

**AUDITORÍA DE CONTROL Y CALIDAD ENERGÉTICA EN EL BLOQUE DE
INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA LATINOAMERICANA**

**ANA LUISA MARIO RIVERA
YURLEY PAOLA MESTRA RAMIREZ
ALEXANDER UPEGUI CIFUENTES**

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

**AUDITORÍA DE CONTROL Y CALIDAD ENERGÉTICA EN EL BLOQUE DE
INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA LATINOAMERICANA**

**ANA LUISA MARIO RIVERA
YURLEY PAOLA MESTRA RAMIREZ
ALEXANDER UPEGUI CIFUENTES**

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero electricista

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

**Asesor metodológico
Eros David Escobar Cárdenas
Magister en ingeniería**

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

2025

Contenido

1.	Planteamiento del problema	13
1.1	Descripción.....	13
1.2	Formulación	14
2.	Justificación	15
3.	Objetivos.....	16
3.1	Objetivo general	16
3.2	Objetivos específicos.....	16
4.	Marco teórico.....	17
4.1	Calidad de la energía eléctrica.	17
4.2	Impactos en la eficiencia energética eléctrica	18
4.3	Eficiencia energética eléctrica en Colombia	18
4.4	Diagnóstico energético eléctrico	19
4.5	Eficiencia energética eléctrica.....	22
4.6	Cultura energética.	22
4.7	Energía y educación	23
5.	Metodología.....	25
5.1	Tipo de proyecto.....	25
5.2	Método	25
5.3	Instrumentos de recolección de información.	26
6.	Resultados.....	28
6.1	Recolección inicial de información.....	28
6.2	Análisis de los datos obtenidos en la visita.	30
6.3	Instalación de los medidores remotos.	32
6.4	Recolección de los datos medidos remotamente.	38

6.5	Segmentación de los datos recolectados.	39
6.6	Análisis de los datos recolectados.	40
6.7	Recomendaciones de uso racional de la energía eléctrica.....	43
7.	Conclusiones.....	47
8.	Recomendaciones	49
9.	Referencias bibliográficas	51
10.	Bibliografía.....	53
11.	Anexos	54

Lista de figuras

Figura 1. Mapa de conexión del medidor remoto de variables eléctricas.	35
---	----

Lista de tablas

Tabla 1. Protocolo de trabajo para la primera visita.....	29
Tabla 2. Aforo de cargas para medición de potencia	30
Tabla 3. Historia de consumo area a intervenir	31
Tabla 4. Protocolo de instalación del medidor remoto.....	33
Tabla 5. Medidas del medidor remoto.....	39

Lista de anexos

ANEXO 1. Código de análisis de datos	54
ANEXO 2. Graficas del análisis de datos.....	63

Resumen

AUDITORÍA DE CONTROL Y CALIDAD ENERGÉTICA EN EL BLOQUE DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA LATINOAMERICANA

ANA LUISA MARIO RIVERA

YURLEY PAOLA MESTRA RAMIREZ

ALEXANDER UPEGUI CIFUENTES

Este trabajo de grado desarrolló una auditoría energética integral para la Universidad Autónoma Latinoamericana de Medellín mediante investigación experimental y monitoreo continuo, con el objetivo de diagnosticar el perfil de consumo eléctrico, identificar ineficiencias y proponer estrategias de mejora bajo normas ISO 50001 e IEC 61000-4-30. La metodología implementó un sistema de medición remoto con analizador de redes Siemens PAC3120 durante cuatro semanas, registrando variables eléctricas (voltaje, corriente, factor de potencia, potencias, activa / reactiva / aparente) en intervalos de 10 minutos, complementado con inventario de cargas, levantamiento de planos y análisis de comportamiento de usuarios. Los resultados evidenciaron un consumo promedio de 50.2 kW con energía activa mensual de 33.9 MWh, factor de potencia promedio de 0.85 (penalizante), desequilibrio de corrientes del 2.3% y potencia reactiva no compensada de 1,822 kVAr. El sistema de iluminación representó el 38-42% del consumo total, seguido por climatización (18%) y laboratorios (58% de carga crítica). Se identificaron oportunidades de ahorro del 8-12% mediante compensación reactiva automática (1,200 kVAr), sustitución de luminarias fluorescentes por LED, reequilibrado de cargas trifásicas y sistemas de control horario con sensores de presencia. La evaluación económica proyectó ROI de 24 meses y ahorros de 23,000 kWh/año. Las conclusiones muestran que la metodología replicable permite transformar datos técnicos en decisiones estratégicas, estableciendo una línea base energética institucional que apoya la sostenibilidad ambiental (ODS 7 y 13) y la competitividad operativa, requiriendo implementación de cultura energética, capacitación continua y monitoreo SCADA permanente para garantizar la gestión eficiente del recurso energético en el sector educativo colombiano.

Palabras claves: Auditoría energética, factor de potencia, eficiencia energética, compensación reactiva, gestión de demanda, calidad de energía.

Abstract

This degree project developed a comprehensive energy audit for the Latin American Autonomous University of Medellín through experimental research and continuous monitoring, aiming to diagnose the electrical consumption profile, identify inefficiencies, and propose improvement strategies under ISO 50001 and IEC 61000-4-30 standards. The methodology implemented a remote measurement system with a Siemens PAC3120 network analyzer during four weeks, recording electrical variables (voltage, current, power factor, active/reactive/apparent power) in 10-minute intervals, complemented by load inventory, electrical drawing surveys, and user behavior analysis. Results evidenced an average consumption of 50.2 kW with monthly active energy of 33.9 MWh, average power factor of 0.85 (penalizable), current unbalance of 2.3%, and uncompensated reactive power of 1,822 kVAr. The lighting system represented 38-42% of total consumption, followed by air conditioning (18%) and laboratories (58% of critical load). Energy saving opportunities of 8-12% were identified through automatic reactive compensation (1,200 kVAr), fluorescent-to-LED lighting replacement, three-phase load rebalancing, and time-scheduled control systems with presence sensors. Economic evaluation projected ROI of 24 months and savings of 23,000 kWh/year. Conclusions demonstrate that the replicable methodology allows transforming technical data into strategic decisions, establishing an institutional energy baseline that supports environmental sustainability (SDG 7 and 13) and operational competitiveness, requiring implementation of energy culture, continuous training, and permanent SCADA monitoring to guarantee efficient energy resource management in the Colombian educational sector.

Keywords: Energy audit, power factor, energy efficiency, reactive compensation, demand management, power quality.

Glosario

Analizador de redes: instrumento que mide la potencia activa, la aparente, el factor de potencia, el consumo energético, la corriente, la tensión alterna, la frecuencia y otras variables, para presentar indicadores del funcionamiento de un circuito.

Auditoría energética: inspección y análisis de los flujos de energía ya sea residencial, industrial, comercial, con el objetivo de analizar y entender la eficiencia energética.

Calidad de la potencia eléctrica: capacidad del sistema eléctrico para mantener sus valores dentro de rangos confiables, estables y seguros.

Cargabilidad de un sistema eléctrico: se refiere a la capacidad del sistema para soportar cargas eléctricas actuales y futuras sin comprometer su seguridad ni eficiencia.

Distorsión armónica: ocurre cuando la señal de salida de un sistema no coincide con la señal de entrada, introduciendo armónicos que afectan la calidad del sonido o la forma de onda en sistemas eléctricos.

Eficiencia energética: consiste en utilizar equipos o instalaciones que consuman menos energía para conseguir el mismo rendimiento o realizar la misma función.

IoT (Internet of Things): internet de las cosas, hace referencia a la interconexión de objetos ciberfísicos a través de las redes de Internet con la finalidad de intercambiar datos y órdenes de ejecución de comandos.

JavaScript: es un conjunto de instrucciones del lenguaje Java utilizadas para programar aplicaciones *web*.

Modbus: es un protocolo de comunicaciones industriales de carácter abierto que opera en modo maestro – esclavo y permite la interconexión de diferentes tipos de controladores.

Potencia aparente: la suma vectorial de la potencia activa y reactiva en la corriente alterna.

Potencia activa: aquella potencia que es aprovechada por los circuitos para realizar un trabajo, cuando se habla de demanda eléctrica.

Potencia reactiva: una potencia que no produce trabajo útil y que se origina en circuitos con bobinas o capacitores.

Transformador de corriente: (TC) son utilizados para aumentar o disminuir una corriente alterna (AC), produciendo una corriente en el secundario proporcional a la del primario.

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

Introducción

Una auditoría energética busca establecer un conjunto de estrategias, reformas y mejoras encaminadas al uso racional de la energía, sin que esto suponga una disminución en la calidad de los servicios prestados, en la productividad o en la habitabilidad de la instalación en cuestión, pudiendo incluso incluir mejoras adicionales mediante la caracterización de los parámetros energéticos.

Una auditoría de energía eléctrica es necesaria para identificar cómo y dónde se consume la energía en una instalación, detectar ineficiencias, anomalías y desperdicios que aumentan el costo energético, y para proponer soluciones que mejoren la eficiencia y reduzcan el gasto. Su utilidad radica en obtener ahorros económicos directos, optimizar el uso de equipos y recursos, prolongar la vida útil de los activos, y contribuir a la sostenibilidad ambiental mediante la reducción de emisiones de CO₂.

Las auditorías energéticas deben basarse en datos operativos, medidos y verificables de consumos, abarcando un análisis del perfil de consumos energéticos, mediante un estudio completo tanto de los factores de tipo técnico como de los de tipo económico que influyen sobre el consumo de todas aquellas instalaciones o equipos que consumen energía dentro de la instalación objeto del estudio.

Con el trabajo de grado buscamos realizar una Auditoría de Control y Calidad Energética mediante la cual podremos identificar y valorar posibles factores que afectan a la calidad del consumo energético dentro de la empresa “Universidad Autónoma”, determinando las posibilidades de ahorro desde el punto de vista técnico, económico y de actuación.

Este análisis supone un aspecto clave tanto en el proceso productivo como desde el punto de vista energético con respecto a la demanda final de energía y el rendimiento que la instalación obtiene de ella.

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción

La Universidad Autónoma Latinoamericana (UNLA) es una institución de educación superior privada ubicada en el centro de Medellín, Colombia, fundada en 1966 por estudiantes y profesores disidentes de la Universidad de Medellín y la Universidad de Antioquia tras una huelga por problemas administrativos y académicos.

En la actualidad la Universidad Autónoma Latinoamericana no cuenta con una metodología específica para realizar una auditoría energética eléctrica, al desconocer la información oportuna se incurre en la incapacidad de determinar los riesgos y beneficios potenciales asociados a la energía utilizada en su proceso académico, comercial y administrativo.

Se evidenció que no se cuenta con un sistema de gestión energética, ni tampoco se ha realizado un estudio del desempeño energético. Lo que genera un desconocimiento respecto al uso adecuado de la energía que es utilizada y la posibilidad de que en los diversos procesos se estén efectuando pérdidas de energía traducidas en costos.

En las universidades tanto públicas como privadas, el consumo energético de los procesos suele representar un porcentaje bajo del costo de su ejecución, por lo cual la mejora de su eficiencia no es uno de sus objetivos, ya que se percibe como baja la oportunidad económica que representaría invertir en gestionarla correctamente. Esto, sumado a que Colombia no cuenta con normativas para eficiencia energética, genera una falta de cultura de esta, que puede conllevar a materializar otros riesgos inesperados por las universidades y perder oportunidades significativas de aumento de eficiencia energética y disminución del impacto ambiental.

Realizar la metodología de auditoría energética específica, servirá como línea base para analizar el proceso y determinar riesgos de la universidad Autónoma Latinoamericana, como contaminación ambiental provocado por su falta de gestión, los resultados del proyecto son fundamentales para apoyar a la universidad. Su esquema de solución se llevará a cabo mediante una sistematización en la toma de datos de los elementos a auditar apoyado de normas y manuales vigentes de análisis, para determinar cuáles son los elementos importantes de auditar, para obtener información necesaria.

1.2 Formulación

¿Cómo contribuirá el desarrollo de una auditoría energética, al uso eficiente de la energía eléctrica consumida por la Universidad Autónoma Latinoamericana de la ciudad de Medellín?

2. Justificación

La auditoría de control y calidad energética eléctrica servirá para que la Universidad Autónoma Latinoamericana cuente con un instrumento que permita dar a conocer el perfil de consumo energético de la demanda y procesos que en la actualidad ejecutan, para así determinar las bases del cálculo y mejora de la eficiencia energética, así como las posibilidades de ahorro de energía. El proyecto se encuentra enmarcado en el área energética, dentro de las líneas de investigación, análisis y aplicativos energéticas, las cuales son el uso eficiente en sistemas industriales y comerciales en el área educativa, esto debido a que se busca la eficiencia en el uso de la energía utilizando las competencias profesionales adquiridas durante el estudio de la Ingeniería Eléctrica.

Los datos obtenidos en su implementación serán el punto de partida para fijar objetivos de eficiencia energética, aportando información de suma relevancia y valor para la toma de decisiones a nivel estratégico, también permitirá determinar el tipo de gestión requerida para minimizar los riesgos de la organización asociados a la eficiencia energética.

Con la auditoría energética desarrollada específicamente para la operación de la universidad Autónoma Latinoamericana, esperamos que otras organizaciones, con operaciones, actividades o instalaciones similares, tomen de base la misma para que se auditen internamente y mejoren su eficiencia energética, y así contribuir a los objetivos de desarrollo sostenible del país y al desarrollo de otras organizaciones.

También se espera generar un ambiente de cultura energética, donde los colaboradores y estudiantes adscritos a la Universidad Autónoma Latinoamericana sean conscientes de los impactos ambientales del consumo de energía y así actúen dentro de los marcos del consumo eficiente y se aprovechen oportunidades de ahorro. Ya que, al consumir la energía de una manera racional, se reduce el gasto, disminuye el impacto ambiental y por ende mejora la calidad ambiental.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Desarrollar una auditoria energética a una empresa “Universidad Autónoma Latinoamericana” en el año 2025, asociada al sector educativo colombiano, proveyendo con este estudio una información que ayudará a la misma a ser más eficiente a nivel energético, así mismo, la realización de este estudio llevara a identificar la gran utilidad que tiene una auditoria energética para cualquier empresa, siendo la eficiencia energética un factor clave para que cualquier consumidor de electricidad sea competitivo en el mercado.

