases B y C muestran valores más bajos y mucho más variables, entre 3.000 y 7.000 kVAR aproximadamente.

En la fase C se observan caídas bruscas, que podrían relacionarse con desconexiones de cargas inductivas (motores, transformadores en vacío, etc.).

Hay momentos en los que las tres fases incrementan la potencia reactiva al mismo tiempo, lo que puede corresponder a:

- Arranques de equipos industriales.
- Mayor operación de motores.
- Cambios de turno o procesos con fuertes cargas inductivas.



*Figura 9.* Comportamiento de la potencia reactiva por fase

Fuente. Diseño Propio

Serrano-García y Rodríguez-Moreno (2021) señalan que la modernización de equipos y la sustitución de motores antiguos disminuye significativamente la presencia de potencia reactiva.

## 6.7 Potencia aparente (kVA) y factor de potencia

La potencia aparente integra la potencia activa y la reactiva, por lo que su lectura es útil para analizar la eficiencia global del sistema. El factor de potencia (FP), por su parte, es un indicador crítico para evaluar el desempeño energético y la relación entre energía útil y energía total consumida.

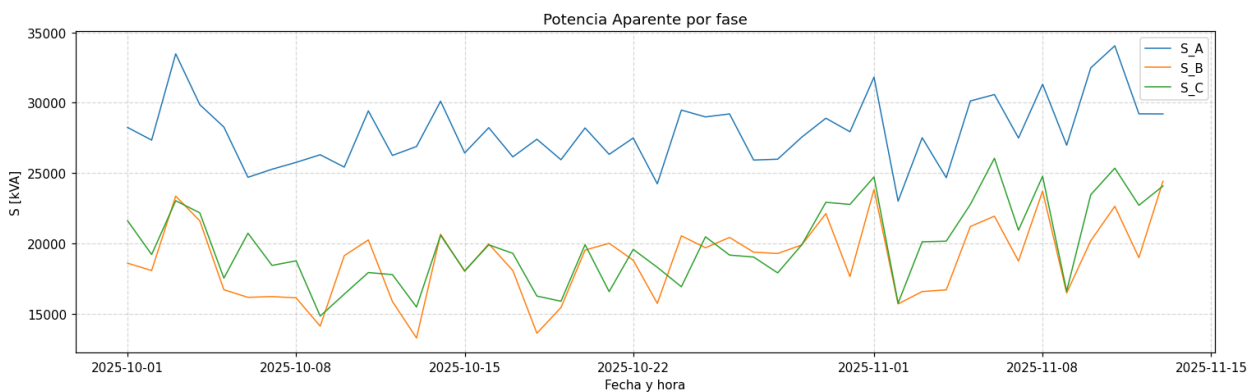
En la Figura 10, esta gráfica representa la potencia aparente por fase (S\_A, S\_B y S\_C) desde inicios de octubre hasta mediados de noviembre de 2025. La potencia aparente, medida en kVA, refleja la “capacidad total” que el sistema está utilizando para alimentar las cargas, combinando tanto la energía útil como la que no se aprovecha (reactiva).

La fase A muestra los valores más altos a lo largo de todo el periodo, moviéndose entre 28.000 y 35.000 kVA.

Esto confirma nuevamente que la mayor carga del sistema está asociada a esta fase, algo que ya se venía observando en las gráficas de corriente y potencia activa.

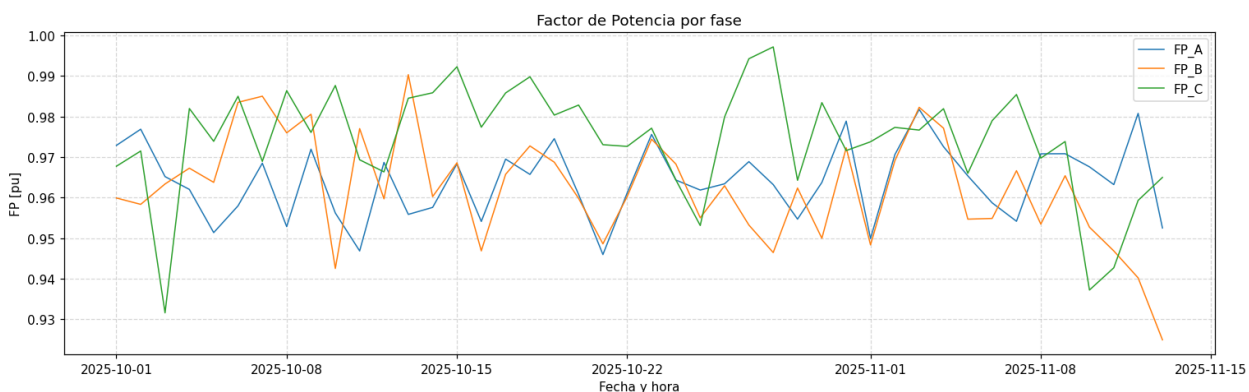
Esto implica riesgos como:

- ❖ Sobrecarga continua de equipos asociados a la fase A.
- ❖ Mayor calentamiento en conductores y transformadores.
- ❖ Menor eficiencia energética del sistema.
- ❖ Las fases B y C se comportan muy similar. Ambas se encuentran en un rango entre 15.000 y 23.000 kVA. Aunque varían bastante, no alcanzan los niveles de la fase A, mostrando una distribución menos exigente de la carga.



*Figura 10.* Comportamiento de la potencia aparente por fase  
Fuente. Diseño Propio

El factor de potencia, Figura 11, se mantuvo dentro de un rango adecuado, evidenciando que la energía suministrada se utiliza eficientemente. Según IEEE 1159, un FP superior a 0,9 indica un sistema saludable; en este caso, el comportamiento registrado se encuentra dentro de los límites óptimos, en consonancia con las cargas modernas instaladas en la institución.



