

**EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
DEL BLOQUE 14 DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO.**

**ALEJANDRO CASTAÑO PABON
JULIAN ARLEY GARCIA ECHEVERRY
FERNEY IGNACIO MONROY GIRALDO**

**INSTITUCIÓN UNIVERSIARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERIA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2024**

**EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
DEL BLOQUE 14 DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO.**

**ALEJANDRO CASTAÑO PABON
JULIAN ARLEY GARCIA ECHEVERRY
FERNEY IGNACIO MONROY GIRALDO**

Proyecto de grado para optar el título de ingeniero electricista

**Asesor Técnico
Bayrón Álvarez Arboleda
Doctorado Estudios Organizacionales**

**Asesor Metodológico
Carlos Mario Moreno Paniagua
Ingeniero Eléctrico**

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

2024

Contenido

1.	Planteamiento del problema	8
	1.1 Descripción.....	8
	1.2 Formulación	9
2.	Justificación	10
3.	Objetivos.....	11
	3.1 Objetivo general	11
	3.2 Objetivos específicos.....	11
4.	Referentes teóricos	12
	4.1 Consumo de energía	12
	4.2 Calidad de la energía	12
	4.3 Sistema de distribución	13
	4.4 Medidor IOT	13
	4.5 Transformadores de corriente.....	13
	4.6 Energía eléctrica.....	13
	4.7 Analizador de red	14
	4.8 Sistema de protección.....	14
	4.9 Diagramas esquemáticos	14
	4.10 Control lógico.....	15
	4.11 Red de energía y transformador	15
	4.12 Altos consumos	15
	4.13 Fluctuación en los picos	15
	4.14 Descompensación de la red.....	16
	4.15 Sobrecostos energéticos	16

4.16	Evaluación de medición	16
4.17	Eficiencia energética	17
4.18	Aire acondicionado	18
4.19	Efecto Joule	18
4.20	Cálculos del consumo energético	18
5.	Metodología.....	19
5.1	Tipo de proyecto.....	19
5.2	Método	19
5.3	Instrumentos de recolección de información.	21
6.	Resultados.....	22
7.	Conclusiones.....	47
8.	Recomendaciones	48
9.	Referencias bibliográficas	49

Lista de figuras

Figura 1. Analizador de redes SIMENS.	14
Figura 2. Aforo de cargas del bloque 14.	25
Figura 3. Consumo semanal en kwh/semanal.	25
Figura 4. Consumo semanal en amperios.	26
Figura 5. Medidor multifuncional.	28
Figura 6. Autómata programable al Gateway VMT.....	29
Figura 7. Modelo Gateway WMT	29
Figura 8. Características.	30
Figura 9. Voltaje de fase bloque 14.....	31
Figura 10. Corriente de cada fase bloque 14.	32
Figura 11. Potencia activa de cada fase bloque 14.	33
Figura 12. Potencia reactiva de cada fase bloque 14.....	33
Figura 13. Factor de potencia de cada fase bloque 14.....	34
Figura 14. Media	35
Figura 15. Mediana.....	36
Figura 16. Moda	36
Figura 17. Mínimo.....	37
Figura 18. Máximo	37
Figura 19. Rango	38
Figura 20. Rango Intercuartílico (IQR)	38
Figura 21. Varianza	39
Figura 22. Desviación estándar	40
Figura 23. Cuartiles	40
Figura 24. Deciles.....	41
Figura 25. Percentiles	42
Figura 26. Frecuencia Absoluta.....	43
Figura 27. Frecuencia absoluta acumulada.....	43

Lista de tablas

Tabla 1. Estimación de consumo en el bloque 14.	8
Tabla 2. Estrategia de evaluación del consumo de energía	24
Tabla 3. Mediciones bloque 14.....	31

Resumen

EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL BLOQUE 14 DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO.

**ALEJANDRO CASTAÑO PABON
JULIAN ARLEY GARCIA ECHEVERRY
FERNEY IGNACIO MONROY GIRALDO**

Una de las formas de evaluar el consumo energético es mediante la implementación de una auditoría eléctrica, que permite obtener valores precisos y hacer un seguimiento de los consumos generados a lo largo del tiempo. Este proyecto propone la implementación de medidores IoT para monitorear el consumo de energía eléctrica en el bloque 14 de la institución universitaria Pascual Bravo. Como primer paso, se elabora un cuadro de cargas que muestra el consumo semanal en kilovatios hora de cada uno de los dispositivos eléctricos de dicho bloque. Luego, se instala un tablero con medidor multivariable y Gateway para el análisis del sistema eléctrico. Finalmente, se desarrolla un informe o plan de acción de Eficiencia Energética que incluye pasos específicos para la implementación de estas mejoras en el bloque 14.

Palabras claves: evaluación de consumo energético, bloque 14, sistema eléctrico.

Abstract

One of the ways to energy consumption is through the implementation of an electrical audit, which allows to obtain precise values and to track audit, which makes it possible to obtain precise values and to monitor consumption over time. consumption over time. This project proposes the implementation of IoT meters to monitor the electrical energy consumption in block 14 of the Pascual University 14 of the Pascual Bravo university institution. As a first step, it is elaborated a load chart that shows the weekly consumption in kilowatt hours of each electrical device in the of each of the electrical devices in the block. Then, a panel with a multivariable multivariable meter and Gateway for the analysis of the electrical system. system analysis. Finally, an Energy Efficiency report or action plan is developed which includes specific steps to specific steps for the implementation of these improvements in block 14.

Keywords: energy consumption assessment, air conditioning, electrical system

Glosario

Ahorro energético: hacer uso racional (adecuado) de cualquier electrodoméstico.

Auditoria eléctrica: Es un análisis que refleja cómo y dónde se usa la energía de una instalación con el objetivo de utilizarla racional y eficientemente.

Consumo de energía: El consumo energético es el gasto total de energía para un proceso determinado.

Eficiencia energética: Relación entre la cantidad de energía utilizada y la energía requerida para realizar una actividad, optimizando el consumo para reducir pérdidas y costos.

Emisiones contaminantes: Son sustancias liberadas al ambiente, principalmente por actividades humanas, que deterioran la calidad del aire, agua y suelo, afectando la salud y los ecosistemas. Incluyen gases como CO₂ y partículas que contribuyen al cambio climático y la contaminación ambiental.

Factor de potencia: Medida de la eficiencia con la que se utiliza la energía en un sistema eléctrico; es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente.

Gestión energética: Conjunto de prácticas y procesos que buscan optimizar el uso de energía en una instalación para mejorar su eficiencia y reducir el impacto ambiental.

Red eléctrica: Sistema interconectado de instalaciones y equipos que permite la generación, transmisión, distribución y consumo de electricidad en una región o país.

Potencia activa: Cantidad de energía que un sistema consume efectivamente para realizar un trabajo útil, expresada en vatios (W).

Potencia reactiva: Energía necesaria para mantener los campos magnéticos en ciertos equipos eléctricos, como motores y transformadores, que no realiza trabajo útil directo.

Sistema IoT (Internet de las Cosas): Conjunto de dispositivos y objetos físicos conectados a Internet que pueden recopilar, intercambiar y analizar datos de manera autónoma. Estos sistemas permiten la automatización de procesos y la toma de decisiones en tiempo real, mejorando la eficiencia y la comunicación entre equipos, sensores y usuarios a través de la red.

Introducción

Ante el desafío de reducir el consumo de energía y las emisiones contaminantes, se han erigido en diversas partes del mundo edificaciones verdes o de baja energía, empleando tecnologías innovadoras para mitigar dicho consumo (Bravo, 2015). Desde la etapa conceptual hasta la utilización prevista, una edificación debe anticipar, desde una perspectiva energética y de confort térmico, las influencias climáticas en su evolución termodinámica, dado que los elementos pasivos forman parte integral de la construcción (Bravo, 2015). Además, los edificios se configuran como sistemas termodinámicos abiertos, cuyo estado responde constantemente a las variaciones internas y externas, lo que exige a los ingenieros anticipar y comprender estas fluctuaciones para lograr un diseño eficiente (Bravo & Greter, 2013).

En este contexto, se plantea la necesidad de un Modelo Didáctico para la comunidad estudiantil de la institución universitaria Pascual Bravo, con el propósito de recabar información y variables mediante módulos programables. La automatización busca minimizar la intervención humana y aplicar tecnologías teleinformáticas, utilizando módulos programables para controlar y organizar la información sobre el consumo de energía en el bloque 14 de la institución. Sin embargo, la implementación de autómatas implica adquirir nuevos conocimientos y aprovechar al máximo sus capacidades, ya que permiten una comunicación más amplia con otros sistemas informáticos (Bravo & Greter, 2013).

Para avanzar en este proyecto, se han revisado los datos de operación de sistemas de aire acondicionado, equipos de cómputo, máquinas de coser y luminarias en el bloque 14 de la institución universitaria Pascual Bravo. La finalidad es integrar estos datos en un módulo conectado en línea, facilitando la agregación de factores y proporcionando funcionalidades tecnológicas para diversos servicios digitales. Este módulo permitirá observar en tiempo real el comportamiento de los equipos y medir su consumo energético, proporcionando información valiosa para evaluar la eficiencia de los sistemas interconectados a la red y los convencionales.

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción

Una de las principales necesidades energéticas de la Institución Universitaria Pascual Bravo radica en la ausencia de una auditoría del consumo eléctrico, que permita identificar tanto el impacto económico como ambiental, así como asegurar el funcionamiento eficiente de los equipos mencionados anteriormente.

Tabla 1.
Estimación de consumo en el bloque 14.

Ítem	Nombre	Cantidad	P. [W]	P. Total [W]	Horas Uso/Día	kWh / semana	kWh / semana
1	Lámparas fluorescentes	40	40	1600	12	72	115,2
2	Computadores	10	80	800	12	72	57,6
3	Máquinas de coser	20	1000	20000	10	60	1200
4	Aire acondicionado	2	150	300	5	30	9

Fuente: diseño propio.

Los datos disponibles para rastrear el consumo provienen de los medidores de energía, los cuales no son previamente monitoreados con herramientas tecnológicas y análisis estadísticos. Esta falta de seguimiento impide la planificación para eventos imprevistos que podrían mejorar la eficiencia energética. Sin embargo, este problema puede resolverse mediante la recolección sistemática de datos y su análisis detallado. Los datos recopilados se utilizarán para identificar patrones de consumo, detectar ineficiencias y proponer estrategias de optimización energética, centrándose en el funcionamiento eficiente de los aires acondicionados, equipos de cómputo, máquinas de coser y luminarias del bloque 14.

La carencia de un sistema de ahorro energético para estos elementos se debe a la falta de conocimiento sobre la demanda eléctrica de cada unidad para mantener un confort adecuado en las áreas. La implementación de una auditoría energética permitirá comprender mejor esta demanda y desarrollar planes de acción que contribuyan tanto al ahorro económico como a la sostenibilidad ambiental de la institución.

