

**AUDITORÍA ENERGÉTICA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO
ELÉCTRICO EN LA EMPRESA POPPING BOBA INTERNATIONAL
S.A.S.UTILIZANDO MEDICIÓN REMOTA**

**ESTEFANIA PIEDRAHITA OCHOA
SANTIAGO RESTREPO PASOS**

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

**AUDITORÍA ENERGÉTICA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO
ELÉCTRICO EN LA EMPRESA POPPING BOBA INTERNATIONAL
S.A.S.UTILIZANDO MEDICIÓN REMOTA**

**ESTEFANIA PIEDRAHITA OCHOA
SANTIAGO RESTREPO PASOS**

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero electricista

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

**Asesora metodológica
Paola Maritza Ortiz Grisales
MSc. en energía**

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

2025

Contenido

1	Planteamiento del problema.....	14
1.1	Descripción	14
1.2	Formulación.....	15
2	Justificación	16
3	Objetivos.....	17
3.1	Objetivo general.....	17
3.2	Objetivos específicos	17
4	Marco teórico	18
4.1	Fundamentos de las auditorías energéticas	18
4.2	Uso racional y eficiencia energética en la industria.....	20
4.3	Aplicación de tecnología IoT en auditorías energéticas.	20
4.4	Normativa nacional relacionada con eficiencia energética.....	23
4.5	Impacto ambiental y sostenibilidad	24
4.6	Casos de referencia o antecedentes aplicados.....	25
5	Metodología	27
5.1	Tipo de proyecto	27
5.2	Método de investigación.....	27
5.3	Población y muestra.....	29
5.4	Instrumentos de recolección de información	29
5.4.1	Fuentes primarias:.....	31
5.4.2	Fuentes secundarias:	31
6	Resultados.....	33
7	Conclusiones.....	49
8	Recomendaciones	51

9	Referencias bibliográficas.....	53
10	Bibliografía	56
11	Anexos	58

Índice de figuras

Figura 1. Fundamentos de las auditorias energéticas.....	19
Figura 2 Auditoria energética con IOT	21
Figura 3 Ley 1715 de 2014 sobre la inclusión de energías renovables no convencionales	23
Figura 4. Descripción técnica de la auditoria.....	34
Figura 5. Conexión DRACMON-3	41
Figura 6. Factor de potencia.....	43

Índice de tablas

Tabla 1. Actividades desarrolladas durante la auditoría energética	36
Tabla 2. Aforo de cargas	37
Tabla 3. Protocolo de instalación	40
Tabla 4. Informe de plataforma energía.	44
Tabla 5. Informe de la plataforma, variables de factor de potencia	44

Resumen

AUDITORÍA ENERGÉTICA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO EN LA EMPRESA POPPING BOBA INTERNATIONAL S.A.S.UTILIZANDO MEDICIÓN REMOTA

ESTEFANIA PIEDRAHITA OCHOA

SANTIAGO RESTREPO PASOS

Este trabajo presenta la implementación de un sistema de monitoreo energético en la empresa Popping Boba International S.A.S., enfocado en el registro y análisis de parámetros eléctricos durante la jornada productiva. A través de mediciones continuas de voltaje, corriente, potencias activa, reactiva y aparente, y factor de potencia, se identifican los picos de demanda y periodos con bajo desempeño energético. Los resultados evidencian la presencia de pérdidas por energía reactiva y el descenso del factor de potencia bajo los valores recomendados, aportando criterios fundamentales para la toma de decisiones correctivas y preventivas. Las gráficas obtenidas y la base de datos recolectada permiten construir perfiles de consumo diferenciados, visualizar tendencias operativas y detectar anomalías, lo cual facilita la gestión eficiente, la reducción de costes y el cumplimiento de buenas prácticas en sostenibilidad energética.

Palabras claves: Monitoreo energético, factor de potencia, potencia activa, potencia reactiva, consumo eléctrico, eficiencia energética, picos de demanda, gestión energética, análisis de datos, pérdidas eléctricas, sostenibilidad, perfil de consumo, auditoría energética, sistema de medición.

Abstract

This work describes the implementation of an energy monitoring system at Popping Boba International S.A.S., focused on the continuous recording and analysis of key electrical parameters during productive hours. By systematically measuring voltage, current, active, reactive and apparent power, as well as power factors, critical demand peaks and periods of low energy performance were identified. The results reveal the occurrence of reactive energy losses and power factor drops below recommended values, providing essential criteria for corrective and preventive actions. The obtained charts and collected databases enable differentiated consumption profiling, visualization of operational trends, and anomaly detection, supporting efficient management, cost reduction, and compliance with best practices for energy sustainability.

Keywords: Energy monitoring, power factor, active power, reactive power, electric consumption, energy efficiency, demand peaks, energy management, data analysis, electrical losses, sustainability, consumption profile, energy audit, measurement system.

Glosario

Amperaje (A). Unidad de medida de la intensidad de corriente eléctrica.

Auditoría energética. Investigación sistemática del consumo de energía para identificar oportunidades de ahorro y eficiencia.

Banco de capacitores. Equipo que mejora el factor de potencia al compensar energía reactiva.

Carga inductiva. Equipos como motores que consumen energía reactiva generando desfase entre voltaje y corriente.

Consumo de energía activa. Energía real utilizada para realizar trabajo útil, medida en kWh.

Consumo de energía reactiva. Energía que circula sin realizar trabajo útil, medida en VARh.

Corriente eléctrica (I). Flujo de cargas eléctricas a través de un conductor, medido en amperios.

Dashboard. Interfaz gráfica que presenta visualmente los datos del monitoreo en tiempo real.

Demanda pico. Momento de máximo consumo energético durante la jornada.

Eficiencia energética. Capacidad de realizar operaciones usando la menor cantidad de energía posible.

Energía aparente (S). Combinación de potencia activa y reactiva, medida en VA.

Energía reactiva (Q). Energía necesaria para magnetizar equipos inductivos, medida en VAR.

Factor de potencia (FP). Relación entre potencia activa y aparente; indica eficiencia del uso energético. Ideal: ≥ 0.85 .

Fase (A, B, C). Cada uno de los tres conductores de un sistema trifásico.

Gestión energética. Conjunto de prácticas para optimizar consumo y reducir costos.

Kilovatios-hora (kWh). Unidad de energía equivalente a 1,000 vatios consumidos en una hora.

Medición remota. Capacidad de registrar datos energéticos desde ubicaciones alejadas mediante tecnología inalámbrica.

Monitoreo continuo. Registro sistemático e ininterrumpido de parámetros eléctricos.

PAC3120. Dispositivo que registra parámetros eléctricos en sistemas trifásicos.

Penalización tarifaria. Cargo económico adicional cuando el factor de potencia está bajo 0.85.

Pérdida de energía. Porción de energía que no genera trabajo útil por energía reactiva o resistencia.

Pico de demanda. Momento de máximo consumo cuando operan múltiples equipos simultáneamente.

Potencia activa (P). Energía real consumida, medida en vatios (W) o kilovatios (kW).

Potencia aparente (S). Suma vectorial de potencia activa y reactiva, medida en VA.

Potencia reactiva (Q). Energía consumida por equipos inductivos, medida en VAR.

Protocolo de instalación. Documento con procedimientos y requisitos para implementar el sistema de medición.

Red WiFi. Red inalámbrica que transmite datos desde el medidor hacia plataformas de análisis.

Sensor de corriente (TC). Dispositivo que convierte corrientes altas a valores medibles.

Sistema trifásico. Configuración de suministro eléctrico con tres fases desfasadas 120 grados.

Sostenibilidad energética. Capacidad de mantener un sistema rentable y ambientalmente responsable a largo plazo.

Transformador de corriente (TC). Dispositivo que reduce corrientes altas a valores seguros para instrumentación.

Voltaje (V). Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos, medida en voltios.

Introducción

Este proyecto de grado tiene como propósito principal realizar una auditoría energética en una de las zonas de producción de Popping Boba International S.A.S., una empresa del sector alimentario ubicada en el área metropolitana de Medellín. El tema central del trabajo gira en torno al uso eficiente de la energía eléctrica en entornos industriales, con énfasis en la implementación de tecnologías de medición remota mediante sistemas IoT (Internet de las Cosas), que permiten monitorear y analizar el consumo energético de los sistemas eléctricos en tiempo real.

La iniciativa surge de la necesidad de contar con información confiable y actualizada sobre cómo se está utilizando la energía dentro de los procesos operativos de la empresa. Actualmente, no se dispone de herramientas que permitan hacer seguimiento continuo a los consumos eléctricos, lo que impide detectar anomalías, sobrecargas o pérdidas que puedan estar generando costos innecesarios. Por esa razón, el proyecto busca proponer una solución práctica y aplicable que permita mejorar la gestión energética en la planta y sentar las bases para futuras acciones de eficiencia.

El trabajo está pensado como una intervención técnica en un entorno real, dividido en cuatro etapas: diagnóstico del sistema eléctrico en la zona seleccionada, instalación de un sistema de medición con sensores IoT, recolección y análisis de datos, y formulación de recomendaciones para mejorar el uso de la energía. Todo el proceso se realizará bajo criterios de seguridad eléctrica y buenas prácticas de auditoría, apoyado por documentación técnica y observaciones en campo.

La metodología utilizada es de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo. Se recopilarán datos medidos directamente en la planta durante un periodo de monitoreo continuo, y se complementará con entrevistas breves al personal operativo, observaciones técnicas y revisión de documentos internos. A partir de estos insumos se elaborará un análisis que permita entender los patrones de consumo y establecer propuestas de mejora viables.

Como toda intervención en una empresa en funcionamiento, el proyecto presenta algunas limitaciones. Por un lado, solo se intervendrá un subsistema eléctrico representativo, lo que implica que los resultados no abarcan el total de la planta. Por otro lado, el tiempo de monitoreo estará limitado a algunas semanas, lo que restringe el análisis a un periodo específico. Sin embargo, se espera que los hallazgos y recomendaciones entregadas sirvan como base para futuras expansiones del sistema de monitoreo dentro de la organización.

1 Planteamiento del problema.

1.1 Descripción

En las industrias del sector alimentario, como Popping Boba International S.A.S., el uso eficiente de la energía eléctrica es un factor clave tanto para la sostenibilidad operativa como para el cumplimiento de estándares de calidad, inocuidad y costos de producción competitivos. Sin embargo, en las instalaciones actuales de la empresa no se cuenta con un sistema de medición en tiempo real que permita supervisar el comportamiento energético de manera continua, detallada y automatizada en sus diferentes subsistemas eléctricos.

Esta falta de monitoreo limita la capacidad de detectar desviaciones de consumo, identificar pérdidas energéticas o sobrecargas, y anticipar fallas que puedan comprometer la eficiencia del proceso productivo. Además, sin datos precisos y actualizados, se dificultan las decisiones técnicas orientadas al ahorro, la mejora de desempeño energético y la reducción de costos operativos.

Dado que se trata de una empresa con procesos sensibles propios de la industria alimentaria, donde se requiere mantener condiciones controladas y garantizar la calidad del producto final, el consumo eléctrico representa una variable crítica. Por tanto, la ausencia de herramientas tecnológicas que brindan visibilidad sobre el uso energético representa una barrera importante para la optimización de los recursos y la sostenibilidad del negocio.