*Figura 11.* Comportamiento del factor de potencia por fase  
Fuente. Diseño Propio

## 6.8 Relación voltaje–corriente por fase

La grafica de la Figura 12 muestra el comportamiento del voltaje y la corriente en la fase A durante el periodo estudiado. El voltaje se mantiene en un rango muy estable, alrededor de 123 V

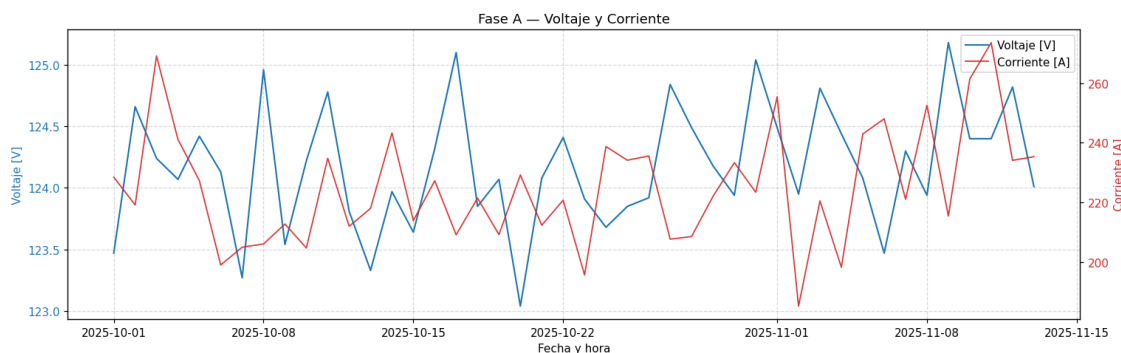
a 125.5 V, lo cual es una excelente señal, ya que indica que la red está soportando correctamente la demanda sin presentar caídas preocupantes.

Por otro lado, la corriente tiene una variación mucho más marcada, moviéndose entre 200 A y 265 A. Esto es completamente normal en instalaciones donde el consumo cambia según los procesos que estén activos en cada momento. Es decir, cuando los equipos se encienden o se desconectan, inmediatamente se ve reflejado en la corriente.

Es importante observar la relación entre ambas variables:

Cuando la corriente sube rápidamente, el voltaje tiende a bajar un poco, y cuando la corriente baja, el voltaje se recupera. Esto ocurre porque a mayor carga, mayor caída de tensión en los conductores. Aun así, en este caso la red responde muy bien y mantiene el voltaje dentro de los valores esperados.

También se notan algunos picos altos de corriente, especialmente a inicios y mediados de noviembre, que podrían estar relacionados con momentos de mayor flujo de estudiantes y uso de equipos de gran potencia.



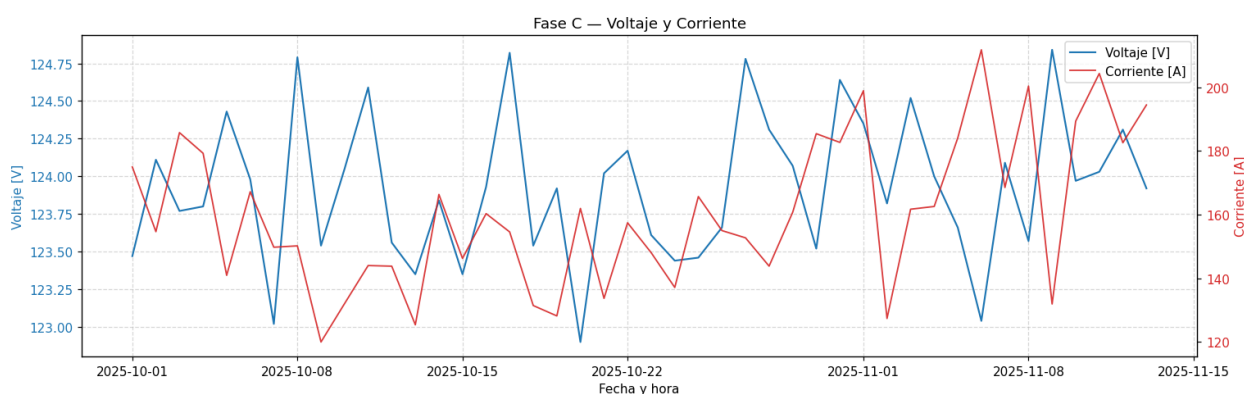
*Figura 12.* Relación voltaje-corriente en la fase A

Fuente. Diseño Propio

En la Figura 13 se observa el comportamiento del voltaje y la corriente en la fase C durante el periodo evaluado. Igual que en las otras fases, el voltaje se mantiene muy estable, oscilando

aproximadamente entre 123.0 V y 124.8 V, lo cual indica que el sistema está respondiendo correctamente a los cambios de carga sin generar variaciones peligrosas.

La corriente, por su parte, presenta cambios más notorios, moviéndose entre 120 A y 200 A. Estos saltos reflejan los distintos niveles de demanda eléctrica a medida que los equipos se conectan o desconectan a lo largo del tiempo. Es decir, cuando en la instalación se usan más equipos, la corriente sube; cuando baja el consumo, la corriente disminuye naturalmente.



*Figura 13.* Relación voltaje-corriente en la fase C

Fuente. Diseño Propio

Después del análisis realizado con las gráficas obtenidas se evidenciaron algunas oportunidades para mejorar la eficiencia del sistema eléctrico, que también sacó a la luz fallas notables en el balanceo de las cargas de la subestación. El análisis de los datos revela varias situaciones inestables con números raros en voltajes, potencia activa y aparente y también energía reactiva. De este modo, los resultados obtenidos de las variables eléctricas dan pie a un plan de optimización energética preciso, es decir, dirigido a las falencias encontradas que estén acorde a la norma ISO 50002. Este plan pretende mejorar el factor de potencia, balancear las cargas para bajar los picos de demanda, modernizar luces, fortalecer el mantenimiento preventivo de los motores y el sistema de climatización a pesar de que la magnitud precisa de los ahorros necesita ser comprobados al tener datos completamente verificados, se prevé que estas medidas podrían

ocasionar significativas reducciones de energía y mejorando considerablemente la eficiencia del sistema.

El triunfo del proceso reside, para empezar, en arreglar las fallas encontradas en el análisis de la información arrojada por el equipo de medición. Después de esta fase, se podrán hacer análisis económicos más cuidadosos incluyendo cálculos del retorno de la inversión y proyecciones de ahorro y establecer indicadores de rendimiento energético que permitirán verificar sin parar la eficiencia de las acciones tomada.

Un punto a favor es el hecho que en la Subestación de la Torre 2 de la Universidad Uniremington donde se instaló el equipo ya cuentan con la implementación de sistemas que fomentan el ahorro energético tales como sistema de iluminación Led en todo el Edificio, adicionalmente ya han empezado con el proceso de migración de tecnología inverter en los equipos del sistema de aire acondicionado. Esta información se puede corroborar en los anexos F, G, H, I, J, K, L del presente informe.

Identificación de oportunidades de mejora: Con base en los registros obtenidos se realizaron análisis comparativos y se evaluaron las tendencias energéticas de los circuitos monitoreados.

Entre los principales hallazgos se identificó que:

- El voltaje se mantuvo cerca de los 120 V, dentro de los rangos normativos.
- Las corrientes por fase mostraron un sistema desbalanceado.
- La potencia reactiva fue mínima, lo que reduce riesgos de penalización.
- La potencia activa se mantuvo acorde con la operación del bloque académico.
- El factor de potencia se mantuvo dentro de niveles adecuados ( $>0,90$ ).