Las auditorías energéticas son una herramienta crucial para la gestión eficiente de la energía, sin embargo, su implementación y ejecución enfrentan diversas problemáticas.

Muchas instituciones no son conscientes de los beneficios de realizar auditorías energéticas. La falta de conocimiento sobre cómo y por qué realizar una auditoría energética impide que estas se lleven a cabo de manera efectiva.

La implementación de sistemas IoT (Internet of Things) en el proceso de auditoría energética puede potenciar significativamente los beneficios obtenidos. Los sistemas IoT permiten un monitoreo continuo y en tiempo real del consumo energético, proporcionando datos más precisos y detallados.

1.2 Formulación

¿Cómo disponer de un sistema IOT que permita la interacción y funcionamiento óptimo en tiempo real de las luminarias, equipos de cómputo y máquinas de coser orientados a los procesos formativos e investigativos en el bloque 14 de la Institución Universitaria Pascual Bravo?

2. Justificación

La falta de conocimiento sobre el consumo energético y el funcionamiento de las unidades de aire acondicionado, equipos de cómputo, máquinas de coser y luminarias en el bloque 14 de la IUPB afecta directamente la eficiencia energética. La ausencia de modelos para monitorear estos sistemas impide conocer su comportamiento y su curva de demanda en dicho bloque.

Al realizar un modelo simulado y físico, se obtiene información crucial para analizar posibles soluciones destinadas a reducir el consumo de energía y, por ende, los impactos ambientales asociados al uso de menos recursos energéticos para llevar a cabo las actividades necesarias.

El monitoreo tiene como objetivo realizar un diagnóstico exhaustivo del consumo energético de los equipos, lo que implica recopilar datos físicos y revisar las placas de los equipos de aire acondicionado y otros dispositivos conectados a la red eléctrica. Este proceso permite detectar posibles afectaciones en la calidad del servicio y desperdicios de energía que afectan tanto la economía de la institución como el medio ambiente.

Para satisfacer las necesidades de la Institución Universitaria Pascual Bravo y lograr la reducción de fallas y un comportamiento más eficiente en cuanto al consumo energético, es crucial aplicar técnicas de mejora en los procesos. Estas acciones son fundamentales para avanzar hacia una gestión más sostenible y eficiente de la energía en la universidad.

Una auditoría energética permite identificar las áreas y equipos que presentan un uso ineficiente de la energía. Esto incluye detectar pérdidas, mal uso de equipos y sistemas que no operan bajo condiciones óptimas.

La auditoría energética no solo tiene beneficios técnicos y económicos, sino que también promueve una cultura de sostenibilidad dentro de la institución. Estudiantes, profesores y personal administrativo pueden ser sensibilizados sobre la importancia del uso responsable de la energía

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar mejoras aplicables para el uso eficiente y con calidad de la energía eléctrica en el bloque 14 de la institución mediante una auditoría energética utilizando datos en tiempo real del medidor IoT que se instalara en el gabinete de distribución.

3.2 Objetivos específicos

Instalar un tablero con medidor multivariable y Gateway en el bloque 14 para el análisis del sistema eléctrico, conectándolos a la red de distribución y al gabinete junto con transformadores de corriente para la recopilación de datos relevantes.

Determinar los indicadores clave mediante el análisis y la evaluación de los datos capturados de la red eléctrica en comparación con la simulación del sistema utilizando el aforo de cargas del bloque, como base del informe final de la auditoría.

Desarrollar un informe o plan de acción de Eficiencia Energética que incluya pasos específicos para la implementación de dichas mejoras en el bloque 14.

4. Referentes teóricos

4.1 Consumo de energía

Es la cantidad de energía utilizada para distintos usos, como la fabricación industrial, mover vehículos eléctricos o el uso de dispositivos electrónicos. Consumir energía es necesario para el desarrollo económico y social actual.

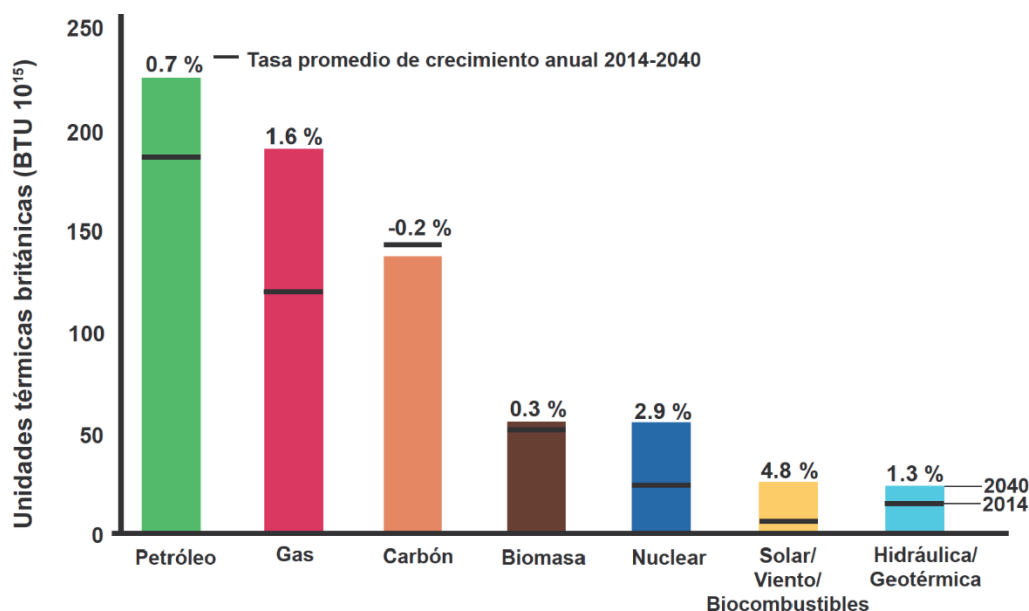


Figura 1. Consumo de energía

Fuente. Diseño propio.

4.2 Calidad de la energía

Según (la UNAL) El desarrollo y utilización masiva de equipo electrónico altamente sensible a perturbaciones electromagnéticas, tales como dispositivos de electrónica de potencia, controladores basados en microprocesadores y en general dispositivos que presentan un comportamiento no lineal ante la señal de tensión, ha incrementado la atención de consumidores y proveedores, en cuanto a cómo es la calidad de las señales de tensión y de corriente, en los puntos de conexión del usuario a la red eléctrica, dado que estos equipos además de presentar una alta vulnerabilidad provocan perturbaciones en los sistemas de distribución en detrimento de la calidad de potencia. Este marco de referencia implica que la calidad de energía eléctrica debe ser

entendida más allá de la continuidad en el suministro de energía, y debe involucrar otros parámetros como amplitud, frecuencia y forma de onda de las señales de tensión y corriente. (UNAL, 2018)

4.3 Sistema de distribución

Según (la UNAM) un sistema de distribución eléctrico o planta de distribución como comúnmente es conocido, es toda la parte del sistema eléctrico de potencia comprendido entre la planta eléctrica y los apagadores del consumidor. (UNAM, 2020)

4.4 Medidor IOT

La monitorización de la energía con medidores IOT es una tendencia cada vez más importante en las empresas y hogares, debido a que este tipo de tecnología permite, mediante el uso de dispositivos inalámbricos, controlar los consumos, detectar fugas y evitar pagar facturas elevadas por consumos no realizados, así como identificar posibles puntos de ahorro. (EOS, 2023)

4.5 Transformadores de corriente

Son transformadores utilizados para aumentar o disminuir una corriente alterna, produce una corriente en el devanado secundario proporcional a la corriente del primario. Los transformadores son un elemento clave en el desarrollo de la industria eléctrica. Gracias a ellos se pudo realizar, de manera practica y económica el transporte de energía eléctrica a grandes distancias.

Un transformador de corriente es una maquina estática de corriente alterna que permite variar alguna función de la corriente como el voltaje o la intensidad. (ELECTRICOS, 2020)

4.6 Energía eléctrica

La energía eléctrica es una forma de energía que se deriva de la existencia en la materia de cargas eléctricas positivas y negativas que se neutralizan. La energía eléctrica puede transformarse en muchas otras formas de energía, tales como la energía luminosa, la energía mecánica y la energía térmica, etc.

La electricidad es una de las formas de energía más importantes para el desarrollo tecnológico

debido a su facilidad de generación y distribución y a su gran número de aplicaciones. (EPM, 2023)

4.7 Analizador de red

El analizador de redes eléctricas es un instrumento que permite analizar diferentes propiedades de una instalación, se centra especialmente en los parámetros de dispersión y los datos que arroja permiten llevar un control exacto del consumo de energía eléctrica. (ORS, 2023)



Figura 1. Analizador de redes SIMENS.

Fuente: (I+D 2024)

4.8 Sistema de protección

Un sistema de protección se utiliza para proteger y evitar posibles errores o destrucciones de instalaciones o equipos. Los sistemas de protección aíslan la zona donde se ha originado el fallo con el fin de evitar la expansión del error y la aparición de consecuencias más graves.

(PEPEENERGY, 2023)

4.9 Diagramas esquemáticos

Es una representación sintetizada de un determinado circuito eléctrico. Permite definir la posición relativa de los diferentes elementos que lo forman y la interconexión entre ellos. (LED, 2020)

4.10 Control lógico

Es una computadora industrial que usa la ingeniería para la automatización de procesos y tiene como finalidad, que las maquinas desarrollen efectivamente todos los sistemas que la componen. Gracias a estas bondades los PLC se han convertido en una herramienta fundamental para el desarrollo tecnológico de las industrias y todo el entorno social. (INDUSTRIAS, 2021)

4.11 Red de energía y transformador

Al conjunto de líneas y centros de interconexión eléctrica que mantienen conectados entre si a los centros de producción y de consumo de electricidad de nuestro sistema eléctrico.

Los transformadores son un elemento clave en el desarrollo de la industria eléctrica que permiten realizar, de una manera práctica y económica, el transporte de energía eléctrica a grandes distancias. Un transformador eléctrico es una máquina estática de corriente alterna que permite variar alguna función de la corriente como el voltaje o la intensidad, manteniendo la frecuencia y la potencia, en el caso de un transformador ideal. (ENERGIA, 2020) (ENDESA,2023)

4.12 Altos consumos

Cada día cientos de personas consumen grandes cantidades de energía eléctrica, ya sea para cocinar sus alimentos, trabajar en la computadora o ver su serie favorita en la televisión, y es que sin darnos cuenta este recurso se ha vuelto indispensable en nuestra vida. Por ello, es que poco a poco los peruanos están comenzando a tomar conciencia sobre la forma adecuada de usar la energía eléctrica en sus hogares, cuidando el medioambiente y generando una mejor economía a través del ahorro en los recibos de luz. Sin embargo, esto se puede tornar un poco complicado cuando nos encontramos frente a viviendas con muchos años de antigüedad, conexiones poco seguras o medidores alterados que, además de estar propensos a ocasionar accidentes, suelen incrementar en gran medida los montos en los recibos. (CONSTRUCTIVO, 2019)

4.13 Fluctuación en los picos

Son un fenómeno al que somos susceptibles en todo momento en hogares y negocios por distintas causas, horario del uso de la electricidad, el lugar de ubicación y el tipo de carga que se tiene o las condiciones que la línea eléctrica tiene. (ILUMINACION, 2021)

4.14 Descompensación de la red

Entre los problemas del suministro eléctrico que afectan con más frecuencia a las plantas industriales se encuentran las caídas y las fluctuaciones de tensión, la generación de armónicos, transitorios y desequilibrios entre la tensión y la corriente.