Ante este escenario, la implementación de una auditoría energética soportada en un sistema de medición remota basado en tecnología IoT se plantea como una alternativa viable y necesaria. Esta solución permitiría recopilar datos en tiempo real sobre variables eléctricas clave, detectar patrones de consumo, identificar posibles ineficiencias y formular recomendaciones que conduzcan a una gestión más racional y eficiente de la energía.

1.2 Formulación.

¿Cómo puede la implementación de un sistema de medición remota basado en tecnología IoT apoyar el desarrollo de una auditoría energética en Popping Boba International S.A.S., facilitando la identificación de consumos críticos, anomalías operativas y oportunidades de mejora para optimizar el uso de la energía eléctrica en sus procesos industriales?

2 Justificación

Popping Boba International S.A.S. es una empresa del sector alimentario que depende en gran medida del uso constante y controlado de energía eléctrica para garantizar la calidad de sus procesos productivos. En este tipo de industria, cualquier desperdicio energético, sobrecarga o falla en el suministro no solo representa un aumento en los costos operativos, sino también un riesgo para la estabilidad del proceso y la inocuidad del producto final.

Actualmente, la empresa no cuenta con herramientas que le permitan conocer con precisión cómo se está utilizando la energía en cada uno de sus subsistemas. Esta falta de visibilidad limita la posibilidad de detectar consumos innecesarios, identificar ineficiencias y tomar decisiones técnicas que ayuden a mejorar el rendimiento energético.

Realizar una auditoría energética con apoyo de un sistema de medición remota basado en tecnología IoT permitirá recolectar datos reales y actualizados, analizar el comportamiento eléctrico en diferentes áreas de la planta y, con base en eso, proponer acciones concretas para optimizar el consumo. Esta información no solo facilitará la toma de decisiones informadas, sino que también abrirá la puerta a estrategias de ahorro y sostenibilidad alineadas con los objetivos operativos de la empresa.

Además, el proyecto representa una oportunidad para fortalecer la cultura organizacional en torno al uso racional de la energía y prepararse para futuros procesos de mejora continua, certificaciones o cumplimiento de normativas relacionadas con eficiencia energética.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Realizar una auditoría energética en Popping Boba International S.A.S. mediante la instalación de un sistema de medición remota, para la identificación de oportunidades de mejora en el consumo eléctrico de los procesos industriales y la propuesta de acciones que contribuyan a una gestión más eficiente de la energía.

3.2 Objetivos específicos

Analizar el comportamiento del consumo eléctrico en los principales subsistemas de la planta, mediante la recopilación de datos en tiempo real, identificando equipos o procesos con consumos elevados, patrones irregulares o pérdidas energéticas que puedan ser optimizados.

Implementar un sistema de medición remota basado en IoT que permita el registro y la visualización, en una plataforma remota, de variables eléctricas claves de manera continua.

Proponer mejoras prácticas, tanto técnicas como operativas, orientadas a la reducción del consumo energético sin afectación de la calidad del proceso productivo, estableciendo los indicadores básicos que permitan a la empresa hacer seguimiento al uso de la energía y evaluación del impacto de las acciones correctivas en el tiempo.

4 Marco teórico

4.1 Fundamentos de las auditorías energéticas

Una auditoría energética es un estudio técnico que permite conocer con precisión cómo se está utilizando la energía en una instalación, identificar áreas con consumos elevados o ineficientes, y proponer acciones que conduzcan a una mejora en el desempeño energético. Su objetivo principal es proporcionar una base sólida para reducir el consumo de energía sin afectar la calidad, la producción ni el confort operativo (ISO, 2014).

Según la norma ISO 50002:2014, una auditoría energética debe incluir el análisis de perfiles de consumo, la identificación de pérdidas energéticas y la formulación de oportunidades de mejora, priorizadas en función de su impacto y viabilidad. Estas auditorías son herramientas clave dentro de los sistemas de gestión de la energía, ya que permiten establecer líneas base de consumo, indicadores de desempeño y planes de acción enfocados en la eficiencia.

Las auditorías pueden clasificarse en varios niveles, dependiendo de su alcance y profundidad:

Auditoría preliminar: ofrece un panorama general del consumo y permite identificar oportunidades de mejora de forma rápida y con datos básicos.

Auditoría estándar o de diagnóstico: profundiza en los sistemas energéticos más relevantes, recolectando datos medidos, revisando la operación de equipos y analizando el potencial de ahorro energético.

Auditoría detallada: es más exhaustiva y suele incluir mediciones en tiempo real, modelado energético, análisis económico y propuestas de inversión (UPME, 2020).

En contextos industriales como el de Popping Boba International S.A.S., donde existen procesos que requieren consumo continuo —por ejemplo, refrigeración, mezclado, bombeo o

climatización—, una auditoría energética no solo ayuda a reducir costos, sino que mejora la confiabilidad operativa, extiende la vida útil de los equipos y aporta al cumplimiento de estándares de sostenibilidad (González & Mejía, 2018). Estas bases se ilustran de manera esquemática en la figura 1.

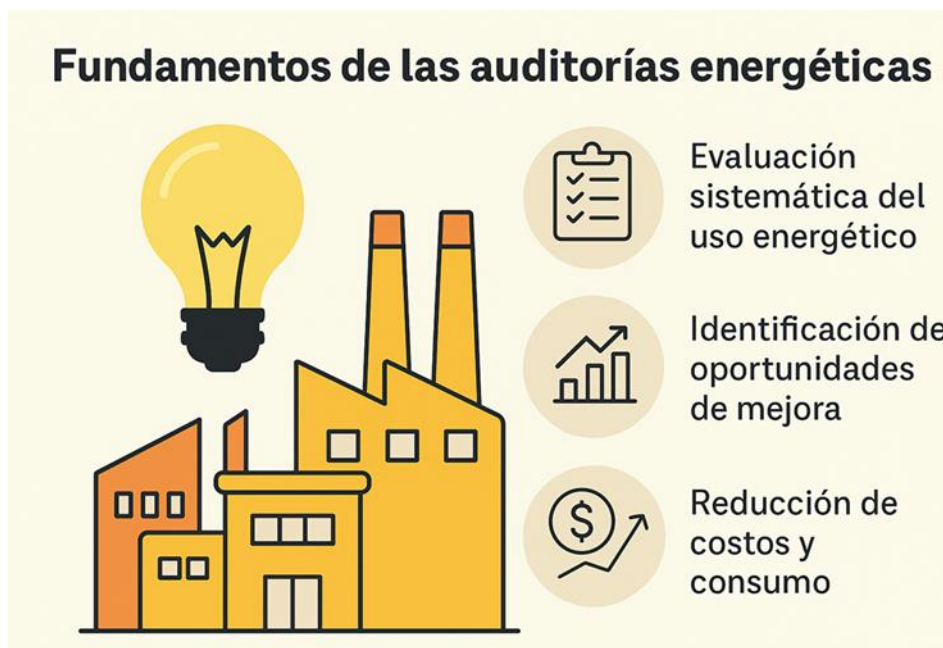


Figura 1. Fundamentos de las auditorías energéticas
Fuente propia.

Las auditorías también cumplen un rol fundamental para la toma de decisiones estratégicas, ya que ofrecen evidencia clara para justificar cambios tecnológicos, programar mantenimientos preventivos o establecer políticas internas de uso racional de la energía. En muchos países, incluidas empresas colombianas, este tipo de evaluaciones se están convirtiendo en parte del cumplimiento normativo o de requisitos para acceder a incentivos energéticos y ambientales (Congreso de Colombia, 2001; Ley 697).

En el caso de este proyecto, la auditoría se apoya en herramientas de medición remota (IoT) que permiten recolectar datos en tiempo real, mejorando la calidad del análisis y facilitando la identificación temprana de anomalías o consumos fuera de lo esperado. Esto convierte la auditoría no solo en un proceso puntual, sino en el inicio de una gestión energética continua y basada en datos.

4.2 Uso racional y eficiencia energética en la industria.

La eficiencia energética en la industria alimentaria es un factor clave para mantener la competitividad y sostenibilidad de las empresas. El uso racional de la energía (URE) implica emplear únicamente la energía necesaria para el cumplimiento de una actividad, reduciendo pérdidas y evitando consumos innecesarios sin afectar la calidad del producto ni la continuidad del proceso (UPME, 2020).

En líneas de producción con procesos continuos o con equipos que operan bajo condiciones específicas —como cámaras de refrigeración, bombas de vacío, mezcladores y compresores— la identificación de ineficiencias energéticas no siempre es evidente a simple vista. En este contexto, una auditoría energética se convierte en una herramienta estratégica, ya que permite obtener una fotografía detallada del comportamiento energético de la planta y plantea oportunidades concretas de mejora técnica y económica (González & Mejía, 2018).

Una gestión energética eficaz no solo mejora los indicadores financieros, sino que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), lo que está en línea con los compromisos de sostenibilidad ambiental de Colombia y con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (PNUD, 2015).

4.3 Aplicación de tecnología IoT en auditorías energéticas.

La incorporación de herramientas de Internet de las Cosas (IoT) ha transformado la forma en que se realizan las auditorías energéticas. Gracias al desarrollo de sensores inteligentes y sistemas de comunicación de bajo costo, ahora es posible realizar un monitoreo continuo, detallado y no invasivo del comportamiento eléctrico en tiempo real.

Esta tecnología permite conectar dispositivos de medición directamente a plataformas digitales, facilitando la visualización, el análisis y el almacenamiento de datos desde cualquier ubicación con acceso a internet (Atzori, Iera & Morabito, 2010).

En el contexto de una auditoría energética, la aplicación de IoT representa una ventaja significativa frente a los métodos tradicionales de medición puntual o por inspección manual. Mediante sensores distribuidos en puntos estratégicos del sistema eléctrico, es posible capturar variables como corriente, voltaje, potencia activa y reactiva, factor de potencia, energía consumida e incluso calidad de la energía. Estos datos se transmiten mediante redes WiFi, LoRa o incluso comunicación celular, hacia plataformas en la nube o servidores locales que permiten analizarlos en tiempo real o almacenarlos para estudios posteriores. La figura 2 muestra la estructura típica general de los diferentes sistemas de monitoreo vía IoT.



Figura 2 Auditoría energética con IOT

Fuente propia

Entre los beneficios más destacados del uso de IoT en auditorías energéticas se encuentran:

Detección temprana de ineficiencias o sobreconsumos, lo que permite actuar antes de que el problema tenga impacto en costos o en la estabilidad del sistema.

Análisis por zonas, equipos o turnos específicos, lo que permite segmentar la información y encontrar consumos atípicos en horarios no operativos o en cargas inactivas.

Históricos de consumo con alta granularidad, lo que facilita estudios comparativos antes y después de aplicar medidas correctivas, así como la evaluación de mejoras a largo plazo (García et al., 2021).

Alertas automatizadas, que notifican al personal técnico cuando se presentan eventos fuera de los rangos establecidos, como sobrecargas o caídas de tensión.

Además, los sistemas IoT pueden integrarse con herramientas de visualización como Grafana, Node-RED o Emoncms, que permiten representar gráficamente el comportamiento energético y facilitar la toma de decisiones. Algunas plataformas comerciales también ofrecen interfaces personalizadas para sectores específicos, incluyendo la industria alimentaria, donde el control del consumo eléctrico en procesos térmicos, sistemas de refrigeración o equipos de bombeo es crítico.

En los últimos años, empresas del sector industrial y alimentario han comenzado a incorporar soluciones IoT como parte de sus estrategias de eficiencia energética. Estas tecnologías no solo han permitido detectar pérdidas energéticas invisibles a simple vista, sino también optimizar el funcionamiento de equipos, programar mantenimientos con base en datos reales y reducir el consumo en horarios no productivos (Ahmed et al., 2019; Younis, Ghumman & Sajjad, 2020).