Debido a que la institución había realizado una repotenciación reciente y avances en eficiencia energética —como migración a luminarias LED y sustitución de aires acondicionados antiguos—

, las oportunidades de mejora fueron limitadas. Este comportamiento técnico coincide con estudios sobre modernización energética en campus universitarios (González et al., 2022).

Si bien el objetivo específico planteaba generar un plan con cinco recomendaciones técnicas, la estabilidad de los datos y las mejoras ya implementadas dejaron un margen reducido para proponer acciones adicionales sin incurrir en redundancias.

## 7. Conclusiones

El análisis de las distintas variables del sistema eléctrico muestra que, aunque la instalación mantiene una buena calidad de energía, se presentan señales claras de desbalance de cargas entre fases que es necesario considerar para mejorar la eficiencia y reducir riesgos operativos.

- Corrientes por fase

La fase A trabaja con corrientes más altas que las fases B y C, lo que indica un desbalance marcado en la distribución de cargas. Esto incrementa el riesgo de sobrecalentamiento, mayores pérdidas eléctricas.

- Potencia Activa por fase

La potencia activa refleja la misma situación: la fase A soporta la mayor parte de la demanda, mientras que B y C se mantienen en niveles inferiores. Esto confirma que el consumo energético del sistema no está uniformemente distribuido, afectando la eficiencia del sistema eléctrico.

- Potencia Reactiva por fase

Se observa un consumo de reactivos considerable, especialmente en la fase A, lo que puede impactar negativamente el factor de potencia y la capacidad útil del sistema. Aunque el comportamiento es estable, la instalación podría beneficiarse al compensar las cargas entre fases para disminuir pérdidas y evitar penalizaciones.

- Potencia Aparente por fase

La fase A presenta los valores más altos, lo que evidencia que está cerca de su límite operativo, mientras que las fases B y C cuentan con margen disponible de carga. Esto refuerza la necesidad de realizar balanceo de cargas.

- Factor de Potencia por fase

En general, el sistema mantiene un excelente factor de potencia (0.94–0.99), lo cual indica un uso eficiente de la energía. Sin embargo, existen momentos puntuales de caída, principalmente en la fase B, que deben ser monitoreados para evitar efectos en la eficiencia y en la calidad de energía.

- Voltajes por fase

Los niveles de voltaje se mantienen estables y dentro de rangos adecuados durante todo el periodo analizado. A pesar de las variaciones de carga, no se observan sobretensiones ni caídas significativas, lo que demuestra una red robusta y regulada.

- Relación Voltaje–Corriente por fase

Las fluctuaciones en carga generan pequeñas variaciones normales en el voltaje, pero en ningún caso comprometen la calidad del suministro. El sistema responde adecuadamente a los cambios en la demanda de energía.

En conjunto, la red eléctrica estudiada muestra un comportamiento estable, con voltajes y factores de potencia dentro de los rangos previstos. Sin embargo, se identifica un desbalance relevante en la fase A, que afecta las corrientes y las potencias asociadas. Por ello, se recomienda realizar un balance de cargas y revisar la compensación reactiva, con el fin de mejorar la eficiencia energética y cuidar la vida útil de los equipos.

## 8. Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos, se proponen las siguientes recomendaciones para mejorar la eficiencia energética de la subestación. Las sugerencias tienen en cuenta el estado actual de la instalación, lo que se observó durante el monitoreo y algunas buenas prácticas señaladas en normas internacionales. El objetivo es orientar decisiones que ayuden a mantener y, cuando sea posible, mejorar el desempeño del sistema eléctrico.

- Continuar con el programa institucional de migración a luminarias LED, garantizando que las pocas luminarias fluorescentes restantes sean reemplazadas, con el fin de mantener bajos niveles de potencia reactiva y reducir costos operativos.
- Mantener el proceso de sustitución de aires acondicionados antiguos, priorizando aquellos equipos con tecnologías previas a R410A o inferior eficiencia SEER, con el fin de mejorar el desempeño energético general.
- Ampliar el tiempo de monitoreo IoT en futuras auditorías, extendiéndolo a más circuitos y periodos académicos completos (inicio de semestre, semanas de exámenes, vacaciones), para obtener patrones comparativos más robustos.
- Integrar el sistema IoT a una plataforma institucional permanente, que permita generar alertas automáticas, reportes periódicos y análisis comparativos anuales en coherencia con ISO 50001.
- Formalizar un plan anual de calidad de energía que incluya revisiones periódicas de voltaje, corriente, armónicos y factor de potencia, siguiendo las recomendaciones de IEEE 1159 y complementando los mantenimientos preventivos.

- Establecer un programa de capacitación interna para el personal técnico y estudiantil sobre uso de sistemas IoT en energía, con el fin de fortalecer competencias en monitoreo, interpretación de datos y eficiencia energética.
- Implementar auditorías energéticas periódicas conforme a ISO 50002 para verificar que el desempeño estable de la subestación se mantenga en el tiempo y para detectar oportunamente cualquier desviación futura.
- Documentar y conservar todos los registros históricos obtenidos mediante el analizador IoT, dado que constituyen evidencia clave para comparaciones longitudinales, decisiones de inversión y cumplimiento normativo.

La implementación gradual de estas recomendaciones permitirá consolidar una gestión energética más robusta, transparente y alineada con las tendencias contemporáneas de sostenibilidad. De la misma manera, contribuirá a que la institución mantenga el desempeño positivo evidenciado en esta auditoría y a que continúe posicionándose como un referente regional en prácticas de eficiencia energética y uso responsable de los recursos eléctricos.

## 9. Referencias bibliográficas

- Agencia de Sostenibilidad Energética. (2018). Guía de implementación de sistemas de gestión de la energía basados en ISO 50001. Agencia de Sostenibilidad Energética de Chile.  
<https://www.agenciasostenibilidadenergetica.cl>
- Agencia Internacional de Energía. (2021). Energy efficiency 2021. International Energy Agency.  
<https://doi.org/10.1787/6d86d18c-en>
- Barragán Charry, D. (2022). Internet de las cosas (IoT) aplicado a la eficiencia energética: Retos y oportunidades en el contexto colombiano. *Revista Facultad de Ingeniería*, 31(2), 45–59.  
<https://doi.org/10.19053/01211129.v31.n2.2022.13721>
- Bollen, M. H., & Hassan, F. (2011). Power quality: Interaction of distributed generation and the grid. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118029022>
- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2020). Heat and mass transfer: Fundamentals & applications. McGraw Hill.
- Congreso de la República de Colombia. (2001). Ley 697 de 2001: Por la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía y se promueve la utilización de energías alternativas. Diario Oficial No. 44.509.  
[http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_0697\\_2001.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0697_2001.html)
- Das, J. C. (2017). Power system analysis: Short-circuit load flow and harmonics. CRC Press.  
<https://doi.org/10.1201/9781315215593>
- González, J., Pérez, A., & Ramírez, C. (2022). Energy management systems in higher education institutions: Implementation of ISO 50001 in university campuses. *Energy Reports*, 8, 10432–10441. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.08.178>