En un sistema trifásico equilibrado, las tensiones de fase deberían ser iguales o prácticamente iguales. El desequilibrio es la medida de la diferencia entre las tensiones de fase. El desequilibrio de la tensión es la medida de diferencias de tensión entre las fases de un sistema trifásico.

Degrada el rendimiento y reduce la vida útil de los motores trifásicos. (FLUKE, 2023)

4.15 Sobrecostos energéticos

Aunque la atención pública ha estado enfocada en los incrementos de las tarifas cobradas por el suministro de energía eléctrica en la costa, el problema es nacional. En Cali concretamente la tarifa de \$785.17 kW-h que apareció en el recibo de cobro que recibí el mes pasado fue de 37.8% más alta que la del recibo del mismo mes en 2021. Las normas que gobiernan estas alzas y que han permitido este absurdo aumento en los cobros son de carácter nacional. (PAIS, 2023)

4.16 Evaluación de medición

La evaluación de los valores medidos no es una cuestión simple. Un valor medido nunca es un valor verdadero, siempre incluye cierta cantidad de error. Como tal, es difícil evaluar la confiabilidad de cualquier medición. Convencionalmente, la confiabilidad se evaluaba en base al sesgo del valor medido (error sistémico) y las variaciones (error aleatorio), empleando el valor verdadero como referencia.

Sin embargo, las evaluaciones del valor medido no son uniformes, lo que dificulta la determinación del valor verdadero. Por lo tanto, se diseñó un método para valorar la confiabilidad de los resultados de medición desde una perspectiva estadística. Este es el concepto de “incertidumbre”. Se calcula el intervalo en el que existe el valor verdadero, mediante un procesamiento estadístico, para estimar el error. (KEYENCE, 2023)

4.17 Eficiencia energética

La eficiencia energética, definida como la optimización del consumo para alcanzar niveles específicos de confort y servicio, desempeña un papel crucial en la optimización de los consumos eléctricos y la sostenibilidad. Esta práctica implica utilizar menos energía para proporcionar la misma cantidad de servicios energéticos, según la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2021), y representa una forma efectiva de satisfacer las necesidades energéticas sin sacrificar la calidad de vida ni los niveles de producción. García (2011) destaca los múltiples beneficios de la eficiencia energética, incluida la reducción del consumo y de los costos energéticos, así como la mitigación del cambio climático.

En el contexto organizacional, la eficiencia energética implica la optimización de procesos, la utilización de tecnologías eficientes y el cambio de comportamiento de los usuarios para reducir los requerimientos energéticos. Las auditorías energéticas son una herramienta fundamental para este fin, al permitir la identificación de oportunidades de ahorro y la priorización de medidas de eficiencia. Estas auditorías, según Thumann (2022), evalúan el consumo energético, identifican áreas de potencial ahorro y cuantifican los beneficios económicos de implementar medidas eficientes.

Los objetivos de una auditoría energética incluyen determinar los tipos de energía utilizados, identificar dónde se usa y se desperdicia la energía, y valorar económicamente las oportunidades de ahorro. Además, estas auditorías son esenciales para programas de gestión de energía, certificaciones ISO 50001 y para acceder a beneficios tributarios o financiación.

A partir de los resultados de las auditorías energéticas, se pueden adoptar diversas tecnologías para optimizar el consumo eléctrico, como sistemas de iluminación eficiente, variadores de velocidad en motores eléctricos, equipos de cómputo de bajo consumo, paneles fotovoltaicos, entre otros. La selección de estas medidas depende de factores como el uso final de la electricidad, los recursos disponibles y otros aspectos específicos de cada instalación.

En resumen, el uso eficiente de la energía eléctrica, promovido por auditorías energéticas rigurosas, tiene un alto potencial para la mitigación del cambio climático al evitar de manera

rentable importantes cantidades de emisiones contaminantes. La evidencia muestra que mejoras relativamente modestas en la eficiencia energética pueden tener un impacto significativo en la reducción de la demanda mundial de energía y en la mitigación del cambio climático.

4.18 Aire acondicionado

Es un proceso que consiste en un cierto tratamiento del aire de un lugar cerrado para generar una atmosfera agradable, con el fin de incrementar o reducir la temperatura y el nivel de humedad del aire.

4.19 Efecto Joule

El efecto Joule es un fenómeno por el que los electrones en movimiento de una corriente eléctrica impactan contra el material a través del cual están siendo conducidos. La energía cinética que tienen los electrones se convierte entonces en energía térmica, calentando el material por el que circulan.

4.20 Cálculos del consumo energético

A continuación, se muestran las fórmulas utilizadas para calcular el consumo energético

$$\frac{Potencia(W)}{Voltaje(V)} = Corriente(I)$$

Después de haber determinado la corriente procederemos a calcular los kilovatios hora (KWH) por semana.

$$\left(\frac{Potencia(W)}{1000} \right) * (Dia * Semana) = KWH/Semana$$

5. Metodología

5.1 Tipo de proyecto

Este proyecto se lleva a cabo utilizando un enfoque de desarrollo que involucra tanto modelados físicos como en red. El objetivo es que los estudiantes fortalezcan su conocimiento a nivel industrial mediante la realización de experimentos y/o laboratorios que los acerquen más a la realidad industrial y a las nuevas tecnologías disponibles, como el Internet de las Cosas y las automatizaciones industriales 4.0. Este enfoque permite una integración práctica y teórica, proporcionando a los estudiantes una experiencia más cercana a los desafíos y avances actuales en el campo de la ingeniería eléctrica y la eficiencia energética.

5.2 Método

En este proyecto, se han planificado 14 actividades para alcanzar los objetivos establecidos. A continuación, se describe cada una de ellas:

Inspección detallada de sistemas y equipos conectados al tablero: Se realizará una visita técnica al bloque 14 para verificar el número y estado de los elementos en uso, así como para inspeccionar el tablero de distribución.

Montaje del medidor IoT: Una vez configurado, se entregará el medidor al personal de la institución para realizar su conexión al tablero de distribución del bloque 14. Se realizarán pruebas de conexión tanto a la red eléctrica como a la red inalámbrica wifi de la institución.

Medición y registro de datos: Se procederá a recepcionar y analizar la información suministrada por el medidor IoT en tiempo real, tras verificar y configurar las variables a analizar.

Simulación del sistema usando aforo de cargas: Se realizarán simulaciones utilizando un aforo de cargas del bloque 14, con autorización previa del personal encargado.

Comparación de medición y registro con datos de simulación: Se analizarán y compararán los resultados obtenidos de las mediciones en tiempo real con los datos simulados.

Análisis y evaluación de datos de comparación: Se evaluarán los resultados de las comparaciones para obtener información relevante para el proyecto.

Detección de equipos con mayor consumo de energía: Se identificarán los equipos que generan un mayor consumo de energía.

Evaluación de eficiencia energética: Se analizará la eficiencia energética del bloque 14 utilizando la información recopilada.

Identificación de oportunidades de ahorro energético: Se buscarán oportunidades para implementar un modelo óptimo de ahorro de energía en el bloque 14.

Mejoras y recomendaciones: Se propondrán posibles soluciones para mejorar la eficiencia energética y reducir los altos consumos energéticos.

Análisis de viabilidad técnica y económica de mejoras: Se evaluará el costo-beneficio de las posibles mejoras, así como su viabilidad técnica.

Elaboración del informe de auditoría: Se realizará un informe detallado con toda la información recopilada, las posibles soluciones y las conclusiones de los análisis realizados.

Definir la estrategia de evaluación del consumo de energía en el sistema de aire acondicionado del bloque 14 de la institución Universitaria Pascual Bravo.

Realizar la evaluación del consumo de energía en el sistema de aire acondicionado del bloque 14 de la institución Universitaria Pascual Bravo.

Analizar los resultados del consumo de energía en el sistema de aire acondicionado del bloque 14 de la institución Universitaria Pascual Bravo.

Montar el tablero de control: Una vez que se han diseñado la estructura, seleccionado los materiales, construido la estructura, calculado la fuente de energía eléctrica y diseñado el modelo de control, se procede a montar físicamente el tablero de control. Se instalan los componentes eléctricos y electrónicos en la estructura según las especificaciones del diseño, asegurando una instalación segura y funcional.

5.3 Instrumentos de recolección de información.

5.3.1. Fuentes primarias.

Sitios web, libros y documentos físicos como virtuales que sirven de soporte bibliográfico para el desarrollo de este proyecto.

5.3.2. Fuentes secundarias. Patentes, normas de investigación, documentos oficiales o informes técnicos y de investigación de instituciones públicas o privadas, apuntes de investigación.

6. Resultados

Este trabajo de grado se fundamenta en una auditoría energética diseñada para identificar áreas de mejora y optimización en el consumo de energía. La auditoría incluye una evaluación detallada de los patrones de uso de los equipos y la identificación de ajustes potenciales que podrían reducir el consumo energético. Este enfoque integral promueve un uso más eficiente y sostenible de los recursos eléctricos en la institución, a la vez que ofrece a los estudiantes una herramienta práctica para aplicar sus conocimientos en un entorno real.

El proyecto introduce un módulo didáctico capaz de analizar cualquier sistema eléctrico y simular datos relevantes. Esta herramienta permite a los estudiantes de la Institución Universitaria Pascual Bravo realizar prácticas significativas y observar, en tiempo real, el comportamiento óptimo y el consumo de los equipos. Además, se incorpora la funcionalidad de monitorear y ajustar de manera remota variables de las unidades de aire acondicionado, brindando mayor versatilidad al sistema.

El enfoque principal del proyecto es la auditoría energética del bloque 14 de la institución. Para ello, se implementará un módulo que recopila datos en tiempo real mediante sensores físicos y dispositivos electrónicos.

Esta información estadística será clave para analizar y optimizar el consumo eléctrico del edificio. El módulo está diseñado para establecer comunicación directa con un teléfono o computador con acceso a internet, utilizando una dirección IP específica y una conexión estable.

El módulo contará con una fuente de alimentación adecuada y los accesorios necesarios para garantizar un funcionamiento eficiente, como cableado e interconexiones. Su diseño busca no solo ser funcional, sino también intuitivo y didáctico.

Este proyecto constituye una innovación relevante en términos de sostenibilidad y aplicabilidad. Ofrece beneficios a nivel industrial, experimental y personal, al tiempo que crea oportunidades de desarrollo profesional en el campo energético.

La recopilación de datos incluye el análisis de los equipos principales y sus componentes, cuyos valores se compararán con los obtenidos durante la puesta en marcha. Este proceso garantizará que las condiciones de cada sistema cumplan con los estándares exigidos. Con base en esta información, se evaluará la calidad energética de los equipos y se analizará la posibilidad de mejorarlos o ajustar sus especificaciones. Además, se registrarán los consumos energéticos mensuales a partir de las facturas de servicios y se estimarán las horas de funcionamiento mensual.

Las horas de operación permitirán calcular el consumo energético anual de los diferentes equipos. Estos se agruparán de forma lógica en categorías homogéneas o funcionales, como lámparas fluorescentes, computadores, máquinas de coser y aires acondicionados, facilitando su análisis.

Una vez obtenidos estos datos, se realizarán estudios orientados a modificar los sistemas con base en la Tecnología de Gestión Total de Eficiencia Energética. Esto permitirá introducir mejoras en los equipos y componentes.

Entre los resultados esperados de la propuesta se encuentran la evaluación del consumo de energía eléctrica del bloque 14 de la Institución Universitaria Pascual Bravo, el diseño de estrategias para optimizar dicho consumo, la implementación de mejoras en el uso de los equipos eléctricos y sistemas asociados y el establecimiento de una estrategia integral para evaluar y reducir el consumo energético en el bloque 14.

Los pasos para desarrollar esta estrategia incluyen la preparación de la estrategia: análisis del sector objetivo (Bloque 14) y definición del alcance de la evaluación, la implementación del inventario de servicios energéticos y equipos, evaluación del rendimiento energético, y elaboración de un reporte con oportunidades de ahorro energético y sus respectivos indicadores económicos.

Este informe servirá como base para que la institución decida implementar las medidas de ahorro propuestas.

En el documento final se incluye una tabla con los detalles específicos de la estrategia y sus indicadores clave, orientados a garantizar un seguimiento adecuado del desempeño energético.

Tabla 2.
Estrategia de evaluación del consumo de energía

Actividad	Objetivos
Preparación	<ul style="list-style-type: none"> - Definir la estrategia - Planear la estrategia
Ejecución	<ul style="list-style-type: none"> - Inventario de equipos y medición del consumo de energía. - Diagnóstico de los sistemas eléctricos de la Institución.
Reporte	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluación de la rentabilidad (beneficio - costo). - Redactar el reporte de la estrategia de evaluación. - Exponer a la institución los resultados de la evaluación.
Post evaluación	<ul style="list-style-type: none"> - Priorizar con la institución las medidas para el ahorro de energía. - Implementar las medidas de ahorro de energía.

Fuente: diseño propio

La evaluación del consumo de energía eléctrica en el bloque 14 de la Institución Universitaria Pascual Bravo se realizará mediante un enfoque estructurado y detallado.

Las fases establecidas para llevar a cabo esta evaluación incluyen el levantamiento del sistema eléctrico: esta etapa consiste en identificar y registrar todos los componentes del sistema eléctrico del bloque 14, asegurando un análisis exhaustivo de sus características y condiciones actuales.

En el cuadro de cargas que se presenta en la figura 2, se detallan los equipos utilizados en el bloque 14. Entre ellos se incluyen lámparas fluorescentes, computadores, máquinas de coser y sistemas de aire acondicionado, junto con sus respectivos consumos energéticos.

Este análisis será la base para determinar patrones de uso y oportunidades de optimización.

Item	Fecha	Nombre	Voltaje	Corriente	Cantidad	Potencia en w	Potencia total en w	Horas Uso/Día	Consumo / semana	Consumo kwh/semanal
1	24/09/2023 18:53	Lámparas fluorescentes	110,3	21,7588395	60	40	2400	12	72	172,8
2	24/09/2023 18:53	Computadores	110,2	0,72595281	1	80	80	12	72	5,76
3	24/09/2023 18:53	Maquinas de coser	110	545,454545	60	1000	60000	10	60	3600
4	24/09/2023 18:53	Aire acondicionado	106	2,83018868	2	150	300	5	30	9

Figura 2. Aforo de cargas del bloque 14.

Fuente: Autoría propia

Una vez finalizado el cuadro de cargas del bloque 14, se procederá a generar gráficos de barras descriptivos que permitan visualizar de manera clara la variación del consumo de kilovatios hora (kWh) y corriente (I) a lo largo de la semana. Estos gráficos facilitarán la identificación de patrones de uso energético y contribuirán al análisis detallado del comportamiento de los sistemas eléctricos en función del tiempo.

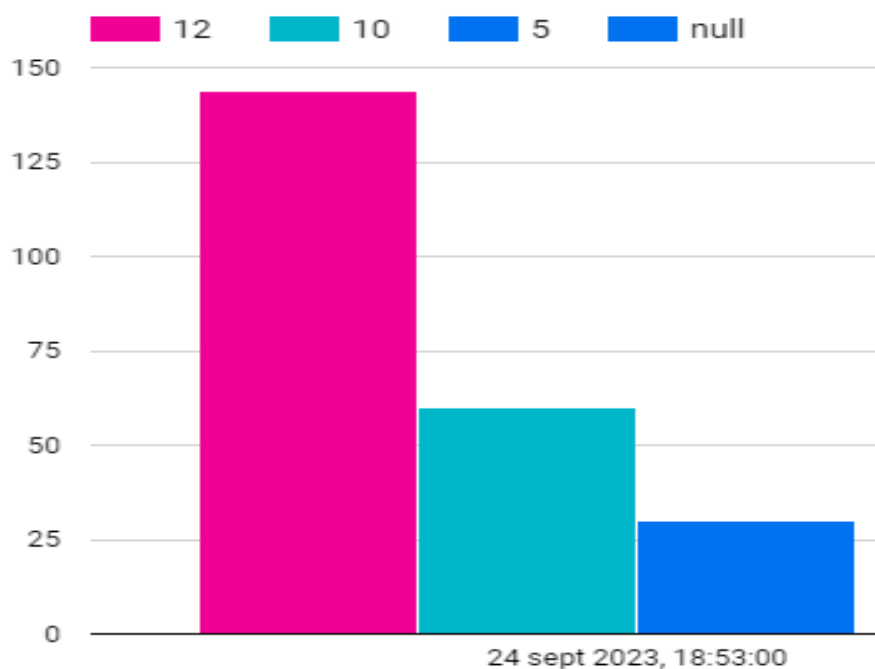


Figura 3. Consumo semanal en kwh/semanal.

Fuente: Autoría propia

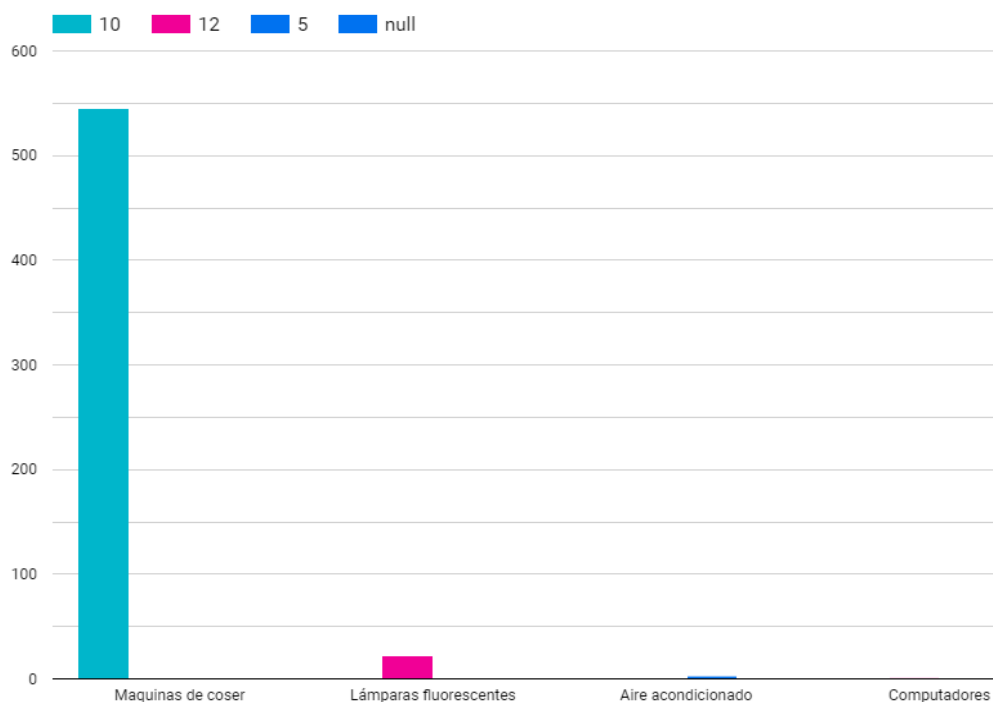


Figura 4. Consumo semanal en amperios.

Fuente: Autoría propia

Para realizar las mediciones eléctricas, se debe tener en cuenta el diseño y construcción de la estructura necesaria para el análisis del sistema eléctrico del bloque 14 se llevará a cabo en las siguientes etapas:

Diseño de la estructura: Esta actividad consiste en elaborar el diseño detallado de la estructura física que albergará los componentes eléctricos, como el tablero de control, el medidor multivariable, el Gateway y otros dispositivos requeridos. Durante esta fase, se considerarán aspectos clave como la disposición de los componentes, el tamaño, la resistencia estructural y la accesibilidad para facilitar el mantenimiento y la operación del sistema.

Selección de materiales y componentes: Se elegirán cuidadosamente los materiales y componentes necesarios para la construcción de la estructura y la instalación de los dispositivos eléctricos. Esto incluye materiales para la carcasa del tablero, conductores eléctricos, transformadores de corriente, el medidor multivariable, el Gateway y otros elementos críticos. La selección estará basada en criterios de durabilidad, eficiencia y compatibilidad con el sistema eléctrico.

Construcción de la estructura: Una vez definidos el diseño y los materiales, se procederá a la construcción de la estructura según las especificaciones. Este proceso puede incluir actividades como corte, soldadura, ensamblaje y acabado, asegurando que la estructura cumpla con los estándares de calidad y seguridad.

Cálculo de la fuente de energía eléctrica: En esta etapa se determinarán los requisitos energéticos para el correcto funcionamiento de los dispositivos instalados en el tablero de control. Se realizarán cálculos para dimensionar adecuadamente la fuente de alimentación, considerando la demanda energética de dispositivos como el medidor multivariable y el Gateway, así como factores como eficiencia energética y seguridad operativa.