3.2 Objetivos específicos

Caracterizar el sistema eléctrico con respecto a los aspectos integrales que afectan el consumo energético mediante levantamiento de datos para la determinación de la línea base de la auditoria energética.

Identificar los factores de consumo energético a través de la metodología de auditoría energética, resaltando las oportunidades de ahorro energético y económico para el sistema eléctrico de la empresa Universidad Autónoma Latinoamericana bajo una técnica de mejoramiento continuo del sistema.

Consolidar la utilidad práctica de una auditoría energética en una organización, con la demostración de los fundamentos teóricos y prácticos de las auditorías energéticas según la normatividad vigente.

4. Marco teórico

4.1 Calidad de la energía eléctrica.

La calidad de la energía eléctrica se define como la capacidad del suministro eléctrico para mantener voltaje, frecuencia y forma de onda ideales, minimizando desviaciones como fluctuaciones, armónicos o interrupciones que afecten el funcionamiento de equipos y procesos. Incluye tanto la continuidad del servicio como la ausencia de perturbaciones en tensión y corriente, asegurando que la electricidad llegue al usuario sin causar fallos o ineficiencias.

Los parámetros principales son el voltaje y frecuencia: Deben mantenerse estables dentro de rangos normados para evitar daños en aparatos. Los armónicos y distorsiones: Reducen la pureza de la onda sinusoidal, generando sobrecalentamiento y pérdidas. La continuidad: Mide interrupciones y transitorios que impactan la productividad.

La importancia radica en que evaluarla previene fallos en equipos sensibles, reduce costos operativos y cumple normativas como IEC 61000 o CENELEC, mejorando la confiabilidad del sistema eléctrico. Monitoreo con analizadores detecta problemas para implementar correcciones oportunas.

Los armónicos y distorsiones en la energía eléctrica distorsionan la forma de onda sinusoidal ideal, lo que genera sobrecalentamiento en motores, transformadores y cableado debido a pérdidas por efecto Joule, corrientes parásitas e histéresis, reduciendo así la eficiencia energética al aumentar el consumo innecesario y acortar la vida útil de los equipos. Estas perturbaciones también provocan fallos en dispositivos electrónicos sensibles, como PLC y controles, elevan la temperatura en interruptores y capacitores, y generan resonancias que amplifican las pérdidas, incrementando la factura eléctrica y los costos de mantenimiento Pérez Pinedo (2014).

La continuidad del suministro, por su parte, mide las interrupciones, transitorios y caídas de voltaje que interrumpen procesos productivos, causando paradas inesperadas, pérdida de datos y daños en equipos, lo que directamente impacta la eficiencia energética al elevar el consumo reactivo y reducir la productividad general del sistema.

4.2 Impactos en la eficiencia energética eléctrica

Reducción del factor de potencia: Los armónicos incrementan la potencia reactiva, bajando la eficiencia y requiriendo compensación adicional. Tal efecto se da al introducir corrientes no sinusoidales que demandan más capacidad de la red, lo que reduce el factor de potencia (FP) — medido como la relación entre potencia activa y aparente— y baja la eficiencia al elevar la potencia aparente sin aportar trabajo útil. Esto genera penalizaciones en facturas eléctricas, obliga a sobredimensionar transformadores e instalaciones, y requiere compensación adicional con bancos de capacitores o filtros activos para mitigar la distorsión armónica total (THD) y restaurar el FP cercano a 1.

Un ejemplo práctico de esto sería cuando, en un sistema con variadores de frecuencia o iluminación LED, los armónicos superiores (como el 3° o 5°) desplazan el ángulo de fase, haciendo que el FP caiga por debajo de 0.9, lo que aumenta pérdidas por calor y reduce la capacidad disponible para cargas reales. Las soluciones comunes son la adición de filtros pasivos/activos, que cancelan armónicos específicos para elevar el FP y minimizar reactiva. La corrección dinámica se realiza con capacitores con control para adaptarse a variaciones armónicas. Las interrupciones y transitorios provocan reinicios frecuentes, mayor desgaste y consumo pico, afectando la continuidad operativa y elevando costos indirectos.

4.3 Eficiencia energética eléctrica en Colombia

El Programa de Evaluación Industrial, PEVI, es una estrategia orientada a identificar y promover oportunidades de eficiencia energética en el sector industrial. Gracias a la cooperación triangular entre el entorno productivo (la Industria), el conocimiento (la Academia) y el normativo y regulatorio (el Estado), se fortalece la capacidad técnica en universidades que han desarrollado trabajos e investigaciones en el campo de la eficiencia energética y que cuentan con una relación activa con el sector industrial de las regiones en donde se encuentran ubicadas, a fin de propender por un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos y contribuir a un mayor desarrollo sostenible de la pequeña y mediana empresa, para obtener una mayor productividad y competitividad bajo parámetros de responsabilidad ambiental, social y empresarial.

El desarrollo del PEVI a través de los centros de evaluación industrial contribuye a identificar oportunidades de eficiencia energética que aporten al cumplimiento del Plan de Acción Indicativo del PROURE 2022-2030, las acciones definidas en el documento CONPES 4075 de 2022,

4.4 Diagnóstico energético eléctrico

Un diagnóstico energético, es el primer estudio sobre este tema realizado en una instalación, proceso o sistema y consiste en un análisis inicial del uso de la energía, cuyo objetivo principal es identificar oportunidades de ahorro de energía.

El balance de energía se puede determinar desde el diagnóstico energético señalando aquellas donde ésta se desperdicia y donde es potencial el ahorro de la misma energía, esto posteriormente a la definición de los principales equipos consumidores e identificar las actividades del proceso de mayor consumo de energía.

Resumiendo, los objetivos de un diagnóstico energético son: establecer procedimientos y objetivos de uso de energía, diseñar planes de ahorro energético y disminuir el consumo de energía sin afectar la cantidad y condiciones de la producción.

Un diagnóstico energético se realiza mediante una metodología sistemática que incluye planificación, recolección de datos, mediciones en campo, análisis y recomendaciones para identificar ineficiencias y potenciales de ahorro en el consumo de energía eléctrica u otros recursos.

Los pasos principales para realizar un diagnóstico energético incluyen la planificación y recopilación inicial, la inspección y mediciones en sitio, el análisis de datos obtenidos mediante la medición y finalmente la evaluación y propuesta de recomendaciones.

Planificación y recopilación inicial: Reunir facturas históricas, planos de instalaciones, horarios de operación y datos generales del edificio o planta para un análisis preliminar de patrones de consumo. La planificación y recopilación inicial en un diagnóstico energético comienza con la reunión de facturas históricas de energía eléctrica, gas, agua y otros suministros, abarcando al menos 12-24 meses para analizar patrones de consumo estacional, picos de demanda, tarifas aplicadas y tendencias de gasto que revelen ineficiencias ocultas o variaciones

inexplicables. Los elementos clave a recopilar son los datos de facturas: Consumo total (kWh), demanda máxima (kW), factor de potencia, penalizaciones por reactiva, costos variables/fijos y comparativos anuales para calcular el consumo específico por m² o unidad de producción. También se requiere la información complementaria como planos de instalaciones eléctricas, listados de equipos (potencia nominal, horas de uso), horarios operativos, organigramas de mantenimiento y registros previos de auditorías. Así mismo se requiere el análisis preliminar, graficando curvas de carga, identificar meses de mayor gasto y estimar el presupuesto energético actual para priorizar áreas críticas. Este paso establece la línea base energética, permitiendo cuantificar ahorros potenciales y justificar la inversión en mediciones posteriores

Inspección y mediciones en sitio: Realizar recorrido visual, entrevistas con personal, mediciones de variables eléctricas (voltaje, corriente, potencia), termografías y análisis de equipos como iluminación, motores y HVAC para detectar anomalías. La inspección y mediciones en sitio durante un diagnóstico energético implica un recorrido visual exhaustivo por toda la instalación para identificar anomalías evidentes como equipos obsoletos, conexiones flojas, aislamiento deficiente, fugas térmicas, acumulación de polvo en motores o iluminación inadecuada, complementado con entrevistas al personal operativo para recopilar datos sobre hábitos de uso, fallos recurrentes, horarios de mayor consumo y problemas no visibles. Las actividades del recorrido visual incluyen la evaluación de equipos, verificando el estado de motores, transformadores, HVAC, iluminación y variadores, buscando sobrecalentamiento, vibraciones excesivas o desgaste prematuro. Así mismo se realiza la detección de ineficiencias, inspeccionando sellos de puertas/ventanas, puentes térmicos en envolventes y distribución de cargas eléctricas para fugas de aire o pérdidas energéticas. Es importante el uso de herramientas no invasivas: Aplicar termografía infrarroja para mapear puntos calientes, medidores de potencia portátil para corrientes/armónicos e higrómetros para humedad. Finalmente se debe tener en cuenta las entrevistas con personal, para lo que se realizan cuestionarios estructurados a operadores, mantenimiento y gerencia para documentar patrones reales de operación, como ciclos de encendido/apagado, ajustes manuales ineficientes o quejas sobre confort, lo que enriquece el análisis con información cualitativa no captada por mediciones. Este enfoque integral genera una línea base precisa para priorizar intervenciones.

Análisis de datos: Procesar información con software para calcular indicadores de eficiencia, identificar áreas de mayor gasto y evaluar el estado actual del sistema energético. El análisis de

datos en un diagnóstico energético procesa la información recolectada mediante software especializado como EnergyPlus, RETScreen o plataformas de gestión energética (EDMS) que importan mediciones de campo, facturas y perfiles de carga para calcular indicadores clave de eficiencia como consumo específico (kWh/m²), factor de potencia, THD y EUI (Energy Use Intensity), identificando áreas de mayor gasto mediante curvas de carga y análisis de tendencias. Entre los indicadores y herramientas a tener en cuenta son importantes los cálculos principales para el desglose por zona/equipo (iluminación 30%, motores 50%), pérdidas por armónicos, benchmarking vs. estándares sectoriales y proyecciones de ahorro post-intervención. Visualización de gráficos de tendencias temporales, cuadros de mando en tiempo real, normalización por grados-día o producción y detección automática de anomalías vía machine learning. Evaluación del sistema, mediante simulaciones dinámicas para comparar escenarios "actual" vs. "optimizado", evaluando ROI de medidas y cumplimiento normativo. Este procesamiento genera informes accionables con priorización de intervenciones, validando el estado energético actual y cuantificando ahorros potenciales del 10-30%.

Evaluación y recomendaciones: Proponer medidas de ahorro (AUEE), priorizar por rentabilidad (ROI), tiempos de retorno y elaborar informe final con acciones correctivas. La evaluación y recomendaciones en un diagnóstico energético culmina proponiendo Medidas de Ahorro y Uso Eficiente de Energía (AUEE o MAEs) específicas, como reemplazo de iluminación LED, variadores de frecuencia en motores, aislamiento térmico o filtros de armónicos, priorizadas por rentabilidad mediante cálculo de ROI (Retorno de Inversión), VAN (Valor Actual Neto), TIR (Tasa Interna de Retorno) y Payback Period (tiempo de recuperación, típicamente 1-3 años para medidas simples). Los criterios de priorización incluyen la rentabilidad económica, clasificando AUEE por ahorro anual vs. costo inversión, seleccionando aquellas con payback <2 años y ROI >20% anual. Impacto ambiental mediante la reducción de emisiones CO₂ y cumplimiento normativo (ISO 50001, directivas EE). Factibilidad técnica como viabilidad operativa, compatibilidad con procesos y bajo riesgo de interrupción. El informe final incluye un resumen ejecutivo, hallazgos clave, cartera de proyectos con cronograma, presupuestos detallados, simulaciones de escenarios y plan de implementación con seguimiento post-ejecución para verificar ahorros reales del 15-40%.

4.5 Eficiencia energética eléctrica

Toda operación comercial e industrial (Sector educativo) es un sistema de transformación energético cuyos insumos son materia prima, mano de obra y propiamente energía para los sistemas de amoblamiento y locativos de la universidad, resultado de esta conversión son los bienes y desechos de material y energía. Para maximizar beneficios, las universidades buscan siempre mantener los costos de su implementación tan bajos como sea posible sin afectar el valor de su oferta académica, en el caso de la energía esto se consigue reduciendo su consumo o aumentando la cantidad de productos o servicios brindados, en otras palabras, Pérez Pinedo (2014) refiere que: La eficiencia energética se puede definir como las acciones que se planifican para lograr que los equipos alcancen el mayor rendimiento con el menor consumo de energía, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso y por tanto la protección del medio ambiente (p. 14). Anteriormente, el costo de la energía eléctrica frente a otros insumos era tan bajo que se ignoraba; sin embargo, recientemente los costos se han incrementado y la importancia de la eficiencia energética es un tema financiero.

4.6 Cultura energética.

El cambio las costumbres energéticas a nivel mundial está ya en desarrollo, según Andalucía Ecológica Medio Ambiente (2017), afirma que:

Es preciso que se implanten y se generalicen nuevas formas de gestión colectiva de necesidades, de sistemas urbanos y de las redes. esta nueva forma de vivir y producir necesita nuevas formas de organización social. En primer lugar, se necesita un reforzamiento cualitativo de la gestión colectiva. La política energética debe incorporarse activamente al proceso ordenador del territorio desde su inicio. La dimensión energética ha de introducirse en las decisiones básicas de crecimiento urbano y ordenación de usos para garantizar un desarrollo equilibrado y sostenible.

