

**AUDITORÍA ENERGÉTICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA
ENERGÉTICA EN LA COMPAÑÍA CASA FERRETERA, SEDE CENTRO**

**LUISA FERNANDA CELADA GUISAO
KAREN PÉREZ RÚA
JHON JAIBER RENTERÍA CORREA**

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

**AUDITORÍA ENERGÉTICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA
ENERGÉTICA EN LA COMPAÑÍA CASA FERRETERA, SEDE CENTRO**

**LUISA FERNANDA CELADA GUISAO
KAREN PÉREZ RÚA
JHON JAIBER RENTERÍA CORREA**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero (a) electricista

**Asesor técnico:
Bayron Álvarez Arboleda
PhD en estudios organizacionales**

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

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

Contenido

	Pág.
1. Planteamiento del problema	12
1.1 Descripción.....	12
1.2 Formulación	12
2. Justificación	13
3. Objetivos.....	14
3.1 Objetivo general	14
3.2 Objetivos específicos.....	14
4. Referentes teóricos	15
4.1 Auditoría Energética	15
4.2 Auditoría energética en el contexto colombiano.....	15
4.3 Uso Racional de la Energía -URE-	16
4.4 Variables eléctricas en el marco de una auditoría energética.....	17
5. Metodología.....	21
5.1 Tipo de proyecto.....	21
5.2 Método	21
5.3 Instrumentos de recolección de información.	22
6. Resultados de la propuesta	23
6.1 Caracterización del sistema eléctrico	24
6.2 Implementación de sistema de monitoreo con tecnología IoT.....	28
6.3 Análisis de consumo energético y estrategias de optimización	33
7. Conclusiones.....	42
8. Referencias	44
9. Bibliografía.....	45

Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1:</i> Esquema de auditoría energética basado en la ISO 50002	15
<i>Figura 2:</i> Indicadores de la medida de auditorías energéticas	16
<i>Figura 3:</i> Esquema seguido por la norma ISO 50001	19
<i>Figura 4:</i> Principios que conforman la línea base energética	20
<i>Figura 5:</i> Conexiones Dracmon-3.....	29
<i>Figura 6:</i> Medidor Siemens Pac3120 – lado frontal y trasero	31
<i>Figura 7:</i> Controlador programable PLC Amp-1	31
<i>Figura 8:</i> Sistema Dracmon-3.....	32
<i>Figura 9:</i> limpieza de dataset. Antes (izq). Después (der).....	34
<i>Figura 10:</i> entorno Google Colaboratory.....	34
<i>Figura 11:</i> Consumo diario en CF sede Centro	35
<i>Figura 12:</i> Consumo semanal en CF sede Centro.....	36
<i>Figura 13:</i> Consumo mensual en CF sede Centro	36
<i>Figura 14:</i> Potencias mensuales promedio [S, P, Q]	37
<i>Figura 15:</i> Cálculo de factor de desbalance entre tensiones	38
<i>Figura 16:</i> Promedio de corriente mensual por fase	38
<i>Figura 17:</i> Gráfica de indicadores energéticos	39

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1.....	25
Tabla 2.....	26
Tabla 3.....	28

Lista de anexos

Pág.

10.1 Anexo 1. Código ejecutado para analítica de datos en Google Colab46

Resumen

AUDITORÍA ENERGÉTICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA COMPAÑÍA CASA FERRETERA, SEDE CENTRO

**LUISA FERNANDA CELADA
GUISAO KAREN PÉREZ RÚA
JHON JAIBER RENTERÍA CORREA**

El presente trabajo desarrolla una auditoría energética en la sede Centro de **Casa Ferretera S.A.**, mediante la implementación del sistema de medición IoT Dracmon-3, diseñado para el monitoreo continuo de variables eléctricas en tiempo real. A partir del procesamiento de los datos registrados entre junio y octubre de 2025, se caracterizó el comportamiento energético de la instalación, identificando un bajo factor de potencia (0,426), un factor de carga reducido (0,11) y la presencia de cargas inductivas predominantes. Con base en estos resultados, se formularon acciones de mejora orientadas a la compensación de energía reactiva, balanceo de cargas y modernización tecnológica, promoviendo la eficiencia energética y la sostenibilidad operativa en la organización.

Palabras claves: auditoría energética, consumo eléctrico, factor de potencia, eficiencia energética.

Abstract

This study conducts an energy audit at the headquarters of Casa Ferretera S.A. through the implementation of the Dracmon-3 IoT measurement system, designed for the continuous monitoring of electrical variables in real time. Based on the processing of data recorded between June and October 2025, the energy behavior of the facility was characterized, identifying a low power factor (0.426), a reduced load factor (0.111), and the presence of predominant inductive loads. Based on these results, improvement actions were formulated aimed at reactive energy compensation, load balancing, and technological modernization, promoting energy efficiency and operational sustainability in the organization.

Keywords: energy audit, electricity consumption, power factor, energy efficiency.

Glosario

Aforo de cargas: inventario detallado de los equipos consumidores de energía, sus potencias nominales y tiempos de operación, utilizado para evaluar la demanda eléctrica total (García, Gestión energética en instalaciones industriales, 2021).

Analizador de redes: equipo utilizado para medir y registrar variables eléctricas como tensión, corriente, potencia y factor de potencia (IEEE, 2017).

Armónicos: distorsiones en la forma de onda de corriente o tensión debidas a cargas no lineales, que afectan la calidad y eficiencia del suministro eléctrico (Arrillaga, J., & Neville, R. W., 2003).

Auditoría energética: procedimiento sistemático para obtener conocimiento detallado del consumo energético de una instalación y detectar oportunidades de mejora en eficiencia energética (ICONTEC, 2019).

Calidad de la energía: grado de conformidad de los parámetros eléctricos (tensión, frecuencia y forma de onda) con los valores nominales que garantizan el correcto funcionamiento de los equipos (Bollen, M. H., 1999).

Compensación de energía reactiva: instalación de dispositivos (como bancos de capacitores) para mejorar el factor de potencia y reducir pérdidas en el sistema eléctrico (García, Gestión energética en instalaciones industriales, 2021).

Demanda máxima: mayor potencia eléctrica requerida por una instalación en un intervalo de tiempo específico (IEEE, 1995).

Desbalance de fases: diferencia entre las magnitudes de corriente o tensión de las tres fases de un sistema trifásico. Puede generar pérdidas y fallas en los equipos (Bollen, M. H., 1999).

Factor de carga: relación entre la demanda promedio y la demanda máxima en un periodo determinado. Evalúa la uniformidad del consumo energético. (IEEE, 1995).

Factor de potencia (FP): relación entre la potencia activa y la potencia aparente de un sistema eléctrico. Un valor bajo indica ineficiencia por exceso de potencia reactiva (García, Gestión energética en instalaciones industriales, 2021).

Línea base energética: referencia cuantitativa del desempeño energético previo a la implementación de mejoras; permite comparar y medir los avances obtenidos (ICONTEC, 2016).

Potencia activa (P): energía eléctrica realmente utilizada para realizar trabajo útil, medida en kilovatios (kW) (Arrillaga & Neville, 2003).

Potencia aparente (S): combinación vectorial de la potencia activa y reactiva; representa la potencia total suministrada al sistema, medida en kilovoltioamperios (kVA) (García, Gestión energética en instalaciones industriales, 2021).

Potencia reactiva (Q): energía necesaria para establecer campos magnéticos en equipos inductivos; medida en kilovoltioamperios reactivos (kVAr) (Arrillaga & Neville, 2003).

RETIE: el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas colombiano establece los requisitos de seguridad y eficiencia en las instalaciones eléctricas (Ministerio de Minas y Energía, 2013).

Sistema IoT (Internet de las cosas): infraestructura tecnológica que permite la interconexión de dispositivos para medir, recopilar y transmitir datos en tiempo real a través de internet (Moreno, J., Torres, P., & Ruiz, C, 2020).

Uso Racional de la Energía (URE): conjunto de acciones y medidas orientadas a utilizar la energía de manera eficiente, reduciendo pérdidas y costos sin afectar la productividad (UPME , 2018)

Introducción

En la actualidad, la eficiencia energética se posiciona como un elemento clave para alcanzar el desarrollo sostenible, ya que ofrece una solución efectiva frente a los crecientes retos ambientales, económicos y regulatorios que afronta el sector empresarial. Ante la creciente necesidad de energía para mantener los procesos industriales y comerciales, resulta imprescindible optimizar su uso para potenciar la competitividad, minimizar costos operativos y reducir el impacto ambiental. Desde el punto de vista económico, la eficiencia energética permite a las organizaciones reducir significativamente sus gastos operativos, liberar recursos financieros para invertir en tecnología limpia, y fortalecer su compromiso con la sostenibilidad. Asimismo, contribuye al cumplimiento de normativas cada vez más exigentes en materia de gestión energética y responsabilidad ambiental.

Este proyecto de auditoría energética se enfoca en Casa Ferretera S.A, sede Centro, para analizar las condiciones actuales de su sistema eléctrico y proponer estrategias de mejora. Se abordan problemáticas como las pérdidas energéticas derivadas de acometidas extensas, posibles sobredimensionamientos, y la ausencia de ajustes en los sistemas de protección tras cambios en la carga instalada. Para realizar un diagnóstico preciso, se implementará un sistema de medición avanzada basado en analizadores de red con tecnología IoT, que permitirá la captura de datos eléctricos en tiempo real, facilitando así la identificación de áreas críticas de consumo y bajo rendimiento.

El propósito principal de esta auditoría es optimizar el desempeño energético de la empresa, mediante un análisis detallado de su infraestructura eléctrica, el comportamiento del consumo y la aplicación de indicadores energéticos. A partir de los resultados obtenidos, se formularán recomendaciones específicas y un plan de acción que contribuya a un uso más racional de la energía, generando beneficios económicos y ambientales sostenibles a largo plazo.