Para realizar las mediciones, se utilizarán datos obtenidos mediante analizadores de redes Siemens. Estos dispositivos permiten monitorear en tiempo real el consumo energético del bloque 14, proporcionando información precisa sobre el uso de la energía. Esta capacidad de análisis en tiempo real es fundamental para evaluar la eficiencia energética del sistema y detectar oportunidades de optimización en el consumo eléctrico. El dispositivo tiene las siguientes características:

Medidor multifuncional trifásico Modbus Rs485, modelo: ZM194-D9Y

Rango de medición: 5ª con precisión: 0,5

Voltaje de la fuente de alimentación: AC/DC85 ~ 265V

Tamaño del panel: 120x120mm/96x96mm/80x80mm/72x72mm

Tamaño del agujero: 111x111mm/92x92mm/76x76mm/68x68mm

Precisión de la medición: actual: clase 0,5, voltaje: clase 0,5, potencia activa: clase 0,5, potencia reactiva: clase 0,5, factor de potencia: clase 0,5, frecuencia: +/-0,02Hz, energía activa: Clase 0. 0,2/S, potencia reactiva: Clase 1,0/2,0

Forma de Cableado: trifásico de cuatro hilos o trifásico de tres hilos

Voltaje nominal: CA 380 V

Corriente nominal: CA 5A

Sobrecarga: Voltaje: 1,2 veces (sostenido); 2 veces/1s (instantáneo); Corriente: 1,2 veces (sostenido); 10 veces/1s (instantáneo)

Consumo de energía por fase: Voltaje: menos de 1VA; Corriente: menos de 0.4VA.

Impedancia: Voltaje: más de 300Kohm Corriente: menos de 20m ohm

Frecuencia: 45 ~ 65Hz

La interfaz de comunicación: admite 1 circuito de comunicaciones con protocolo Modbus-RTU, velocidad en baudios: 1200 ~ 9600bps, predeterminado: 2400bps

Entorno operativo: -10 ~ + 55 C y de almacenamiento: -25 ~ + 70 C

Humedad relativa: menos de 93%, lugar sin gas corrosivo

Resistencia de aislamiento: más de 100M ohm

Descarga electrostática: Clase 4

Tren de impulsos transitorio rápido eléctrico: clase 4 con surge (impacto): Clase 4

Pantalla digital LCD, ángulo de visión, alto brillo

Fácil cableado, propiedades ignífugas superiores, seguridad, protección del medio ambiente, con un tamaño de la instalación: AXB, un tamaño del agujero abierto: SxY y un tamaño del panel: LxH (Unidad: mm)

Tamaño total L x H Unidad (mm)	Ajuste pantalla tamaño AxB Unidad (mm)	Tamaño agujero S x Y Unidad (mm)	Longitud (N) Unidad (mm)	Profundidad (M) Unidad (mm)
120x120	110x110	111x111	93	78
96x96	91x91	92x92	93	78
80x80	75x75	76x76	93	78
72x72	67x67	68x68	93	78

Figura 5. Medidor multifuncional.

Fuente: Autoría propia

El modelo Gateway WMT de enlace wifi Modbus Tcp, es un dispositivo microelectrónico orientado a la implementación de múltiples aplicaciones de comunicaciones para dispositivos de medición y control.

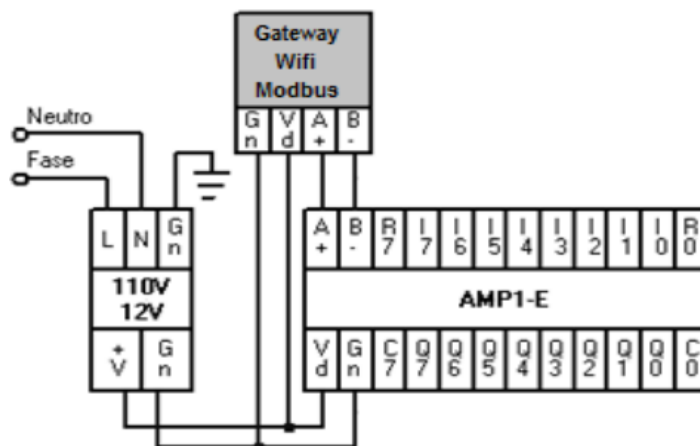


Figura 6. Autómata programable al Gateway VMT

Fuente: Autoría propia

En la figura 6 se puede observar la conexión de un autómata programable al Gateway VMT, el cual tiene las siguientes conexiones:

El Gateway tiene las siguientes conexiones: Power Gnd = Conexión al negativo de la fuente de alimentación externa, la cual puede ser la misma que alimenta al autómata programable. Power +Vd = Conexión al terminal positivo de la fuente de alimentación. El voltaje de la fuente debe estar en el rango entre 10 y 30 VDC. RTX +, A* = Terminal positivo del bus de comunicación tipo Modbus RTU. RTX-, B- = Terminal negativo del bus de comunicación tipo Modbus RTU.



Figura 7. Modelo Gateway WMT

Fuente: Manual de usuario Enlace Amp-Modbus

El Gateway de la figura 7 presenta los cuatro terminales de conexión y tiene las características presentadas en la figura 8.

Parámetro	Valor	Unidades
Alimentación	10 a 30	Voltios DC
Corriente fuente	0.5	Amperios mín.
Entradas comunica	Diferencial	
Voltaje comunica	5	Voltios DC
Máxima frecuencia	115200	Baud
Comunicación	NRZ	EIA 485 A
Protocolo Bus	Modbus RTU	
Protocolo Red	TCP-IP	
Protocolo servidor	Modbus TCP	
Encriptado	Propietario	Vía driver
Tipo indicaciones	2 LEDES	Red / Bus
Modo configuración	Desde PC	Mgdmod.exe
Conexión a PC	Usb – RS485	CH340
Latencia entre buses	10	milisegundos
Capacidad del Bus	Hasta 10	Dispositivos
Capacidad memoria	3200	Variables
Rango temperaturas	-10 a 80	Grados celcius
Humedad relativa	80%	Máximo
Dimensiones	50 x 30 x 20	mm x mm x mm

Figura 8. Características.

Fuente: Autoría propia

Este bus de comunicaciones permite la conexión de hasta 10 dispositivos de campo en el mismo bus para el enlace con servidores remotos y aplicaciones SCADA. Opción de configuración del Gateway desde el software Mgdmod.exe, el cual se descarga desde la página web www.tecvolucion.net.

Luego de realizar las mediciones remotas se obtienen los datos de las variables eléctricas, las cuales son tabuladas de la manera que se presenta en la tabla 3.

Una vez recopilados los datos, se generarán gráficos que representen variables eléctricas clave, como el voltaje, la corriente y la potencia, entre otras.

Estos gráficos ofrecerán una visualización clara y concisa del comportamiento de cada variable a lo largo del tiempo, lo que facilitará la identificación de patrones, posibles anomalías y áreas de mejora en el consumo energético del salón.

Tabla 3.
Mediciones bloque 14

Timestamp	volt_A	volt_B	volt_C	I_A	I_B	I_C	P_A	P_B	P_C	P_T	Q_A	Q_B	Q_C	Q_T	FP_A	FP_B	FP_C	FP_T	Frec
16/09/2024 21:15:23	124,23	125,15	125,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	60,01
16/09/2024 21:15:40	124,26	125,19	125,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	60,004
16/09/2024 21:22:11	124,35	125,33	125,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	60,018
16/09/2024 21:37:11	124,45	125,38	125,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	59,965
16/09/2024 21:52:12	124,63	125,59	125,38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	60,004
16/09/2024 22:07:11	124,92	125,87	125,63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	59,969
16/09/2024 22:22:11	125,27	126,2	125,89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	60,039
16/09/2024 22:37:11	125,68	126,51	126,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	59,965
16/09/2024 22:52:11	125,99	126,84	126,57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	59,986
16/09/2024 23:07:11	125,98	126,91	126,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	60,002
16/09/2024 23:22:11	126,55	127,45	127,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	59,979
16/09/2024 23:37:11	127,45	128,36	128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	60,012
16/09/2024 23:52:11	126,47	127,37	127,09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	60,006
17/09/2024 0:07:11	126,39	127,28	127,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	59,961
17/09/2024 0:22:12	126,71	127,56	127,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	59,998
17/09/2024 0:37:11	126,91	127,71	127,43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	59,988
17/09/2024 0:52:11	126,68	127,52	127,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	60,014
17/09/2024 1:07:15	126,04	126,88	126,53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	59,986
17/09/2024 1:22:11	126,33	127,18	126,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	60,016
17/09/2024 1:37:13	125,32	126,2	125,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	59,965
17/09/2024 1:52:11	125,36	126,23	125,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	59,994
17/09/2024 2:07:11	125,12	126,01	125,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	59,961
17/09/2024 2:22:15	125,13	125,97	125,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	59,969
17/09/2024 2:37:11	125,38	126,25	125,73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	59,982
17/09/2024 2:52:11	125,43	126,31	125,74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	60,045

Asimismo, esta representación gráfica será una herramienta fundamental para el análisis y la toma de decisiones enfocadas en optimizar la eficiencia eléctrica.

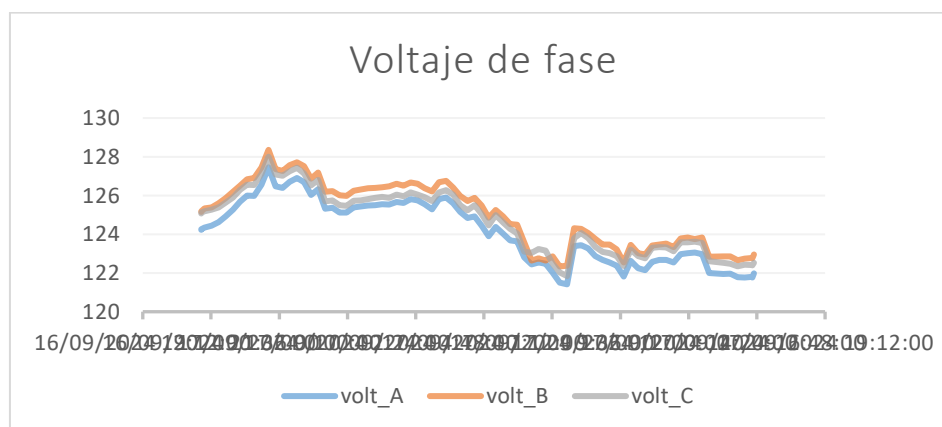


Figura 9. Voltaje de fase bloque 14.

Fuente: Autoría propia

La gráfica de voltaje de fase permite observar de manera detallada el nivel de tensión en cada una de las fases de un sistema eléctrico. Esta representación es útil para identificar desequilibrios, picos o caídas de tensión, convirtiéndose en una herramienta esencial para el monitoreo y análisis del comportamiento del sistema en tiempo real. Además, resulta crucial para garantizar la estabilidad operativa y optimizar la distribución de la carga entre las diferentes fases, contribuyendo a una mayor eficiencia y seguridad en el sistema eléctrico.

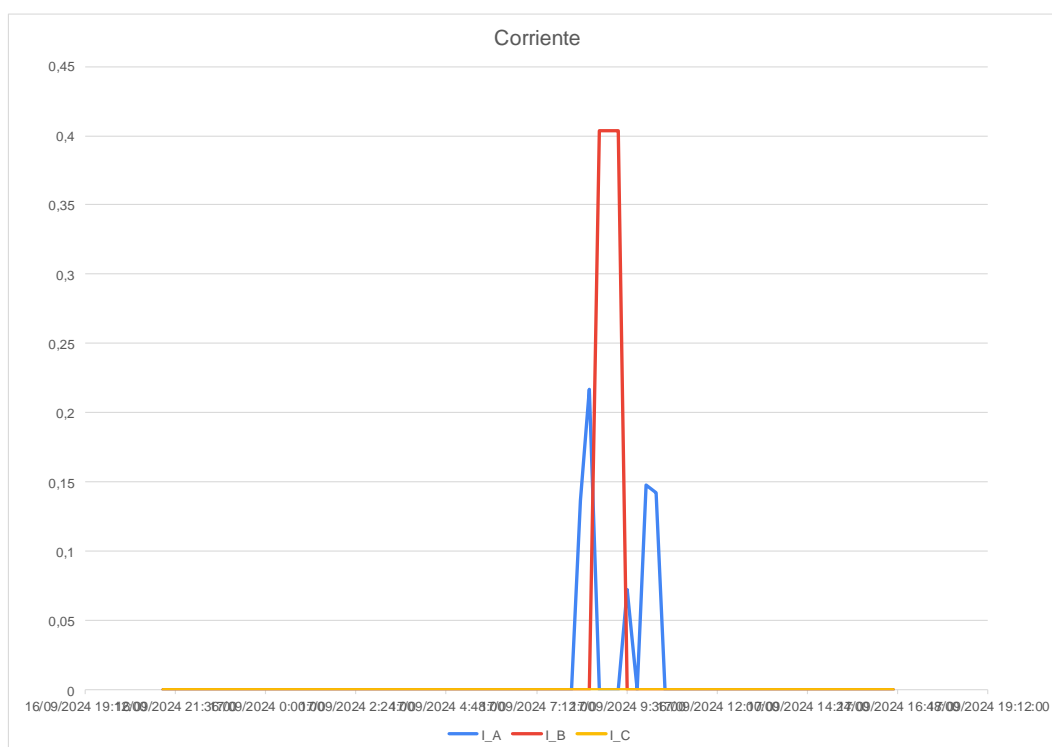


Figura 10. Corriente de cada fase bloque 14.

Fuente: Autoría propia

La gráfica de corriente proporciona una representación visual detallada del consumo en cada una de las fases de un sistema eléctrico.

Esta herramienta resulta esencial para analizar la distribución de la corriente, ya que facilita la detección de posibles sobrecargas, desequilibrios o fluctuaciones en el consumo de cada fase. Además, permite a los operadores evaluar el rendimiento del sistema y tomar decisiones informadas para optimizar la eficiencia y garantizar la seguridad operativa.

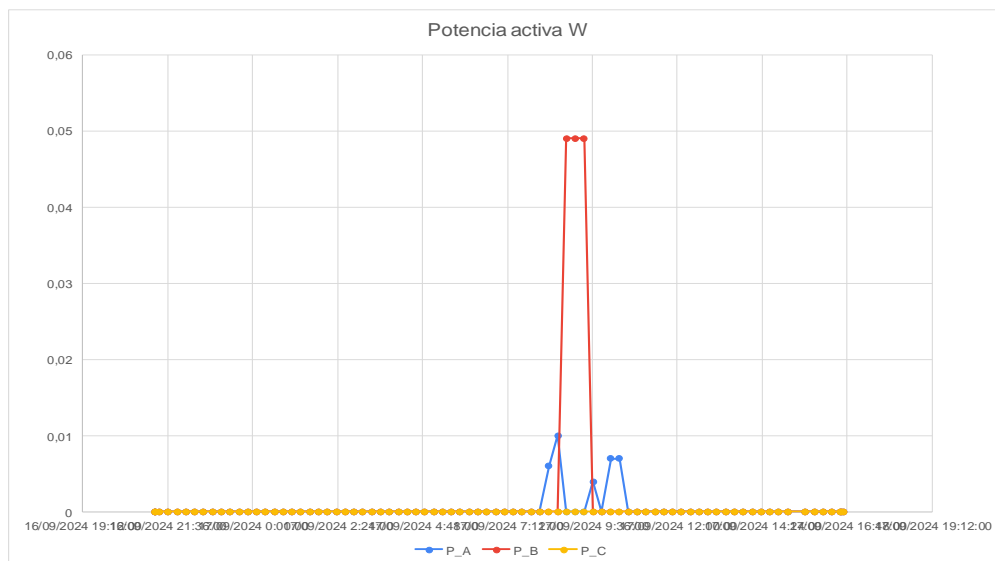
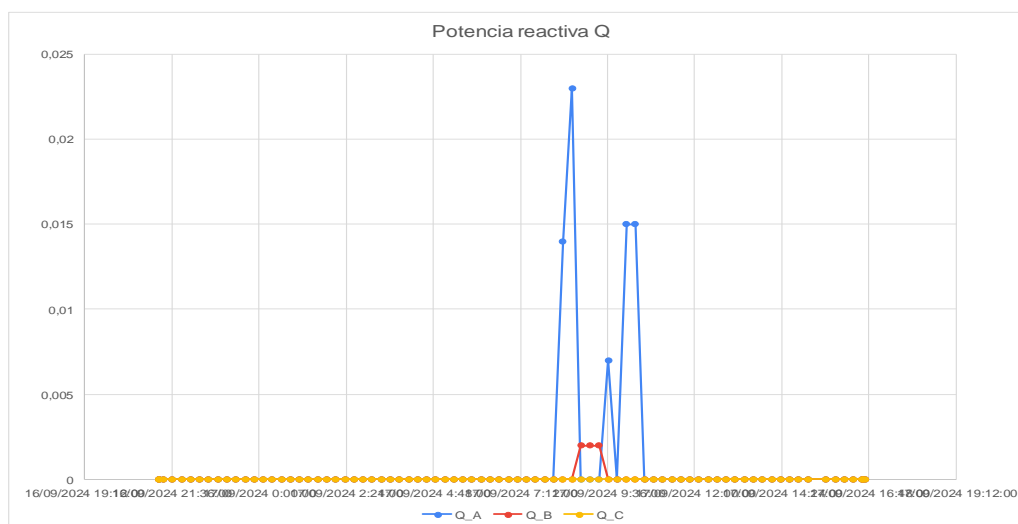


Figura 11. Potencia activa de cada fase bloque 14.

Fuente: Autoría propia

La gráfica de potencia activa ofrece una representación visual clara de la cantidad de energía consumida efectivamente en un sistema eléctrico para realizar trabajo útil. Este gráfico es esencial para el análisis de eficiencia, ya que permite identificar patrones de consumo y detectar áreas con potencial de optimización. Asimismo, facilita la detección de variaciones en la demanda de energía, lo que contribuye a ajustar la carga de manera adecuada y a mejorar el rendimiento general del sistema.



La gráfica de potencia reactiva ofrece una representación visual de la energía utilizada en un sistema eléctrico que, aunque no contribuye directamente al trabajo útil, es indispensable para mantener los campos magnéticos en equipos como motores y transformadores.

Este análisis resulta fundamental para identificar niveles de potencia reactiva que puedan afectar la eficiencia del sistema y generar pérdidas en la red. Además, la gráfica permite detectar patrones en el comportamiento del sistema y ajustar la compensación reactiva, optimizando el factor de potencia y reduciendo el desperdicio energético.

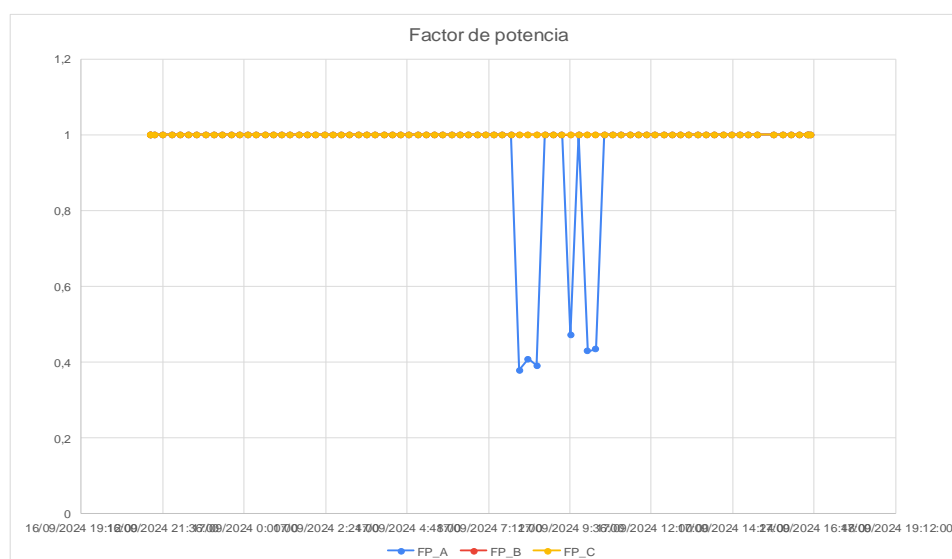


Figura 13. Factor de potencia de cada fase bloque 14.

Fuente: Autoría propia

La gráfica de factor de potencia proporciona una representación visual del grado de eficiencia con el que se utiliza la energía en un sistema eléctrico. Este gráfico es esencial para monitorear la relación entre la potencia activa y la potencia aparente, lo que indica qué parte de la energía se utiliza para realizar trabajo útil y cuál se pierde en forma de potencia reactiva.

Un análisis detallado del factor de potencia permite identificar oportunidades para mejorar la eficiencia del sistema, reducir los costos energéticos y minimizar las pérdidas en la red eléctrica. De esta manera, contribuye a un consumo más optimizado y sostenible de la energía.

Para el análisis de mediciones eléctricas realizadas, se recurre al uso de tablas, las cuales presentan las estadísticas descriptivas de las variables medidas por el medidor IoT, incluyendo la mediana, la media y la moda de cada una. Estas métricas son fundamentales para analizar la tendencia central de los datos recopilados, proporcionando una visión general del comportamiento de las variables monitoreadas.

La mediana: Refleja el valor central de las mediciones, eliminando el efecto de valores atípicos o extremos.

La media: Representa el promedio de los valores, ofreciendo una estimación general del comportamiento de cada variable.

La moda: Identifica el valor que aparece con mayor frecuencia, lo cual puede ser útil para detectar patrones o comportamientos recurrentes.

volt_A	124.431204
volt_B	125.291768
volt_C	125.022260
I_A	0.017408
I_B	0.022492
I_C	0.018246
P_A	0.000362
P_B	0.002227
P_C	0.001719
P_T	0.000961
Q_A	0.002000
Q_B	0.001297
Q_C	0.000919
Q_T	0.000559
FP_A	0.955677
FP_B	0.971197
FP_C	0.889791
FP_T	1.931002
Frec	59.991347

Figura 14. Media
Fuente: Autoría propia

volt_A	124.222
volt_B	125.165
volt_C	124.867
I_A	0.000
I_B	0.000
I_C	0.000
P_A	0.000
P_B	0.000
P_C	0.000
P_T	0.000
Q_A	0.000
Q_B	0.000
Q_C	0.000
Q_T	0.000
FP_A	1.000
FP_B	1.000
FP_C	1.000
FP_T	2.000
Frec	59.992

Figura 15. Mediana

Fuente: Autoría propia

Estas estadísticas son fundamentales para entender las características de los datos censados y para realizar comparaciones entre las distintas variables monitoreadas por el dispositivo.

volt_A	volt_B	volt_C	I_A	I_B	I_C	P_A	P_B	P_C	P_T	Q_A	Q_B	Q_C	Q_T	FP_A	FP_B	FP_C	FP_T	Frec
123.458	122.569	123.374	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	2.0	59.984

Figura 16. Moda

Fuente: Autoría propia

En las gráficas que se presentan a continuación se visualizan distintas medidas de variabilidad que caracterizan el comportamiento de los datos recolectados.

Estas métricas son fundamentales para comprender la dispersión y distribución de las observaciones en el conjunto de datos. Entre las medidas destacadas se incluyen:

volt_A	120.760
volt_B	121.763
volt_C	121.641
I_A	0.000
I_B	0.000
I_C	0.000
P_A	0.000
P_B	0.000
P_C	0.000
P_T	0.000
Q_A	0.000
Q_B	0.000
Q_C	0.000
Q_T	0.000
FP_A	0.015
FP_B	0.272
FP_C	0.000
FP_T	1.000
Frec	59.936

Figura 17. Mínimo
Fuente: Autoría propia

Mínimo y Máximo: Representan los valores extremos dentro del rango de los datos y son útiles para identificar posibles valores atípicos o errores en la medición.

volt_A	127.688
volt_B	128.501
volt_C	128.214
I_A	1.495
I_B	0.776
I_C	0.754
P_A	0.025
P_B	0.078
P_C	0.079
P_T	0.050
Q_A	0.178
Q_B	0.055
Q_C	0.047
Q_T	0.078
FP_A	1.000
FP_B	1.000
FP_C	1.000
FP_T	2.000
Frec	60.061

Figura 18. Máximo
Fuente: Autoría propia

volt_A	6.928
volt_B	6.738
volt_C	6.573
I_A	1.495
I_B	0.776
I_C	0.754
P_A	0.025
P_B	0.078
P_C	0.079
P_T	0.050
Q_A	0.178
Q_B	0.055
Q_C	0.047
Q_T	0.078
FP_A	0.985
FP_B	0.728
FP_C	1.000
FP_T	1.000
Frec	0.125

Figura 19. Rango
Fuente: Autoría propia

Rango: Calculado como la diferencia entre el valor máximo y el mínimo, describe la amplitud total de la variación en los datos.

volt_A	3.1920
volt_B	3.2425
volt_C	3.1495
I_A	0.0000
I_B	0.0000
I_C	0.0000
P_A	0.0000
P_B	0.0000
P_C	0.0000
P_T	0.0000
Q_A	0.0000
Q_B	0.0000
Q_C	0.0000
Q_T	0.0000
FP_A	0.0000
FP_B	0.0000
FP_C	0.0000
FP_T	0.0000
Frec	0.0390

Figura 20. Rango Intercuartílico (IQR)
Fuente: Autoría propia

Rango Intercuartílico (IQR): Mide la dispersión de los datos en el rango medio, excluyendo los valores extremos al considerar únicamente el 50% central de las observaciones, delimitado por el primer y tercer cuartil.

Estas gráficas permiten analizar de manera visual y comparativa la distribución de las distintas variables registradas, facilitando la identificación de patrones, anomalías o tendencias relevantes en los datos.

Este análisis es clave para profundizar en la interpretación y aplicación de los resultados en el contexto del proyecto.

Varianza: Proporciona una medida cuadrática de la dispersión respecto a la media, mostrando qué tan dispersos están los datos en promedio.

volt_A	3.031249
volt_B	3.095519
volt_C	2.880857
I_A	0.013005
I_B	0.012530
I_C	0.010234
P_A	0.000005
P_B	0.000127
P_C	0.000114
P_T	0.000032
Q_A	0.000183
Q_B	0.000060
Q_C	0.000036
Q_T	0.000019
FP_A	0.023572
FP_B	0.011642
FP_C	0.084966
FP_T	0.037500
Frec	0.000622

Figura 21. Varianza

Fuente: Autoría propia

volt_A	1.741048
volt_B	1.759409
volt_C	1.697309
I_A	0.114038
I_B	0.111936
I_C	0.101162
P_A	0.002243
P_B	0.011275
P_C	0.010666
P_T	0.005614
Q_A	0.013525
Q_B	0.007715
Q_C	0.006038
Q_T	0.004363
FP_A	0.153533
FP_B	0.107899
FP_C	0.291490
FP_T	0.193650
Frec	0.024934

Figura 22. Desviación estándar

Fuente: Autoría propia

Desviación Estándar: Indica la variabilidad promedio de los datos con respecto a la media, siendo una métrica más interpretable por estar en las mismas unidades que las observaciones.

Variable	Q1	Q2	Q3
volt_A	122.9885	124.222	126.1805
volt_B	123.8575	125.165	127.1000
volt_C	123.5885	124.867	126.7380
I_A	0.0000	0.0000	0.0000
I_B	0.0000	0.0000	0.0000
I_C	0.0000	0.0000	0.0000
P_A	0.0000	0.0000	0.0000
P_B	0.0000	0.0000	0.0000
P_C	0.0000	0.0000	0.0000
P_T	0.0000	0.0000	0.0000
Q_A	0.0000	0.0000	0.0000
Q_B	0.0000	0.0000	0.0000
Q_C	0.0000	0.0000	0.0000
Q_T	0.0000	0.0000	0.0000
FP_A	1.0000	1.0000	1.0000
FP_B	1.0000	1.0000	1.0000
FP_C	1.0000	1.0000	1.0000
FP_T	2.0000	2.0000	2.0000
Frec	59.9710	59.9920	60.0100

Figura 23. Cuartiles

Fuente: Autoría propia

Cuartiles: Muestran valores que dividen un conjunto de datos ordenados en cuatro partes iguales, de manera que cada parte contiene el 25% de los datos.

En las siguientes gráficas se presentan los valores obtenidos al calcular los deciles y percentiles de los datos. Estas representaciones visuales permiten observar de manera clara y precisa cómo se distribuyen los diferentes parámetros medidos, como voltaje, corriente, potencia y frecuencia, en distintos percentiles. El análisis de estas gráficas facilita la identificación de patrones de comportamiento en los datos, proporcionando una visión detallada de las variaciones y tendencias en los valores a lo largo del conjunto de datos.

Variable	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
volt_A	122.086	122.777	123.276	123.689	124.222	124.926	125.763	126.419	126.777
volt_B	122.880	123.628	124.087	124.511	125.165	125.805	126.634	127.297	127.665
volt_C	122.774	123.380	123.849	124.302	124.867	125.531	126.329	126.944	127.279
I_A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
I_B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
I_C	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017
P_A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P_B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P_C	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P_T	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Q_A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Q_B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Q_C	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Q_T	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FP_A	0.876	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
FP_B	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
FP_C	0.163	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
FP_T	1.600	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Frec	59.959	59.967	59.977	59.984	59.992	59.998	60.006	60.014	60.025

Figura 24. Deciles

Fuente: Autoría propia

Deciles: dividen un conjunto de datos ordenado en 10 partes iguales. Cada decil representa el valor que marca el límite de cada una de estas partes. Así, el primer decil (D1) marca el valor debajo del cual se encuentra el 10% de los datos, el segundo decil (D2) marca el valor debajo del cual se encuentra el 20%, y así sucesivamente hasta el noveno decil (D9), que marca el valor

debajo del cual se encuentra el 90% de los datos. Estos indicadores son útiles para comprender la distribución de los datos en intervalos más pequeños, permitiendo un análisis más granular.

Parámetro	Percentil 10 (P10)	Percentil 25 (P25)	Percentil 50 (P50)	Percentil 75 (P75)	Percentil 90 (P90)
volt_A	122.086	122.9885	124.222	126.1805	126.777
volt_B	122.880	123.8575	125.165	127.1000	127.665
volt_C	122.774	123.5885	124.867	126.7380	127.279
I_A	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.000
I_B	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.000
I_C	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.017
P_A	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.000
P_B	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.000
P_C	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.000
P_T	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.000
Q_A	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.000
Q_B	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.000
Q_C	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.000
Q_T	0.000	0.0000	0.000	0.0000	0.000
FP_A	0.876	1.0000	1.000	1.0000	1.000
FP_B	1.000	1.0000	1.000	1.0000	1.000
FP_C	0.163	1.0000	1.000	1.0000	1.000
FP_T	1.600	2.0000	2.000	2.0000	2.000
Frec	59.959	59.9710	59.992	60.0100	60.025

Figura 25. Percentiles

Fuente: Autoría propia

Percentiles: Son valores que dividen un conjunto de datos ordenado en 100 partes iguales, de modo que cada percentil representa el valor por debajo del cual se encuentra un porcentaje determinado de los datos. Por ejemplo, el percentil 50 (P50) corresponde a la mediana del conjunto de datos, donde el 50% de los valores están por debajo y el 50% restante por encima.

A continuación, se presentan las gráficas que muestran tanto la frecuencia absoluta como la frecuencia absoluta acumulada de los datos analizados.

volt_A	volt_B	volt_C	I_A	I_B	I_C	P_A	P_B	P_C	P_T	Q_A	Q_B	Q_C	Q_T	FP_A	FP_B	FP_C	FP_T	Frec
0	0	0	413	401	380	413	401	414	397	413	402	403	395	0	0	12	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	15	9	16	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	0	5	10	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	2	4	3	11	0	0	5	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	5	8	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 26. Frecuencia Absoluta

Fuente: Autoría propia

Frecuencia absoluta: Representa el número de veces que cada valor o intervalo se repite en el conjunto de datos, proporcionando una visión clara de la distribución de los valores individuales.

volt_A	volt_B	volt_C	I_A	I_B	I_C	P_A	P_B	P_C	P_T	Q_A	Q_B	Q_C	Q_T	FP_A	FP_B	FP_C	FP_T	Frec
0	0	0	413	401	380	413	401	414	397	413	402	403	395	0	0	12	0	0
0	0	0	413	401	380	413	401	414	400	413	417	412	411	0	0	12	0	0
0	0	0	413	401	380	414	401	414	400	417	417	417	421	0	0	12	0	0
0	0	0	413	401	380	416	405	417	411	417	417	422	422	0	0	12	0	0
0	0	0	413	401	380	421	413	418	412	417	417	422	422	0	0	12	0	0
...
431	427	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	430
431	428	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	430
431	429	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	430
431	430	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	430
431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	430

Figura 27. Frecuencia absoluta acumulada

Fuente: Autoría propia

La frecuencia absoluta acumulada muestra el total acumulado de las frecuencias absolutas a medida que avanzamos a través de los valores o intervalos, permitiendo observar la tendencia general del comportamiento de los datos de forma acumulativa. Estas visualizaciones son fundamentales para comprender tanto la distribución de los datos como la forma en que se acumulan a lo largo del conjunto de observaciones.