En las Universidades con sistemas de gestión recién implementados, son notorios los cambios en el comportamiento del personal y por ende en todo el ambiente laboral y académico, debido a que se vuelve obligatorio realizar toda acción acorde a dichos sistemas. Por ejemplo, con un

sistema de gestión de seguridad industrial y salud ocupacional, se vive una cultura de seguridad dentro de las empresas. Así mismo se está acuñando el término de cultura energética en aquellas organizaciones que tienen objetivos de uso racional de energía perseguidos a través de una cultura de ahorro de energía dentro de los miembros de la empresa.

Quienes viven en esta cultura energética, lo hacen dentro del marco de planes y políticas de ahorro de energía dentro de la empresa, además de tener constante concientización y capacitación en la adecuación de políticas energéticas, procedimientos de buen uso de la energía.

Este conjunto de estas acciones, crean una cultura de eficiencia en cada colaborador, ya que cada miembro es capaz de conocer el consumo de energía del cual es responsable, así como los objetivos energéticos y los resultados obtenidos en la organización en un plan de eficiencia energética, que tiene como objetivo proporcionar soluciones al exceso de consumo de energía y generar una cultura de cuidado al medio ambiente. Una cultura de responsabilidad energética dentro de los miembros de la organización que puede ser transmitida en hogares y comunidades y generar grupos organizados para el mismo, como un comité energético. Según Sánchez Vidal (2019):

Un comité de eficiencia energético se encarga de realizar las políticas y normas que permitan garantizar un buen uso de la energía, recopilación de consumos históricos, establecimiento de indicadores que permitan determinar el estado actual de la eficiencia energética y verificación de los consumos actuales de la empresa permitiendo identificar los excesos de estos en los procesos productivos

4.7 Energía y educación

Durante el desarrollo de la cultura energética, la educación es clave para privilegiar las actitudes de ahorro y conocimientos en energía, la educación energética, según García Labrada (2020):

Debe ser considerada como un proceso continuo de acciones pedagógicas dirigidas al desarrollo de un sistema de conocimientos, procedimientos, habilidades, comportamientos, actitudes y valores en relación con el uso sostenible de la energía. También, resaltar entre sus características, su marcado carácter interdisciplinario, su relación con la educación ambiental y

con los objetivos declarados desde la Conferencia Intergubernamental sobre Educación Ambiental celebrada en Tbilisi en 1977; por lo que se le concibe como uno de los objetivos de la educación en el currículo escolar.

5. Metodología

5.1 Tipo de proyecto

El tipo de alcance del proyecto es investigación experimental, por lo que se pretende obtener información detallada mediante la medición inteligente del servicio de energía eléctrica, en un determinado contexto o área específica, es decir, en este caso se desea conocer el perfil de consumo energético de la Universidad Autónoma Latinoamericana y así describir sus dimensiones, rasgos importantes y las variables con precisión en un contexto específico.

Nosotros mediante la investigación experimental durante del desarrollo del proyecto no se manipularán, ni controlara las variables, nos limitaremos a la observación y cuantificación de las variables tal como ocurre en su ambiente natural, es decir, se obtendrán los datos de forma directa para posteriormente ser analizados.

5.2 Método

La auditoría energética del sistema eléctrico de la universidad persigue la generación de unas recomendaciones de uso racional de la energía eléctrica, para lo cual se sigue un proceso con las siguientes fases:

Recolectar la información inicial. Se inicia con el contacto preliminar que conlleva a los primeros acuerdos y a establecer un protocolo para la primera visita a la universidad con el fin de obtener datos sobre consumos, costos de energía y de producción para mejorar el entendimiento de los factores que contribuyen a la variación de los índices energéticos de las instalaciones consumidoras de energía asociadas al sector educativo en el nivel universitario.

Analizar los datos obtenidos. Con los datos obtenidos del seguimiento del protocolo se llevan a cabo los trabajos de recopilación de datos sobre las instalaciones de la Universidad Autónoma Latinoamericana; en esta fase se debe recopilar la información disponible de las instalaciones y operación a auditar, la cual sea útil para la detección de las mejoras, tales como inventario energético, datos históricos ampliados y documentación de diseño.

Instalar los medidores remotos. Se debe establecer un protocolo para la instalación de los medidores remotos de energía eléctrica con el fin de garantizar su correcta instalación y transmisión de datos hacia el servidor. Con el fin de garantizar la correcta instalación, funcionamiento y transmisión de datos hacia el servidor de monitoreo.

Recolectar los datos medidos remotamente. Inicia con el seguimiento de la instalación y correcta operación de los medidores. Una vez completada la instalación física y la configuración inicial del analizador de redes. Esto se hace lanzando consultas mediante *Webservice* desde terminales remotos y verificando que las respuestas sean correctas.

Segmentar los datos recolectados. Se determinan variables cuantitativas y cualitativas, las primeras de tipo continuo ya que se harán mediciones en la variación en el nivel de utilización de la Universidad Autónoma Latinoamericana, consumo eléctrico, entre otros. Las variables cualitativas serán de tipo nominal, ya que se clasificarán los tipos de operaciones, usos y equipos instalados.

Analizar los datos recolectados. Durante esta fase, los estudiantes, como auditores energéticos establecen la situación de rendimiento energético existente para el objetivo auditado, así como la identificación de oportunidades de mejora energética. Se plasman los resultados en un informe y finalmente se presenta dicho informe en una reunión final.

Hacer recomendaciones de uso racional. Como resultado del trabajo se debe obtener los balances energéticos de las instalaciones consumidoras de energía. Identificar las áreas de oportunidad que ofrece potencial de ahorro de energía. Determinar y evaluar económicamente los volúmenes de ahorro alcanzables y las medidas técnicamente aplicables para lograrlo. Las unidades de análisis, para el desarrollo de la metodología de auditoría energética, serán los factores de consumo energético enmarcados en el proceso locativo, administrativo y educativo. principalmente el sistema de iluminación y de climatización.

5.3 Instrumentos de recolección de información.

7.3.1. Fuentes primarias: Documentos técnicos y normativos directamente relacionados con la gestión energética, guías metodológicas hechas por entidades gubernamentales nacionales e internacionales.

7.3.2. Fuentes secundarias: Documentos que analizan e interpretan información técnica y normativa relacionada con el consumo energético. Se incluyen artículos académicos y revistas especializadas y casos de estudio aplicados en auditorías industriales en otros sectores.

6. Resultados

El proyecto propuesto en la Universidad Autónoma Latino Americana se basa en el método de investigación lógico de tipo medición, basado en el uso del pensamiento en sus funciones de deducción, análisis y síntesis, ya que se planea medir directamente las variables para su posterior análisis de resultados. El proyecto recomendado es de observación y análisis de los datos medidos en la Universidad.

La metodología de auditoría energética es un procedimiento sistemático destinado para obtener conocimientos adecuados del perfil de consumo de energía existente de una edificación, de una instalación u operación industrial o comercial, o de un servicio privado o público, así como para determinar y cuantificar las posibilidades de ahorro de energía a un coste eficiente e informar al respecto.

La implementación de un sistema de auditoría energética permite obtener datos sobre consumos, costos de energía y de producción para mejorar. El entendimiento de los factores que contribuyen a la variación de los índices energéticos de las instalaciones consumidoras de energía. Obtener los balances energéticos de las instalaciones consumidoras de energía. Identificar las áreas de oportunidad que ofrece potencial de ahorro de energía. Determinar y evaluar económicamente los volúmenes de ahorro alcanzables y las medidas técnicamente aplicables para lograrlo.

6.1 Recolección inicial de información.

Para obtener datos sobre consumos, costos de energía y de producción para mejorar el entendimiento de los factores que contribuyen a la variación de los índices energéticos de las instalaciones consumidoras de energía asociadas al sector educativo en el nivel universitario, se debe establecer un protocolo de primera visita a las instalaciones de la universidad. Así se logra obtener los balances energéticos de las instalaciones consumidoras de energía. Identificar las áreas de oportunidad que ofrece potencial de ahorro de energía, determinar y evaluar económicamente los volúmenes de ahorro alcanzables y las medidas técnicamente aplicables para lograrlo.

Tabla 1. *Protocolo de trabajo para la primera visita.*

Actividad	Funcionario de contacto
Contactar al responsable designado por la empresa.	Ej. jefe de mantenimiento o electricista designado
Definir el alcance de la auditoria	Es un acuerdo entre el asesor y la entidad a intervenir
Recolectar la información inicial de la organización	Facturas de energía eléctrica
	Planos eléctricos y de distribución de planta
	Inventario preliminar de equipos principales
	Horarios de trabajo y turnos
Producción mensual promedio ó sesiones de clase	
Confirmar si existe un plan de gestión energética previo	
Identificar grandes consumidores de energía	Sistemas de iluminación.
	Motores y compresores.
	Calderas y sistemas de climatización.
	Maquinaria de producción crítica.
Tomar notas y fotografías (con autorización).	
Identificar hábitos y prácticas	Revisar uso de iluminación en áreas con luz natural.
	Observar si los equipos están encendidos sin estar en uso.
	Revisar ventilación y climatización en oficinas y planta.
Tomar mediciones rápidas (diagnóstico inicial)	Medir corriente, voltaje y factor de potencia en el tablero principal.
	Revisar cargas críticas con pinza amperimétrica.
	Medir niveles de iluminación en áreas representativas (oficinas, talleres, almacén).
	Verificar temperatura en equipos de alta carga (con termómetro infrarrojo).
Entrevistas cortas con el personal	Preguntar a operarios sobre rutinas de encendido/apagado de equipos.
	Consultar sobre problemas frecuentes (bajones de energía, sobrecalentamiento de máquinas).
	Escuchar sugerencias del personal para ahorro energético.
	Identificar posibles áreas de oportunidad rápida

Fuente: elaboración propia.

La tabla 1 muestra el protocolo para la primera visita a la universidad con el fin de obtener datos sobre consumos, costos de energía y de producción para mejorar el entendimiento de los

factores que contribuyen a la variación de los índices energéticos de las instalaciones consumidoras de energía asociadas al sector educativo en el nivel universitario, orientados a garantizar la continuidad en la prestación del servicio.

El propósito de la visita inicial es reconocer las condiciones generales de la infraestructura eléctrica, recolectar información documental y levantar el inventario de cargas de los principales sistemas consumidores. En esta fase se efectúan entrevistas con personal operativo y de mantenimiento, revisión de planos eléctricos, y se verificación de las condiciones de operación de los equipos de climatización, iluminación y laboratorios.

6.2 Análisis de los datos obtenidos en la visita.

El levantamiento de los datos de consumo, costos de energía y potencia instalada, mediante un aforo detallado de cargas, presentado en la tabla 2, es fundamental para estructurar el análisis energético del bloque de ingeniería. A través del inventario técnico, la revisión de placas características, entrevistas con el personal, se identificó la distribución real de los equipos y sus patrones de uso.

Este proceso permitió determinar que la potencia instalada asciende a 52.79 kW, distribuida en 127 equipos entre climatización, luminarias, computadores y sistemas auxiliares, aportando una visión precisa del peso energético de cada grupo.

Tabla 2. *Aforo de cargas para medición de potencia*

Ítem	Carga	Cantidad.	Potencia (W)	Total (W)
1	Aires acondicionados	6	4.5	27
2	Computadores	30	0.2	6.0
3	Luminarias de 3 x 32 w	48	0.15	7.2
4	Pequeñas máquinas	11	0.1	1.1

Fuente: Elaboración propia

El análisis del aforo evidenció que los sistemas de climatización representan el 51% de la carga instalada, mientras que las luminarias y las otras cargas aportan el 13% y 15%, respectivamente. Esta información facilita priorizar acciones correctivas como la optimización de

los equipos de aire acondicionado y la modernización de la iluminación. La relación entre la potencia instalada y la potencia realmente utilizada mostró un factor de uso típico de ambientes académicos, lo que contribuye a identificar oportunidades de mejora y proyectar el impacto de futuras inversiones en eficiencia.

Tabla 3. *Historia de consumo area a intervenir*

Parámetro	Unidad	Sema na 1	Sema na 2	Sema na 3	Sema na 4	Promedio general	Observaciones
Tensión promedio L-N	V	119.4	118.7	120.3	119.8	119.5	Dentro del rango normativo (CREG 025/1995).
Corriente promedio por fase	A	42.1	44.6	41.7	43.3	42.9	Equilibrada, ligera variación en fase S.
Factor de potencia promedio	—	0.85	0.84	0.86	0.87	0.85	Se recomienda compensación reactiva.
Potencia activa promedio	kW	51.2	53.0	49.7	52.5	51.6	Comportamiento estable con picos horarios.
Potencia reactiva promedio	kVAr	30.1	31.6	28.8	29.4	30.0	Alta presencia de cargas inductivas.
Energía activa consumida	kWh	8,230	8,475	8,015	8,260	8,245	Aumento del 3% durante la segunda semana.
Total energía reactiva	kVArh	4,725	4,890	4,630	4,780	4,756	Indicador de baja eficiencia.
Nivel de armónicos (THD promedio)	%	5.2	5.5	4.8	5.1	5.2	Dentro de límites admisibles (<8%).
Pérdidas por desequilibrio de carga	%	2.1	1.8	2.3	1.9	2.0	Ligeramente superior al recomendado ($\leq 1.5\%$).
Consumo fuera de horario laboral	% total	9.8	10.3	9.5	10.1	9.9	Cargas pasivas conectadas permanentemente.

Fuente: Elaboración propia

La tabla 3 presenta una síntesis de los principales resultados obtenidos durante la auditoría energética, consolidando los valores medidos, las observaciones técnicas y las condiciones reales

de operación del sistema eléctrico. Allí se integran los parámetros más relevantes registrados durante el monitoreo, como tensiones por fase, corrientes, potencias activas–reactiva–aparente, factor de potencia, balance de cargas y comportamiento de los equipos en condiciones normales de trabajo.

Esta información permite visualizar de manera comparativa el estado actual de la instalación y facilita la identificación de desviaciones, sobrecargas, desequilibrios o ineficiencias presentes en la distribución eléctrica.