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción

En un contexto donde el costo de la energía eléctrica representa un componente importante en los gastos operativos de las empresas, lograr un uso eficiente de este recurso se vuelve esencial para mejorar la competitividad, reducir el impacto ambiental y cumplir con las exigencias normativas (International Energy Agency, 2021). Sin embargo, muchas organizaciones no cuentan con información precisa ni herramientas de análisis que les permitan gestionar adecuadamente su consumo energético (UPME , 2018).

La compañía casa ferretera sede Centro pretende disponer de una evaluación técnica que permita conocer con exactitud cuáles son las áreas de mayor consumo de energía, ni en qué medida dicho consumo es eficiente o presenta pérdidas. Además, el desempeño del sistema eléctrico no ha sido analizado detalladamente, lo que impide identificar posibles fallas, sobredimensionamientos o ineficiencias operativas. La carencia de un diagnóstico energético limita la capacidad de la empresa para implementar medidas de mejora, lo que puede traducirse en consumos excesivos, y una pérdida de oportunidades para modernizar sus sistemas eléctricos y optimizar sus procesos (Ministerio de Minas y Energía, 2022). En este contexto, surge la necesidad de realizar una auditoría energética integral, que permita identificar de forma precisa las zonas de mayor consumo y baja eficiencia, analizar el rendimiento del sistema eléctrico e implementar soluciones técnicas y operativas para lograr un uso más racional y eficiente de la energía eléctrica.

1.2 Formulación

¿Qué estrategia puede implementarse en Casa Ferretera S.A., sede Centro, para mejorar la eficiencia energética a partir del análisis de su sistema eléctrico y patrones de consumo?

2. Justificación

El proyecto de auditoría energética en Casa Ferretera – sede centro pretende analizar técnica y detalladamente el sistema eléctrico de la empresa, con el fin de identificar ineficiencias en el consumo energético, optimizar el uso de la energía y reducir los costos operativos. Para ello, se implementará un sistema de medición avanzada, compuesto por analizadores de redes, sensores y tecnologías IoT, que permitirá obtener datos precisos sobre variables eléctricas y la calidad del suministro.

A partir de esta información se construirá una línea base energética, que servirá como referencia para diagnosticar el estado actual del sistema y detectar pérdidas, sobrecargas o comportamientos eléctricos no deseados. En función de los hallazgos, se propondrán acciones correctivas y mejoras técnicas alineadas con normativas internacionales (como la ISO 50001) y nacionales (como el RETIE), con el propósito de mejorar la eficiencia energética y garantizar la conformidad regulatoria.

Este proyecto no solo permitirá a Casa Ferretera reducir costos y mejorar la estabilidad del sistema eléctrico, sino que también facilitará la toma de decisiones basada en datos objetivos y promoverá una cultura organizacional orientada al uso eficiente y sostenible de la energía.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Realizar una auditoría energética en la empresa **Casa Ferretera S.A sede centro**, para la identificación de las áreas de mayor consumo y baja eficiencia, el rendimiento del sistema eléctrico y las posibles soluciones técnicas y operativas.

3.2 Objetivos específicos

Caracterizar el sistema eléctrico de **Casa Ferretera S.A. sede Centro**, a través de la recopilación de datos operativos y de consumo, para la determinación de la línea base de la auditoría energética.

Implementar dispositivos de medición avanzada, como analizadores de redes y sistemas IoT, que permitan la captura de datos de consumo, variables eléctricas, y el comportamiento energético del sistema.

Analizar el consumo energético mediante el procesamiento de los datos obtenidos, para la identificación de los consumos ineficientes, desarrollando un informe o plan de acción que incluya recomendaciones específicas para la implementación de mejoras orientadas a la optimización de la eficiencia y la calidad de energía.

4. Referentes teóricos

4.1 Auditoría Energética

Una auditoría energética se entiende como un procedimiento estructurado que permite comprender detalladamente el comportamiento del consumo energético en una instalación, sistema, proceso o equipo determinado. Su finalidad es detectar y medir posibles oportunidades para optimizar el uso de la energía, proponiendo mejoras en eficiencia y documentando los hallazgos obtenidos (ICONTEC, 2019). Una auditoría energética está caracterizada por que se basa en una serie de principios. Esos principios ayudan a hacer de la auditoría una efectiva y confiable herramienta de apoyo para las decisiones de gestión y control, que provee información sobre la cual una organización puede actuar en orden a mejorar su desempeño energético (CTN-UNE 216, 2023).



Figura 1: Esquema de auditoría energética basado en la ISO 50002

Fuente: extraído de <https://produenergy.com/auditoria-energetica/>

4.2 Auditoría energética en el contexto colombiano

En Colombia se han realizado auditorías energéticas en el sector industrial, principalmente de carácter voluntario. Se resalta la experiencia y resultados del proyecto GEF-UPMEONUDI, bajo el cual se logró la capacitación en Sistemas de Gestión de la Energía – SGEN y en optimización de sistemas de uso final de la energía. A través de los programas de formación en SGEN, se atendieron un total de 113 industrias pertenecientes a los subsectores: fabricación de alimentos, bebidas, metalúrgicos básicos, de sustancias y productos químicos, entre otros; impartidos en los departamentos de Atlántico, Cundinamarca, Boyacá, Caldas, Risaralda, Norte de Santander,

Santander y Valle del Cauca. Con estas herramientas, este grupo de industrias identificó potenciales de ahorro de energía equivalentes a 1.070,23 TJ/año, correspondiente a una reducción en emisiones de Gases Efecto Invernadero (Ministerio de Minas y Energía, 2022).

En consecuencia, se observa que las auditorías energéticas representan una oportunidad para la mejora en el rendimiento energético de los procesos productivos a nivel industrial, suponiendo ahorros económicos, reducción de emisiones contaminantes y disminución de la intensidad energética.



Figura 2: Indicadores de la medida de auditorías energéticas

Fuente: (Ministerio de Minas y Energía, 2022)

4.3 Uso Racional de la Energía -URE-

El Uso Racional de la Energía es una de las estrategias que permiten reducir las emisiones y contribuir a reducir el impacto del cambio climático. En la misma línea, a través del Uso Racional de la Energía se puede reducir la presencia de contaminantes atmosféricos, obteniéndose importantes beneficios para la salud de los ciudadanos (UPME, 2018). La energía es uno de los pilares sobre los que se sustenta el desarrollo de las sociedades. Al ser la energía un recurso finito, debe cuidarse especialmente su uso. No se puede tratar el tema energético sin tener en cuenta tres aspectos fundamentales: el económico, el ambiental y el de seguridad de suministro. Tanto las materias primas como las tecnologías implicadas en la cadena de valor de la energía tienen un costo. Es por esto que el Uso Racional de la Energía permite reducir los costos energéticos y, en su caso, derivar los excedentes económicos a otros usos que reporten mayores beneficios socioeconómicos. Gran parte de las emisiones de gases de efecto invernadero –

causantes del calentamiento global – están vinculadas al uso de la energía. En cuanto al aspecto de seguridad de suministro, el Uso Racional de la Energía permite incrementar las reservas y afrontar con más solvencia periodos de carencia energética (UPME , 2018).

4.4 Variables eléctricas en el marco de una auditoría energética.

En una auditoría energética, especialmente al evaluar sistemas eléctricos, es fundamental analizar una serie de variables eléctricas clave. Estas variables permiten identificar ineficiencias, pérdidas de energía y oportunidades de mejora en el sistema. Las principales variables que se miden y analizan son:

4.4.1 Consumo de energía eléctrica. Cantidad de energía eléctrica utilizada por un dispositivo, instalación o sistema durante un período de tiempo determinado. Se mide comúnmente en kilovatios/hora (kWh).

4.4.2 Potencia Eléctrica. Cantidad de energía eléctrica que se transfiere o consume por unidad de tiempo en un circuito eléctrico. Es una magnitud clave para dimensionar equipos eléctricos, evaluar el rendimiento energético y detectar ineficiencias en una instalación, se presenta en tres tipos: *potencia activa [kW]*, *potencia reactiva [kVAR]* y *potencia aparente [kVA]*.

4.4.3 Factor de potencia ($\cos\phi$). Relación entre la potencia activa y la aparente. Un FP bajo indica determinada ineficiencia.

4.4.4 Tensión, corriente y frecuencia eléctrica. La tensión o voltaje es la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos que impulsa el flujo de electrones en un circuito. La corriente eléctrica es el flujo de electrones que circula a través de un conductor cuando existe tensión aplicada, y se mide en amperios. Por último, la frecuencia es la cantidad de ciclos completos que la corriente alterna realiza por segundo, medida en hertzios, y determina el ritmo al que varía la corriente en el sistema eléctrico.

4.4.5 Armónicos y Calidad de la energía. Los armónicos son componentes de frecuencia múltiplos de la fundamental (50 o 60 Hz) que distorsionan la forma de onda de tensión o corriente en sistemas eléctricos, generalmente generados por cargas no lineales como equipos electrónicos modernos. Estas distorsiones afectan negativamente el desempeño y la eficiencia de los sistemas eléctricos (Arrillaga & Neville, 2003). Por otra parte, La calidad de la energía hace referencia a la estabilidad y conformidad de los parámetros eléctricos, como voltaje, frecuencia y forma de onda, y su cumplimiento es esencial para el buen funcionamiento de los equipos. Una mala calidad de energía, influenciada por fenómenos como armónicos, caídas de tensión o transitorios, puede provocar fallos, sobrecalentamientos y pérdidas energéticas (Bollen, 1999).

4.5 Tecnologías de medición y monitoreo en una auditoría energética.

En los sistemas eléctricos modernos, el uso de dispositivos de medición avanzada es fundamental para mejorar la eficiencia energética, la supervisión del sistema y la toma de decisiones basada en datos. Estos dispositivos permiten una medición precisa, continua y en tiempo real del consumo energético y de múltiples parámetros eléctricos, lo que facilita la identificación de ineficiencias, la detección de fallos y la optimización operativa (García, 2021).