Para calcular el consumo energético mediante los datos adquiridos mediante IoT, es necesario conocer los parámetros básicos:

Voltaje (V): Es el voltaje que se está suministrando a cada una de las líneas.

Corriente (I): Es la corriente que se está consumiendo en cada una de las fases.

La fórmula empleada para el cálculo de la potencia activa en vatios es:

$$P = \sqrt{3} \times V_L \times I \times FP$$

Donde:

P: es la potencia activa en vatios (W).

VL: es el voltaje de línea a línea (en voltios).

I: es la corriente por fase (en amperios).

FP: es el factor de potencia (usualmente entre 0 y 1).

$\sqrt{3}$: es una constante que aparece en los cálculos de sistemas trifásicos.

Potencia aparente (S):

$$S = \sqrt{3} \times V_L \times I$$

Donde:

S: es la potencia aparente en voltio-amperios (VA).

Potencia reactiva (Q):

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Para obtener el consumo de energía en kilovatios-hora (kWh), se multiplica la potencia por el tiempo durante el cual el dispositivo estuvo funcionando:

$$\text{Energía consumida (kWh)} = \frac{P \times \text{Tiempo}(h)}{1000}$$

Análisis de costos por consumo energético actual. El consumo energético actual del Bloque 14 de la Institución Universitaria Pascual Bravo representa un gasto significativo que debe ser analizado detalladamente para identificar oportunidades de mejora en la eficiencia energética. Basándonos en las lecturas recopiladas y los datos históricos, el costo promedio mensual asociado al consumo de energía asciende a \$117,16.

Este valor se calcula considerando la tarifa vigente de energía eléctrica, los patrones de uso de los dispositivos eléctricos y el consumo estimado en kilovatios-hora (kWh).

Para adoptar medidas de uso racional y eficiente de la energía eléctrica, es importante tener en cuenta que el uso racional y eficiente de la energía eléctrica es esencial para optimizar recursos, reducir costos y minimizar el impacto ambiental. En el contexto del Bloque 14 de la Institución Universitaria Pascual Bravo, se proponen las siguientes medidas para fomentar un consumo más eficiente y sostenible:

Implementación de dispositivos IoT: Los medidores multivariables instalados permiten registrar el consumo en tiempo real, identificando patrones de uso y posibles excesos energéticos.

Análisis de datos históricos: Utilizar las mediciones para detectar horas pico de consumo y proponer ajustes en horarios de uso o redistribución de cargas.

Sustitución de equipos ineficientes: Reemplazar dispositivos eléctricos antiguos por modelos más eficientes, certificados con etiquetas de bajo consumo energético.

Uso de tecnología LED: Cambiar luminarias tradicionales por tecnología LED, que consume menos energía y tiene una mayor durabilidad.

Mantenimiento preventivo: Realizar mantenimiento regular de equipos como aires acondicionados, motores y sistemas eléctricos para garantizar su funcionamiento eficiente.

Campañas de sensibilización: Educar a los usuarios del bloque sobre el impacto de sus hábitos de consumo y cómo pequeñas acciones pueden generar ahorros significativos.

Capacitación en uso eficiente: Ofrecer talleres para el personal y estudiantes sobre el uso racional de los recursos eléctricos.

Elaboración de un manual de buenas prácticas: Incluir lineamientos claros sobre el uso adecuado de equipos eléctricos, horarios de operación y acciones permitidas dentro del bloque.

Auditorías energéticas periódicas: Revisar regularmente el sistema eléctrico para asegurar que las medidas implementadas sigan siendo efectivas.

7. Conclusiones

De acuerdo con los resultados visuales y numéricos obtenidos, se concluye que tanto el personal administrativo como el académico del Bloque 14 no son plenamente conscientes del mal uso que se hace de las máquinas de coser, computadoras, luminarias y aire acondicionado.

Asimismo, se observa que los tableros eléctricos tienden a elevar su temperatura cuando se les somete a demandas de carga, lo cual puede deberse a diversos factores, como falsos contactos, envejecimiento de componentes o un exceso en la demanda de energía.

Es necesario realizar visitas no intrusivas a las diferentes áreas para evaluar el comportamiento en el uso de los equipos y sus respectivos consumos de energía.

La determinación de la línea base de energía, a partir de las mediciones realizadas, permitirá generar historiales de consumo y evaluar las acciones a seguir.

Finalmente, se debe establecer una nueva línea base de energía alcanzable, es decir, un valor que se pueda obtener de acuerdo con los recursos disponibles.

8. Recomendaciones

Implementar un programa continuo de concientización sobre el uso adecuado de las máquinas de coser, la iluminación y el aire acondicionado en el Bloque 14, dirigido a docentes, personal administrativo y estudiantes.

Realizar un plan de mantenimiento preventivo a tableros y protecciones para detectar elementos dañados o excesos de demanda.

Para reducir los costos de energía es necesario cambiar las tecnologías en aires acondicionados, computadoras e iluminación:

Aires acondicionados convencionales por Sistemas Inverter.

Computadoras de más de 5 años por tecnología ENERGY-STAR. El consumo de una computadora eficiente es del 50% menos que el de una de hace 5 años.

Iluminación fluorescente T12 y T8 por tecnología “ECO-ENERGY” que actualmente está representada por las lámparas LED de alta eficiencia. T8 fluorescente de 32 watts se sustituye por una T8 LED de 16 watts, ambas iluminan igual, pero el consumo de la LED es la mitad de la fluorescente.

La gerencia de mantenimiento con el apoyo de la academia debe preparar un plan (URE) de educación para el buen uso de las unidades de aire acondicionado.

Hacer uso de la inspección no intrusiva que consiste en un análisis comparativo de los consumos energéticos de las instalaciones objeto de diagnóstico, con los consumos de instalaciones similares.

Con la línea base de energía obtenida proceder a informar a la gerencia de mantenimiento (Servicios Generales) de la Institución para definir las acciones a ejecutar.

Establecer una nueva línea base para el Bloque 14 que permita reducir el consumo de energía.

9. Referencias bibliográficas

- Fitzgerald, A. K. (2003). *Electric Machinery*. Mc.Graw Hill, Internationa.
- García-Peñalvo, F. J. (2019). nteligencia Artificial. Una perspectiva desde la ficción a la realidad. <https://bit.ly/2Q0jap0>. doi: 10.5281/zenodo.2818903.
- RASE, HOWARD F. et. al. Ingeniería de Proyectos para Plantas en Proceso. Méjico: CECSA, 2018.
- CONSTRUCTIVO. (2019). DISTRILUZ, 4 CAUSAS QUE ELEVAN EL CONSUMO DE ENERGIA. <https://constructivo.com/actualidad/distriluz-cuatro-causas-que-elevan-el-consumo-el-electricidad-1550844044>.
- ELECTRICOS, S. D. (2020). TRANSFORMADORES DE CORRIENTE, FUNCIONAMIENTO Y COMPONENTES. <https://jdelectricos.com.co/transformadores-de-corriente-uncionamiento/>.
- ENDESA. (2023). EL TRANSFORMADOR ELECTRICO. <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/corrientes-alternas-con-un-transformador-electrico>.
- ENERGIA, D. L. (2020). QUE ES UNA RED ELECTRICA. <https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/sobre-la-energia/preguntas-y-respuestas/produccion-distribucion-y-consumo-de-energia/que-es-la-red-electrica/>.
- EOS, T. (2023). MONITORIZACION DE LA ENERGIA CON MEDIDORES IOT. <https://tec-eos.com/monitorizacion-de-la-energia-con-medidores-iot/>.
- EPM, E. G. (2023). QUE ES LA ENERGIA ELECTRICA. <https://www.essa.com.co/site/comunidad/portal-kids/aprende-sobre-la-energia/-que-es-la-energia-electrica>.
- Fitzgerald, A. K. (2003). *Electric Machinery*. Mc.Graw Hill, Internationa.
- FLUKE. (2023). TRANSITORIOS Y DESEQUILIBRIOS DE TENSION. <https://www.fluke.com/es-co/informacion/blog/motores-sistemas-de-impulsion-bombas-compresores/desequilibrio-de-tension>.
- ILUMINACION, D. (2021). FLUCTUACIONES DE TENSION, QUE SON Y COMO EVITAR DAÑOS GRANDES. <https://blog.durotest.com.mx/variaciones-de-voltaje>.

INDUSTRIAS, G. (2021). QUE ES UN PLC Y COMO FUNCIONA.

<https://industriasgl.com/blogs/automatizacion/que-es-un-plc-y-como-funciona>.

KEYENCE. (2023). EVALUACION DE MEDICIONES.

<https://www.keyence.com.mx/ss/products/measure-sys/measurement-selection/environment/evaluation.jsp>.

LED, E. (2020). QUE ES UN ESQUEMA ELECTRICO.

<https://www.efectoled.com/blog/es/esquemas-electricos/.22>

ORS, G. (2023). QUE ES UN ANALIZADOR DE REDES ELECTRICAS.

<https://grupoors.com.mx/2020/08/19/que-es-un-analizador-de-redes-electricas/>.

PAIS, E. (2023). SOBRECOSTOS ELECTRICOS.

<https://www.elpais.com.co/opinion/columnistas/emilio-sardi/sobrecostos-electricos.html>.

PEPEENERGY. (2023). QUE ES UN SISTEMA DE PROTECCION.

<https://www.pepeenergy.com/blog/glosario/definicion-sistema-de-proteccion/#:~:text=Un%20sistema%20de%20protecci%C3%B3n%20se,aparici%C3%B3n%20de%20consecuencias%20m%C3%A1s%20graves>.

UNAL. (2018). CALIDAD DE LA ENERGIA ELECTRICA.

<https://minas.medellin.unal.edu.co/gruposdeinvestigacion/pass-un/investigacion/lineas-de-investigacion/10-investigacion/lineas-de-investigacion/5-calidad-de-la-energia-electrica.html>.

UNAM. (2020). SISTEMAS DE DISTRIBUCION.

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/784/A4%20SISTEMAS%20DE%20DISTRIBUCION.pdf?sequence=4>.

Caloryfrio.com (2024)

<https://www.caloryfrio.com/calefaccion/que-es-el-efecto-joule-aplicaciones-para-calefaccion.html>

BBVA (2024)

<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-eficiencia-energetica-y-como-se-calcula/>

I+D (2024)

<https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/instrumentaci%C3%B3n-industrial/automatizaci%C3%B3n/7km3120-0ba01-1da0-detail>