El uso de esta tecnología también ha contribuido a democratizar el acceso a auditorías energéticas, ya que los sensores actuales son de bajo costo, modulares y no requieren infraestructura compleja. Esto ha abierto la posibilidad para que pequeñas y medianas empresas puedan implementar sus propios sistemas de monitoreo, sin depender exclusivamente de grandes consultoras.

En el caso de este proyecto, la implementación de un sistema de medición remota basado en IoT permitirá obtener datos confiables y continuos sobre el consumo energético de un subsistema de Popping Boba International S.A.S., facilitando la identificación de oportunidades de mejora con base en evidencia y reforzando el enfoque preventivo en la gestión eléctrica.

4.4 Normativa nacional relacionada con eficiencia energética

En Colombia, la base normativa para la eficiencia energética está conformada por la Ley 697 de 2001, que establece los lineamientos generales para fomentar el uso racional de la energía en todos los sectores económicos. Esta ley dio origen al Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía (PROURE), gestionado por la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética).

La Ley 1715 de 2014 complementa este marco legal promoviendo el uso de fuentes no convencionales de energía y otorgando beneficios tributarios a las empresas que implementen tecnologías limpias o planes de eficiencia energética en un esquema como el presentado en la figura 3. Por su parte, el RETIE establece exigencias técnicas para garantizar la seguridad de las instalaciones eléctricas, incluyendo aspectos relacionados con la eficiencia y el mantenimiento (Ministerio de Minas y Energía, 2018).



Figura 3 Ley 1715 de 2014 sobre la inclusión de energías renovables no convencionales
Fuente propia

En el plano internacional, la norma ISO 50001:2018 brinda una estructura para desarrollar un sistema de gestión de la energía, enfocándose en la mejora continua del desempeño energético. Complementariamente, la ISO 50002:2014 proporciona directrices específicas para la realización de auditorías energéticas.

Contar con una auditoría energética que se fundamente en este marco legal y técnico no solo mejora el desempeño de la empresa, sino que también fortalece su capacidad para acceder a incentivos, certificaciones y estándares de sostenibilidad.

4.5 Impacto ambiental y sostenibilidad

El uso eficiente de la energía no solo representa un ahorro económico para las empresas, sino que también tiene un impacto directo en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), una de las principales causas del cambio climático. En este sentido, las auditorías energéticas se convierten en una herramienta clave para identificar oportunidades de mejora que contribuyan al desempeño ambiental de las organizaciones (AIE, 2021).

En Colombia, el sector industrial es responsable de una parte importante del consumo energético nacional, y con ello de una porción significativa de las emisiones de CO₂ asociadas a la generación eléctrica, especialmente cuando proviene de fuentes fósiles. Por eso, las estrategias de eficiencia energética están directamente alineadas con los compromisos del país frente al Acuerdo de París, la Agenda 2030 y el Plan Nacional de Desarrollo, en lo relacionado con sostenibilidad y mitigación del cambio climático (PNUD, 2015; Minambiente, 2020).

Implementar auditorías energéticas permite a las empresas no solo identificar consumos innecesarios o ineficientes, sino también hacer ajustes operativos, tecnológicos o de comportamiento que reduzcan su huella de carbono. Acciones como la sustitución de equipos obsoletos, la programación adecuada de horarios de operación o la optimización de sistemas térmicos y de climatización, impactan directamente en el consumo total de energía y, por ende, en las emisiones asociadas.

Además, la eficiencia energética es uno de los pilares fundamentales de la economía circular, ya que permite desacoplar el crecimiento productivo del aumento en el consumo de recursos. En industrias como la alimentaria, donde el consumo energético suele representar un porcentaje importante de los costos operativos, cada kWh ahorrado no solo reduce costos, sino que también

disminuye la presión sobre los recursos naturales (González & Mejía, 2018).

Desde una perspectiva más amplia, las empresas que incorporan criterios de sostenibilidad en sus procesos, incluyendo el control energético, fortalecen su reputación corporativa, mejoran su posición frente a clientes exigentes y aumentan su acceso a financiamiento verde o incentivos gubernamentales. En este sentido, contar con diagnósticos energéticos y sistemas de monitoreo también representa una forma de prepararse ante futuras regulaciones ambientales más estrictas o frente a estándares internacionales que valoran la responsabilidad ambiental como parte del desempeño organizacional.

Por todo lo anterior, la realización de auditorías energéticas con enfoque en sostenibilidad no debe entenderse únicamente como una acción técnica, sino como una decisión estratégica que aporta al desarrollo responsable de las empresas y a la protección del entorno.

4.6 Casos de referencia o antecedentes aplicados

Diversos estudios y experiencias prácticas en empresas e instituciones han demostrado que la implementación de auditorías energéticas y sistemas de monitoreo basados en IoT puede generar ahorros significativos, mejorar la confiabilidad de los procesos y reducir el impacto ambiental asociado al consumo eléctrico.

Uno de los casos más citados es el de la Universidad de California, que a través de su programa de sostenibilidad instaló sistemas de monitoreo inteligente en varios de sus edificios. Gracias al uso de sensores y plataformas de análisis energético, lograron reducir el consumo eléctrico en un 15% sin afectar el confort ni la operatividad de los espacios. Esta iniciativa incluyó auditorías energéticas detalladas, automatización de iluminación y climatización según horarios reales de ocupación, y visualización de datos en tiempo real para equipos de mantenimiento y administración (Universidad de California, 2019).

En América Latina, un ejemplo destacado es el del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) de Costa Rica, que desarrolló un sistema de gestión energética apoyado en plataformas IoT en

sus sedes técnicas. Este sistema permitió monitorear en tiempo real consumos eléctricos por talleres, laboratorios y oficinas, identificando pérdidas ocultas por equipos en stand-by o mal uso del aire acondicionado. A partir del análisis de datos se implementaron medidas simples pero efectivas, como la instalación de temporizadores, relocalización de cargas y jornadas de capacitación sobre uso eficiente de la energía (INA, 2020).

En Colombia, varias universidades públicas han comenzado a integrar auditorías energéticas en sus planes de infraestructura sostenible. La Universidad de Antioquia, por ejemplo, desarrolló un piloto en su Facultad de Ingeniería utilizando sensores IoT para medir consumos por zonas, logrando detectar sobrecargas y consumos fuera de horario que pasaban desapercibidos en los registros mensuales. Este tipo de experiencias han servido como base para replicar el modelo en otras sedes (UdeA, 2021).

A nivel empresarial, compañías del sector de alimentos como Alpina y Postobón han sido reconocidas por implementar sistemas de gestión energética certificados bajo la norma ISO 50001. Estos procesos han incluido auditorías detalladas, monitoreo de consumos eléctricos y térmicos, e incorporación de indicadores de desempeño energético por la línea de producción. Gracias a ello, han logrado reducciones de hasta el 20% en el consumo de energía por unidad producida, demostrando que la eficiencia energética es también una herramienta para mejorar la competitividad (ANDI, 2022).

Todos estos casos coinciden en un aspecto clave: la toma de decisiones basada en datos medidos en tiempo real permite intervenir con mayor precisión, justificar inversiones y mantener resultados sostenibles en el tiempo. La experiencia demuestra que las auditorías apoyadas en tecnología IoT son aplicables, efectivas y escalables, tanto en instituciones educativas como en entornos industriales. En ese sentido, el proyecto propuesto para Popping Boba International S.A.S. se enmarca dentro de una tendencia actual de transformación energética digital que ha demostrado resultados positivos en múltiples contextos.

5 Metodología

5.1 Tipo de proyecto

Este es un proyecto de tipo aplicado, enfocado en resolver un problema real dentro de un entorno industrial. Su desarrollo se basa en la implementación práctica de una solución tecnológica —en este caso, un sistema de medición remota basado en IoT— con el objetivo de obtener información útil para tomar decisiones relacionadas con el consumo energético.

El trabajo se enmarca en la categoría de desarrollo tecnológico, ya que combina elementos de ingeniería eléctrica, automatización y análisis de datos, aplicados directamente en las instalaciones de una empresa. No se trata de una investigación teórica, sino de una intervención directa, que busca entregar resultados concretos a través de la instalación de equipos, el monitoreo de variables eléctricas y la generación de recomendaciones técnicas.

El enfoque es esencialmente técnico, aunque también se considera el componente organizacional y operativo del lugar donde se realiza la auditoría, lo que le da un carácter integral y contextualizado.

5.2 Método de investigación

Este proyecto se desarrollará en cuatro etapas principales, con un enfoque práctico y adaptado a las condiciones reales de la empresa Popping Boba International S.A.S.

Diagnóstico inicial: se hará una visita técnica para revisar cómo está distribuido el sistema eléctrico en la planta. Se identificarán los equipos que más consumen energía, los horarios de mayor demanda y se recogerá información como planos eléctricos y facturas de energía.

Se comenzará con una revisión detallada del sistema eléctrico de una zona seleccionada dentro de la planta de Popping Boba International S.A.S. Esta revisión incluye la inspección de tableros, cargas conectadas, horarios de operación y posibles puntos críticos de consumo.

También se recopilará documentación técnica relevante como planos eléctricos, facturas de energía y fichas de equipos. El objetivo es establecer una línea base del comportamiento energético actual, con un informe de diagnóstico que describa el estado energético de la zona intervenida, identificando equipos de alto consumo y posibles oportunidades de mejora.

Instalación del sistema de medición: se instalará un sistema de monitoreo remoto con sensores IoT en un área específica de la planta. Estos sensores medirán variables eléctricas como corriente, voltaje y potencia, y enviarán los datos en tiempo real a una plataforma donde se puedan ver y analizar.

Con base en el diagnóstico, se definirá dónde ubicar los sensores IoT que medirán variables como corriente, voltaje, potencia y consumo energético. Se instalarán dispositivos compatibles con una plataforma de monitoreo que permita visualizar los datos en tiempo real. Esta instalación se realizará siguiendo las normas técnicas de seguridad (RETIE) y con el apoyo del personal de la empresa, teniendo como resultado esperado, un sistema IoT instalado y funcionando, con capacidad de enviar datos confiables sobre el consumo eléctrico de forma continua.

Recolección y análisis de datos: durante varias semanas se recogerán datos de forma continua. Luego se analizará esa información para encontrar patrones de consumo, picos de demanda, posibles pérdidas de energía o consumos innecesarios.

Durante al menos tres semanas se realizará el monitoreo de los datos energéticos. Con la información obtenida, se elaborarán gráficas, comparaciones y cálculos que permitan entender los patrones de consumo, identificar comportamientos anómalos y cuantificar las posibles pérdidas o ineficiencias, teniendo como resultado esperado, una base de datos de consumo real y análisis interpretativo que muestre las tendencias energéticas del área medida.

Recomendaciones: con base en el análisis, se propondrán acciones para mejorar el uso de la energía. Estas pueden incluir cambios en la operación, mantenimiento de equipos o instalación de tecnologías más eficientes. También se sugerirán indicadores para que la empresa pueda seguir midiendo su desempeño energético a futuro.

Con los resultados del análisis se diseñará una propuesta de acciones correctivas o de mejora, orientadas a optimizar el uso de la energía. Estas pueden incluir ajustes operativos, mantenimiento, cambios tecnológicos o recomendaciones sobre hábitos de consumo. Se entregará un informe técnico final que recoja todos los hallazgos del proceso y las sugerencias concretas para la empresa, teniendo como esperado, un informe técnico completo con conclusiones claras y un plan de recomendaciones prácticas para mejorar la eficiencia energética en la planta.