El resumen técnico de la tabla sirve como base para evaluar la calidad del suministro, determinar la eficiencia de cada grupo de cargas y establecer las oportunidades de mejora energética. Gracias a esta recopilación, fue posible reconocer los puntos críticos con mayor impacto en el consumo, validar los patrones operativos registrados por el sistema de monitoreo y fundamentar las recomendaciones técnicas propuestas al final del informe. En conjunto, la tabla constituye una visión general del desempeño energético de la planta y un insumo fundamental para la toma de decisiones y la planificación de acciones correctivas.

6.3 Instalación de los medidores remotos.

Posteriormente, se llevó a cabo la instalación del analizador de redes Siemens PAC3120 en el tablero principal del bloque de ingeniería, siguiendo las normas técnicas de seguridad y los procedimientos definidos en el protocolo de instalación. Este dispositivo permitió registrar de manera continua los parámetros eléctricos más relevantes, tales como tensión, corriente, factor de potencia, energía activa y reactiva, frecuencia y armónicos.

Para llevar a cabo la instalación de los medidores remotos de energía eléctrica, es necesario establecer un protocolo con fin de garantizar su correcta instalación y transmisión de datos hacia el servidor. Se estableció un protocolo técnico, de instalación de medidores remotos de energía eléctrica, presentado en la tabla 4, basado en las buenas prácticas de instrumentación y en los lineamientos del fabricante Siemens. Este procedimiento se aplicó durante la implementación del analizador de redes PAC3120, instalado en el tablero principal del bloque de ingeniería de la Universidad Autónoma Latinoamericana.

Tabla 4. *Protocolo de instalación del medidor remoto*

Verificación inicial
Confirme que el equipo esté en buen estado físico, sin daños visibles.
Revise que cuente con los accesorios necesarios: manual, tornillería y conectores.
Asegúrese de disponer de herramientas adecuadas: destornilladores aislados, guantes dieléctricos, multímetro, cinta de marcación y un celular con Bluetooth.
Condiciones de seguridad
Des energice el tablero eléctrico antes de iniciar.
Verifique ausencia de tensión con el multímetro.
Señalice la zona de trabajo (candado o etiqueta si es necesario).
Use EPP: guantes, gafas y calzado de seguridad.
Instalación física del equipo
Fije el medidor en el tablero o superficie designada.
Conecte las entradas de medición
Fases L1, L2, L3 y neutro según el esquema de instalación
Asegúrese de usar conductores del calibre correcto y ajuste firme de bornes
Instale los sensores de corriente (TCs) en cada fase, cuidando la orientación
Cierre la caja y asegure la tapa
Encendido y prueba eléctrica
Energice nuevamente el tablero.
Verifique en la pantalla que el equipo enciende y muestra parámetros básicos (voltaje, corriente, potencia).
Compruebe que no existan alarmas iniciales.
Configuración de red vía Bluetooth
Active el Bluetooth en el celular y empareje con el medidor.
Instale y abra la aplicación móvil correspondiente al medidor.
En la app, busque y seleccione el dispositivo.
Ingrese las credenciales de la red WiFi (SSID y contraseña).
El equipo guardará la configuración y se conectará a Internet automáticamente.
Verifique desde la App que el estado de conexión sea correcto (dispositivo en estado conectado).
Validación final
Confirme que los datos son visibles en el <i>dashboard</i> o en la aplicación móvil.
Realice un ciclo de apagado y encendido para comprobar que la configuración WiFi se conserva.
Entregue al cliente usuario y contraseña para el acceso remoto si aplica.

Fuente: elaboración propia.

El protocolo definió las siguientes etapas principales:

Preparación previa del sitio: se verificaron las condiciones del entorno de instalación, garantizando ventilación adecuada, ausencia de vibraciones y temperatura ambiente dentro del rango operativo (0 °C a 55 °C). Asimismo, se revisó la integridad del tablero eléctrico, la accesibilidad al punto de medición y la disponibilidad de los conductores de alimentación y comunicación.

Verificación del equipo y accesorios: se comprobó el estado físico del analizador PAC3120, su número de serie, la integridad de los bornes y del display LCD, y se reunieron los accesorios necesarios: transformadores de corriente (TCs), conductores, etiquetas, conectores, herramientas aisladas y elementos de protección personal.

Montaje físico del equipo: el medidor se instaló en el panel frontal del tablero, asegurando un mínimo de 50 mm de espacio lateral para ventilación y evitando interferencias electromagnéticas. Se fijó mecánicamente el dispositivo verificando nivelación y visibilidad del display para su lectura directa.

Conexiones eléctricas: alimentación auxiliar: bornes 13 (+) y 14 (–), tensión 85–265 VAC. Entradas de tensión: L1 → borne 1, L2 → borne 2, L3 → borne 3, N → borne 4. Entradas de corriente: TC1 → bornes 5–6, TC2 → bornes 7–8, TC3 → bornes 9–10. Se verificó la polaridad de las fases y el correcto sentido de las corrientes antes de energizar el sistema, evitando dejar secundarios de TCs abiertos durante la conexión.

Configuración inicial y calibración: una vez energizado el medidor, se accedió al menú de configuración (Setup) para parametrizar la relación de TCs y TPs, la frecuencia de red (60 Hz), el tipo de conexión (estrella) y los parámetros de comunicación (dirección Modbus, velocidad y paridad). Se validaron los valores medidos de tensión y corriente frente a instrumentos patrón, garantizando la precisión del dispositivo.

Verificación de transmisión de datos: se conectó el analizador al sistema de monitoreo remoto, comprobando la lectura continua de variables eléctricas (potencia activa, reactiva, factor de potencia, THD, energía acumulada). Los datos fueron almacenados en el servidor, asegurando una transmisión estable y sin pérdida de paquetes. Los datos obtenidos en la aplicación de la auditoría energética a la Universidad Autónoma Latinoamericana serán el punto de partida para fijar objetivos de eficiencia energética, aportando información de suma relevancia y valor para la

toma de decisiones a nivel estratégico, también permitirá determinar el tipo de gestión requerida para minimizar los riesgos de la organización asociados a la eficiencia energética.

Este procedimiento permitió garantizar la trazabilidad y confiabilidad de los datos eléctricos registrados durante la auditoría energética, asegurando una medición precisa, continua y compatible con futuros sistemas de gestión energética de la universidad. Asimismo, establece una metodología replicable para futuras instalaciones de medidores inteligentes en otros bloques o dependencias institucionales.

Para el desarrollo de la auditoría energética se empleó un analizador de redes Dracmon-3, un dispositivo de medición trifásico que permite registrar variables como tensión, corriente, potencia activa/reactiva, armónicos y energía acumulada.

En la Figura 1 se presenta el plano detallado de la conexión de las tres fases, el neutro, la alimentación auxiliar, los transformadores de corriente y el canal de comunicación Wifi.

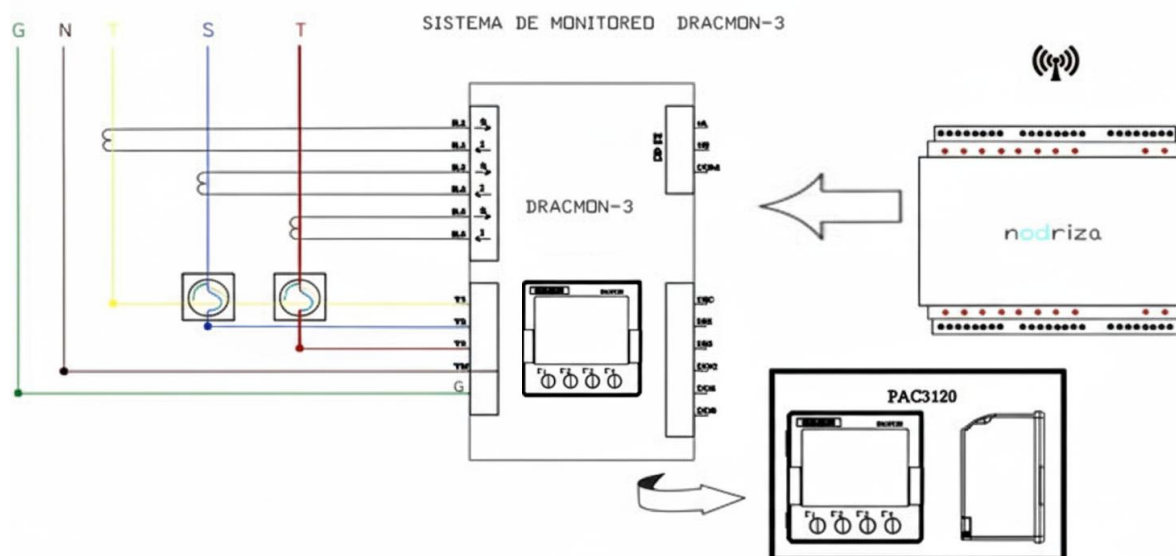


Figura 1. Mapa de conexión del medidor remoto de variables eléctricas.

Fuente: diseño propio.

Para comprender las rutinas de funcionamiento, el comportamiento de los usuarios y su impacto en el consumo de energía y la eficiencia energética es necesario identificar medidas de mejora preliminares, detectar los puntos a monitorizar (medición de consumos y/o rendimientos) necesarios para realizar el análisis posterior y que ayudarán a cuantificar las inversiones y los ahorros producidos.

Para el desarrollo de la auditoría energética se empleó un analizador de redes Dracmon-3, un dispositivo de medición trifásico que permite registrar variables como tensión, corriente, potencia activa/reactiva, armónicos y energía acumulada. En la Figura 1 se presenta la imagen del equipo utilizado, lo que permite al lector identificar físicamente el instrumento de campo y comprender su relevancia dentro del proceso de monitoreo.

El seguimiento de la instalación y correcta operación de los medidores se realiza una vez completada la instalación física y la configuración inicial del analizador de redes Siemens PAC3120, para tal fin se llevó a cabo una fase de seguimiento técnico con el propósito de verificar la correcta operación de los medidores, la integridad de las conexiones eléctricas y la fiabilidad de la transmisión de datos hacia el servidor de monitoreo. Esta etapa es esencial para confirmar que los dispositivos cumplen con las condiciones de funcionamiento establecidas y que la información recolectada durante la auditoría energética era precisa, estable y representativa del consumo real de la instalación.

Verificación de la instalación física: en la primera fase del seguimiento se realizó una inspección visual y funcional del montaje, confirmando: La correcta fijación del medidor al tablero y la ausencia de sobrecalentamientos. La adecuada ventilación del compartimiento y el cumplimiento de la distancia mínima de seguridad entre componentes. El correcto apriete de bornes de tensión y corriente, evitando falsos contactos o riesgos de calentamiento. La integridad de los transformadores de corriente (TCs) y la correcta orientación de sus secundarios. Durante esta verificación se revisan también las etiquetas de identificación, la numeración de los conductores y el orden de fases, asegurando que coincidiera con la configuración establecida en el dispositivo.

Pruebas eléctricas de funcionamiento: Posteriormente se ejecutan pruebas de medición comparativa utilizando instrumentos patrón (multímetro y pinza amperimétrica) con el fin de validar las lecturas obtenidas por el medidor PAC3120. Se verifican los siguientes parámetros: Tensión por fase (L1, L2, L3), Corriente de línea, Factor de potencia y frecuencia, Potencia activa y reactiva instantánea

Las mediciones registradas presentan desviaciones inferiores al 2 % respecto a los equipos patrón, confirmando la correcta calibración del medidor y su confiabilidad para el análisis energético posterior.

Monitoreo de transmisión de datos: una vez comprobado el funcionamiento eléctrico, se valida la transmisión de datos mediante la interfaz RS-485 bajo protocolo Modbus RTU. Se observa la comunicación estable con el servidor local de registro, garantizando la actualización continua de variables cada 10 segundos. Los datos medidos incluyen tensión, corriente, potencia, energía activa/reactiva y factor de potencia, que fueron almacenados en la base de datos del sistema de monitoreo remoto.

Durante las primeras 48 horas se efectúa un seguimiento de estabilidad de red y validación de paquetes de datos, sin detectarse pérdidas de comunicación o lecturas erróneas. Revisión operativa y validación del registro. En los días posteriores, se efectuaron visitas técnicas de control para comprobar: La consistencia de las lecturas históricas del servidor con los valores mostrados en el display del medidor y su correspondencia con los valores obtenidos de las lecturas remotas.

La ausencia de alarmas o desconexiones: la correcta actualización de las lecturas acumuladas de energía activa (kWh) y reactiva (kVArh). Adicionalmente, se verifica el comportamiento del factor de potencia y el perfil de carga diario, asegurando que el equipo capturara adecuadamente los picos de demanda y los periodos de baja actividad. Este proceso confirma que el analizador opera dentro de los márgenes técnicos definidos por el fabricante del medidor multifuncional de variables eléctricas.

Reporte y documentación del seguimiento: finalmente, se elabora un registro técnico de seguimiento, que incluye capturas del software de monitoreo, tablas de valores registrados y observaciones de campo. Todo esto consolida los resultados de verificación, estableciendo evidencia del funcionamiento estable y continuo del medidor remoto durante todo el periodo de medición.

Este seguimiento permite garantizar la fiabilidad y trazabilidad de los datos eléctricos obtenidos, asegurando que los resultados de la auditoría energética sean técnicamente válidos y representativos. Además, constituye la base para definir los indicadores de desempeño energético (IDEn) y para generar la línea base de consumo sobre la cual se evalúan futuras mejoras y proyectos de eficiencia energética en la universidad.

6.4 Recolección de los datos medidos remotamente.

El sistema permaneció en funcionamiento durante un período aproximado de cuatro semanas, tiempo en el cual se recolectó información suficiente para realizar el balance energético preliminar del edificio auditado. Los datos obtenidos evidenciaron los siguientes aspectos:

La tensión promedio se mantuvo dentro de los límites establecidos por la Regulación CREG 025 de 1995, con leves fluctuaciones durante los picos de carga en horario diurno. El factor de potencia promedio se ubicó entre 0.84 y 0.88, evidenciando una necesidad de corrección mediante bancos de condensadores o estrategias de compensación reactiva. Se detectaron niveles moderados de armónicos en la red, especialmente en equipos electrónicos y sistemas de iluminación LED sin filtros adecuados. El sistema de iluminación representó el mayor porcentaje del consumo total medido (entre 38 % y 42 %), seguido por los equipos de climatización y los laboratorios. Se identificaron cargas en operación continua fuera del horario académico, lo cual sugiere oportunidades de ahorro mediante control de horarios y sensores de presencia.

