

**AUDITORÍA ENERGÉTICA CON ANALIZADORES IOT PARA EL
MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA EN
BLOQUE 1 DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO.**

**JOHN ALEXANDER GALLEGO DIAZ
JULIAN DAVID PULGARIN AGUDELO**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2024**

**AUDITORÍA ENERGÉTICA CON ANALIZADORES IOT PARA EL
MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA EN
BLOQUE 1 DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO.**

**JOHN ALEXANDER GALLEGO DIAZ
JULIAN DAVID PULGARIN AGUDELO**

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero electricista

**Asesor técnico:
Carlos Mario Moreno Paniagua
Ingeniero eléctrico**

**Asesor metodológico:
Jauder Alexander Ocampo Toro
Mcs. en Gestión energética industrial**

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

2024

Contenido

1	Planteamiento del problema	10
1.1	Descripción.....	10
1.2	Formulación	10
2	Justificación	11
3	Objetivos.....	13
3.1	Objetivo general	13
3.2	Objetivos específicos.....	13
4	Referentes teóricos	14
4.1	Auditoria energética	14
4.2	Tipos de auditoria energética.	14
4.3	Auditoria energética preliminar.	15
4.4	Auditoria energética detallada.....	16
4.5	Auditoria energética de medición y verificación(M&V).	16
4.6	Objetivos de las auditorias energéticas.	16
4.7	Beneficios de una auditoria energética.....	18
4.8	Barreras en la auditoria energética.	21
4.9	Procedimiento para realizar una auditoria energética.	21
4.10	Medición de energía eléctrica	23
4.11	Objetivos de la medición de energía eléctrica.....	23
4.12	Elementos claves de la medición de energía eléctrica	25
4.13	Medidores de energía eléctrica.....	26
4.14	Unidades de medida.	27
4.15	Calibración.	28

4.16	Tipos de medidores de energía eléctrica.	29
4.17	Medidores electromagnéticos.....	29
4.18	Medidores electrónicos.	30
4.19	Medidores inteligentes (Smart Meters).	31
4.20	Importancia de la medición de energía eléctrica.	31
4.21	Desafíos en la medición de energía eléctrica.	32
4.22	Analizadores de red con tecnología IoT.....	33
4.23	Objetivos de los analizadores de red con tecnología IoT.....	34
4.24	Características clave de los analizadores de red con tecnología IoT.	34
4.25	Beneficios de los analizadores de red con tecnología IoT.	35
4.26	Desafíos en el uso de los analizadores de red con tecnología IoT.	36
4.27	Tecnologías emergentes para analizadores de red IoT.....	37
5	Metodología.....	39
5.1	Tipo de proyecto.....	39
5.2	Método	39
5.3	Instrumentos de recolección de información.	43
6	Resultados.....	45
7	Conclusiones.....	59
8	Recomendaciones	60
9	Referencias bibliográficas	61

Lista de figuras

Figura 1. Tipos de auditoria energética	15
Figura 2. Objetivos de una auditoria energética	17
Figura 3. Beneficios de una auditoria energética	20
Figura 4. Procedimiento de una auditoria energética	22
Figura 5. Medidor multifuncional	47
Figura 6. Gateway de enlace wifi Modbus Tcp.....	48
Figura 7. Curva de voltajes vs tiempo	53
Figura 8. Curva de corriente vs tiempo	54
Figura 9. Diagrama de dispersión.....	54
Figura 10. Curva de relación de consumo contra voltaje.	55

Resumen

AUDITORÍA ENERGÉTICA CON ANALIZADORES IOT PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA EN BLOQUE 1 DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO.

JOHN ALEXANDER GALLEGO DIAZ

JULIAN DAVID PULGARIN AGUDELO

La eficiencia energética tiene un impacto económico significativo al reducir los costos operativos para las empresas y los hogares, lo que conduce a un ahorro de dinero a largo plazo. Esto permite una mayor disponibilidad de recursos para la inversión en tecnologías más limpias y sostenibles, así como para la creación de empleo en sectores relacionados con la eficiencia energética. El Bloque 1 de la Institución Universitaria Pascual Bravo despliega su función como un instituto técnico industrial, proporcionando servicios educativos desde las 6 am hasta las 6 pm para estudiantes de primaria y secundaria. Posteriormente, a partir de las 6 pm, se transforma en un espacio dedicado exclusivamente a estudiantes universitarios, extendiendo su operación hasta las 10 pm como un activo bloque estudiantil. La implementación de la mejor estrategia de mejora implica una planificación detallada, ejecución coordinada y supervisión continua. Se asignan responsabilidades y recursos, se establecen cronogramas y se ajustan estrategias según sea necesario. La comunicación efectiva y la monitorización constante son elementos clave para garantizar resultados positivos y sostenibles en términos de eficiencia operativa y gestión de la energía.

Palabras claves: Sistema eléctrico, medidor multivariable, voltaje, corriente, potencia.

Abstract

Energy efficiency has a significant economic impact by reducing operating costs for businesses and households, leading to long-term money savings. This allows greater availability of resources for investment in cleaner and more sustainable technologies, as well as for job creation in sectors related to energy efficiency. Block 1 of the Pascual Bravo University Institution deploys its function as an industrial technical institute, providing educational services from 6 am to 6 pm for primary and secondary students. Later, starting at 6 pm, it transforms into a space dedicated exclusively to university students, extending its operation until 10 pm as an active student block. Implementing the best improvement strategy involves detailed planning, coordinated execution and continuous monitoring. Responsibilities and resources are assigned, schedules are established, and strategies are adjusted as necessary. Effective communication and constant monitoring are key elements to ensure positive and sustainable results in terms of operational efficiency and energy management.

Keywords: Electrical system, multivariable meter, voltage, current, power.

Glosario

Analizador de redes: el analizador de redes eléctricas es un instrumento de mesa que mide la potencia efectiva, la potencia aparente, el factor de potencia, el consumo energético, la corriente y la tensión alterna, la corriente y la tensión continua, la resistencia y la frecuencia.

Gateway: Dispositivo de comunicación que permite interconectar subredes de diferente nivel entre ellas.

Sistema eléctrico: red integrada de componentes eléctricos que se utiliza para generar, transmitir, distribuir y utilizar la energía eléctrica.

Transformador de corriente TC: Los transformadores de corriente (TC o CT por sus siglas en inglés) son transformadores utilizados para aumentar o disminuir una corriente alterna (AC). Produce una corriente en el devanado secundario proporcional a la corriente del primario.

Voltaje: diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos, y los tipos que existen: inducido, alterno, directo y continuo.

Uso racional de la energía: es un lineamiento de política pública para promover el mejor uso de los recursos energéticos, desde su producción hasta su consumo.

Introducción

La eficiencia energética se ha convertido en un pilar fundamental en la actualidad, ya que desempeña un papel crucial en la búsqueda de un futuro sostenible y en la mitigación de los desafíos ambientales y económicos que enfrenta nuestro planeta. En un mundo cada vez más dependiente de la energía para impulsar nuestro desarrollo y bienestar, la eficiencia energética emerge como una respuesta imprescindible a numerosos problemas interrelacionados.

Además, la eficiencia energética tiene un impacto económico significativo al reducir los costos operativos para las empresas y los hogares, lo que conduce a un ahorro de dinero a largo plazo. Esto permite una mayor disponibilidad de recursos para la inversión en tecnologías más limpias y sostenibles, así como para la creación de empleo en sectores relacionados con la eficiencia energética.

Este documento aborda desafíos como las pérdidas de energía debido a una extensa acometida y la falta de ajuste en el sistema de protecciones tras el cambio de carga. Para llevar a cabo una evaluación exhaustiva, se utilizarán analizadores de red con tecnología de Internet de las cosas (IoT) y un Gateway para la captura de datos en tiempo real, permitiendo mediciones precisas y detalladas como base para futuras mejoras.

El propósito principal de esta auditoría es mejorar la eficiencia energética del Bloque 1, fomentando un uso más racional y eficiente de la energía en la Institución Universitaria Pascual Bravo. Este enfoque busca no solo optimizar el consumo energético, sino también reducir el impacto ambiental asociado con el uso de recursos energéticos.

Se espera que los resultados obtenidos a partir de esta auditoría brinden recomendaciones específicas y medidas concretas para la optimización del sistema energético del Bloque 1, contribuyendo así a la creación de un entorno más sostenible y eficiente en la institución.

1 Planteamiento del problema

1.1 Descripción

El Bloque 1 de la Institución Universitaria Pascual Bravo despliega su función como un instituto técnico industrial, proporcionando servicios educativos desde las 6 am hasta las 6 pm para estudiantes de primaria y secundaria. Posteriormente, a partir de las 6 pm, se transforma en un espacio dedicado exclusivamente a estudiantes universitarios, extendiendo su operación hasta las 10 pm como un activo bloque estudiantil. La singularidad de este bloque radica en su prolongado tiempo de actividad, operando ininterrumpidamente durante numerosas horas consecutivas para satisfacer las necesidades educativas de diferentes niveles académicos.

Con el propósito de afrontar los desafíos presentes en el bloque, se opta por contratar personal especializado para recabar información sobre el consumo energético. No obstante, surge un obstáculo significativo al intentar analizar estos datos durante las horas de máxima actividad, dado que el bloque sirve como espacio estudiantil y ofrece servicios a menores de edad, lo que limita la posibilidad de realizar trabajos durante los periodos de estudio. Ante esto, se hace imperativo llevar a cabo la auditoría de manera más integral y adaptada a la dinámica del bloque.

La solución propuesta radica en la implementación de analizadores de red con tecnología IoT, lo que posibilitaría un monitoreo constante y en tiempo real sin interferir con las actividades académicas. Esta estrategia no solo simplificaría la recopilación de datos durante todos los periodos de funcionamiento del bloque, sino que también abriría la puerta a análisis detallados y ajustes precisos para optimizar el consumo energético de forma eficiente y no intrusiva.

1.2 Formulación

¿Cuáles serían las mejoras planteadas para la auditoría energética en el Bloque 1 de la Institución Universitaria Pascual Bravo, y de qué manera los analizadores de IoT podrían implementarse para potenciar la eficiencia en dicho proceso?

2 Justificación

El proyecto de auditoría energética para el Bloque 1 de la Institución Universitaria Pascual Bravo cuenta con un sólido respaldo y se basa en necesidades esenciales. El reciente ajuste en la configuración del Bloque 1, que incluyó la eliminación de la carga de la antigua cafetería, ha generado una necesidad urgente de evaluar y optimizar su rendimiento energético. Este ajuste es crucial para asegurar un funcionamiento eficiente y evitar la ineficiencia energética.

Uno de los desafíos más significativos identificados es la extensa acometida, que provoca pérdidas considerables de energía. Además, existe la posibilidad de que el sistema de protecciones no responda adecuadamente tras el cambio de carga. Estos desafíos pueden tener un impacto negativo en la eficiencia energética y la seguridad del sistema.

Para abordar estos desafíos, se ha optado por la implementación de tecnología avanzada. Esto incluye el uso de analizadores de red equipados con tecnología de Internet de las cosas (IoT) y un Gateway para la captura de datos en tiempo real.

Esta estrategia avanzada y altamente precisa proporcionará mediciones detalladas y basadas en evidencia, lo que servirá como base para la toma de decisiones informadas.

Mejorar la eficiencia energética no solo implica optimizar el consumo, sino también contribuir a la reducción de los impactos ambientales asociados con el uso de recursos energéticos. Este enfoque se alinea con los objetivos de sostenibilidad y responsabilidad ambiental, promoviendo una gestión más consciente y eficiente de los recursos energéticos.

El propósito fundamental de este proyecto de auditoría es proporcionar recomendaciones específicas y medidas concretas para la mejora del sistema energético del Bloque 1. Estos resultados se traducirán en la creación de un entorno más sostenible y eficiente en la institución, beneficiando tanto a la comunidad universitaria como al medio ambiente en su conjunto.

En resumen, la realización de esta auditoría energética se justifica debido a la necesidad de adaptarse a cambios recientes, superar desafíos específicos, emplear tecnología avanzada y promover la eficiencia energética y la sostenibilidad en la Institución Universitaria Pascual Bravo. Este proyecto se enmarca en la búsqueda de un futuro más responsable y eficiente en el uso de la energía.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Desarrollar una auditoría energética mediante el análisis de datos con analizadores IoT, para el mejoramiento de la eficiencia energética y contribuir al uso racional y eficiente de la energía, en el bloque 1 con un cambio reciente en la carga de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

3.2 Objetivos específicos

Caracterizar el sistema mediante un levantamiento de datos para la determinación de la línea base de la auditoría.

Instalar los dispositivos de medición IoT, utilizando analizadores de red y Gateway para la captura de los datos.

Realizar el informe de auditoría del bloque 1 con un cambio reciente en la carga, mediante el análisis de los datos obtenidos, para el mejoramiento de la calidad de la energía.

4 Referentes teóricos

4.1 Auditoría energética

La auditoría energética como una disciplina formalizada comenzó a ganar relevancia en las décadas de 1970 y 1980, especialmente durante la crisis energética de esos años. Organizaciones gubernamentales, instituciones académicas y profesionales en ingeniería y gestión ambiental contribuyeron al desarrollo y la promoción de esta práctica.

En resumen, aunque no hay una única persona que pueda ser identificada como la "creadora" del concepto de auditoría energética, esta se convirtió en una práctica importante en el campo de la eficiencia energética y la gestión sostenible de recursos, gracias al trabajo colectivo de expertos y profesionales en el área.

De acuerdo con (Clark, 1998). La auditoría energética implica la recopilación y análisis de datos relacionados con el consumo de energía, el funcionamiento de equipos y sistemas energéticos, la calidad de la energía y otros factores relevantes. Con base en esta información, se generan informes con recomendaciones específicas que pueden incluir la actualización de equipos, la implementación de tecnologías más eficientes, la optimización de procesos, y la adopción de prácticas de gestión energética más sostenibles.

4.2 Tipos de auditoría energética.

Las auditorías energéticas desempeñan un papel fundamental en la gestión de la energía y la mejora de la eficiencia en las instalaciones y sistemas eléctricos. Cada tipo de auditoría se encuentra asociada a un determinado nivel, lo que implica un alcance y propósito específico, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones relacionadas con la energía y la reducción de costos. A continuación, se presentan tres tipologías de auditorías energéticas, según su alcance:

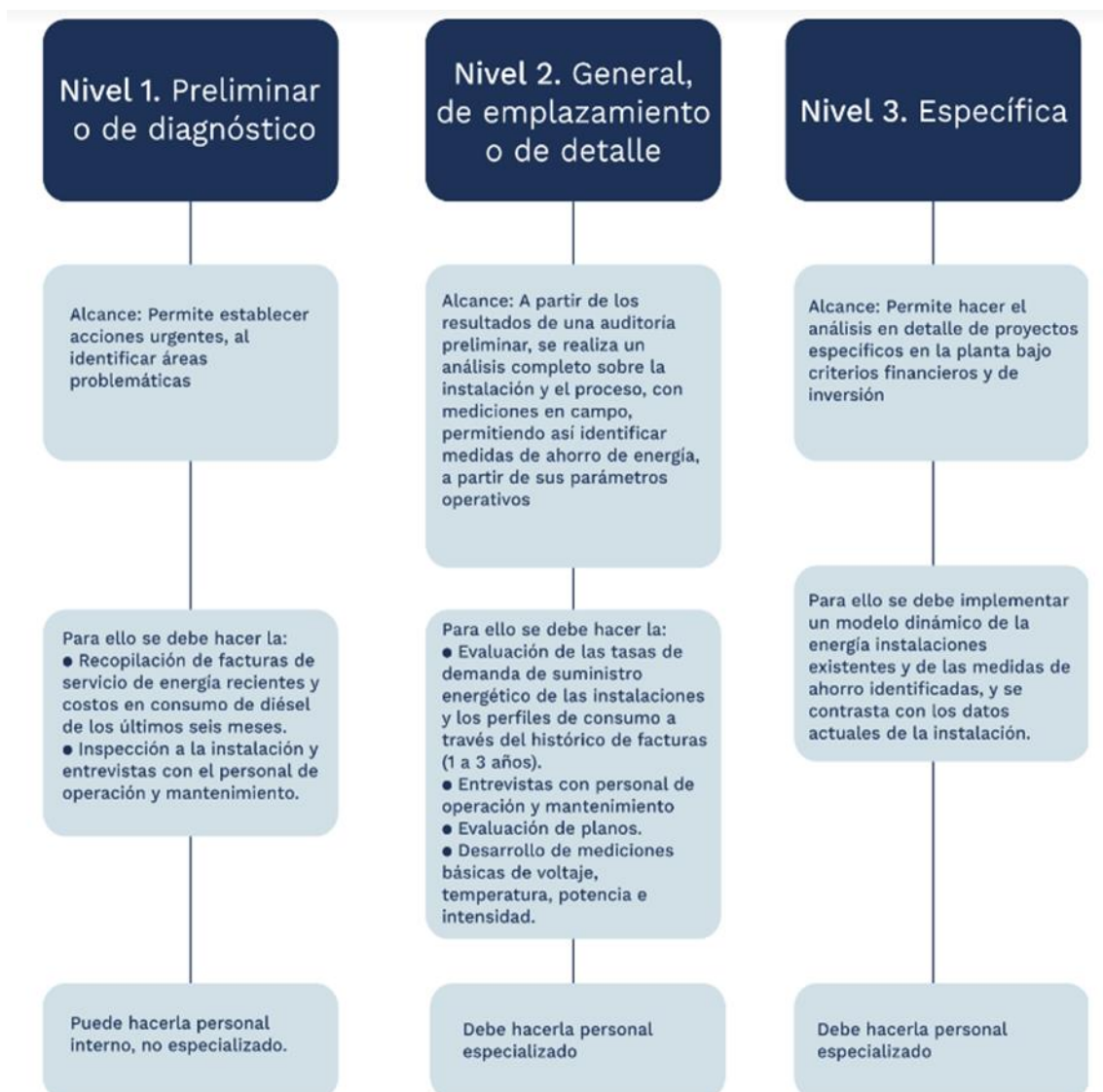


Figura 1. Tipos de auditoría energética
Fuente: (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 2022)

4.3 Auditoría energética preliminar.

Esta etapa inicial de la auditoría energética implica una evaluación rápida y general de la situación para identificar áreas de preocupación y determinar si una auditoría completa es justificada. Los objetivos de la auditoría preliminar son evaluar si hay oportunidades significativas para mejorar la eficiencia energética, identificar sistemas o áreas críticas que requieren una revisión más detallada y establecer una estimación inicial de los posibles ahorros

de energía. Generalmente, esta fase involucra una revisión de documentos y una inspección visual de las instalaciones, pero no recopila datos detallados ni realiza un análisis exhaustivo (Girini, 2012).

4.4 Auditoria energética detallada.

En esta etapa, se realiza una auditoría completa que implica una recopilación exhaustiva de datos relacionados con el consumo de energía, el rendimiento de equipos y sistemas, y otros parámetros relevantes. Se lleva a cabo un análisis detallado de estos datos para identificar áreas específicas de ineficiencia y oportunidades de mejora.

También se suelen realizar mediciones in situ, inspecciones más profundas y se elaboran informes técnicos detallados que incluyen recomendaciones específicas para aumentar la eficiencia energética. La auditoría energética detallada es una herramienta esencial para la planificación y la implementación de medidas de eficiencia energética (Girini, 2012).

4.5 Auditoria energética de medición y verificación(M&V).

Este tipo de auditoría se centra en verificar y cuantificar los resultados de las medidas de eficiencia energética implementadas anteriormente en un proceso de auditoría detallada. La auditoría M&V implica la recopilación y el análisis de datos posteriores a la implementación para evaluar si las medidas han tenido el impacto esperado en términos de ahorro de energía y costos. La precisión de la auditoría M&V es crucial para garantizar que se cumplan los objetivos de eficiencia energética y que las inversiones sean rentables (Girini, 2012).

4.6 Objetivos de las auditorias energéticas.

Los objetivos de una auditoría energética son fundamentales para comprender la importancia de este proceso en la gestión eficiente de la energía en una organización. A continuación, ampliamos cada uno de estos objetivos:

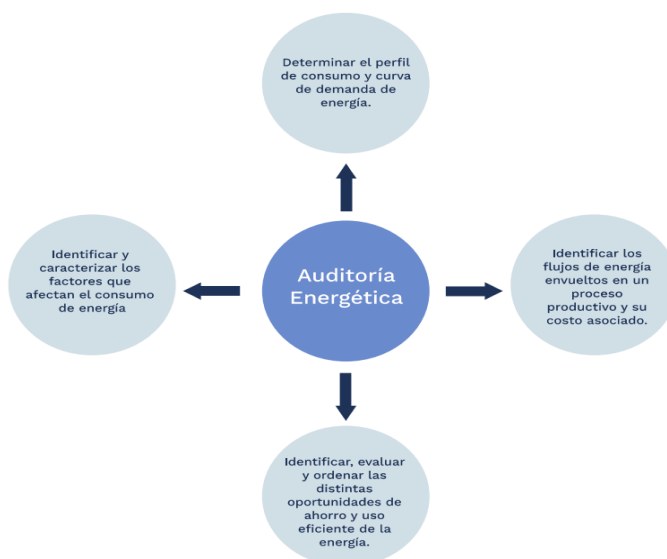


Figura 2. Objetivos de una auditoría energética

Fuente: (Alarcón, 2021)

Identificar y cuantificar las fuentes de consumo de energía: Uno de los primeros pasos en una auditoría energética es determinar de manera precisa de dónde proviene el consumo de energía dentro de una organización. Esto implica la identificación de los sistemas, equipos y procesos que requieren energía para su funcionamiento. Cuantificar este consumo permite conocer cuáles son las áreas más intensivas en energía y, por lo tanto, donde se debe centrar el esfuerzo de mejora. (Torija, 2017)

Evaluar el rendimiento de los sistemas y equipos relacionados con la energía: La auditoría energética no solo se enfoca en cuánta energía se consume, sino también en cómo se utiliza. Para ello, se evalúa el rendimiento de los sistemas y equipos relacionados con la energía, como calderas, sistemas de climatización, iluminación, motores, entre otros. Esto incluye verificar si operan de manera eficiente y si cumplen con sus especificaciones de diseño, lo que ayuda a identificar posibles ineficiencias (Alarcón, 2021)

Identificar ineficiencias y oportunidades de mejora: Uno de los aspectos más críticos de una auditoría energética es la identificación de ineficiencias. Esto implica descubrir áreas donde se está desperdiciando energía debido a prácticas inadecuadas, equipos obsoletos o sistemas mal

mantenidos. Al encontrar estas ineficiencias, se abren oportunidades para mejorar la eficiencia energética y reducir el consumo de energía, lo que a su vez reduce los costos operativos (Torija, 2017).

Proporcionar recomendaciones para reducir el consumo de energía y los costos asociados: Una auditoría energética no se limita a señalar problemas; también proporciona soluciones. A partir de los datos y análisis recopilados, se generan recomendaciones específicas y personalizadas para optimizar el uso de la energía. Estas recomendaciones pueden incluir la actualización de equipos, la implementación de prácticas de eficiencia energética y la adopción de tecnologías más avanzadas. En última instancia, estas medidas se traducen en la reducción de los costos asociados con la energía (Alarcón, 2021)

Establecer un marco para el seguimiento continuo del rendimiento energético: Una vez que se implementan las medidas de eficiencia energética, es esencial dar seguimiento al rendimiento energético a lo largo del tiempo. La auditoría energética establece la base para este seguimiento continuo, proporcionando una línea de base de referencia para comparar el consumo de energía antes y después de la implementación de las recomendaciones. Esto garantiza que las mejoras se mantengan a lo largo del tiempo y que se puedan tomar medidas correctivas si es necesario (Torija, 2017).

4.7 Beneficios de una auditoría energética.

Ahorro de Costos: Uno de los beneficios más evidentes es el ahorro de costos. Identificar ineficiencias y oportunidades de mejora puede llevar a reducciones significativas en los gastos relacionados con la energía, lo que mejora la rentabilidad de la organización (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 2022) (MUÑOZ SAONA ESTEBAN PAÚL, 2011).

Mejora de la Eficiencia Energética: La auditoría permite identificar áreas de ineficiencia y proporciona recomendaciones para mejorar la eficiencia energética. Esto conduce a un uso más

eficiente de la energía y a la reducción del consumo (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 2022) (MUÑOZ SAONA ESTEBAN PAÚL, 2011).

Cumplimiento de Regulaciones: En muchos lugares, existen regulaciones y normativas relacionadas con la eficiencia energética y la calidad de la energía eléctrica. Una auditoría energética ayuda a asegurar que la organización cumple con estas regulaciones (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 2022) (MUÑOZ SAONA ESTEBAN PAÚL, 2011).

Reducción de la Huella de Carbono: La disminución del consumo de energía y la adopción de prácticas más sostenibles contribuyen a la reducción de la huella de carbono de la organización, lo que es beneficioso tanto desde el punto de vista medioambiental como en términos de imagen pública (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 2022) (MUÑOZ SAONA ESTEBAN PAÚL, 2011).

Optimización de Recursos: La auditoría energética también puede identificar formas de optimizar recursos, como la reducción de mantenimiento y la prolongación de la vida útil de equipos y sistemas (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 2022) (MUÑOZ SAONA ESTEBAN PAÚL, 2011).

Mejora de la Calidad de Energía: Además de reducir el consumo, la auditoría también puede ayudar a mejorar la calidad de la energía, lo que aumenta la confiabilidad de los equipos y sistemas eléctricos (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 2022) (MUÑOZ SAONA ESTEBAN PAÚL, 2011).

Planificación Estratégica: La auditoría energética proporciona una visión más profunda de la gestión de la energía en la organización, lo que ayuda en la planificación estratégica a largo plazo (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 2022) (MUÑOZ SAONA ESTEBAN PAÚL, 2011).

Toma de Decisiones Informadas: Al disponer de datos y análisis detallados, los tomadores de decisiones pueden tomar medidas informadas para mejorar la eficiencia energética y reducir los

costos (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 2022) (MUÑOZ SAONA ESTEBAN PAÚL, 2011).

Competitividad: La adopción de prácticas de eficiencia energética puede hacer que una organización sea más competitiva al reducir costos operativos y mejorar su imagen frente a clientes y socios comerciales (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 2022) (MUÑOZ SAONA ESTEBAN PAÚL, 2011).

Resiliencia Energética: Al identificar y mitigar riesgos relacionados con la calidad de la energía, una auditoría energética puede contribuir a una mayor resiliencia frente a interrupciones energéticas imprevistas (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 2022) (MUÑOZ SAONA ESTEBAN PAÚL, 2011).

Mejora en la Sostenibilidad: Una auditoría energética es un paso importante hacia la adopción de prácticas de sostenibilidad y responsabilidad social corporativa (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 2022) (MUÑOZ SAONA ESTEBAN PAÚL, 2011).



Figura 3. Beneficios de una auditoría energética
Fuente: (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 2022)

4.8 Barreras en la auditoría energética.

La Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) ha identificado ciertas barreras que obstaculizan la promoción de iniciativas relacionadas con la eficiencia energética, como la implementación de planes o sistemas de gestión y los procesos de auditoría energética interna. Estas barreras incluyen:

Desafíos Económicos: Existe una lógica económica por parte de los consumidores que se traduce en un interés limitado por parte de los diversos sectores económicos en invertir en estudios y consultorías que no ofrecen una recuperación inmediata de la inversión. El éxito de estas iniciativas depende en gran medida de la disciplina en la aplicación de las recomendaciones, lo que puede generar una reticencia a la inversión.