5.3 Población y muestra

En este proyecto, la población corresponde al conjunto total del sistema eléctrico de Popping Boba International S.A.S., incluyendo todos los equipos, tableros y áreas de consumo de energía dentro de la planta. Sin embargo, debido al alcance del trabajo y a la naturaleza exploratoria del estudio, no se intervendrá toda la instalación.

Para esta auditoría se seleccionará una muestra específica, enfocada en un subsistema o área representativa del proceso productivo, que será definida en conjunto con el personal técnico de la empresa. Esta selección se hará teniendo en cuenta factores como el nivel de consumo, la criticidad del proceso, la facilidad de acceso y el interés de la empresa en obtener información más detallada sobre ese punto.

El análisis que se haga en esta zona servirá como referencia para conocer el comportamiento energético en condiciones reales de operación. Además, los resultados obtenidos podrían aplicarse posteriormente en otras áreas similares dentro de la planta si se decide ampliar el alcance de la auditoría en el futuro.

5.4 Instrumentos de recolección de información

Para el desarrollo de la auditoría energética se utilizarán diferentes herramientas que permiten recopilar información confiable sin alterar la operación normal de la planta. Estos instrumentos combinan medición automática, validación manual y observaciones directas en campo.

Sistema de medición remota (IoT), el cual será el principal instrumento para la recolección de datos eléctricos. Consiste en sensores instalados en puntos específicos del sistema eléctrico de la empresa, capaces de registrar variables como corriente, voltaje, potencia y consumo de energía. La información será transmitida en tiempo real a una plataforma digital que permitirá su monitoreo continuo y análisis posterior.

Equipos de medición portátil (multímetro y pinza amperimétrica), que durante el diagnóstico inicial y la etapa de validación del sistema IoT, se realizarán mediciones puntuales con equipos tradicionales. Estas lecturas servirán para verificar el correcto funcionamiento de los sensores instalados y para obtener datos de referencia en sitio.

Observaciones directas en campo mediante visitas técnicas, en las que se recopilará información visual y contextual sobre el estado de los tableros, el uso de los equipos, los horarios de operación y cualquier comportamiento inusual en el consumo eléctrico, como cargas activas fuera del horario productivo o sobrecargas visibles.

Entrevistas informales con el personal, para lo cual se mantendrán conversaciones breves con operarios, técnicos o personal de mantenimiento para conocer detalles del funcionamiento diario de los equipos eléctricos, posibles fallas o comportamientos de consumo que ellos hayan identificado en la práctica. No se aplicarán encuestas estructuradas, sino preguntas puntuales.

Documentación interna de la empresa: En caso de que la empresa facilite el acceso, se revisarán documentos como planos eléctricos, facturación de energía y listados de equipos. Estos insumos complementarán los datos obtenidos en campo y permitirán establecer comparaciones con el consumo histórico.

En conjunto, esta combinación de mediciones automatizadas, instrumentos convencionales, observación directa y apoyo documental garantizará una caracterización completa y precisa del comportamiento energético en el área evaluada. Fuentes de información primarias y secundarias.

En correspondencia con los instrumentos anteriores, se definen las fuentes de donde proviene la información:

5.4.1 Fuentes primarias:

Se trata de la información recolectada directamente en el sitio donde se desarrolla el proyecto. Dentro de esta categoría se encuentran:

Registros del sistema de medición IoT, el cual permitirá monitorear en tiempo real el comportamiento eléctrico del área seleccionada.

Mediciones manuales tomadas con equipos como multímetros digitales y pinzas amperimétricas, utilizadas para validar los datos entregados por el sistema automatizado.

Observaciones realizadas durante las visitas técnicas, que incluyen aspectos como el estado físico de los tableros, los horarios de operación y las condiciones visibles de funcionamiento de los equipos eléctricos.

Aportes del personal técnico y operativo, obtenidos mediante conversaciones informales que permiten conocer detalles prácticos sobre el uso de la energía, la presencia de fallas recurrentes y las rutinas diarias que pueden incidir en el consumo.

5.4.2 Fuentes secundarias:

Se considera fuentes secundarias aquellos documentos y referencias externas que sirven de apoyo para complementar el análisis realizado en campo. Entre ellas se encuentran. Se consideran:

fuentes secundarias aquellos documentos y referencias externas que sirven de apoyo para complementar el análisis realizado en campo. Entre ellas se encuentran. Se consideran:

Facturas de energía y registros históricos proporcionados por la empresa, que permiten observar tendencias de consumo y compararlas con los datos actuales.

Planos eléctricos y fichas técnicas de equipos, en caso de estar disponibles, los cuales ayudan a entender la distribución del sistema y las características de los equipos instalados.

Normativas vigentes, como la Ley 697 de 2001, la Ley 1715 de 2014, el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y la norma ISO 50001, que establecen criterios para una gestión energética eficiente y segura.

Bibliografía técnica y artículos especializados, relacionados con auditorías energéticas e implementación de tecnologías IoT en entornos industriales, que sirven de sustento conceptual y metodológico para el proyecto.

6 Resultados

El proyecto ha sido dividido en cuatro módulos principales que organizan el desarrollo técnico de la auditoría energética. Cada módulo cumple una función específica y está pensado para trabajar de manera integrada con los demás. A continuación, se describen sus características básicas y su propósito dentro del sistema general:

Módulo de diagnóstico inicial

Este bloque se encarga de recopilar información técnica y operativa sobre el sistema eléctrico de la zona seleccionada en la planta. Se revisan los tableros eléctricos, las cargas conectadas, los horarios de operación y la documentación disponible (planos, fichas técnicas, facturas de energía). Su propósito es identificar los puntos más representativos y críticos desde el punto de vista energético para orientar correctamente la instalación de los sensores. Esta etapa también sirve para reconocer limitaciones físicas o de acceso que puedan afectar el montaje.

Módulo de medición y adquisición de datos

En este módulo se instalan los sensores eléctricos no invasivos (tipo clamp) que permiten medir variables como corriente, voltaje y potencia. Los sensores estarán conectados a un microcontrolador con conectividad WiFi (como un ESP32), el cual enviará los datos recolectados a una plataforma de visualización en tiempo real. Este sistema está pensado para ser autónomo, modular y de bajo costo. Las mediciones se harán en intervalos definidos, permitiendo capturar variaciones durante toda la jornada operativa.

Módulo de análisis y procesamiento

Los datos recolectados serán almacenados y procesados para identificar patrones de consumo, cargas base, picos de demanda y comportamientos atípicos. Se utilizarán herramientas de visualización como *dashboards* en línea y gráficos horarios para facilitar la interpretación de la información. En esta fase también se calcularán indicadores básicos de eficiencia energética y se determinarán las oportunidades de mejora más relevantes. Este módulo es flexible, y podrá adaptarse en su profundidad de análisis dependiendo de la calidad de los datos obtenidos.

Módulo de recomendaciones y entrega de resultados

Con base en los hallazgos del análisis, se generará un informe técnico que incluya sugerencias prácticas para mejorar el uso de la energía. Las recomendaciones podrán incluir acciones operativas (como apagar equipos en desuso o redistribuir cargas), ajustes técnicos (cambio de protecciones, cableado, etc.), o incluso propuestas para futuras inversiones en tecnología. Este bloque final busca que la auditoría tenga un impacto tangible, ofreciendo una ruta clara para mejorar el desempeño energético.

La figura 4 presenta los resultados que se esperan del desarrollo del proyecto de auditoría energética en las instalaciones de la empresa Popping international. S,A.S.

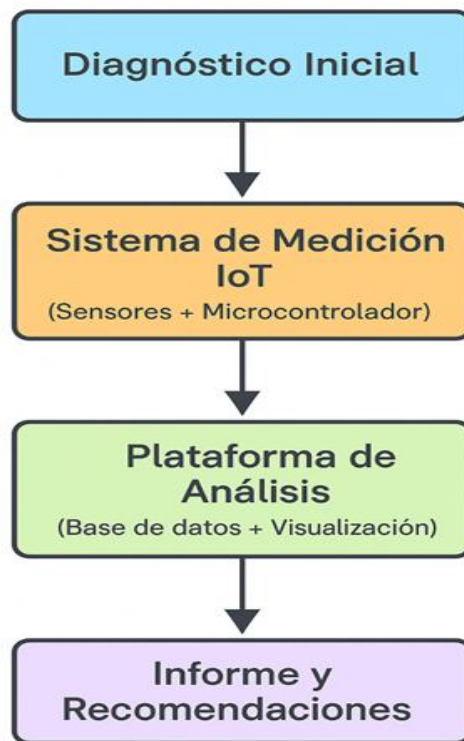


Figura 4. Descripción técnica de la auditoría

Fuente propia.

En primera instancia se obtendrá un diagnóstico inicial de las instalaciones del sistema eléctrico de la empresa, mediante la revisión de los tableros eléctricos, las cargas conectadas, los

horarios de operación y los planos, fichas técnicas, facturas de energía, etc., para la identificación de los puntos representativos y críticos del sistema eléctrico.

El segundo resultado es el sistema de medición instalado, para obtener los valores de las variables eléctricas como corriente, voltaje, factor de potencia y potencia. El sistema de medición remota se debe componer de un medidor multifuncional y un autómata programable con conexión a Internet, para el envío de los datos recolectados a una plataforma de almacenamiento y visualización en tiempo real.

Análisis de los datos almacenados y procesados para identificar patrones de consumo, cargas base, picos de demanda y comportamientos atípicos. Para una primera fase de análisis se utilizarán herramientas de visualización como *dashboards* en línea y gráficos horarios para facilitar la interpretación de la información. Un segundo nivel de análisis implica el uso de herramientas estadísticas para obtener indicadores clave que permitan la propuesta de estrategias de uso racional de la energía.

Finalmente se generará un informe técnico que incluya sugerencias prácticas para mejorar el uso de la energía, mediante acciones operativas (como apagar equipos en desuso o redistribuir cargas), ajustes técnicos (cambio de protecciones, cableado, etc.), o incluso propuestas para futuras inversiones en tecnología.

Este proyecto se desarrollará en cuatro etapas principales, con un enfoque práctico y adaptado a las condiciones reales de la empresa Popping Boba International S.A.S. para el diagnóstico inicial: se hará una visita técnica para revisar cómo está distribuido el sistema eléctrico en la planta. Se identificarán los equipos que más consumen energía, los horarios de mayor demanda y se recogerá información como planos eléctricos y facturas de energía.

Se comenzará con una revisión detallada del sistema eléctrico de una zona seleccionada dentro de la planta de Popping Boba International S.A.S. Esta revisión incluye la inspección de tableros, cargas conectadas, horarios de operación y posibles puntos críticos de consumo. Esta y otras actividades acorde a la lista contenida en la tabla 1.