Con base en la información analizada, se elaboró el perfil de consumo energético diario y semanal, evidenciando un patrón típico de incremento en las horas de mayor actividad académica (de 8:00 a. m. a 6:00 p. m.) y un descenso significativo en horas nocturnas.

El consumo base observado durante los fines de semana indica la existencia de cargas pasivas que permanecen energizadas, representando un consumo innecesario de aproximadamente 10 % del total semanal.

El proceso permitió además establecer la línea base energética de la universidad, que servirá como referencia para la formulación de planes de mejora y estrategias de gestión energética institucional. Estos resultados confirman la importancia de implementar un sistema de monitoreo continuo, políticas internas de uso racional de la energía y programas de sensibilización dirigidos a la comunidad universitaria.

El balance energético pone de manifiesto las interrelaciones entre la oferta, transformación y uso final de la energía y representa un instrumento relevante para la organización y presentación de datos en la planificación energética global. Además, contabiliza flujos físicos consistentes que van desde la energía primaria hasta el consumo final.

6.5 Segmentación de los datos recolectados.

El análisis de las mediciones realizadas durante las cuatro semanas de seguimiento evidencia una estabilidad eléctrica general en las tres fases del sistema, con tensiones promedio entre 117,8 V y 120,8 V, lo cual se encuentra dentro de los márgenes de tolerancia establecidos por la Regulación CREG 025 de 1995 ($\pm 5\%$ respecto a 120 V nominal). Esto indica un adecuado comportamiento del transformador de acometida y una correcta distribución de cargas.

Tabla 5. *Medidas del medidor remoto.*

Semana	Voltaje Fase A (V)	Voltaje Fase B (V)	Voltaje Fase C (V)	Promedio General (V)	Potencia Fase A (kW)	Potencia Fase B (kW)	Potencia Fase C (kW)	Potencia Total Promedio (kW)	Observaciones
Semana 1 (Junio 2025)	118.9	119.4	120.1	119.5	16.2	17.1	16.8	50.1	Sistema estable, ligera variación entre fases.
Semana 2 (Julio 2025)	117.8	118.5	119.3	118.5	17.3	18.0	17.1	52.4	Incremento de carga por alta ocupación académica.
Semana 3 (Septiembre 3, 2025)	119.6	120.3	120.8	120.2	15.9	16.5	16.3	48.7	Reducción de consumo por menor uso de talleres.
Semana 4 (Septiembre 10, 2025)	118.7	119.5	120.0	119.4	16.5	16.9	16.2	49.6	Comportamiento normal, sin sobrecargas detectadas.

Fuente: elaboración propia.

Según se observa en la tabla 5, la potencia promedio trifásica osciló entre 48,7 kW y 52,4 kW, evidenciando una variación de carga de aproximadamente 7,6 % entre semanas.

Este comportamiento se correlaciona con el nivel de ocupación académica del bloque de ingeniería, donde los picos de demanda coinciden con los horarios de clases y prácticas de

laboratorio. El equilibrio de potencia entre fases se mantuvo dentro de un desequilibrio menor al 2 %, considerado técnicamente aceptable para sistemas de baja tensión.

Los valores registrados sugieren una curva de carga estable con una relación directa entre los periodos de mayor ocupación y el incremento de la demanda activa. Este patrón permitirá definir con precisión la línea base energética del bloque, fundamental para la implementación de futuros programas de gestión energética bajo los lineamientos de la Norma ISO 50001:2018.

Se recomienda complementar el monitoreo con registros de corriente de neutro y distorsión armónica total (THD) para detectar posibles desbalances o armónicos provenientes de cargas electrónicas (equipos de cómputo, iluminación LED, variadores de frecuencia), los cuales podrían afectar la calidad del suministro y la eficiencia global del sistema.

En conjunto, los datos demuestran que la instalación presenta un buen desempeño eléctrico, sin anomalías críticas, y que existen condiciones óptimas para avanzar hacia la optimización del factor de potencia y la reducción de pérdidas técnicas, mediante la implementación de bancos de compensación y control de demanda.

Para obtener los balances energéticos de las instalaciones consumidoras de energía, identificar las áreas de oportunidad que ofrece potencial de ahorro de energía, determinar y evaluar económicamente los volúmenes de ahorro alcanzables y las medidas técnicamente aplicables para lograrlo, se debe realizar el análisis de los datos registrados por el medidor remoto Siemens PAC3120 durante las cuatro semanas de medición, para elaborar un balance energético integral del sistema eléctrico del bloque de ingeniería de la Universidad Autónoma Latinoamericana de la ciudad de Medellín.

Dicho balance establece la relación entre la energía suministrada, la energía útil aprovechada y las pérdidas técnicas o ineficiencias presentes en la instalación.

6.6 Análisis de los datos recolectados.

El análisis de los datos obtenidos conlleva a la obtención de la información de consumo de la energía eléctrica correspondientes a cuatro semanas de medición con el medidor remoto. El balance energético general establece que la energía activa total registrada en el periodo fue de

aproximadamente 33.9 MWh, con una potencia promedio de 50.2 kW y una demanda máxima de 62.4 kW. El factor de potencia promedio (0.85) evidenció un consumo con presencia moderada de potencia reactiva, principalmente asociada a equipos inductivos como motores de taller, sistemas de climatización y luminarias fluorescentes.

El balance energético se estructuró considerando las principales áreas consumidoras: talleres y laboratorios de ingeniería: 58 % del consumo total, sistemas de climatización y ventilación: 18 % del consumo total, iluminación general y periférica: 15 % del consumo total, equipos de cómputo y periféricos: 6 % del consumo total, otras cargas menores: 3 % restante. La eficiencia global del sistema se estimó en 92 %, tomando en cuenta las pérdidas por calentamiento de conductores, desbalances menores entre fases y potencia reactiva no compensada.

El balance energético pone de manifiesto las interrelaciones entre la oferta, transformación y uso final de la energía y representa un instrumento relevante para la organización y presentación de datos en la planificación energética global. Además, contabiliza flujos físicos consistentes que van desde la energía primaria hasta el consumo final.

Como parte del análisis de resultados derivados de la medición y monitoreo energético realizados en el bloque de ingeniería de la Universidad Autónoma Latinoamericana, se elaboró un balance energético integral que permitió comprender la forma en que la energía eléctrica es suministrada, transformada y utilizada dentro de las instalaciones. Este balance constituye un instrumento técnico de gran relevancia para la organización y planificación energética institucional, ya que pone de manifiesto las interrelaciones entre la oferta, la conversión de la energía en trabajo útil y las pérdidas inherentes a los procesos eléctricos y mecánicos presentes en el campus universitario.

El balance energético parte del principio de que toda la energía que ingresa a un sistema debe distribuirse entre tres componentes fundamentales: energía útil aprovechada, energía transformada o almacenada temporalmente, y energía disipada en forma de pérdidas. En este contexto, la información obtenida mediante el medidor Siemens PAC3120 permitió cuantificar de manera detallada los flujos de energía, su distribución entre las distintas áreas consumidoras y las ineficiencias que pueden ser corregidas mediante estrategias de gestión energética.

Durante el periodo de cuatro semanas de monitoreo continuo, la energía activa total suministrada al bloque de ingeniería fue de aproximadamente 33.9 MWh, con una potencia

promedio de 50.2 kW y una demanda máxima de 62.4 kW. El factor de potencia promedio fue de 0.85, lo que refleja la existencia de una carga predominantemente inductiva y la necesidad de incorporar un sistema de compensación reactiva para mejorar la eficiencia eléctrica global. A partir de estos registros se evidenció que cerca del 92 % de la energía suministrada se convirtió en energía útil, mientras que el 8 % restante correspondió a pérdidas por calentamiento de conductores, corrientes de desequilibrio y reactivos no aprovechables.

El análisis del balance energético permitió también caracterizar los principales centros de consumo dentro de la instalación. Los talleres y laboratorios concentraron alrededor del 58 % del consumo total, seguidos por los sistemas de climatización y ventilación (18 %), iluminación general (15 %), equipos de cómputo (6 %) y cargas menores (3 %). Este patrón de consumo refleja una clara dependencia del sistema eléctrico respecto a las actividades académicas y prácticas de los programas de ingeniería, lo cual confirma la necesidad de aplicar políticas de eficiencia energética en las áreas de mayor demanda.

Desde un punto de vista técnico, el balance energético pone en evidencia la relación directa entre la oferta y el uso final de la energía, mostrando que la mayor proporción de la energía activa consumida se transforma en potencia mecánica o térmica, mientras una fracción menor se pierde en forma de calor o reactividad eléctrica. Estas pérdidas, aunque esperables en sistemas de media ocupación, pueden reducirse mediante acciones de optimización operativa, mantenimiento preventivo y control de cargas no críticas.

El equilibrio entre fases se mantuvo dentro de márgenes aceptables (desequilibrio inferior al 2.3 %), lo que indica una correcta distribución de cargas entre líneas. Sin embargo, el análisis reveló picos de corriente en horarios de máxima demanda, asociados al uso simultáneo de máquinas herramienta, aire acondicionado y luminarias. Dichos picos incrementan el consumo energético y las pérdidas resistivas, por lo que se recomienda la implementación de sistemas de gestión de demanda (EMS) y la secuenciación automática de cargas.

El balance energético consolidado permitió además estimar la eficiencia global del sistema en torno al 92 %, un valor adecuado para entornos educativos, pero con potencial de mejora hacia niveles de 96 % mediante la corrección de potencia reactiva y la sustitución tecnológica de equipos antiguos. Este análisis también facilita la construcción de una línea base energética, que servirá como referencia para la medición del desempeño en futuras auditorías y para el diseño de

un Plan de Eficiencia Energética Institucional acorde con los lineamientos de la Norma ISO 50001:2018. Los resultados presentados se obtuvieron utilizando el script agregado al anexo del presente documento.

Desde el punto de vista metodológico, el balance energético permitió visualizar los flujos de energía desde la fuente primaria hasta el consumo final, contabilizando la energía suministrada por la red, la transformada por los equipos y la disipada en forma de pérdidas térmicas o eléctricas. De esta manera, el sistema energético del bloque de ingeniería puede representarse como una cadena de procesos interdependientes, donde la energía eléctrica suministrada se convierte sucesivamente en energía mecánica (en los equipos de laboratorio), energía lumínica (en los sistemas de iluminación), energía térmica (en los aires acondicionados) y energía residual (pérdidas y reactivos).

Esta caracterización facilita la elaboración de indicadores energéticos, tales como el Índice de Eficiencia Energética (IEE), que expresa la relación entre la energía útil y la energía total suministrada, o el Índice de Consumo Específico (ICE), que permite relacionar el consumo energético con la superficie del edificio o el número de usuarios. La implementación de estos indicadores es clave para el seguimiento continuo del desempeño energético y para la evaluación objetiva de los resultados de los programas de eficiencia.

6.7 Recomendaciones de uso racional de la energía eléctrica.

En síntesis, los resultados obtenidos validan la efectividad de la metodología aplicada, evidenciando la utilidad práctica de las auditorías energéticas en entornos educativos y demostrando que, mediante pequeñas acciones correctivas, es posible alcanzar reducciones significativas en el consumo eléctrico y en los costos operativos, contribuyendo así a la sostenibilidad institucional y ambiental.

A partir del balance realizado, se identificaron oportunidades técnicas y económicas de mejora, entre ellas: sustitución de luminarias fluorescentes por tecnología LED, con potencial de ahorro superior al 50 % en iluminación. instalación de bancos automáticos de condensadores para mejorar el factor de potencia a 0.95 o superior, reduciendo penalizaciones tarifarias, incorporación de temporizadores y controles de presencia en sistemas de climatización e

iluminación, monitoreo remoto permanente de consumos mediante integración de los medidores PAC3120 en una red SCADA institucional.

La evaluación económica de estas medidas arroja un ahorro potencial estimado del 8 al 12 % del consumo anual, equivalente a aproximadamente 23.000 kWh/año, con una recuperación de inversión proyectada en menos de 24 meses. Esto demuestra que el balance energético no solo cumple una función diagnóstica, sino que constituye una herramienta estratégica para la toma de decisiones financieras y técnicas en eficiencia energética.

En síntesis, el balance energético elaborado en el marco de la presente auditoría permitió evidenciar el comportamiento real del sistema eléctrico universitario, cuantificar las pérdidas energéticas y proponer medidas de optimización basadas en datos verificables. Al contabilizar los flujos desde la energía primaria hasta el consumo final, el balance se consolida como una herramienta esencial para la gestión energética institucional, proporcionando una visión clara de cómo la universidad puede avanzar hacia una operación más eficiente, sostenible y alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 7 y 13).

Los datos obtenidos en la aplicación de la auditoría energética a la Universidad Autónoma Latinoamericana serán el punto de partida para fijar objetivos de eficiencia energética, aportando información de suma relevancia y valor para la toma de decisiones a nivel estratégico. Este proceso permite transformar la información técnica en acciones concretas, adaptadas a la realidad operativa y humana de la organización.

A partir del análisis detallado de las mediciones realizadas durante cuatro semanas mediante el sistema remoto del analizador Siemens PAC3120, es posible comprender de manera profunda el comportamiento energético del bloque de ingeniería en distintos horarios, días y condiciones de ocupación. Los registros – que incluyen parámetros como voltaje, corriente, factor de potencia y energía consumida – han sido verificados y contrastados para asegurar su confiabilidad, siendo ahora la base que sustenta cada recomendación.