- González, J., Rodríguez, P., & Sánchez, M. (2023). Internet of Things applications for sustainable energy management in universities. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 55, 102960. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.102960>
- IEEE Standards Association. (2019). IEEE Std 1159-2019: Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2019.8796486>
- International Organization for Standardization. (2014). ISO 50002:2014. Energy audits — Requirements with guidance for use. ISO. <https://www.iso.org/standard/60061.html>
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 50001:2018. Energy management systems — Requirements with guidance for use. ISO. <https://www.iso.org/standard/69426.html>
- Manzoli, J., & Silva, M. (2021). Smart monitoring in higher education buildings: Energy efficiency perspectives. *Energy and Buildings*, 236, 110771. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110771>
- Plienis, A., Costa, R., & Fernandes, M. (2023). Digital technologies and continuous monitoring in energy audits: New approaches for efficiency in educational institutions. *Journal of Cleaner Production*, 397, 136501. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136501>
- Rodríguez-Pabón, L., Martínez, M., & Torres, J. (2022). IoT-based monitoring for energy audits in university campuses. *Sensors*, 22(4), 1435. <https://doi.org/10.3390/s22041435>
- Rodríguez-Pabón, M., Herrera, J., & Castaño, L. (2022). Adaptive monitoring methodologies for IoT-based energy audits in large infrastructures. *Energy and Buildings*, 259, 111849. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111849>

- Ruiz, J., & Martínez, L. (2022). Impacto de la norma ISO 50001 en la reducción del consumo energético: Una revisión sistemática. *Revista Iberoamericana de Energía*, 13(1), 45–62. <https://doi.org/10.22201/iberoener.2022.13.1.45>
- Ruiz, J., Rodríguez, L., & Pattin, M. (2024). Proyectos de uso racional y eficiente de energía (UREE) en Colombia: Retos y oportunidades. *Revista de Energía y Regulación*, 10(1), 23–40. <https://doi.org/10.1016/j.renreg.2024.01.004>
- Serrano-García, D., & Rodríguez-Moreno, F. (2021). Implementación de sistemas de gestión de energía basados en ISO 50001 en instituciones educativas. *Revista Latinoamericana de Energía*, 28(2), 77–93. <https://doi.org/10.22201/relaener.2021.28.2.77>
- Serrano-García, L., & Rodríguez-Moreno, A. (2021). Modernization of energy systems in academic buildings: Impacts on reactive power and efficiency. *Renewable Energy*, 179, 435–447. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.07.130>
- Wilamowski, B., & Irwin, J. (2018). *Power electronics and energy conversion systems*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315220146>
- López, J. C. (2017). Criterios para la realización de una Auditoría Energética en usuarios Oficiales, Comerciales y Residenciales de Colombia. Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/60212>
- PCE Instruments. (s.f.). Power Quality Analyzer PCE-PA6000 – Product description. PCE Instruments. Recuperado de [https://www.pce-instruments.com/english/measuring-instruments/test-meters/power-quality-analyser-power-analyzer-pce-instruments-power-quality-analyzer-pce-pa6000-det\\_2208271.htm](https://www.pce-instruments.com/english/measuring-instruments/test-meters/power-quality-analyser-power-analyzer-pce-instruments-power-quality-analyzer-pce-pa6000-det_2208271.htm)
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 14067: Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines. ISO. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/71206.html>

Schneider Electric. (2018). Current transformers: functions, types and applications. Schneider Electric Technical Guide. Recuperado de <https://www.se.com>

## 10. Anexos

### Anexo A Protocolo de instalación del equipo

#### Procedimiento de instalación y conexión de medidor de energía

##### 1. Instalación inicial del analizador de redes

- Se instalará una caja hermética en la subestación eléctrica de la Torre 2 de la Universidad Uniremington, la cual alojará el analizador de redes. Este dispositivo permitirá medir y supervisar en tiempo real los parámetros eléctricos de la subestación. Una vez fijada la caja en un lugar accesible y seguro, se procederá a realizar las conexiones de alimentación y señal. Los conductores de voltaje de cada fase (L1, L2, L3 y neutro) serán llevados a las clemas de entrada ubicadas en la parte superior del analizador, garantizando un cableado ordenado y debidamente identificado. De igual forma, los transformadores de corriente (TC) se conectarán a sus respectivos bornes, cuidando la polaridad y orientación correcta de cada secundario para obtener mediciones precisas.

##### 2. Verificación inicial

- Revise cuidadosamente que el medidor esté en buen estado físico, sin fisuras, bornes dañados o piezas flojas. Un daño en la carcasa puede comprometer la seguridad.
- Confirme que dispone del manual técnico, los accesorios de montaje, conectores adecuados y etiquetas para marcar cada conductor.
- Reúna las herramientas necesarias: destornilladores aislados, multímetro calibrado, guantes dieléctricos, bridas plásticas y cinta de marcación. Esto evitará interrupciones durante la instalación.

##### 3. Condiciones de seguridad

- Desenergicé completamente el tablero eléctrico antes de manipular conductores. Nunca confíe solo en el interruptor: verifique siempre con instrumento de medición.
- Con el multímetro confirme la ausencia de tensión en las fases L1, L2, L3 y neutro.
- Señalice la zona de trabajo colocando candado o etiquetas de seguridad (LOTO: Lock Out Tag Out) para evitar reenergización accidental.
- Utilice siempre los Elementos de Protección Personal (EPP): guantes aislantes, gafas de seguridad, casco dieléctrico y calzado aislante.

##### 4. Instalación física

- Monte el medidor en el riel DIN o en la superficie designada, asegurando que quede nivelado y bien fijado.
- Prepare los conductores: corte al largo adecuado, pele con la herramienta correcta y coloque terminales prensados para evitar falsos contactos.

- Asegúrese de dejar espacio para ventilación y acceso a las borneras, facilitando futuras revisiones.

#### 5. Conexión de entradas de tensión

- Conecte las fases siguiendo el esquema eléctrico:
  - L1 → borne R
  - L2 → borne S
  - L3 → borne T
  - Neutro (N) → borne N
- Ajuste firmemente los tornillos de las borneras con el par de apriete recomendado por el fabricante.
- Verifique que el calibre de los conductores sea el adecuado según la corriente de carga y la norma técnica aplicable (RETIE/IEC).