Tabla 1. *Actividades desarrolladas durante la auditoría energética*

N.	Actividad	Descripción / Resultado
1	Contacto con el responsable	Se coordinó con el jefe de mantenimiento para definir el acceso y condiciones de seguridad.
2	Definición del alcance	Se acordó intervenir el sistema eléctrico principal, abarcando medición y evaluación de consumo.
3	Recolección de información	Se obtuvieron facturas, planos eléctricos, inventario de equipos y horarios de operación.
4	Verificación de gestión previa	No se identificó un plan formal de eficiencia energética en ejecución.
5	Identificación de grandes cargas	Se reconocieron como principales consumidores los talleres, iluminación y climatización.
6	Registro técnico y fotográfico	Se tomaron fotografías y notas de tableros e instalaciones para soporte del diagnóstico.
7	Observación de prácticas de consumo	Se evidenció uso prolongado de iluminación y equipos fuera del horario académico.
8	Mediciones preliminares	Se midieron voltajes, corrientes y factor de potencia en el tablero principal.
9	Entrevistas al personal	Se recopilieron observaciones sobre fluctuaciones de tensión y hábitos de uso.

Fuente: propia.

Durante la fase inicial del proceso de auditoría energética se desarrolló un protocolo de trabajo orientado a recopilar información técnica, operativa y administrativa que permitiera comprender el comportamiento eléctrico del sistema antes de la instalación de los equipos de medición.

Las actividades incluyeron la coordinación con el personal responsable, la definición del alcance del estudio, la recolección de información documental y la identificación de las principales áreas consumidoras de energía dentro de la empresa.

Asimismo, se efectuaron inspecciones visuales, registros fotográficos y mediciones rápidas de variables eléctricas —voltaje, corriente y factor de potencia— con el fin de obtener una línea base preliminar del estado de la instalación. Se realizaron también entrevistas breves con el personal operativo para identificar hábitos de consumo, posibles fallas recurrentes y oportunidades de mejora inmediata.

El desarrollo de este protocolo permitió estructurar una metodología ordenada para la ejecución de las siguientes etapas de la auditoría, garantizando la trazabilidad de la información y el cumplimiento de las condiciones técnicas necesarias para el análisis posterior. La Tabla 1 resume las actividades realizadas y los principales resultados obtenidos durante esta visita de diagnóstico.

También se recopilará documentación técnica relevante como planos eléctricos, facturas de energía y fichas de equipos. El objetivo es establecer una línea base del comportamiento energético actual, con un informe de diagnóstico que describa el estado energético de la zona intervenida, identificando equipos de alto consumo y posibles oportunidades de mejora. Uno de los componentes fundamentales del diagnóstico inicial en la auditoría energética, es el aforo de cargas contenido en la tabla 2.

Tabla 2. *Aforo de cargas*

N.º	Equipo / Área	Cantidad	Potencia unitaria (kW)	Potencia total (kW)	Tipo de carga	Observaciones
1	Compresor de aire principal	1	7.5	7.5	Motriz (inductiva)	Uso continuo en jornada laboral. Requiere control de arranque.
2	Sistema de iluminación LED	120	0.05	6.0	Iluminación	Nivel de eficiencia alto. Distribuido en toda la planta.

3	Equipos de empaque automático	3	4.0	12.0	Motriz / electrónica	Funcionamiento intermitente. Requiere control de carga.
4	Motores auxiliares (ventiladores, bombas, etc.)	5	1.5	7.5	Motriz (inductiva)	Operación alterna según proceso.
5	Aires acondicionados tipo split	4	2.5	10.0	Térmica / inductiva	Uso en áreas administrativas.
6	Equipos de oficina (PC, impresoras, routers)	15	0.15	2.25	Electrónica	Consumo moderado, carga no lineal.
7	Máquina de sellado térmico	2	3.0	6.0	Resistiva / térmica	Operación discontinua, alta demanda puntual.
8	Extractores y ventilación general	6	0.75	4.5	Motriz	Funcionamiento simultáneo con líneas de producción.
9	Tablero de control y automatización	1	1.5	1.5	Electrónica	Control central de procesos, alimentación constante.
10	Otras cargas menores	—	—	2.0	Varias	Incluye cargadores, herramientas y periféricos.

Fuente: propia.

Se implementó un sistema de monitoreo remoto basado en tecnología IoT, diseñado para el registro continuo de variables eléctricas críticas. El sistema incorpora sensores de corriente, voltaje y potencia conectados a un analizador digital, que transmite los datos en tiempo real hacia una plataforma central de supervisión. Esta integración permite visualizar tendencias, detectar variaciones de carga y analizar el comportamiento energético del área monitoreada con alta precisión.

Con base en el diagnóstico preliminar y en la caracterización del sistema eléctrico, se establecerán los puntos estratégicos donde se ubicarán los sensores IoT responsables de la medición de las variables eléctricas críticas. La selección del sitio de instalación considerará la accesibilidad del tablero, la distribución de cargas, la presencia de circuitos trifásicos y monofásicos, y la necesidad de obtener datos representativos del comportamiento energético real de la instalación.

Los sensores de corriente, voltaje y potencia se instalarán en las líneas principales del tablero general o en los circuitos prioritarios previamente identificados durante la visita técnica. Estos dispositivos contarán con transformadores de corriente (TC) de núcleo abierto o cerrado, según el espacio disponible, garantizando una instalación segura y sin necesidad de interrupción prolongada del sistema.

Los puntos de medición permitirán registrar magnitudes como corriente RMS por fase, voltaje entre líneas y línea-neutro, potencia activa, reactiva y aparente, así como el factor de potencia y la energía consumida en intervalos definidos.

Los dispositivos seleccionados serán compatibles con una plataforma de monitoreo remoto basada en comunicación inalámbrica o cableada, según las condiciones del entorno. Esta plataforma recibirá las lecturas en tiempo real, permitiendo visualizar el comportamiento energético del sistema mediante gráficos, tendencias horarias y alertas configurables. La integración de los sensores con el sistema de supervisión facilitará la detección temprana de anomalías, picos de demanda y desequilibrios entre fases, fortaleciendo la toma de decisiones operativas.

Finalmente, la instalación será validada mediante pruebas de funcionamiento, verificación de la correcta orientación de los TC, polaridad de las conexiones, calibración inicial y asegurar que haya continuidad de datos. Con ello se garantizará que el sistema de monitoreo proporcione información confiable y útil para el análisis energético y la formulación de medidas de mejora. La guía detallada para la instalación de los medidores remotos de variables eléctricas se presenta en la tabla 3.

Tabla 3. *Protocolo de instalación*

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

Fuente: propia.

Esta instalación se llevará a cabo cumpliendo los lineamientos del RETIE y las recomendaciones del fabricante del equipo, asegurando que todas las conexiones se realicen de manera segura y dentro de los parámetros permitidos para la infraestructura eléctrica de la empresa. Durante el proceso se contará con el acompañamiento del personal técnico de la organización, lo que permitirá coordinar maniobras, validar el estado del tablero y garantizar que la intervención no afecte la operación normal de la planta, en la tabla 3 se ve la forma en que se realiza el protocolo de instalación de los equipos de medición en la fábrica.

La tabla presentada resume de manera clara y ordenada los pasos esenciales para realizar la instalación del sistema de medición en la empresa Popping Boba. Se detalla cada actividad a seguir, desde la verificación inicial del equipo y las condiciones de seguridad, pasando por la correcta conexión eléctrica y la configuración de red, hasta la validación final y la documentación. Este protocolo asegura que la instalación sea segura, eficiente y que tanto los datos como el funcionamiento del equipo queden correctamente registrados y verificados, la conexión de este se encuentra en la figura 5.

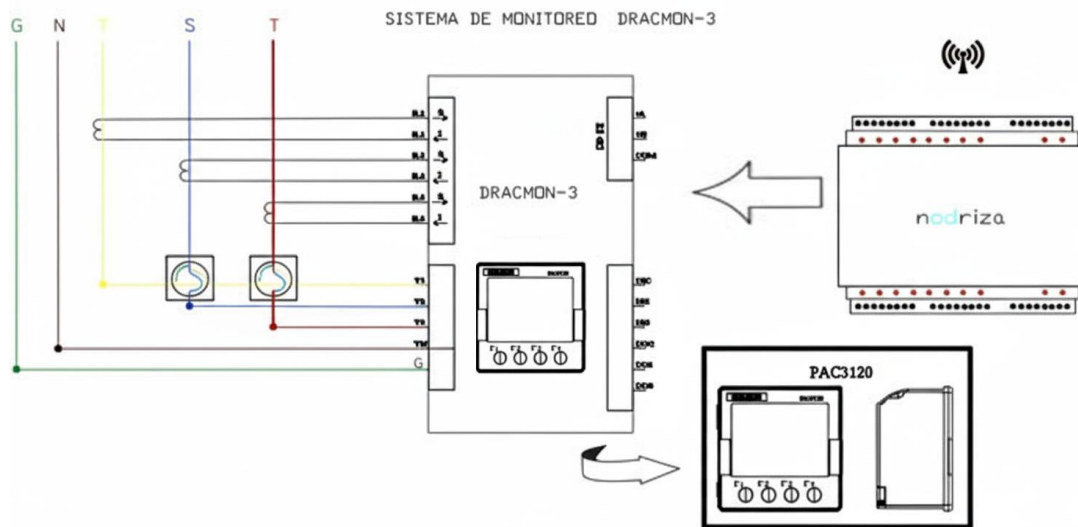


Figura 5. Conexión DRACMON-3

Fuente: Propia

La imagen muestra un diagrama sencillo del sistema de monitoreo DRACMON-3, donde se ilustran las conexiones eléctricas de las fases, neutro y tierra hacia el dispositivo, que funciona como centro de medición y control. Desde este dispositivo, la información recolectada se

transmite de manera inalámbrica por a una plataforma de recolección de datos, permitiendo que los datos puedan ser visualizados y gestionados de forma remota. El esquema también incluye una referencia visual al montaje físico de los equipos, facilitando su correcta instalación y conexión.

Una vez instalados los sensores y verificados los puntos de medición, se procederá a realizar las pruebas iniciales de comunicación y lectura de datos, confirmando que el sistema IoT registre de forma correcta las variables eléctricas y las transmita a la plataforma asignada. El resultado esperado es un sistema completamente operativo, capaz de generar información confiable y continua sobre el comportamiento del consumo eléctrico, permitiendo un seguimiento en tiempo real y sirviendo como base para el análisis energético posterior.

Recolección y análisis de datos: durante varias semanas se recogerán datos de forma continua. Luego se analizará esa información para encontrar patrones de consumo, picos de demanda, posibles pérdidas de energía o consumos innecesarios. Durante varias semanas se mantuvo un monitoreo constante de las variables eléctricas principales en el sistema, utilizando únicamente los datos registrados dentro del horario operativo (de 9:00 a 22:00). Esta recolección diurna permitió construir un perfil de consumo ajustado a las actividades propias del establecimiento.

Al procesar la información, se observó la presencia de patrones de consumo definidos: cada jornada muestra una demanda estable con picos relevantes especialmente entre finales de septiembre y la primera semana de octubre, donde en ciertos días la potencia activa total superó los 3,200 W.

El análisis también identificó periodos donde el factor de potencia descendió por debajo de los valores recomendados (0.85), lo que evidenció la ocurrencia de pérdidas por energía reactiva durante el horario productivo. Estos hallazgos son útiles para orientar acciones específicas en la gestión energética, enfocadas en los momentos de mayor demanda y en la mejora de la eficiencia operativa, podemos ver en la figura 6.

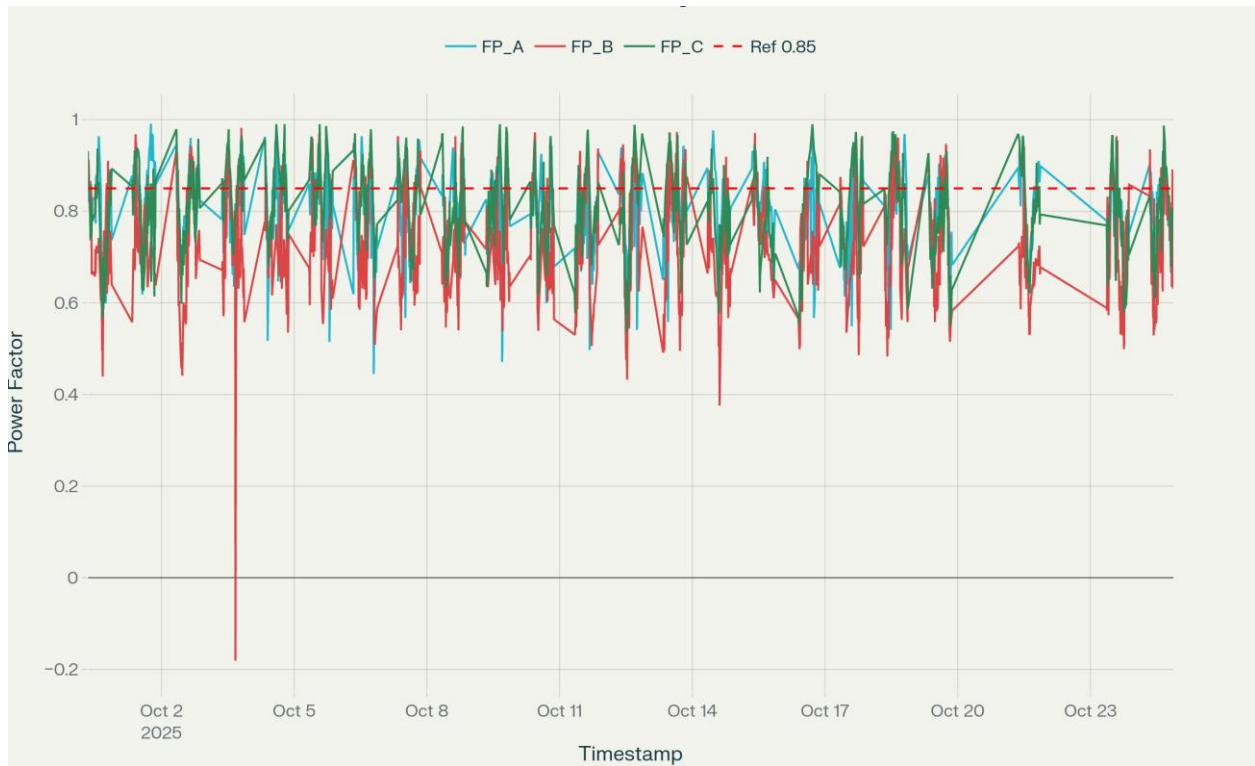


Figura 6. Factor de potencia

Fuente propia

Durante al menos tres semanas se realizará el monitoreo de los datos energéticos, implementando un registro sistemático y continuo del comportamiento eléctrico en la instalación. Esta vigilancia abarcará parámetros clave como el voltaje, la corriente, el factor de potencia y las diferentes formas de potencia (activa, reactiva y aparente), permitiendo así construir una base de datos robusta y representativa que refleje la realidad operativa del sistema.

Uno de los principales objetivos de este monitoreo será la identificación de los picos de demanda, es decir, aquellos momentos en los que el consumo energético alcanza sus valores más altos.

Reconocer estos episodios resulta esencial para establecer relaciones con las rutinas de trabajo, los tiempos de encendido de maquinaria o la coincidencia de múltiples cargas, información que ayuda a prevenir sobrecargas y a planificar mejor el uso eficiente de la energía, las siguientes tablas vemos esos informes:

Tabla 4. Informe de plataforma energía.

Timestamp	V_A	V_B	V_C	I_A	I_B	I_C
29/09/2025 23:49:18	126.09	125.755	125.552	8.696	1.567	7.513
29/09/2025 23:59:18	125.412	125.091	124.897	8.204	2.066	6.787
30/09/2025 0:09:21	125.569	125.262	125.077	7.712	2.566	6.066
30/09/2025 0:19:18	125.481	125.189	125.013	7.220	3.065	5.346
30/09/2025 0:29:19	125.377	125.098	124.932	6.728	3.565	4.614
30/09/2025 0:39:18	125	125	125	6.236	4.064	3.895
30/09/2025 0:49:18	125.109	124.857	124.711	5.744	4.564	3.201
30/09/2025 0:59:18	124.863	124.626	124.487	5.252	5.063	2.455
30/09/2025 1:09:19	124.736	124.512	124.383	4.760	5.563	1.745

Fuente: Registro del equipo.

En las tablas 4 y 5 se muestran los informes que genera el equipo de medición y alguna de las variables, como factor de potencia, potencia, voltaje, que nos entrega, estas ya mencionadas nos sirvieron para hacer los análisis detallados de la empresa Popping International.

Tabla 5. Informe de la plataforma, variables de factor de potencia

Timestamp	FP_A	FP_B	FP_C	S_A	S_B	S_C
29/09/2025 23:49:18	0.814	0.86	0.99	1096.506	197.054	943.296
29/09/2025 23:59:18	0.957	0.88	0.973	1028.895	258.496	847.676
30/09/2025 0:09:21	0.959	0.913	0.965	968.384	321.413	758.685
30/09/2025 0:19:18	0.863	0.906	0.921	905.966	383.760	668.348
30/09/2025 0:29:19	0.923	0.921	0.94	843.527	445.964	576.404
30/09/2025 0:39:18	1	0.897	1	779.187	506.761	485.089
30/09/2025 0:49:18	0.879	0.874	0.921	718.614	569.822	399.183
30/09/2025 0:59:18	0.872	1	0.91	655.776	631.024	305.619
30/09/2025 1:09:19	0.888	0.808	0.899	593.763	692.644	217.023
30/09/2025 1:19:18	0.864	0.875	0.886	532.224	754.680	129.677
30/09/2025 1:29:18	0.841	0.868	0.879	470.238	815.857	38.083
30/09/2025 1:39:18	1	0.858	1	409.772	879.767	-53.437

Fuente: Registro del equipo.

Asimismo, el análisis detallado permitirá detectar posibles pérdidas de energía asociadas a un bajo factor de potencia o a un aumento en la circulación de potencia reactiva durante ciertos periodos. Estos indicadores alertan acerca de la presencia de consumos ineficientes o de equipos

que generan cargas inductivas importantes, hecho que puede derivar no solo en pérdidas técnicas, sino también en recargos económicos aplicados por el proveedor de energía eléctrica.

Al contar con registros diferenciados por jornada y por día, será posible construir perfiles de consumo, reconocer patrones estacionales o semanales y, sobre todo, identificar áreas donde se produzcan desviaciones que requieran intervenciones correctivas. Este proceso de adquisición y análisis de datos se convierte así en una herramienta fundamental para optimizar la operación, reducir costes, evitar penalidades y garantizar la sostenibilidad energética de la instalación a largo plazo.

Con la información obtenida, se elaborarán gráficas, comparaciones y cálculos detallados orientados a entender a fondo los patrones de consumo energético registrados en el área monitoreada. Este proceso gráfico y analítico permitirá visualizar claramente cómo varía la demanda a lo largo de las jornadas, identificando tanto los momentos de máximo consumo como los intervalos de menor actividad. A través de comparaciones entre diferentes días y franjas horarias, será posible destacar tendencias recurrentes, como los incrementos en la potencia activa durante ciertas horas de operación o la coincidencia de picos con la puesta en marcha de equipos clave.

El desarrollo de estos análisis permitirá no solo identificar los comportamientos típicos del consumo, sino también detectar y cuantificar anomalías, como aumentos inesperados en la demanda, caídas puntuales del factor de potencia o consumos nocturnos residuales fuera del rango habitual. Además, el estudio detallado de la energía reactiva y del factor de potencia contribuirá a cuantificar las posibles pérdidas o ineficiencias presentes en el sistema, brindando información clave para la toma de decisiones correctivas y preventivas.

Como resultado de este trabajo, se obtendrá una base de datos robusta y confiable, con registros reales de consumo que reflejan la dinámica energética del área medida bajo condiciones operativas normales. El análisis interpretativo asociado a dicha base permitirá no solo trazar las tendencias energéticas predominantes, sino también brindar un marco de referencia claro para futuras auditorías, optimizaciones y seguimientos en la gestión energética del establecimiento.

Este enfoque integral garantiza que las conclusiones extraídas sean relevantes y aplicables, facilitando la adopción de buenas prácticas y la mejora continua en el uso eficiente de la energía.

Recomendaciones: Con base en el análisis realizado, se diseñarán propuestas concretas para optimizar el uso de la energía dentro de la empresa, apoyándose en los resultados obtenidos a lo largo del monitoreo. Una de las primeras acciones recomendadas es ajustar los horarios de operación de los equipos, priorizando el apagado de aquellos dispositivos que no son estrictamente necesarios fuera de los periodos de mayor actividad y revisando posibles cargas que mantienen consumos residuales durante horas bajas.

Además, se sugiere implementar controles regulares y trabajos de mantenimiento preventivo en los equipos eléctricos principales, enfocados tanto en la detección temprana de fallas como en la corrección de problemas relacionados con el factor de potencia o el funcionamiento ineficiente de motores y sistemas de ventilación. En casos donde se identifique un uso recurrente de energía reactiva y el factor de potencia se mantenga por debajo de los valores recomendados, se recomienda valorar la instalación de bancos de capacitores u otras soluciones de compensación que permitan maximizar la eficiencia y reducir el riesgo de penalizaciones económicas.

Por otro lado, se plantea la posibilidad de incorporar tecnologías más eficientes, como equipos de alto rendimiento energético, controles automáticos de encendido y apagado, y sistemas de monitoreo avanzado que faciliten la visualización en tiempo real del comportamiento eléctrico.

Finalmente, se destacarán indicadores clave para el seguimiento continuo del desempeño energético, tales como el consumo máximo diario, el promedio de factor de potencia, las horas acumuladas con bajo rendimiento y la proporción de energía reactiva respecto al total. Con la implementación y el monitoreo de estos indicadores, la empresa podrá tomar decisiones informadas, establecer metas de mejora y asegurar un control sostenido sobre el uso de la energía, contribuyendo al ahorro económico y a la sostenibilidad operativa.

Con los resultados del análisis se diseñará una propuesta integral de acciones correctivas o de mejora, orientadas a optimizar el uso de la energía en la empresa. Esta propuesta partirá de la

interpretación de los datos recogidos durante el monitoreo continuo, enfocándose tanto en los patrones normales como en aquellos eventos que representen oportunidades claras de intervención, como los picos elevados de demanda o los periodos de bajo factor de potencia.

Entre las acciones planteadas se contempla la revisión y ajuste de los horarios operativos de equipos y sistemas eléctricos, buscando que la mayor parte del consumo energético se concentre en las horas productivas, evitando el uso innecesario fuera de la jornada principal. También se propondrá un plan de mantenimiento preventivo para asegurar el rendimiento adecuado de motores, ventiladores y demás equipos eléctricos, minimizando pérdidas debidas a fallas técnicas o desgaste.

Por otro lado, el diagnóstico detallado puede llevar a recomendar la renovación de equipos antiguos por versiones de mayor eficiencia energética o la instalación de tecnologías de apoyo, como bancos de capacitores, temporizadores, sensores de presencia o sistemas automáticos de control que faciliten la gestión y reducción del consumo eléctrico.

De igual manera, se sugerirán cambios en los hábitos de consumo del personal, promoviendo buenas prácticas como el uso responsable de equipos, la desconexión de dispositivos en desuso y la concientización acerca de la importancia de lograr y mantener un alto factor de potencia. Todas estas recomendaciones estarán fundamentadas en situaciones reales detectadas en el análisis, garantizando que las propuestas sean alcanzables y respondan a las necesidades específicas del área evaluada. El objetivo final es avanzar hacia un escenario de uso racional, eficiente y sostenible de la energía, que se refleje en beneficios económicos, técnicos y ambientales para la organización.

Se entregará un informe técnico final que recoja todos los hallazgos obtenidos a lo largo del proceso de monitoreo y análisis, así como las sugerencias concretas adaptadas a las necesidades específicas de la empresa. Este documento tendrá por objetivo principal proporcionar una visión clara y detallada del comportamiento energético observado en la planta durante el periodo estudiado, respaldado por gráficas explicativas, tablas de comparación y cálculos interpretativos que ayuden a comprender cada aspecto relevante del consumo eléctrico.

El informe irá más allá de una simple recopilación de datos, presentando conclusiones fundamentadas sobre los patrones de demanda, la existencia de picos significativos de consumo, la detección de comportamientos atípicos y la cuantificación precisa de posibles pérdidas de energía asociadas a eficiencia operativa o factores de potencia bajos. Además, se incluirán análisis diferenciados por jornadas y días, permitiendo identificar los periodos críticos de mayor vulnerabilidad o potencial mejora.

A partir de estos hallazgos se expondrá un plan detallado de recomendaciones prácticas, que abarcará desde ajustes en los horarios de uso, sugerencias de mantenimiento específico y propuestas de renovación tecnológica, hasta la introducción de buenas prácticas y la implementación de indicadores de seguimiento que faciliten el autocontrol energético a futuro.

El resultado esperado será un informe técnico completo, estructurado y comprensible, que sirva como herramienta efectiva para la toma de decisiones dentro de la empresa. La finalidad es promover la eficiencia energética en la planta, reducir costos operativos, mejorar la competitividad y contribuir a la sostenibilidad del proceso productivo, asegurando que cada sugerencia esté sustentada por evidencia real y alineada con los objetivos de mejora continua.

7 Conclusiones

El desarrollo de la auditoría energética en la planta de Popping Boba International S.A.S. permitió obtener una visión detallada y fundamentada sobre el comportamiento del consumo eléctrico en el área analizada. Gracias al monitoreo continuo y al registro sistemático de variables clave —como voltaje, corriente, factor de potencia y potencia activa— fue posible construir perfiles de consumo ajustados a la realidad operativa de la empresa.

Se logró identificar patrones característicos en el uso de la energía, destacando los momentos de mayor demanda —picos de potencia activa que superaron los 3.200 W durante ciertas jornadas— y los periodos donde el factor de potencia descendió por debajo de los niveles recomendados, evidenciando la presencia de pérdidas por energía reactiva. Estos hallazgos ponen de manifiesto la necesidad de optimizar el uso energético no solo enfocándose en el ahorro, sino también en la mejora de la eficiencia y la reducción de penalizaciones económicas imputables a consumos ineficientes.

El análisis que diferenció las franjas horarias permitió reconocer que la mayor parte del consumo útil se concentra en el horario productivo; sin embargo, aún se detectan oportunidades para ajustar la operación de equipos y mejorar la administración energética fuera de estos periodos. La identificación de comportamientos atípicos y la cuantificación de las posibles pérdidas refuerzan la urgencia de implementar acciones correctivas concretas, desde el mantenimiento preventivo hasta la incorporación de tecnologías de mayor eficiencia y el fortalecimiento de hábitos responsables entre el personal.

La base de datos obtenida representa una herramienta invaluable para el autocontrol y la toma de decisiones a futuro, permitiendo a la empresa establecer indicadores claros y medibles para realizar seguimiento a la gestión energética y evaluar el impacto de futuras mejoras. El proceso desarrollado sentó las bases para que Popping Boba International S.A.S. avance hacia un modelo de operación más racional, eficiente y sostenible.

En resumen, la auditoría técnica no solo cumplió con la función investigativa y diagnóstica

propuesta, sino que aportó recomendaciones prácticas y aplicables para fortalecer la cultura organizacional en torno al uso responsable de la energía, reducir costos operativos y contribuir activamente a la sostenibilidad ambiental —elementos clave para el desarrollo competitivo y moderno de la empresa.

8 Recomendaciones

A partir del monitoreo energético realizado y del análisis detallado de los indicadores eléctricos en Popping Boba International S.A.S., se recomienda optimizar el factor de potencia mediante la instalación de bancos de capacitores automáticos en aquellos puntos donde se detectó que los valores descendieron por debajo de 0.85. Este ajuste permitirá reducir las pérdidas por energía reactiva, evitar penalizaciones tarifarias y mejorar la calidad del suministro eléctrico.

Además, es fundamental que la empresa realice un seguimiento periódico de los picos de demanda, identificando los equipos y procesos responsables, y programando el encendido de maquinaria pesada en momentos donde la demanda global sea menor. De esta manera, se equilibrará la carga, se prevendrán sobrecargas y se favorecerá un uso más eficiente de la energía.

El monitoreo debe estar acompañado de un plan de mantenimiento preventivo que contemple la revisión de conexiones, componentes y la calibración de los instrumentos, asegurando así la confiabilidad de los registros y la correcta operación. Igualmente, resulta esencial fortalecer la cultura de eficiencia energética entre el personal de la empresa, promoviendo buenas prácticas a través de capacitaciones que incentiven el uso responsable de la maquinaria y el apagado oportuno de los equipos en desuso.

Se recomienda aprovechar la robusta base de datos generada para realizar análisis avanzados de tendencias, establecer modelos de consumo y proyectar nuevos escenarios. Esta información será clave para implementar acciones correctivas, fundamentar futuras auditorías y orientar inversiones en eficiencia energética. Por otro lado, es conveniente revisar el contrato de suministro eléctrico con el proveedor, evaluando alternativas tarifarias que se adapten mejor al perfil de consumo y gestionando negociaciones que favorezcan la rentabilidad y sostenibilidad de la operación.

Finalmente, considerando los beneficios observados, se sugiere mantener el monitoreo

permanente y actualizar el sistema de medición conforme a los avances tecnológicos, garantizando así la mejora continua en el uso de la energía y en la gestión integral de la empresa a largo plazo.

9 Referencias bibliográficas

- Ahmed, K., Chowdhury, M., & Saifuzzaman, M. (2019). Smart energy monitoring system using IoT. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10(3), 379–385. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100347>
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Congreso de Colombia. (2001). Ley 697 de 2001: Por la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía y se promueve el uso de fuentes no convencionales. *Diario Oficial*, (44.654).
- Congreso de Colombia. (2014). Ley 1715 de 2014: Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables al Sistema Energético Nacional. *Diario Oficial*, (49.150).
- García, J. E., Ramos, J. D., & González, M. A. (2021). Implementación de sistemas IoT para auditorías energéticas industriales. *Revista Energía y Sociedad*, 12(1), 45–53.
- González, A., & Mejía, L. F. (2018). *Guía técnica para auditorías energéticas en industrias manufactureras*. Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- International Organization for Standardization (ISO). (2018). *ISO 50001:2018 - Energy management systems – Requirements with guidance for use*. Ginebra: ISO.
- International Organization for Standardization (ISO). (2014). *ISO 50002:2014 - Energy audits — Requirements with guidance for use*. Ginebra: ISO.
- Ministerio de Minas y Energía. (2018). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.

Organización de las Naciones Unidas – PNUD. (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible - Agenda 2030. <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>

UPME – Unidad de Planeación Minero Energética. (2020). Informe nacional de eficiencia energética y uso racional de la energía (PROURE). Bogotá: UPME.

Universidad de California. (2019). Energy Efficiency in Buildings. Departamento de Sostenibilidad Energética, University of California.

Morin, E. (2007). Introducción al pensamiento complejo. Barcelona: Editorial Gedisa.

Younis, M., Ghumman, K., & Sajjad, M. (2020). IoT-based energy management systems: A survey of recent advancements. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 38, 100604. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100604>

Congreso de Colombia. (2001). Ley 697 de 2001: Por la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía. Diario Oficial No. 44.654.

González, A., & Mejía, L. F. (2018). Guía técnica para auditorías energéticas en industrias manufactureras. Editorial Universidad Nacional de Colombia.

International Organization for Standardization (ISO). (2014). ISO 50002:2014 - Energy audits — Requirements with guidance for use. Ginebra: ISO.

UPME – Unidad de Planeación Minero Energética. (2020). Informe nacional de eficiencia energética y uso racional de la energía (PROURE). Bogotá: UPME.

Agencia Internacional de Energía (AIE). (2021). Energy Efficiency 2021 – Analysis and outlook. París: International Energy Agency.

González, A., & Mejía, L. F. (2018). Guía técnica para auditorías energéticas en industrias manufactureras. Editorial Universidad Nacional de Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente). (2020). Estrategia Climática de Largo Plazo de Colombia – E2050. Bogotá: Gobierno de Colombia.

PNUD – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible – Agenda 2030. <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>

ANDI. (2022). Buenas prácticas en gestión energética empresarial. Asociación Nacional de Empresarios de Colombia.

INA – Instituto Nacional de Aprendizaje. (2020). Informe de resultados del programa de eficiencia energética en sedes regionales. San José, Costa Rica.

Universidad de Antioquia (UdeA). (2021). Proyecto piloto de eficiencia energética con sensores IoT en la Facultad de Ingeniería. Medellín, Colombia.

Universidad de California. (2019). Energy Efficiency in Buildings. Departamento de Sostenibilidad Energética. California, EE.UU.

10 Bibliografía

Andalucía Energy Agency. (2023). Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en el sector industrial. Agencia Andaluza de la Energía.

<https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/biblioteca/metodologia-para-la-elaboracion-de-auditorias-energeticas-en-la-industria>

Celsia. (2021). Evita la penalización por exceso en tu energía reactiva. Celsia Blog.

<https://www.celsia.com/es/blog-celsia/evita-la-penalizacion-por-exceso-en-tu-energia-reactiva/>

Circutor. (2024). ¿Cómo no tener cargos por factor de potencia en el recibo de luz? Circutor

Noticias. <https://circutor.com/noticias/como-no-tener-cargos-por-factor-de-potencia-en-el-recibo-de-luz/>

Enel X. (2021). Tecnologías para eficiencia energética en industria alimentaria. Enel México.

<https://enel.mx/es/blog/conociendo-el-mercado-energetico/tecnologias-para-eficiencia-energetica-en-industria-alimentaria>

Energy Master. (2024). Eficiencia energética en empresas: Una guía completa. Energy Master.

<https://energymaster.co/blog/eficiencia-energetica-en-empresas-una-guia-completa/>

Eurofins Environment Testing Spain. (2025). Auditorías energéticas: Cómo hacerlas y ahorrar

dinero. Eurofins. <https://www.eurofins-environment.es/es/como-hacer-una-auditoria-energetica/>

Global MVM. (2025). Gestión energética: Competitividad y sostenibilidad empresarial. Global

MVM. <https://globalmvm.com/gestion-energetica-competitividad-y-sostenibilidad-empresarial/>

Isagen. (2019). Boletín junio 2019: La penalización por reactivos según la CREG 015. Isagen.

<https://www.isagen.com.co/documents/20123/34950/boletin-junio-2019.pdf/7353c982->

fd59-e54b-c720-1ab7e0a9bc82

Isagen. (2020). Factor M: Cómo prepararse para su reactivación. Isagen Línea Viva, 132.

https://www.isagen.com.co/LineaVIVA/lineaviva_edicion_132/html/page-06.html

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2019). Guía para el desarrollo de auditorías de eficiencia energética y hormigón en obras de construcción. Gobierno de Colombia.

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

Sinduly. (2025). Eficiencia energética en la industria de alimentos: Un pilar para la sostenibilidad en Colombia y Latinoamérica. Sinduly Blog.

<https://sinduly.com/eficiencia-energetica-en-la-industria-de-alimentos-un-pilar-para-la-sostenibilidad-en-colombia-y-en-latinoam/>

Ultatek. (2019). Sistemas de monitoreo de la energía en plantas de alimentos. Ultatek.

<https://ultatek.com/sistemas-de-monitoreo-de-la-energia-en-plantas-de-alimentos/>

ANEXO 1. Código de Analítica

```

import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from datetime import datetime

# =====
# ANÁLISIS ANALÍTICO - MONITOREO ENERGÉTICO POPPING BOBA
# =====

# 1. CARGA DE DATOS
# =====

df = pd.read_excel('Monitor_PoppingBoba_Oct_2025.xlsx',
sheet_name='Monitoreo')
df['Timestamp'] = pd.to_datetime(df['Timestamp'])

# Filtrar rango horario (8am a 9pm)
df_hora = df[(df['Timestamp'].dt.time >= pd.to_datetime('08:00:00',
format='%H:%M:%S').time()) &
(df['Timestamp'].dt.time <= pd.to_datetime('21:00:00',
format='%H:%M:%S').time())]

# 2. CÁLCULOS DE POTENCIAS TOTALES
# =====

df_hora['P_Total'] = df_hora['P_A'] + df_hora['P_B'] + df_hora['P_C']
df_hora['Q_Total'] = df_hora['Q_A'] + df_hora['Q_B'] + df_hora['Q_C']
df_hora['S_Total'] = df_hora['S_A'] + df_hora['S_B'] + df_hora['S_C']
df_hora['I_Total'] = df_hora['I_A'] + df_hora['I_B'] + df_hora['I_C']

```

```
df_hora['V_Promedio'] = (df_hora['V_A'] + df_hora['V_B'] + df_hora['V_C']) / 3
df_hora['FP_Promedio'] = (df_hora['FP_A'] + df_hora['FP_B'] +
df_hora['FP_C']) / 3
```

3. INDICADORES ESTADÍSTICOS GENERALES

```
# =====
```

```
print("=" * 60)
print("INDICADORES ESTADÍSTICOS GENERALES (8am-9pm)")
print("=" * 60)
```

```
indicadores = {
    'Potencia Activa Total (W)': df_hora['P_Total'],
    'Potencia Reactiva Total (VAR)': df_hora['Q_Total'],
    'Potencia Aparente Total (VA)': df_hora['S_Total'],
    'Factor de Potencia Promedio': df_hora['FP_Promedio'],
    'Corriente Total (A)': df_hora['I_Total'],
    'Voltaje Promedio (V)': df_hora['V_Promedio']
}
```

```
stats_df = pd.DataFrame({
    'Parámetro': list(indicadores.keys()),
    'Mínimo': [indicadores[k].min() for k in indicadores.keys()],
    'Máximo': [indicadores[k].max() for k in indicadores.keys()],
    'Promedio': [indicadores[k].mean() for k in indicadores.keys()],
    'Desv. Estándar': [indicadores[k].std() for k in indicadores.keys()],
    'Mediana': [indicadores[k].median() for k in indicadores.keys()]
})
```

```
print(stats_df.to_string(index=False))
print()
```

```

# 4. ANÁLISIS POR FASE
# =====
print("=" * 60)
print("ANÁLISIS POR FASE")
print("=" * 60)

fases = ['A', 'B', 'C']
for fase in fases:
    print(f"\nFASE {fase}:")
    print(f" Voltaje: {df_hora[f'V_{fase}'].mean():.2f} V (promedio)")
    print(f" Corriente: {df_hora[f'I_{fase}'].mean():.2f} A (promedio)")
    print(f" Factor de Potencia: {df_hora[f'FP_{fase}'].mean():.3f} (promedio)")
    print(f" Potencia Activa: {df_hora[f'P_{fase}'].mean():.2f} W (promedio)")
    print(f" Potencia Reactiva: {df_hora[f'Q_{fase}'].mean():.2f} VAR
(promedio)")

# 5. DETECCIÓN DE ANOMALÍAS - FACTOR DE POTENCIA BAJO 0.85
# =====
print("\n" + "=" * 60)
print("DETECCIÓN DE ANOMALÍAS - FACTOR DE POTENCIA BAJO
0.85")
print("=" * 60)

anomalias_fp = df_hora[df_hora['FP_Promedio'] < 0.85]
pct_anomalias_fp = (len(anomalias_fp) / len(df_hora)) * 100

print(f"Registros con FP < 0.85: {len(anomalias_fp)} de {len(df_hora)}
({pct_anomalias_fp:.2f}%)")
print(f"Factor de potencia mínimo detectado:
{df_hora['FP_Promedio'].min():.3f}")
print(f"Factor de potencia máximo detectado:

```

```

{df_hora['FP_Promedio'].max():.3f}")

# 6. ANÁLISIS DE PICOS DE DEMANDA
# =====

print("\n" + "=" * 60)
print("ANÁLISIS DE PICOS DE DEMANDA")
print("=" * 60)

pico_maximo = df_hora['P_Total'].max()
pico_minimo = df_hora['P_Total'].min()
pico_promedio = df_hora['P_Total'].mean()

print(f"Potencia máxima registrada: {pico_maximo:.2f} W")
print(f"Potencia mínima registrada: {pico_minimo:.2f} W")
print(f"Potencia promedio: {pico_promedio:.2f} W")
print(f"Rango de variación: {pico_maximo - pico_minimo:.2f} W")
print(f"Coefficiente de variación: {(df_hora['P_Total'].std() / pico_promedio) *
100:.2f}%")

# Detectar picos (valores sobre percentil 90)
percentil_90 = df_hora['P_Total'].quantile(0.90)
picos = df_hora[df_hora['P_Total'] >= percentil_90]
print(f"\nRegistros en rango de pico (percentil 90+): {len(picos)}
({(len(picos)/len(df_hora))*100:.2f}%")

# 7. ANÁLISIS DE ENERGÍA REACTIVA
# =====

print("\n" + "=" * 60)
print("ANÁLISIS DE ENERGÍA REACTIVA")
print("=" * 60)

```

```

energia_reactiva_total = df_hora['Q_Total'].sum()
energia_activa_total = df_hora['P_Total'].sum()
ratio_reactivo_activo = (energia_reactiva_total / energia_activa_total) * 100

print(f"Energía activa total (Wh): {energia_activa_total:.2f}")
print(f"Energía reactiva total (VARh): {energia_reactiva_total:.2f}")
print(f"Ratio Reactivo/Activo: {ratio_reactivo_activo:.2f}%")
print(f"Pérdidas potenciales por energía reactiva: {energia_reactiva_total:.2f}
VARh")

```

8. ANÁLISIS DIARIO

```
# =====
```

```

print("\n" + "=" * 60)
print("ANÁLISIS POR DÍA")
print("=" * 60)

```

```

df_hora['date'] = df_hora['Timestamp'].dt.date
resumen_diario = df_hora.groupby('date').agg({
    'P_Total': ['sum', 'mean', 'max'],
    'Q_Total': ['sum', 'mean'],
    'FP_Promedio': ['mean', 'min'],
    'I_Total': ['mean', 'max']
}).round(2)

```

```
print(resumen_diario)
```

9. CONSUMO ENERGÉTICO TOTAL

```
# =====
```

```

print("\n" + "=" * 60)
print("CONSUMO ENERGÉTICO TOTAL (8am-9pm)")
print("=" * 60)

```

```

# Suponiendo intervalos de 10 minutos entre registros (aproximadamente)
intervalo_minutos = 10
horas_monitoreo = len(df_hora) * intervalo_minutos / 60

consumo_activo_kwh = (energia_activa_total / 1000) / (horas_monitoreo /
horas_monitoreo)
print(f"Energía activa total monitorizada: {energia_activa_total:.2f} Wh")
print(f"Energía reactiva total monitorizada: {energia_reactiva_total:.2f} VARh")
print(f"Período de monitoreo: {len(df_hora)} registros")

# 10. EXPORTAR RESULTADOS A CSV
# =====
resumen_diario.to_csv('resumen_diario_analisis.csv')
df_hora.to_csv('datos_filtrados_analisis.csv', index=False)

print("\n" + "=" * 60)
print("Archivos generados:")
print(" - resumen_diario_analisis.csv")
print(" - datos_filtrados_analisis.csv")
print("=" * 60)

# 11. MATRIZ DE CORRELACIÓN
# =====
print("\n" + "=" * 60)
print("MATRIZ DE CORRELACIÓN - VARIABLES PRINCIPALES")
print("=" * 60)

correlacion = df_hora[['P_Total', 'Q_Total', 'S_Total', 'FP_Promedio',
'I_Total']].corr()
print(correlacion.round(3))

```

12. RECOMENDACIONES BASADAS EN ANÁLISIS

```
# =====  
print("\n" + "=" * 60)  
print("RECOMENDACIONES ANALÍTICAS")  
print("=" * 60)  
  
if pct_anomalias_fp > 20:  
    print(" ⚠ CRÍTICO: Más del 20% de los registros tienen FP < 0.85")  
    print(" Acción: Considerar instalar bancos de capacitores")  
else:  
    print("✓ Factor de potencia dentro de límites aceptables")  
  
if (pico_maximo - pico_promedio) / pico_promedio > 0.5:  
    print(" ⚠ CRÍTICO: Variabilidad alta en demanda (>50% sobre promedio)")  
    print(" Acción: Revisar programación de cargas")  
else:  
    print("✓ Demanda relativamente estable")  
  
print(f"✓ Monitoreo completado exitosamente")  
print(f" Total de registros analizados: {len(df_hora)}")  
  
# Convertir Timestamp a tipo datetime  
df['Timestamp'] = pd.to_datetime(df['Timestamp'])  
  
# Filtrar solo desde 8am a 9pm  
df_hora = df[(df['Timestamp'].dt.time >= pd.to_datetime('08:00:00',  
format='%H:%M:%S').time()) &  
             (df['Timestamp'].dt.time <= pd.to_datetime('21:00:00',  
format='%H:%M:%S').time())]
```

```
# Crear columna de suma de potencia activa total por registro
df_hora['P_Activa_Total'] = df_hora['P_A'] + df_hora['P_B'] + df_hora['P_C']

# Agrupar por día ("date") y sumar la potencia activa
df_hora['date'] = df_hora['Timestamp'].dt.date
consumo_diario = df_hora.groupby('date')['P_Activa_Total'].sum()

# Graficar como barras
plt.figure(figsize=(10,6))
consumo_diario.plot(kind='bar', color='dodgerblue')
plt.title('Consumo energético diario total (Potencia Activa) 8am-9pm')
plt.xlabel('Día')
plt.ylabel('Consumo total potencia activa (W)')
plt.xticks(rotation=45)
plt.tight_layout()
plt.grid(axis='y')
plt.show()
```