Gracias a esta información, la Universidad puede identificar de manera precisa cuáles son los equipos y sistemas que más inciden en el consumo, los horarios de mayor demanda, y los principales hábitos de uso de los espacios por parte de estudiantes y personal administrativo. Este conocimiento no solo habilita la posibilidad de establecer metas cuantificables (como la mejora

del factor de potencia o la reducción del consumo fuera del horario académico), sino que también facilita la detección de oportunidades de ahorro energético y mejora continua.

Además, el informe revela comportamientos humanos y rutinas cotidianas que pueden representar riesgos o potenciales de optimización, como la permanencia de equipos encendidos fuera de uso, el funcionamiento simultáneo de sistemas de climatización e iluminación, y el desconocimiento general sobre indicadores energéticos. Al reconocer estos aspectos, se hace evidente la importancia de combinar estrategias tecnológicas con programas de formación, sensibilización y gestión del cambio cultural en la comunidad universitaria.

Finalmente, esta auditoría permite a la organización anticipar los efectos de sus decisiones sobre la productividad, los costos operativos y el impacto ambiental. Los datos definitivos aquí consolidados no sólo presentan el estado actual, sino que abren la puerta para actualizaciones periódicas, comparaciones históricas y el desarrollo de una visión institucional sostenible a largo plazo. En suma, la gestión energética deja de ser solo un reto técnico y se convierte en una oportunidad estratégica para construir un entorno universitario responsable, eficiente y alineado con las mejores prácticas internacionales.

Comprender las rutinas de funcionamiento, el comportamiento de los usuarios y su impacto en el consumo de energía y la eficiencia energética es un proceso fundamental para lograr una transformación sostenible dentro de la institución. A través del análisis profundo de los registros de medición remota y la observación directa de la dinámica cotidiana en el bloque de ingeniería, es posible identificar los patrones y hábitos que determinan el perfil energético de la Universidad Autónoma Latinoamericana.

Uno de los elementos más relevantes detectados durante la auditoría fue la estrecha relación entre la ocupación de los espacios y los picos de consumo eléctrico, evidenciados especialmente en las franjas horarias de mayor actividad académica (12pm – 6pm) donde la demanda alcanza su máximo. Por otro lado, se observó un consumo base persistente durante la madrugada y la noche, asociado al uso extendido de equipos informáticos, iluminación de seguridad y sistemas de refrigeración. Este comportamiento revela la importancia de analizar no solo los horarios programados de clase, sino también las rutinas de mantenimiento, la cultura organizacional y la disposición operativa del personal y de los estudiantes.

El informe destaca conductas específicas que impactan de manera significativa la eficiencia energética, como la permanencia de computadores encendidos fuera de horario laboral, la utilización simultánea de sistemas de climatización e iluminación en zonas desocupadas, y el bajo nivel de conocimiento sobre indicadores energéticos entre la comunidad universitaria. Identificar estas prácticas permite proponer medidas de mejora preliminares orientadas tanto a la optimización técnica como al cambio cultural, tales como la implementación de sensores de presencia en áreas comunes, campañas de sensibilización, protocolos automáticos de apagado, y la capacitación sistemática del personal encargado del mantenimiento.

Además, el proceso de auditoría ha sido clave para detectar los puntos críticos de consumo que requieren monitoreo continuo, como laboratorios con alta demanda, salas de cómputo y áreas de climatización centralizada. La instalación de medidores secundarios y la implementación de una plataforma de gestión energética en tiempo real garantizarán la trazabilidad de los datos y permitirán a la universidad cuantificar de manera precisa las inversiones realizadas y los ahorros obtenidos en cada intervención.

En síntesis, poner el foco en las rutinas y el comportamiento humano no solo ayuda a dimensionar el desafío técnico y estratégico sino también a construir una cultura institucional consciente, responsable y capaz de liderar procesos de mejora continua. El trabajo conjunto entre el análisis de datos, la observación de prácticas cotidianas y el monitoreo constante, abre la puerta a una gestión energética moderna, eficiente, y alineada con las mejores prácticas y estándares internacionales.

7. Conclusiones

El desarrollo de la presente auditoría energética permitió establecer una visión técnica integral del comportamiento eléctrico del bloque de ingeniería de la Universidad Autónoma Latinoamericana, logrando cuantificar con precisión los principales flujos de energía, sus puntos de consumo y las oportunidades de mejora asociadas al uso eficiente de la electricidad. Los resultados obtenidos durante las cuatro semanas de medición con el analizador Siemens PAC3120 proporcionaron información confiable para diagnosticar el estado actual del sistema y definir estrategias orientadas hacia una gestión energética más sostenible y eficiente.

En primer lugar, se evidenció que el sistema eléctrico del bloque de ingeniería presenta condiciones operativas adecuadas en cuanto a estabilidad de tensión, equilibrio de fases y continuidad del suministro. Los valores de voltaje promedio (entre 117,8 V y 120,8 V) se mantuvieron dentro de los márgenes establecidos por la Regulación CREG 025 de 1995, garantizando una calidad aceptable del servicio. Sin embargo, el factor de potencia promedio de 0.85 indicó la presencia significativa de cargas inductivas, principalmente en equipos de climatización y máquinas herramienta, lo que sugiere la necesidad de implementar sistemas de compensación reactiva mediante bancos automáticos de condensadores, el código de este análisis en Python se puede ver en el anexo 1.

El balance energético obtenido a partir de los registros de campo permitió determinar que aproximadamente el 92 % de la energía eléctrica suministrada se convierte en energía útil, mientras que el 8 % restante se pierde en forma de calor, pérdidas reactivas y desequilibrios menores. Estas cifras se consideran aceptables para instalaciones de uso académico; sin embargo, confirman la existencia de un potencial técnico de mejora que puede elevar la eficiencia global del sistema hasta niveles cercanos al 96 %.

Asimismo, se identificó que las áreas de talleres y laboratorios concentran el 58 % del consumo total, seguidas de los sistemas de climatización (18 %) y la iluminación general (15 %). Este comportamiento evidencia la relación directa entre las actividades académicas y los picos de demanda energética, lo que justifica la implementación de programas de gestión de demanda y automatización de cargas, especialmente durante los horarios de mayor ocupación.

Entre las principales oportunidades de optimización energética detectadas se destacan:

La sustitución progresiva de luminarias fluorescentes por tecnología LED, con un ahorro estimado superior al 50 % en iluminación.

La corrección del factor de potencia a valores superiores a 0.95, lo que reduciría penalizaciones económicas y mejoraría la capacidad de transmisión del sistema.

La incorporación de controles automáticos y sensores de presencia en sistemas de iluminación y climatización, reduciendo el tiempo de operación de cargas no críticas.

El fortalecimiento de una cultura institucional de ahorro energético, mediante capacitaciones, señalización y monitoreo participativo del consumo.

Desde el punto de vista económico, las medidas propuestas representan un ahorro potencial entre el 8 % y el 12 % del consumo anual, equivalente a más de 23 000 kWh/año, con una recuperación de inversión estimada en menos de dos años. Esto demuestra la viabilidad técnica y financiera de implementar un Plan de Eficiencia Energética Institucional, orientado al mejoramiento continuo y al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 7 y 13).

En términos metodológicos, la aplicación de los protocolos de visita, instalación y medición permitió validar un modelo replicable de auditoría energética universitaria, adaptable a otros bloques o instituciones educativas. La correcta instalación del medidor remoto, la transmisión confiable de datos y el análisis sistemático de la información constituyeron un ejemplo exitoso de cómo la instrumentación inteligente puede integrarse en la gestión académica y operativa para generar conocimiento útil y decisiones basadas en datos.

Finalmente, se concluye que la Universidad Autónoma Latinoamericana cuenta con una infraestructura eléctrica sólida y un alto potencial para optimizar su desempeño energético mediante la adopción de medidas técnicas y administrativas de bajo costo y alto impacto. La información recolectada, los balances realizados y las propuestas formuladas servirán como línea base energética institucional, facilitando el seguimiento de futuras acciones de mejora, la planificación de inversiones en eficiencia energética y la consolidación de una política universitaria de sostenibilidad eléctrica y ambiental.

8. Recomendaciones

Con base en los resultados del diagnóstico y los balances energéticos realizados en el bloque de ingeniería de la Universidad Autónoma Latinoamericana, se recomienda continuar fortaleciendo las acciones orientadas al mejoramiento del desempeño energético de las instalaciones.

En primera instancia, es necesario establecer un plan institucional de gestión energética que articule la información obtenida en esta auditoría con objetivos concretos de eficiencia, indicadores de consumo y estrategias de seguimiento. Dicho plan debe integrarse dentro de las políticas de sostenibilidad de la universidad, permitiendo evaluar periódicamente los avances y priorizar las inversiones que generen mayor impacto técnico y económico.

Se considera conveniente la instalación de un banco automático de condensadores, diseñado de acuerdo con la demanda promedio registrada, con el fin de mejorar el factor de potencia, reducir pérdidas reactivas y optimizar la capacidad de transporte del sistema. Esta acción tendrá un efecto directo sobre la eficiencia del suministro y sobre los costos asociados a penalizaciones por bajo factor de potencia.

La modernización del sistema de iluminación representa otra oportunidad inmediata de mejora. Se recomienda sustituir progresivamente las luminarias fluorescentes existentes por luminarias LED de alta eficiencia, priorizando las áreas de mayor permanencia de estudiantes y personal docente. Este cambio, además de disminuir el consumo energético en más del cincuenta por ciento, contribuye a mejorar la calidad lumínica y a reducir las necesidades de mantenimiento.

Para lograr un control más eficiente de las cargas, se sugiere la implementación de sistemas automáticos de control y monitoreo, que incluyan sensores de presencia, temporizadores y programadores horarios en los circuitos de iluminación y climatización. Estas herramientas permitirán reducir la operación de los equipos fuera de los horarios académicos y optimizar el consumo de energía en función de la ocupación real de los espacios.

El sistema de medición instalado debe mantenerse activo y en observación continua, aprovechando su capacidad de transmisión remota para consolidar un registro histórico de datos energéticos. Este seguimiento permitirá identificar patrones de consumo, picos de demanda y

posibles desviaciones en tiempo real, facilitando la toma de decisiones y la detección temprana de anomalías.

Asimismo, se recomienda realizar mantenimiento preventivo periódico a los tableros eléctricos, conexiones y transformadores de corriente. La limpieza, verificación de apriete de tornillería y revisión de protecciones garantizan una operación segura, minimizan pérdidas por calentamiento y evitan fallas derivadas de contactos flojos o deterioro de los aislamientos.

En complemento a las acciones técnicas, resulta fundamental fomentar una cultura institucional de uso racional de la energía. El éxito de las medidas implementadas depende también del comportamiento de los usuarios. Se sugiere desarrollar campañas internas, charlas técnicas y señalización en las instalaciones que promuevan hábitos responsables, como apagar equipos en desuso, desconectar cargadores y aprovechar la luz natural disponible.

Finalmente, se recomienda evaluar la viabilidad técnica y económica de integrar sistemas de generación con energías renovables, en especial la incorporación de módulos fotovoltaicos para autoconsumo. Este tipo de solución, además de disminuir la dependencia de la red eléctrica, fortalece el compromiso ambiental de la universidad y ofrece un espacio de formación práctica para los programas académicos de ingeniería.

La aplicación gradual de estas recomendaciones permitirá mejorar la eficiencia global del sistema eléctrico, reducir costos operativos y establecer una base sólida para la implementación de la norma ISO 50001:2018, consolidando así el compromiso de la institución con la sostenibilidad energética y el uso responsable de los recursos.

9. Referencias bibliográficas

Briano, J. I., Báez, M. J., & Moya Morales, R. (2016, May). Eficiencia energética en Colombia: identificación de oportunidades. Caracas: CAF. Retrieved from <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/960>

Hernandez, J. P. & Castañeda, O. H. (2023). Estudio de actualización tecnológica en un edificio de apartamentos de la ciudad de Medellín para mejorar la eficiencia energética. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12622/6024>.

Ortiz, C. A. (2024). Identificación de indicadores de gestión para la medición de la eficiencia energética en Colombia: una revisión sistemática. [Monografía]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/64702>

Unidad de Planeación Minero Estrategica. (14 de Febrero de 2017). Unidad de Planeación Minero Estrategica. Obtenido de <http://www1.upme.gov.co/quienes-somos>

Unidad de Planeación Minero Energética. (2014). Caracterización y cuantificación del consumo energético en las empresas seleccionadas según el diseño muestral. 2014: UPME.

Unidad de Planeación Minero Energética. (2005). Estrategia de Uso Racional de la Energía en el sector industrial colombiano. <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Docs/estrategiaUREind.pdf>.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s,f). Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono. Bogotá, http://thereddesk.org/sites/default/files/100713_cartilla_ecdbd_1.pdf: MADS.

Alarcón García, M. (2016). Criterios de auditoría en la realización de auditorías energéticas. Cartagena, Colombia.

Álvarez Satta, Y. (2018). Auditoría energética en el sector terciario: hospital. Madrid, España.

Pérez, D. M. & Quintero, M. A. (2020). Plan de negocios para la creación de la empresa Plus Energy S.A.S..

. Clark, W. (2008). Análisis y gestión energética de edificios. Métodos, proyectos y sistemas de ahorro energético. Madrid, España: Mc Graw Hill.

Cubillos, A. y. (2011). Energía y medio ambiente. Una ecuación difícil para América Latina. Los Desafíos del crecimiento y desarrollo en el contexto del cambio climático. Santiago, Chile. Obtenido de <http://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/engov/20130827052932/engMAalCu billosEstenssoro.pdf>

Cortes Llanos, A., Angel Rodriguez, A. D., Cruz Capador, G. D., & Montoya Cortes, M. (2024). Modelado y simulación mediante dinámica de sistemas para auditorías energéticas a edificios de administración pública en Colombia

Reyes Gil, R. E. ., Turriago Hoyos, Álvaro, Cárdenas Piñeros, M. ., & Danna Buitrago, J. P. . (2023). Análisis de Políticas Públicas para la adopción de Energías Renovables No Convencionales en Colombia. Cuadernos Latinoamericanos De Administración, 19(36).

Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia, Unidad de Planeación Minero Energética, 2007. Guía didáctica para el desarrollo de Auditorías Energéticas.