#### 6. Conexión de transformadores de corriente (TC)

- Coloque cada TC en la fase correspondiente, asegurándose de respetar la **orientación de la flecha hacia la carga**, lo cual garantiza que la medición de corriente tenga el sentido correcto.
- Conecte los cables secundarios de los TC al medidor:
  - TC de fase L1 → **Ia+** / **Ia-**
  - TC de fase L2 → **Ib+** / **Ib-**
  - TC de fase L3 → **Ic+** / **Ic-**
- Mantenga los secundarios de los TC **cortocircuitados temporalmente** hasta el momento de conectarlos al medidor, para evitar que generen tensiones peligrosas.
- Identifique con etiquetas o código de colores cada par de conductores, garantizando trazabilidad y evitando cruces en la conexión.

#### 7. Señales de control y comunicación

- Si el medidor dispone de salidas digitales o de relé, conecte los cables a las borneras correspondientes. Ejemplos: salida de alarma por sobrecarga o impulsos de energía (kWh).
- En caso de comunicación con sistemas de supervisión, conecte el puerto según corresponda: **RS-485**, **Ethernet**, **Modbus TCP**, **BACnet** u otro estándar.
- Asegúrese de respetar la polaridad de los pares diferenciales (A/B en RS-485) y de mantener buena calidad de cableado para evitar ruido eléctrico.

#### 8. Energización y prueba

- Retire los cortocircuitos temporales de los secundarios de los TC antes de energizar.
- Re energice el tablero verificando que no existan chispas o ruidos anormales.

- Confirme que el medidor enciende correctamente y que en su pantalla se visualizan parámetros básicos como voltaje, corriente y potencia.
- Compare las lecturas de tensión y corriente con un multímetro o pinza amperimétrica externa para validar la instalación.

## 8. Configuración

- Acceda al menú local del medidor o a la aplicación móvil (si dispone de conexión Bluetooth/WiFi).
- Configure la relación de TC (ej. 100/5 A, 200/5 A), el tipo de conexión trifásica (3 hilos o 4 hilos) y los parámetros de comunicación.
- Si el medidor se conecta a un sistema SCADA o BMS, configure dirección de red, protocolo y velocidad de transmisión (baud rate).

## 9. Validación final

- Compruebe que los valores mostrados en la pantalla coincidan con los del sistema de supervisión (SCADA o aplicación móvil).
- Realice un registro detallado: fecha, ubicación, número de serie del medidor, relación de TC configurada, tipo de conexión y observaciones de la instalación.
- Entregue este registro al cliente o a la persona responsable de mantenimiento para futuras referencias.

## 9. Diagrama en bloques

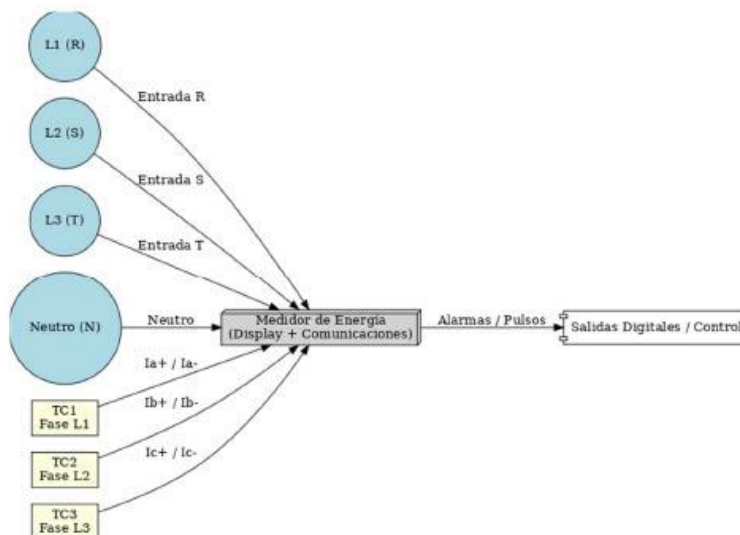


Ilustración 1. Diagrama en bloques

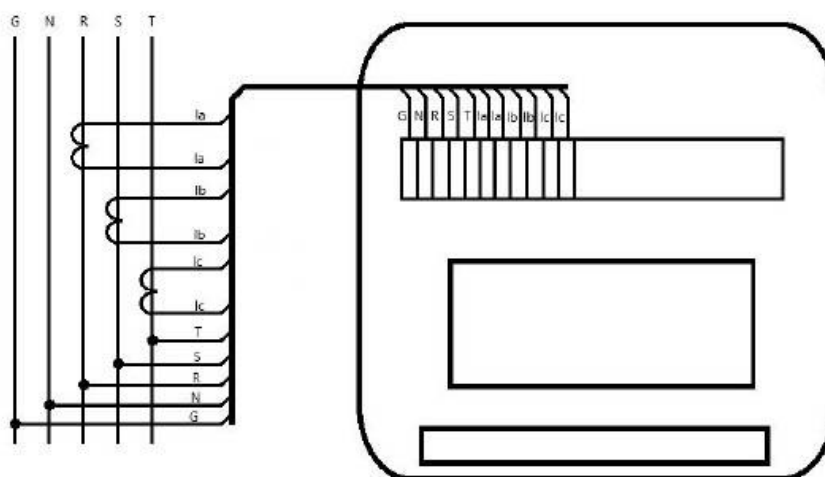
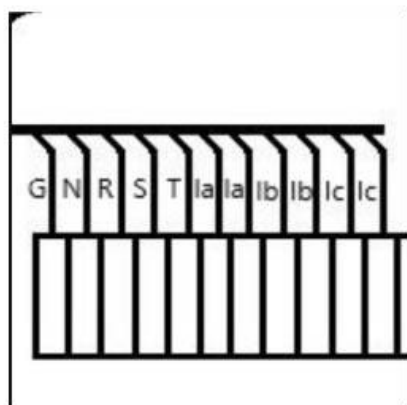


Ilustración 2 Esquema conexión



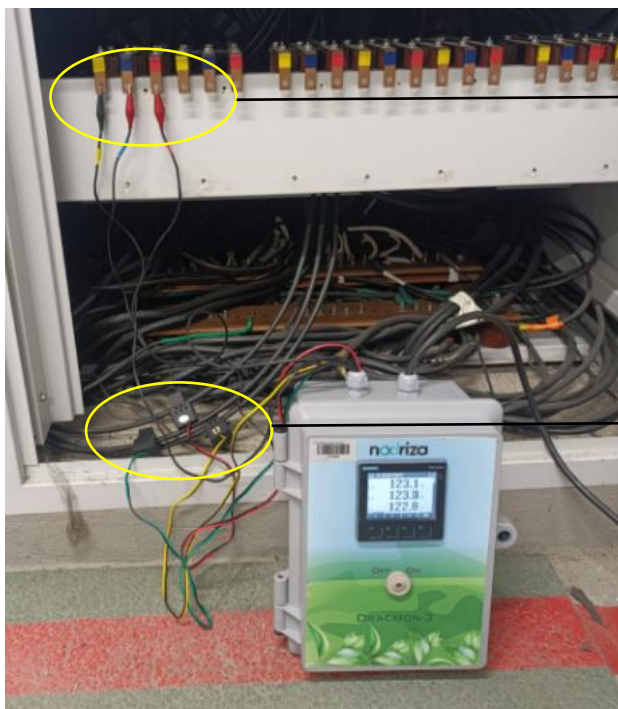
Nota: cualquier inquietud comunicase con el Sr Jhon Fredy Isaza, al número telefónico 3012202843.

**Anexo B** Se pone en funcionamiento el medidor de energía Dracmon-3.



Se conecta el analizador de red en la subestación de la torre 2, de la Universidad Uniremington.

**Anexo C** Transformadores de corrientes en funcionamiento



Voltajes conectados al barraje como referencia de la medición

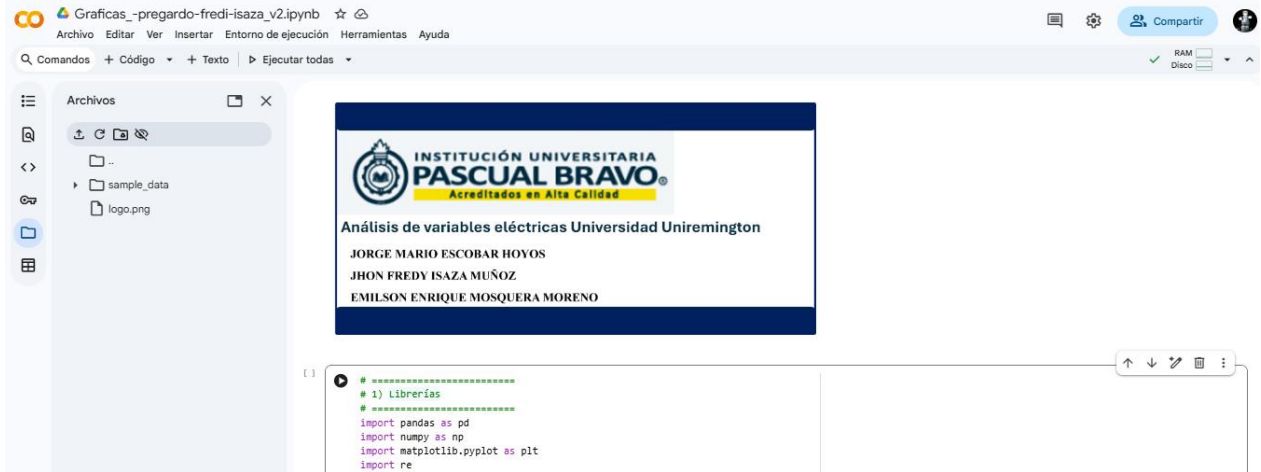
Transformadores de corriente conectados a las fases de la subestación

## Anexo D Reporte de datos entregados por el medidor.

Timestamp	V_A	V_B	V_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
1/10/2025	123.47	124.22	123.47	228.44	149.52	174.98	0.97	0.96	0.97	28248.41	18595.09	21614.35	27482.27	17849.53	20916.96	6534.32	5212.63	5446.2
2/10/2025	124.66	124.89	124.11	219.1	144.63	154.66	0.98	0.96	0.97	27344.97	18068.22	19209.97	26712.62	17315.37	18662.46	5846.63	5161.24	4553.64
3/10/2025	124.24	124.76	123.77	269.09	186.97	185.76	0.97	0.96	0.93	33482.14	23361.74	23034.52	32316.33	22505.85	21458.16	8758.34	6265.6	8374.74
4/10/2025	124.07	124.6	123.8	241.09	173.32	179.28	0.96	0.97	0.98	29866.60	21606.17	22173.94	28732.32	20898.79	21774.34	8152.76	5483.36	4190.68
5/10/2025	124.42	125.25	124.43	227.28	133.32	140.94	0.95	0.96	0.97	28274.58	16705.03	17532.21	26899.36	16099.67	17074.38	8710.7	4456.32	3980.43
6/10/2025	124.13	124.99	123.98	198.97	129.38	167.2	0.96	0.98	0.98	24700.55	16163.96	20724.87	23662.24	15897.33	20413.97	7086.28	2923.77	3576.3
7/10/2025	123.27	124.14	123.02	204.94	130.72	149.77	0.97	0.99	0.97	25274.23	16219.88	18434.87	24477.93	15976.84	17862.4	6294.26	2797.34	4558.41
8/10/2025	124.96	125.87	124.79	206.01	128.11	150.2	0.95	0.98	0.99	25761.61	16126.20	18760.49	24546.68	15738.94	18505.32	7817.98	3512.86	3083.68
9/10/2025	123.54	124.48	123.54	212.71	113.42	120.01	0.97	0.98	0.98	26305.00	14113.31	14830.47	25567	13839.01	14475.71	6187.22	2768.99	3224.4
10/10/2025	124.22	124.71	124.05	204.65	153.39	132.08	0.96	0.94	0.99	25425.79	19125.87	16390.74	24312.1	18026.39	16188.55	7442.61	6391.27	2566.57
11/10/2025	124.78	125.62	124.59	234.76	161.09	144.02	0.95	0.98	0.97	29424.54	20247.34	17927.09	27860.34	19782.01	17377.26	9466	4315.9	4405.85
12/10/2025	123.81	124.46	123.56	211.95	127.43	143.82	0.97	0.96	0.97	26257.09	15864.51	17780.85	25434.86	15225.11	17182.5	6519.4	4458.54	4573.87
13/10/2025	123.33	124.4	123.35	217.95	106.74	125.41	0.96	0.99	0.98	26890.84	13272.83	15473.75	25703.78	13144.53	15234.27	7901.47	1841.04	2711.84
14/10/2025	123.97	124.47	123.84	243.26	165.93	166.34	0.96	0.96	0.99	30112.58	20653.10	20577.09	28835.27	19832.11	20286.26	8677.26	5765.25	3447.35
15/10/2025	123.64	124.33	123.35	213.84	145.03	146.27	0.97	0.97	0.99	26432.19	18009.50	18054.76	25595.68	17443.7	17915.49	6597.09	4478.76	2238.18
16/10/2025	124.32	124.84	123.93	227.22	159.94	160.33	0.95	0.95	0.98	28230.18	19965.77	19899.43	26934.89	18904.67	19449.11	8453.08	6422.26	4209.43
17/10/2025	125.1	125.72	124.82	209.09	143.83	154.57	0.97	0.97	0.99	26153.79	18070.29	19293.12	25356.07	17451.36	19019.6	6410.18	4688.86	3237.16
18/10/2025	123.85	124.38	123.54	221.39	109.24	131.46	0.97	0.97	0.99	27409.06	13606.69	16254.80	26469.53	13235.9	16089.15	7114.82	3154.84	2314.68
19/10/2025	124.07	124.74	123.92	209.16	123.89	128.2	0.97	0.97	0.98	25950.83	15443.24	15885.62	25290.22	14960.48	15573.59	5818.1	3831.14	3133.06
20/10/2025	123.04	123.72	122.9	229.16	157.78	161.95	0.96	0.96	0.98	28209.63	19524.48	19910.98	27103.06	18739.82	19569.14	7823.5	5479.45	3673.65
21/10/2025	124.08	124.72	124.02	212.3	160.41	133.71	0.95	0.95	0.97	26332.85	20006.67	16571.32	24909.53	18978.23	16124.81	8540.17	6331.94	3820.88
22/10/2025	124.41	125.24	124.17	220.72	150.14	157.44	0.96	0.96	0.97	27495.65	18802.74	19572.07	26428.72	18056.18	19036.49	7585.07	5245.71	4547.29
23/10/2025	123.91	124.5	123.61	195.6	126.32	148.06	0.98	0.97	0.98	24234.62	15732.74	18300.98	23642.95	15330.36	17882.41	5322.39	3535.4	3891.7
24/10/2025	123.68	124.31	123.44	238.7	165.32	137.14	0.96	0.97	0.96	29482.12	20539.04	16914.79	28430.53	19887.31	16311.48	7803.87	5132.92	4477.25
25/10/2025	123.85	124.55	123.46	234.1	158.2	165.68	0.96	0.96	0.95	28995.04	19689.75	20468.62	27889.3	18804.09	19508.98	7930.91	5838.88	6193.87
26/10/2025	123.92	124.4	123.66	235.54	164.02	155	0.96	0.96	0.98	29208.05	20425.10	19170.78	28139.13	19667.92	18785.44	7829.42	5509.77	3824.38
27/10/2025	124.84	125.33	124.78	207.64	154.74	152.72	0.97	0.95	0.99	25927.47	19376.56	19028.76	25120.48	18470.34	18919.61	6418.34	5856.42	2035.2
28/10/2025	124.49	125.02	124.31	208.51	154.18	143.84	0.96	0.95	1.00	25989.69	19281.78	17904.12	25033.46	18248.98	17853.7	6984.99	6225.88	1342.66
29/10/2025	124.18	124.74	124.07	221.96	159.34	160.74	0.95	0.96	0.96	27557.81	19890.23	19903.42	26309	19141.48	19192.29	8201.79	5406	5272.77
30/10/2025	123.94	124.47	123.52	233.29	177.73	185.43	0.96	0.95	0.98	28903.01	22120.80	22922.84	27855.14	21013.77	22543.01	7712.03	6910.22	4155.61
31/10/2025	125.04	125.5	124.64	223.36	140.53	182.69	0.98	0.97	0.97	27939.65	17643.49	22772.56	27349.21	17154.66	22125.88	5713.56	4124.35	5388.42
1/11/2025	124.49	125.19	124.35	255.37	190.38	198.92	0.95	0.95	0.97	31826.28	23840.47	24724.52	30231.93	22608.56	24076	9946.98	7564.46	5625.65
2/11/2025	123.95	124.68	123.82	185.18	125.73	127.4	0.97	0.97	0.98	23002.48	15695.41	15747.27	22326.01	15210.09	15390.17	5537.45	3872.85	3334.53
3/11/2025	124.81	125.43	124.52	220.48	132.3	161.71	0.98	0.98	0.98	27515.18	16576.53	20113.86	27013.53	16282.81	19644.42	5230.13	3106.69	4320.19
4/11/2025	124.44	124.84	124	198.2	133.76	162.57	0.97	0.98	0.98	24672.74	16694.79	20160.78	23995.82	16313.06	19796.6	5739.76	3549.68	3814.68
5/11/2025	124.08	124.44	123.66	242.91	170.29	184.1	0.97	0.95	0.97	30128.08	21199.40	22771.87	29084.36	20238.68	21997.48	7861.36	6309.56	5888.04
6/11/2025	123.47	124.01	123.04	247.99	177.06	211.77	0.96	0.95	0.98	30585.45	21934.99	26055.80	29322.4	20944.83	25508.26	8698.65	6515.98	5313.51
7/11/2025	124.3	124.97	124.09	221.01	149.86	168.53	0.95	0.97	0.99	27495.26	18742.69	20939.79	26234.92	18117.28	20634.85	8229.1	4801.31	3560.58
8/11/2025	123.94	124.59	123.57	252.56	190.33	200.37	0.97	0.95	0.97	31317.91	23713.39	24773.74	30403.57	22609.66	24024.04	7512.28	7150.41	6048.43
9/11/2025	125.18	125.64	124.84	215.37	131.75	131.94	0.97	0.97	0.97	26983.33	16473.54	16604.18	26196.17	15903.47	16169.81	6470	4296.19	3773.07
10/11/2025	124.4	124.98	123.97	261.33	161.51	189.36	0.97	0.95	0.94	32480.69	20184.74	23460.23	31427.96	19230.01	21986.84	8202.36	6134.37	8182.99
11/11/2025	124.4	124.91	124.03	273.53	181.2	204.33	0.96	0.95	0.94	34052.58	22640.69	25352.53	32799.77	21437.16	23899.35	9151.68	7283.47	8460.01
12/11/2025	124.82	125.13	124.31	234.06	151.67	182.58	0.98	0.94	0.96	29215.00	18983.87	22711.25	28653.62	17848.54	21787.22	5699.65	6466.6	6412.33
13/11/2025	124.01	124.6	123.92	235.3	196.08	194.45	0.95	0.92	0.96	29207.52	24419.39	24082.47	27820.19	22585.53	23239.09	8894.72	9284.43	6317.45

## Anexo E Libro en Google Colab

<https://colab.research.google.com/drive/1Z4W3nwxYTm7fXY9Cq8MOEEDYoZxGiqpN>



Archivos

- sample\_data
- logo.png

RAM  
Disco

Comandos + Código + Texto ▶ Ejecutar todas

Archivos

- sample\_data
- logo.png

RAM  
Disco

```

# =====
# 1) Librerías
# =====
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import re
  