Impacto de los Aranceles: Los precios, subsidios, impuestos y otros costos externos pueden afectar negativamente la disposición de los consumidores de energía a asignar recursos para la implementación de sistemas de gestión o la realización de auditorías internas. Estos factores pueden disuadir a las organizaciones de comprometerse con iniciativas de eficiencia energética (López Cardona, 2017).

4.9 Procedimiento para realizar una auditoría energética.

Una auditoría energética implica una serie de pasos clave que deben seguirse para llevar a cabo una evaluación completa y efectiva del uso de la energía en una organización o instalación. A continuación, se describen los pasos típicos de una auditoría energética:



Figura 4. Procedimiento de una auditoría energética

Fuente: (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 2022)

El proceso de auditoría energética sigue una serie de etapas claramente definidas. En la fase de planificación y preparación, se establecen los objetivos de la auditoría y se asignan los recursos necesarios. Luego, la evaluación inicial, o auditoría preliminar, identifica las áreas críticas de alto consumo energético. La recopilación de datos y mediciones in situ proporciona información detallada sobre el funcionamiento de equipos y sistemas.

El análisis de datos se realiza para identificar ineficiencias y oportunidades de mejora, utilizando indicadores de eficiencia y, si es necesario, simulaciones. A partir de esto, se desarrollan recomendaciones específicas y detalladas para mejorar la eficiencia energética, incluyendo estimaciones de ahorro y ROI. Estas recomendaciones se documentan en un informe que se presenta a la alta dirección y otros interesados.

Posteriormente, se implementan las medidas de eficiencia energética y se supervisa su cumplimiento. El seguimiento continuo y las auditorías de medición y verificación se utilizan para cuantificar los ahorros de energía. Finalmente, se lleva a cabo una revisión periódica del

desempeño energético y se actualizan las medidas en función de cambios en las operaciones y la tecnología (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, 2022).

4.10 Medición de energía eléctrica

La medición de energía eléctrica se refiere al proceso de cuantificar la cantidad de energía eléctrica consumida o producida en un sistema eléctrico durante un período de tiempo específico. Se realiza comúnmente utilizando dispositivos llamados medidores eléctricos, que registran la cantidad de electricidad que fluye a través de un circuito en unidades como kilovatios-hora (kWh). Estos dispositivos son esenciales para la facturación precisa de la electricidad consumida en hogares, negocios e industrias, así como para el monitoreo y control eficiente de la infraestructura eléctrica (Balcells, 2010).

4.11 Objetivos de la medición de energía eléctrica.

Los objetivos de la medición de energía eléctrica son fundamentales para diversos aspectos de la gestión y utilización de la electricidad. Aquí están los principales objetivos de la medición de energía eléctrica:

Facturación precisa: Determinar cuánta electricidad ha consumido un usuario o una entidad, asegurando que se pague por la energía realmente utilizada.

Control del consumo y eficiencia energética: Proporcionar a los consumidores información detallada sobre su consumo de electricidad para que puedan tomar medidas para reducirlo y adoptar prácticas más eficientes.

Planificación y expansión de la infraestructura eléctrica: Utilizar los datos de medición para dimensionar adecuadamente la infraestructura, como la construcción de nuevas plantas de generación y la expansión de la red de distribución.

Optimización de la operación de la red eléctrica: Utilizar datos de medición en tiempo real para equilibrar la oferta y la demanda, evitando sobrecargas y apagones.

Promoción de la energía renovable y sostenibilidad: Facilitar la integración de fuentes de energía renovable proporcionando datos sobre la cantidad de energía producida a partir de fuentes limpias.

Cumplimiento de regulaciones y estándares: Garantizar que las mediciones cumplan con los requisitos legales, evitando sanciones y manteniendo la confianza del público en el sistema eléctrico.

Incentivar la inversión en tecnologías avanzadas de medición: Fomentar la implementación de medidores inteligentes y tecnologías de medición avanzadas para mejorar la eficiencia y precisión.

Reducción de pérdidas de energía: Identificar y abordar las pérdidas de energía en la red de distribución, mejorando la eficiencia del sistema.

Facilitar la gestión y planificación energética: Proporcionar datos precisos para que las empresas y entidades puedan tomar decisiones informadas sobre inversiones, operaciones y gestión de la demanda.

Impulso a la innovación tecnológica: La medición avanzada de energía impulsa el desarrollo y adopción de tecnologías más eficientes y sostenibles en la industria energética.

Estos objetivos son cruciales para garantizar una distribución de electricidad eficiente, sostenible y equitativa, además de promover la adopción de tecnologías limpias y la conservación de recursos energéticos. (Energía, 2018)

4.12 Elementos claves de la medición de energía eléctrica

Los elementos clave de la medición de energía eléctrica son:

Medidores de Energía: Dispositivos que registran y cuantifican la cantidad de electricidad consumida por un usuario o sistema eléctrico en un período específico.

Transformadores de Corriente y Potencial: Ajustan las corrientes y tensiones a niveles manejables para el medidor, permitiendo mediciones precisas.

Sistema de Adquisición de Datos (DAS): Recopila, almacena y transmite los datos de consumo eléctrico a las empresas de distribución.

Software de Gestión de Datos: Facilita el procesamiento y análisis de los datos recopilados, generando informes y estadísticas sobre el consumo eléctrico.

Redes de Comunicación: Establecen las conexiones para la transmisión de datos entre los medidores y los sistemas de gestión de datos.

Sistema de Gestión de la Red Eléctrica (EMS): Supervisa y controla la operación de la red eléctrica, incluyendo la distribución de la energía medida.

Regulaciones y Normativas: Establecen los estándares y requisitos que los dispositivos de medición deben cumplir para garantizar la precisión y la seguridad.

Calibración y Mantenimiento: Procesos para asegurar que los medidores proporcionen mediciones precisas y confiables a lo largo del tiempo.

Base de Datos Centralizada: Almacena y gestiona todos los datos de consumo eléctrico, facilitando la gestión de la facturación y el seguimiento del uso de energía.

Sistema de Protección y Seguridad: Incluye dispositivos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos para garantizar la seguridad de la instalación.

Tele-gestión (en medidores inteligentes): Permite la gestión remota de los medidores, facilitando la recopilación de datos y la realización de ajustes sin necesidad de visitas físicas.

Sistema de Alimentación Ininterrumpida (UPS) Asegura que el medidor y otros componentes críticos continúen funcionando en caso de cortes de energía.

Unidades de Medida y Facturación: Define cómo se mide la energía eléctrica (por ejemplo, en kilovatios-hora) y cómo se calcula el costo para la facturación.

Estos elementos trabajan en conjunto para garantizar una medición precisa y confiable de la energía eléctrica, permitiendo una gestión más eficiente y efectiva de la distribución de electricidad (Omar Fredy Prias Caicedo, 2019).

4.13 Medidores de energía eléctrica.

Los medidores de energía eléctrica desempeñan un papel central en el funcionamiento de cualquier sistema eléctrico moderno. Funcionan como observadores precisos y fidedignos del consumo eléctrico, permitiendo a los proveedores de servicios calcular de manera justa y precisa la cantidad de electricidad que un hogar, empresa o entidad consume durante un período determinado. Este proceso es fundamental para la facturación adecuada y el mantenimiento de la infraestructura eléctrica. Gracias a estos dispositivos, se puede realizar un seguimiento detallado de la utilización de energía, lo que no solo garantiza que los usuarios paguen por lo que consumen, sino que también proporciona datos cruciales para la planificación y expansión de la red eléctrica.

Además de su papel en la facturación, los medidores de energía eléctrica son pilares para la gestión eficiente y sostenible de la electricidad. Permiten a los proveedores y operadores de la red anticipar y responder a las fluctuaciones en la demanda de energía, lo que es esencial para evitar

situaciones de sobrecarga y apagones. También desempeñan un papel importante en la promoción de prácticas de consumo consciente y eficiencia energética. Al proporcionar a los usuarios datos precisos y detallados sobre su consumo, se les brinda la oportunidad de identificar oportunidades para reducir gastos y minimizar su huella ambiental. Asimismo, en el contexto de la transición hacia fuentes de energía más limpias y renovables, los medidores eléctricos son esenciales. Permiten medir la producción de energía a partir de fuentes renovables como la solar o eólica, lo que es crucial para integrar de manera efectiva estas fuentes en la red eléctrica. Además, fomentan la adopción de tecnologías más avanzadas, como los medidores inteligentes, que ofrecen capacidades de gestión y comunicación más sofisticadas, mejorando la eficiencia y la confiabilidad del sistema. (FLUKE, 2011)

4.14 Unidades de medida.

Los medidores eléctricos miden y cuantifican el consumo de electricidad, y para hacerlo utilizan diversas unidades de medida. A continuación, se presentan algunas de las unidades comunes asociadas con un medidor eléctrico:

Kilovatio-hora (kWh): Es la unidad principal de medida en la mayoría de los medidores eléctricos. Representa la cantidad de energía consumida por un dispositivo o sistema durante una hora de funcionamiento a una tasa constante de un kilovatio.

Voltio-amperio (VA): Representa la potencia aparente utilizada en un circuito eléctrico. Es el producto de la tensión (en voltios) y la corriente (en amperios) en un circuito de corriente alterna.

Amperio-hora (Ah): Mide la cantidad de carga eléctrica que ha pasado por un punto en un circuito durante un tiempo determinado. Es especialmente relevante en sistemas de almacenamiento de energía, como baterías.

Vatios (W): Representan la potencia real utilizada en un dispositivo o sistema eléctrico. Es el producto de la tensión y la corriente, pero solo cuando la onda de voltaje y corriente están en fase en un circuito de corriente alterna.

Vatios-hora (Wh): Similar al kWh, es una unidad de energía que representa la cantidad de energía consumida en un período de tiempo. Un vatio-hora es equivalente a un vatio consumido durante una hora.

Var (Voltio-amperio reactivo): Indica la potencia reactiva en un circuito de corriente alterna. No realiza trabajo útil, pero es necesario para mantener la tensión en la red.

Estas son algunas de las unidades comunes asociadas con la medición de energía eléctrica. Cada una cumple un papel importante en la evaluación precisa del consumo y la gestión eficiente de la electricidad. (Mauricio, 2014)

4.15 Calibración.

La calibración de un medidor eléctrico es un proceso esencial para asegurar la precisión y fiabilidad de las mediciones que realiza. Comienza con la preparación del equipo, donde se verifica que el medidor esté en condiciones óptimas de funcionamiento y se reúnen las herramientas necesarias.

Luego, se procede a la configuración del banco de pruebas, el cual simula condiciones reales de operación. Es importante que este banco esté certificado y calibrado para garantizar resultados precisos.

Una vez que el medidor está conectado al banco de pruebas, se establecen las condiciones de prueba, incluyendo la tensión, corriente y frecuencia de acuerdo con las especificaciones del medidor y los estándares aplicables. Se utilizan equipos de medición de referencia con trazabilidad a estándares nacionales o internacionales para comparar las mediciones del medidor bajo prueba.

Si se detectan desviaciones significativas, se procede a ajustar el medidor para que las mediciones concuerden con los valores de referencia. Es fundamental realizar múltiples

mediciones en diferentes condiciones para asegurarse de que el medidor calibrado proporcione mediciones precisas y consistentes.

Finalmente, todo el proceso de calibración se documenta detalladamente, incluyendo las mediciones de referencia, ajustes realizados y los resultados obtenidos. Se emite un certificado de calibración que indica la fecha de la calibración, los resultados obtenidos y el estado de cumplimiento con los estándares aplicables.

Es importante seguir las directrices y regulaciones establecidas por las autoridades locales o internacionales, y la periodicidad de la calibración dependerá de factores como el tipo de medidor y el entorno de uso. Por lo general, se recomienda realizar la calibración anualmente o según las indicaciones del fabricante. (Pereira, 2017)

4.16 Tipos de medidores de energía eléctrica.

Los medidores de energía eléctrica son diversos y están diseñados para adaptarse a distintas aplicaciones y ambientes. A continuación, se presentan los tipos más habituales. No obstante, existen variantes y tecnologías más especializadas que se seleccionan según las necesidades y el contexto de uso. La elección del medidor dependerá de factores como el perfil del usuario, el entorno y los requisitos específicos de medición. (Marcela, 2013)

4.17 Medidores electromagnéticos.

Los medidores electromagnéticos, también conocidos como medidores de flujo magnético, son dispositivos utilizados para medir el caudal de fluidos conductores, como agua o líquidos conductivos. Funcionan sobre el principio de inducción electromagnética.

Estos medidores contienen un par de electrodos colocados en el interior de un tubo por donde fluye el fluido. Cuando el fluido conductor pasa a través del tubo, crea un campo magnético perpendicular al flujo y al campo eléctrico. Esto induce una fuerza electromotriz (FEM) en el

fluido, que puede ser detectada por los electrodos. La FEM es proporcional a la velocidad del flujo y, por lo tanto, se puede utilizar para determinar el caudal.

Los medidores electromagnéticos ofrecen varias ventajas, como la capacidad de medir líquidos corrosivos y agresivos, así como líquidos con partículas sólidas en suspensión. También son precisos y tienen una buena capacidad de medición a largo plazo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que solo pueden utilizarse con líquidos conductivos.

Estos medidores son comúnmente utilizados en aplicaciones industriales, como en plantas de tratamiento de agua, sistemas de calefacción y refrigeración, así como en la industria química y alimentaria, donde se requiere una medición precisa del flujo de líquidos. (Marcela, 2013)

4.18 Medidores electrónicos.

Los medidores electrónicos de energía representan una evolución significativa en la medición y gestión de la electricidad. Estos dispositivos avanzados utilizan tecnología electrónica para registrar con precisión el consumo de energía en una instalación. A diferencia de los medidores electromecánicos tradicionales, los medidores electrónicos ofrecen una mayor exactitud en las mediciones y proporcionan información detallada sobre el uso de electricidad. Esto facilita a los usuarios y proveedores de servicios el monitoreo y control eficiente de su consumo eléctrico.

