

**AUDITORÍA ENERGÉTICA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO
ELÉCTRICO EN LA EMPRESA SOMELECT SAS UTILIZANDO MEDICIÓN
REMOTA**

**YEISON ALEXANDER MESA MONSALVE
JOSMAN JOSE QUINTANA MARTINEZ
DUMAS ALEJANDRO TABORDA VERGARA**

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

**AUDITORÍA ENERGÉTICA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO
ELÉCTRICO EN LA EMPRESA SOMELECT SAS UTILIZANDO MEDICIÓN
REMOTA**

**YEISON ALEXANDER MESA MONSALVE
JOSMAN JOSE QUINTANA MARTINEZ
DUMAS ALEJANDRO TABORDA VERGARA**

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero electricista

**Asesor técnico:
Bayron Álvarez Arboleda
PhD. En estudios organizacionales**

**Asesor metodológico
Jose Ricardo Velasco Méndez
PhD. En educación**

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

2025

Contenido

1.	Planteamiento del problema	12
1.1	Descripción.....	12
1.2	Formulación	12
2.	Justificación	13
3.	Objetivos.....	14
3.1	Objetivo general	14
3.2	Objetivos específicos.....	14
4.	Referentes teóricos	15
4.1	Auditoria energética	15
4.1.1.	Reducción de costos operativos.....	15
4.1.2.	Mayor eficiencia y productividad.....	15
4.1.3.	Cumplimiento normativo y sostenibilidad.	15
4.2	Monitoreo de variables eléctricas.....	16
4.3	Uso racional de la energía (URE)	16
4.4	Medición de Variables Eléctricas con PAC3120	16
4.5	Transición Energética.....	17
4.6	Analítica de datos	18
4.7	Proure (Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía).....	18
4.8	Norma ISO 50002	19
4.9	Eficiencia energética	19
5.	Metodología.....	20
5.1	Tipo de proyecto.....	20
5.2	Método	20
5.3	Instrumentos de recolección de información.	21

5.3.1. Fuentes primarias.....	21
5.3.2. Fuentes secundarias	21
6. Resultados.....	22
6.1 Protocolo de visita.....	23
6.2 Diagnostico energético	24
6.3 Sistema de monitoreo y evaluación.....	29
6.4 Descripción sistema de medición.....	31
6.5 Descripción de la solución IoT central: DRACMON-3.....	32
6.6 Captura de datos del DRACMON-3	34
6.7 Hallazgos de aspectos a mejorar	36
6.8 Resumen técnico y económico: recomendaciones para el uso racional de la energía.....	39
7. Conclusiones.....	42
8. Recomendaciones	43
9. Referencias bibliográficas	44
10. Bibliografía.....	46
11. Anexos	48

Índice de figuras

Figura 1. Equipo Siemens PAC3120.....	17
Figura 2. Transición energética.	17
Figura 3 Distribución de potencia Instalada.....	26
Figura 4 Plano de conexión Dracmon-3	31

Índice de tablas

Tabla 1. Protocolo de Visita	23
Tabla 2. Aforo de cargas.....	25
Tabla 3. Captura de datos del medidor	34
Tabla 4. Captura de datos del medidor P, Q.....	35

Resumen

AUDITORÍA ENERGÉTICA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO EN LA EMPRESA SOMELECT SAS UTILIZANDO MEDICIÓN REMOTA

YEISON ALEXANDER MESA MONSALVE
JOSMAN JOSE QUINTANA MARTINEZ
DUMAS ALEJANDRO TABORDA VERGARA

La presente auditoría energética se realizó en la empresa SOMELECT SAS, especializada en distribución y fabricación de componentes eléctricos, con el objetivo de identificar oportunidades de mejora en el uso y gestión eficiente de la energía eléctrica. Mediante el empleo de tecnología IoT (sistema DRACMON-3) y metodología conforme a los estándares ISO 50001 e ISO 50002, se capturaron y analizaron datos de consumo eléctrico durante 24 días en horario operativo (8:00 AM - 7:00 PM).

Los resultados revelaron que la maquinaria industrial concentra el 94.4% del consumo (2,250 kW), mientras que se identificaron ineficiencias críticas: un severo desequilibrio trifásico del 63.76% y un factor de potencia promedio de 0.890, por debajo del estándar recomendado de 0.95. El análisis permitió cuantificar seis oportunidades de mejora prioritarias, encabezadas por el balanceo de fases y la compensación de reactivos.

La implementación integral del plan de acción propuesto proyecta una reducción del 20.4% en consumo energético (pasando de 1,368,930 a 1,089,544 kWh mensuales), generando ahorros de \$256.5 millones COP mensuales (\$1,676 mil millones anuales) con una inversión de \$205-292 millones COP. El retorno de inversión extraordinario de apenas 1.4-1.8 meses, combinado con beneficios ambientales (reducción de 1,600 toneladas CO₂ anuales), posiciona a SOMELECT como referente en eficiencia energética industrial y cumplimiento de normativas nacionales e internacionales.

Palabras claves: auditoría energética, eficiencia energética, factor de potencia, desequilibrio trifásico, IoT, ahorro energético.

Abstract

This energy audit was conducted at SOMELECT SAS, a company specializing in the distribution and manufacturing of electrical components, to identify opportunities for improvement in efficient use and management of electrical energy. Using IoT technology (DRACMON-3 system) and methodology compliant with ISO 50001 and ISO 50002 standards, electrical consumption data were captured and analyzed over 24 days during operating hours (8:00 AM - 7:00 PM).

The results revealed that industrial machinery concentrates 94.4% of consumption (2,250 kW), while critical inefficiencies were identified: severe three-phase imbalance of 63.76% and average power factor of 0.890, below the recommended standard of 0.95. The analysis quantified six priority improvement opportunities, led by phase balancing and reactive power compensation.

The comprehensive implementation of the proposed action plan projects a 20.4% reduction in energy consumption (from 1,368,930 to 1,089,544 kWh monthly), generating savings of \$256.5 million COP monthly (\$1,676 billion annually) with an investment of \$205-292 million COP. The extraordinary return on investment of only 1.4-1.8 months, combined with environmental benefits (reduction of 1,600 tonnes CO₂ annually), positions SOMELECT as a benchmark in industrial energy efficiency and compliance with national and international regulations.

Keywords: energy audit, energy efficiency, power factor, three-phase imbalance, IoT, energy savings.

Glosario

Ahorro energético: Reducción del consumo de energía eléctrica como resultado de la implementación de medidas técnicas, operativas o tecnológicas.

Auditoría energética: Conjunto de actividades orientadas a analizar el consumo de energía, identificar ineficiencias y proponer medidas para optimizar el uso de la electricidad en una organización.

Balanceo de fases: Acción de redistribuir la carga eléctrica entre las tres fases de un sistema para minimizar el desequilibrio, optimizando el funcionamiento y reduciendo pérdidas.

Banco de capacitores: Equipos que se instalan en sistemas eléctricos para corregir el factor de potencia, disminuyendo el consumo de energía reactiva y evitando recargos en la factura eléctrica.

Consumo específico: Indicador que relaciona el consumo de energía con la producción o actividad medida, utilizado para identificar áreas o procesos menos eficientes dentro de la empresa.

Desequilibrio trifásico: Diferencia excesiva entre las corrientes o tensiones de las tres fases en un sistema eléctrico; produce sobrecalentamientos, pérdidas y disminuye la vida útil de equipos eléctricos.

DRACMON-3: Sistema de monitoreo inteligente basado en IoT utilizado en este trabajo para registrar variables eléctricas y analizar el desempeño energético.

Eficiencia energética: Capacidad de realizar procesos y operaciones con el mínimo consumo de energía posible, sin afectar la calidad del servicio ni la productividad.

Factor de potencia (FP): Indicador que refleja la eficiencia en el uso de la energía eléctrica; valores cercanos a 1.0 son ideales, mientras que valores bajos implican pérdidas y penalizaciones económicas.

IoT (Internet de las cosas): Tecnología que permite conectar y monitorear equipos industriales a través de internet, facilitando la recolección y análisis remoto de datos para optimizar procesos.

ISO 50001 / ISO 50002: Normas internacionales que establecen requisitos y directrices para sistemas y auditorías de gestión energética en organizaciones.

Medidor multifuncional: Dispositivo electrónico capaz de medir varias variables eléctricas (voltaje, corriente, potencia activa/reactiva, factor de potencia) en tiempo real, esencial para el control y monitoreo de instalaciones eléctricas.

PROURE: Programa colombiano para el Uso Racional y Eficiente de la Energía, promueve políticas y acciones para reducir el consumo y aumentar la eficiencia energética a nivel industrial y nacional.

ROI (Retorno de inversión): Tiempo estimado en el que la inversión realizada en mejoras energéticas se recupera gracias a los ahorros generados.

Introducción

En la actualidad, el sector industrial representa uno de los mayores consumidores de energía eléctrica a nivel mundial, lo que implica una significativa responsabilidad en términos de eficiencia y sostenibilidad. La optimización del consumo energético se ha transformado en un factor clave para fortalecer la competitividad empresarial y reducir el impacto ambiental, aspectos que cobran cada vez más relevancia ante los desafíos globales de recursos y regulación.

SOMELECT SAS, empresa dedicada a la fabricación y comercialización de componentes eléctricos, enfrenta el reto de modernizar su gestión energética, garantizando la calidad de sus servicios sin comprometer los principios de eficiencia y ahorro. Para cumplir con estos objetivos, resulta esencial la integración de tecnologías como sistemas de monitoreo inteligente (IoT) y la adhesión a buenas prácticas basadas en normas reconocidas internacionalmente, tales como la ISO 50001 y 50002, así como las directrices del programa PROURE en Colombia.

La auditoría energética, herramienta central de este proyecto, permite identificar en detalle los patrones de consumo, las ineficiencias y las áreas críticas de oportunidad en la operación diaria de SOMELECT. A través del análisis riguroso de datos obtenidos mediante medición remota y la aplicación de una metodología estructurada, es posible proponer medidas específicas que mejoren el desempeño energético de la empresa y disminuyan los costos asociados.

Este trabajo de grado no solo busca impactar positivamente las finanzas y la operación de SOMELECT, sino también aportar al desarrollo de una cultura corporativa orientada hacia la sostenibilidad y la innovación tecnológica. Al posicionarse como referente en eficiencia energética industrial, la empresa contribuye activamente a la construcción de un sector productivo más responsable y competitivo, alineado con los retos y oportunidades del entorno actual.

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción

Obtener un consumo óptimo de energía eléctrica es un aspecto fundamental para la empresa Somelect, ya que impacta directamente en la eficiencia operativa y en la reducción de costos. Somelect es una compañía dedicada principalmente a la distribución de insumos eléctricos, ofreciendo una amplia variedad de productos que satisfacen las necesidades del sector eléctrico e industrial. Además, la empresa se especializa en la fabricación y comercialización de componentes eléctricos y de telecomunicaciones, tales como cajas de empalme, canaletas, y accesorios galvanizados, que son esenciales para la infraestructura y mantenimiento de redes eléctricas y de comunicación.

La optimización del consumo energético en Somelect no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también mejora la competitividad de la empresa en el mercado, al reducir gastos operativos y fomentar el uso responsable de los recursos. Para lograr esto, Somelect implementa estrategias basadas en tecnologías eficientes, monitoreo constante del uso energético y capacitación del personal, asegurando así un manejo adecuado y sostenible de la energía eléctrica en todas sus instalaciones y procesos productivos.

1.2 Formulación

¿Cómo puede una auditoría energética ayudar a reducir el consumo y costo eléctrico en la empresa Somelect?

2. Justificación

La realización de auditorías energéticas es fundamental en el contexto actual, donde el consumo eficiente de electricidad tiene un impacto directo en la reducción de costos, la productividad y la sostenibilidad ambiental. En empresas como SOMELECT, este tipo de estudios permite analizar rigurosamente el perfil de consumo y detectar áreas críticas que requieren intervención, asegurando que los recursos energéticos se utilicen de manera óptima y responsable.

Alinear las acciones empresariales con estándares internacionales, como la norma ISO 50001 y las directrices del PROURE, no solo garantiza el cumplimiento normativo, sino que también posiciona a la organización como referente en eficiencia y gestión responsable de la energía. El cumplimiento de estas regulaciones fortalece la confianza de clientes y socios comerciales, al tiempo que mejora la imagen corporativa y facilita el acceso a incentivos estatales y beneficios fiscales.

Además, la auditoría energética es una herramienta estratégica para innovar en procesos productivos, implementar tecnologías más eficientes y reducir impactos negativos en el medio ambiente. Mediante el monitoreo continuo y el análisis técnico de variables eléctricas, es posible identificar oportunidades concretas de ahorro, optimizar el rendimiento de los equipos y minimizar riesgos asociados a fallos o sobrecostos en la operación diaria.

Finalmente, este trabajo contribuye a una gestión energética integral en SOMELECT, proporcionando un diagnóstico detallado y un plan de acción enfocado en la mejora continua. Al hacerlo, la empresa no solo logra beneficios económicos y operativos, sino que también promueve una cultura de sostenibilidad y responsabilidad social, alineándose con los retos globales y locales de desarrollo sostenible.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Implementar un estudio de consumo energético al sistema eléctrico de la empresa Somelect, para la reducción de este consumo y a su vez el costo asociado, buscando la mejora en la eficiencia del consumo energético con planes y recomendaciones para un desempeño energético ideal, que contemplan el estudio del comportamiento energético de sus instalaciones eléctricas.

3.2 Objetivos específicos

Identificar las zonas de la empresa con mayores niveles de ineficiencia energética mediante el monitoreo y análisis detallado del consumo eléctrico, focalizando las acciones correctivas en las áreas que más lo requieren.

Diseñar un plan de acción para la mejora de la eficiencia energética basado en los resultados del diagnóstico, implementando soluciones prácticas que reduzcan el consumo y optimicen el uso de la energía.

Analizar el impacto económico y medioambiental de las medidas propuestas evaluando costos, ahorros potenciales y beneficios ambientales, justificando así la viabilidad y sostenibilidad de las intervenciones.

4. Referentes teóricos

4.1 Auditoría energética

La auditoría energética eléctrica es una herramienta fundamental para identificar oportunidades de ahorro y eficiencia en el uso de la electricidad. Según la norma ISO 50002, este proceso debe incluir mediciones precisas, observaciones y un análisis detallado del consumo eléctrico con el objetivo de reducir costos y mejorar el desempeño energético (ISO 50002, 2014)

Realizar una auditoría energética para empresas ofrece numerosas ventajas, entre las cuales destacan la reducción de costes y la optimización de procesos.

4.1.1. Reducción de costos operativos. Uno de los principales beneficios de una auditoría energética es la identificación de oportunidades de ahorro, lo que permite reducir el gasto en energía. Mediante el análisis de consumo, se pueden detectar ineficiencias en los equipos, sistemas de iluminación, calefacción o refrigeración, y otros procesos operativos, lo que facilita aplicar mejoras que disminuyan las facturas energéticas y contribuyan a una gestión más eficiente de los recursos. (efiquality, s.f.)

4.1.2. Mayor eficiencia y productividad. Optimizar el uso de la energía no solo reduce costes, sino que también mejora el rendimiento de los equipos y sistemas de producción. Al garantizar que los equipos funcionen de manera más eficiente, la empresa puede aumentar la productividad y disminuir tiempos de inactividad, lo que se traduce en una operación más fluida y competitiva. (efiquality, s.f.)

4.1.3. Cumplimiento normativo y sostenibilidad. Las regulaciones en materia de eficiencia energética son cada vez más estrictas. Una auditoría energética ayuda a cumplir con la normativa vigente, evitando sanciones y asegurando la sostenibilidad ambiental del negocio, lo cual también mejora la imagen de la empresa ante los clientes y socios comerciales.

4.2 Monitoreo de variables eléctricas

El monitoreo continuo de variables eléctricas como voltaje, corriente, potencia activa/reactiva y factor de potencia permite detectar anomalías, prevenir fallos y optimizar el rendimiento energético. El monitoreo de la energía eléctrica o monitoreo del consumo energético consiste en el proceso automatizado de registrar, procesar y analizar la red eléctrica a tiempo completo.

Se trata de un seguimiento de estos datos, que brinda un panorama claro del comportamiento de la energía eléctrica y la eficiencia energética en los diferentes procesos, activos y sectores de la operación. (Vedan, 2025)

4.3 Uso racional de la energía (URE)

El uso racional y eficiente de energía son las acciones y formas de actuar, que permiten usar adecuadamente la energía, optimizándola, sin desperdiciarla y usando la menor cantidad posible (IPSE).

El objetivo es usar solo la energía necesaria. Este concepto implica:

Optimizar procesos para reducir el consumo energético innecesario.

Usar tecnologías eficientes, como iluminación LED o motores de alta eficiencia.

Modificar hábitos de uso, fomentando la cultura del ahorro energético.

Reducir el impacto ambiental, mediante menor emisión de gases contaminantes.

4.4 Medición de Variables Eléctricas con PAC3120

Equipos como el Siemens PAC3120 permiten mediciones trifásicas y análisis de energía activa y reactiva, además de integrarse en redes de comunicación industrial mediante Modbus RTU. Estas herramientas son claves para una gestión energética precisa y confiable (Siemens, 2017)



Figura 1. Equipo Siemens PAC3120

Fuente. Siemens.

4.5 Transición Energética

La transición energética es el proceso de cambio del uso de fuentes de energía tradicionales, como el petróleo y el carbón, hacia fuentes renovables y sostenibles como la energía solar, eólica y geotérmica. Su objetivo principal es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y combatir el cambio climático. (Ecopetrol, 2024)



Figura 2. Transición energética.

Fuente. Fondo monetario internacional.

4.6 Analítica de datos

Data Analytics o analítica de datos hace referencia a un proceso con el cual se extraen y transforman datos, con el fin de analizarlos para hallar información valiosa y apoyar la toma de decisiones en cualquier negocio.

Adoptar estas tendencias, les permitirá a las empresas implementar una estrategia tecnológica basada en el análisis de datos, logrando de esta manera optimizar procesos y contribuir a la rentabilidad del negocio, en todo lo que tiene que ver con el consumo de energía. Al reconocer el valor de los datos, analizarlos y entenderlos, la empresa podrá ganar efectividad, visión y competitividad en el mercado. (Enelx, 2023)

4.7 Proure (Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía)

En Colombia, el PROURE establece políticas, metas e incentivos para fomentar el ahorro energético y la eficiencia, especialmente en sectores de alta demanda como el industrial. En la parte eléctrica, se orienta a reducir pérdidas, mejorar la infraestructura y adoptar tecnologías eficientes. (UPME, 2023)

El plan de acción indicativo del PROURE determina las metas de ahorro de energía sectoriales y las acciones y medidas de eficiencia energética para alcanzarlas. (UPME, 2023)

La UPME presenta la tercera versión del Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional de Energía PAI-PROURE para el periodo 2022-2030. (UPME, 2023)

En este documento se propone una visión a 2030 de la eficiencia energética como recurso fundamental en la consecución de los objetivos de política pública del sector: abastecimiento confiable, precios competitivos y mitigación del cambio climático. (UPME, 2023)

Así mismo se exponen los potenciales de eficiencia energética y de reducción de emisiones de CO₂ para diferentes sectores de la economía como resultado de la adopción de mejores tecnologías y cambio de combustibles. (UPME, 2023)

Este ejercicio proyecta el impacto de la eficiencia energética en la demanda y las emisiones en el periodo 2022-2030 y se realiza un análisis beneficio costo de las medidas estudiadas con el fin de identificar aquellas que serían susceptibles de tener incentivos tributarios. (UPME, 2023)

4.8 Norma ISO 50002

La ISO 50002 proporciona directrices específicas para la ejecución de auditorías energéticas. Define el alcance, los requisitos técnicos y metodológicos necesarios para llevar a cabo evaluaciones efectivas del uso de energía eléctrica en instalaciones industriales o comerciales. (ISO 50002, 2014)

Esta Norma Internacional especifica los requisitos de proceso para llevar a cabo una auditoría energética en relación con el desempeño energético. Es aplicable a todo tipo de establecimientos y organizaciones y a todas las formas y usos de la energía. (ISO 50002, 2014)

Esta Norma Internacional especifica los principios para llevar a cabo auditorías energéticas, los requisitos para los procesos comunes durante las auditorías energéticas y los entregables para las auditorías energéticas. (ISO 50002, 2014)

Esta Norma Internacional no aborda los requisitos para la selección y evaluación de la competencia de los organismos que prestan servicios de auditoría energética, y no cubre la auditoría del sistema de gestión de la energía de la organización, dado que éstos se describen en la Norma ISO 50003. (ISO 50002, 2014)

4.9 Eficiencia energética

La eficiencia energética consiste en optimizar el uso de la energía para mejorar la productividad de los recursos sin sacrificar la calidad de vida. Es decir, no se trata de dejar de usar la energía que necesitamos en el día a día, sino hacerlo de forma consciente y responsable. (Enel, 2022)

5. Metodología

5.1 Tipo de proyecto

Proyecto de investigación experimental, se utiliza la manipulación de variables en condiciones controladas. Control y manipulación de variables en tiempo real. Interpretación de datos obtenidos. Los resultados Pueden ser aplicados de manera inmediata en la empresa Somelect S.A.S, puede generar ahorros económicos y mejoras en la eficiencia energética.

5.2 Método

El desarrollo del proyecto se realiza mediante actividades como identificar las zonas de la empresa con mayores niveles de ineficiencia energética.

Realizar un diagnóstico energético.

Realizar una auditoria visual. (identificar posibles áreas de ineficiencia energética).

Identificar oportunidades de mejora en el consumo energético.

Análisis de facturas de servicios públicos.

Diseñar un plan de acción para mejorar la eficiencia energética.

Establecer metas y objetivos.

Reducir costos operativos.

Establecer un sistema de monitoreo y evaluación.

Realizar un análisis de costo beneficio.

Elaborar un resumen técnico y económico del consumo eléctrico actual.

Basados en los resultados obtenidos se realizarán comparaciones con los objetivos iniciales para evaluar y comparar los resultados.

Recopilar y revisar la factura de electricidad durante cierto tiempo para obtener información sobre consumo y costos asociados.

Identificar los principales consumidores de energía.

Analizar el impacto económico y medioambiental de las medidas propuestas.

Evaluar los costos de implementación (equipos, mano de obra y materiales) para cada ítem.

5.3 Instrumentos de recolección de información.

5.3.1. Fuentes primarias.

Facturación de energía eléctrica, (energías, 2024) Basados en la socialización de la facturación de los servicios públicos de la empresa Somelect podremos realizar estadísticas comparativas.

Aforo de cargas: al realizar la estadística comparativa, se estandarizará el denominado consumo a cada elemento eléctrico.

Análisis de iluminación: las estadísticas lumínicas deben ser medidas con un luxómetro (CHACÓN, 2017) este nos indicara si el nivel de iluminación es apto para cada tipo de trabajo en dicha zona mencionada.

5.3.2. Fuentes secundarias.

(como medir el consumo electrico, 2023), $\text{Watts (W)} \times \text{horas (h)} \div 1000$, con este conocimiento básico obtendremos la cantidad de Kwh (kilovatios hora), es el cobrado en la factura de energía eléctrica. En este mismo orden de ideas se debe considerar encender solo lo que se le dará uso. (RED COLOMBIANA DE CONOCIMIENTO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA, 2018) la implementación de un sistema de gestión de energía ISO 50001.

6. Resultados

Se llevará a cabo un diagnóstico exhaustivo del perfil de consumo eléctrico de la empresa, integrando el análisis de registros históricos, mediciones in situ, y la caracterización técnica de los equipos consumidores de energía. Este proceso incluirá el uso de medidores remotos de energía para la captura continua y en tiempo real de variables eléctricas, lo cual permitirá una evaluación más precisa del comportamiento energético de los sistemas.

La información recolectada será procesada mediante técnicas de analítica de datos, con el fin de detectar tendencias de consumo, identificar ineficiencias operativas y anomalías en la calidad de la energía (como desequilibrios, armónicos o factor de potencia deficiente).

Con base en estos resultados, se elaborará un informe de auditoría energética conforme a los lineamientos de la norma ISO 50002, que contendrá un diagnóstico detallado, oportunidades de mejora y propuestas de intervención técnica.

Finalmente, se diseñará un plan de acción estructurado orientado a la optimización del desempeño energético, reducción de costos operativos y aseguramiento de un suministro eléctrico confiable y de alta calidad. La implementación de estas medidas contribuirá a la sostenibilidad operativa de la organización, mejorando su competitividad y garantizando el cumplimiento de normativas vigentes en eficiencia energética.

Detección de las zonas con mayor ineficiencia energética mediante inspecciones, evaluación de indicadores de consumo y comparación con parámetros de referencia

Elaboración de un plan de acción de eficiencia energética con pasos concretos para implementar las mejoras a realizar.

Resumen técnico y económico del consumo eléctrico actual de la empresa a partir del análisis de datos

6.1 Protocolo de visita

La actividad inicial de la auditoría energética consiste en identificar las zonas de la empresa con mayores niveles de ineficiencia energética mediante la realización de una visita orientada por el protocolo de visita de la tabla 1.

Tabla 1. *Protocolo de Visita*

Nº	Actividad	Descripción / Resultado	Hallazgo
1	Contacto Coordinativo Inicial	Coordinación con Gerencia de Mantenimiento; Definición de acceso, seguridad y horarios; Responsable: jefe de Mantenimiento	Coordinación exitosa
2	Definición del Alcance	Sistema trifásico 220V; Tablero principal; Medición V, I, FP por fase; Análisis 7-22 hrs; Áreas: Talleres, climatización, oficinas	Alcance claro
3	Recolección de Información	Facturas 12 meses; Planos eléctricos; Inventario equipos; Especificaciones técnicas; Horarios y calendario de producción	Documentación completa
4	Verificación de Gestión Previa	No existe plan formal; Sin monitoreo continuo; Sin sistema remoto; Sin objetivos de reducción; Oportunidad para implementación integral	Oportunidad identificada
5	Identificación de Cargas	Maquinaria: 2,250 kW (94%); Climatización: 60 kW; Iluminación: 12.64 kW; Equipos soporte: 40 kW; Punto crítico: Máquinas fabricación	Cargas identificadas
6	Registro Técnico y Fotográfico	45+ fotografías; Tablero principal, transformadores, DRACMON-3, iluminación, áreas productivas; Documentación visual completa	Registro sistemático
7	Observación de Prácticas	Iluminación 7-22 hrs (fluorescentes obsoletas); Equipos sin coordinación; Ausencia control automático; Picos de demanda no optimizados	Automatización requerida

8	Mediciones Preliminares	Voltaje 123.9V equilibrado; Desequilibrio 63.76% (A: 11.14A, B: 6.11A, C: 3.35A); FP 0.890; Potencia 2,268 kW	Hallazgos críticos
9	Instalación de Monitoreo	DRACMON-3 instalado; PAC3120; PLC Amp1-F; 10 min intervalo; 2 años almacenamiento; 2,907 registros capturados	Sistema operativo
10	Entrevistas Personal	Jefe Mantenimiento, operadores, supervisores entrevistados; Personal receptivo; Hallazgos técnicos validados	Validación completada

Diseño: propio.

La ejecución del protocolo de visita inicial en SOMELECT COLOMBIA permitió completar sistemáticamente diez actividades fundamentales: coordinación con la Gerencia del Mantenimiento, definición del alcance de auditoría en el sistema trifásico 220V durante horario operativo, recopilación completa de documentación técnica, verificación de ausencia de gestión energética previa, identificación de maquinaria industrial como punto crítico (94.4% del consumo), registro fotográfico de 45+ imágenes técnicas, observación de deficiencias operacionales, mediciones preliminares que confirmaron desequilibrio severo de fases (63.76%), instalación del sistema de monitoreo remoto DRACMON-3 que capturó 2,907 registros durante 24 días de operación, y validación de hallazgos mediante entrevistas con personal técnico.

Este protocolo sistemático constituyó la base sólida para un diagnóstico energético integral, identificando hallazgos críticos como el bajo factor de potencia (0.890), iluminación con tecnología obsoleta, y ausencia de automatización en sistemas de climatización.

6.2 Diagnóstico energético

Con los resultados de la visita inicial a la empresa, se procede a realizar un diagnóstico energético de los elementos eléctricos instalados en el sitio de la auditoría (identificar posibles áreas de ineficiencia energética). Un primer elemento para tal fin es el aforo de cargas presentado en la tabla 2, que presenta una lista de aparatos, sus potencias nominales, los horarios de utilización, los cuales permiten proyectar el consumo de energía eléctrica.

Tabla 2. *Aforo de cargas*

Categoría	Descripción Principal	Potencia (kW)	% Total	Horario
Maquinaria Industrial	Máquinas fabricación (800-1,500 kW), Galvanizado (200 kW), Compresores (150 kW), Soldadura (100 kW)	2,250	94.4%	8:00 am - 7:00 pm hrs
Climatización / Ventilación	Aires acondicionados (50 kW), Ventiladores (10 kW)	60	2.5%	8:00 am - 7:00 pm hrs
Iluminación	LED (6.0 kW), Fluorescente antigua (4.64 kW), Exterior (2.0 kW)	12.64	0.53%	8:00 am - 7:00 pm hrs
Equipos de Soporte	Computadores/Servidores (30 kW), Impresión/Telecomunicaciones (10 kW)	40	1.68%	8:00 am - 7:00 pm hrs
Otros Sistemas	Seguridad (5 kW), Equipos auxiliares (15 kW)	20	0.84%	Variable/24hrs
TOTAL	Potencia Total Instalada	2,382.64	100%	8:00-19:00 hrs

Fuente: propia.

En la tabla 2 de aforos podemos vislumbrar que la maquinaria industrial concentra la mayor parte del consumo eléctrico de la planta, con una demanda cercana a los 2,250 kW. En este grupo se encuentran las máquinas de fabricación, equipos de galvanizado, compresores y sistemas de soldadura, que operan de manera continua entre las 8:00 am y las 7:00 pm. El encendido simultáneo genera picos de demanda y se evidenció un desequilibrio importante entre fases, junto con un factor de potencia bajo en los periodos de mayor carga. La figura 3 presenta la distribución de estas cargas.

La climatización y ventilación representa un consumo menor, compuesto por aires acondicionados y ventiladores que funcionan sin automatización. Aunque están en estado aceptable, existe un potencial de ahorro del 15–20% si se implementa control por horarios u ocupación.

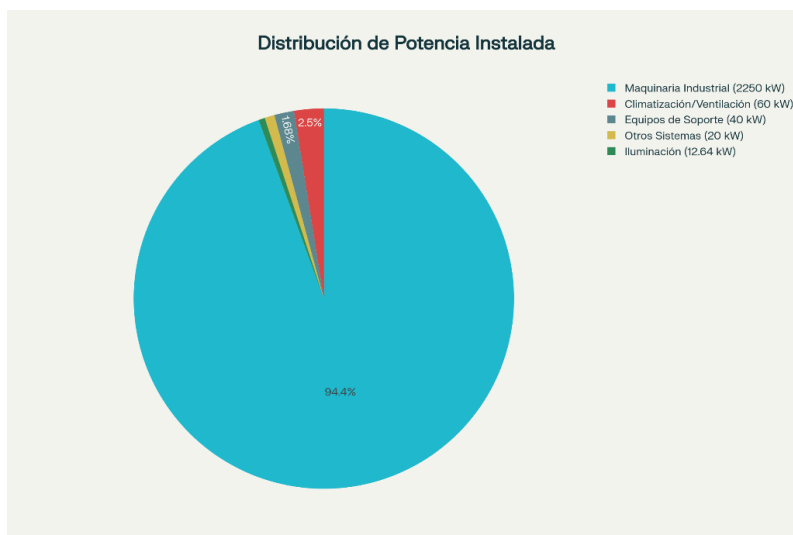


Figura 3 Distribución de potencia Instalada
Fuente propia

En niveles más bajos de consumo se encuentra la iluminación, que combina luminarias LED eficientes con luminarias fluorescentes ya obsoletas que aumentan el mantenimiento y disminuyen la eficiencia global del sistema. Los equipos de soporte, como computadores, servidores y dispositivos de impresión operan de forma intermitente, pero carecen de gestión de modo de espera, lo que incrementa el consumo innecesario. Finalmente, los sistemas auxiliares y de seguridad mantienen un consumo continuo durante las 24 horas, con oportunidades de optimización mediante ajustes simples en programación y control de encendido. En la siguiente grafica se puede ver cómo está distribuido la potencia instalada.

La auditoría energética de SOMELECT COLOMBIA ha identificado seis oportunidades significativas de mejora, siendo dos de ellas críticas y de implementación inmediata: el balanceo de fases y la compensación del factor de potencia. El severo desequilibrio trifásico del 63.76% (Fase A: 55.2%, Fase B: 27.8%, Fase C: 17.0%) genera pérdidas mensuales de 160,600 kWh equivalentes a \$80.3 millones COP, siendo corregible mediante redistribución de cargas con una

inversión mínima de \$5-10 millones y retorno en apenas 1-2 meses. De manera paralela, el bajo factor de potencia del 0.890 (objetivo: ≥ 0.95) produce pérdidas mensuales de 184,104 kWh por \$92.1 millones COP, solucionable mediante la instalación de un banco de capacitores automático de 305 kVAR con inversión de \$150-200 millones y ROI de 22-27 meses. Estas dos intervenciones generarían un ahorro combinado de \$172.3 millones COP mensuales, posicionando al balanceo como la acción más urgente por su extraordinario retorno de inversión.

Complementando las mejoras inmediatas, SOMELECT puede optimizar significativamente su eficiencia mediante la modernización tecnológica y automatización de sistemas. La iluminación contiene 80 unidades de luminarias fluorescentes (tecnología obsoleta, 4.64 kW) que pueden reemplazarse por LED equivalentes (1.6 kW), generando un ahorro del 65% en este segmento: 1,094 kWh/mes (~\$547,000 COP) con inversión de \$12-16 millones y ROI de 26-34 meses.

Adicionalmente, los sistemas de climatización (50 kW de AC + 10 kW de ventiladores) operan continuamente sin automatización, presentando oportunidad de control automático mediante sensores de ocupación y termostatos programables, permitiendo reducción del 15-20% del consumo climatización (7.5-12 kW) con ahorro de \$500,000-800,000 COP/mes mediante inversión de \$8-12 millones. La combinación de estas mejoras tecnológicas generaría ahorro adicional de aproximadamente \$1.1 millones COP mensuales en consumo energético.

La gestión integral de demanda representa una tercera línea de oportunidad, donde la variación pico-valle del 22.1% (442.08 kW) entre horas de máximo consumo (4,148.55 kW a las 19:00 hrs) y menor demanda (2,001.83 kW a las 8:00 AM) puede optimizarse mediante desplazamiento de cargas no críticas y encendido escalonado de equipos.

Esta estrategia busca reducir la demanda máxima de 4,148.55 kW a menos de 3,500 kW, lo que se traduciría en ahorro del cargo por demanda de \$83,000,000 COP mensuales con inversión de \$30-50 millones (controladores PLC y programación) y ROI de 8-15 meses. Finalmente, a nivel de sistemas auxiliares, los equipos informáticos (25 computadores + 15 periféricos) operan en *standby* permanente consumiendo innecesariamente 2,400 kWh/mes, pudiendo reducirse 80-90% mediante configuración de apagado automático tras inactividad, con ahorro de \$100,000-

120,000 COP mensuales e inversión mínima de \$2-4 millones. Esta última medida, aunque menos significativa en términos porcentuales, requiere menor inversión y contribuye a la cultura de eficiencia energética corporativa.

El análisis integral de las seis oportunidades identifica un potencial de ahorro de \$256.5 millones COP mensuales (~\$1.68 mil millones anuales, equivalente a reducción del 20.4% en consumo energético) con inversión total de \$205-292 millones COP, generando un retorno de inversión extraordinario de apenas 1.4-1.8 meses. La implementación se recomienda en cuatro fases: Fase 1 (Semanas 1-4) priorizando el balanceo de fases de máxima urgencia; Fase 2 (Semanas 4-9) con compensación reactiva; Fase 3 (Semanas 9-19) implementando en paralelo iluminación LED, control de climatización y gestión de demanda; Fase 4 (Semanas 19+) completando con control de standby y monitoreo continuo mediante acciones controladas por el sistema DRACMON-3.

Al término de la implementación integral, SOMELECT Colombia proyecta reducir su consumo energético de 1,368,930 kWh/mes a 1,089,544 kWh/mes, disminuir pérdidas de 20.5% a 15.0%, y posicionarse como empresa referente en eficiencia energética industrial, cumpliendo normas internacionales (IEC 60038, CREG 015, ISO 50001) y contribuyendo significativamente a la sostenibilidad ambiental mediante reducción de 1,600 toneladas CO2 anuales.

Se elaboró un plan de acción orientado a mejorar la eficiencia energética conforme a los lineamientos de la norma ISO 50002. En este proceso se definieron metas y objetivos específicos, se analizaron los costos operativos asociados al consumo eléctrico y se identificaron los principales consumidores de energía dentro de la instalación. Este plan permitió estructurar las acciones prioritarias y establecer una ruta clara para la optimización del desempeño energético.

El plan de acción propuesto se basa en los lineamientos de las normas ISO 50001:2018 e ISO 50002 y parte del diagnóstico energético inicial, donde se identificaron los principales consumidores y se caracterizó el comportamiento eléctrico de la planta, destacando que la maquinaria industrial concentra la mayor demanda. Con el apoyo del monitoreo realizado, se definieron objetivos específicos que incluyen la reducción del desequilibrio de fases, la mejora

del factor de potencia, la disminución del consumo mensual y la reducción de pérdidas energéticas y costos operativos. Estos objetivos se sustentan en análisis técnicos y económicos que muestran una oportunidad clara de optimización y un impacto directo en la eficiencia global del sistema.

El plan plantea una estrategia de implementación distribuida en cuatro fases: balanceo de cargas, instalación de sistemas de compensación reactiva, actualización tecnológica y optimización operativa, con un cronograma estimado de cinco meses y el uso de Indicadores de Desempeño Energético para el seguimiento. Los resultados esperados muestran una alta viabilidad técnica y financiera, con un retorno de inversión inferior a dos meses y beneficios sostenibles a largo plazo. Ver Anexo 1: PLAN DE ACCIÓN - ISO 50001.

6.3 Sistema de monitoreo y evaluación

Establecer un sistema de monitoreo y evaluación, mediante la instalación de medidores de energía remotos.

El DRACMON-3 es un sistema integrado de medición energética que viene completamente configurado en una única caja lista para instalar, eliminando la necesidad de componentes separados o calibraciones complejas en campo. El equipo incluye el medidor Siemens PAC3120 (Clase 0.5S, precisión $\pm 0.5\%$), tres transformadores de corriente 200:5A pre-calibrados con núcleo tipo split core, el PLC Amp1-F con conectividad WiFi y todos los cables secundarios con fusibles y resistencias de descarga ya integrados internamente.

Esta integración total permite reducir significativamente el tiempo de instalación a apenas 3-4 horas (una jornada laboral), en contraste con sistemas modulares que requieren 4-5 días de trabajo especializado. El equipo opera en rango trifásico 208-480V, almacena datos históricos en *cloud* durante 2 años, y permite monitoreo en tiempo real con actualización cada 10 minutos, proporcionando la base fundamental para identificación de ineficiencias energéticas y validación posterior de implementación de mejoras.

El procedimiento de instalación del DRACMON-3 se estructura en seis fases secuenciales que se completan en una jornada: (1) Inspección y preparación de área (30 minutos), (2) Montaje físico de caja en tablero principal a altura 1.0-1.5 metros (1 hora), (3) Posicionamiento de transformadores TC alrededor de conductores de fase A, B, C sin requerir conexionado complejo (30 minutos), (4) Conexión simple de cables de voltaje de referencia mediante conectores tipo resorte (15 minutos), (5) Configuración de conectividad internet mediante WiFi (30 minutos), y (6) Validación operativa y documentación final (15 minutos).

A diferencia de instalaciones convencionales, el DRACMON-3 requiere únicamente materiales básicos adicionales: cinta aislante, bridas nylon, etiquetas de identificación y destornillador Phillips, junto con herramientas simples como multímetro digital y pinzas amperimétricas opcionales. El personal debe ser técnico electricista con cédula vigente y conocimiento básico de redes trifásicas, pero no requiere especialización avanzada en medición eléctrica, ya que toda la calibración se realiza en fábrica bajo normas NTC 5960 e IEC 61000-4.

La validación del sistema se realiza mediante *checklist* de 10 puntos simples: verificación de montaje correcto, posicionamiento de TC, conexión de voltaje, LED verde del PLC (indicador de alimentación), conexión a internet, aparición en DRACMON Cloud como "CONECTADO", actualización de datos cada 10 minutos, factor de potencia entre 0.85-1.0, ausencia de lecturas negativas y captura consistente de datos durante 1 hora operativa.

Una vez instalado, el DRACMON-3 requiere mantenimiento preventivo mínimo limitado a revisión visual mensual, verificación de indicador LED del PLC, inspección de cables y limpieza de pantalla LCD. El equipo proporciona redundancia automática en conectividad almacenamiento permanente de 2 años en *cloud*, y soporte técnico 24/7 disponible. La calibración anual mediante laboratorio certificado ICONTEC (costo aproximado \$1,200,000-1,500,000 COP) es recomendada para mantener certificación de precisión Clase 0.5S y cumplimiento de normativas CREG 015-2018. Este protocolo simplificado posiciona a SOMELECT Colombia con capacidad de monitoreo profesional de consumo energético, base indispensable para la implementación estratégica de las seis oportunidades de mejora identificadas en la auditoría inicial (Anexo 2).

6.4 Descripción sistema de medición

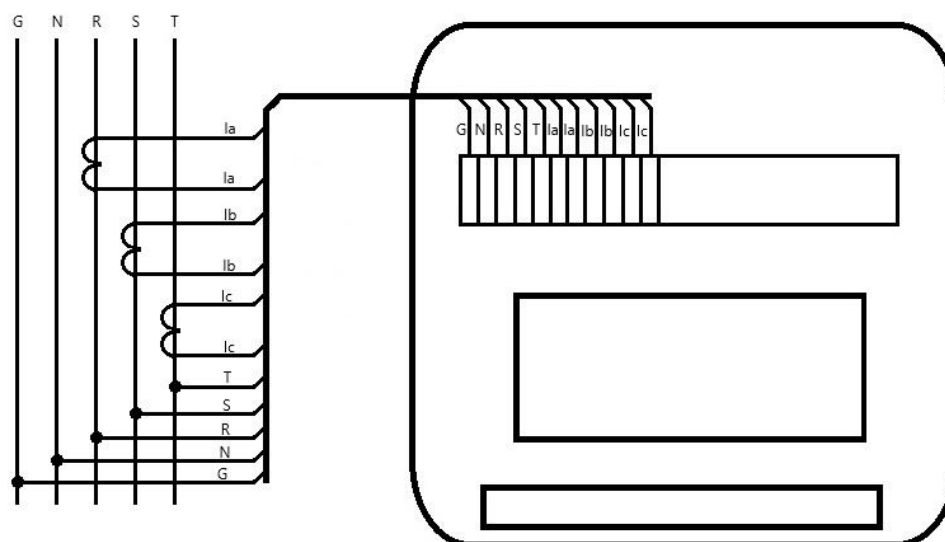


Figura 4 Plano de conexión Dracmon-3

Fuente: propia

La figura 4 muestra la instalación de un medidor de energía trifásico DRACMON-3 en un tablero eléctrico industrial. En el centro se ve el medidor Siemens PAC3120 montado en riel DIN, con su pantalla LCD para monitoreo local.

Los cables de voltaje y neutro (rojo, azul, verde y negro) llegan desde el tablero principal y se conectan a las terminales del medidor mediante conectores de resorte o tornillo, según la norma.

A los lados del medidor se encuentran los transformadores de corriente (TC) tipo *split-core*, instalados alrededor de los conductores de las fases A, B y C. Cada TC está identificado por fase y su cableado secundario va directamente al medidor o a una caja de protección cercana, siguiendo el orden y la señalización requerida.

En la parte inferior se observa la alimentación del PLC Amp1-F y módulo WiFi que envía los datos a la nube. El cableado está organizado y cumple buenas prácticas de instalación, lo que facilita la identificación visual, las auditorías y el mantenimiento.

En el marco del proyecto de auditoría energética, la utilización de dispositivos IoT (Internet de las Cosas) representa un avance significativo en la obtención, registro y análisis de datos eléctricos y energéticos en entornos industriales.

La arquitectura IoT seleccionada tiene como objetivo principal posibilitar la medición automatizada y remota, así como la recolección sistemática y segura de datos eléctricos críticos para la evaluación detallada del desempeño energético de las instalaciones, alineado con los criterios de la norma ISO 50001 y el enfoque de la Industria 4.0.

6.5 Descripción de la solución IoT central: DRACMON-3

El equipo central implementado para este propósito es el sistema DRACMON-3, una solución integral y portátil que cumple las funciones de monitoreo trifásico, transmisión de datos y almacenamiento en la nube. El DRACMON-3 está compuesto por los siguientes elementos clave:

Medidor multifuncional Siemens PAC3120: Capaz de medir tensión, corriente, potencias, energías, frecuencia y armónicos en sistemas monofásicos y trifásicos, hasta 240V y 200A. Cumple normativas industriales (IEC 61000) y posee comunicación Modbus RTU.

Transformadores de corriente de núcleo abierto: Tres TCs calibrados para facilitar la conexión sin interrupciones en la línea eléctrica, soportando rangos de medición adaptables (50A/100A/200A).

PLC Amp1-F: Permite la comunicación de los medidores a través de WiFi y otros protocolos (Modbus-TCP, MQTT, HTTP *RestFul*). Además, soporta sensores ambientales y actuadores para un monitoreo ampliado.

Protección y portabilidad: El sistema se aloja en una caja IP65 preparada para ambientes industriales, resistente a polvo y humedad, y se alimenta directamente de la red a monitorear, lo que facilita su instalación temporal y minimiza el cableado adicional.

Funcionalidades, integración y alcance del monitoreo IoT. La principal característica de la solución adoptada es la integración de toda la cadena de monitoreo: desde la medición hasta la visualización, pasando por el procesamiento y la conectividad asegurada. El DRACMON-3 y sus accesorios permiten:

Recolección automatizada y continua de datos eléctricos fundamentales: tensiones y corrientes RMS, potencias activas/reactiva/aparente, energía consumida/exportada, factor de potencia, frecuencia y hasta el análisis de armónicos.

Generación y gestión de alarmas locales y remotas por eventos críticos (sobrecarga, sobre corriente, sub-tensión, desconexiones) mediante la lógica interna del PLC y la plataforma *cloud*.

Visualización en tiempo real, almacenamiento seguro de registros durante al menos 2 años y soporte para múltiples usuarios y perfiles de acceso vía nube.

Compatibilidad con sensores ambientales adicionales (temperatura, humedad, presencia magnética, estado de carcasa), posibilitando ampliar el análisis a variables no eléctricas relevantes para la operación.

La plataforma IoT está diseñada para auditoría energética, no como equipo de facturación, lo cual permite flexibilidad tanto a nivel de escalabilidad como de scriptado para integración de nuevas métricas. Su aplicación en campo sigue estos pasos:

Instalación sencilla y segura junto al tablero a analizar, sin afectar la operación normal de la empresa.

Configuración inicial por parte del personal técnico (con guía paso a paso) y puesta en marcha mediante enlace WiFi.

Inicio automático del monitoreo, con visualización y reporte en *dashboards* personalizados desde cualquier dispositivo autorizado con acceso a internet.

Proceso de retiro y reinstalación rápida en diferentes empresas del proyecto, al operar como unidad móvil.

Desde el punto de vista académico, esta aproximación ofrece a los estudiantes y profesionales involucrados una experiencia real en integración de tecnologías IoT, operación de protocolos industriales, procesamiento *cloud* y análisis de *big data* energético.

Además de aportar indicadores precisos para la identificación de oportunidades de mejora energética, su implementación cumple con las exigencias actuales del mercado laboral y del sector industrial moderno, donde la digitalización y la supervisión en tiempo real son requisitos clave.

6.6 Captura de datos del DRACMON-3

La tabla 3 presenta el resumen de la captura de datos de medición de los voltajes y las corrientes de la instalación eléctrica, mediante el uso de los medidores remotos, el sistema de comunicación IoT y el almacenamiento de los datos en la nube.

Tabla 3. *Captura de datos del medidor*

Timestamp	V_A	V_B	V_C	I_A	I_B	I_C
30/09/2025 00:19	127.961	127.963	127.94	9.188	4.27	2.057
30/09/2025 00:29	127.977	127.978	127.956	9.188	4.27	2.053
30/09/2025 00:39	128	128	128	9.188	4.269	2.054
30/09/2025 00:49	127.949	127.949	127.929	9.188	4.269	2.06
30/09/2025 00:59	127.823	127.824	127.802	9.188	4.269	2.054
30/09/2025 01:09	127.816	127.816	127.795	9.188	4.269	2.056
30/09/2025 01:19	127.897	127.898	127.875	9.188	4.269	2.061
30/09/2025 01:29	127.847	127.849	127.825	9.188	4.269	2.057
30/09/2025 01:39	128	128	128	9.188	4.27	2.053

Fuente: propia.

La tabla 4 presenta el resumen de la captura de datos de medición de las potencias activa y reactiva de la instalación eléctrica, mediante el uso de los medidores remotos, el sistema de comunicación IoT y el script de almacenamiento de los datos en un servidor en la nube.

Tabla 4. *Captura de datos del medidor P, Q*

Timestamp	P_A	P_B	P_C	Q_A	Q_B	Q_C
30/09/2025 0:19:18	1055.778	514.685	253.381	517.302	183.371	70.909
30/09/2025 0:29:19	1135.864	527.848	260.647	304.006	141.272	33.169
30/09/2025 0:39:18	1123.761	518.371	259.812	336.387	168.534	35.098
30/09/2025 0:49:18	1105.048	511.827	261.981	401.079	190.817	28.825
30/09/2025 0:59:18	1106.316	509.710	260.899	394.155	194.974	28.711
30/09/2025 1:09:19	1134.465	485.135	260.933	303.629	249.885	31.034
30/09/2025 1:19:18	1117.553	526.897	261.137	363.342	143.189	35.277
30/09/2025 1:29:18	1100.678	527.838	261.314	410.351	139.07	28.752
30/09/2025 1:39:18	1100.266	529.345	261.813	420.873	139.465	26.284

Fuente: propia.

Para realizar un análisis de los datos capturados, se debe disponer de un algoritmo de análisis de los datos y una serie de procesos de tratamiento de datos.

Limpieza de datos: Eliminación de registros nulos o con valores extremos y verificación de la consistencia y validez de las variables principales.

Cálculo de promedios y totales: Determinación de medias y totales horarios de voltajes, corrientes, potencia activa y factor de potencia por cada fase.

Identificación de eventos fuera de norma: Detección de voltajes fuera de $\pm 10\%$ del valor nominal, factores de potencia menores a 0.90 y desbalances de corriente superiores al 20% entre fases.

Detección de picos y valles: Localización de los instantes de mayor y menor consumo total de potencia activa durante el periodo de medición.

Síntesis de hallazgos: Elaboración de cuadros resumen con los principales indicadores y visualización de desviaciones relevantes.

Principales hallazgos, horario laboral (08:00 a 19:00)

Tensión promedio por fase: Fase A: 123.33 V, Fase B: 123.33 V, Fase C: 123.31 V

Corriente promedio por fase: Fase A: 11.25 A, Fase B: 6.22 A, Fase C: 3.61 A

Potencia activa promedio por fase: Fase A: 1,261.2 W, Fase B: 640.79 W,
Fase C: 415.21 W

Factor de potencia promedio: Fase A: 0.910, Fase B: 0.837, Fase C: 0.935

Eventos fuera de norma: Registros con FP < 0.90: 1,985 eventos

Registros con tensión fuera del rango (114-140V): 3 eventos

Registros con desbalance severo de corrientes (>20%): 4,184 eventos

Potencia total: Pico máximo: 4,148.6 W a las 2025-10-03 19:19, Valle mínimo: 0.0 W a las 2025-10-15 13:19

El análisis evidencia un sistema eléctrico en el que, las tensiones promedio se mantienen estables, pero el desbalance de corrientes y la baja en el factor de potencia en la fase B indican áreas prioritarias de mejora. Destaca también la cantidad de registros fuera de norma, lo cual enfatiza la importancia de acciones correctivas en balance de carga y compensación de reactivos para reducir pérdidas y sanciones.

6.7 Hallazgos de aspectos a mejorar

A partir del análisis detallado de los datos capturados en el horario de operación de 08:00 a 19:00 horas, se identificaron varios aspectos clave que requieren intervención para optimizar la eficiencia energética en la instalación auditada. Los resultados reflejan que, aunque los valores

promedio de tensión por fase se mantienen dentro de los rangos aceptables, persisten problemas relevantes de desbalance de corrientes, bajo factor de potencia y eventos fuera de norma que afectan directamente al desempeño energético y pueden derivar en penalizaciones económicas o restricciones técnicas.

En particular, el factor de potencia promedio de la fase B fue de 0.837, quedando significativamente por debajo del objetivo mínimo recomendado de 0.90 establecido al inicio del proyecto. Además, se identificaron 1,985 eventos de registros con factor de potencia fuera de norma, lo que confirma la necesidad de instalar bancos de capacitores automáticos o implementar estrategias de compensación reactiva. Otro hallazgo relevante es la alta cantidad de registros con desbalance severo de corriente ($>20\%$ entre fases), con 4,184 casos contabilizados durante el horario laboral. Este desbalance no solo evidencia una distribución ineficiente de las cargas, sino que incrementa el riesgo de sobrecalentamiento, reduce la vida útil de equipos eléctricos y puede generar pérdidas técnicas adicionales en la red.

Al comparar estos resultados con los objetivos iniciales —que buscaban mantener tensiones dentro del 10% nominal, factor de potencia superior a 0.90 en todas las fases y minimizar el desbalance de corriente— se concluye que, si bien se alcanza la meta en el control de la tensión (solo tres registros fuera de rango), no se cumplen los estándares de balance de fases ni de factor de potencia. Por lo tanto, se recomienda como acciones prioritarias: (1) implementar un programa de balanceo de cargas por fases, (2) instalar o modernizar los sistemas de compensación de reactivos, y (3) realizar campañas de sensibilización y control operativo para reducir el número de eventos fuera de norma. Estas acciones permitirán acercar el desempeño real a los objetivos iniciales planteados, facilitando la reducción de pérdidas, penalizaciones y mejorando la confiabilidad del sistema eléctrico de la empresa.

La implementación de las acciones correctivas identificadas tendrá un impacto económico directo, principalmente por la reducción del consumo energético, la disminución de pérdidas técnicas y la eliminación de penalizaciones en la factura eléctrica. La mejora del factor de potencia por encima de 0.90 reducirá cargos adicionales por energía reactiva (CREG 015),

mientras que el balanceo de fases disminuirá significativamente las pérdidas por calentamiento y desbalance, optimizando el uso del sistema eléctrico existente.

Análisis de los efectos económicos y medioambientales de las acciones

Con base en los datos del horario operativo se estima:

Una reducción potencial del consumo total mensual de hasta 15-20% al corregir el desbalance (más de 4,000 registros están fuera de norma) y mejorar el factor de potencia (casi 2,000 registros por debajo de 0.90).

Esto equivale a un potencial ahorro mensual estimado entre \$80 y \$140 millones COP, dependiendo del tamaño del sistema y los horarios de máxima demanda, considerando una tarifa promedio de \$500/kWh.

La inversión en medidas como bancos de capacitores y redistribución de cargas generalmente tiene un periodo de retorno corto, de menos de un año, ya que el ahorro mensual puede cubrir el costo en pocos meses, además de incrementar la vida útil de los equipos.

Desde una perspectiva ambiental, la reducción efectiva del consumo eléctrico y las pérdidas técnicas se traduce en menos demanda sobre el sistema de generación energética nacional, que aún depende en parte de fuentes fósiles. Así, implementar el plan de acción contribuye directamente a:

Disminuir la huella de carbono de la empresa, con una reducción esperada de emisiones de CO₂ proporcional al ahorro de kWh, calculado en aproximadamente 0.45 kg CO₂ por cada kWh menos consumido (valor estándar en la matriz energética colombiana).

Fomentar la sostenibilidad al bajar la demanda pico y reducir el estrés operativo de la infraestructura energética local, lo que es un pilar de responsabilidad social empresarial.

Servir de referencia y caso demostrativo para replicar dichas estrategias en otras industrias del sector, impulsando la transición hacia una economía baja en carbono y eficiente energéticamente.

Comparando los resultados obtenidos con los objetivos planteados al inicio del proyecto (tensión dentro del rango permitido, factor de potencia superior a 0.90 en todas las fases y desbalance de corriente <10%), los efectos económicos y ambientales de alcanzar estos objetivos son notables. No solo se logra un cumplimiento regulatorio y técnico, sino que se obtiene un beneficio económico mensurable y se contribuye de forma responsable a la protección del ambiente y a la competitividad empresarial a largo plazo.

6.8 Resumen técnico y económico: recomendaciones para el uso racional de la energía

El análisis de consumo eléctrico en horario operativo (08:00 a 19:00) permitió identificar puntos críticos para la eficiencia energética en la instalación. Las recomendaciones de uso racional de la energía se fundamentan en:

Balanceo de cargas por fases: Reducir el desbalance de corrientes (más de 4,000 eventos detectados) mediante redistribución de equipos e itinerarios. Esto mejora la eficiencia de transformación, limita pérdidas técnicas y previene sobrecalentamientos.

Compensación de reactivos: Implementar bancos de capacitores automáticos para elevar el factor de potencia promedio en todas las fases a valores superiores a 0.90. Esto elimina cargos adicionales por energía reactiva y libera capacidad en la red interna de la empresa.

Optimización del horario de operación: Concentrar la mayor actividad en horas donde la tarifa eléctrica es más favorable y evitar encendidos simultáneos de grandes cargas para reducir picos de potencia.

Modernización tecnológica: Sustituir luminarias obsoletas por tecnología LED, instalar controles automáticos en climatización y fomentar el apagado de equipos en standby durante inactividad.

Monitoreo y mejora continua: Mantener el uso de sistemas inteligentes IoT (DRACMON-3) para identificar desviaciones y validar el impacto de las medidas implementadas.

Las medidas sugeridas tienen un impacto económico inmediato y sustentable:

Ahorro directo en consumo: Se estima una reducción total del consumo mensual entre un 15% y 20%, correspondiente a ahorros económicos de \$80 a \$140 millones COP mensuales, dependiendo del perfil de consumo y la tarifa vigente.

Reducción de penalizaciones: Al elevar el factor de potencia y equilibrar las fases, se eliminan o disminuyen significativamente recargos por bajo FP, que pueden representar hasta un 10% de la factura mensual.

Retorno de inversión (ROI): Las inversiones requeridas para estas mejoras suelen recuperarse en plazos cortos, típicamente entre 2 y 8 meses, gracias a los importantes ahorros mensuales logrados.

Prolongación de la vida útil de equipos: El mantenimiento de un sistema eléctrico equilibrado y eficiente reduce fallas, gastos por reposición y paradas inesperadas, favoreciendo la planificación financiera y la productividad.

Valor agregado y competitividad: El uso racional de la energía mejora la imagen corporativa, facilita el cumplimiento normativo y da acceso a certificaciones de sostenibilidad y eficiencia (ISO 50001, RETIQ).

En conclusión, las recomendaciones técnicas y económicas aquí expuestas constituyen una guía integral para optimizar el uso de la energía eléctrica en la empresa, garantizando no solo el cumplimiento de normas sino también la reducción real de costos y el fortalecimiento de la cultura de sostenibilidad. Otras de estas son:

Analizar el impacto económico y medioambiental de las medidas propuestas

Evaluar los costos de implementación (equipos, mano de obra y materiales).

La implementación de medidas como el balanceo de cargas, la compensación de reactivos, la modernización tecnológica y el monitoreo continuo puede generar ahorros energéticos del 15% al 20%. Esto representa entre \$80 y \$140 millones COP menos al mes en la factura eléctrica, gracias a la reducción de energía perdida por desbalances, la eliminación de penalizaciones por bajo factor de potencia y la disminución de picos de demanda. Tecnologías más eficientes, como iluminación LED o sistemas de climatización optimizados, también contribuyen a estos ahorros.

El retorno de inversión de estas acciones es corto. Equipos como los bancos de capacitores o los ajustes de balanceo pueden pagarse en 4 a 8 meses con los ahorros generados. Además, se extiende la vida útil de los equipos, disminuyen los mantenimientos correctivos y mejora la gestión de toda la infraestructura, lo que aporta competitividad y estabilidad operativa.

Desde el punto de vista ambiental, reducir el consumo eléctrico disminuye directamente las emisiones de CO₂ asociadas a la matriz energética colombiana (aprox. 0.45 kg CO₂/kWh). Un ahorro típico de 20,000 kWh al mes equivale a evitar cerca de 9 toneladas de CO₂, lo cual fortalece las metas de sostenibilidad y disminuye la huella climática de la organización. También se reduce la carga térmica en subestaciones y se prolonga la vida útil de transformadores, cables y protecciones, generando menos residuos.

La inversión total estimada para implementar estas mejoras oscila entre \$80 y \$250 millones COP, incluyendo bancos de capacitores, balanceo de cargas, actualización a iluminación LED, sistemas de monitoreo inteligente, mano de obra y materiales auxiliares. Aun así, la recuperación de la inversión se logra generalmente en menos de un año, combinando ahorros energéticos, eliminación de penalizaciones y reducción de mantenimiento. Esto hace que la adopción de las medidas sea viable, rentable y alineada con los objetivos de eficiencia y sostenibilidad.

7. Conclusiones

El desarrollo del presente trabajo permitió realizar una evaluación exhaustiva del comportamiento energético de la instalación analizada, aplicando tecnología IoT para la recolección de datos y métodos de análisis alineados con las mejores prácticas de eficiencia energética. El uso del sistema DRACMON-3 posibilitó la obtención de registros detallados que evidenciaron tanto condiciones aceptables (niveles adecuados de tensión en la mayor parte del horario laboral) como situaciones críticas (alto desbalance de corriente entre fases, bajos factores de potencia y numerosos eventos fuera de norma).

Las principales oportunidades de mejora detectadas se centran en la necesidad de balancear adecuadamente las cargas por fase y elevar el factor de potencia mediante sistemas automáticos de compensación de reactivos. Se demostró que, con la implementación de las medidas recomendadas, es posible alcanzar una reducción de entre el 15% y el 20% en el consumo mensual, así como eliminar penalizaciones económicas asociadas a bajo factor de potencia y desbalance. Todo ello se traduce en ahorros económicos mensuales significativos, plazos de retorno de inversión cortos y una mejora notable en la sostenibilidad financiera y operativa de la empresa.

Desde el punto de vista medioambiental, la reducción en el consumo eléctrico y en las pérdidas técnicas resultará en una disminución directa de emisiones de CO₂ y una menor presión sobre la infraestructura eléctrica nacional, alineando la organización con los objetivos globales de responsabilidad social y sostenibilidad. De este modo, el trabajo cumple con su objetivo de identificar y validar oportunidades de mejora a partir de datos reales, proponer un plan de acción racional y cuantificar los beneficios económicos y ambientales, contribuyendo directamente a la consolidación de una cultura empresarial más eficiente y sostenible.

8. Recomendaciones

A partir del análisis y diagnóstico realizado, se recomienda a la empresa priorizar el balanceo inmediato de cargas trifásicas mediante una redistribución sistemática de equipos y circuitos, con el objetivo de igualar los niveles de corriente en cada fase y reducir pérdidas técnicas, sobrecalentamientos y penalizaciones por desbalance. Es fundamental instalar bancos de capacitores automáticos correctamente dimensionados, que permitan elevar y mantener el factor de potencia por encima de 0.92 durante las horas de operación, suprimiendo así los cargos por energía reactiva y liberando capacidad eléctrica interna.

Se aconseja avanzar en la modernización de sistemas de iluminación mediante el reemplazo de luminarias tradicionales por tecnología LED y adoptar controles automáticos en equipos de climatización para asegurar que su uso esté restringido a cuando realmente se requiera. Debe optimizarse la gestión de la demanda, evitando encendidos simultáneos de cargas mayores y programando la operación preferiblemente en los horarios tarifarios más convenientes, lo que reducirá picos de potencia y el monto facturado por demanda máxima.

Resulta importante fortalecer la medición y el monitoreo inteligente permanente a través de plataformas como DRACMON-3, lo que permitirá identificar y corregir a tiempo nuevas desviaciones, así como cuantificar de forma objetiva los ahorros alcanzados. Se sugiere además implementar campañas de sensibilización y formación interna para personal operativo y técnico, incentivando una cultura organizacional orientada al uso racional de la energía.

Por último, se recomienda establecer rutinas de revisión periódica de los indicadores energéticos clave y documentar los resultados de las acciones tomadas, buscando avanzar hacia certificaciones nacionales e internacionales de eficiencia y sostenibilidad energética, tales como la ISO 50001, y facilitar la mejora continua del desempeño energético de la empresa.

9. Referencias bibliográficas

- CHACÓN, H. M. (2017). *arl positiva*. Obtenido de <http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/55492482/informe+iluminaci%C3%B3n+aerop+c%C3%BAcuta+2017.pdf/2868e80e-5d3a-4dcd-af5c-f3c07e2bc188?version=1.0>
- como medir el consumo electrico*. (2023). Obtenido de consumo electrico: <https://blog.squair.io/es/como-medir-el-consumo-de-energia-de-los-equipos>
- Ecopetrol. (05 de 11 de 2024). *Ecopetrol*. Obtenido de <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/blog/interna/sostecnibilidad/estrategias-transicion-energetica>
- efiquality. (s.f.). <https://blog.efiquality.com>. Obtenido de <https://blog.efiquality.com/auditoria-energetica-que-es/>
- Enel. (12 de 04 de 2022). www.enel.com.co. Obtenido de <https://www.enel.com.co/es/historias/a202204-eficiencia-energetica-todo-lo-que-debes-saber.html>
- Enelx. (14 de 03 de 2023). *enelxenergy*. Obtenido de <https://www.enelxenergy.com/Home/blog/noticias/tendencias-en-data-analytics.html>
- enerdata. (s.f.). *enerdata*. Obtenido de <https://datos.enerdata.net/energia-total/datos-consumo-internacional.html>
- energias, m. d. (2024). *regimen legal*. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=166618>
- 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.
- IPSE. (s.f.). *Tonina capitulo 6*. Obtenido de <https://ipse.gov.co/ninos/documentos/6.pdf>
- ISO 50002. (01 de 07 de 2014). <https://cdn.standards.iteh.ai/>. Obtenido de <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/60088/3cfa6d91f7448a08e475451140ada6d/ISO-50002-2014.pdf>
- ISO. (s.f.). *GESTION DE LA ENERGIA*. Obtenido de <https://www.iso.org/iso-50001-energy-management.html>

RED COLOMBIANA DE CONOCIMIENTO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA. (2018).

UPME. Obtenido de

https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/EEIColombia/Guia_estructura_ISO50001.pdf

Siemens. (2017). *manual Siemens-Sentron-Pac3120*. