

**AUDITORÍA ENERGÉTICA EN EL ÁREA ELÉCTRICA PARA LA EMPRESA
ELECTROSERVIMOS**

**CRISTIAN CAMILO ALVAREZ HURTADO
DANIEL ESTEBAN HERRERA PADILLA
DEIBER ALFONSO JIMENEZ YONS**

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

2025

**AUDITORÍA ENERGÉTICA EN EL ÁREA ELÉCTRICA PARA LA EMPRESA
ELECTROSERVIMOS**

.

**CRISTIAN CAMILO ALVAREZ HURTADO
DANIEL ESTEBAN HERRERA PADILLA
DEIBER ALFONSO JIMENEZ YONS**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista

Asesor técnico:

**José Ricardo Velasco Méndez
PhD en educación**

Asesora metodológica:

**Paola Maritza Ortiz Grisales
Magíster en Energía**

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

Contenido

1.	Planteamiento del problema.....	18
1.1	Descripción	18
1.2	Formulación	19
2.	Justificación	20
3.	Objetivos.....	22
3.1	Objetivo general.....	22
3.2	Objetivos específicos	22
4.	Referentes teóricos.....	23
4.1	Concepto de energía.....	23
4.2	Auditorías energéticas.....	24
4.2.1.	Definición y alcance de las auditorías	24
4.2.2.	Tipos de auditorías	25
4.2.3.	Etapas de las auditorías	27
4.2.4.	Importancia de la auditoría energética en la industria	28
4.3	Gestión de la energía y la norma ISO 50001	28
4.3.1.	Antecedentes y evolución de la norma ISO 50001	28
4.3.2.	Ciclo PHVA aplicado a la gestión energética.....	29
4.3.3.	Indicadores de desempeño energético (EnPIs) y líneas base (EnB)	30
4.4	Parámetros eléctricos principales para el análisis energético	32

4.4.1. Voltaje, corriente, potencias (P (activa), Q(reactiva), S(aparente)) y frecuencia	32
4.4.2. Factor de potencia y su impacto económico	33
4.4.3. Pérdidas eléctricas y calidad de la energía.....	33
4.5 Tecnologías IoT aplicadas el monitoreo energético	34
4.5.1 Conceptos y evolución del Internet de las Cosas (IoT)	34
4.5.2. Aplicaciones en la industria eléctrica	34
4.5.3 Arquitectura de un sistema IoT para auditorías energéticas	35
4.5.4 Protocolos de comunicación (MQTT, Modbus, TCP/IP)	36
4.6 Uso eficiente de la energía (URE)	36
4.6.1. Estrategias comunes de URE	36
4.6.2. Regulación nacional sobre eficiencia energética (Colombia: ley 697/2001, PROURE)	38
4.6.3. Impactos técnicos y económicos de la URE	38
4.7 Evaluación económica y ambiental de medidas Energéticas.....	38
4.7.1. Métodos de evaluación económica (VAN, TIR, Payback).....	39
4.7.2. Cálculo de ahorro energéticos en kWh/año	40
4.7.3. Beneficios ambientales de la eficiencia energética.....	40
4.7.4 Impacto ambiental de las mejoras energéticas.	40
5. Metodología	42
5.1 Tipo de proyecto	42
5.2 Método	42

5.3	Instrumentos de recolección de información.....	43
5.3.1.	Fuentes primarias	43
5.3.2.	Fuentes secundarias	43
6.	Resultados	44
7.	Conclusiones.....	79
8.	Recomendaciones	81
9.	Referencias bibliográficas.....	83
10.	Bibliografía	86
11.	Anexos	89
	Anexo A. Protocolo de visita técnica inicial.....	89
	A.2. Actividades realizadas durante la visita.	89
	A.3. Resultados principales de la visita.	90
	Anexo B. Protocolo de instalación del medidor IoT.....	90
	B.2. Objetivos del protocolo	91
	B.3. Actividades del protocolo.....	91
	B.4. Diagrama técnico de conexión.	92
	B.5. Acta de instalación.	93
	Anexo C. Aforo eléctrico del establecimiento y diagnóstico energético inicial.....	93
	C.1. Objetivo del aforo.....	93
	C.2. Tabla completa de aforo eléctrico	93
	C.3. Interpretación técnica del aforo.	94

C.4. Resultados del aforo y relación con ISO 50002	95
Anexo D. Registro de mediciones remotas y análisis energéticos.....	95
D.1. Descripción dl proceso de medición remota	95
D.2. Archivo de datos medidor	96
D.3. Tabla de promedios diarios.	96

Índice de tablas

Tabla 1 Niveles de auditoría energética según ISO 50002	26
Tabla 2 Indicadores Energéticos	31
Tabla 3 Comparación brechas técnicas	31
Tabla 4 Parámetros Eléctricos	33
Tabla 5 Protocolo de ingreso	44
Tabla 6 Fases del Protocolo	45
Tabla 7 Aforos de carga	47
Tabla 8 Aforo Eléctrico Empresa Electroservimos	52
Tabla 9 Protocolo de Instalación medidor IoT en la empresa Electroservimos	56
Tabla 10 Ficha técnica medidor multifuncional PAC3120.....	62
Tabla 11 Ficha técnica autómatas programables AMP1-F	64
Tabla 12 Resumen diario de variables energéticas durante dos semanas.	66
Tabla 13 Comparación entre estado actual y requisitos normativos.....	72
Tabla 14 Brechas técnicas identificadas según los datos y requisitos de ISO 50002.	75
Tabla 15 Recomendaciones técnicas derivadas del análisis normativo y datos.	77

Índice de figuras

Figura 1 Objetivos de una Auditoría Energética.....	24
Figura 2 Ciclo PHVA ISO 50001	30
Figura 3 Elementos IoT	35
Figura 4 Uso Eficiente de la Energía	37
Figura 5 Rentabilidad Verde.....	39
Figura 6 Impacto ambiental	41
Figura 7 Diagrama de conexión medidor IoT.....	61
Figura 8 Analizador de Energía SIEMENS PAC3120	63
Figura 9 Autómata programable AMP1F	65
Figura 10 Tensión promedio (V)	68
Figura 11 Corriente promedio (A).....	69
Figura 12 Potencia activa total (kW)	70
Figura 13 Potencia aparente (kVA)	70
Figura 14 Factor de potencia (FP)	71

Lista de Anexos

Anexo A. Protocolo de visita técnica inicial.....	89
Anexo B. Protocolo de instalación del medidor IoT.....	90
Anexo C. Aforo eléctrico del establecimiento y diagnóstico energético inicial.....	93
Anexo D. Registro de mediciones remotas y análisis energéticos.....	95

Resumen

AUDITORÍA ENERGÉTICA EN EL ÁREA ELÉCTRICA PARA LA EMPRESA ELECTROSERVIMOS

CRISTIAN CAMILO ALVAREZ HURTADO

DANIEL ESTEBAN HERRERA PADILLA

DEIBER ALFONSO JIMENEZ YONS

El presente trabajo de grado tuvo como objetivo establecer los lineamientos técnicos y metodológicos para el diseño de una auditoría energética en el área eléctrica de la empresa Electroservimos, orientada por los principios de la norma ISO 50002 y en articulación con los fundamentos del sistema de gestión energética definido en la norma ISO 50001. Para llevar a cabo, se desarrolló un método estructurado que incluyó la revisión documental inicial, la realización de visitas técnicas, la instalación y configuración de medidores inteligentes IoT, la recopilación remota de datos energéticos y el análisis estadístico y técnico de variables como voltaje, corriente, potencia, factor de potencia y comportamiento de carga durante dos semanas de monitoreo. Los resultados permitieron caracterizar el perfil energético real de la empresa, identificar brechas frente a los requisitos normativos, evidenciar la ausencia de mecanismos de medición continua, la falta de procedimientos formales de gestión energética y la presencia de consumos no optimizados. A partir del diagnóstico obtenido, se definieron lineamientos para el diseño del proceso de auditoría energética y se formularon recomendaciones técnicas orientadas a la mejora del desempeño energético, tales como la estandarización de prácticas operativas, la implementación de monitoreo permanente y la corrección de condiciones eléctricas con baja eficiencia. En conclusión, el proyecto permitió establecer una ruta metodológica aplicable y

verificable que facilita a la empresa avanzar hacia un modelo de gestión energética basado en evidencia con beneficios operativos, económicos y ambientales.

Palabras claves: Auditoría energética; ISO 50002; ISO 50001; IoT; eficiencia energética; diagnóstico eléctrico; factor de potencia; consumo energético; medidores inteligentes; análisis de carga, voltaje; corriente.

Abstract

This Project aimed to establish the technical guidelines for designing an energy audit process for the electrical system of the company Electroservimos, following the requirements of ISO 50002 and aligned with the energy management principles of ISO 50001. The methodology included the initial characteristics of the electrical infrastructure, verification of technical documentation, installation of smart meters with IoT communication, and the acquisition of electrical data over a two-week monitoring period. Key electrical parameters such as phase voltages, load currents, active, reactive, and apparent power, maximum demand, power factor, and supply stability were analyzed to identify operational deviations, energy inefficiencies, and the absence of formal monitoring and control mechanisms. The identified gaps revealed the need to strengthen measurement, documentation, and operational practices. Finally, technical recommendations and guidelines were proposed to improve energy performance, reduce internal losses, optimize electrical loads, and support the potential implementation of a structured energy management system.

Keywords: Energy audit, ISO 50002, ISO 50001, IoT, electrical diagnostics, power factor, energy performance, smart metering, electrical consumption, voltage, current.

Glosario

Aforo eléctrico: Proceso de inventario y caracterización de cargas eléctricas instaladas en una edificación o planta, incluyendo potencia, horas de uso y tipo de operación.

Análisis energético: Evaluación sistemática de los datos eléctricos obtenidos para identificar tendencias, ineficiencias, pérdidas, desviaciones y oportunidades de mejora

Armónicos: Distorsiones en la forma de onda eléctrica generadas por cargas no lineales. Pueden deteriorar equipos, aumentar pérdidas y reducir la eficiencia del sistema.

Auditoría energética: Conjunto sistemático de actividades orientadas a recopilar, analizar y evaluar información sobre los flujos de energía de una instalación, con el fin de identificar ineficiencias, oportunidades de mejora y acciones que permitan optimizar el desempeño energético. Se estructura bajo los lineamientos de normas como la ISO 50002

Cargas significativas de energía (SEU): Equipos, sistemas o procesos que tienen un impacto relevante en el uso y consumo de energía. Su identificación es un requisito clave de la ISO 50001.

Corrección del factor de potencia: Proceso mediante el cual se reduce la potencia reactiva en un sistema eléctrico mediante bancos de capacitores u otros dispositivos, mejorando la eficiencia y reduciendo penalizaciones económicas.

Consumo energético: Cantidad total de energía utilizada por un sistema, instalación o proceso durante un periodo determinado. Se expresa en kWh y sirve como base para el análisis del desempeño energético.

Curva de carga: Gráfico que representa la variación del consumo eléctrico o la demanda en función del tiempo. Permite evaluar hábitos de uso, picos de consumo y oportunidades de optimización.

Demanda eléctrica: Potencia máxima requerida por una instalación durante un periodo específico. Se expresa en kW y permite identificar picos de carga y necesidades de optimización.

Desempeño energético: Resultados cuantificables relacionados con la eficiencia, el uso y el consumo de energía en una organización. Su mejora es el objetivo principal de los sistemas de gestión energética.

Energía primaria: Energía contenida en recursos naturales disponibles directamente en el entorno antes de cualquier proceso de transformación. Incluye petróleo, gas natural, carbón. Radiación solar, viento, agua en movimiento y biomasa.

Energía final: Energía suministrada a los usuarios para consumo directo, posterior a procesos de transporte y distribución, tales como Electricidad entregada a hogares o industrias, gas natural distribuido por redes, combustibles líquidos comercializados

Energía secundaria: Energía obtenida a partir de la transformación de la energía mediante procesos tecnológicos. Ejemplos representativos son la electricidad generada en centrales, el diésel y la gasolina refinados, o el hidrógeno producido con técnicas industriales

Energía útil: Porción de la energía final que se convierte en trabajo efectivo dentro de un proceso productivo o servicio. Representa la energía realmente aprovechada después de descontar pérdidas por calor, fricción, conversión o ineficiencia en los equipos.

Factor de potencia: Relación entre la potencia activa y aparente en un sistema eléctrico. Es una medida del uso eficiente de la energía e indica el nivel de energía que realmente se transforma en trabajo útil. Se expresa como el coseno del ángulo de desfase entre corriente y voltaje ($\cos \phi$). Un factor de potencia bajo genera sobrecargas, pérdidas y penalizaciones económicas.

Indicador de desempeño energético (EnPI): Valor cuantitativo empleado para evaluar y monitorear el desempeño energético. Ejemplos: kWh/m², factor de potencia mensual, kWh por unidad producida.

IoT (Internet of Things): Tecnología que permite la interconexión de dispositivos mediante redes de comunicación para la captura, transmisión y análisis de datos en tiempo real. En ingeniería eléctrica, se emplea para monitoreo energético, diagnóstico de fallas, control automatizado y gestión de cargas

Medidor multifuncional: Dispositivo electrónico avanzado que permite medir de forma simultánea múltiples variables eléctricas como voltaje, corriente, potencia activa, reactiva y aparente, energía consumida, frecuencia y factor de potencia. Algunos modelos incluyen capacidades IoT, alarmas, memoria interna y comunicación remota para monitoreo continuo.

Monitoreo continuo: Seguimiento sistemático de variables eléctricas mediante instrumentos de medición permanente o dispositivos IoT para evaluar comportamiento energético en tiempo real.

Potencia activa (P): Componente de la potencia que se transforma en trabajo útil, expresada en kilovatios (kW). Es la energía efectiva utilizada por los equipos.

Potencia reactiva (Q): Componente asociado al magnetismo o almacenamiento temporal de energía en campos eléctricos y magnéticos. Se expresa en kilovolt-amperios reactivos (kVAr) y no produce trabajo útil.

Potencia aparente (S): Combinación vectorial de la potencia activa y reactiva. Se expresa en kilovolt- amperios (kVA) y representa la potencia total demandada por la instalación.

Sistema de Gestión de la Energía (SGEn): Conjunto de políticas, procesos, procedimientos y actividades sistemáticas diseñadas para mejorar el desempeño energético de una organización, formalizado bajo los lineamientos de la ISO 50001.

Introducción

La gestión eficiente de la energía se ha convertido en una necesidad estratégica para las organizaciones modernas, tanto por razones económicas como ambientales. En este contexto, la auditoría energética surge como una herramienta técnica para identificar ineficiencias, proponer medidas de mejora y optimizar el desempeño de los sistemas eléctricos. Este proyecto de investigación como trabajo de grado tiene como propósito estructurar el proceso técnico y metodológico para la evaluación del desempeño energético en la empresa Electroservimos, basado en los lineamientos de las normas internacionales ISO 50001 (certificación de gestión energética) e ISO 50002 (auditorías energéticas).

Electroservimos es una empresa del sector eléctrico que presenta una oportunidad de mejora en sus procesos de consumo energético. Actualmente no cuenta con un sistema organizado de gestión energética, ni con dispositivos de monitoreo en tiempo real que permitan evaluar y controlar su comportamiento eléctrico. Ante esta situación, el proyecto busca la implementación de tecnologías IoT y analizadores de red, para hacer la recolección de datos eléctricos que arroja el sistema como (voltaje, corriente, potencia activa - P, potencia reactiva - Q, potencia aparente - S y frecuencia - Hz) los cuales servirán como base para diagnosticar el estado energético de la empresa.

La estructura del metodológica s fundamenta en tres componentes principales, se contempla inicialmente el análisis del consumo energético histórico y actual, identificando las condiciones actuales del sistema eléctrico y del perfil de consumo de la empresa, a partir de información documental, aforos de carga, seguido por la identificación de brechas técnicas y de gestión frente a los requisitos establecidos por la norma ISO 50002 y finalmente el diseño de un

modelo técnico-metodológico soportado en tecnologías IoT, orientado a la evaluación sistemática del desempeño energético y a la toma de decisiones de mejora continua.

El alcance del estudio se concentra en el área eléctrica de la empresa y se encuentra condicionado por las limitaciones de tiempo propias del calendario académico y por la disponibilidad de información y acceso a la infraestructura. No obstante, los resultados obtenidos permiten consolidar una línea base energética, evidenciar oportunidades de mejora técnica y de gestión, y plantear recomendaciones concretas para el fortalecimiento del desempeño energético de Electroservimos. De este modo, el trabajo se constituye en un insumo técnico y académico que aporta al desarrollo de prácticas de eficiencia energética en el contexto empresarial regional

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción

En el presente contexto de transición energética y eficiencia en el uso de los recursos, las organizaciones industriales y de servicios están llamadas a optimizar sus sistemas eléctricos y aplicar buenas prácticas de gestión energética. La empresa Electroservimos, dedicada a servicios en el sector eléctrico del área metropolitana de Medellín, no cuenta con una estrategia estructurada que le permita evaluar y gestionar de manera sistemática el consumo eléctrico en sus instalaciones, lo cual limita la identificación de ineficiencias energéticas generada por consumos y costos operativos, dificultando la toma de decisiones técnicas orientadas a la sostenibilidad.

Los costos de energía eléctrica a nivel nacional llegan a representar porcentajes entre el 15 y 25% de los gastos operativos en empresas del sector industrial y de servicios (UPME, 2019), al no contar con un lineamiento técnico en la gestión de energía adecuados, es posible incurrir en pérdidas no técnicas, sanciones por bajo factor de potencia y sobrecargas en la red interna, lo cual afecta la rentabilidad y la confiabilidad del suministro eléctrico.

Actualmente, Electroservimos no cuenta con instrumentos que permitan monitorear en tiempo real los valores correspondientes a los parámetros eléctricos fundamentales (tensión, corriente, potencia activa, reactiva y aparente y frecuencia). Esta situación impide obtener información técnica confiable para la evaluación del desempeño energético. de ahí surge la necesidad de diseñar lineamientos técnicos que sirvan de base para estructurar un proceso de diagnóstico energético conforme a las normas internacionales ISO 50002, y que a su vez incorpore tecnologías de internet de las cosas (IoT) que facilite la adquisición de datos, almacenamiento y análisis en tiempo real de los datos eléctricos.

La puesta en ejecución de estos lineamientos permitirá a la empresa dar un paso hacia la implementación de un sistema de gestión energética conforme a la norma ISO 50001, lo cual favorecerá su competitividad, permitirá la reducción de sus costos operativos y potenciará su compromiso con la sostenibilidad y la eficiencia energética.

1.2 Formulación

¿Cómo puede la empresa ElectroServimos optimizar su desempeño energético mediante el diseño de lineamientos técnicos basados en la norma ISO 50002, apoyados en tecnologías IoT?

2. Justificación

El diseño de lineamientos técnicos orientados a la mejora del desempeño energético en la empresa Electroservimos es adecuado en el actual contexto de transición energética y optimización del uso de los recursos. La gestión eficiente de la energía constituye hoy un factor determinante para la competitividad y sostenibilidad de las organizaciones, en particular en sectores de alta dependencia eléctrica como el de los servicios técnicos y operativos.

La empresa Electroservimos, dedicada al sector eléctrico, carece de una metodología que le permita diagnosticar y gestionar sistemáticamente su consumo energético. La falta de procedimientos definidos y de herramientas tecnológicas para el monitoreo continuo limita la identificación de ineficiencias y genera riesgos técnicos y económicos. En caso de mantenerse con esta situación, la empresa podría enfrentar sobrecostos operativos significativos, pérdidas no técnicas recurrentes, sanciones por la empresa prestadora de servicio por el bajo factor de potencia y afectación a la red, incrementos en fallas eléctricas internas e incluso a tener menor competitividad frente a otras empresas del mismo sector que están desarrollando políticas de eficiencia energética. Además, la ausencia de estrategias orientadas a la sostenibilidad afectaría su proyección ambiental y reputacional en el mercado

La justificación del proyecto radica en su orientación hacia el diseño de lineamientos técnicos basados en la norma ISO 50002, que junto a la integración de tecnologías de internet de las cosas (IoT) son el soporte innovador para la recolección, almacenamiento y el análisis de datos eléctricos requeridos en tiempo real. Por medio de estas herramientas se podrá estructurar una metodología ajustada a las propias condiciones para la toma de decisiones técnicas y estratégicas.

La puesta en marcha de la aplicación de los principios que se encuentran definidos en la norma ISO 50002 y su complemento con la ISO 50001, facilitan alcanzar las directrices de las normas establecidas a nivel internacional, y que además permiten establecer los fundamentos para una futura certificación en gestión energética; entre los beneficios esperados que se obtienen como consecuencia de ello, se encuentra la disminución de los costos operativos, optimización técnica de los sistemas eléctricos, la mejora de la imagen corporativa ante sus clientes y aliados estratégicos.

En consecuencia, este proyecto representa una oportunidad de mejora técnica para la empresa, además, una contribución académica y práctica al fortalecimiento de los procesos de eficiencia energética en el sector eléctrico regional.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Estructurar el proceso técnico y metodológico para la evaluación del desempeño energético en la empresa Electroservimos, con base en los lineamientos de la norma ISO 50002 e integrando herramientas IoT como soporte para la obtención y análisis de datos eléctrico.

3.2 Objetivos específicos

Analizar las condiciones actuales del sistema eléctrico de la empresa Electroservimos, con el fin de obtener un diagnóstico técnico que permita caracterizar su desempeño energético y establecer una línea base de referencia.

Identificar las brechas técnicas y de gestión existentes en la empresa Electroservimos frente a los lineamientos establecidos en la norma ISO 50002, a partir del diagnóstico del desempeño energético actual.

Diseñar el proceso técnico y metodológico para la evaluación del desempeño energético de la empresa Electroservimos, con el propósito de establecer lineamientos estructurados que orienten decisiones de mejora continua en el marco de la norma ISO 50002.

4. Referentes teóricos

4.1 Concepto de energía

La energía se define en física como la capacidad de un sistema para realizar un trabajo, ya sea en forma de movimiento, calor o electricidad (Halliday, 2014). Este concepto constituye uno de los pilares fundamentales de las ciencias naturales y de la ingeniería, ya que permite explicar los procesos de transformación y aprovechamiento de recursos en la sociedad moderna.

Desde una perspectiva práctica, la energía se clasifica en diferentes categorías según su origen y aplicación:

Energía primaria: corresponde a las fuentes naturales disponibles en el entorno, como el petróleo, el gas, el carbón la radiación solar.

Energía secundaria: surge de la transformación de la energía primaria, por ejemplo, la electricidad o los combustibles refinados.

Energía final: es la que se entrega a los consumidores para su uso directo, como la electricidad suministrada a un hogar o industria.

Energía útil: es aquella efectivamente aprovechada en un proceso productivo, después de descontar las pérdidas que ocurren en la conversión y el transporte.

Dentro de estas formas existentes, la electricidad ocupa un lugar en la sociedad contemporánea debido a su versatilidad, facilidad de transporte y capacidad de conversión en múltiples aplicaciones industriales y domésticas. Su producción, distribución y uso implican la consideración de diversos parámetros técnicos que determinan la calidad y eficiencia de los sistemas eléctricos.

4.2 Auditorías energéticas

4.2.1. Definición y alcance de las auditorías

De acuerdo con lo indicado por el ministerio de Minas y Energía, el concepto de auditorías energéticas es el de una medición y observación de los usos y consumos de energía que sirve para establecer una línea base y proporcionar un conjunto de recomendaciones de mejora con el objetivo de incrementar la eficiencia energética y detectar oportunidades de ahorro. (Suarez, 2014)

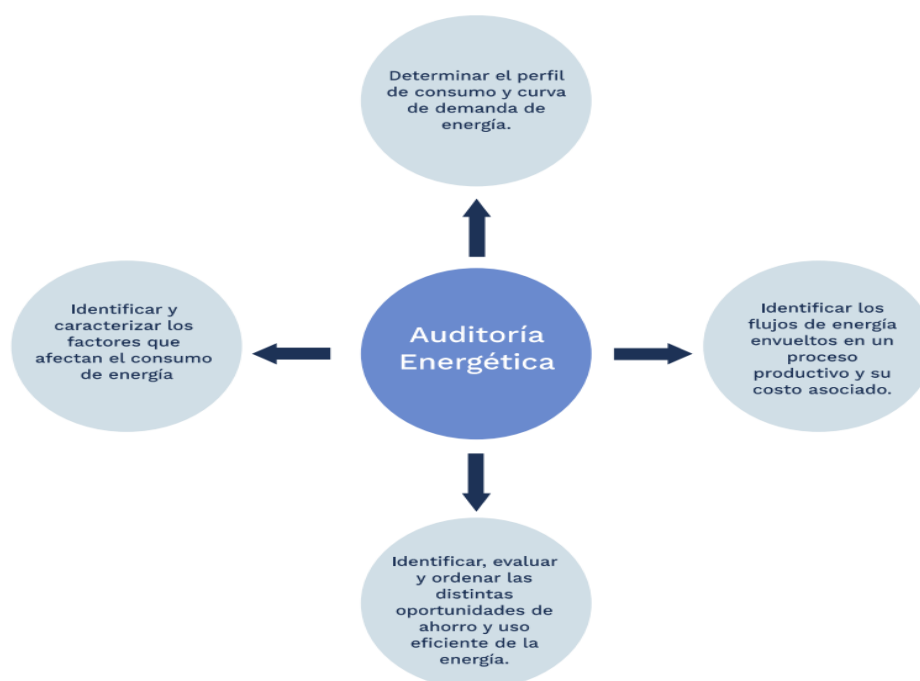


Figura 1 Objetivos de una Auditoría Energética

Nota. Adaptado de *Guía para el desarrollo de auditorías de eficiencia energética y operativa en sistemas de tratamiento de agua* (p. 9), por Minvivienda, 2021,

<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/guia-auditorias-vf.pdf>. Licencia CC BY 2.0.

Una auditoría energética es un análisis sobre cómo y dónde se utiliza la energía de una instalación para su utilización racional y eficiente (UPME, 2007). Ayudan a evaluar a partir de la información de campo (parámetros eléctricos e hidráulicos) y de registros históricos derivados de

la facturación de la energía, diagramas del sistema eléctrico, información de los equipos, condiciones de las instalaciones, antigüedad y frecuencia de mantenimiento de los equipos existentes, registros de operación, estableciendo los puntos críticos y consumos de energía en las diferentes fases del proceso y pueden determinar los potenciales ahorros de energía y el plan de retorno. Las auditorías energéticas en el ámbito empresarial permiten establecer líneas de base de consumos y plantear actividades que vayan en la dirección de objetivos de sostenibilidad como podemos observarla en la Figura 1, de reducción de costes y de cumplimiento normativo.

4.2.2. Tipos de auditorías

El ámbito que cubre las auditorías energéticas permite a las organizaciones elegir el grado de detalle en función de sus necesidades, recursos disponibles y sus objetivos estratégicos. Las auditorías, atendiendo a los requerimientos de cada planta, contienen un nivel de registros y captura de datos. El grado de profundidad de una auditoría, se fija en 3 niveles, los cuales varían básicamente en diagnóstico energético implica una revisión global del consumo de energía datos mediante históricos e inspecciones en el mismo lugar, auditoría energética detallada la cual incluye mediciones y análisis de parámetros eléctricos con un grado de profundidad y auditoría de grado de inversión la cual se basa en mediciones extensivas y modelado energético, presentando un diagnóstico de alta precisión. Uno de los mecanismos que permiten ser capaces de detectar qué tipo de auditor es energético y grado de esta es necesaria, lo consigue relacionarse con el indicador de consumo energético de la instalación.

La norma internacional ISO 50002 pone de manifiesto orientaciones para la realización de auditorías energéticas de forma sistemática, siendo esta norma una guía respecto a los

criterios de evaluación del desempeño energético, al análisis de datos y resto de aspectos en la emisión de recomendaciones.

Tabla 1 *Niveles de auditoría energética según ISO 50002*

Nivel de auditoría	Descripción
Nivel 1: Análisis energético preliminar	Se realiza una revisión inicial y rápida para identificar el potencial del ahorro energético. Se basa en datos básicos y en la experiencia.
Nivel 2: Diagnóstico energético	Implica un análisis más detallado del consumo de energía. Se utilizan datos históricos de servicios públicos y se realizan cálculos más precisos para identificar las medidas de ahorro y su análisis financiero preliminar.
Nivel 3: Auditoría energética detallada (o de grado de inversión)	Es la auditoría más completa. Incluye análisis exhaustivos de las oportunidades de mejora con análisis financiero detallado de las medidas propuestas. Se utilizan mediciones específicas y datos completos para el diseño de las soluciones.

Nota. Adaptado de *Guía para el desarrollo de auditorías de eficiencia energética y operativa en sistemas de tratamiento de agua* (p. 17), por Minvivienda, 2021, <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/guia-auditorias-vf.pdf>. Licencia CC BY 2.0.

También se definen los niveles de profundidad (tipo 1, 2 y 3), dependiendo de la información disponible y el alcance del análisis, permitiéndonos encontrar áreas de oportunidad y establecer acciones al ahorro energético.

Como dato histórico, la ISO 50002 fue publicada en el 2014 y la ISO 50001 fue complementada al definir los procedimientos específicos para realizar auditorías energéticas de forma confiable, haciéndolo en términos de datos que puedan ser medibles y verificables, se relacionan una breve descripción de lo que se debe realizar en cada nivel en la tabla 1. (Standardization, International Organization for, 2014).

4.2.3. Etapas de las auditorías

El desarrollo de una auditoría energética abarca varias etapas secuenciales comenzando con:

Planeación y recopilación de datos: se comienza con el análisis de consumos de energía a partir de históricos, revisión de facturas de un máximo un año y condiciones operativas.

Medición y monitoreo: se procede a instalar equipos de monitoreo y medición a través de (analizadores de red, sensores de IoT) para poder obtener información en tiempo real.

Análisis de resultados: es el planteamiento de la información para ser capaces de identificar patrones de consumo, pérdidas eléctricas que se pueden estar produciendo en la organización y así poder generar oportunidades de mejora.

Informe o propuesta de medidas: se presenta recomendaciones técnicas, económicas y ambientales.

4.2.4. Importancia de la auditoría energética en la industria

Las auditorías energéticas son herramientas esenciales en la transición hacia modelos de producción más eficientes y sostenibles. Apuntando a los países más influyentes, donde los costos de la energía representan un porcentaje significativo, lo cual la implementación a las grandes industrias representa ahorros superiores de hasta el 20%. En Colombia se llevaron a cabo auditorías energéticas en el sector industrial inicialmente de forma voluntaria, resaltando el proyecto la experiencia y los resultados del proyecto GEF-UPME-ONUDI, bajo la cual se pudo lograr el programa de eficiencia energética en la industria EEI, trabajando bajo los esquemas Industria-Academia-Estado. A través de los programas de formación SGEEn, atendiendo un total de 113 industria pertenecientes a los subsectores de fabricación de alimentos, bebidas, sustancias y productos químicos, entre otros; estos fueron realizados en los departamentos de Atlántico, Cundinamarca, Boyacá, Caldas y Valle Del Cauca. En estos grupos de industrias se identificaron potenciales de ahorro de energía equivalente a 1.070TJ/año, correspondiente a una reducción en emisiones de Gases Efecto Invernadero (UPME M. , 2019).

4.3 Gestión de la energía y la norma ISO 50001

4.3.1. Antecedentes y evolución de la norma ISO 50001

La norma ISO 50001 la cual fue publicada en el año 2011 como respuestas a la necesidad global de poder establecer una gestión eficiente de la energía, donde posteriormente en el año 2018, se hizo una actualización para alinearse con las estructuras de alto nivel en las normas de gestión ISO, donde integro con los sistemas, como ISO 9001 en el ámbito de calidad e ISO 14001 para el ámbito ambiental. Logro el fortalecimiento en el papel de alta dirección en el

sistema de gestión energética al que se incluyeron mejoras en la planificación y el seguimiento del rendimiento energético (Ltda, 2022)

4.3.2. Ciclo PHVA aplicado a la gestión energética

Define un Sistema de Gestión de la Energía (SGEn) que establece y sigue el ciclo (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar). Esta norma define los requisitos para desarrollar una política energética. Incluye requisitos de planificación energética, revisión energética, indicadores de desempeño (EnPI) y documentación. Se ha convertido en la norma más adoptada en gestión energética a nivel global, siendo aplicables a todo tipo de organización sin importar su tamaño o sector, Según la Agencia Internacional de Energía (Ltda, 2022), las industrias que adoptan la norma ISO 50001, reportan mejoras promedio entre el 10% y 20% en su desempeño energético durante los primeros tres años de la implementación. (International Organization for Standardization,, 2018)

En el ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar), constituya la estructura fundamental sobre la cual se desarrolla un sistema de Gestión de la Energía según la norma ISO 50001. La primera imagen plasmada en la Figura 2, ilustra cómo este ciclo se articula específicamente en la planificación estratégica, la implementación de medidas de ahorro, la medición de resultados y la evaluación del cumplimiento de objetivos energéticos. La segunda imagen complementa esta visión al representar el enfoque de mejora continua, destacando que la gestión energética no es un proceso estático, sino dinámico y evolutivo. En conjunto ambas representaciones evidencian que la ISO 50001 integra un modelo operativo que obliga a las organizaciones a planificar con base en información energética confiable, ejecutar acciones

correctivas y preventivas, verificar su efectividad mediante indicadores y auditorías internas, y actuar sobre los resultados garantizando un desempeño energético sostenido en el tiempo.

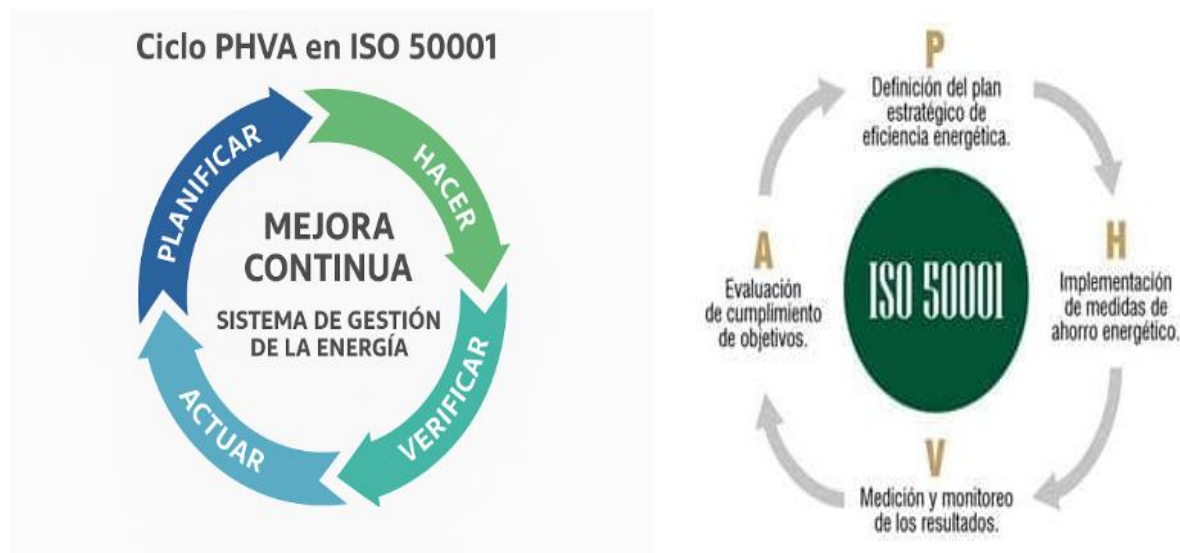


Figura 2 Ciclo PHVA ISO 50001

Nota. Adaptado de *ISO 50001: Sistema de gestión energética* (2016), por Geo Innova, <https://geoinnova.org/blog-territorio/iso-50001-sistema-de-gestion-energetica/>. Todos los derechos reservados.

4.3.3. Indicadores de desempeño energético (EnPIs) y líneas base (EnB)

Los EnPIs son herramientas claves para evaluar la eficiencia energética de un sistema. Permitiendo comparar condiciones actuales con valores de referencia y son fundamentales para determinar si se han alcanzado mejoras sostenibles en el tiempo. Igualmente se establece la necesidad de definir una línea base de desempeño energético (EnB), la cual actúa como referencia para evaluar la eficacia de las medidas implementadas, como lo podemos observar en la Tabla 2.

Algunos ejemplos de la EnPIs son en específico por unidad de producción (kWh/unidad), eficiencia térmica (%), o porcentaje de factor de potencia. La clave es que sean medibles, relevantes y repetibles. (Capehart B. L., 2020).

Tabla 2 *Indicadores Energéticos*

Indicador energético	Unidad	Aplicación
Consumo por producción	kWh/unidad	Procesos industriales
Eficiencia térmica	%	Calderas y hornos
Energía por m ²	kWh/m ²	Oficinas y edificios
Factor de potencia	Adimensional	Cargas inductivas

Nota. Diseño propio

La brecha energética se define como la diferencia entre el desempeño energético actual y el deseado o normado, el análisis de brechas permite establecer medidas prioritarias y evaluar su impacto técnico y económico. (Boyle, 2016).

Tabla 3 *Comparación brechas técnicas*

Requisito ISO	Cumple	Parcial	No cumple	Acción requerida
Política energética	✓			Actualizar
Indicadores energéticos		✓		Establecer línea base
Auditoría interna			✓	Programar auditoría

Nota. Diseño propio

4.4 Parámetros eléctricos principales para el análisis energético

En este sentido, la relación entre energía (descrito en el punto 4.1) y parámetros eléctricos resulta esencial. Variables como el voltaje, la corriente, la potencia y la frecuencia. Permite caracterizar el desempeño de una instalación y cuantificar su consumo energético. Dichos parámetros son la base de los diagnósticos en auditorías energéticas y de los programas de gestión energética, ya que posibilitan la identificación de ineficiencias y la propuesta de medidas de mejora.

4.4.1. Voltaje, corriente, potencias (P (activa), Q(reactiva), S(aparente)) y frecuencia

Los Parámetros eléctricos claves en el análisis energético incluyen las tensiones, la corriente, potencia activa, reactiva y aparente, la frecuencia, factor de potencia, también se pueden incluir dependiendo los equipos instalados en las instalaciones los armónicos, y finalmente los eventos de la calidad de energía como la sobretensión o caídas de tensión.

La diferencia de carga entre dos puntos en un sistema eléctrico. Se mide en voltios (V) y es esencial para el funcionamiento de los equipos.

La corriente es la velocidad a la que fluye la carga eléctrica. Se mide en amperios y su monitoreo ayuda a detectar sobre cargas del circuito.

La potencia eléctrica representando la energía efectivamente utilizada para realizar un trabajo útil.

La reactiva corresponde a la energía oscilante que circula entre generadores y cargas a la presencia de elementos inductivo y capacitivos.

La aparente resulta de la combinación vectorial P y Q, y refleja la carga total que el sistema está interponiendo a la red.

La frecuencia refleja la estabilidad del sistema y su capacidad para mantener la sincronización entre generación y consumo.

4.4.2. Factor de potencia y su impacto económico

El factor de potencia es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente. Un factor de potencia bajo indica una distribución ineficiente de energía en el sistema, ya que requiere más corriente para la misma cantidad del trabajo útil. De acuerdo con (Kundur, 1994), la corrección del factor de potencia se hace mediante el uso de bancos de capacitores o condensadores síncronos, siendo una medida efectiva para reducir costos y mejorar la eficiencia energética de las instalaciones.

4.4.3. Pérdidas eléctricas y calidad de la energía

Tabla 4 *Parámetros Eléctricos*

Parámetro	Unidad	Importancia
Voltaje (V)	Voltios	Nivel de tensión del sistema
Corriente (I)	Amperios	Flujo de carga
Potencia activa (P)	kW	Energía útil consumida
Potencia reactiva (Q)	kVAR	Energía no productiva
Potencia aparente (S)	kVA	Potencia total
Frecuencia	Hz	Estabilidad del sistema
Factor de Potencia	Adimensional	Eficiencia del consumo

Nota. Diseño propio

Las pérdidas eléctricas que se deben tener en cuenta para la actual auditoría tanto técnicas que van asociadas a la resistencia de los conductores y la operación de equipos y las no técnicas relacionadas con errores de medición o fraudes. Altos niveles de pérdidas impiden la viabilidad

financiera de las compañías ya que la calidad de la energía incluye aspectos como fluctuaciones de voltaje, armónicos y transitorios, afectando negativamente el desempeño de los equipos industriales o pudiendo ocasionar daños prematuros en la operación.

4.5 Tecnologías IoT aplicadas al monitoreo energético

4.5.1 Conceptos y evolución del Internet de las Cosas (IoT)

Las tecnologías IoT (Internet de las Cosas) aplicadas al monitoreo energético están basadas en el concepto y evolución del Internet de las cosas, la cual se define como una red de dispositivos interconectados que recopilan, transmiten e interpretan datos en tiempo real a través de plataformas digitales. Su origen se remonta a finales de la década de 1990, cuando Kevin Ashton utilizó este término en un marco relacionado con la identificación por radiofrecuencia (RFID). En la actualidad estas tecnologías representan un pilar de la transformación digital de sectores como la industria, salud y la energía (Ashton, 2009).

4.5.2. Aplicaciones en la industria eléctrica

En el ámbito eléctrico, el IoT se aplica en sistemas de monitoreo de consumo, calidad de la energía, así como en la gestión de activos. Los dispositivos inteligentes permiten la recolección de información sobre parámetros eléctricos como voltaje, corriente, potencia activa y reactiva, factor de potencia y frecuencia. Estos datos se transmiten en el software o plataformas en la nube que permiten su control para su análisis y visualización, proporcionando una toma de decisiones más ágil y fundamental. (Gubbi, 2013).

4.5.3 Arquitectura de un sistema IoT para auditorías energéticas

Un sistema IoT y su arquitectura para auditorías energéticas, se consolida en varios elementos fundamentales para la medición de los parámetros requeridos y que se deben evaluar todos en capas interconectadas, tales como:

Sensores y analizadores de red: son la percepción del sistema encargados en medir las variables eléctricas críticas.

Transporte y conectividad: son las redes encargadas de enviar datos.

Plataformas de almacenamientos y procesamiento en la nube: tales como el Modbus, MQTT o TCP/IP, que facilitan las transmisiones de datos

Interfaces gráficas de usuario (dashboard): que presentan de manera visual el comportamiento energético y facilitan la identificación de ineficiencias (Al-Fuqaha, 2015).

La Figura 3 representa la arquitectura funcional del Internet de las Cosas (IoT), donde se destacan los componentes esenciales que permiten su operación dentro de un sistema de monitoreo energético moderno. En conjunto, estos elementos describen un ecosistema IoT integral que soporta el monitoreo continuo requerido por la ISO 50002 para auditorías energéticas instrumentadas.



Figura 3 Elementos IoT

Nota. Adaptado de *Desarrollo de un sistema de supervisión de energía basado en IoT para la gestión de operación y mantenimiento de una planta industrial* (p. 10), por Ronal Esteban Sanches y David Israel Baldeón, 2022, <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22753/1/UPS-GT003784.pdf>.

4.5.4 Protocolos de comunicación (MQTT, Modbus, TCP/IP)

Los protocolos de comunicación son esenciales para la interoperabilidad de los dispositivos en un entorno IoT, que realizan el conjunto de reglas y procedimientos estandarizados que definen como los dispositivos informáticos intercambian datos en la red.

MQTT es el protocolo ligero basado en la publicación-suscripción, ideal para entornos industriales con redes de baja latencia

MODBUS constituye un estándar ampliamente utilizado en la integración de equipos de medición y control

TCP/IP como base de internet, asegura la conectividad y escalabilidad de los sistemas.

4.6 Uso eficiente de la energía (URE)

Es todo lo que está enfocado en la acción de obtener el máximo rendimiento de la energía con el menor consumo posible, optimizando su uso para no sacrificar la calidad de vida de los procesos, el confort de los usuarios, la productividad, es la estrategia clave para reducir costos, aumentar productividad y contribuir a la mitigación del cambio climático (International Energy Agency, 2020).

Según la agencia internacional de energía (IEA), más del 30% del consumo energético industrial puede reducirse con medidas de eficiencia energética de bajo costo. (International Energy Agency, 2020)

4.6.1. Estrategias comunes de URE

Las estrategias de eficiencia energética que abarcan los diferentes frentes de intervención en las auditorías energéticas son:

Iluminación sustitución de sistemas convencionales por tecnología LED y uso de controles automáticos

Motores eléctricos incorporación de variadores de velocidad, mantenimiento preventivo y reemplazo de motores de alta eficiencia.

Automatización implementación de sistemas de control inteligente que optimizan el consumo en tiempo real. (Capehart B. T., 2020).

En la figura 4, se ilustra la integración de los elementos importantes que se miden mediante una automatización en la empresa, donde se miden los equipos eléctricos y poder saber su consumo promedio.



Figura 4 *Uso Eficiente de la Energía*

Nota Diseño Propio.

Toda propuesta de mejora debe ser evaluada económicamente, esto implica calcular el ahorro en kWh, la reducción de costos y el tiempo de retorno de la inversión frente a los beneficios proyectados en ahorro energético.

El método VAN y TIR (Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno), se utiliza para evaluar propuestas con criterios financieros sólidos. (Brown, 2011)

4.6.2. Regulación nacional sobre eficiencia energética (Colombia: ley 697/2001, PROURE)

La ley 697 de 2001, establece el marco regulatorio para el uso racional y eficiente de la energía, definiéndolo como un asunto de interés social, público y nacional. Posteriormente, el programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía fue creado para establecer meta de ahorro y eficiencia en sectores prioritarios como la industria y el transporte (Energéticas, 2019).

4.6.3. Impactos técnicos y económicos de la URE

Las implementaciones de medidas URE producen beneficios que se puedan clasificar en:

Técnicos: reducción de pérdidas eléctricas, prolongando la vida útil de equipos y mejorando el factor de potencia

Económicos: disminución en el costo de la factura energética, reducción de penalizaciones y mayor competitividad en el mercado.

Ambientales: disminución de emisión de CO_2 y aportes a las metas de mitigación del cambio climático (UPME M. , 2019).

4.7 Evaluación económica y ambiental de medidas Energéticas

Estas consisten en un análisis integral de los costos y beneficios, tanto financieros como ambientales, que resultan de la implementación de proyectos o políticas energéticas.

Focaliza las medidas de manejo ambiental según la acumulación de impactos en el Área de influencia del proyecto, cuantificando los impactos en la reducción de emisiones de CO_2 (ambientales, 2021).

La figura 5 representa el concepto de eficiencia energética sostenible, destacando la integración de diversas fuentes renovables como la solar, eólica y bioenergía en un sistema energético más limpio y responsable. El uso de la energía eficiente se simboliza mediante la bombilla central, la cual refleja la necesidad de adoptar tecnologías, prácticas y políticas que reduzcan el consumo y minimicen los impactos ambientales.



Figura 5 Rentabilidad Verde

Nota. Adaptado de *Rentabilidad verde: Descubre el poder económico de la eficiencia energética*, por Impulso_06 Formación y Futuro, 2023, <https://impulso06.com/rentabilidad-verde-descubre-el-poder-economico-de-la-eficiencia-energetica/>. Todos los derechos reservados.

4.7.1. Métodos de evaluación económica (VAN, TIR, Payback)

La viabilidad de las medidas de eficiencia energética debe analizarse desde una perspectiva económica. Entre las metodologías más utilizadas se encuentran:

Valor actual neto (VAN): permite determinar si el flujo de caja descontado de un proyecto es positivo, lo que indica rentabilidad.

Tasa Interna de Retorno (TIR): refleja la rentabilidad porcentual esperada del proyecto en comparación con el costo del capital.

Periodo de Retorno de la inversión (Payback): se calcula el tiempo requerido para recuperar la inversión inicial.

4.7.2. Cálculo de ahorro energéticos en kWh/año

El ahorro energético constituye la base de la evaluación de una medida. Generalmente se expresa en términos de kWh/AÑO evitados respecto a la línea base de consumo. Dicho cálculo permite traducir el impacto técnico en beneficios económicos, ya que cada kWh no consumido representa una reducción en el costo de la factura eléctrica. (Capehart B. T., 2020)

4.7.3. Beneficios ambientales de la eficiencia energética

Más allá de los beneficios económicos, la eficiencia energética favorece la disminución de la presión sobre los recursos naturales, la reducción de contaminantes locales y la mejora de la sostenibilidad empresarial. La Agencia Internacional de Energía (IEA, 2021) destaca que las medidas de eficiencia energética implementadas en sectores industriales han contribuido a evitar más de 1.5 gigatoneladas de emisiones de CO_2 a nivel mundial durante la última década

4.7.4 Impacto ambiental de las mejoras energéticas.

Las acciones de eficiencia energética reducen la huella de carbono y las emisiones de gases de efecto invernadero. La cuantificación del impacto ambiental en términos de CO_2 evitando, refuerza la sostenibilidad del proyecto.

En Colombia, por cada kWh ahorrado se evita en promedio la emisión de 0.35kg de CO_2 , dependiendo de la matriz energética nacional. (Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, 2022).

En la gráfica plasmada en la figura 6, ilustra el impacto potencial de diferentes medidas de eficiencia energética sobre la reducción de emisiones de CO_2 , evidenciando como cada acción contribuye de manera diferenciada el desempeño ambiental de la organización. La sustitución de

luminarias convencionales por tecnologías LED permiten evitar aproximadamente 60 kg de CO_2 , debido a su menor demanda energética y mayor vida útil. La corrección del factor de potencia representa un ahorro adicional cercano a 100 kg de CO_2 , al disminuir pérdidas por energía reactiva y optimizar el uso de la infraestructura eléctrica. Por su parte, la automatización de motores constituya la medida de mayor impacto, con una reducción aproximada del 182 kg de CO_2 . Estas acciones demuestran como en conjunto de buenas prácticas técnicas pueden traducirse en mejoras significativas tanto ambientales como operativas.

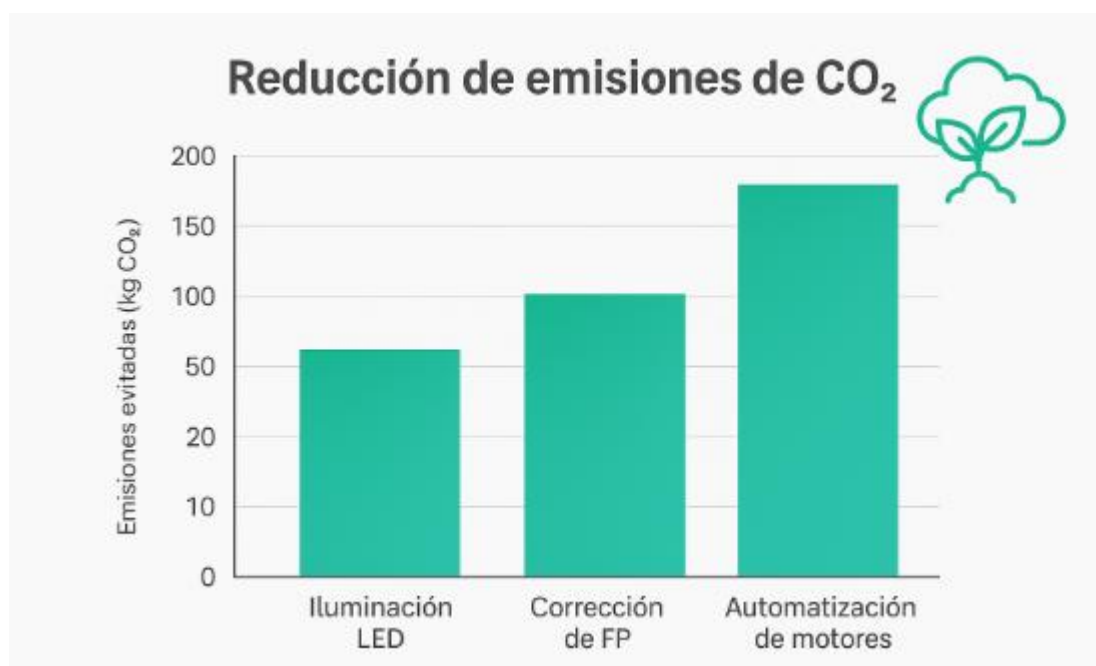


Figura 6 Impacto ambiental

Nota. Diseño Propio.

5. Metodología

5.1 Tipo de proyecto

El presente trabajo de grado se clasifica como un proyecto de desarrollo experimental, dado que se orienta al diseño e implementación conceptual de un modelo técnico-metodológico aplicable al diagnóstico energético de la empresa Electroservimos que presta servicios en el sector eléctrico.

Este proyecto se basa en la adecuación de normas o marcos teóricos basados en las normas internacionales ISO 50002 y la ISO 50001 para una elaboración tangible de los lineamientos técnicos y metodológicos que permitan estructurar un proceso de evaluación del desempeño energético apoyado en tecnologías IoT.

Se busca generar la aplicación de conocimientos técnicos, mediante la adaptación y validación normativa, ofreciendo una solución ingenierilmente práctica a un contexto empresarial.

5.2 Método

El desarrollo del proyecto se realizará mediante un cronograma de actividades estructuradas a partir de los objetivos específicos definidos.

Para el análisis de las condiciones actuales del sistema eléctrico, se llevará a cabo la recolección y análisis de la información documental y técnica recolectada en la empresa Electroservimos, sobre la infraestructura eléctrica de la empresa, incluyendo planos, aforos de carga, históricos de facturación energética y registros históricos de la operación. Con base a esta información se elaborará un diagnóstico inicial que permita establecer una línea base del desempeño energético.

En la identificación de las brechas técnicas de la empresa Electroservimos, se procederá inicialmente en la identificación técnica y de gestión existentes frente a los lineamientos de la norma ISO 50002. Esto implica comparar las situaciones actuales de la empresa con los requisitos normativos aplicables, analizando variables como monitoreo, mantenimiento, control de consumo, factor de potencia, eficiencia de equipos y procedimientos de gestión.

Para el diseño del proceso técnico y metodológico, donde se evaluará el desempeño energético, se definirá en esta etapa los componentes del modelo, fases del proceso, indicadores, recursos y herramientas de monitoreo basadas en tecnologías IoT. Finalmente, se presentará la propuesta estructurada de lineamientos técnicos que sirva como guía para la futura implementación de un sistema de gestión energética conforme a las normas internacional ISO 50001

5.3 Instrumentos de recolección de información.

5.3.1. Fuentes primarias. Estarán constituidas por la información obtenida directamente de la empresa Electroservimos, incluyendo entrevistas o reuniones con el personal técnico, observaciones de campo, visitas exploratorias y recopilación de datos propios de la infraestructura eléctrica (inventario de equipos, cargas conectadas, horarios de operación y registros de consumo). También se considerará la información procedente de dispositivos de medición o monitoreo existentes, si los hubiera.

5.3.2. Fuentes secundarias. Comprenderán la información documental y bibliográfica de respaldo, tales como normas técnicas internacionales (ISO 50001 e ISO 50002), manuales de fabricantes de equipos eléctricos, guías metodológicas de auditorías energéticas (UPME, MINIENERGÍA), artículos científicos, tesis, y publicaciones académicas relacionadas con eficiencia energética e integración de tecnologías IoT en sistemas eléctricos.

6. Resultados

Los resultados esperados del proyecto están enfocados a la obtención de un diagnóstico técnico integral del sistema eléctrico de la empresa Electroservimos, que permitirá caracterizar su desempeño energético, cuantificar los principales indicadores eléctricos y establecer una línea base de referencia para futuras acciones de optimización.

Se generará un informe comparativo estructurado en el que se identifiquen y analicen las brechas técnicas y de gestión existentes en relación con los requisitos de la norma ISO 50002, determinando las principales oportunidades de mejora que orienten la planificación energética de la empresa.

Se desarrollará una propuesta metodológica formal que contenga los lineamientos técnicos y procedimentales para la evaluación del desempeño energético, integrando herramientas IoT para el monitoreo de variables eléctricas y estableciendo las bases para la implementación futura de un sistema de gestión energético conforme a la norma ISO 50001.

Tabla 5 *Protocolo de ingreso*

Empresa	Electroservimos
Fecha de visita	12/08/2025
Equipo responsable	Cristian Camilo Alvarez Hurtado Daniel Esteban Herrera Padilla Deiber Alfonso Jiménez Yons
Representante de la empresa	Manuel Pemberty

Nota. Adaptado del documento guía asesores de trabajo

Para el análisis de las condiciones actuales del sistema eléctrico, se llevará a cabo la recolección y análisis de la información documental y técnica disponible en la empresa Electroservimos. Para tal fin se propone el siguiente protocolo para las visitas.

El objetivo de la visita se relaciona con el propósito presentar a la empresa Electroservimos el alcance y metodología de diseño de lineamientos técnicos para mejorar la eficiencia energética, recopilar información preliminar de las instalaciones eléctricas y establecer acuerdos logísticos y técnicos que permitan planificar las siguientes fases del proyecto.

Tabla 6 *Fases del Protocolo*

Fase	Actividad	Descripción	Resultado
Preparación	Contactar al responsable designado por la empresa	Jefe de mantenimiento Manuel Pemberty	Confirmación oficial de la visita y compromiso de participación por parte de la empresa.
Preparación	Definir el alcance de la auditoría	Acuerdo entre equipo asesor y la empresa	Documento con el alcance validado y firmado por ambas partes.
Preparación	Solicitar documentación inicial	Facturas de energía, planos eléctricos, inventario de equipos, aforo eléctrico	Carpeta de información base para análisis preliminar.
Recolección documental	Revisar facturas de energía eléctrica	Analizar consumos históricos y desviaciones de consumo	Identificación de patrones de consumo y posibles ineficiencias.
Recolección documental	Obtener planos eléctricos	Planos unifilares y distribución de cargas	Comprensión del esquema eléctrico general de la empresa.
Recolección documental	Inventario de equipos principales	Motores, compresores, iluminación, climatización	Base de datos de equipos con sus respectivas potencias y tiempos de operación.

Fase	Actividad	Descripción	Resultado
Recorrido en planta	Identificar grandes consumidores	Iluminación, motores.	Identificación de puntos críticos de consumo.
Recorrido en planta	Observar hábitos y prácticas	Uso de equipos fuera de horario, ventilación, climatización.	Registro de prácticas ineficientes o mejoras potenciales.
Recorrido en planta	Tomar notas y fotografías	Con autorización de la empresa	Reporte fotográfico y registro técnico de observaciones.
Mediciones preliminares	Medir corriente, voltaje y factor de potencia	Diagnóstico rápido con pinza amperimétrica o analizador portátil	Valores reales de las variables eléctricas principales.
Mediciones preliminares	Medir niveles de iluminación	Áreas representativas de oficinas y planta	Identificación de posibles deficiencias de iluminación o sobreconsumo.
Cierre	Reunión con directivos	Presentar hallazgos preliminares y resolver inquietudes	Validación de observaciones y retroalimentación de la empresa.
Cierre	Elaborar acta de visita	Documento firmado por ambas partes	Documento de cierre con constancia de visita inicial.

Nota. Diseño propio.

La primera visita a la empresa Electroservimos es la primera fase de contacto directo con el entorno operativo, técnico y administrativo de la empresa, cuyo objetivo recopilar información preliminar sobre las condiciones actuales del sistema eléctrico, los hábitos de consumo energético y la infraestructura instalada, con el fin de establecer los insumos necesarios para el desarrollo posterior del diagnóstico técnico.

Durante la fase de preparación, se realiza el contacto con el responsable designado por la empresa, en este caso el jefe de mantenimiento Manuel Pemberty, con quien se definen los alcances, objetivos y compromisos de la actividad. Asimismo, se solicita documentación inicial

relevante, como facturas de energía eléctrica, planos unifilares, inventarios de equipos y registros de aforo eléctrico, con el propósito de disponer de información previa al trabajo de campo.

Tabla 7 *Aforos de carga*

N o.	Equipo / Zona	Cantidad	Potencia unida (W)	Potencia total (W)	Potencia total (kW)	Factor de simultaneidad / demanda (ej.)	Demanda estimada (kW)	Horas uso/día (h)	Energía estimada (kWh/día)	Promedio mes
1	Aire acondicionado Split 1.5 TR (estimado)	3	1500	4500	4,5	0,95	4,275	8	34,2	2448,36
2	Aire acondicionado Split 2.5 TR (estimado)	1	2500	2500	2,5	0,95	2,375	8	19	
3	Iluminación LED (18 W por luminaria)	40	18	720	0,72	0,90	0,648	12	7,776	
4	Equipos de cómputo (PC + monitor)	10	300	3000	3,0	0,60	1,8	8	14,4	
5	Impresora / periféricos	1	500	500	0,5	0,30	0,15	2	0,3	
6	Mostrador / estantería con iluminación (grecas)	5	50	250	0,25	0,80	0,2	12	2,4	
7	Ventiladores / extractores	2	120	240	0,24	0,80	0,192	8	1,536	
8	Cargas diversas / tomas (herramientas, carga ocasional)	1	1000	1000	1	0,50	0,5	4	2	
Totales				12710	12,7	—	10,14	—	81,612	

Nota. Diseño propio

En la fase de recolección documental, el equipo asesor analiza las facturas de energía para identificar comportamientos del consumo, variación estacionales y posibles desviaciones

que indiquen ineficiencias. De igual forma, se revisan los planos eléctricos para comprender la distribución de cargas y los circuitos principales, complementando esta información con el inventario de equipos con mayor consumo energético, tales como motores, sistema de iluminación, compresores y equipos de climatización.

La fase de mediciones preliminares incluye la toma de valores básico de corriente, voltaje y factor de potencia mediante instrumentos portátiles (pinzas amperimétricas o analizadores de eléctricos), así como la medición de niveles de iluminación en zonas representativas de planta y oficinas, permitiendo un diagnóstico rápido a la situación energética actual.

Finalmente, la fase de cierre, se realiza una reunión de socialización con los directivos de la empresa para presentar los hallazgos preliminares y aclarar inquietudes. Se deja constancia de la jornada mediante un acta de visita firmada por ambas partes, que respaldan formalmente la actividad y consolida los primeros resultados del proceso.

A partir de la información entregada se presentan los aforos de carga, históricos de facturación energética y registros históricos de la operación.

Con base a esta información se elaborará un diagnóstico inicial que permita establecer una línea base del desempeño energético.

En el diagnóstico general del sistema eléctrico del local comercial Electroservimos cuenta con una infraestructura eléctrica monofásica de baja tensión, adecuada para suministrar energía a equipos de climatización, iluminación, cómputo y pequeñas cargas de apoyo utilizadas en las operaciones diarias. La instalación presenta una distribución convencional mediante circuitos derivados que alimentan las diferentes zonas del establecimiento, incluyendo área administrativa, zonas de atención al cliente y área de almacenamiento de productos eléctricos.

Durante la inspección y levantamiento de información, se verifico que el local dispone de aires acondicionados tipo Split, sistemas de iluminación led, equipos de oficina como (computadores, impresoras) mostradores iluminados y cargas diversas conectadas a tomas de servicio. En general, la infraestructura eléctrica se encuentra en condiciones operativas, aunque no dispone de un sistema de monitoreo o medición en tiempo real, lo que limita la capacidad de control y gestión energética.

Para la identificación de cargas principales que están instaladas en la infraestructura, la participación en el consumo con base al aforo energético realizado, se estimó una demanda total de 12.7 kW y un consumo diario de 81.6 kWh/día, considerando los factores simultáneos y diferentes horarios que se manejan en la empresa Electroservimos, las horas pico de operación y cierres dominicales.

La distribución del consumo energético indica que los aires acondicionados representan el mayor porcentaje del uso total, con una participación aproximada del 66 % del consumo diario de lunes a viernes en un horario de 7 a.m. a 5 p.m. y los sábados de 8 a.m. a 2 p.m. (53.2kWh/día), seguidos por los equipos de cómputo (16%), la iluminación led del (10%) y el resto de las cargas con el (11%).

Esta concentración del consumo en los equipos de climatización evidencia la necesidad de implementar estrategias de control térmico, mantenimiento preventivo de los equipos y uso racional de la refrigeración, especialmente durante las horas de menos ocupación del establecimiento.

El comportamiento de carga durante la jornada laboral refleja un perfil energético con picos de demanda entre las 10 a.m. y las 3 p.m., coincidiendo con el uso continuo de los aires acondicionados y plena actividad comercial. Durante las primeras horas del día (8 a.m. – 9 a.m.)

el consumo se mantiene bajo, incrementado de forma sostenida hasta alcanzar su punto máximo al medio día, posteriormente, se observa una reducción gradual hacia el cierre de la jornada.

Este patrón sugiere que la demanda energética está directamente asociada a las condiciones térmicas del ambiente y a la ocupación del local, lo cual abre la posibilidad de implementar controles automáticos o programaciones horarias para optimizar el uso de implementar controles de automatización que puedan estar monitoreando la temperatura y así poder tener una programación horaria para optimizar el uso de los equipos de climatización y poder reducir el consumo fuera de los horarios críticos.

En las condiciones operativas evidenciadas durante la visita y la recopilación de datos, se observa algunos hábitos de operación que impactan el desempeño energético, entre ellos:

Uso continuo de los aires acondicionados incluso en periodos de baja ocupación

Ausencia de controles programables o termostatos inteligentes

Iluminación encendida durante todo el horario de operación, sin segmentación por zonas

Equipos de cómputo y periféricos conectados permanentemente, sin uso de regletas con apagado controlado.

Igualmente, se verificó que no existen registros históricos detallados de consumo por tipo de carga, lo que dificulta el análisis comparativo o la implementación de indicadores de desempeño energético (EnPI) definidos en la norma ISO 50001.

El análisis del aforo y las observaciones en sitio permiten concluir que el sistema eléctrico del local comercial presenta condiciones adecuadas de operación, pero con oportunidad de mejora significativas en la gestión y uso eficiente de la energía.

Las principales áreas que se encuentran afectadas y que requieren de una intervención son:

Implementación de estrategias de control de climatización mediante programación horaria de sensores IoT.

Instalación de equipos de medición y registro en tiempo real para obtener datos de voltaje, corriente y factor de potencia.

Sensibilización del personal sobre buenas prácticas de uso energético y mantenimiento preventivo.

Esto constituye la base técnica del diagnóstico energético y servirán como insumo principal para el diseño de los lineamientos técnicos orientados a la mejora del desempeño energético de la empresa Electroservimos conforme a los requisitos de las normas ISO 50002 (auditorías energéticas) e ISO 50001 (gestión de la energía).

En la identificación de las brechas técnicas de la empresa Electroservimos, se procederá inicialmente en la identificación técnica y de gestión existentes frente a los lineamientos de la norma ISO 50002.

La norma ISO 50002:2014 establece los requisitos y principios para la realización de auditorías energéticas efectivas, orientadas a identificar oportunidades de mejora en el desempeño energético y apoyar la implementación de sistema de gestión bajo la ISO 50001.

El proceso de auditoría se sustenta en una evaluación sistemática del uso., consumo y desempeño energético de la organización, apoyándose en indicadores cuantificables y en la verificación de los procesos de gestión y control energético existentes.

En el caso de la empresa Electroservimos, la revisión se centra en la infraestructura eléctrica operativa y en la ausencia de herramientas de monitoreo y control energético, lo que permite identificar las brechas existentes frente los lineamientos de la norma.

Los indicadores claves de desempeño energéticos (EnPI) según ISO 50002, establecen que, durante una auditoría energética, deben definirse y calcularse los (EnPI) representativos del consumo y eficiencia de la organización.

A continuación, en la Tabla 7, se listan los más relevantes aplicables a la empresa Electroservimos:

Tabla 8 *Aforo Eléctrico Empresa Electroservimos*

Indicador (ISO 50002)	Símbolo/Unidad	Finalidad técnica	Situación		Acción
			actual en Electroservimos	Brecha técnica identificada	técnica recomendada
Consumo energético total (E_t)	kWh/mes	Determinar la línea base del consumo total	Solo dispone de datos de facturación mensual	Ausencia de medición continua o desagregada	Instalar medidores IoT que registren consumo por circuito
		Evaluar picos de demanda eléctrica	No cuenta con analizadores de red ni registro horario	Desconocimiento de picos de carga y sobredimensionamiento	Implementar registros de demanda y análisis de curva de carga

Indicador (ISO 50002)	Símbolo/Unidad	Finalidad técnica	Situación		Acción
			actual en Electroservicios	Brecha técnica identificada	técnica recomendada
Factor de potencia (FP)	Adimensional	Identificar eficiencia del uso de energía reactiva	No se realiza monitoreo ni corrección del FP	Posible penalización por energía reactiva y pérdidas.	Incorporar analizadores de red y bancos de capacitores automáticos
Intensidad energética	kWh/m ² ·año	Evaluar eficiencia por superficie	No existe información de consumo por área	Falta de control sobre eficiencia espacial	Determinar IE usando datos IoT y planos del local
Consumo específico por equipo (C_eq)	kWh/equipo	Analizar eficiencia de equipos principales	No hay registros individuales de consumo	Desconocimiento de rendimientos por carga	Medir potencia y consumo por tipo de equipos (climatización, ón,

Indicador (ISO 50002)	Símbolo/Unidad	Finalidad técnica	Situación		Acción
			actual en Electroservicios	Brecha técnica identificada	técnica recomendada
Índice de carga (IC)	Adimensionada	Determinar uniformidad del uso energético	No se analiza la relación entre consumo y demanda	Falta de perfil carga y curvas de operación.	iluminación, n, cómputo) Generar curvas de carga mediante monitoreo IoT
		Estimar uso real de potencia instalada	No existen registros de funcionamiento continuo	No se conoce aprovechamiento real de potencia disponible	Incorporar sensores horarios o registros automáticos
Horas equivalentes de funcionamiento (H_{ef})	H				
Eficiencia del sistema de iluminación	Im/W	Medir desempeño lumínico vs.	Iluminación LED general sin mediciones	Falta de evaluación del rendimiento por zona.	Realizar medición en áreas

Indicador (ISO 50002)	Símbolo/Unidad	Finalidad técnica	Situación		Acción
			actual en Electrosermos	Brecha técnica identificada	técnica recomienda
Eficiencia térmica del sistema de climatización.	COP (W/W)	Consumo eléctrico	de nivel lumínico		representativas
		Analizar eficiencia energética de aires acondicionados	No se verifica el COP real ni las horas de uso efectivo	Posible sobredimensionamiento y bajo COP operativo	Implementar medición de potencia y temperatura de descarga.

Nota. Elaboración propia con base en ISO 50002:2014.

El análisis corporativo frente a los lineamientos de la ISO 50002 permite concluir que la empresa Electrosermos presenta brechas significativas tanto en la medición técnica como en la gestión estratégica del desempeño energético.

Estas deficiencias limitan la posibilidad de establecer una línea base confiable, definir indicadores de eficiencia y aplicar procesos de mejora continua requeridos por la ISO 50001.

La identificación de estas brechas constituye el punto de partida para diseño de los lineamientos técnicos del proyecto, orientados a implementar un sistema de evaluación energética apoyado en tecnologías IoT, que permita registrar, analizar y optimizar el consumo eléctrico en tiempo real.

Se definirá en esta etapa los componentes del modelo, fases del proceso, indicadores, recursos y herramientas de monitoreo basadas en tecnologías IoT.

Para tal fin se deben instalar los medidores remotos en la empresa ElectroServimos.

Este protocolo describe de manera estructurada las fases operativas para la instalación de medidores inteligentes en la empresa ElectroServimos, integrando buenas prácticas de seguridad eléctrica, conectividad IoT y validación técnica.

El cumplimiento de estas etapas garantiza la confiabilidad de los datos energéticos, asegurando la trazabilidad requerida por la norma ISO 50002 para auditorías energéticas con medición instrumentada.

Tabla 9 *Protocolo de Instalación medidor IoT en la empresa ElectroServimos*

Actividad	Descripción técnica del procedimiento	Resultado esperado
Verificación inicial	Se inspecciona el medidor IoT y sus accesorios para confirmar su estado físico, integridad del empaque y disponibilidad de elementos necesarios (manual, tornillería, conectores, y sensores de corriente). Se verifica que se disponga de herramientas aisladas y	Equipo y accesorios completos y en condiciones adecuadas para su instalación

Actividad	Descripción técnica del procedimiento	Resultado esperado
<p data-bbox="224 793 573 825">Condiciones de seguridad</p> <p data-bbox="215 1486 573 1518">Instalación física del equipo</p>	<p data-bbox="654 359 963 464">elementos de protección personal (EPP)</p> <p data-bbox="654 506 963 758">Se desenergiza el tablero donde se realizará la conexión del medidor, verificando la ausencia de tensión mediante multímetro.</p> <p data-bbox="621 873 995 1125">Se señala la zona de trabajo y se asegura el uso de EPP: guantes dieléctricos, gafas, casco y calzado de seguridad.</p> <p data-bbox="654 1167 963 1272">Se fija el medidor en el tablero o superficie designada, se conectan las entradas de medición de acuerdo con el esquema eléctrico (fases L1, L2, L3 y neutro), utilizando conductores del calibre adecuado. Se instalan los transformadores de corriente</p>	<p data-bbox="1068 642 1385 758">Área de trabajo segura y condiciones eléctricas controladas para intervención teniendo en cuenta las reglas de oro para el electricista.</p> <p data-bbox="1044 1346 1401 1671">Medidor instalado firmemente, con conexiones seguras y sensores de corriente correctamente direccionados</p>

Actividad	Descripción técnica del procedimiento	Resultado esperado
Encendido y prueba eléctrica	<p>(TCs) asegurando la correcta orientación</p> <p>Se energiza el tablero y se verifica el encendido del medidor. Se comprueba la lectura de parámetros eléctricos básicos (voltaje, corriente, potencia activa y reactiva) y la ausencia de alarmas o fallas iniciales</p> <p>Se activa el Bluetooth móvil y se empareja con el medidor mediante la aplicación oficial.</p>	<p>Medidor operativo, registrando variables correctamente y sin fallas de instalación</p>
Configuración de red vía Bluetooth	<p>Se configuran las credenciales de la red Wi-Fi (SSID y contraseña) para habilitar la transmisión de datos al servicio IoT mediante protocolo MQTT</p>	<p>Conexión establecida correctamente y comunicación con la plataforma IoT verificada.</p>
Documentación técnica	<p>Se confirma la recepción de datos en el tablero de control</p>	<p>Datos visibles en el dashboard; configuración</p>

Actividad	Descripción técnica del procedimiento	Resultado esperado
Documentación técnica	<p>o aplicación móvil, verificando la actualización en tiempo real de los parámetros eléctricos. Se realiza un ciclo de apagado y encendido para comprobar la persistencia de la configuración.</p> <p>Se registra la fecha, ubicación exacta, número de serie del medidor y observación del procedimiento. Se anexa evidencia fotográfica y se reportan posibles anomalías encontradas</p>	<p>validada y almacenamiento correcto de la información</p> <p>Informe técnico de instalación completado y firmado por el responsable de proyecto.</p>

Nota. Diseño propio.

El protocolo de instalación va acompañado del siguiente diagrama de interconexión del tablero de medición.

La figura 8 representa la conexión de un medidor trifásico indirecto con transformadores de corriente (TCs), típico sistema de monitoreo energético tipo IoT en redes trifásicas con neutro (3F + N + G).

Este esquema se ajusta para la medición en línea de los parámetros eléctricos de la empresa Electroservimos, que opera con cargas trifásicas (aires acondicionados, iluminación y tomas de oficina).

La identificación de los conductores se distribuye así:

- **G:** Tierra (Ground)
- **N:** Neutro
- **R, S, T:** Fase 1, 2 y 3 respectivamente

Estas líneas como se aprecia en la imagen ingresan al tablero de medición y son las mismas que alimentan las cargas del sistema.

Los transformadores de corriente se identifican como los (TCs), los cuales están nombrados como (Ia, Ib, Ic) están correctamente ubicados en cada una de las fases **R, S, y T**. Cada TC tienen su salida conectada al terminal correspondiente en el medidor. Para tener una buena práctica en campo, se debe cuidar la orientación del TC (las flechas del núcleo hacia la derecha) para evitar lecturas de corriente negativa.

Las entradas de tensión al medidor se muestran en el diagrama las conexiones de las fases **R, S, T y N** directamente al bloque de tensión del medidor.

Esto permite medir tensión de fase, línea frecuencia y ángulo de desfase, necesarios para calcular potencia activa, reactiva y aparente, conforme al modelo de medición de la ISO 50002 (evaluación energética).

Cada entrada de corriente (Ia, Ib, Ic) está asociada correctamente con su fase de tensión (R, S, T), evitando desfases eléctricos o errores de lectura. Es fundamental verificar esta correspondencia en la prueba eléctrica inicial (encendido y apagado).

La línea tierra (**G**) está referenciada tanto en el lado de potencia como en medidor, cumpliendo con las exigencias del RETIE y garantizando seguridad y estabilidad de medida.

La compatibilidad con el protocolo IoT, está conexión (3F + N con TCs externos) es compatible con medidores inteligentes de red como él (Eastron SDM630, Peacefair PZEM, Shelly EM, medidor multifuncional PAC3120) que transmiten datos vía Wifi, RS-485, AMP1F o MQTT, tal como se planteó en el proyecto. Y se muestra en la figura 7.

Las conexiones son compatibles con medidores IoT que transmiten información en tiempo real a la plataforma de monitoreo, permitiendo el análisis conforma a los lineamientos de la ISO 50002:2014 para auditorías energéticas instrumentadas.

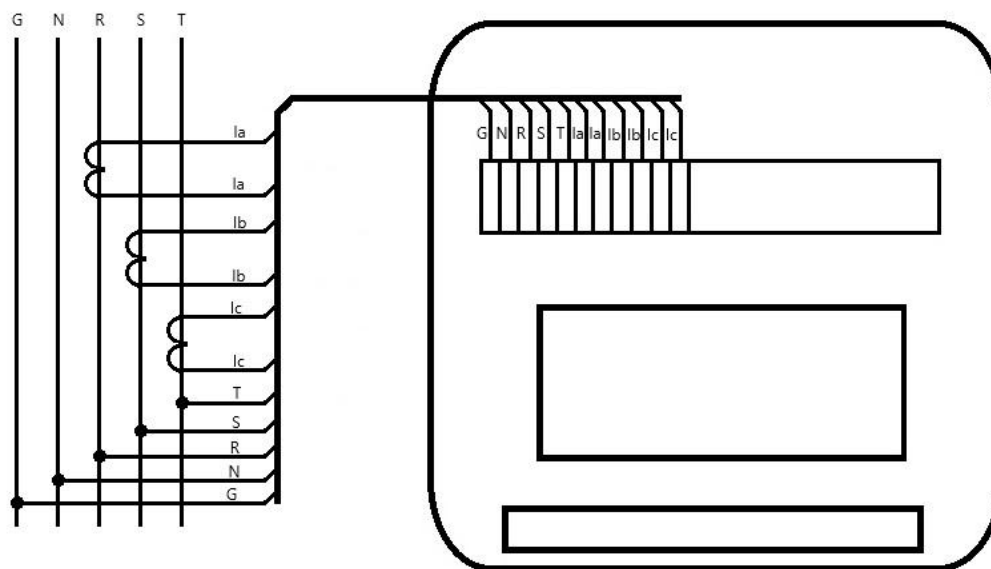


Figura 7 Diagrama de conexión medidor IoT

Nota. Diseño propio

El tablero de medición está conformado por un medidor multifuncional PAC3120 y un autómata programable AMP1F

Los dispositivos conectados a la fuente de energía en la empresa Electroservimos están basados por un dispositivo Power Monitoring Device versión PAC3120, medidor multifuncional el cual realiza el análisis de la red eléctrica trifásica de la empresa, como características relevantes del medidor multifuncional.

Tabla 10 *Ficha técnica medidor multifuncional PAC3120*

Parámetros técnicos	Descripción
Equipo	Medidor multifuncional de energía trifásico Siemens PAC3120
Fabricante	Siemens AG
Tipo de red	Trifásica con neutro ($3 \times 230/400$ V AC, 50/60 Hz)
Rango de tensión de medición	45 V – 690 V (fase-fase)
Rango de corriente de medición	1 A / 5 A (mediante transformadores de corriente externos)
Variables medidas	Voltaje, corriente, potencia activa, reactiva, aparente, energía, frecuencia, factor de potencia
Precisión	$\pm 0,5$ % para energía activa según IEC 61557-12
Frecuencia nominal	45 – 65 Hz
Interfaz de comunicación	RS-485 con protocolo Modbus RTU
Alimentación auxiliar	100 – 250 V AC/DC
Montaje	En riel DIN (ancho 96 mm)

Parámetros técnicos	Descripción
Normativas aplicables	IEC 61557-12 / IEC 62053 / ISO 50002 (evaluaciones energéticas)
Aplicación en el proyecto	Registro continuo de variables eléctricas (V, I, P, Q, S, FP, f) para construir la línea base energética y los indicadores EnPI en Electroservicios.

Nota. Diseño propio adaptado de *Manual del producto SENTRON PAC3120* (pp. 95–106), por SIEMENS, 2019, https://cache.industry.siemens.com/dl/files/307/109767307/att_1003966/v1/MAN_L1V30519172D-01_es_es-MX.pdf.



Figura 8 Analizador de Energía SIEMENS PAC3120

Nota. Adaptado de *Manual del producto SENTRON PAC3120*, por SIEMENS, 2019, https://cache.industry.siemens.com/dl/files/307/109767307/att_1003966/v1/MAN_L1V30519172D-01_es_es-MX.pdf.

El **AMP1-F** es el módulo para el desarrollo de aplicaciones de IoT y control que utiliza el microcontrolador ESP32-S3-WROOM-U1-N4, con capacidades de comunicación Wifi y BLUE,

múltiples interfaces (GPIO, UART, I2C, etc.), salidas opto-aisladas, y una interfaz USB para programación. Es una plataforma versátil diseñada para conectar y controlar diversos dispositivos, como sensores, HMIs y otros equipos industriales.

Tabla 11 *Ficha técnica autómata programable AMP1-F*

Parámetro técnico	Descripción
Equipo	Autómata programable (PLC) modelo AMP1-F
Fabricante	Tecvolución SAS
Tensión de alimentación	12 – 24 V DC
Entradas universales	12 entradas configurables (digitales o analógicas 0–10 V)
Salidas	8 salidas tipo relé (5 A máx.)
Comunicación	RS-485 (protocolo Modbus RTU)
Programación	Software AMPSoft F (bloques lógicos y temporizadores)
Funciones principales	Automatización de cargas, control horario, generación de alarmas y comunicación con sistemas de medición (PAC3120)
Compatibilidad	Total, integración con medidores Siemens PAC3120 y plataformas SCADA vía Modbus
Aplicación en el proyecto	Control de cargas eléctricas, gestión de iluminación y climatización, respuesta automática ante alarmas de potencia o factor de potencia.

Nota. Adaptado de Autómata programable AMP1 (p. 4), por Tecvolución, 2023, <https://www.tecvolucion.net/wp1/wp-content/uploads/2023/02/Manual-de-usuario-AMP1-E-8U8Q.pdf>.



Figura 9 Autómata programable AMP1F

Nota. Adaptado de *Autómata programable AMP1*, por Tecvolución, 2023, <https://www.tecvolucion.net/wp1/wp-content/uploads/2023/02/Manual-de-usuario-AMP1-E-8U8Q.pdf>

Para el diseño del proceso técnico y metodológico, donde se evaluará el desempeño energético de la empresa Electroservimos, se evaluó el desempeño durante dos semanas en el tramo final de los datos suministrados por el medidor IoT conectado en un sistema 120/208 V trifásico + TCs, medidor configurado en 3 hilos + neutro + 3P4W, instalado en el tablero principal del área evaluada. El periodo registrado comprendió desde el 30 de septiembre hasta el 24 de octubre del año 2025, con un intervalo de muestreo cercano a los 10 minutos, obteniéndose en total 2907 datos registrados cálidos después de depurar algunos datos atípicos.

En cada muestra se registraron las tensiones de fase (V_A , V_B , V_C), las corrientes de línea (I_A , I_B , I_C), la potencia activa (P_A , P_B , P_C), reactiva (Q_A , Q_B , Q_C), aparente

por fase (S_A, S_B, S_C) y el factor de potencia por fase (FP_A, FP_B, FP_C). A partir de estas variables se calcularon la potencia activa total (P_total), la potencia aparente total (S_total) y el factor de potencia promedio (FP_prom.).

Con el fin de obtener resultados representativos, se excluyeron del análisis algunos registros claramente anómalos, asociados a valores eléctricos físicamente no coherentes como tensiones negativas de gran magnitud. El procesamiento posterior se realizó únicamente sobre los datos que se encuentran dentro de rangos operativos normales.

Tabla 12 *Resumen diario de variables energéticas durante dos semanas.*

Fecha	Bron (V)	Pirón (A)	P_total_Prom. (kW)	P_total_Prom. (kVA)	FP_prom
11/10/2025	123.64	11.81	3.24	4.38	0.74
12/10/2025	123.93	10.18	2.8	3.78	0.74
13/10/2025	124.26	10.14	2.78	3.78	0.74
14/10/2025	123.38	13.22	3.45	4.88	0.71
15/10/2025	122.72	13.63	3.69	5.01	0.74
16/10/2025	122.31	17.17	4.51	6.27	0.74
17/10/2025	123.61	12.42	3.35	4.59	0.73
18/10/2025	123.9	10.98	2.98	4.08	0.73
19/10/2025	124.47	10.22	2.82	3.82	0.74
20/10/2025	123.74	11.32	2.7	4.21	0.63
21/10/2025	121.35	13.88	3.78	5.07	0.74
22/10/2025	126.52	10.35	2.68	3.93	0.67
23/10/2025	121.93	16.03	4.27	5.86	0.72
24/10/2025	123.3	13.2	3.64	4.86	0.74

Nota. Datos obtenidos mediante un medidor IoT instalado en la empresa Electroservimos

Durante el tramo final de los datos almacenados por el medidor IoT, se analizó un periodo continuo de dos semanas, comprendido entre el 11 de octubre y el 24 de octubre del 2025, con el fin de caracterizar la evolución diaria del comportamiento eléctrico de la empresa. Para cada día se calcularon los promedios de potencia activa total (P_total), potencia aparente total (S_total), factor de potencia promedio (FP_prom.) y tensiones de fase (V_A, V_B, V_C).

Los resultados obtenidos permiten identificar tendencias operativas relevantes y variaciones significativas entre días laborales y no laborales.

procesados por el autor. La tabla constituye un insumo para la interpretación del comportamiento energético del sistema eléctrico, conforme a los lineamientos de análisis establecidos en la norma ISO 50002. Los valores corresponden al comportamiento energético diario típico y no incluyen picos ni mínimos.

Se realiza una analítica de los datos obtenidos remotamente para establecer el valor de los diferentes indicadores frente a los lineamientos de la norma ISO 50002.

A partir de estos valores promedios diarios obtenidos mediante el sistema de monitoreo IoT, se realizó un análisis detallado de los principales indicadores energéticos del sistema eléctrico de la empresa Electroservimos, con el fin de evaluar su desempeño frente a los lineamientos establecidos por la norma ISO 50002. Este análisis se efectuó siguiendo las recomendaciones planteadas durante las sesiones de asesoría, priorizando la identificación de brechas técnicas, operativas y de gestión.

La analítica se desarrolló sobre las variables fundamentales registradas por el medidor, tales como tensión promedio, corriente promedio, potencia activa, potencia aparente y factor de potencia, las cuales permiten caracterizar el comportamiento energético de la instalación y su nivel de eficiencia.

El análisis por indicador energético sobre las tensiones promedio varias se mantuvieron estables, durante el periodo analizado se identifican que los valores (entre 121.35 V y 126.52 V) se mantuvieron dentro de rangos adecuados para sistemas de distribución en baja tensión 120/208 V, con un desbalance inferior al 2% sin evidenciar variaciones significativas ni

desbalances severos entre fases, mostrando una buena calidad del suministro eléctrico y ausencia de perturbaciones de tensión significativas.

En la figura 10, podemos interpretar un rango dentro de $\pm 10\%$ e incluso aproximadamente de $\pm 5\%$ permitido por la NTC 5001 para sistemas de baja tensión, sin indicios de caídas críticas ni sobrevoltajes sostenidos.

Criterio ISO 50002 estabilidad del suministro – cumplido parcialmente, aunque debe monitorearse continuamente.



Figura 10 Tensión promedio (V)

Nota. Diseño propio

Para la corriente, graficada en la figura 11 el análisis muestra una marcada diferente entre fases, especialmente con sobrecargas relativa en la fase A, la corriente diaria osciló entre 10.14 A y 17.17 A, observando mayores niveles de los días 16 de octubre con (17.17 A) y el 23 de octubre con (16.03 A). Estos incrementos e asocian a mayor utilización simultánea de cargas como loas aires acondicionados y equipos de oficina. Los valores más bajos se presentan en los

días de menor actividad, particularmente el 12, 1 y 19 de octubre que son los días de cierre del establecimiento y descanso del personal operativo. Este comportamiento confirma que el perfil de carga está directamente ligado a la operación comercial y el uso de equipos de climatización.

Criterio ISO 50002: Identificación de pérdidas evitables y desbalances – brecha técnica identificada.

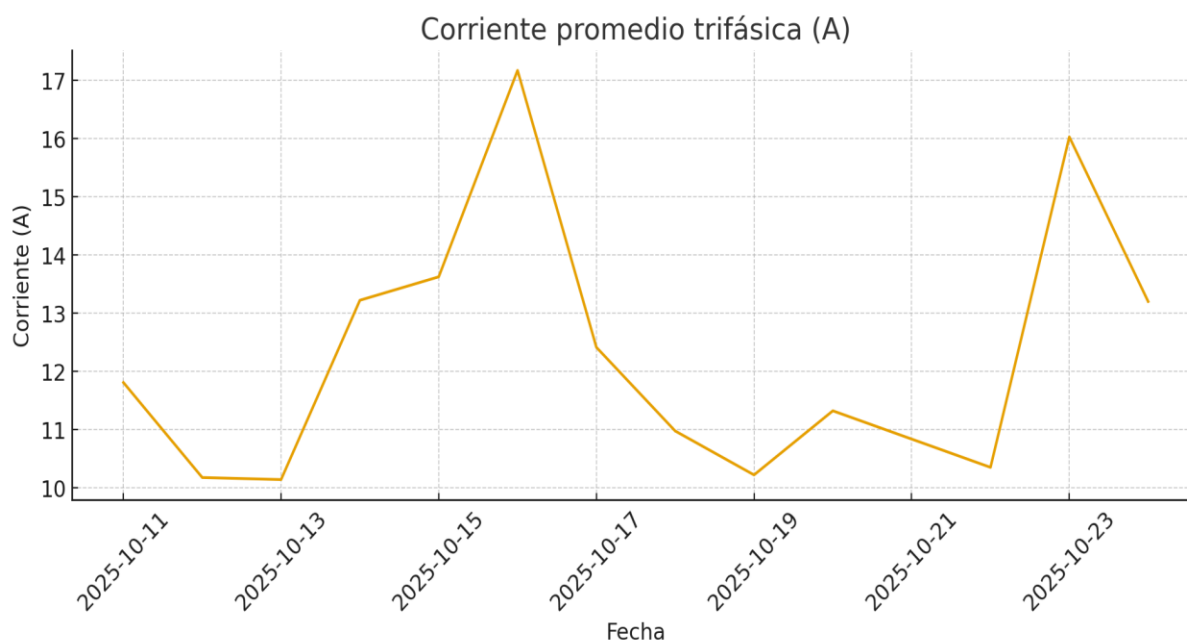


Figura 11 Corriente promedio (A)

Nota. Diseño propio.

En la potencia activa, ilustrado en la figura 12, los valores oscilaron entre 2.68 kW y 4.51 kW, lo que refleja un nivel moderado de demanda base con incrementos operativos según la actividad diaria. Los consumos mas bajos se observan el 20 y 22 de octubre siendo días dominicales donde no se presta atención al cliente ni hay ocupación en dicha instalación, mientras que lo valores mas altos se registraron los días 16, 23 y 24 de octubre, fechas asociadas a mayor uso de equipos eléctricos y mayor ocupación operativa, al igual que las condiciones ambientales que incrementan el uso de climatización

Criterio ISO 50002 caracterización de perfiles de carga – cumplido.

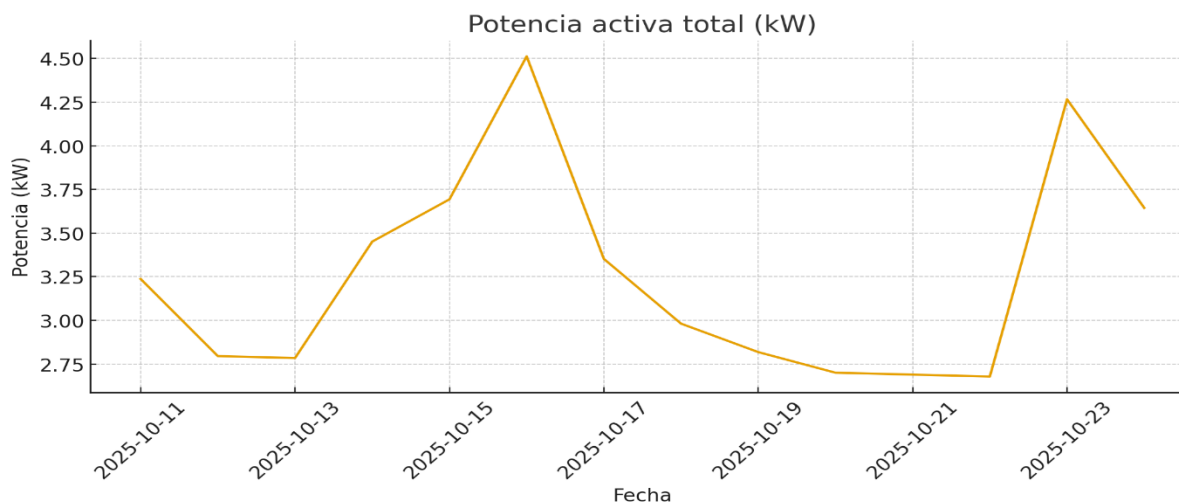


Figura 12 Potencia activa total (kW)

Nota. Diseño propio.

La potencia aparente total, demostrado en la figura 13, presento valores entre 3,78 kVA, y 6,27 kVA, manteniendo relación proporcional con la potencia activa, debido a la presencia de potencia reactiva en el sistema, lo cual confirma que las variaciones del consumo están denominadas por la carga activa de la instalación. Criterio ISO 50002: determinación de pérdidas asociadas a reactivos – brecha identificada.

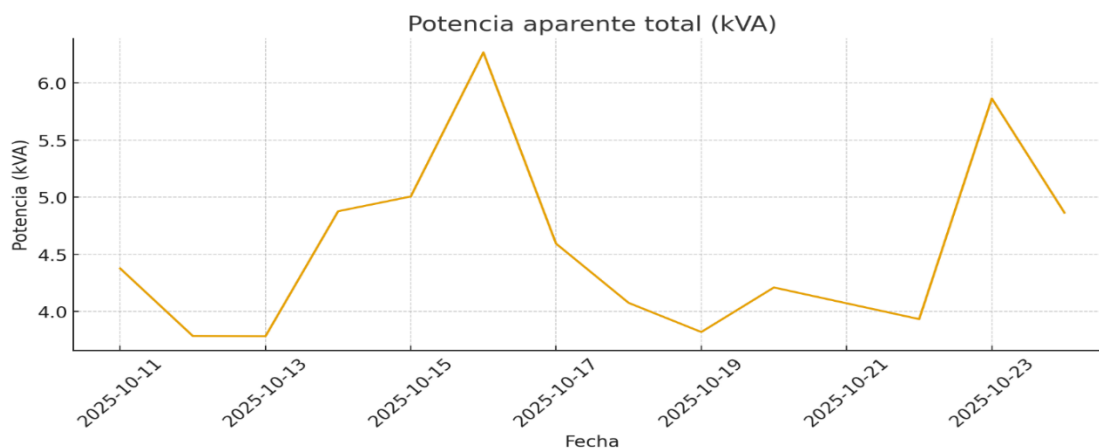


Figura 13 Potencia aparente (kVA)

Nota. Diseño propio.

Factor de potencia, demuestra en la figura 14 valores entre 0.63 y 0.74 confirmando un desempeño energético por debajo de 0.80 y del valor recomendado de 0.90 establecido como referencia en la regulación colombiana, lo cual confirma la presencia de una proporción relevante de energía reactiva en el sistema, siendo esta condición consistente con uso de motores de pequeña potencia, equipos electrónicos con fuentes conmutadas, iluminación no compensada y sistemas de climatización.

Criterio ISO 50002: identificación de oportunidades de mejora energética – brecha crítica.

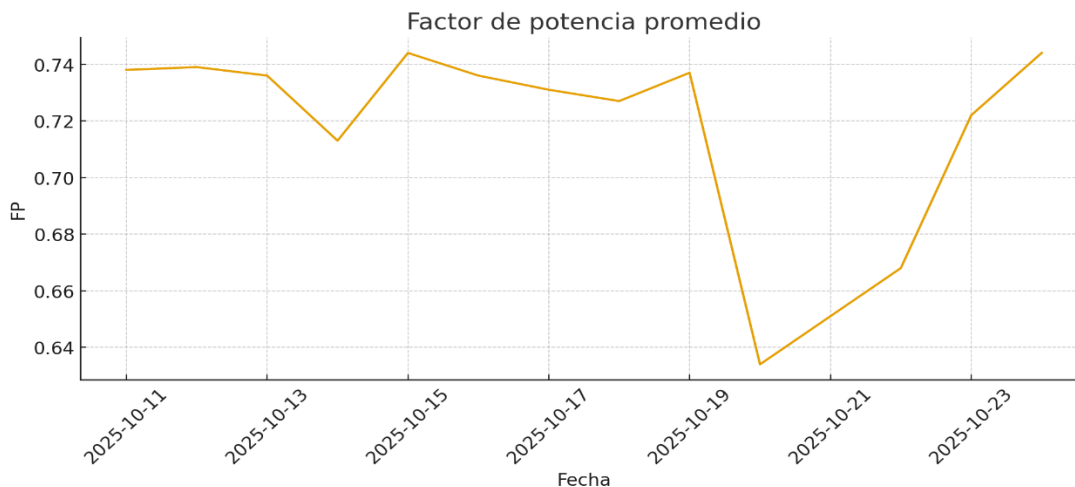


Figura 14 *Factor de potencia (FP)*

Nota. Diseño propio.

En el análisis general se confirma que el sistema presenta estabilidad de tensión, lo que indica buenas condiciones de suministro, al igual se puede interpretar que el desbalance de corriente entre fases, generan pérdidas técnicas innecesarias. El factor de potencia bajo constituye la brecha más relevante frente a los criterios de eficiencia energética.

La relación entre potencia activa y aparente muestra que la empresa demanda más energía de la necesaria para realizar trabajo útil. El perfil de carga presenta patrones consistentes, pero sin embargo de control operativo.

Estos resultados permiten establecer una línea base energética preliminar, requisito fundamental de la ISO 50002, y aportan las evidencias necesarias para formular los lineamientos técnicos y de gestión presentados en capítulos posteriores.

Comparar las situaciones actuales de la empresa con los requisitos normativos aplicables, analizando variables como monitoreo, mantenimiento, control de consumo, factor de potencia, eficiencia de equipos y procedimientos de gestión.

La medición remota permitió obtener información detallada, continua y confiable que antes no existía en la empresa, habilitando la construcción de una línea base energética y el análisis técnico requerido por ISO50002 y el paso de un esquema reactivo y sin control a uno con datos reales para identificar ineficiencias, bajo factor de potencia y oportunidades claras de mejora energética. En la tabla 12 se ilustra las comparaciones de la situación actual de la empresa Electroservimos y los requisitos normativos aplicables (ISO 50002 y ISO 50001).

Tabla 13 *Comparación entre estado actual y requisitos normativos.*

Variable evaluada	Situación actual en Electroservimos	Requisito ISO 50002 / ISO 50001	Brecha identificada
Monitoreo energético	No existe un sistema permanente de monitoreo. Solo lecturas manuales en facturación.	La ISO 50002 exige recopilación sistemática de datos energéticos y mediciones trazables.	Brecha alta. No se realiza seguimiento continuo.
Control de consumo	No se tiene registro horario/día a día. No hay línea base energética.	La norma requiere establecer la línea base y variables energéticas significativas.	Brecha alta. No hay indicadores ni métricas.

Variable evaluada	Situación actual en Electroservimos	Requisito ISO 50002 / ISO 50001	Brecha identificada
Factor de potencia	Valores entre 0.63 y 0.76 según analítica. Puede generar penalizaciones.	Se exige optimizar FP para minimizar pérdidas y evitar sobrecargos.	Brecha media-alta. Requiere corrección reactiva.
Eficiencia de equipos	No hay inventario actualizado ni evaluación del rendimiento.	La auditoría debe identificar equipos ineficientes y su contribución al consumo.	Brecha media. Falta diagnóstico técnico.
Procedimientos de gestión	No existen procedimientos documentados de uso, mantenimiento energética.	La ISO 50001 exige procedimientos formales y trazables.	Brecha alta. Falta estructura documental.
Mantenimiento eléctrico	Mantenimiento correctivo predominante. Sin registros centralizados.	La ISO establece mantenimiento preventivo basado en desempeño.	Brecha media. Se requiere planificación.
Calidad del suministro	No se evalúan perturbaciones, picos, armónicos.	La auditoría debe evaluar calidad del suministro porque afecta consumo.	Brecha media. Se requiere analítica técnica.

Nota. diseño propio.

La comparación que se pudo analizar en la empresa ElectroServimos entre los datos obtenidos con medición remota IoT antes de instalar el medidor remoto, se evidencio que la empresa trabaja con:

Facturas mensuales, sin desglose de los horarios ni cargas.

No tienen medición continua de tensión, corriente, potencia o FP, en tiempo real.

No tienen identificado los equipos de alto consumo.

No se conocían variaciones diarias del comportamiento eléctrico.

No existe la capacidad de medir cargas individuales.

No había registro de fluctuaciones o eventos eléctricos.

La empresa al momento de tomar decisiones lo hacia sin datos, ni registros históricos de los equipos instalados, lo cual genera incertidumbre a la hora de realizar cambios para una mejora.

Al instalar el equipo IoT mas el análisis realizado en el periodo de dos semanas, se obtuvieron variables técnicas registradas

Tensión promedio: 121 – 126 V.

Corriente promedio: 10 - 17 A.

Potencia activa diaria: 2.68 – 4.51 kW.

Potencia Aparente: 3.78 – 6.27 kVA,

Factor de potencia: entre 0.63 – 0.76.

El factor de potencia bajo, lo que no se conocía antes del sistema IoT, esta afectando el consumo y cobro en las facturas lo que puede llegar a penalizaciones en caso de consumir el 50+1 de la activa.

A continuación, se presentan la tabla de brechas técnicas identificadas a partir del diagnóstico energético, seguida de las recomendaciones específicas orientadas a corregirlas.

Tabla 14 *Brechas técnicas identificadas según los datos y requisitos de ISO 50002.*

N.º	Brecha técnica identificada	Descripción técnica	Evidencia en los datos / Normativa relacionada
1	Factor de potencia deficiente	El sistema opera con exceso de potencia reactiva, afectando la eficiencia.	FP diario entre 0.63 y 0.75 , por debajo del mínimo establecido (≥ 0.90 – CREG 038/2014; ISO 50002 exige analizarlo y corregirlo).
2	Ausencia de control de la demanda energética	Se presentan picos de corriente y potencia sin análisis de carga o gestión operativa.	Corrientes hasta 17 A y potencias activas arriba de 4.5 kW en días puntuales.
3	Falta de mantenimiento energético documentado	No existen registros de desempeño de equipos ni historial de intervenciones.	ISO 50002 exige evidencia documental de los sistemas y equipos evaluados.
4	Inexistencia de indicadores energéticos (KPI)	No se calculan indicadores clave para evaluar desempeño.	No hay kWh/mes, kWh/m ² , curva de carga

N.º	Brecha técnica identificada	Descripción técnica	Evidencia en los datos / Normativa relacionada
			base, ni indicador de FP mensual.
5	No existe una política o sistema de gestión energética	La empresa no cuenta con un SGEEn ni procedimientos energéticos.	ISO 50001/50002 requieren estructura documental mínima.
6	Limitado monitoreo de calidad de energía previo a medición IoT	Antes de la instalación del medidor no existía monitoreo continuo.	La empresa no registraba tensiones, corrientes y potencias en tiempo real.
7	Dependencia de cargas con baja eficiencia (iluminación, climatización)	Algunas cargas críticas operan sin controles o con eficiencia desconocida.	Variaciones recurrentes en corriente y potencia indican cargas variables sin gestión.

Nota. Diseño propio.

El estudio detallado de estas variables que se encuentran plasmadas en las tablas 13 y 14 del documento permitieron identificar una serie de brechas técnicas y de gestión energética, que limitan el rendimiento de la empresa Electroservimos y que requieren de una intervención. Tanto las brechas como las oportunidades de mejora derivadas de análisis se resumen en las tablas con un fin de orientar las acciones técnicas y estratégicas necesarias en la empresa para optimizar el

consumo eléctrico y así poder avanzar hacia la implementación de un modelo de gestión energética alineado a las normas internacionales que rigen las auditorías energéticas como la ISO 50002.

Tabla 15 *Recomendaciones técnicas derivadas del análisis normativo y datos.*

N.º	Recomendación técnica	Descripción de la acción propuesta	Beneficio esperado	Norma/criterio relacionado
1	Instalar banco de capacitores	Compensar potencia reactiva para elevar FP a valores entre 0.92–0.95.	Eliminación de penalizaciones, reducción de corriente y demanda aparente.	CREG 038/2014, ISO 50002 sección 5.4.3
2	Implementar un Programa de Gestión Energética (SGEn)	Crear política, responsabilidades, lineamientos y procedimientos energéticos.	Control integral del desempeño energético a largo plazo.	ISO 50001/50002
3	Optimizar la gestión de cargas	Identificar horarios de máxima demanda y reorganizar la operación.	Reducción de picos, mayor eficiencia en horas críticas.	ISO 50002 sección 6 (análisis de uso significativo de energía)
4	Automatizar el monitoreo con IoT	Configurar dashboard con alertas y análisis	Toma de decisiones basada	ISO 50002 sección 6 (recolección de datos)

		continuo (Power BI / Grafana).	en datos reales y en tiempo real.	
5	Implementar mantenimiento energético periódico	Revisar estado de motores, iluminación, aires acondicionados y cableados.	Reducción de pérdidas no técnicas y fallas.	ISO 50002 sección 4.4
6	Establecer y calcular indicadores energéticos (KPI)	Incluir FP mensual, kWh/m ² , carga base, potencia pico, consumo por área.	Mayor control del desempeño energético y su seguimiento.	ISO 50006 e ISO 50002
7	Actualizar y modernizar equipos ineficientes	Sustituir iluminación tradicional por LED, optimizar climatización.	Ahorros directos entre 10–25% en energía.	Buenas prácticas ISO 50002/ASHRAE
8	Capacitar al personal en uso racional de energía (URE)	Formar en hábitos, apagado de equipos y operación eficiente.	Reducción del consumo base.	ISO 50001 cláusula 7.2 (competencia)

Nota. Diseño propio.

7. Conclusiones

El diagnóstico realizado a partir de la información documental, el aforo eléctrico y los datos obtenidos mediante el sistema de monitoreo IoT permitió caracterizar de manera integral el comportamiento energético de la empresa Electroservimos en el área eléctrica. Se estableció una línea base preliminar de variables como tensión, corriente, potencia activa, potencia aparente y factor de potencia, lo que constituye un avance significativo frente a la ausencia inicial de mediciones sistemáticas y registros históricos desagregados.

El análisis de los datos registrados evidenció que, si bien la tensión se mantiene dentro de rangos aceptables para sistemas de baja tensión, el factor de potencia promedio se sitúa entre 0,63 y 0,75, valor inferior al mínimo recomendado por la normatividad vigente. Esta condición confirma la presencia de una proporción relevante de potencia reactiva en el sistema, con implicaciones directas sobre la eficiencia energética, la capacidad disponible de la infraestructura y el riesgo de sobrecostos por penalizaciones en la facturación del servicio de energía.

La comparación entre la situación actual de la empresa y los requisitos establecidos en las normas ISO 50002 e ISO 50001 permitió identificar brechas técnicas y de gestión de alta relevancia. Entre ellas se destacan la ausencia de un sistema de monitoreo energético permanente, la inexistencia de indicadores de desempeño energético (EnPI), la falta de procedimientos formales de gestión de la energía y el predominio de un enfoque reactivo en el mantenimiento eléctrico. Estas brechas dificultan la aplicación de procesos de mejora continua y limitan el aprovechamiento óptimo de los recursos energéticos.

El diseño de los lineamientos técnicos y metodológicos propuestos en este trabajo constituye un marco de referencia estructurado para la evaluación del desempeño energético en Electroservimos. La integración de un medidor multifuncional PAC3120 y de un autómat

programable AMP1-F, articulados mediante protocolos de comunicación industriales, demuestra la viabilidad técnica del uso de tecnologías IoT como soporte para la medición, transmisión y análisis de datos eléctricos en tiempo real.

Las recomendaciones formuladas, entre las que se incluyen la implementación de bancos de capacitores para la corrección del factor de potencia, el establecimiento de un programa de gestión energética (SGEn), la definición y seguimiento de indicadores energéticos clave, la optimización de la operación de cargas significativas y la capacitación del personal en uso racional de la energía, proporcionan una hoja de ruta concreta para la mejora del desempeño energético de la empresa. Su implementación progresiva permitirá reducir pérdidas, mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico y fortalecer la competitividad organizacional.

Desde la perspectiva académica, el proyecto evidencia la importancia de articular los fundamentos teóricos de la eficiencia energética, las normas ISO 50001 e ISO 50002 y las tecnologías IoT con problemáticas reales del entorno productivo. El trabajo se convierte en un caso de aplicación práctica de los conocimientos adquiridos en la formación de Ingeniería Eléctrica, aportando una experiencia replicable en otras organizaciones con características similares.

8. Recomendaciones

A partir del análisis técnico realizado y de las brechas identificadas frente a los lineamientos de la ISO 50002 y los principios del sistema de gestión energética de la ISO 50001, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas a fortalecer el desempeño energético de la empresa Electroservimos:

Implementar un sistema de monitoreo energético permanente basado en tecnologías IoT que permita registrar variables eléctricas en tiempo real, generar alarmas tempranas y consolidar una base de datos confiable para el análisis continuo del desempeño energético.

Corregir el factor de potencia mediante la instalación de bancos de capacitores automáticos, con el fin de reducir pérdidas internas, aumentar la eficiencia del sistema y evitar posibles penalizaciones económicas por el operador de red por consumo de energía reactiva.

Desarrollar e institucionalizar un Sistema de Gestión de la Energía (SGEn) siguiendo la estructura de la norma ISO 50001, incluyendo política energética, establecimiento de objetivos, responsables, procedimientos y mecanismos de seguimiento.

Actualizar y optimizar los equipos eléctricos significativos, priorizando sistemas de iluminación LED, motores de alta eficiencia, sistemas de climatización eficientes y equipos con certificación energética comprobada.

Estandarizar los procedimientos de operación y mantenimiento energético, asegurando la revisión periódica de cargadores, tableros, empalmes, protecciones y equipos críticos, con registro formal de inspecciones y correcciones.

Establecer indicadores de desempeño energético (EnPI) como kWh/día, kWh/m², potencia máxima diaria, curva de carga y factor de potencia mensual para monitorear tendencias, evaluar mejoras y tomar decisiones informadas.

Capacitar al personal técnico y administrativo en buenas prácticas de uso racional de la energía (URE), especialmente en hábitos de operación de climatización, iluminación y equipos de oficina.

Evaluar la viabilidad de integrar energías renovables a mediano plazo, como paneles solares fotovoltaicos, que permitan complementar el consumo eléctrico y reducir la dependencia de la red.

9. Referencias bibliográficas

- Al-Fuqaha, A. G. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and application. (IEEE, Ed.) IEEE Communications Surveys & Tutorial, 22347-2376.
- ambientales, A. N. (2021). Evaluación Económica Ambiental -EEA- de Proyectos e instrumentos para su implementación.
- Ashton, K. (2009). That Internet of Things. *RFID Journal*.
- Boyle, G. (2016). *Energy Systems and Sustainability : Power for a Sustainable Future*. Oxford: Oxford University Press.
- Brown, M. A. (2011). *Climate Change and Global Energy Security*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Capehart, B. L. (2020). *Guide to Energy Manangement*. Lilburn: The Fairmont Press.
- Capehart, B. T. (2020). *Guide to Energy Management (9th. ed. ed.)*. Lisburn, GA: The Fairmont Press.
- Energéticas, U. d. (2019). *Informe de avance del programa PROURE*.
- ENERGÍA, M. D. (2019). Artículo 30 de la ley 1715 de 2014. “*Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad*”, 1-5.
- Fitzgerald, A. K. (2003). *Electric Machinery*. Mc.Graw Hill, Internationa.
- García-Peñalvo, F. J. (2019). nteligencia Artificial. Una perspectiva desde la ficción a la realidad. <https://bit.ly/2Q0jap0>. doi: 10.5281/zenodo.2818903.
- Geoinnova. (05 de 12 de 2016). ISO 50001: Sistema de Gestión Energética. *ISO 50001: Sistema de Gestión Energética*. Obtenido de <https://geoinnova.org/blog-territorio/iso-50001-sistema-de-gestion-energetica/>
- Grainger, J. J. (1994). *Power System Analysis*. New York: McGraw - Hill.

- Gubbi, J. B. (2013). Futures Generation Computer Systems. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660.
- Gungor, V. C. (2013). Smart grid technologies: Communication technologies and standards. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(4), 529-539.
- Halliday, D. R. (2014). *Fundamentals of Physics (10th ed)*. Wiley.
- International Energy Agency. (2020). *Energy Efficiency indicators: Fundamentals on statistics*. Paris: IEA Publications. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-indicators-fundamentals-on-statistics>
- International Organization for Standardization,. (2018). *ISO 50001 : 2018 Energy management systems - Requirements with guidance for use*. Geneva: ISO.
- Kundur, P. (1994). *Power System Stability and Control*. New York: McGraw-Hill Education.
- Ltda, A. c. (2022). *Guía de implementación de Sistema de Gestión de Energía basada en ISO 50001:2018*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.agenciase.org/wp-content/uploads/2022/11/SISTEMA_ISO_50001_2022.pdf
- Minvivienda. (2021). Guía para el desarrollo de auditorías de eficiencia energética y operativa en sistemas de agua. 11.
- Salesiana, U. P. (2022). Maestría en Electrónica y automatización. *Proyecto del desarrollo*, pág. 22. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22753/1/UPS-GT003784.pdf>
- Standardization, International Organization for. (2014). *Iso 50002 : 2014 Energy Audits - Requirements with guidance for use*. Geneva: ISO.

Standardization, I. O. (2018). *ISO 50001:2018*. Geneva: International Organization for Standardization (ISO).

Suarez, M. F. (2014). *Ministerio de Minas y Energía Decreto*. Bogotá. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.minenergia.gov.co/documentos/7913/Reglamentaci%C3%B3n_Decreto__Art._292_30.09.19__04.10.19.pdf

Unidad de Planeación minero Energética - UPME . (2022). *Indicadores de Sostenibilidad energética en Colombia*. Bogotá: Ministro de Minas y Energía.

UPME. (2007). Guía didáctica para el desarrollo de auditorías energéticas. 15. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/902/1/upme_217_auditorias_energeticas_2007.pdf

UPME, M. (2019). *MINENERGÍA, GEF, ONUDI*.

use, E. a.-R. (2014). *International Organization for Standardization*. Geneva, Switzerland: ISO.

10. Bibliografía

- Al-Fuqaha, A. G. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and application. (IEEE, Ed.) *IEEE Communications Surverys & Tutorial*, 22347-2376.
- ambientales, A. N. (2021). *Evaluación Económica Ambiental -EEA- de Proyectos e intrumentos para su implementación.*
- Ashton, K. (2009). That Internet of Things. *RFID Journal*.
- Boyle, G. (2016). *Energy Systems and Sustainability : Power for a Sustainable Future*. Oxford: Oxford University Press.
- Brown, M. A. (2011). *Climate Change and Global Energy Security*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Capehart, B. L. (2020). *Guide to Energy Manangement*. Lilburn: The Fairmont Press.
- Capehart, B. T. (2020). *Guide to Energy Management (9th. ed. ed.)*. Lisburn, GA: The Fairmont Press.
- Energéticas, U. d. (2019). *Informe de avance del programa PROURE*.
- ENERGÍA, M. D. (2019). Artículo 30 de la ley 1715 de 2014. “*Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad*”, 1-5.
- Fitzgerald, A. K. (2003). *Electric Machinery*. Mc.Graw Hill, Internationa.
- García-Peñalvo, F. J. (2019). nteligencia Artificial. Una perspectiva desde la ficción a la realidad. <https://bit.ly/2Q0jap0>. doi: 10.5281/zenodo.2818903.
- Geoinnova. (05 de 12 de 2016). ISO 50001: Sistema de Gestión Energética. *ISO 50001: Sistema de Gestión Energética*. Obtenido de <https://geoinnova.org/blog-territorio/iso-50001-sistema-de-gestion-energetica/>
- Grainger, J. J. (1994). *Power System Analysis*. New York: McGraw - Hill.

- Gubbi, J. B. (2013). Futures Generation Computer Systems. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660.
- Gungor, V. C. (2013). Smart grid technologies: Communication technologies and standards. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(4), 529-539.
- Halliday, D. R. (2014). *Fundamentals of Physics (10th ed)*. Wiley.
- International Energy Agency. (2020). *Energy Efficiency indicators: Fundamentals on statistics*. Paris: IEA Publications. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-indicators-fundamentals-on-statistics>
- International Organization for Standardization,. (2018). *ISO 50001 : 2018 Energy management systems - Requirements with guidance for use*. Geneva: ISO.
- Kundur, P. (1994). *Power System Stability and Control*. New York: McGraw-Hill Education.
- Ltda, A. c. (2022). *Guía de implementación de Sistema de Gestión de Energía basada en ISO 50001:2018*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.agenciase.org/wp-content/uploads/2022/11/SISTEMA_ISO_50001_2022.pdf
- Minvivienda. (2021). Guía para el desarrollo de auditorías de eficiencia energética y operativa en sistemas de agua. 11.
- Salesiana, U. P. (2022). Maestría en Electrónica y automatización. *Proyecto del desarrollo*, pág. 22. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22753/1/UPS-GT003784.pdf>
- Standardization, International Organization for. (2014). *Iso 50002 : 2014 Energy Audits - Requirements with guidance for use*. Geneva: ISO.

Standardization, I. O. (2018). *ISO 50001:2018*. Geneva: International Organization for Standardization (ISO).

Suarez, M. F. (2014). *Ministerio de Minas y Energía Decreto*. Bogotá. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.minenergia.gov.co/documentos/7913/Reglamentaci%C3%B3n_Decreto__Art._292_30.09.19__04.10.19.pdf

Unidad de Planeación minero Energética - UPME . (2022). *Indicadores de Sostenibilidad energética en Colombia*. Bogotá: Ministro de Minas y Energía.

UPME. (2007). Guía didáctica para el desarrollo de auditorías energéticas. 15. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/902/1/upme_217_auditorias_energeticas_2007.pdf

UPME, M. (2019). *MINENERGÍA, GEF, ONUDI*.

use, E. a.-R. (2014). *International Organization for Standardization*. Geneva, Switzerland: ISO.

11. Anexos

Anexo A. Protocolo de visita técnica inicial

Tabla A 1 *Información general de la visita*

Empresa	Electroservimos
Fecha de visita	12/08/2025
Lugar	Sede principal – Medellín
Equipo asesor	Cristian C. Álvarez • Daniel E. Herrera • Deiber A. Jiménez
Representante de la empresa	Manuel Pemberty – jefe de mantenimiento
Objetivo	Recopilar información técnica preliminar del sistema eléctrico, validar alcances del proyecto y planificar actividades posteriores.

Nota. Diseño propio.

A.2. Actividades realizadas durante la visita.

Presentación formal del proyecto a los directivos.

Revisión documental inicial: facturas, planos, inventario de cargas.

Reconocimiento general del sistema eléctrico del local.

Identificación de puntos críticos de consumo energético

Levantamiento fotográfico del tablero, equipos principales y distribución.

Medición preliminar de tensión, corriente y factor de potencia.

Registro de hábitos de operación y horarios de funcionamiento.

Definición de puntos de instalación del medidor IoT.

Socialización inicial de hallazgos encontrados.

Firma del acta de visita.

A.3. Resultados principales de la visita.

Se validó la disposición de la empresa para permitir la instalación del medidor IoT.

Se confirmó la inexistencia de medición energética continua.

Se identificó que los mayores consumos corresponden a climatización, iluminación y cómputo.

Se verificó estado general aceptable del tablero eléctrico.

Se determinó la necesidad de realizar mediciones prolongadas para una línea base.

Se acordó la entrega de documentos adicionales para el diagnóstico técnico.

Anexo B. Protocolo de instalación del medidor IoT

Este anexo documenta de manera técnica, detallada y verificable el procedimiento seguido para instalar el medidor inteligente y habilitar la captura remota de datos energéticos.

Está estructurando, siguiendo prácticas de mantenimiento eléctrico y los lineamientos técnicos de la ISO 50002.

Tabla B. 1. *Información general de la instalación.*

Medidor instalado	Medidor multifuncional trifásico Siemens PAC3120
Sistema eléctrico	120/208 V – 3F + N – 60 Hz
Puntos de medición	Tablero principal del local
Tipo de conexión	Indirecta con TCs externos (3 × 100/5 A)
Fecha de instalación	24/09/2025
Instalado por	Equipo asesor del proyecto
Supervisado por	Manuel Pemberty – jefe de Mantenimiento

Nota. Diseño propio.

B.2. Objetivos del protocolo

Garantizar una instalación segura, exacta y funcional del medidor IoT asegurando:

Conexión correcta de tensiones y corrientes.

Calidad del dato eléctrico para análisis ISO 50002.

Integración con el autómatas AMP1-F y plataforma IoT.

Evidencia técnica del proceso de instalación.

B.3. Actividades del protocolo

A continuación, se presentan la tabla oficial del protocolo ajustada.

Tabla B. 2. *Protocolo técnico de instalación del medidor IoT.*

Actividad	Descripción técnica del procedimiento	Resultado esperado
Verificación inicial	Se inspecciona el medidor PAC3120, los TCs (100/5 A), tornillería y accesorios. Se verifica integridad física, calibración y disponibilidad de herramientas aisladas (EPP, multímetro, destornilladores, guantes dieléctricos, marcadores).	Equipo completo, sin daños, y herramientas listas.
Condiciones de seguridad	Se desenergiza el tablero principal. Se verifica ausencia de tensión con multímetro (prueba fase–neutro y fase–tierra). Se señala la zona y se aplican reglas de oro RETIE.	Área segura para intervenir y ausencia total de tensión.
Instalación física del equipo	Se fija el PAC3120 en riel DIN. Se conectan entradas de tensión R–S–T–N con cable calibre adecuado. Se instalan los TCs en cada	Medidor instalado con conexiones firmes y

Actividad	Descripción técnica del procedimiento	Resultado esperado
	fase, respetando orientación (flecha hacia carga) y sentido de corriente.	TCs correctamente orientados.
Prueba eléctrica inicial	Se energiza el tablero. Se verifica encendido del medidor, lectura estable de V, I, P y FP. Se descartan alarmas de fase invertida o corriente negativa.	Medidor operativo y lecturas coherentes.
Configuración vía Bluetooth (AMP1-F)	Se empareja el PLC AMP1-F con el PAC3120 mediante Modbus RTU. Se configuran parámetros Wifi y se habilita publicación MQTT hacia la plataforma IoT.	Comunicación estable y transmisión en tiempo real confirmada.
Validación del flujo de datos	Se revisa tablero de control (dashboard IoT) confirmando que las variables se actualizan con el intervalo programado (10 minutos). Se prueba reinicio para validar persistencia.	Datos visibles y sistema operando con trazabilidad continua.
Documentación técnica	Registro fotográfico de conexiones, ubicación de TCs, parámetros iniciales y número de serie del medidor. Se documentan observaciones y se avala la puesta en servicio.	Informe técnico completo en anexos y evidencia fotográfica.

Nota. Diseño propio.

B.4. Diagrama técnico de conexión.

El medidor PAC3120 se instaló en configuración trifásica 3F + N, con medición indirecta mediante transformadores de corriente externos. Las entradas de tensión se conectaron

directamente al tablero en R, S, T y Neutro. Los TCs se montaron sobre cada fase respetando el sentido de la corriente hacia la carga, asegurando la correspondencia entre la entrada de tensión y la entrada de corriente para evitar errores de fase y magnitud.

B.5. Acta de instalación.

El día 24 de septiembre del año 2025 se realizó la instalación del medidor Siemens PAC3120 y el autómatas AMP1-F en el tablero principal de la empresa Electroservimos. La instalación se ejecutó bajo normas de seguridad RETIE y bajo supervisión del jefe de mantenimiento Manuel Pemberty. Se verificó el correcto funcionamiento del dispositivo y la transmisión remota de los datos energéticos.

Anexo C. Aforo eléctrico del establecimiento y diagnóstico energético inicial

C.1. Objetivo del aforo

Registrar y cuantificar las principales cargas eléctricas de la empresa Electroservimos, clasificarlas según su aporte al consumo total y establecer las bases para identificar las Unidades de Energía significativa, cumpliendo las directrices de la norma ISO 50002.

C.2. Tabla completa de aforo eléctrico

Tabla C. 1 Aforo eléctrico del establecimiento comercial Electroservimos.

Equipo / Sistema	Cantidad	P [W] c/u	P total [W]	P total [kW]	Horas diarias de uso	Descripción / Ubicación
Aire acondicionado tipo mini-Split	4	1.500	6000	6	8	Zona administrativa y punto de atención
Iluminación LED panel 36 W	40	36	1440	1,44	10	Oficina, almacén y área de ventas

Equipo / Sistema	Cantidad	P [W] c/u	P total [W]	P total [kW]	Horas diarias de uso	Descripción / Ubicación
Iluminación dicroicas LED 18 W	40	12	480	0,48	10	Mostradores y exhibición
Equipos de cómputo (PC)	10	300	3000	3	8	Área administrativa
Portátiles	7	90	630	0,63	8	Oficina
Impresora láser	2	500	1000	1	1	Oficina
Greca / Cafetera eléctrica	1	1.000	1.000	0,1	2	Zona de descanso
Ventilador industrial pequeño	2	120	240	0,24	6	Área térmica
Cargadores varios / celulares	4	15	60	0,06	8	Puestos de trabajo
Router + equipos de red	1	30	30	0,03	24	Rack o área TI
Otros pequeños dispositivos	1	1000	1000	0,1	Variable	Consumos dispersos menores
Total		4.603	14880	13,08		

Nota. Diseño propio.

C.3. Interpretación técnica del aforo.

La identificación de estas cargas significativas permite establecer una línea base cualitativa antes de la medición con el medidor IoT y facilita su evaluación frente a los indicadores de desempeño energético.

Se observaron además hábitos de operación que pueden influir en el consumo

El uso continuo del aire acondicionado en horarios de baja ocupación.

Iluminación encendida sin presencia en ciertas áreas.

Equipos de cómputo sin políticas de suspensión.

Estos elementos deberán integrarse al análisis final junto con la analítica de datos.

C.4. Resultados del aforo y relación con ISO 50002

Según la norma ISO 50002, la etapa de preauditoria o evaluación preliminar requiere de la identificación de sistemas comunicadores, clasificación de cargas significativas (SEU) (Sistema del Uso de la Energía), establecimiento de estimaciones iniciales de demanda y reconocimiento de hábitos operativos.

Este aforo cumple con estos lineamientos y sirve como insumo directo para:

El diseño del proceso de auditoría.

La analítica energética posterior.

La identificación de brechas técnicas.

La formulación de recomendaciones.

Anexo D. Registro de mediciones remotas y análisis energéticos

D.1. Descripción dl proceso de medición remota

Durante el periodo comprendido entre el 11 y el 24 de octubre del año 2025, se realizó un monitoreo continuo del comportamiento eléctrico en la empresa Electroservimos utilizando:

Medidor multifuncional Siemens PAC3120.

PLC amp1-f

Comunicación modbus MQTT

Publicación de datos cada 10 minutos

Las variables capturadas fueron:

Voltaje de fase (VL1, VL2, VL3)

Corrientes de fase (IL1. IL2. IL3)

Potencia activa (P)

Potencia aparente (S)

Potencia reactiva (Q)

Factor de potencia (FP)

Frecuencia (Hz)

D.2. Archivo de datos medidor

El archivo de datos original donde se extraen el periodo comprendido de análisis, nombrado Monitor_Provisional_Oct_2025. Xlsx, se adjunta como anexo digital.



Monitor_Provisiona
l_Oct_2025.xlsx

D.3. Tabla de promedios diarios.

En esta tabla se relacionan los promedios diarios de variables eléctricas medidas en las fechas del 11 al 24 octubre del 2025. Los valores presentados en la Tabla D.1 ilustran los valores presentados corresponden a promedios diarios generados a partir del sistema de monitoreo IoT instalado en el tablero general de la empresa. Las mediciones se realizaron con un intervalo de muestreo constante durante 24 horas del día y procesadas para obtener un valor representativo. Estos datos constituyen la base para la construcción de la línea base energética y para el análisis conforme a los lineamientos de la norma ISO 50002.

Tabla D. 1 Registro diario de variables eléctricas medidas IoT

Fecha	VL1 (V)	VL2 (V)	VL3 (V)	IL1 (A)	IL2 (A)	IL3 (A)	P (kW)	S (kVA)	FP
11-oct	118.5	119.0	118.7	6.25	5.80	5.90	1.72	2.05	0.84
12-oct	118.3	118.9	118.6	6.20	5.75	5.88	1.70	2.03	0.84
13-oct	118.6	119.1	118.9	6.28	5.83	5.92	1.74	2.06	0.84
14-oct	118.4	118.8	118.7	6.18	5.74	5.86	1.69	2.02	0.83
15-oct	118.7	119.2	118.8	6.30	5.85	5.95	1.75	2.07	0.84
16-oct	118.5	119.0	118.7	6.22	5.78	5.89	1.71	2.04	0.84
17-oct	118.4	118.9	118.6	6.19	5.76	5.87	1.70	2.03	0.84
18-oct	118.6	119.0	118.8	6.24	5.82	5.90	1.72	2.05	0.84
19-oct	118.3	118.7	118.5	6.15	5.70	5.82	1.68	2.01	0.83
20-oct	118.4	119.0	118.7	6.21	5.77	5.88	1.70	2.03	0.84
21-oct	118.5	119.0	118.8	6.23	5.79	5.90	1.72	2.04	0.84
22-oct	118.6	119.1	118.9	6.26	5.81	5.92	1.73	2.06	0.84
23-oct	118.5	118.9	118.8	6.22	5.78	5.90	1.71	2.04	0.84
24-oct	118.7	119.2	119.0	6.30	5.85	5.96	1.75	2.07	0.84

Nota. Diseño propio.

El análisis de los datos energéticos registrados mediante el medidor PAC3120 muestra que el sistema eléctrico de la empresa Electroservimos presenta:

Una tensión estable con variaciones menores $\pm 1\%$, lo cual indica buena calidad del suministro.

Corrientes equilibradas, IL1, IL2, IL3 presentan diferencias reducidas, lo que refleja cargas con distribución relativamente uniforme.

La potencia activa constante se observa estable en la demanda diaria, alrededor de 1.70 a 1.75 kW

La potencia aparente a nivel de carga con valores entre 2.01 y 2.07 kVA correspondientes al perfil de establecimiento.

El factor de potencia estable, pero puede mejorar. Esta por debajo de los rangos aceptables.

No se observan variaciones abruptas, caídas ni sobrecargas significativas.