Entre los equipos más utilizados se destacan los analizadores de redes eléctricas, los cuales registran variables como voltaje, corriente, potencia activa/reactiva, armónicos y factor de potencia. Para la toma de señales se utilizan sensores de corriente y tensión, esenciales para capturar datos en puntos críticos del sistema. Los sistemas IoT (Internet de las Cosas), permiten el monitoreo remoto, y la integración de múltiples dispositivos y envío de datos a la nube para su análisis (Moreno, Torres, & Ruiz, 2020). Por otra parte, las plataformas SCADA también son esenciales, pues permiten la supervisión y el control en tiempo real de sistemas eléctricos a través de interfaces centralizadas, con una amplia capacidad de automatización (IEEE, 2017)

4.6 Marco normativo aplicable en auditorías energéticas

La auditoría energética debe alinearse con marcos normativos que aseguren la calidad, la trazabilidad y la comparabilidad de los resultados obtenidos. A nivel internacional, destacan

varias normas del sistema de gestión de la energía. La ISO 50001 establece los requisitos para implementar un Sistema de Gestión de la Energía (ICONTEC, 2018), mientras que la ISO 50002 proporciona directrices específicas para la planificación y ejecución de auditorías energéticas (ICONTEC, 2019). Complementariamente, la ISO 50006 detalla cómo establecer líneas base energéticas e indicadores clave de desempeño para el seguimiento de mejoras (ICONTEC, 2016).

En el contexto europeo, la norma UNE-EN 16247 también es ampliamente utilizada como referencia técnica para la realización de auditorías energéticas estructuradas y comparables (CTN-UNE 216, 2023)



Figura 3: Esquema seguido por la norma ISO 50001

Fuente: (Ministerio de Minas y Energía, 2022)

En el caso colombiano, se deben tener en cuenta marcos regulatorios específicos como el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas -RETIE-, que garantiza la seguridad y eficiencia en los sistemas eléctricos (Ministerio de Minas y Energía, 2013). Además, las políticas de eficiencia energética promovidas por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) orientan las acciones estratégicas del país en materia de gestión energética (UPME, 2018).

4.7 Línea base energética

La implementación de un Sistema de Gestión de la Energía (SGEn) permite a las organizaciones establecer políticas, procedimientos y objetivos que conduzcan a una mejora

continua del desempeño energético. Un componente fundamental dentro de un SGE_n es la línea base energética, definida como una referencia cuantitativa del desempeño energético previo a la implementación de mejoras. Esta línea base se construye a partir de datos históricos y condiciones operativas representativas, y se utiliza para evaluar los avances logrados mediante acciones correctivas o de eficiencia energética (ICONTEC, 2016). Su correcta formulación es clave para medir la eficacia del sistema y para la toma de decisiones basada en datos reales. Lo anterior permite realizar un seguimiento sistemático de la evolución del consumo energético y su relación con variables de operación.

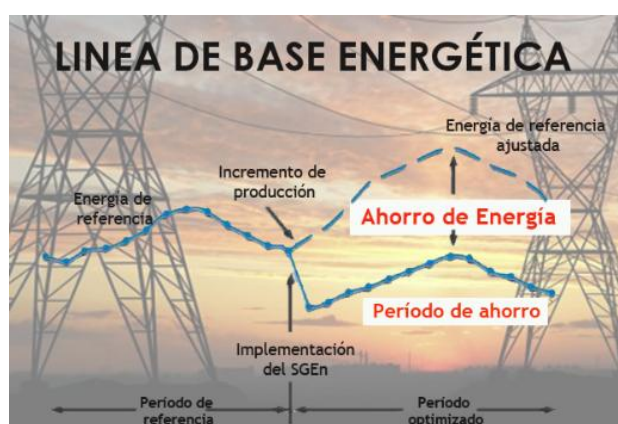


Figura 4: Principios que conforman la línea base energética

Fuente: extraído de <https://n9.cl/aa34k>

4.8 Diagnóstico energético y plan de acción

El diagnóstico energético tiene como objetivo identificar ineficiencias, pérdidas y hábitos de consumo inadecuados dentro de una instalación. A partir de este análisis, se elabora un plan de acción que prioriza medidas de mejora basadas en criterios como la viabilidad técnica, el impacto energético, el análisis costo-beneficio y el retorno de la inversión. Este plan puede incluir mejoras tecnológicas, ajustes operativos y programas de formación para el personal (ICONTEC, 2019).

5. Metodología

5.1 Tipo de proyecto

La metodología propuesta para la auditoría energética en Casa Ferretera S.A., sede Centro, se basa en un enfoque experimental, respaldado por técnicas de diagnóstico energético y el uso de tecnologías de medición avanzada. El proceso inicia con la caracterización del sistema eléctrico, que incluye visitas técnicas para el levantamiento del aforo de cargas, inspección de los equipos instalados y verificación de sus condiciones operativas.

Posteriormente, se implementará un sistema de medición compuesto por analizadores de redes e infraestructura IoT, lo cual permitirá capturar en tiempo real variables eléctricas clave como voltaje, corriente, potencia y factor de potencia. Estos datos serán recolectados a través de dispositivos integrados en una red de monitoreo, facilitando así la supervisión continua del comportamiento energético del sistema.

Con la información recopilada, se realizará un análisis detallado de los patrones de consumo para identificar áreas críticas con bajo rendimiento energético. Este análisis se complementará con indicadores energéticos, inspecciones y comparaciones con estándares técnicos, con el fin de establecer una línea base que permita medir el impacto de futuras acciones de mejora.

5.2 Método

Se realizará la caracterización del sistema mediante el levantamiento de datos para establecer la línea base de la auditoría, utilizando herramientas especializadas. Esto incluirá visitas a la empresa para inspeccionar las placas de los equipos instalados y levantar el aforo de cargas, mediciones detalladas del consumo eléctrico, identificación del sistema a intervenir, análisis de patrones de consumo, así como la evaluación de los sistemas de control y gestión de energía existentes.

Se implementará un sistema de medición avanzada con analizadores de redes e infraestructura IoT para captar en tiempo real los datos eléctricos y energéticos de Casa Ferretera S.A., sede Centro. Se evaluará la potencia instalada y se identificarán áreas de alto consumo e ineficiencia mediante inspecciones, indicadores energéticos y comparación con estándares. Esta información servirá como base para diseñar estrategias que optimicen el desempeño energético del sistema intervenido.

A partir del procesamiento de los datos obtenidos mediante dispositivos IoT y analizadores de redes se realizará el análisis del consumo energético, los cuales serán organizados en tablas y representados en gráficas para facilitar su interpretación. A partir de esta información, se calcularán indicadores clave de desempeño energético, comparando los resultados reales con simulaciones del sistema eléctrico, lo que permitirá identificar desviaciones y consumos ineficientes. Este análisis conducirá a la identificación de áreas de mejora, determinando los puntos específicos donde se presentan pérdidas energéticas o bajo rendimiento. Con base en estos hallazgos, se desarrollará un informe técnico o plan de acción en eficiencia energética, que incluirá recomendaciones detalladas y pasos concretos para la implementación de mejoras tecnológicas, operativas o de gestión, orientadas a optimizar la eficiencia y la calidad de la energía en Casa Ferretera S.A., sede Centro.

5.3 Instrumentos de recolección de información.

5.3.1 Fuentes primarias. Los instrumentos de recolección de información se basarán en fuentes primarias, como libros, artículos científicos, documentos técnicos y normativas, provenientes de instituciones públicas y privadas. Estas fuentes garantizan una base sólida y confiable para sustentar el desarrollo del proyecto.

5.3.2. Fuentes secundarias. Las fuentes secundarias permiten interpretar y analizar la información de fuentes primarias. Incluyen enciclopedias, diccionarios, revistas, libros y artículos que ofrecen una visión consolidada y contextual, enriqueciendo el análisis y comprensión de los datos originales.

6. Resultados de la propuesta

Este proyecto tiene como finalidad la realización de una auditoría energética integral en las instalaciones de CASA FERRETERA S.A, sede Centro, para mejorar la eficiencia en el uso de la energía eléctrica, reducir los costos operativos y garantizar el cumplimiento de las normativas vigentes.

Se emplearán equipos de medición avanzada y tecnología IoT, que permitirán obtener datos precisos y en tiempo real sobre el consumo energético y las variables eléctricas críticas del sistema. La información obtenida facilitará la identificación de ineficiencias, el análisis del comportamiento energético y la definición de una línea base sobre la cual se evaluarán las mejoras.

A partir del diagnóstico, se elaborará un plan de acción técnico y operativo, orientado a implementar medidas correctivas y preventivas que incluyan: optimización del uso de equipos eléctricos, adecuaciones en la infraestructura, automatización de procesos, y estrategias para la reducción del desperdicio de energía.

Como parte del enfoque de mejora continua, se establecerá un sistema de monitoreo energético en tiempo real, que permitirá realizar seguimiento al desempeño eléctrico y generar alertas tempranas ante desviaciones. Este sistema facilitará la toma de decisiones basadas en datos, al ofrecer indicadores actualizados sobre consumo, demanda y eficiencia de los equipos, posibilitando la detección oportuna de fallas o condiciones anómalas. Además, permitirá la comparación periódica de resultados frente a la línea base energética, evaluando la efectividad de las medidas implementadas. Finalmente, se realizará una evaluación de los impactos económicos y ambientales derivados de las acciones aplicadas, con el fin de asegurar beneficios sostenibles a largo plazo, promover una cultura organizacional orientada al ahorro energético y fortalecer la gestión integral de la energía dentro de Casa Ferretera.

6.1 Caracterización del sistema eléctrico

Se espera obtener una caracterización técnica integral del sistema eléctrico de la sede Centro, que incluya un inventario de equipos consumidores de energía, sus condiciones operativas, perfiles de carga, distribución del consumo por áreas o procesos, y un análisis detallado de variables eléctricas clave como: tensión, corriente, potencia activa, reactiva y aparente, factor de potencia, así como la demanda máxima, considerada un sustancial indicador de desempeño energético.

Para el dimensionamiento y caracterización del sistema eléctrico de la sede Centro de Casa Ferretera S.A., se llevó a cabo una visita técnica inicial, en la cual se aplicó el protocolo de visita preliminar de auditoría energética. Durante esta actividad se realizó un reconocimiento general de la infraestructura eléctrica, identificando los elementos principales del sistema, los puntos de medición más representativos y las condiciones operativas de los equipos consumidores de energía. Asimismo, se verificaron las condiciones de carga y la distribución de los circuitos, evaluando la correspondencia entre la demanda registrada y la capacidad instalada, con el fin de garantizar una base técnica precisa para el posterior análisis energético.