Una de las ventajas notables de los medidores electrónicos radica en su capacidad de comunicación remota. Algunos modelos están equipados con tecnologías que permiten la transmisión de datos a las compañías de suministro eléctrico en tiempo real. Esto no solo agiliza el proceso de facturación, sino que también brinda a los proveedores de servicios la capacidad de identificar y abordar problemas de suministro o consumo de manera más eficiente.

Además, los medidores electrónicos tienen la capacidad de almacenar datos de consumo a lo largo del tiempo. Esta funcionalidad es invaluable para analizar patrones de consumo, identificar tendencias y tomar medidas para mejorar la eficiencia energética. Los usuarios pueden obtener

una visión detallada de cómo se utiliza la electricidad en su hogar o negocio, lo que les permite tomar decisiones informadas sobre cómo optimizar su consumo y, en última instancia, reducir costos. (Marcela, 2013)

4.19 Medidores inteligentes (Smart Meters).

Los medidores inteligentes, conocidos como "Smart Meters", marcan un avance significativo en la gestión de la energía eléctrica. A diferencia de los medidores convencionales, estos dispositivos tienen la capacidad de medir y comunicar el consumo de electricidad de forma remota y en tiempo real, eliminando la necesidad de visitas físicas para la lectura. Esto brinda a las empresas proveedoras de energía una visión precisa y actualizada del consumo de sus clientes, permitiendo una distribución más eficiente de electricidad.

Además de su función de medición avanzada, los Smart Meters empoderan a los consumidores al proporcionarles acceso a información detallada sobre su consumo de energía. A través de plataformas en línea o aplicaciones móviles, los usuarios pueden monitorear y analizar su patrón de consumo, lo que fomenta una mayor conciencia sobre el uso de electricidad y brinda oportunidades para implementar prácticas más eficientes.

Estos medidores también posibilitan la implementación de tarifas de electricidad dinámicas, donde los precios varían según la demanda. Esto incentiva a los consumidores a utilizar la electricidad de manera más consciente y a evitar los períodos de mayor demanda. En resumen, los Smart Meters no solo optimizan la gestión de la energía a nivel de proveedores, sino que también empoderan a los consumidores al brindarles información detallada y herramientas para tomar decisiones más informadas sobre su consumo eléctrico. (Marcela, 2013)

4.20 Importancia de la medición de energía eléctrica.

La medición de energía eléctrica es un componente esencial en la gestión y distribución eficiente de electricidad. En primer lugar, proporciona una base para la facturación justa y precisa

a los consumidores. Esto garantiza que cada usuario pague por la cantidad exacta de electricidad que consume, promoviendo la equidad en el acceso a este recurso vital. Además, la medición precisa permite a los proveedores de energía planificar y optimizar la infraestructura eléctrica, evitando sobrecargas y asegurando un suministro confiable.

Por otro lado, la medición de energía eléctrica fomenta la conciencia y la eficiencia energética. Permite a los consumidores monitorear y comprender su patrón de consumo, identificando oportunidades para reducir gastos y minimizar el impacto ambiental. Asimismo, impulsa la transición hacia fuentes de energía más limpias y renovables, al proporcionar datos cruciales sobre la generación y el uso de electricidad verde.

Además, la medición precisa y confiable es esencial para el cumplimiento de regulaciones y normativas establecidas por las autoridades en el ámbito energético. Garantiza que las operaciones se realicen dentro de los estándares de seguridad y calidad establecidos, promoviendo un suministro eléctrico confiable y seguro para la sociedad en su conjunto.

4.21 Desafíos en la medición de energía eléctrica.

La medición de energía eléctrica enfrenta varios desafíos en la actualidad, los cuales incluyen:

Integración de Energías Renovables: Con el aumento en la generación de energía a partir de fuentes renovables intermitentes como la solar y la eólica, surge el desafío de medir y gestionar de manera precisa la energía generada y consumida en estos sistemas distribuidos. La variabilidad de estas fuentes plantea retos en la estimación y equilibrio de la oferta y demanda.

Detección de Fraudes y Pérdidas no Técnicas: Identificar y prevenir manipulaciones o desviaciones en la medición de energía, ya sea por fraude o por pérdidas no técnicas, es un desafío constante. La implementación de tecnologías avanzadas y análisis de datos juega un papel clave en este aspecto.

Calibración y Mantenimiento: Garantizar la calibración y el mantenimiento periódico de los medidores es esencial para mantener la precisión de las mediciones. Esto puede ser un desafío logístico, especialmente en sistemas con un gran número de medidores dispersos geográficamente. (Roberto Franca y Verónica Miranda, 2013)

4.22 Analizadores de red con tecnología IoT

Los analizadores de red con tecnología IoT (Internet de las Cosas) representan una innovación significativa en la medición y gestión de la energía eléctrica. Estos dispositivos avanzados están equipados con capacidades de conexión a internet, lo que les permite recopilar y transmitir datos de forma remota en tiempo real. Esto significa que los usuarios y proveedores de servicios pueden acceder a información detallada sobre el consumo eléctrico y el estado de la red desde cualquier lugar, en cualquier momento.

Esta funcionalidad revoluciona la forma en que se monitorea y controla la electricidad, brindando un nivel de acceso y flexibilidad sin precedentes. Además, los analizadores de red IoT ofrecen la capacidad de realizar análisis y diagnósticos avanzados. Pueden identificar patrones de consumo, detectar anomalías y proporcionar información valiosa para optimizar la eficiencia energética. Esto no solo beneficia a los usuarios al permitirles tomar decisiones informadas sobre su consumo, sino que también brinda a los proveedores de servicios la capacidad de mejorar la planificación y gestión de la red eléctrica.

Por último, la integración de la tecnología IoT en los analizadores de red contribuye a la automatización y la toma de decisiones autónoma. Estos dispositivos pueden estar programados para responder a condiciones específicas de la red, como picos de demanda o eventos de emergencia, lo que mejora la capacidad de respuesta y la eficiencia operativa.

En resumen, los analizadores de red con tecnología IoT representan una evolución significativa en la medición y gestión de la energía eléctrica, al proporcionar un acceso más

amplio a datos precisos y permitir una gestión más inteligente y eficiente de la electricidad. (Marco, 2019)

4.23 Objetivos de los analizadores de red con tecnología IoT.

Los analizadores de red con tecnología IoT tienen una serie de objetivos fundamentales en el contexto de la gestión de energía eléctrica. En primer lugar, buscan proporcionar una visión detallada y en tiempo real del comportamiento de la red eléctrica. Esto implica monitorear variables clave como la calidad de la energía, la corriente, el voltaje y otros parámetros relevantes.

Al hacerlo, se busca identificar posibles anomalías o fluctuaciones que puedan afectar la estabilidad y eficiencia de la red. Además, estos analizadores buscan facilitar la toma de decisiones basada en datos precisos y actualizados. Al recopilar información detallada sobre el consumo de energía, patrones de uso y tendencias, permiten a los usuarios y proveedores de servicios identificar oportunidades para mejorar la eficiencia energética y reducir costos. Esta capacidad de análisis avanzado es esencial para implementar estrategias de gestión de carga, programar mantenimientos preventivos y optimizar la distribución de energía.

Un tercer objetivo crucial es promover la integración de tecnologías y fuentes de energía más limpias y sostenibles. Al contar con capacidades de comunicación en tiempo real, los analizadores IoT facilitan la incorporación de energías renovables y la gestión de la generación distribuida. Esto es esencial para avanzar hacia una matriz energética más verde y reducir la dependencia de combustibles fósiles. (Eduardo Hidalgo Fort, 2019)

4.24 Características clave de los analizadores de red con tecnología IoT.

Los analizadores de red con tecnología IoT presentan una serie de características clave que los distinguen en el ámbito de la gestión de energía eléctrica. En primer lugar, destacan por su capacidad de recopilar y transmitir datos en tiempo real a través de conexiones a internet. Esta

funcionalidad permite un monitoreo continuo y preciso de los parámetros eléctricos, incluyendo voltaje, corriente, frecuencia y más. Esta capacidad de comunicación en tiempo real es esencial para la detección temprana de anomalías y la toma de decisiones ágiles en la gestión de la red eléctrica.

Otra característica clave es la capacidad de realizar análisis y diagnósticos avanzados de la calidad de la energía. Estos analizadores pueden identificar problemas como armónicos, desequilibrios y fluctuaciones de voltaje, lo que contribuye a garantizar una distribución de energía confiable y estable. Además, algunos modelos pueden incluso predecir y prevenir posibles fallos en la red, optimizando así la operación y mantenimiento.

Por último, los analizadores de red con tecnología IoT suelen contar con capacidades de integración con otros sistemas y dispositivos. Esto permite una gestión más holística y eficiente de la energía, ya que pueden interactuar con sistemas de gestión de edificios, dispositivos inteligentes y otros componentes de la infraestructura eléctrica.

Esta capacidad de interoperabilidad promueve la optimización de la eficiencia energética y la implementación de estrategias de gestión avanzada. En conjunto, estas características hacen de los analizadores de red con tecnología IoT herramientas potentes y versátiles para la supervisión y optimización de la distribución de energía eléctrica. (Eduardo Hidalgo Fort, 2019)

4.25 Beneficios de los analizadores de red con tecnología IoT.

Los analizadores de red con tecnología IoT ofrecen una serie de beneficios significativos en el campo de la gestión de energía eléctrica. En primer lugar, proporcionan un monitoreo en tiempo real y detallado de la red eléctrica, lo que permite una respuesta más rápida y efectiva ante cualquier anomalía o problema. Esto significa que los operadores pueden detectar y abordar situaciones de sobrecarga, fluctuaciones de voltaje u otros eventos de manera inmediata, evitando interrupciones en el suministro eléctrico y optimizando la fiabilidad del sistema.

Los analizadores con tecnología IoT permiten una gestión más eficiente y sostenible de la energía. Al recopilar datos precisos sobre el consumo eléctrico, patrones de uso y tendencias, facilitan la identificación de áreas de mejora en la eficiencia energética.

Esto brinda a los usuarios y proveedores de servicios la capacidad de implementar medidas de ahorro y optimización, lo que se traduce en una reducción de costos y una menor huella ambiental. Asimismo, la integración con fuentes de energía renovable se vuelve más efectiva, ya que se puede monitorear y gestionar la generación distribuida de manera más eficaz.

Por último, los analizadores de red IoT fomentan la automatización y la toma de decisiones autónoma. Al contar con capacidades de comunicación y análisis avanzado, estos dispositivos pueden activar respuestas automáticas ante ciertas condiciones de la red.

Por ejemplo, pueden gestionar la carga de manera dinámica o incluso desconectar de forma selectiva ciertos dispositivos en caso de emergencia. Esto mejora la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta en situaciones críticas. (Arboleda Trujillo Luis Carlos, 2019)

4.26 Desafíos en el uso de los analizadores de red con tecnología IoT.

A pesar de sus numerosos beneficios, el uso de analizadores de red con tecnología IoT también presenta desafíos significativos. En primer lugar, la seguridad cibernética se erige como una preocupación central. Al conectar estos dispositivos a la red, se abre una posible puerta de entrada para amenazas cibernéticas.

La protección de los datos sensibles y la prevención de accesos no autorizados se convierten en prioridades críticas, requiriendo la implementación de robustas medidas de seguridad y protocolos de encriptación.

Otro desafío es la gestión y análisis de grandes volúmenes de datos. Los analizadores de red IoT generan una cantidad considerable de información en tiempo real, lo que puede ser

abrumador si no se cuenta con los sistemas y recursos adecuados para procesar y analizar estos datos de manera efectiva. La capacidad de almacenamiento, la infraestructura de red y las herramientas de análisis son aspectos que deben ser abordados para aprovechar al máximo el potencial de estos dispositivos.

La interoperabilidad entre diferentes sistemas y dispositivos en una red eléctrica puede ser un desafío. Para aprovechar al máximo los beneficios de los analizadores de red IoT, es crucial que puedan integrarse de manera fluida con otros componentes de la infraestructura eléctrica, como sistemas de gestión de edificios, dispositivos de generación y almacenamiento de energía, entre otros.

Esto requiere estándares de comunicación bien definidos y la capacidad de adaptarse a diferentes protocolos y tecnologías existentes en la red. (Arboleda Trujillo Luis Carlos, 2019)

4.27 Tecnologías emergentes para analizadores de red IoT.

Las tecnologías emergentes están transformando la forma en que los analizadores de red con tecnología IoT operan y brindan soluciones avanzadas para la gestión de energía eléctrica. En primer lugar, la implementación de la tecnología de comunicación 5G promete revolucionar la conectividad de estos dispositivos.

Con velocidades de transmisión de datos significativamente más rápidas y menor latencia, los analizadores de red IoT podrán enviar y recibir información en tiempo real de manera más eficiente. Esto facilita la toma de decisiones instantáneas y la respuesta a eventos críticos en la red eléctrica.

Otra tecnología emergente clave es la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (machine learning). Al integrar algoritmos avanzados en los analizadores de red, se pueden identificar patrones complejos y anomalías en los datos de consumo eléctrico. Esto permite una detección más precisa de posibles problemas, así como la predicción de tendencias y necesidades

futuras en la gestión de la energía. La IA también facilita la optimización de la eficiencia energética y la toma de decisiones autónoma para mejorar la operación de la red. Además, la tecnología blockchain se vislumbra como una herramienta prometedora para garantizar la seguridad y la integridad de los datos en los analizadores de red IoT.

Al utilizar registros distribuidos y sistemas de validación, se puede crear una cadena de bloques inmutable que protege la información crítica sobre el consumo de energía. Esto es especialmente importante en entornos donde la confiabilidad y la autenticidad de los datos son cruciales, como en la gestión de sistemas eléctricos complejos. (Eduardo Hidalgo Fort, 2019)

5 Metodología

5.1 Tipo de proyecto

La estrategia metodológica seleccionada para el desarrollo del trabajo de grado será la investigación experimental. Esta metodología implica la introducción de cambios controlados y la posterior evaluación de su impacto en la eficiencia energética. Para llevar a cabo este proceso, se realizarán pruebas y mediciones específicas en el entorno del Bloque 1 de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

El objetivo es comprender de qué manera ajustes o tecnologías específicas pueden influir en el consumo de energía de este espacio. Además de esto, se explorarán otras áreas de mejora, como la implementación de controles de gestión de energía mediante el uso de analizadores IoT y un Gateway para la captura de datos en tiempo real. La investigación experimental permitirá una evaluación precisa y cuantitativa de cómo estas modificaciones afectan la eficiencia energética del Bloque 1. Esto brindará información concreta sobre la efectividad de las soluciones propuestas.

Los resultados obtenidos a través de esta investigación experimental jugarán un papel fundamental en la toma de decisiones relacionadas con la implementación de medidas de eficiencia energética en el Bloque 1. Asimismo, proporcionarán evidencia tangible de los beneficios que pueden derivarse de estas acciones, respaldando así la importancia y efectividad de las soluciones propuestas.

5.2 Método

La caracterización del sistema mediante levantamiento de datos para la determinación de la línea base de la auditoría donde se llevará a cabo empleando herramientas y técnicas especializadas. Esto implicará mediciones detalladas del consumo eléctrico, identificación de equipos y dispositivos pertinentes, así como el análisis de los patrones de consumo energético.

Asimismo, se procederá a evaluar la presencia y funcionamiento de sistemas de control y gestión de energía, en caso de estar implementados.

La instalación de los dispositivos de medición IoT, que comprende la implementación de analizadores de red junto con un Gateway para la captura de datos, representa un paso significativo en el proceso de auditoría de eficiencia energética. Estos dispositivos desempeñan un papel crucial al permitir la monitorización en tiempo real y la recopilación de información detallada sobre el consumo eléctrico y otros parámetros relevantes.

Los analizadores de red desglosan y analizan la calidad de la energía y los patrones de consumo, brindando una visión precisa y detallada del rendimiento energético del edificio. A su vez, el Gateway facilita la comunicación y transmisión eficiente de estos datos a los sistemas de gestión, lo que posibilita un monitoreo continuo y la toma de decisiones informadas para mejorar la eficiencia energética en tiempo real.

Esta integración de tecnología IoT potencia la capacidad de implementar estrategias de mejora más efectivas y permite un enfoque proactivo hacia la gestión energética del edificio.

El informe de auditoría del Bloque 1, que considera un reciente cambio en la carga, implica un análisis detallado de los datos recopilados. El objetivo es elevar la calidad del suministro eléctrico mediante la identificación y solución de posibles desafíos en la distribución de energía. Este enfoque estratégico no solo busca resolver los problemas actuales, sino también establecer una base sólida para una gestión energética eficiente y sostenible a largo plazo en el Bloque 1 de la institución.

La revisión exhaustiva del estado del arte es esencial para comprender a fondo las temáticas del proyecto, implicando una inmersión en la literatura existente, investigaciones previas y avances tecnológicos. Este proceso no solo establece un sólido marco teórico, sino que también identifica lagunas de conocimiento y posibles enfoques innovadores. Esta inmersión sienta las bases para una planificación estratégica y la formulación de objetivos que reflejen las tendencias y desafíos más recientes en la disciplina. En resumen, la revisión del estado del arte es crucial

para la excelencia investigativa y la contribución significativa al avance del conocimiento en el ámbito del proyecto.

La ejecución de un estudio de mercado detallado es esencial para identificar los componentes y herramientas más adecuados para el proyecto. Este proceso implica analizar las opciones disponibles, considerando aspectos técnicos, compatibilidad, calidad, costos e integración. La investigación de mercado facilita la selección de elementos acordes con las necesidades del proyecto y anticipa posibles innovaciones y tendencias.

Además, proporciona una visión clara de los proveedores líderes y la viabilidad a largo plazo de las soluciones. En última instancia, este estudio se posiciona como un pilar fundamental para decisiones informadas, asegurando que los componentes seleccionados cumplan con los requisitos técnicos y se alineen con las expectativas del mercado en constante cambio.

Implementar estrategias efectivas para mejorar la eficiencia energética requiere el uso de herramientas especializadas, como mediciones detalladas del consumo eléctrico, identificación precisa de equipos relevantes y análisis exhaustivo de patrones de consumo. Estas herramientas permiten una visión cuantitativa, identificando áreas de mejora y optimizando el uso de la energía. Este enfoque no solo reduce costos operativos, sino que también respalda iniciativas ambientales al disminuir la huella de carbono asociada al consumo de energía. En resumen, el uso de herramientas especializadas es esencial para diseñar estrategias que impulsen la eficiencia energética y promuevan prácticas sostenibles.

Evaluar la presencia y el rendimiento de sistemas de control y gestión de energía es esencial para analizar la eficiencia energética. Este proceso implica identificar y analizar la efectividad de los sistemas en la optimización del consumo de energía, evaluando protocolos de control, capacidad de adaptación a fluctuaciones y la integración con tecnologías emergentes. La revisión minuciosa facilita la identificación de mejoras y ajustes necesarios, contribuyendo a la eficiencia operativa y la implementación de estrategias para un uso racional y sostenible de la energía.

La caracterización del sistema a través de un detallado levantamiento de datos es esencial para establecer la línea base en una auditoría energética. Este proceso implica recopilar información exhaustiva sobre el sistema, desde la identificación de equipos hasta la evaluación de patrones de consumo. La caracterización proporciona una comprensión integral y objetiva del sistema, identificando áreas de ineficiencia y estableciendo las bases para estrategias de mejora.

La instalación de dispositivos de medición IoT en una auditoría energética es un paso crucial que implica planificación cuidadosa y ejecución precisa. Estos dispositivos, estratégicamente ubicados, permiten la monitorización en tiempo real de variables clave.

Su instalación implica no solo la conexión física, sino también la configuración de protocolos de comunicación para una transmisión eficiente de datos. Estos dispositivos se convierten en nodos inteligentes que alimentan una red interconectada, proporcionando datos valiosos para análisis detallados y decisiones informadas. En resumen, la instalación de dispositivos IoT mejora la precisión de la auditoría energética y establece bases para estrategias proactivas de gestión de energía.

La monitorización en tiempo real y la recopilación detallada de información sobre el consumo eléctrico son estrategias esenciales para comprender y optimizar el uso eficiente de la energía. Estos procesos implican la implementación de sistemas avanzados de monitoreo que permiten la captura continua de datos, facilitando la identificación inmediata de ineficiencias y proporcionando una base sólida para el análisis detallado y la toma de decisiones informadas en la gestión de la energía.

El desarrollo de estrategias de mejora es un proceso fundamental que implica la evaluación detallada de datos para identificar oportunidades de optimización. Basadas en un análisis profundo de patrones y tendencias, estas estrategias buscan corregir ineficiencias y promover prácticas sostenibles. Involucrar a equipos multidisciplinarios enriquece el proceso al integrar diversas perspectivas. Este enfoque no solo aborda problemas existentes, sino que también se orienta hacia la anticipación y adaptación a cambios futuros, asegurando una eficiencia continua y sostenibilidad a largo plazo.

Seleccionar la mejor estrategia implica un proceso exhaustivo que considera factores como la viabilidad técnica, la inversión requerida, el tiempo de implementación y los beneficios a corto y largo plazo. Se evalúan también aspectos económicos, ambientales y operativos, buscando una elección equilibrada. La participación de partes interesadas y expertos en la toma de decisiones enriquece el proceso. En resumen, la selección de la mejor estrategia no solo apunta a mejorar la eficiencia a corto plazo, sino también a promover la sostenibilidad y adaptabilidad a largo plazo.

La implementación de la mejor estrategia de mejora implica una planificación detallada, ejecución coordinada y supervisión continua. Se asignan responsabilidades y recursos, se establecen cronogramas y se ajustan estrategias según sea necesario. La comunicación efectiva y la monitorización constante son elementos clave para garantizar resultados positivos y sostenibles en términos de eficiencia operativa y gestión de la energía.

La realización del informe de auditoría del Bloque 1 implica la presentación estructurada de hallazgos, análisis y recomendaciones derivados del proceso de evaluación y mejora de la eficiencia energética. Este documento abarca desde la introducción y la metodología utilizada hasta los datos recopilados, estrategias implementadas, resultados obtenidos y recomendaciones para el futuro. El informe busca ofrecer una visión completa de la situación energética actual y proporcionar orientación para la gestión continua de la eficiencia energética en el Bloque 1.

5.3 Instrumentos de recolección de información.

5.3.1. Fuentes primarias. Los instrumentos de recolección de información utilizados en el proyecto de grado se basarán en fuentes primarias que contienen datos originales. Estas fuentes incluyen libros, revistas científicas, documentos oficiales, informes técnicos e investigaciones de instituciones tanto públicas como privadas. También se considerarán patentes, normas técnicas y apuntes de investigación como recursos fundamentales para respaldar y enriquecer el contenido del proyecto. Esta variedad de fuentes garantiza una base sólida y confiable para el desarrollo y sustento de la investigación.

5.3.2. Fuentes secundarias. Las fuentes secundarias desempeñan un papel crucial al recopilar, interpretar y analizar la información contenida en fuentes primarias. Estas incluyen enciclopedias, diccionarios, antologías, síntesis, revistas de resúmenes, periódicos, directorios, así como libros y artículos de investigaciones que ofrecen una visión consolidada y analítica de los datos originales. Estas fuentes secundarias proporcionan un marco contextual y perspectivas adicionales que enriquecen la comprensión y el análisis de la información extraída de las fuentes primarias.

6 Resultados

El Bloque 1 de la Institución Universitaria Pascual Bravo enfrenta desafíos energéticos urgentes debido a la retirada de la carga de la antigua cafetería, sin ajustes correspondientes en la infraestructura eléctrica, lo que conlleva riesgos de ineficiencia y falta de protección del sistema. La extensa longitud de la acometida eléctrica genera pérdidas de energía y gastos innecesarios, y el sistema de protecciones actual no está adaptado a la nueva carga, representando un riesgo para la seguridad eléctrica de las instalaciones y sus ocupantes.

Tabla 1.
Inventario de equipos para medición de potencia

Ítem	Equipo (Carga)	Cant	Potencia [kW]	P. Total [kW]
1.	Aires acondicionados 3 ton, monofásico	6	4.50	27.00
2.	Aires acondicionados 5 ton, trifásico	8	3.50	28.00
3.	Aires acondicionados 5 ton, monofásico	6	3.72	22.32
4.	Computadoras	88	0.175	15.4
5.	Fotocopiadora	12	0.5	6
6.	Luminarias de 2 x 32 w	25	0.75	18.75
7.	Luminarias de 3 x 32 w	51	0.150	7.65
8.	Luminarias de 4 x 32 w	31	0.190	5.89
			Potencia Total	131.01 [kW]

Fuente: diseño propio

Ante esta problemática, se llevará a cabo una auditoría energética en el Bloque 1 con el objetivo de mejorar la eficiencia energética y fomentar el uso racional y efectivo de la energía. Esta evaluación comprenderá un levantamiento exhaustivo de datos generales, utilizando

analizadores de red con tecnología IoT respaldados por un Gateway para la captura de datos en tiempo real. Esta metodología asegurará mediciones precisas y detalladas, fundamentales para la formulación de estrategias de mejora adaptadas a las nuevas demandas y necesidades del bloque.

Caracterización del sistema mediante un levantamiento de datos para la determinación de la línea base de la auditoría. A partir de una caracterización del sistema -bloque 1- mediante un levantamiento de datos, se determinó la base para la auditoría, con base a las cargas existentes:

A partir de la información sintetizada en la tabla anterior, es posible notar la diversidad de equipos conectados al sistema, identificando la naturaleza de cada carga (capacitiva, resistiva o inductiva).

Es importante destacar que esta iniciativa de auditoría no solo tiene como finalidad optimizar el consumo energético, sino también reducir los impactos ambientales asociados al uso de recursos energéticos. Se espera que los resultados derivados de esta auditoría proporcionen recomendaciones específicas y acciones concretas para la optimización del sistema energético en el Bloque 1. De esta manera, se fomentará un entorno más sostenible y eficiente en la institución, contribuyendo así al compromiso de la comunidad educativa con la preservación del medio ambiente y el uso responsable de la energía. Para determinar el consumo total de la instalación se requiere de un equipo que registre la potencia demandada por el sistema eléctrico del bloque, los registros periódicos de tales consumos serán guardados, y analizados en futuros apartados de este documento.

Instalación de los dispositivos de medición IoT, utilizando analizadores de red y Gateway para la captura de los datos. La implementación del sistema de medición y transmisión de los datos se realizó interviniendo el tablero o ML -mayor load- respectivo del bloque 1. El sistema de registro de mediciones se comprende de tres elementos principales.

Medidor multifuncional trifásico con protocolo Modbus RS485. Es un dispositivo monitoreo de calidad de energía para uso industrial trifásico de AC -corriente alterna- con monitoreo de alta

precisión. Se utiliza ampliamente en el sistema de administración de energía para la adquisición de datos y el análisis de energía. El equipo que se empleó para el monitoreo de consumo tiene adicionalmente las siguientes características:

Modelo: ZM194-D9Y. Rango de medición: 5A. Precisión: 0,5. Voltaje de la fuente de alimentación: AC/DC85 ~ 265V. Forma de Cableado: trifásico de cuatro hilos o trifásico de tres hilos. Voltaje nominal: AC 380 V. Corriente nominal: 5A. Frecuencia: 45 ~ 65Hz. Rango de trabajo: AC/DC 85V ~ 265V. Consumo de energía: aprox. 4VA. Interfaz de comunicación: admite 1 circuito de comunicaciones con protocolo Modbus- RTU, velocidad en baudios: 1200 ~ 9600bps, predeterminado: 2400bps.



Figura 5. Medidor multifuncional

Fuente: Propia

Gateway: dispositivo de enlace wifi – Modbus TCP. El Gateway de enlace wifi Modbus Tcp, es un dispositivo microelectrónico orientado a la implementación de múltiples aplicaciones de comunicaciones para dispositivos de medición y control. El funcionamiento de este dispositivo de enlace requiere de una conexión a una red de área local, y por ende a un servidor. Para conectar el Gateway de enlace wifi Modbus Tcp al PC, se debe utilizar un convertor de RS485 a USB con referencia CH340. Esto con el fin de configurar el dispositivo desde el programa Mgdmod.exe. Luego de ser configurado, el Gateway de enlace wifi Modbus Tcp, permitirá la lectura y escritura de las variables de los dispositivos de campo, mediante Modbus RTU y enviará los datos recolectados hacia el servidor remoto, utilizando el protocolo Modbus TCP (WMT).

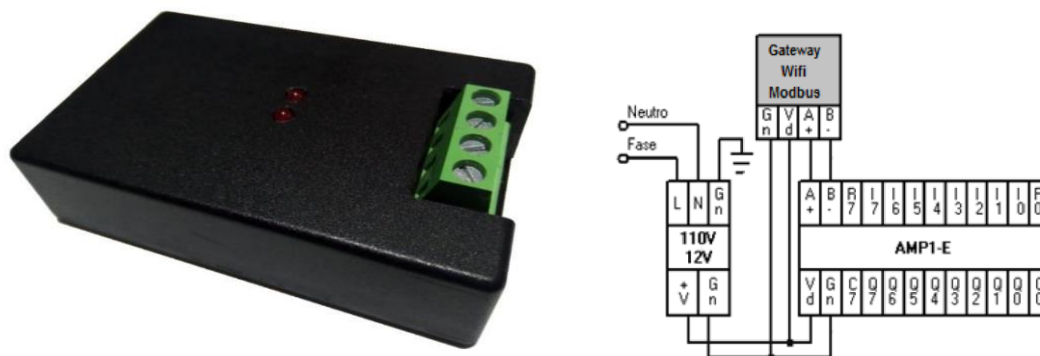


Figura 6. Gateway de enlace wifi Modbus Tcp.
Fuente: (WMT)

La ejecución de una exhaustiva auditoría energética, respaldada por el análisis detallado de datos a través de la implementación de analizadores IoT, se presenta como una iniciativa crucial para potenciar la eficiencia energética y promover un uso racional y efectivo de la energía en el Bloque 1 de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

Este bloque, recientemente modificado en términos de carga, enfrenta desafíos energéticos que demandan una evaluación precisa y adaptada a las nuevas condiciones. La incorporación de analizadores IoT permitirá una recolección de datos en tiempo real, ofreciendo una visión holística de las variables eléctricas relevantes. Este enfoque no solo facilitará la identificación de posibles ineficiencias, sino que también proporcionará una base sólida para la formulación de estrategias específicas de mejora. Con esta iniciativa, se aspira a optimizar el rendimiento energético del Bloque 1, asegurando así una gestión más sostenible y eficaz de los recursos, y contribuyendo al compromiso general de la institución con la eficiencia y la responsabilidad ambiental.

Análisis de datos obtenidos sobre consumo energético, para la realización de informe de auditoría del bloque 1 La Caracterización del sistema mediante levantamiento de datos para la determinación de la línea base de la auditoría, se llevará a cabo empleando herramientas y técnicas especializadas. Esto implicará mediciones detalladas del consumo eléctrico, identificación de equipos y dispositivos pertinentes, así como el análisis de los patrones de

consumo energético. Asimismo, se procederá a evaluar la presencia y funcionamiento de sistemas de control y gestión de energía, en caso de estar implementados. Se registraron datos de magnitudes eléctricas como tensiones, corrientes, potencia y energía demandada según los horarios de consumo. Se tratará el conjunto de datos obtenido para conformar un dataset, que aplicando técnicas de gestión y limpieza de datos conformará un Dataframe.

Tabla 1.

Lectura de datos remotos

Timestam	p	volt_A	volt_B	volt_C	I_A	I_B	I_C	P_A	P_B	P_C	P_T	Q_A	Q_B	Q_C	Q_T
7/05/2024				125,48	0,40	0,71		0,04	0,08	0,01	0,14	0,02	0,00	0,02	0,00
16:59:07	126,23	124,15	1	2	8	0,24	2	7	4	5	4	7	4	6	
7/05/2024		124,01	125,27	0,67	1,28	0,82	0,07	0,15	0,00		0,03	0,02	0,10		
17:09:07	126,25	5	9	5	6	1	6	5	8	0,24	5	5	1	0,04	
7/05/2024	125,72	124,08	126,07	0,17	1,28	0,81		0,15	0,00	0,17	0,01	0,02	0,10		
17:19:09	7	4	8	7	2	9	0,01	5	8	4	6	5	1	0,06	
7/05/2024	126,41	124,40	125,57	0,68	1,28	0,82	0,07	0,15	0,00		0,03	0,02	0,10		
17:29:08	3	4	6	2	3	1	6	5	8	0,24	5	5	1	0,04	
7/05/2024	126,29		125,63	0,41	1,02	0,64	0,04	0,12	0,00		0,02	0,02	0,07	0,02	
17:39:09	4	124,7	7	4	1	2	3	2	5	0,16	5	5	8	7	
7/05/2024	126,75	125,05	125,93	0,46	1,01		0,05	0,12	0,00	0,16	0,02	0,02	0,07	0,02	
17:49:07	7	1	7	5	6	0,63	2	1	6	7	6	5	6	5	
7/05/2024	126,55	125,02	126,36	0,17	1,02	0,63	0,01	0,12	0,00		0,01	0,02	0,07	0,03	
17:59:08	2	9	6	5	1	8	3	2	5	0,13	4	4	8	8	
7/05/2024	127,33	125,51	126,34		1,01	0,62	0,05	0,12	0,00	0,16	0,02	0,02	0,07	0,02	
18:09:07	2	7	2	0,47	3	7	2	2	6	8	5	4	6	6	
7/05/2024	127,07	125,20	125,93	0,67	1,43	0,99	0,07	0,17	0,06	0,18	0,03	0,01	0,10	0,08	
18:19:08	9	3	8	2	2	6	7	7	7	8	3	3	5	4	
7/05/2024	126,81		126,83	0,42	1,68	1,16		0,20	0,02	0,23	0,01	0,01	0,14	0,11	
18:29:09	7	124,98	3	8	9	8	0,05	9	7	2	7	1	4	4	
7/05/2024	127,07	125,16	126,98	0,37	1,65	1,14	0,04	0,20	0,02	0,21	0,01	0,01			
18:39:08	3	8	4	7	7	3	2	6	8	9	8	1	0,14	0,11	
7/05/2024	127,20		127,23	0,34	1,64			0,20	0,02	0,21	0,01	0,01	0,13	0,11	
18:49:08	8	125,3	9	7	3	1,13	0,04	4	8	6	4	1	9	4	
7/05/2024		125,78	127,13	0,63	1,10	0,53	0,07	0,13		0,19	0,02		0,06	0,05	
18:59:07	128,16	2	6	9	9	9	6	7	0,02	3	5	0,02	3	8	
7/05/2024	127,27	125,35	127,81	0,10	1,42	1,02	0,00	0,17	0,03	0,15	0,00	0,00	0,12		
19:09:08	3	3	3	6	1	1	7	7	2	2	6	1	5	0,12	
7/05/2024	127,34	125,38	127,33	0,43	1,49	1,11	0,05	0,18	0,02	0,20	0,01	0,00	0,13	0,11	
19:19:09	7	9	2	6	1	1	1	5	9	7	8	7	7	1	
7/05/2024	127,22	125,19	127,30	0,40	1,48		0,04	0,18	0,02	0,20	0,01	0,00	0,13	0,11	
19:29:08	1	1	3	1	6	1,11	6	4	9	2	7	7	6	1	
7/05/2024	127,26		127,18	0,44	1,48	1,10	0,05	0,18	0,02	0,20	0,02	0,00	0,13	0,10	
19:39:07	2	125,31	8	9	1	4	3	4	9	8	1	7	6	7	

7/05/2024		125,35	127,27	0,35		1,10	0,04	0,18	0,02	0,19	0,01	0,00	0,13	0,11
19:49:08	127,18	1	1	3	1,48	1	1	4	9	6	4	6	5	4
7/05/2024	127,10	125,19	127,68	0,10	1,47	1,09	0,00	0,18	0,02	0,16	0,00	0,00	0,13	0,12
19:59:08	4	2	9	5	5	6	8	3	9	2	6	6	5	2
7/05/2024	127,31		127,20	0,50	1,47	1,09	0,05	0,18		0,20	0,03	0,00	0,13	0,09
20:09:10	3	125,59	9	5	7	6	1	4	0,03	6	6	5	4	2
7/05/2024	126,66	124,93	127,00	0,34	1,46	1,08		0,18	0,02	0,19	0,01	0,00	0,13	0,11
20:19:08	8	3	2	4	8	8	0,04	2	8	3	3	6	3	3
7/05/2024	126,97	125,03	126,47	0,69	1,47	1,09	0,08	0,18	0,02	0,23	0,02	0,00	0,13	0,10
20:29:12	7	4	5	4	3	4	3	3	8	7	5	7	4	1
7/05/2024	127,00	125,44	126,30	0,76		1,07	0,06	0,18	0,02	0,22	0,06	0,00	0,13	0,05
20:39:08	3	9	5	2	1,46	9	7	2	7	1	8	6	2	7
7/05/2024	127,60	126,10	126,45		0,86	0,53	0,07	0,10			0,07	0,02	0,06	0,01
20:49:08	3	4	3	0,83	7	7	5	6	0,02	0,16	3	4	3	5
7/05/2024	127,31	125,94	127,02	0,55	0,86	0,53	0,03	0,10				0,02	0,06	0,02
20:59:15	3	5	7	3	6	8	4	5	0,02	0,12	0,06	4	3	8
7/05/2024	127,51		127,21	0,34	0,86	0,53		0,10	0,02	0,12	0,01	0,02	0,06	0,07
21:09:09	9	125,77	1	6	7	9	0,04	5	1	5	3	4	3	5
7/05/2024	127,62	126,04	127,45	0,41	0,86	0,53	0,04	0,10	0,02	0,13	0,01	0,02	0,06	0,07
21:19:08	6	8	6	6	9	9	9	6	1	4	5	5	3	3
7/05/2024	127,78	126,06	127,62	0,35	0,86	0,54	0,04	0,10	0,02	0,12	0,01	0,02	0,06	0,07
21:29:08	9	9	4	7	9	1	1	6	1	6	4	5	4	4
7/05/2024		126,32	127,62	0,37		0,54	0,04	0,10	0,02	0,12	0,01	0,02	0,06	0,07
21:39:12	127,91	6	7	7	0,87	1	3	6	1	8	7	5	4	1
7/05/2024	127,98	126,48	128,29	0,10		0,54	0,00	0,10	0,02	0,09	0,00	0,02	0,06	0,08
21:49:10	3	7	2	5	0,87	1	8	6	1	3	5	5	4	4
7/05/2024	128,46	126,65	128,09	0,37	0,86	0,54	0,04	0,10	0,02	0,12	0,01	0,02	0,06	0,07
21:59:10	5	2	8	3	9	1	3	6	1	9	6	5	4	3
7/05/2024	128,66	126,91	128,37	0,35	0,87	0,54	0,04	0,10	0,02	0,12	0,01	0,02	0,06	0,07
22:09:09	8	3	1	1	2	2	1	7	1	7	3	5	4	6
7/05/2024		127,40	128,22	0,64	0,45	0,24	0,07	0,05	0,01	0,14	0,02	0,01	0,02	0,01
22:19:11	129,2	6	5	7	5	1	9	5	4	9	3	3	5	5
7/05/2024	129,19	127,64	129,15	0,10	0,45	0,24	0,00	0,05	0,01	0,07	0,00	0,01	0,02	0,03
22:29:09	6	5	5	6	5	1	8	5	5	9	5	3	5	3
7/05/2024	129,53	128,04	128,75	0,43	0,33	0,24	0,05	0,04	0,01	0,10	0,01	0,00	0,02	0,00
22:39:07	4	6	2	1	3	1	2	2	5	9	6	2	5	6
7/05/2024	129,65	128,79	129,31	0,10			0,00			0,00	0,00			0,00
22:49:11	7	1	7	7	0	0	8	0	0	8	6	0	0	5
7/05/2024	129,94	128,94	129,14	0,35			0,04			0,04	0,01			0,01
22:59:09	2	5	7	5	0	0	3	0	0	3	3	0	0	3
7/05/2024		129,12	128,67	0,72							0,02			0,02
23:09:17	130,33	6	3	9	0	0	0,09	0	0	0,09	5	0	0	5
7/05/2024	130,20		129,27	0,56			0,03			0,03	0,06			0,06
23:19:08	7	129,82	6	3	0	0	7	0	0	7	2	0	0	2
7/05/2024	128,94	128,00	128,12	0,37			0,04			0,04	0,01			0,01
23:29:08	4	3	9	8	0	0	4	0	0	4	6	0	0	6
7/05/2024	128,92	128,19	128,53	0,16			0,01			0,01	0,00			0,00
23:39:08	1	6	3	3	0	0	7	0	0	7	7	0	0	7

7/05/2024	129,50	128,24	128,13	0,63			0,07			0,07	0,02			0,02
23:49:09	9	1	6	7	0	0	8	0	0	8	1	0	0	1
7/05/2024	129,43	128,45	128,57	0,35			0,04			0,04	0,01			0,01
23:59:08	1	5	3	3	0	0	2	0	0	2	3	0	0	3
8/05/2024	129,59		128,47	0,42			0,05			0,05	0,01			0,01
0:09:07	5	128,49	4	6	0	0	1	0	0	2	5	0	0	5
8/05/2024	129,70	128,73	129,37	0,10			0,00			0,00	0,00			0,00
0:19:07	5	9	1	6	0	0	8	0	0	8	5	0	0	5
8/05/2024	129,71	128,94	129,19	0,24			0,01			0,01	0,02			0,02
0:29:08	8	4	8	3	0	0	7	0	0	7	4	0	0	4
8/05/2024	129,29	128,36	128,90	0,16			0,01			0,01	0,00			0,00
0:39:08	8	4	8	1	0	0	6	0	0	7	7	0	0	7
8/05/2024	129,93	129,32	128,57	0,76							0,06			0,06
0:49:07	1	5	6	1	0	0	0,07	0	0	0,07	8	0	0	8
8/05/2024	130,29	129,13	128,81	0,65						0,08	0,02			0,02
0:59:08	5	4	2	2	0	0	0,08	0	0	1	3	0	0	3
8/05/2024	130,00	129,14	129,77				0,00			0,00	0,00			0,00
1:09:07	5	2	8	0,11	0	0	8	0	0	8	6	0	0	6
8/05/2024	129,39	128,27	128,38	0,40			0,04			0,04	0,01			0,01
1:19:09	1	8	1	3	0	0	8	0	0	8	6	0	0	6
8/05/2024	128,93	128,12	128,65	0,10			0,00			0,00	0,00			0,00
1:29:08	4	3	1	8	0	0	8	0	0	8	6	0	0	6
8/05/2024	129,23	128,03	127,87	0,63			0,07			0,07	0,02			0,02
1:39:07	3	7	2	2	0	0	8	0	0	8	1	0	0	1
8/05/2024	129,17	128,08		0,35			0,04			0,04	0,01			0,01
1:49:08	9	6	128,31	1	0	0	2	0	0	2	3	0	0	3
8/05/2024	129,22	128,29	128,41	0,35			0,04			0,04	0,01			0,01
1:59:09	7	8	2	8	0	0	2	0	0	3	4	0	0	4
8/05/2024	129,25	128,42	128,90	0,16			0,01			0,01	0,00			0,00
2:09:08	2	3	5	1	0	0	6	0	0	7	7	0	0	7
8/05/2024		128,26	128,73	0,10			0,00			0,00	0,00			0,00
2:19:08	129,17	6	8	7	0	0	8	0	0	8	6	0	0	5
8/05/2024	129,36	128,68	127,89	0,75			0,06			0,06	0,06			0,06
2:29:08	9	3	1	6	0	0	9	0	0	9	7	0	0	7
8/05/2024		128,51	128,54	0,42			0,05			0,05	0,01			0,01
2:39:08	129,58	4	2	1	0	0	1	0	0	1	4	0	0	4
8/05/2024	129,79	128,54	128,21	0,64			0,07				0,02			0,02
2:49:08	3	5	4	8	0	0	9	0	0	0,08	3	0	0	3
8/05/2024	129,33	128,45	128,98	0,10			0,00			0,00	0,00			0,00
2:59:08	2	9	7	8	0	0	8	0	0	8	6	0	0	6
8/05/2024	129,54	128,47		0,44			0,05			0,05	0,01			0,01
3:09:08	3	4	128,44	7	0	0	3	0	0	4	7	0	0	7
8/05/2024	129,37	128,53	129,02	0,10			0,00			0,00	0,00			0,00
3:19:08	1	9	6	8	0	0	8	0	0	8	6	0	0	6
8/05/2024	129,64	128,49		0,63			0,07			0,07	0,02			0,02
3:29:10	5	8	128,16	7	0	0	8	0	0	9	1	0	0	1
8/05/2024	129,85		128,78	0,42			0,05			0,05	0,01			0,01
3:39:10	8	128,75	2	1	0	0	1	0	0	1	4	0	0	4

8/05/2024	129,51	128,45		0,35			0,04			0,04	0,01			0,01
3:49:16	3	5	128,61	6	0	0	2	0	0	3	3	0	0	3
8/05/2024			128,50	0,35			0,04			0,04	0,01			0,01
3:59:10	129,44	128,45	6	7	0	0	2	0	0	3	4	0	0	4
8/05/2024		128,36	128,76	0,16			0,01			0,01	0,00			0,00
4:09:09	129,3	8	7	6	0	0	7	0	0	7	8	0	0	8
8/05/2024	129,33	128,83	128,35	0,56			0,03			0,03	0,06			0,06
4:19:08	8	7	8	1	0	0	5	0	0	6	2	0	0	1
8/05/2024	129,23	128,33	128,82	0,10			0,00			0,00	0,00			0,00
4:29:10	8	2	4	7	0	0	8	0	0	8	6	0	0	5
8/05/2024	129,48	128,39	128,58				0,04			0,04	0,01			0,01
4:39:08	9	7	6	0,35	0	0	2	0	0	2	2	0	0	2
8/05/2024	129,43		128,55	0,35			0,04			0,04	0,01			0,01
4:49:07	2	128,36	4	2	0	0	2	0	0	2	3	0	0	3
8/05/2024		128,45	128,15	0,64			0,07			0,07	0,02			0,02
4:59:08	129,56	7	1	7	0	0	9	0	0	9	3	0	0	3
8/05/2024	129,18	128,35	128,93	0,10			0,00			0,00	0,00			0,00
5:09:08	3	4	7	7	0	0	8	0	0	8	6	0	0	6
8/05/2024	129,54	128,50	128,56				0,04			0,04	0,01			0,01
5:19:09	7	2	1	0,38	0	0	5	0	0	5	6	0	0	6
8/05/2024	128,99	128,12	128,82	0,10			0,00			0,00	0,00			0,00
5:29:08	1	6	3	6	0	0	8	0	0	8	6	0	0	5
8/05/2024		128,20	127,93	0,63			0,07			0,07	0,02			0,02
5:39:10	129,27	1	1	5	0	0	8	0	0	8	1	0	0	1
8/05/2024	129,17	128,28	128,35	0,41			0,05			0,05	0,01			0,01
5:49:10	3	1	6	9	0	0	1	0	0	1	4	0	0	4
8/05/2024	128,79	127,85	128,04	0,34			0,04			0,04	0,01			0,01
6:01:19	3	8	6	8	0	0	1	0	0	1	3	0	0	2
8/05/2024	128,85	127,88	128,08	0,34			0,04			0,04	0,01			0,01
6:02:05	8	8	8	8	0	0	1	0	0	1	2	0	0	2
8/05/2024	128,79	127,88	128,11	0,34			0,04			0,04	0,01			0,01
6:02:47	8	5	4	8	0	0	1	0	0	1	2	0	0	2
8/05/2024	128,53	127,69	128,30	0,10			0,00			0,00	0,00			0,00
6:03:16	9	8	4	9	0	0	7	0	0	8	6	0	0	6
8/05/2024	128,50	127,69	128,25	0,10			0,00			0,00	0,00			0,00
6:09:07	3	9	9	9	0	0	7	0	0	8	6	0	0	6
8/05/2024	128,52	127,80	127,01	0,80			0,07			0,07	0,06			0,06
6:19:08	9	2	5	6	0	0	9	0	0	9	9	0	0	8
8/05/2024	128,29	127,40	127,94	0,10			0,00			0,00	0,00			0,00
6:29:07	5	9	6	9	0	0	7	0	0	8	6	0	0	6
8/05/2024	128,12	127,36		0,31			0,01			0,03	0,05			0,05
6:39:07	7	7	127,64	9	0	0	5	0	0	5	9	0	0	9
8/05/2024	128,18	127,17	127,57	0,34			0,04			0,04	0,01			0,01
6:49:09	8	1	8	6	0	0	1	0	0	1	2	0	0	2
8/05/2024	128,19	127,06	127,38	0,34			0,04			0,04	0,01			0,01
6:59:08	8	8	5	9	0	0	1	0	0	1	3	0	0	3
8/05/2024	127,74	126,30	127,37	0,35	0,36	0,26	0,04	0,04	0,01	0,10	0,01	0,00	0,02	0,00
7:09:10	2	8	9	5	1	1	1	5	6	6	5	2	6	9

8/05/2024 7:19:08	126,97	125,82		0,16	0,35	0,25	0,01	0,04	0,01	0,07	0,00	0,00	0,02	0,01
	4	7	127,03	1	2	6	6	4	6	6	7	2	6	5
8/05/2024 7:29:08	127,17	125,62	126,38	0,35	0,35	0,25	0,04	0,04	0,01	0,10	0,01	0,00	0,02	0,00
	3	6	1	4	2	2	1	4	5	1	5	2	5	8
8/05/2024 7:39:09	126,79		126,81	0,10	0,35		0,00	0,04	0,01	0,06	0,00	0,00	0,02	0,01
	3	125,54	2	6	1	0,25	7	3	5	7	6	2	5	7
8/05/2024 7:49:08	126,76	125,40	126,12	0,41	0,35		0,04	0,04	0,01	0,10	0,01	0,00	0,02	0,00
	4	1	3	9	1	0,25	9	3	5	9	6	2	5	6
8/05/2024 7:59:09	126,74	125,43	126,23	0,34				0,04	0,01	0,09	0,01	0,00	0,02	0,00
	1	8	8	3	0,35	0,25	0,04	3	5	9	3	2	5	9
8/05/2024 8:09:10	126,26	124,87	125,89	0,34	0,34	0,24	0,03	0,04	0,01	0,09	0,01	0,00	0,02	0,00
	4	9	9	4	9	9	9	3	5	8	4	2	5	8

A partir de los datos de la tabla 1 se construyen los gráficos de la figura 7.

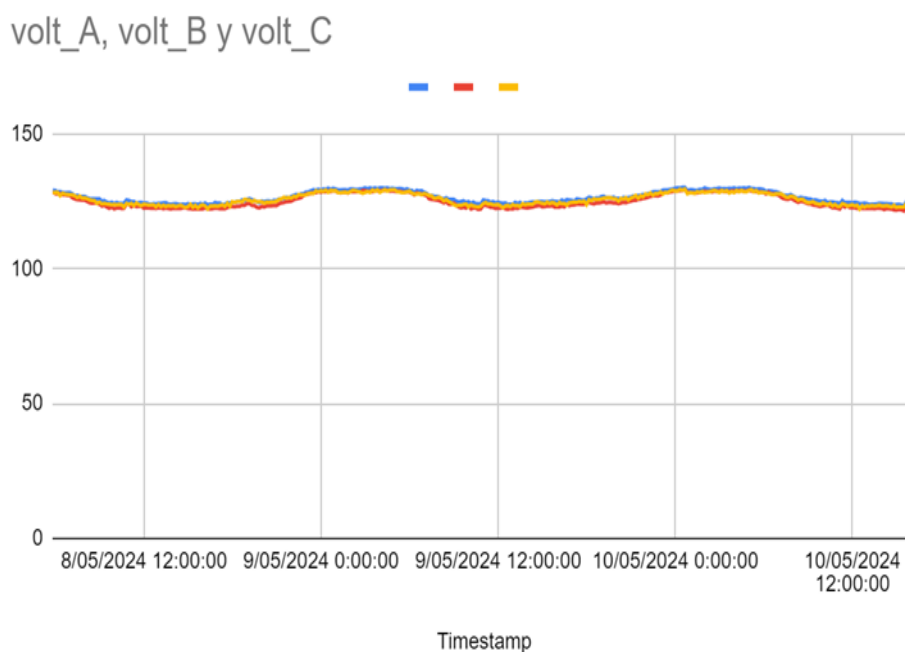


Figura 7. Curva de voltajes vs tiempo

Fuente: propia.

Esta data primaria permitirá caracterizar el consumo energético y calcular los indicadores requeridos. Como fuentes secundarias se emplearán los registros históricos de consumo eléctrico, reportes de mantenimiento, planos eléctricos y bases de datos técnicas de los equipos. La figura 8 presenta la curva de corrientes.

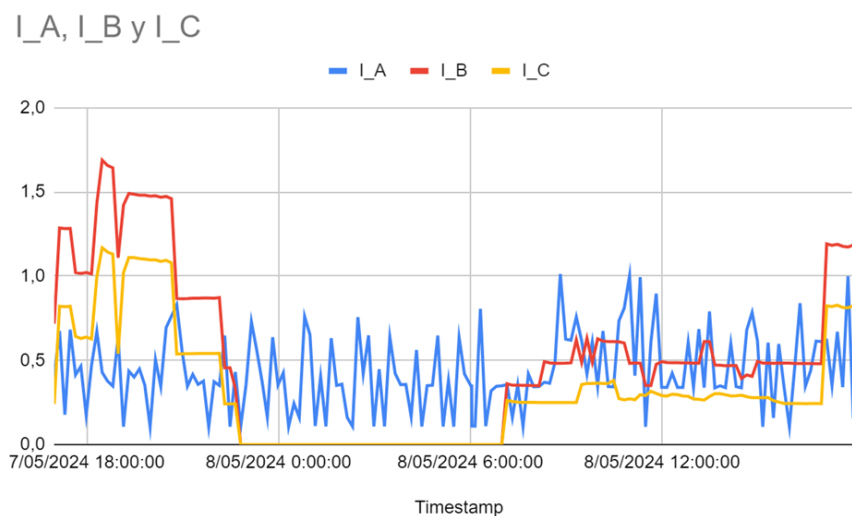


Figura 8. Curva de corriente vs tiempo
Fuente: propia.

para confirmar los ahorros energéticos estimados, se realizará una medición y verificación rigurosa del nuevo consumo eléctrico (kWh) de las áreas intervenidas. Para llegar a tales propuestas se revisa el diagrama de dispersión de la figura 9

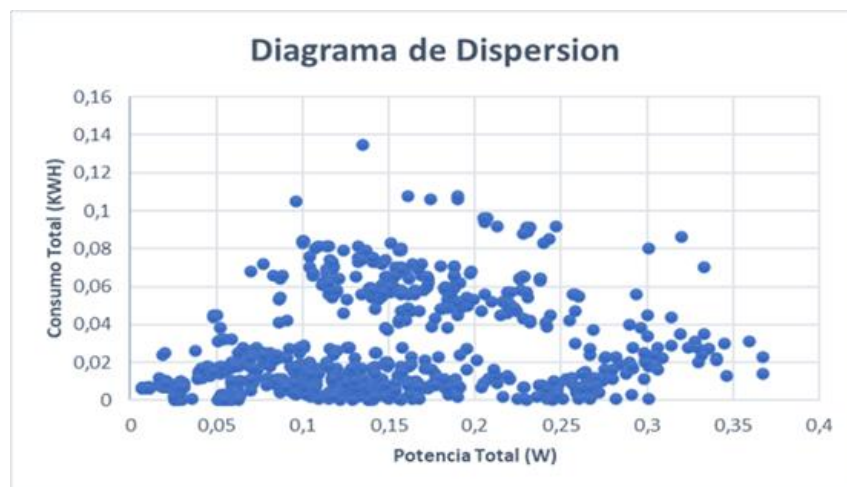


Figura 9. Diagrama de dispersión.
Fuente: propia.

Se utilizarán metodologías internacionales como el Protocolo de Medida y Verificación de Eficiencia Energética Internacional (IPMVP). Los resultados validarán las proyecciones y

demostrarán la utilidad de las medidas adoptadas. Toda información será registrada para replicar las mediciones periódicamente. La figura 10 presenta la relación consumo vs voltaje.

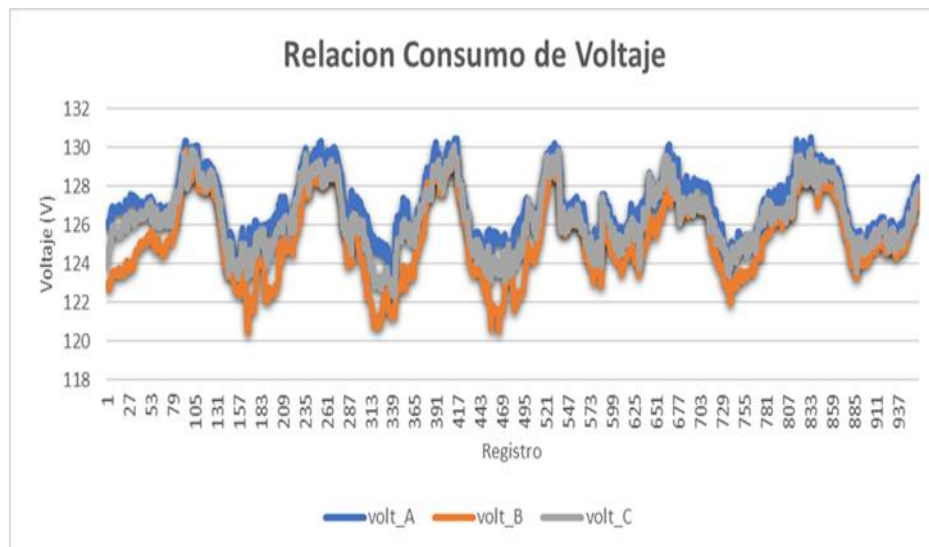


Figura 10. Curva de relación de consumo contra voltaje.
Fuente: propia.

La instalación de los dispositivos de medición IoT, que comprende la implementación de analizadores de red junto con un Gateway para la captura de datos, representa un paso significativo en el proceso de auditoría de eficiencia energética.

Estos dispositivos desempeñan un papel crucial al permitir la monitorización en tiempo real y la recopilación de información detallada sobre el consumo eléctrico y otros parámetros relevantes. Los analizadores de red desglosan y analizan la calidad de la energía y los patrones de consumo, brindando una visión precisa y detallada del rendimiento energético del edificio.

A su vez, el Gateway facilita la comunicación y transmisión eficiente de estos datos a los sistemas de gestión, lo que posibilita un monitoreo continuo y la toma de decisiones informadas para mejorar la eficiencia energética en tiempo real. Esta integración de tecnología IoT potencia la capacidad de implementar estrategias de mejora más efectivas y permite un enfoque proactivo hacia la gestión energética del edificio.

El informe de auditoría del Bloque 1, que considera un reciente cambio en la carga, implica un análisis detallado de los datos recopilados. El objetivo es elevar la calidad del suministro eléctrico mediante la identificación y solución de posibles desafíos en la distribución de energía. Este enfoque estratégico no solo busca resolver los problemas actuales, sino también establecer una base sólida para una gestión energética eficiente y sostenible a largo plazo en el Bloque 1 de la institución.

La revisión exhaustiva del estado del arte es esencial para comprender a fondo las temáticas del proyecto, implicando una inmersión en la literatura existente, investigaciones previas y avances tecnológicos. Este proceso no solo establece un sólido marco teórico, sino que también identifica lagunas de conocimiento y posibles enfoques innovadores.

Esta inmersión sienta las bases para una planificación estratégica y la formulación de objetivos que reflejen las tendencias y desafíos más recientes en la disciplina. En resumen, la revisión del estado del arte es crucial para la excelencia investigativa y la contribución significativa al avance del conocimiento en el ámbito del proyecto.

La ejecución de un estudio de mercado detallado es esencial para identificar los componentes y herramientas más adecuados para el proyecto. Este proceso implica analizar las opciones disponibles, considerando aspectos técnicos, compatibilidad, calidad, costos e integración. La investigación de mercado facilita la selección de elementos acordes con las necesidades del proyecto y anticipa posibles innovaciones y tendencias.

Además, proporciona una visión clara de los proveedores líderes y la viabilidad a largo plazo de las soluciones. En última instancia, este estudio se posiciona como un pilar fundamental para decisiones informadas, asegurando que los componentes seleccionados cumplan con los requisitos técnicos y se alineen con las expectativas del mercado en constante cambio.

Evaluar la presencia y el rendimiento de sistemas de control y gestión de energía es esencial para analizar la eficiencia energética. Este proceso implica identificar y analizar la efectividad de

los sistemas en la optimización del consumo de energía, evaluando protocolos de control, capacidad de adaptación a fluctuaciones y la integración con tecnologías emergentes. La revisión minuciosa facilita la identificación de mejoras y ajustes necesarios, contribuyendo a la eficiencia operativa y la implementación de estrategias para un uso racional y sostenible de la energía.

La instalación de dispositivos de medición IoT en una auditoría energética es un paso crucial que implica planificación cuidadosa y ejecución precisa. Estos dispositivos, estratégicamente ubicados, permiten la monitorización en tiempo real de variables clave. Su instalación implica no solo la conexión física, sino también la configuración de protocolos de comunicación para una transmisión eficiente de datos.

Estos dispositivos se convierten en nodos inteligentes que alimentan una red interconectada, proporcionando datos valiosos para análisis detallados y decisiones informadas. En resumen, la instalación de dispositivos IoT mejora la precisión de la auditoría energética y establece bases para estrategias proactivas de gestión de energía.

El desarrollo de estrategias de mejora es un proceso fundamental que implica la evaluación detallada de datos para identificar oportunidades de optimización. Basadas en un análisis profundo de patrones y tendencias, estas estrategias buscan corregir ineficiencias y promover prácticas sostenibles.

Involucrar a equipos multidisciplinarios enriquece el proceso al integrar diversas perspectivas. Este enfoque no solo aborda problemas existentes, sino que también se orienta hacia la anticipación y adaptación a cambios futuros, asegurando una eficiencia continua y sostenibilidad a largo plazo.

Seleccionar la mejor estrategia implica un proceso exhaustivo que considera factores como la viabilidad técnica, la inversión requerida, el tiempo de implementación y los beneficios a corto y largo plazo. Se evalúan también aspectos económicos, ambientales y operativos, buscando una elección equilibrada. La participación de partes interesadas y expertos en la toma de decisiones

enriquece el proceso. En resumen, la selección de la mejor estrategia no solo apunta a mejorar la eficiencia a corto plazo, sino también a promover la sostenibilidad y adaptabilidad a largo plazo.

La implementación de la mejor estrategia de mejora implica una planificación detallada, ejecución coordinada y supervisión continua. Se asignan responsabilidades y recursos, se establecen cronogramas y se ajustan estrategias según sea necesario. La comunicación efectiva y la monitorización constante son elementos clave para garantizar resultados positivos y sostenibles en términos de eficiencia operativa y gestión de la energía.

7 Conclusiones

Dado que las potencias reactivas muestran variabilidad significativa, se recomienda instalar compensadores de reactivos, como bancos de condensadores, para mejorar el factor de potencia. Esto ayudará a reducir las pérdidas de energía y por bajo factor de potencia.

Para evaluar la calidad de potencia se medirán parámetros como contenido armónico, severidad de armónicos individuales y total (THD), fluctuaciones de tensión, desequilibrios, factor de potencia y otros durante al menos 72 horas continuas. Se utilizarán analizadores de calidad de energía según la norma IEC 61000-4-30.

Observando las diferencias entre las corrientes de las fases A, B y C, se recomienda implementar un programa de balance de cargas, redistribuyendo las cargas entre las fases para minimizar el desequilibrio y mejorar la eficiencia energética del sistema.

8 Recomendaciones

Mediante luxómetros se debe auditar los niveles de iluminancia en distintas áreas del bloque 1 comparándolos con los valores recomendados en la norma ISO 8995 para determinar sistemas de alumbrado sobredimensionados o ineficientes. En este punto se hace la descripción pormenorizada de las conclusiones de la auditoría.

Realizar auditorías energéticas periódicas para evaluar el desempeño del sistema eléctrico, identificar áreas de mejora y verificar la implementación de las recomendaciones anteriores. Las auditorías deben incluir un análisis detallado de todas las variables eléctricas y el desempeño del sistema en su conjunto.

9 Referencias bibliográficas

- Alarcón, I. B. (2021). Guía para el desarrollo de auditorías de eficiencia energética y operativa en sistemas de tratamiento de agua. *ff Soluciones S. A, Miembros de Acodal, Centro*, 34.
- Arboleda Trujillo Luis Carlos. (2019). *SISTEMA DE GESTION DE RED PARA INTERNET DE LAS COSAS*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Balcells, J. A. (2010). *Eficiencia en el uso de la energía eléctrica*. Catalunya: Marcombo.
- Clark, W. T. (1998). análisis y gestión energética de edificios. Métodos, proyectos y sistemas de ahorro energético. . *análisis y gestión energética de edificios. Métodos, proyectos y sistemas de ahorro energético.* , 420.
- Eduardo Hidalgo Fort. (2019). *Internet of Things en Sistemas de Monitorización Inteligente con Aplicación en Transporte e Infraestructuras*. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla.
- Energia, M. d. (2018). *LINEAMIENTOS ESTRATEGICOS VIRTUALIZACION DE LA INFORMACION ACCIONES PARA LA MANIFESTACION DE LA MEDIDA EN AMI*. Bogotá: Colombia Inteligente.
- FLUKE. (2011). *EQUIPOS DE CALIDAD DE ENERGIA ELECTRICA*. E.U.: FLUKE Corporation.
- García-Peñalvo, F. J. (2019). nteligencia Artificial. Una perspectiva desde la ficción a la realidad. <https://bit.ly/2Q0jap0>. doi: 10.5281/zenodo.2818903.
- Girini, R. G. (2012). Metodologías para auditorías energéticas en edificios. *Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.*, 17.
- López Cardona, J. (2017). Criterios para la realización de una Auditoría Energética en usuarios Oficiales, Comerciales y Residenciales de Colombia. *UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA*, 39.
- Marcela, L. H. (2013). *DESARROLLO DE UNA GUÍA ENFOCADA A MEDIDORES DE ENERGÍA Y CONEXIONES DE MEDIDORES*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

- Marco, E. G. (2019). *ANALIZADOR INTELIGENTE DE CONSUMO ENERGETICO*. Catalunya: Universidad Oberta de Catalunya.
- Mauricio, R. C. (2014). *METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BASE A NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES PARA LA UNIVERSIDAD DE LA COSTA - CUC*. Barranquilla: Universidad de la Costa CUC.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. (2022). EFICIENCIA ENERGETICA: AUDITORIAS ENERGETICAS EN GRANDES INDUSTRIAS. *MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA*, 22.
- MUÑOZ SAONA ESTEBAN PAÚL, V. R. (2011). DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UNA GUÍA PARA REALIZAR AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN EL SECTOR INDUSTRIAL. *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL*, 23-24.
- Omar Fredy Prias Caicedo, J. C. (2019). *Implementación de un sistema de Gestión de la Energía Guía con base en la norma ISO 50001:2018*. Bogotá.
- Pereira, E. d. (2017). *PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO DE MEDIDORES DE ENERGIA Y TRANSFORMADORES DE MEDIDA DE LAS FRONTERAS COMERCIALES*. Pereira: Energia de Pereira.
- Roberto Franca y Verónica Miranda, A. P. (2013). *ENERGIA: UNA VISION SOBRE LOS RETOS Y OPORTUNIDADES EN AMERICA LATINA Y EN EL CARIBE*. CAF.
- Torija, J. G. (2017). LA AUDITORÍA ENERGÉTICA OPERATIVA EN CENTROS DOCENTES COMO HERRAMIENTA PARA MEJORAR EL AHORRO Y LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. *DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICAS ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID*, 448.