```



Archivos

- sample\_data
- logo.png

RAM  
Disco

Comandos + Código + Texto ▶ Ejecutar todas

Archivos

- sample\_data
- logo.png

RAM  
Disco

```

import re

from google.colab import files

plt.rcParams['figure.dpi'] = 110

# =====
# 2) Subir archivo Excel
# =====
print("Selecciona tu archivo Excel (p.ej., Monitor_Provisional_oct_2025.xlsx)")
uploaded = files.upload()
xlsx_path = list(uploaded.keys())[0]
print("Archivo recibido:", xlsx_path)

# =====
# 3) Utilidades de limpieza y detección
# =====
def parse_number(x):
    """convierte '2.314.456,31' -> 2314456.31; deja np.nan si no se puede."""
    if pd.isna(x):
        return np.nan
    s = str(x).strip()
    # quitar espacios y símbolos
    s = re.sub(r"[\d,.-eE]", "", s)
    # si hay más de un punto, asumir puntos como miles y cambiar coma por punto
    if s.count('.') > 1 and '.' in s:
        s = s.replace('.', '').replace('.', '.')
    elif s.count(',') > 1 and '.' in s:
        s = s.replace(',', '').replace('.', '.')
    else:
        # si hay coma pero no punto, usar coma como decimal
  
```

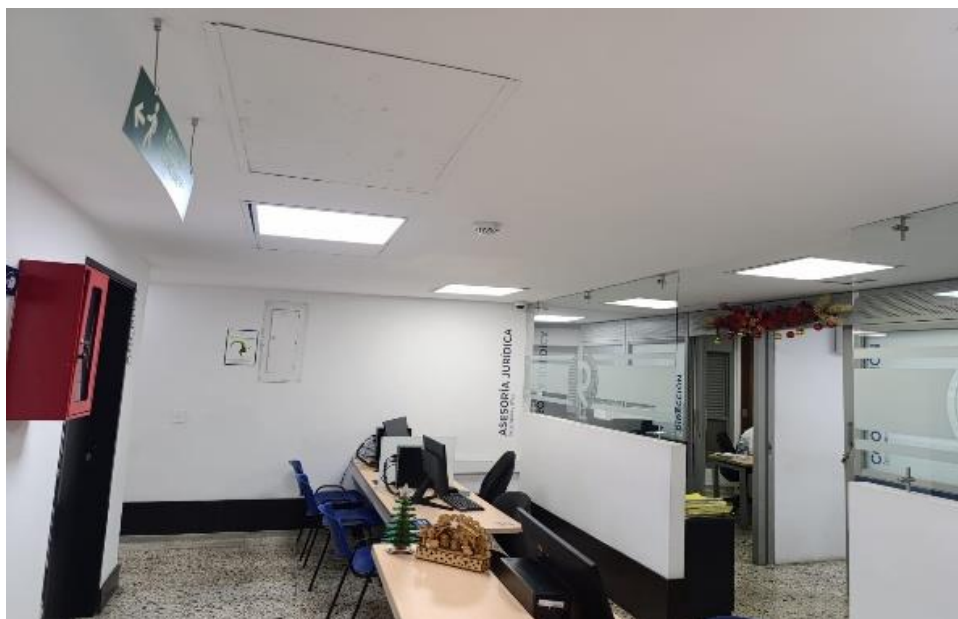
Activar Windows  
Ve a Configuración para activar Windows.

**Anexo F** Registro fotográfico 1 se HVAC Migración de tecnología para mejorar la eficiencia energética



**Anexo G** Registro fotográfico 2 Migración de tecnología para mejorar la eficiencia energética



**Anexo H** Registro fotográfico 3 Migración de tecnología para mejorar la eficiencia energética**Anexo I** Registro fotográfico 4 Migración de tecnología para mejorar la eficiencia energética

**Anexo J** Registro fotográfico 5 Migración de tecnología para mejorar la eficiencia energética



**Anexo K** Registro fotográfico 6 Migración de tecnología para mejorar la eficiencia energética



**Anexo L** Registro fotográfico 7 Migración de tecnología para mejorar la eficiencia energética



## Anexo M Información relevante obtenida del Dataset con Google Colab

```
#leer archivo del pc en la nube
base_dir = "/content/"
df = pd.read_excel(base_dir + "Registro de variables electricas.xlsx")
df
```

	Timestamp	V_A	V_B	V_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
0	2025-09-30 00:19:18.348	127.161	126.995	126.580	19.128015	9.340	6.25105	0.816	0.868	0.853	2432.338	1186.133	791.258	1969.652	1029.563	674.943	1399.126	568.992	412.966
1	2025-09-30 00:29:18.653	127.077	126.889	126.426	13.028160	9.440	6.34045	0.876	0.883	0.868	1655.579	1197.832	801.598	1450.287	1057.686	695.787	796.505	562.229	398.045
2	2025-09-30 00:39:18.451	126.669	126.460	125.948	13.128160	9.538	6.44310	0.900	0.859	0.862	1662.931	1206.175	811.496	1496.638	1036.104	699.510	724.855	617.533	411.353
3	2025-09-30 00:49:18.419	126.849	126.618	126.059	13.228160	9.638	6.55900	0.830	0.836	0.842	1677.979	1220.344	826.821	1382.723	1020.208	696.183	935.915	669.638	446.052
4	2025-09-30 00:59:18.128	126.623	126.372	125.762	13.328160	9.738	6.64310	0.822	0.890	0.828	1687.652	1230.611	835.450	1387.250	1095.244	691.753	961.097	561.110	468.400
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2904	2025-10-24 20:19:20.007	123.583	123.486	123.224	18.599840	14.516	8.41555	0.828	0.734	0.868	2298.810	1792.523	1036.998	1903.415	1315.712	900.114	1289.007	1217.391	514.937
2905	2025-10-24 20:29:21.009	123.829	123.682	123.319	15.899800	14.734	8.73935	0.930	0.936	0.836	1968.856	1822.331	831.090	1831.036	1705.702	694.791	723.672	641.460	406.044
2906	2025-10-24 20:49:21.966	123.894	123.704	123.243	16.091800	14.912	8.36695	0.857	0.638	0.783	1993.687	1844.674	784.682	1708.590	1176.902	614.406	1027.379	1420.406	488.089
2907	2025-10-24 20:59:21.867	123.844	123.612	123.053	16.283960	15.102	8.56695	0.782	0.637	0.710	2016.671	1866.788	808.083	1577.037	1169.144	573.739	1256.947	1439.039	569.053
2908	2025-10-24 21:09:20.654	123.876	123.602	122.944	16.480000	15.274	8.75695	0.774	0.647	0.821	2041.476	1887.897	831.956	1580.102	1221.469	683.036	1292.634	1439.503	474.987

2909 rows x 19 columns