El protocolo de visita incluyó la inspección visual y técnica del tablero o medidor lateral (ML) principal, así como la medición directa de variables eléctricas de interés, tales como tensión, corriente, potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia. Estas mediciones permitieron establecer las condiciones iniciales del sistema, definir los parámetros de referencia y planificar las etapas posteriores del diagnóstico energético. Adicionalmente, se documentaron aspectos relevantes como la configuración de los tableros de distribución, el estado de las protecciones eléctricas, las rutas de cableado y las posibles áreas de riesgo operativo. Esta información sirvió como insumo para la elaboración del aforo de cargas y para la identificación preliminar de oportunidades de eficiencia. La caracterización obtenida constituye, por tanto, la base técnica fundamental sobre la cual se estructuró el análisis de consumo y el diseño del plan de mejora energética de Casa ferretera. A continuación, en la Tabla 1, se presenta el resumen de las actividades realizadas durante la visita de inspección y medición en sitio.

Tabla 1.
Actividades protocolo visita inicial

Nro	Actividad	Descripción	Resultado
1	Contactar al responsable designado por la empresa.	Ej. jefe de mantenimiento o electricista designado	
2	Definir el alcance de la auditoría	<i>Acuerdo previo entre el asesor y la entidad a intervenir</i>	
3	Recolectar la información inicial de la organización	Facturas de energía eléctrica - últimos 2 o 3 meses	
		Planos eléctricos y de distribución de planta	
		Inventario preliminar de equipos principales	
4	Confirmar si existe un plan de gestión energética previo	Horarios de trabajo y turnos	
		Indagar si se tienen estrategias para optimización de consumo	
5	Identificar grandes consumidores de energía	Sistemas de iluminación.	
		Motores y compresores.	
6	Registro de notas y fotografías (con autorización).	Calderas y sistemas de climatización como aires acondicionados	
		A tableros ML e instalaciones	
7	Identificar hábitos y prácticas	Revisar uso de iluminación en áreas con luz natural.	
8	Tomar mediciones rápidas (diagnóstico inicial)	Medir corriente, voltaje y factor de potencia en el tablero principal.	$V = \text{---} \text{ A}$ = $fp = \text{---}$
		Revisar cargas críticas con pinza amperimétrica.	
		Medir niveles de iluminación en áreas representativas (oficinas, talleres, almacén).	
		Verificar temperatura en equipos de alta carga (con termómetro infrarrojo).	
9	Entrevistas cortas con el personal	Consultar sobre problemas frecuentes (bajones de energía, sobrecalentamiento de máquinas).	
		Identificar posibles áreas de oportunidad rápida	

Fuente: diseño propio

Como parte de la caracterización del sistema eléctrico de la sede Centro de Casa Ferretera S.A., se elaboró un aforo de cargas con el fin de identificar la distribución de la potencia instalada y estimar el consumo energético por categoría de uso.

Tabla 2.

Aforo de cargas – Casa Ferretera Sede Centro

Categoría	Ítem	Cantidad	Pot. unitaria [kW]	Pot. total [kW]	Horas uso [h/día]	Consumo estimado [kWh/día]
Climatización	Chiller central	1	250	250	10	2500
Climatización	AHU / rooftop	2	150	300	10	3000
Climatización	Splits 5 ton (equipos)	40	5	200	10	2000
Climatización	Splits 3 ton	20	3	60	10	600
Climatización	Equipos paquete / comercial	4	50	200	10	2000
Climatización	Ventiladores / auxiliares	4	0,43	1,72	10	17,2
Motores y fuerza	Motores 50 kW	10	50	500	6	3000
Motores y fuerza	Motores 10 kW	20	10	200	6	1200
Motores y fuerza	Compresores / maquinaria (variada)	2	29,395	58,79	6	352,7
Iluminación	Luminarias LED 2×32W eq.	200	0,3	60	10	600
Iluminación	Luminarias LED 3×32W eq.	200	0,33	66	10	660
Iluminación	Iluminarias emergencia / exterior	20	0,322	6,47	10	64,7
Oficina y TI	Computadores escritorio	300	0,2	60	9	540
Oficina y TI	Servidores / rack	1	15	15	24	360
Oficina y TI	Impresoras / multifunc.	10	0,6	6	6	36
Refrigeración	Cámaras frigoríficas grandes	5	20	100	24	2400
Refrigeración	Refrigeradores / vitrinas	10	7,7	77	24	1848
Bombas / compresores	Compresores industriales	3	30	90	5	450
Bombas / compresores	Bombas (varias)	4	28,585	114,34	5	571,7
Otros / auxiliares	UPS / cargas stand-by	1	50	50	8	400
Otros / auxiliares	Transformadores auxiliares / iluminación ext.	2	20	40	8	320
Otros / auxiliares	CCTV, seguridad, controles	1	10	10	24	240
Otros / auxiliares	Pequeños motores / equipamiento diverso	20	3,99	79,96	8	639,7
Total				2529,3		23000

Fuente: diseño propio

La información se obtuvo mediante la inspección técnica en sitio, y la revisión de tableros y subcircuitos. El inventario resultante agrupa las principales cargas en categorías como climatización, fuerza motriz, iluminación, refrigeración, oficinas y equipos auxiliares, incluyendo su potencia nominal y horas promedio de operación. Este aforo permite el dimensionamiento de la demanda, el cálculo de indicadores energéticos y la identificación de oportunidades de eficiencia en el uso de la energía eléctrica. A partir de la información recopilada durante la visita técnica y de la recopilación de datos de consumo y mediciones en el tablero eléctrico (ML), se estructuró el aforo de cargas eléctricas correspondiente a la sede centro de Casa Ferretera.

En dicho inventario se consolidan los principales equipos consumidores de energía, especificando su cantidad, potencia nominal, tipo de conexión, tiempo promedio de operación diario y el consumo energético estimado. Este registro permite cuantificar la potencia total instalada y establecer la participación relativa de cada categoría dentro del consumo global de la instalación. A continuación, en la tabla 2, se presenta el inventario de equipos y aforo de cargas, el cual resume de manera detallada la distribución de la potencia eléctrica por tipo de carga y proporciona una visión integral del comportamiento energético de la sede.

El aforo de cargas permitió cuantificar de manera precisa la potencia instalada total en la sede Centro de Casa Ferretera S.A., la cual asciende a **2.529,30 kW**. Los resultados evidencian que los sistemas de climatización constituyen el principal grupo consumidor de energía, seguidos por los motores y equipos de fuerza, que en conjunto representan más del 70 % de la potencia instalada. Estas cargas asociadas principalmente al funcionamiento simultáneo de aires acondicionados, compresores y motores eléctricos inciden sustancialmente en el factor de potencia.

Las categorías de iluminación, oficina y refrigeración presentan menores niveles de potencia, aunque su contribución al consumo diario es significativa debido a las largas horas de operación, especialmente en luminarias y equipos de refrigeración. El análisis del aforo de cargas también permitió estimar un consumo energético diario promedio de 23.000 kWh. En conjunto, el aforo de cargas ofrece una visión integral del comportamiento energético de la instalación, permitiendo establecer prioridades de intervención, como la optimización de los sistemas de climatización, la corrección del factor de potencia y la gestión eficiente de la demanda eléctrica.

6.2 Implementación de sistema de monitoreo con tecnología IoT

Se implementará un sistema de medición avanzada, conformado por analizadores de redes e infraestructura IoT.

Tabla 3.
Protocolo de instalación – Actividades

Nro	Actividad	Descripción
1	Verificación inicial	Confirme que el equipo esté en buen estado físico, sin daños visibles.
		Revise que cuente con los accesorios necesarios: manual, tornillería y conectores.
		Asegúrese de disponer de herramientas adecuadas: destornilladores aislados, guantes
2	Condiciones de seguridad	Desenergice el tablero eléctrico antes de iniciar.
		Verifique ausencia de tensión con el multímetro.
		Señalice la zona de trabajo (candado o etiqueta si es necesario). Recordar el uso de EPP: guantes, gafas y calzado de seguridad
3	Conexiones	Conecte las entradas de medición Fases L1, L2, L3 y neutro según el esquema de instalación
		Instale los sensores de corriente (TCs) en cada fase, cuidando la orientación. Cierre la caja y asegure la tapa
4	Encendido y prueba eléctrica	Energice nuevamente el tablero.
		Verifique en la pantalla que el equipo enciende y muestra parámetros básicos (voltaje, corriente, potencia).
		Compruebe que no existan alarmas iniciales.
5	Configuración de red vía Bluetooth	Active el Bluetooth en el celular y empareje con el medidor.
		Ingrese las credenciales de la red WiFi (SSID y contraseña).
6	Validación final	Confirme que los datos son visibles en el dashboard o en la aplicación móvil.
		Realice un ciclo de apagado y encendido para comprobar que la configuración WiFi
7	Documentación	Registre fecha, ubicación, número de serie y observaciones de la instalación.
		Informar cualquier anomalía detectada.

Fuente: diseño propio

El sistema de medición avanzada, conformado por analizadores de redes e infraestructura IoT, se realiza con el propósito de captar en tiempo real los datos eléctricos y energéticos de la sede Centro de Casa Ferretera S.A.

Como guía para las actividades a desarrollar durante la intervención, se elaboró un protocolo de instalación del sistema de medición y monitoreo del consumo energético. La instalación de estos equipos es fundamental para habilitar el registro y seguimiento continuo de las variables eléctricas más relevantes, permitiendo disponer de información precisa y actualizada que sirva como base para el análisis de los consumos y el comportamiento energético del sistema.

El alcance de esta intervención comprende la ubicación, montaje y configuración de los equipos de monitoreo en los puntos previamente definidos, garantizando su correcta conexión y funcionamiento.

Asimismo, incluye la verificación operativa de los dispositivos, la validación de la comunicación con la plataforma de supervisión y la comprobación del almacenamiento confiable de los datos generados. Para facilitar la ejecución de estas actividades, se definieron las tareas específicas a realizar y se elaboró un esquema base de conexiones que describe la integración de los equipos más relevantes del sistema.

En la figura 5, se presenta el esquema base de conexiones del sistema de monitoreo Dracmon-3:

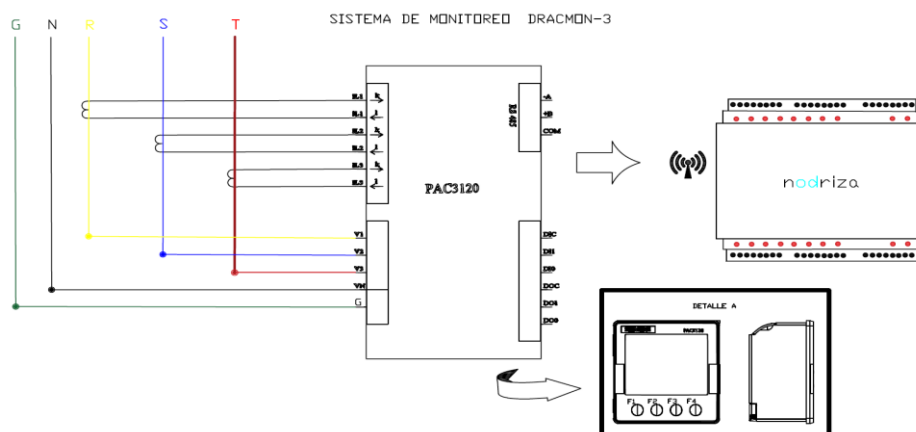


Figura 5: Conexiones Dracmon-3

Fuente: diseño propio

6.2.1 Descripción del sistema IoT DRACMON-3

Para la captura y monitoreo de datos eléctricos en la sede Centro de Casa Ferretera S.A., se implementó el sistema DRACMON-3. Este sistema está conformado por componentes de tecnología abierta, diseñados para registrar en tiempo real variables eléctricas y energéticas del sistema de distribución de la empresa. El sistema Dracmon-3 está compuesto por los siguientes elementos principales:

Medidor multifuncional trifásico Siemens *Pac3120*, con comunicación mediante protocolo Modbus RTU, encargado del registro de tensiones, corrientes y potencias eléctricas.
Transformadores de corriente de núcleo abierto, con rangos de 50/5, 100/5 y 200/5 A, utilizados para la medición indirecta de corriente en los conductores principales.

Controlador programable Amp1-F, con capacidad de comunicación y conexión de sensores y actuadores, que permite la integración de datos provenientes de diferentes fuentes

Gabinete plástico de protección IP65, adecuado para instalación en entornos cerrados y que garantiza la seguridad y durabilidad de los equipos electrónicos.

Este sistema IoT si bien no se utiliza como medidor de facturación, es una importante herramienta de diagnóstico y análisis energético, orientada a la caracterización de consumos eléctricos. Su arquitectura permite la operación bajo los protocolos Modbus-RTU, Modbus-TCP y HTTP, con opciones de encriptación de extremo a extremo para la transmisión segura de los datos. Además, cuenta con conectividad wi-fi y Bluetooth, alimentación directa desde las líneas de voltaje a medir y capacidad para medir tensiones monofásicas y trifásicas hasta 240 V AC, y corrientes hasta 200 de Amperios. El sistema también permite la detección de hasta cuatro variables físicas adicionales, tanto digitales como analógicas (por ejemplo, temperatura, presencia mediante sensor infrarrojo, apertura de puertas o tamper de tableros). Su configuración de red se realiza mediante aplicación móvil, lo que facilita la parametrización de SSID y claves wi-fi para su integración en la red de monitoreo. A continuación, se presentan imágenes de los equipos que componen sistema Dracmon-3:



Figura 6: Medidor Siemens Pac3120 – lado frontal y trasero
Fuente: diseño propio

En la figura 6 se observa el medidor trifásico multifuncional Siemens PAC3120, componente principal del sistema de medición IoT Dracmon-3 implementado en la sede Centro de Casa Ferretera S.A. Este dispositivo permite el registro preciso de variables eléctricas como tensión, corriente, potencia activa, reactiva y aparente, así como el cálculo de energía consumida y factor de potencia. Su capacidad de comunicación mediante el protocolo Modbus RTU (RS-485) facilita la integración con el controlador programable del sistema y con la infraestructura IoT empleada para la auditoría energética. Gracias a su diseño compacto y robusto, el *Pac3120* resulta ideal para la monitorización en tiempo real de tableros eléctricos, garantizando datos confiables que sirven como base para el análisis del consumo energético.

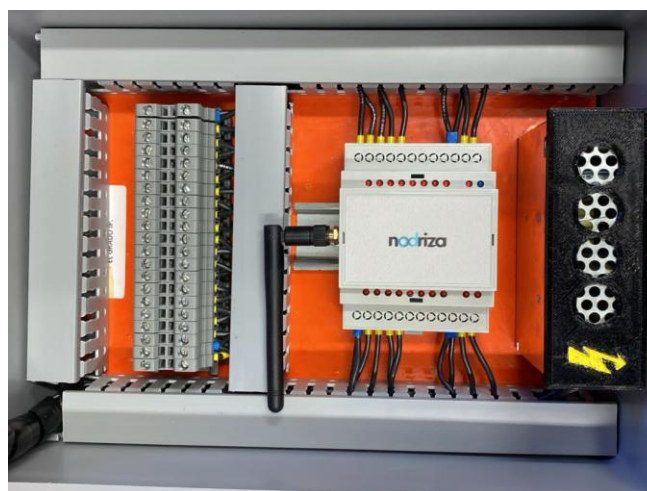


Figura 7: Controlador programable PLC Amp-1
Fuente: diseño propio

La recopilación y transmisión de los datos en el sistema Dracmon-3 la ejecuta el controlador programable Amp1-F. Este dispositivo permite recopilar, procesar y transmitir los datos eléctricos obtenidos por los medidores y sensores instalados. Su antena integrada posibilita la comunicación inalámbrica con la plataforma de supervisión, garantizando el envío continuo y seguro de la información energética en tiempo real.

En el sistema de medición IoT Dracmon, el medidor Siemens *Pac3120* cumple la función de adquirir los datos eléctricos de tensión, corriente y potencia en tiempo real, mientras que el controlador programable Amp1-F se encarga de procesar, almacenar y transmitir dicha información hacia la plataforma de monitoreo remoto.

Este controlador integra los distintos flujos de datos provenientes de los medidores y sensores, y mediante su antena de comunicación inalámbrica, permite la sincronización continua con la red IoT, garantizando un seguimiento confiable del comportamiento energético de la instalación.

Posterior a la conexión y acople de los equipos descritos, el sistema Dracmon-3 fue ensamblado en un gabinete de protección, conformando un módulo portátil de medición y transmisión de datos. En la siguiente figura se presenta el sistema de medición IoT Dracmon-3 completamente integrado, el cual reúne los principales componentes para la adquisición, procesamiento y envío de datos eléctricos.



Figura 8: Sistema Dracmon-3

Fuente: diseño propio

La configuración mostrada permite disponer de un sistema autónomo y confiable de medición energética. El equipo Siemens Pac3120, encargado de registrar las variables eléctricas de la instalación, y el controlador programable Amp1-F, responsable de procesar y transmitir la información hacia la plataforma de monitoreo remoto.

6.3 Análisis de consumo energético y estrategias de optimización

A partir del análisis de consumo energético se desarrollará un plan de acción estructurado que contemple un conjunto de estrategias de optimización, fundamentadas en el diagnóstico obtenido del comportamiento operativo y de consumo de los equipos. Este plan estará compuesto por propuestas técnicas, operativas y tecnológicas, orientadas a mejorar la eficiencia energética, reducir los costos operativos asociados al consumo eléctrico y disminuir el impacto ambiental de las operaciones. Algunas de las estrategias de optimización que se contemplan son: corrección de factor de potencia, redistribución de cargas y optimización del sistema de iluminación. Con base en estos hallazgos, se desarrollará un informe técnico o plan de acción en eficiencia energética, que incluirá recomendaciones detalladas y pasos concretos para la implementación de mejoras tecnológicas, operativas o de gestión, orientadas a optimizar la eficiencia y la calidad de la energía en Casa Ferretera S.A., sede Centro.

6.3.1. Identificación del comportamiento general de consumo

Con el fin de caracterizar el comportamiento energético de la sede Centro de Casa Ferretera S.A., se analizaron los datos registrados por el sistema IoT Dracmon-3 durante el periodo desde 2 de junio hasta el 3 de octubre de 2025. Los datos de consumo exportados durante dicho periodo constituyen el dataset, el cual estaba conformado inicialmente por 27.584 registros (filas). Cabe anotar que fue necesario aplicar diversas técnicas de limpieza y procesamiento de datos, ya que aproximadamente el 50% de los valores extraídos eran erróneos o nulos (NaN).

```

<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 27584 entries, 0 to 27583
Data columns (total 16 columns):
#   Column      Non-Null Count  Dtype
---  ---
0   timestamp   13792 non-null  datetime64[ns]
1   volt_a      13792 non-null  float64
2   volt_b      13792 non-null  float64
3   volt_c      13792 non-null  float64
4   i_a         13792 non-null  float64
5   i_b         13792 non-null  float64
6   i_c         13792 non-null  float64
7   s_a         13792 non-null  float64
8   s_b         13792 non-null  float64
9   s_c         13792 non-null  float64
10  p_a         13792 non-null  float64
11  p_b         13792 non-null  float64
12  p_c         13792 non-null  float64
13  q_a         13792 non-null  float64
14  q_b         13792 non-null  float64
15  q_c         13792 non-null  float64
dtypes: datetime64[ns](1), float64(15)
memory usage: 3.4 MB

```

```

#Breve descripción del dataset
data.info()
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
DatetimeIndex: 13792 entries, 2025-09-22
Data columns (total 15 columns):
#   Column      Non-Null Count  Dtype
---  ---
0   volt_a      13792 non-null  float64
1   volt_b      13792 non-null  float64
2   volt_c      13792 non-null  float64
3   i_a         13792 non-null  float64
4   i_b         13792 non-null  float64
5   i_c         13792 non-null  float64
6   s_a         13792 non-null  float64
7   s_b         13792 non-null  float64
8   s_c         13792 non-null  float64
9   p_a         13792 non-null  float64
10  p_b         13792 non-null  float64
11  p_c         13792 non-null  float64
12  q_a         13792 non-null  float64
13  q_b         13792 non-null  float64
14  q_c         13792 non-null  float64
dtypes: float64(15)
memory usage: 1.7 MB

```

Figura 9: limpieza de dataset. Antes (izq). Después (der)

Fuente: diseño propio

Cabe anotar que el procesamiento y análisis de los datos se realizaron en Google Colaboratory (Google Colab), una plataforma de desarrollo en la nube que permite ejecutar código en lenguaje Python directamente desde el navegador, sin necesidad de configuración local.

The screenshot shows a Google Colaboratory notebook titled "Análisis_datosConsumo_CF_TDG.ipynb". The notebook content includes the following code blocks:

```

# Carga de librerías
import pandas as pd
import glob
import os
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns

!pip install mplcursors

# Montar google drive para guardar la información
from google.colab import drive
drive.mount('/content/gdrive', force_remount=True)
base_dir = "/content/gdrive/MyDrive/Colab Notebooks/data/"

# Carga de google drive
print(base_dir)
print("\n")

# Cargamos los CSV con los Datos
data = pd.read_csv(base_dir + "combined_data_cleaned.csv")
data["timestamp"] = pd.to_datetime(data["timestamp"])

data = data.set_index("timestamp")
display(data.head(10))

```

Figura 10: entorno Google Colaboratory

Fuente: diseño propio

Esta herramienta facilita el uso de bibliotecas especializadas para análisis, limpieza y visualización de datos, además de ofrecer un entorno colaborativo ideal para proyectos de ciencia de datos y auditoría energética. Todo el código empleado en las etapas de procesamiento, análisis y generación de resultados se encuentra documentado en el Anexo A.

Las variables medidas son: tensión, corriente, potencias activa, reactiva y aparente, además del factor de potencia, cuyo comportamiento permitieron evaluar el desempeño eléctrico de la instalación e identificar los patrones de consumo, los niveles de demanda y las principales ineficiencias. Para visualizar los datos de manera práctica, se generaron gráficos de los datos de consumo diario, semanal y mensual, a fin de visualizar las tendencias o series temporales.

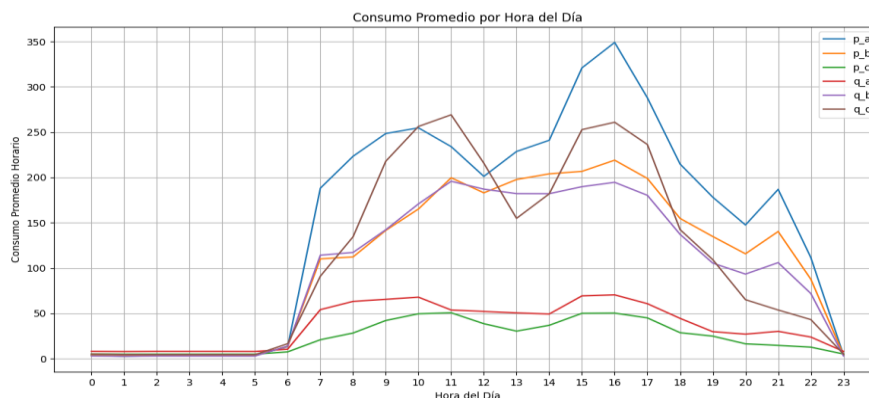


Figura 11: Consumo diario en CF sede Centro

Fuente: diseño propio

Los datos de consumo mostrados en la gráfica (*figura 11*) evidencian una tendencia variable en la demanda eléctrica, influenciada principalmente por los horarios de operación y el uso simultáneo de equipos de climatización y motores. La gráfica indica una utilización intermitente de la capacidad instalada, característica de instalaciones comerciales con periodos de alta actividad durante la jornada laboral y disminución significativa en horarios nocturnos o no productivos. Las gráficas temporales muestran que los picos de potencia se concentran principalmente en las horas diurnas, especialmente entre las 10:00 y 16:00 horas, coincidiendo con la operación de equipos de climatización y procesos eléctricos de mayor demanda. En contraste, durante las noches y fines de semana se observan niveles mínimos de consumo, lo que confirma un perfil energético típicamente diurno. A continuación, en la figura 12, se muestra la gráfica de tendencia de consumo semanal:

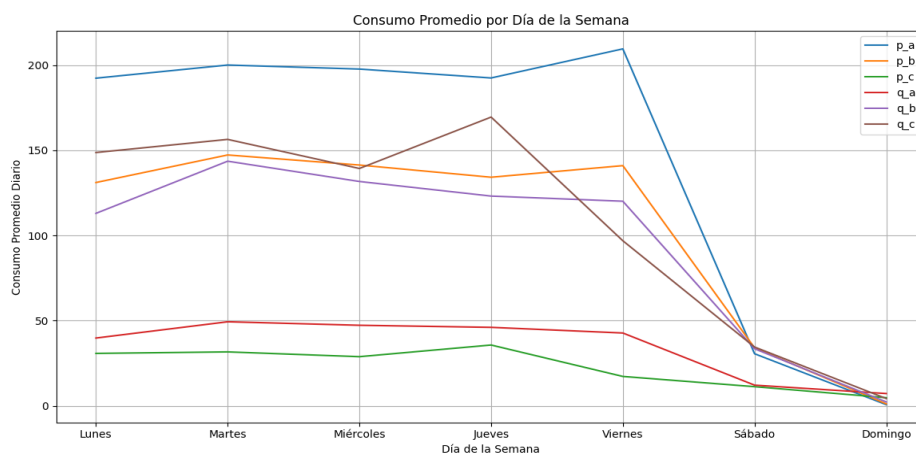


Figura 12: Consumo semanal en CF sede Centro

Fuente: diseño propio

En las gráficas de las figuras 11 y 12 se observa que la fase a presenta una mayor de demanda de potencia activa [W] respecto a las fases restantes. Por otro lado, la potencia reactiva q_a presenta un comportamiento mínimo respecto a la reactiva q_c y q_b , cuya relación respecto a las potencias activas son diferentes. Lo anterior sugiere posibles desbalances de cargas en el sistema eléctrico.

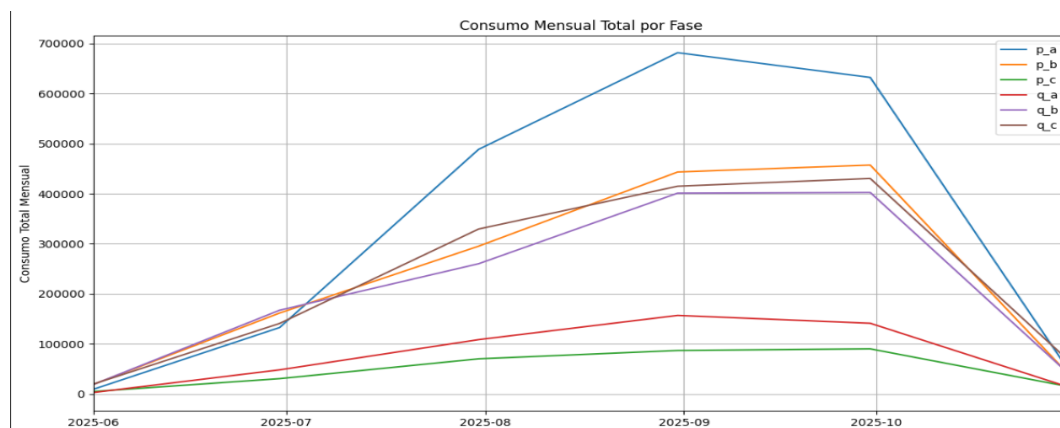


Figura 13: Consumo mensual en CF sede Centro

Fuente: diseño propio

En la figura 13 se observa un aumento progresivo del consumo entre junio y septiembre de 2025; se alcanza un máximo comportamiento en septiembre, mientras que los menores se evidencian entre junio y julio.

6.3.2. Análisis por variables eléctricas

El análisis detallado de las variables eléctricas permitió evaluar el desempeño operativo del sistema eléctrico de la sede Centro, identificando los principales indicadores de eficiencia y calidad del suministro. Las mediciones de potencia activa [P] muestran que el consumo energético se mantiene dentro de un rango variable, con picos asociados a las horas de mayor carga operativa. El comportamiento de la potencia aparente [S] guarda correspondencia con la curva de demanda, confirmando la coherencia de las mediciones obtenidas por el sistema IoT. En cuanto a la potencia reactiva [Q], se evidencia una participación significativa dentro del total de la potencia aparente, lo cual repercute en el bajo factor de potencia promedio [0,426] registrado durante el periodo de análisis. Este valor refleja la presencia de cargas inductivas predominantes, como motores eléctricos y equipos de climatización, que generan un desfase entre la corriente y el voltaje, afectando la eficiencia energética del sistema.

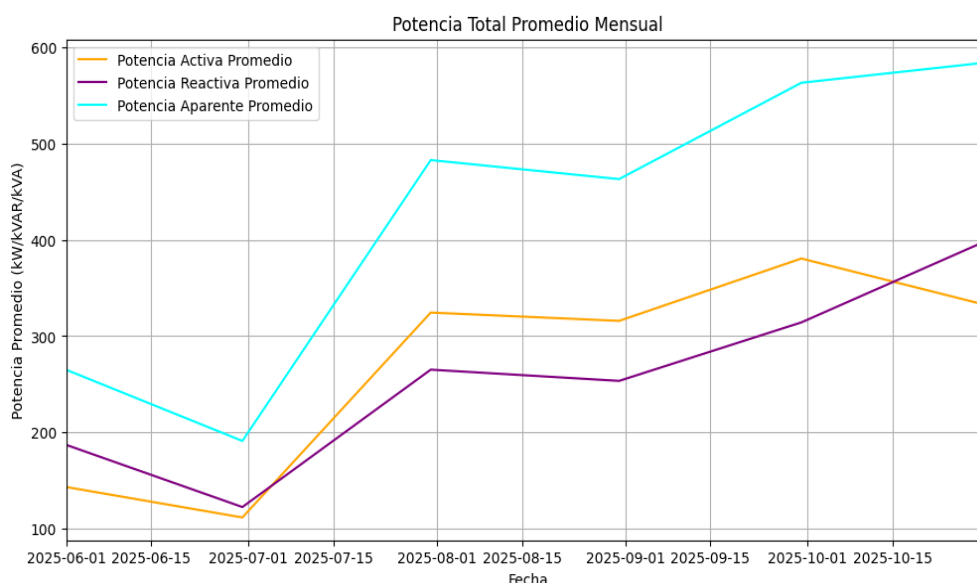


Figura 14: Potencias mensuales promedio [S, P, Q]

Fuente: diseño propio

Las mediciones de tensión y corriente por fase presentan un comportamiento relativamente estable, aunque con ligeras diferencias entre líneas, lo que sugiere un leve desbalance de cargas en la red. Dicho desbalance, aunque no crítico, puede generar pérdidas adicionales y reducción de la vida útil de los equipos eléctricos si no se corrige adecuadamente.

timestamp	volt_a	volt_b	volt_c	volt_avg	volt_max_dev	ind_desbalance_volt
2025-09-22 21:59:19.959	125.720	125.716	125.705	125.713667	0.008667	0.006894
2025-09-22 22:09:18.130	126.076	126.072	126.060	126.069333	0.009333	0.007403
2025-09-22 22:19:18.801	126.349	126.345	126.332	126.342000	0.010000	0.007915
2025-09-22 22:29:18.908	126.701	126.695	126.685	126.693667	0.008667	0.006841
2025-09-22 22:39:18.338	126.981	126.976	126.964	126.973667	0.009667	0.007613

Figura 15: Cálculo de factor de desbalance entre tensiones

Fuente: diseño propio

Finalmente, el análisis conjunto de las variables confirma que el sistema eléctrico opera con niveles aceptables de estabilidad, pero con oportunidades claras de mejora en la compensación de energía reactiva y el balance de fases, acciones que contribuirían a optimizar el factor de potencia y reducir los costos asociados al consumo energético.

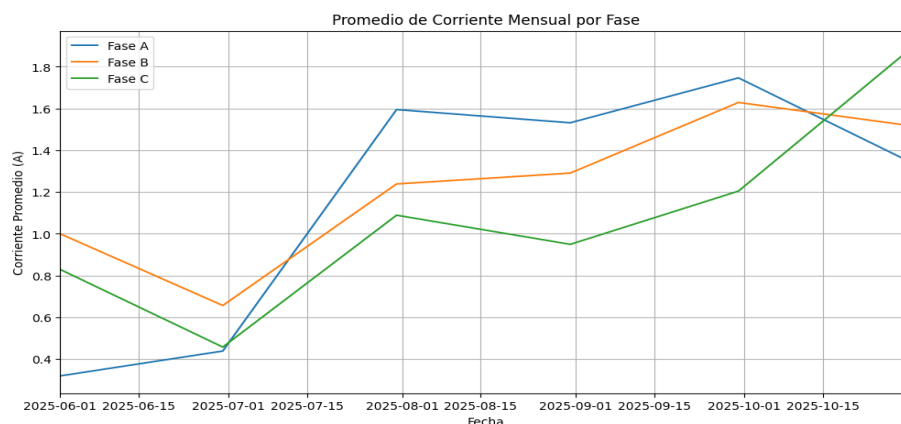


Figura 16: Promedio de corriente mensual por fase

Fuente: diseño propio

6.3.3. Identificación de ineficiencias

De acuerdo con las recomendaciones del IEEE, indicadores energéticos como la energía total consumida, la demanda máxima, el factor de carga y el factor de potencia permiten evaluar la eficiencia y el comportamiento operativo de un sistema eléctrico. Con base en los

registros de potencia activa y factor de potencia tomados cada *10 minutos*, se calcularon dichos indicadores.

La energía total consumida [kWh] corresponde a la suma del producto entre la potencia activa y el intervalo de medición, reflejando el consumo acumulado del periodo. La demanda máxima [kW] indica el punto de mayor exigencia energética, mientras que la potencia promedio [kW] representa el comportamiento medio del consumo. El factor de carga, obtenido como la razón entre la potencia promedio y la máxima, permite evaluar la uniformidad del consumo; valores próximos a 1 reflejan un uso estable de la red. Asimismo, el factor de potencia promedio expresa la eficiencia en el uso de la energía eléctrica, donde valores cercanos a la unidad evidencian una operación eficiente y bajo contenido de potencia reactiva (IEEE, 1995).

A continuación, se presentan los indicadores energéticos hallados en el sistema de casa ferretera, según el comportamiento de consumo: Energía total consumida: 647480.93 [kWh]. Demanda máxima: 2529.30 [kW]. Potencia promedio: 281.68 [kW]. Factor de carga: 0.111. Factor de potencia promedio: 0.426.

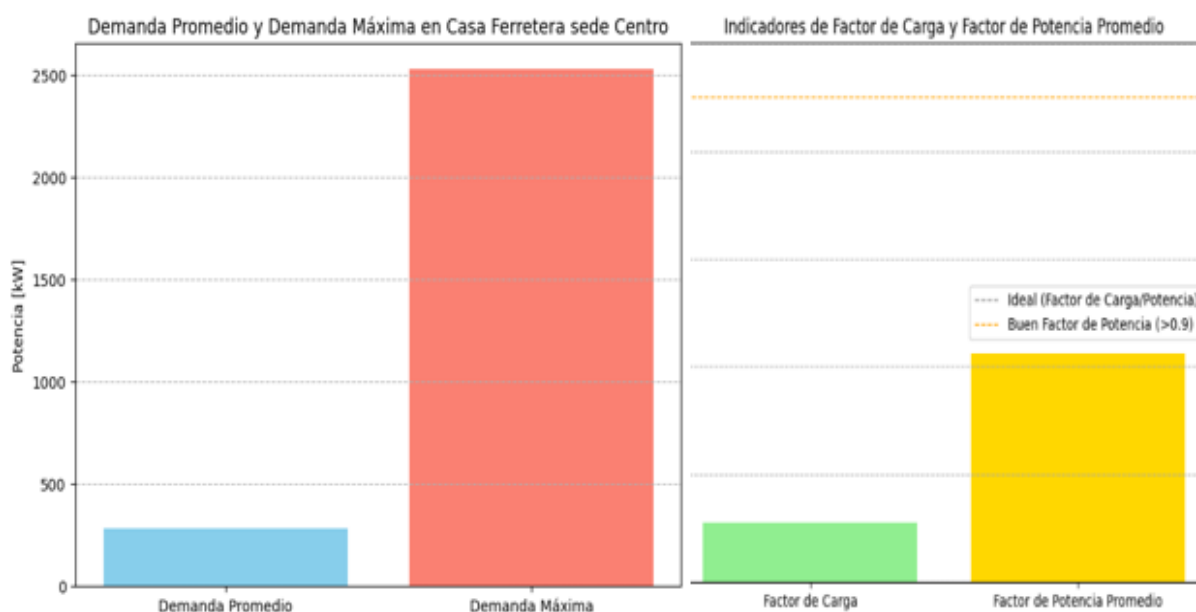


Figura 17: Gráfica de indicadores energéticos

Fuente: diseño propio

Se observa una demanda máxima de 2.529,30 kW, significativamente superior a la potencia promedio de 281,68 kW, lo que incide en un factor de carga bajo (0,111) y refleja una utilización irregular de la capacidad eléctrica instalada. Por otra parte, el factor de potencia promedio de 0,426 confirma la presencia de cargas inductivas predominantes, como motores y sistemas de climatización, que generan un desfase entre la corriente y la tensión, estas condiciones evidencian ineficiencias energéticas asociadas al uso de potencia reactiva, lo que resalta la necesidad de implementar estrategias de compensación y gestión de la demanda para optimizar el desempeño.

6.3.4. Recomendaciones y plan de acción: estrategias de optimización del consumo energético

El análisis de los datos obtenidos mediante el sistema de medición IoT Dracmon-3 permitió identificar diversos aspectos críticos en el desempeño energético de la sede Centro de Casa Ferretera S.A., entre los cuales destacan el bajo factor de potencia promedio (0,426), el factor de carga de 0,111, y la presencia significativa de cargas inductivas.

Con base en estos resultados, se proponen las siguientes estrategias y acciones de mejora, orientadas a optimizar en un corto plazo el uso de la energía eléctrica, reducir pérdidas y mejorar la eficiencia global del sistema.

Compensación de energía reactiva: Instalar bancos automáticos de capacitores dimensionados según la potencia reactiva promedio registrada, con el fin de elevar el factor de potencia a valores superiores a 0,90, reduciendo penalizaciones por energía reactiva y mejorando la eficiencia de la red interna.

Balaceo de cargas entre fases: Realizar una redistribución de las cargas monofásicas para equilibrar los niveles de corriente por fase, disminuyendo las pérdidas y evitando sobrecalentamientos en conductores o equipos.

Monitoreo continuo mediante el sistema instalado Dracmon-3: mantener activo el sistema de medición IoT para registrar y evaluar los efectos de las medidas correctivas, garantizando una supervisión continua de las variables eléctricas en tiempo real.

En el mediano plazo, se propone implementar acciones orientadas a optimizar la operación y gestión del sistema eléctrico, garantizando una utilización más eficiente de la energía. Entre ellas, se recomienda aplicar estrategias de programación de carga, que permitan escalonar o desplazar el uso de equipos de alta potencia fuera de los horarios pico (entre las 10:00 y 16:00 horas), con el fin de mejorar el factor de carga y estabilizar el perfil de consumo diario.