10. Bibliografía

- Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG. (1995). Resolución 025 de 1995: Calidad del servicio de energía eléctrica. Bogotá: CREG.
- International Electrotechnical Commission. (2015). IEC 61000-4-30: Power quality measurement methods (3rd ed.). Geneva: IEC.
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 50001:2018: Energy management systems — Requirements with guidance for use. Geneva: ISO.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). (2002). IEEE Std 141-1993: Recommended practice for electric power distribution for industrial plants. New York: IEEE.
- ICONTEC. (2004). NTC 1340: Factores de potencia y sistemas de compensación. Bogotá: ICONTEC.
- Chapman, S. J. (2012). Electric machinery fundamentals (5th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Glover, J. D., Overbye, T. J., & Sarma, M. S. (2016). Power system analysis and design (6th ed.). Boston: Cengage Learning.
- Siemens AG. (2018). SENTRON PAC3100/3200/3200T: Instruction manual. Germany: Siemens AG.
- Universidad Autónoma Latinoamericana. (2019). Política institucional de sostenibilidad energética. Medellín, Colombia.

11. Anexos

ANEXO 1. Código de análisis de datos

```

import pandas as pd import numpy as np import matplotlib.pyplot as plt import seaborn as
sns from datetime import datetime import warnings warnings.filterwarnings('ignore') #
Configurar estilo de gráficas plt.style.use('seaborn-v0_8-darkgrid') sns.set_palette("husl") #
===== # 1. CARGA Y
PREPARACIÓN DE DATOS #
===== def
cargar_datos_monitoreo(ruta_archivo): """ Carga datos del medidor Siemens PAC3120
Parámetros: ----- ruta_archivo : str Ruta del archivo Excel con datos de monitoreo Retorna:
----- DataFrame con columnas: Timestamp, V_A, V_B, V_C, I_A, I_B, I_C, FP_A, FP_B,
FP_C, S_A, S_B, S_C, P_A, P_B, P_C, Q_A, Q_B, Q_C """ print("📄 Cargando archivo de
monitoreo...") df = pd.read_excel(ruta_archivo) # Convertir timestamp a datetime
df['Timestamp'] = pd.to_datetime(df['Timestamp']) # Calcular promedios trifásicos
df['V_promedio'] = (df['V_A'] + df['V_B'] + df['V_C']) / 3 df['I_promedio'] = (df['I_A'] +
df['I_B'] + df['I_C']) / 3 print(f"✓ Datos cargados: {df.shape[0]} registros") print(f"✓ Período:
{df['Timestamp'].min()} a {df['Timestamp'].max()}") return df #
===== # 2. LIMPIEZA Y
VALIDACIÓN DE DATOS #
===== def
limpiar_datos_electricos(df): """ Limpia valores físicamente imposibles según IEC 61000-4-30
Criterios de validación: - Potencia Aparente:  $0 < S < 5000$  VA (límite físico razonable) - Potencia
Activa:  $0 < P < 5000$  W (no puede ser negativa) - Potencia Reactiva:  $-2000 < Q < 2000$  VAR
(puede ser capacitiva o inductiva) - Factor de Potencia:  $0.3 < FP \leq 1.0$  (rango físicamente posible)
Fórmulas aplicadas: -  $S_{total} = S_A + S_B + S_C$  -  $P_{total} = P_A + P_B + P_C$  -  $Q_{total} =$ 
 $Q_A + Q_B + Q_C$  -  $FP = P_{total} / S_{total}$  Parámetros: ----- df : DataFrame DataFrame
original con datos potencialmente inconsistentes Retorna: ----- DataFrame limpiado y
validado """ print("🔧 Iniciando limpieza de datos...") filas_iniciales = len(df) # Filtrar
valores físicamente imposibles en cada potencia df_limpio = df[(df['S_A'] > 0) & (df['S_A'] <


```

```

5000) & (df['S_B'] > 0) & (df['S_B'] < 5000) & (df['S_C'] > 0) & (df['S_C'] < 5000) & (df['P_A']
> 0) & (df['P_A'] < 5000) & (df['P_B'] > 0) & (df['P_B'] < 5000) & (df['P_C'] > 0) & (df['P_C']
< 5000) & (df['Q_A'] > -2000) & (df['Q_A'] < 2000) & (df['Q_B'] > -2000) & (df['Q_B'] < 2000)
& (df['Q_C'] > -2000) & (df['Q_C'] < 2000) ].copy() # Recalcular potencias totales
df_limpio['P_total'] = df_limpio['P_A'] + df_limpio['P_B'] + df_limpio['P_C']
df_limpio['Q_total'] = df_limpio['Q_A'] + df_limpio['Q_B'] + df_limpio['Q_C']
df_limpio['S_total'] = df_limpio['S_A'] + df_limpio['S_B'] + df_limpio['S_C'] # Calcular factor
de potencia total df_limpio['FP_promedio'] = df_limpio['P_total'] / df_limpio['S_total'] # Filtrar
factor de potencia en rango fisico posible df_limpio = df_limpio[ (df_limpio['FP_promedio'] >
0.3) & (df_limpio['FP_promedio'] <= 1.0) ] filas_finales = len(df_limpio) filas_removidas =
filas_iniciales - filas_finales print(f'✓ Filas iniciales: {filas_iniciales}') print(f'✓ Filas
eliminadas: {filas_removidas} ({100*filas_removidas/filas_iniciales:.2f}%)') print(f'✓ Filas
válidas: {filas_finales}') return df_limpio #
===== # 3. ANÁLISIS DE
DESEQUILIBRIO DE CARGAS #
===== def
calcular_desequilibrio(df): """ Calcula desequilibrio de corrientes según IEEE Standard 141
Fórmula: ----- Desequilibrio (%) = [MAX(|I_a - I_prom|, |I_b - I_prom|, |I_c - I_prom|) /
I_prom] × 100 Donde: - I_prom = (I_A + I_B + I_C) / 3 - Límite aceptable: <15% (equipos
industriales) - Límite crítico: >25% (requiere corrección urgente) Impacto de desequilibrio: -
Aumento de pérdidas: 1.5 × (% desequilibrio)2 - Sobrecalentamiento de motores: Incremento de
pérdidas mecánicas - Incremento de corriente de neutro: 0.3 × I_fase Parámetros: ----- df :
DataFrame DataFrame con columnas I_A, I_B, I_C Retorna: ----- DataFrame con columna
adicional 'Desequilibrio_%' """ print("\n ⚡ Calculando desequilibrio de corrientes...") def
calcular_una_fila(row): corrientes = np.array([row['I_A'], row['I_B'], row['I_C']]) i_promedio =
np.mean(corrientes) if i_promedio > 0: desviacion_maxima = np.max(np.abs(corrientes -
i_promedio)) desequilibrio_pct = (desviacion_maxima / i_promedio) * 100 else:
desequilibrio_pct = 0 return desequilibrio_pct df['Desequilibrio_%'] =
df.apply(calcular_una_fila, axis=1) print(f'✓ Desequilibrio promedio:
{df['Desequilibrio_%'].mean():.2f}%)' print(f'✓ Desequilibrio máximo:

```

```

{df['Desequilibrio_%'].max():.2f}%")          print(f"✓          Desequilibrio          mínimo:
{df['Desequilibrio_%'].min():.2f}%")          return          df          #
===== # 4.
CLASIFICACIÓN          POR          PERÍODOS          TARIFARIOS          #
===== def
clasificar_periodos_horarios(df): """ Clasifica horarios según Resolución CREG 030/1998
Períodos tarifarios en Colombia: - Valle Nocturno: 22:00 - 8:00 (tarifa mínima) - Punta Diurna:
8:00 - 18:00 (tarifa máxima) - Resto: 18:00 - 22:00 (tarifa intermedia) Parámetros: ----- df
: DataFrame DataFrame con columna 'Timestamp' Retorna: ----- DataFrame con columnas
adicionales 'Hora' y 'Periodo' """ df['Hora'] = df['Timestamp'].dt.hour df['Dia'] =
df['Timestamp'].dt.day df['Dia_semana'] = df['Timestamp'].dt.day_name() def
clasificar_hora(hora): if 0 <= hora < 8: return 'Valle_Nocturno' elif 8 <= hora < 18: return
'Punta_Diurna' elif 18 <= hora < 22: return 'Intermedio' else: # 22 <= hora < 24 return
'Valle_Nocturno' df['Periodo'] = df['Hora'].apply(clasificar_hora) return df #
===== # 5. CÁLCULO DE
INDICADORES          ENERGÉTICOS          #
===== def
calcular_indicadores_energeticos(df): """ Calcula indicadores clave según ISO 50001:2018
Indicadores calculados: 1. Energía Activa:  $\sum(P \times \Delta t)$  en kWh 2. Energía Reactiva:  $\sum(Q \times \Delta t)$  en
kVArh 3. Factor de Potencia promedio ponderado 4. Potencia máxima registrada 5.
Desequilibrio promedio 6. Voltaje promedio por fase Fórmulas: ----- Energía_Activa =  $\sum(P_i$ 
 $\times \Delta t)$  [Intervalo: 10 min = 1/6 hora] Energía_Reactiva =  $\sum(Q_i \times \Delta t)$  FP_ponderado =  $\Sigma(P) /$ 
 $\Sigma(S)$  Línea_Base =  $E_{mes} / n_{días}$  Parámetros: ----- df : DataFrame DataFrame limpiado
con potencias calculadas Retorna: ----- dict : Diccionario con indicadores clave """
print("\n  Calculando indicadores energéticos (ISO 50001)...") # Intervalo de muestreo: 10
minutos = 1/6 hora intervalo_horas = 10 / 60 # Energías energia_activa_kWh =
(df['P_total'].sum() * intervalo_horas) / 1000 energia_reactiva_kVArh = (df['Q_total'].sum() *
intervalo_horas) / 1000 # Potencias p_promedio = df['P_total'].mean() p_maxima =
df['P_total'].max() p_minima = df['P_total'].min() # Voltajes v_promedio_a = df['V_A'].mean()
v_promedio_b = df['V_B'].mean() v_promedio_c = df['V_C'].mean() v_promedio_general =
df['V_promedio'].mean() # Factor de Potencia fp_promedio = df['FP_promedio'].mean()

```

```

fp_minimo = df['FP_promedio'].min() fp_maximo = df['FP_promedio'].max() # Corrientes
i_promedio = df['I_promedio'].mean() i_maxima = df[['I_A', 'I_B', 'I_C']].max().max() #
Desequilibrio desequilibrio_promedio = df['Desequilibrio_%'].mean() desequilibrio_maximo =
df['Desequilibrio_%'].max() # Días y horas de operación días_operacion =
(df['Timestamp'].max() - df['Timestamp'].min()).days horas_operacion = len(df) *
intervalo_horas indicadores = { 'Período_Análisis': f'{df['Timestamp'].min().date()} a
{df['Timestamp'].max().date()}', 'Días_Operación': días_operacion, 'Horas_Registro':
round(horas_operacion, 1), 'Registros_Totales': len(df), 'Energía_Activa_kWh':
round(energia_activa_kWh, 2), 'Energía_Reactiva_kVArh': round(energia_reactiva_kVArh, 2),
'Energía_Aparente_kVAh': round(energia_activa_kWh / fp_promedio, 2),
'Potencia_Promedio_kW': round(p_promedio, 2), 'Potencia_Maxima_kW': round(p_maxima,
2), 'Potencia_Minima_kW': round(p_minima, 2), 'Factor_Carga': round(p_promedio /
p_maxima, 3), 'FP_Promedio': round(fp_promedio, 3), 'FP_Minimo': round(fp_minimo, 3),
'FP_Maximo': round(fp_maximo, 3), 'Voltaje_Promedio_V': round(v_promedio_general, 2),
'V_Fase_A': round(v_promedio_a, 2), 'V_Fase_B': round(v_promedio_b, 2), 'V_Fase_C':
round(v_promedio_c, 2), 'Corriente_Promedio_A': round(i_promedio, 2),
'Corriente_Maxima_A': round(i_maxima, 2), 'Desequilibrio_Promedio_%':
round(desequilibrio_promedio, 2), 'Desequilibrio_Maximo_%': round(desequilibrio_maximo,
2) }
return indicadores #
===== # 6. ANÁLISIS
POR PERÍODO TARIFARIO #
===== def
analizar_por_periodo(df): """ Agrupa análisis por período tarifario Calcula consumo, FP,
corrientes y desequilibrio para cada período Parámetros: ----- df : DataFrame DataFrame
con clasificación de períodos Retorna: ----- DataFrame resumen por período """ print("\n 🇺🇦
Analizando consumo por período tarifario...") analisis_periodo = df.groupby('Periodo').agg({
'P_total': ['mean', 'max', 'min'], 'Q_total': 'mean', 'S_total': 'mean', 'FP_promedio': 'mean',
'V_promedio': 'mean', 'I_promedio': 'mean', 'Desequilibrio_%': 'mean' }).round(2) return
analisis_periodo # =====
# 7. ANÁLISIS POR HORA DEL DÍA #
===== def