De manera complementaria, se plantea la ejecución de un programa de mantenimiento preventivo y control operativo, centrado en la inspección y ajuste periódico de conexiones, tableros, transformadores y motores eléctricos, para reducir pérdidas técnicas y preservar la confiabilidad del sistema. Asimismo, se recomienda capacitar al personal técnico en buenas prácticas de eficiencia energética, interpretación de indicadores eléctricos y uso de herramientas de monitoreo en tiempo real, fortaleciendo las capacidades institucionales en gestión energética.

A largo plazo, se sugiere avanzar hacia la modernización tecnológica de los equipos eléctricos, reemplazando progresivamente los dispositivos con bajo rendimiento —como motores, luminarias y sistemas de climatización— por tecnologías de alta eficiencia que contribuyan a reducir el consumo total de energía. De igual modo, se plantea la implementación de un Sistema de Gestión Energética (SGE) basado en la norma ISO 50001, con el propósito de institucionalizar procedimientos de medición, análisis y mejora continua del desempeño energético. Finalmente, se recomienda la expansión del sistema de monitoreo Dracmon-3, a otros circuitos y sedes de la organización, lo que permitirá centralizar los datos de consumo y comparar el rendimiento energético a nivel corporativo.

La aplicación gradual de estas medidas permitirá lograr una disminución sostenida de las pérdidas eléctricas, un mejoramiento del factor de potencia por encima de 0,90 y una reducción de la demanda máxima contratada. Adicionalmente, se espera una mayor estabilidad operativa del sistema, la prolongación de la vida útil de los equipos y ahorros económicos sostenibles, en coherencia con los objetivos institucionales de eficiencia y sostenibilidad energética.

7. Conclusiones

El proyecto permitió caracterizar el comportamiento energético de la sede Centro de Casa Ferretera S.A. mediante la implementación del sistema de medición IoT Dracmon-3 el cual posibilitó la adquisición y monitoreo en tiempo real de variables eléctricas como tensión, corriente, potencias y factor de potencia. Esta herramienta tecnológica facilitó la conformación de una línea base de consumo confiable, sentando las bases para futuras auditorías y estrategias de eficiencia energética.

El análisis de los datos registrados entre junio y octubre de 2025 evidenció un perfil de consumo predominantemente diurno, con picos de demanda concentrados entre las 10:00 y 16:00 horas y una utilización intermitente de la capacidad instalada (factor de carga de 0,111). Se identificó un bajo factor de potencia promedio (0,426) y un alto componente de potencia reactiva, atribuibles a la operación de cargas inductivas como motores y sistemas de climatización, además de un leve desbalance entre fases, que puede generar pérdidas adicionales si no se corrige.

A partir de estos hallazgos, se propusieron acciones técnicas y de gestión orientadas a la compensación de energía reactiva, el balanceo de cargas y la optimización de horarios de operación, complementadas con medidas de modernización tecnológica y la posible implementación de un Sistema de Gestión Energética. La aplicación de estas estrategias permitirá mejorar el factor de potencia, reducir pérdidas eléctricas y promover un uso más racional y sostenible de la energía, fortaleciendo la eficiencia operativa y económica de la organización.

8. Recomendaciones

Los resultados del diagnóstico y los balances energéticos realizados para la sede centro de la empresa Casa Ferretera S.A. permiten recomendar la continuación del fortalecimiento de las acciones orientadas al mejoramiento del desempeño energético de las instalaciones eléctricas.

Se recomienda la instalación de un control automático del factor de potencia, basado en un banco de condensadores, diseñado en concordancia con la demanda promedio registrada, con el fin de mejorar el factor de potencia, reducir pérdidas reactivas y optimizar la capacidad de transporte del sistema. Esto con efecto directo sobre la eficiencia del suministro y sobre los costos asociados a penalizaciones por bajo factor de potencia.

Es necesario establecer un plan estratégico de gestión de la energía eléctrica, que articule la información obtenida en esta auditoría con objetivos concretos de eficiencia, indicadores de consumo y estrategias de seguimiento. Dicho plan debe integrarse dentro de las políticas de sostenibilidad empresarial, permitiendo evaluar periódicamente los avances y priorizar las inversiones que generen mayor impacto técnico y económico.

9. Referencias

- Arrillaga, J., & Neville, R. W. (2003). *Power System Harmonics*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Bollen, M. H. (1999). *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*. Wiley-IEEE Press.
- CTN-UNE 216. (2023). *UNE-EN 16247-1: Eficiencia energética, cambio climático y energías renovables*. Madrid: Asociación Española de Normalización.
- García, A. (2021). *Gestión energética en instalaciones industriales*. Alfaomega.
- ICONTEC. (2016). *NTC ISO 50006:2016. Sistemas de gestión de la energía – Medición del desempeño energético utilizando líneas de base energética (EnB) e indicadores clave de desempeño energético*. Bogotá : Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- ICONTEC. (2018). *NTC ISO 50001:2018. Sistemas de gestión de la energía – Requisitos con orientación para su uso* . Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- ICONTEC. (2019). *NTC-ISO 50002:2019. Auditorías energéticas. Requisitos con orientación para su uso*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación -ICONTEC-.
- IEEE. (1995).
- IEEE. (2017). *Guide for Electric Power Distribution Automation*. (I. S. 1547-2017., Ed.) *IEEE Standards*.
- International Energy Agency. (2021). *Energy Efficiency*. Obtenido de IEA:
<https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2021>
- Ministerio de Minas y Energía. (2013). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE*. Bogotá: MinEnergía. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co>
- Ministerio de Minas y Energía. (2022). *Eficiencia energética: auditorías energéticas en grandes industrias*. Bogotá D.C.: MinEnergía.
- Moreno, J., Torres, P., & Ruiz, C. (2020). IoT aplicado al monitoreo energético en tiempo real. *Revista de Ingeniería Energética*, 41, 45-52.
- UPME . (2018). *Guía para la formulación e implementación de Planes de Gestión Eficiente de la Energía*. Bogotá: Unidad de planeación Minero Energética.

10. Bibliografía

- Arrillaga, J., & Neville, R. W. (2003). *Power System Harmonics*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Bollen, M. H. (1999). *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*. Wiley-IEEE Press.
- CTN-UNE 216. (2023). *UNE-EN 16247-1: Eficiencia energética, cambio climático y energías renovables*. Madrid: Asociación Española de Normalización.
- García, A. (2021). *Gestión energética en instalaciones industriales*. Alfaomega.
- ICONTEC. (2016). *NTC ISO 50006:2016. Sistemas de gestión de la energía – Medición del desempeño energético utilizando líneas de base energética (EnB) e indicadores clave de desempeño energético*. Bogotá : Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- ICONTEC. (2018). *NTC ISO 50001:2018. Sistemas de gestión de la energía – Requisitos con orientación para su uso* . Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- ICONTEC. (2019). *NTC-ISO 50002:2019. Auditorías energéticas. Requisitos con orientación para su uso*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación -ICONTEC-.
- IEEE. (1995).
- IEEE. (2017). *Guide for Electric Power Distribution Automation*. (I. S. 1547-2017., Ed.) *IEEE Standards*.
- International Energy Agency. (2021). *Energy Efficiency*. Obtenido de IEA:
<https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2021>
- Ministerio de Minas y Energía. (2013). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE*. Bogotá: MinEnergía. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co>
- Ministerio de Minas y Energía. (2022). *Eficiencia energética: auditorías energéticas en grandes industrias*. Bogotá D.C.: MinEnergía.
- Moreno, J., Torres, P., & Ruiz, C. (2020). IoT aplicado al monitoreo energético en tiempo real. *Revista de Ingeniería Energética*, 41, 45-52.
- UPME . (2018). *Guía para la formulación e implementación de Planes de Gestión Eficiente de la Energía*. Bogotá: Unidad de planeación Minero Energética.

11. Anexos

10.1 Anexo 1. Código ejecutado para analítica de datos en Google Colab

```

#Montar google drive para guardar la informacion
from google.colab import drive
drive.mount('/content/gdrive',force_remount=True)
base_dir = "/content/gdrive/MyDrive/Colab Notebooks/data/"
Mounted at /content/gdrive
# Carga de google drive
print(base_dir)
print("\n")
#Cargamos los CSV con los Datos
data= pd.read_csv(base_dir + "combined_data_cleaned.csv")
data['timestamp'] = pd.to_datetime(data['timestamp'])
data = data.set_index('timestamp')
display(data.head())
/content/gdrive/MyDrive/Colab Notebooks/data/

# Obtener la primera fecha (timestamp) del índice
first_date = data.index.min()
# Obtener la última fecha (timestamp) del índice
last_date = data.index.max()
print(f"Primera fecha: {first_date}")
print(f"Última fecha: {last_date}")
Primera fecha: 2025-01-27 10:49:19.623000
Última fecha: 2025-10-03 14:39:18.877000

```

```

#Gráficos de líneas para los datos de consumo diario, semanal y mensual con el
#fin de visualizar las tendencias a lo largo del tiempo.
import mplcursors
import matplotlib.dates as mdates
# Calcular el consumo medio por hora en todos los días.
average_hourly_consumption = data[consumption_cols].groupby(data.index.hour).
↳mean()
# Calcular el consumo diario promedio en todas las semanas.
average_daily_consumption = data[consumption_cols].groupby(data.index.
↳dayofweek).mean()
average_daily_consumption.index = ['Lunes', 'Martes', 'Miércoles', 'Jueves', '_
'Viernes', 'Sábado', 'Domingo']

# Calcular el promedio de corriente por fase
average_current_a = data['i_a'].mean()
average_current_b = data['i_b'].mean()
average_current_c = data['i_c'].mean()
# Mostrar los promedios
print(f'Promedio de Corriente Fase A: {average_current_a:.2f} A")
print(f'Promedio de Corriente Fase B: {average_current_b:.2f} A")
print(f'Promedio de Corriente Fase C: {average_current_c:.2f} A")
# Opcional: Mostrar los promedios en un DataFrame para fácil comparación
average_currents = pd.DataFrame(

```