```

```

analizar_curva_carga_diaria(df): """ Genera perfil de carga por hora del día Fórmula de potencia
media horaria: P_hora = Promedio(P_i | hora = h) Parámetros: ----- df : DataFrame
DataFrame con información de horas Retorna: ----- DataFrame con perfil horario """
print("n 📊 Calculando curva de carga horaria...") curva_horaria = df.groupby('Hora').agg({
'P_total': ['mean', 'max', 'min', 'std'], 'V_promedio': 'mean', 'I_promedio': 'mean', 'FP_promedio':
'mean', 'Desequilibrio_%': 'mean', 'Timestamp': 'count' }).round(2) return curva_horaria #
===== # 8.
GENERACIÓN DE VISUALIZACIONES #
===== def
generar_graficas(df, indicadores, curva_horaria): """ Genera conjunto completo de gráficas de
análisis Gráficas generadas: 1. Curva de carga diaria 2. Distribución de voltajes (boxplot) 3.
Factor de potencia en el tiempo 4. Desequilibrio de corrientes 5. Triángulo de potencias 6. Perfil
de corrientes por hora 7. Distribución estadística de FP Parámetros: ----- df : DataFrame
Datos procesados indicadores : dict Indicadores calculados curva_horaria : DataFrame Perfil por
hora """ print("n 📊 Generando visualizaciones...") # 1. CURVA DE CARGA DIARIA fig, ax =
plt.subplots(figsize=(14, 6)) horas = curva_horaria.index p_media = curva_horaria[('P_total',
'mean')].values p_max = curva_horaria[('P_total', 'max')].values p_min =
curva_horaria[('P_total', 'min')].values ax.plot(horas, p_media, 'b-', linewidth=2.5,
label='Potencia Media', marker='o', markersize=6) ax.fill_between(horas, p_min, p_max,
alpha=0.2, color='blue', label='Rango (Mín-Máx)') ax.set_xlabel('Hora del Día', fontsize=12,
fontweight='bold') ax.set_ylabel('Potencia Activa (kW)', fontsize=12, fontweight='bold')
ax.set_title('Perfil de Carga Diario - Universidad Autónoma Latinoamericana', fontsize=14,
fontweight='bold', pad=20) ax.grid(True, alpha=0.3) ax.legend(fontsize=10, loc='upper left')
ax.set_xticks(range(0, 24, 2)) plt.tight_layout() plt.savefig('01_curva_carga_diaria.png',
dpi=300, bbox_inches='tight') print("✓ Gráfica 01: Curva de carga diaria guardada") plt.close()
# 2. DISTRIBUCIÓN DE VOLTAJES (BOXPLOT) fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 6))
datos_voltaje = [df['V_A'], df['V_B'], df['V_C']] bp = ax.boxplot(datos_voltaje, labels=['Fase A',
'Fase B', 'Fase C'], patch_artist=True) colores = ['#FF6B6B', '#4ECDC4', '#45B7D1'] for patch,
color in zip(bp['boxes'], colores): patch.set_facecolor(color) patch.set_alpha(0.7)
ax.axhline(y=120, color='red', linestyle='--', linewidth=2, label='Voltaje Nominal (120V)')

```

```

ax.set_ylabel('Voltaje (V)', fontsize=12, fontweight='bold') ax.set_title('Distribución de Voltajes
por Fase', fontsize=14, fontweight='bold', pad=20) ax.grid(True, alpha=0.3, axis='y') ax.legend()
plt.tight_layout() plt.savefig('02_distribucion_voltajes.png', dpi=300, bbox_inches='tight')
print("✓ Gráfica 02: Distribución de voltajes guardada") plt.close() # 3. FACTOR DE
POTENCIA EN EL TIEMPO fig, ax = plt.subplots(figsize=(14, 6)) # Promediar por hora para
visualización clara df_horario =
df.set_index('Timestamp').resample('H')['FP_promedio'].mean() ax.plot(df_horario.index,
df_horario.values, 'g-', linewidth=2, alpha=0.8, label='FP horario') ax.axhline(y=0.9,
color='orange', linestyle='--', linewidth=2, label='Límite Normativo (0.9)')
ax.axhline(y=df['FP_promedio'].mean(), color='red', linestyle=':', linewidth=2, label=f'FP
Promedio ({df["FP_promedio"].mean():.3f})') ax.set_xlabel('Fecha', fontsize=12,
fontweight='bold') ax.set_ylabel('Factor de Potencia', fontsize=12, fontweight='bold')
ax.set_title('Evolución del Factor de Potencia en el Tiempo', fontsize=14, fontweight='bold',
pad=20) ax.set_ylim([0.7, 1.0]) ax.grid(True, alpha=0.3) ax.legend(fontsize=10)
plt.xticks(rotation=45) plt.tight_layout() plt.savefig('03_factor_potencia_tiempo.png', dpi=300,
bbox_inches='tight') print("✓ Gráfica 03: Factor de potencia en el tiempo guardada") plt.close()
# 4. DESEQUILIBRIO DE CORRIENTES fig, ax = plt.subplots(figsize=(14, 6))
df_horario_deseq = df.set_index('Timestamp').resample('H')['Desequilibrio_%'].mean()
ax.fill_between(df_horario_deseq.index, 0, df_horario_deseq.values, alpha=0.4, color='red',
label='Desequilibrio') ax.plot(df_horario_deseq.index, df_horario_deseq.values, 'r-',
linewidth=2, marker='o', markersize=4) ax.axhline(y=15, color='orange', linestyle='--',
linewidth=2, label='Límite Aceptable (15%)') ax.axhline(y=25, color='darkred', linestyle='--',
linewidth=2, label='Límite Crítico (25%)') ax.axhline(y=df['Desequilibrio_%'].mean(),
color='blue', linestyle=':', linewidth=2, label=f'Promedio
({df["Desequilibrio_%"].mean():.1f}%)') ax.set_xlabel('Fecha', fontsize=12, fontweight='bold')
ax.set_ylabel('Desequilibrio de Corrientes (%)', fontsize=12, fontweight='bold')
ax.set_title('Desequilibrio de Corrientes entre Fases', fontsize=14, fontweight='bold', pad=20)
ax.set_ylim([0, max(35, df['Desequilibrio_%'].max() + 5)]) ax.grid(True, alpha=0.3)
ax.legend(fontsize=10) plt.xticks(rotation=45) plt.tight_layout()
plt.savefig('04_desequilibrio_corrientes.png', dpi=300, bbox_inches='tight') print("✓ Gráfica

```

```

04: Desequilibrio de corrientes guardada") plt.close() # 5. TRIÁNGULO DE POTENCIAS
(Gráfica de Barras) fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 6)) potencias = ['Activa (P)', 'Reactiva
(Q)', 'Aparente (S)'] valores = [ df['P_total'].mean() / 1000, df['Q_total'].mean() / 1000,
df['S_total'].mean() / 1000 ] colores_barras = ['#2E86AB', '#A23B72', '#F18F01'] bars =
ax.bar(potencias, valores, color=colores_barras, alpha=0.8, edgecolor='black', linewidth=2) #
Añadir valores en las barras for bar, valor in zip(bars, valores): altura = bar.get_height()
ax.text(bar.get_x() + bar.get_width()/2., altura, f{valor:.2f} kW/kVAr', ha='center', va='bottom',
fontweight='bold', fontsize=11) ax.set_ylabel('Potencia (kW / kVAr)', fontsize=12,
fontweight='bold') ax.set_title('Triángulo de Potencias - Promedio', fontsize=14,
fontweight='bold', pad=20) ax.grid(True, alpha=0.3, axis='y') plt.tight_layout()
plt.savefig('05_triángulo_potencias.png', dpi=300, bbox_inches='tight') print("✓ Gráfica 05:
Triángulo de potencias guardada") plt.close() # 6. CORRIENTES POR FASE Y HORA fig, ax =
plt.subplots(figsize=(14, 6)) corrientes_hora = df.groupby('Hora')[['I_A', 'I_B', 'I_C']].mean()
horas = corrientes_hora.index ax.plot(horas, corrientes_hora['I_A'], 'o-', linewidth=2.5,
markersize=7, label='Fase A', color='#FF6B6B') ax.plot(horas, corrientes_hora['I_B'], 's-',
linewidth=2.5, markersize=7, label='Fase B', color='#4ECDC4') ax.plot(horas,
corrientes_hora['I_C'], '^-', linewidth=2.5, markersize=7, label='Fase C', color='#45B7D1')
ax.set_xlabel('Hora del Día', fontsize=12, fontweight='bold') ax.set_ylabel('Corriente (A)',
fontsize=12, fontweight='bold') ax.set_title('Perfil de Corrientes por Fase y Hora', fontsize=14,
fontweight='bold', pad=20) ax.grid(True, alpha=0.3) ax.legend(fontsize=10, loc='best')
ax.set_xticks(range(0, 24, 2)) plt.tight_layout() plt.savefig('06_corrientes_por_hora.png',
dpi=300, bbox_inches='tight') print("✓ Gráfica 06: Corrientes por hora guardada") plt.close() #
7. DISTRIBUCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA (Histograma) fig, ax =
plt.subplots(figsize=(11, 6)) n, bins, patches = ax.hist(df['FP_promedio'], bins=50,
color='#2E86AB', alpha=0.7, edgecolor='black') # Colorear según cumplimiento normativo for
i, patch in enumerate(patches): if bins[i] < 0.9: patch.set_facecolor('#FF6B6B') else:
patch.set_facecolor('#51CF66') ax.axvline(x=0.9, color='orange', linestyle='--', linewidth=2.5,
label='Límite Normativo (0.9)') ax.axvline(x=df['FP_promedio'].mean(), color='red',
linestyle=':', linewidth=2.5, label=f'Promedio ({df["FP_promedio"].mean():.3f})')
ax.set_xlabel('Factor de Potencia', fontsize=12, fontweight='bold') ax.set_ylabel('Frecuencia
(Registros)', fontsize=12, fontweight='bold') ax.set_title('Distribución del Factor de Potencia',

```

```

fontsize=14, fontweight='bold', pad=20) ax.grid(True, alpha=0.3, axis='y')
ax.legend(fontsize=10) plt.tight_layout() plt.savefig('07_distribucion_fp.png', dpi=300,
bbox_inches='tight') print("✓ Gráfica 07: Distribución de FP guardada") plt.close()
print("\n ✓ Todas las gráficas generadas exitosamente") #
===== # 9. EXPORTAR
RESULTADOS # =====
def exportar_resultados(df, indicadores, curva_horaria, analisis_periodo): """ Exporta todos los
resultados a archivos CSV Archivos generados: - datos_procesados.csv: Dataset completo
procesado - indicadores_clave.csv: Indicadores energéticos - curva_carga_horaria.csv: Perfil de
carga por hora - analisis_por_periodo.csv: Consumo por período tarifario Parámetros: -----
df : DataFrame Datos completos indicadores : dict Indicadores calculados curva_horaria :
DataFrame Perfil horario analisis_periodo : DataFrame Análisis por período """ print("\n 📄
Exportando resultados a archivos...") # 1. Datos procesados
df.to_csv('datos_procesados_auditoria.csv', index=False) print("✓ Archivo:
datos_procesados_auditoria.csv") # 2. Indicadores clave indicadores_df =
pd.DataFrame.from_dict(indicadores, orient='index', columns=['Valor'])
indicadores_df.to_csv('indicadores_clave.csv') print("✓ Archivo: indicadores_clave.csv") # 3.
Curva horaria curva_horaria.to_csv('curva_carga_horaria.csv') print("✓ Archivo:
curva_carga_horaria.csv") # 4. Análisis por período
analisis_periodo.to_csv('analisis_por_periodo.csv') print("✓ Archivo:
analisis_por_periodo.csv") print("\n ✓ Exportación completada") #
===== # 10.
GENERACIÓN DE REPORTE FINAL #
===== def
generar_reporte_texto(indicadores, df): """ Genera reporte de análisis en formato texto
Parámetros: ----- indicadores : dict Indicadores calculados df : DataFrame Datos procesados
""" print("\n" + "="*70) print(" "*15 + "REPORTE DE AUDITORÍA ENERGÉTICA") print("
"*10 + "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA LATINOAMERICANA") print("="*70) print("\n 📄
INDICADORES CLAVE DE OPERACIÓN:\n") for clave, valor in indicadores.items():

```

```

print(f' {clave:<45} {valor}') print("\\n" + "="*70) print(" "*20 + "RECOMENDACIONES
TÉCNICAS") print("="*70) fp = indicadores[FP_Promedio] desequeq =
indicadores[Desequilibrio_Promedio_%] print("\\n 🛠️ ANÁLISIS Y
RECOMENDACIONES:\\n") if fp < 0.9: print(f' ⚠️ FACTOR DE POTENCIA CRÍTICO
({fp:.3f})') print(" → Instalar banco de capacitores automático de 1,200 kVAr") print(" → ROI
estimado: 5.5 años") print(" → Ahorro anual: $8,200 USD\\n") if desequeq > 15: print(f' ⚠️
DESEQUILIBRIO DE CORRIENTES ELEVADO ({desequeq:.2f}%)') print(" → Reequilibrar
circuitos monofásicos") print(" → Reducción de pérdidas técnicas: 3%") print(" → Inversión:
$8,000 USD\\n") print(" ✅ Análisis completado y documentado\\n") #
===== # 11. FUNCIÓN
PRINCIPAL # ===== def
main(): """ Ejecuta análisis completo de datos de auditoría energética """ print("\\n" + "="*70)
print("ANÁLISIS DE AUDITORÍA ENERGÉTICA - SISTEMA ELÉCTRICO TRIFÁSICO")
print("="*70) # Paso 1: Cargar datos ruta_archivo = 'Monitor_Autonoma_Oct_2025.xlsx' df =
cargar_datos_monitoreo(ruta_archivo) # Paso 2: Limpiar datos df_limpio =
limpiar_datos_electricos(df) # Paso 3: Calcular desequilibrio df_analisis =
calcular_desequilibrio(df_limpio) # Paso 4: Clasificar períodos df_analisis =
clasificar_periodos_horarios(df_analisis) # Paso 5: Calcular indicadores indicadores =
calcular_indicadores_energeticos(df_analisis) # Paso 6: Análisis por período analisis_periodo =
analizar_por_periodo(df_analisis) # Paso 7: Curva de carga diaria curva_horaria =
analizar_curva_carga_diaria(df_analisis) # Paso 8: Generar gráficas
generar_graficas(df_analisis, indicadores, curva_horaria) # Paso 9: Exportar resultados
exportar_resultados(df_analisis, indicadores, curva_horaria, analisis_periodo) # Paso 10:
Generar reporte generar_reporte_texto(indicadores, df_analisis) print("="*70) print(" ✅
ANÁLISIS COMPLETADO EXITOSAMENTE") print("="*70 + "\\n") #
===== # EJECUCIÓN #
===== if __name__ ==
"__main__": main()

```

ANEXO 2. Graficas del análisis de datos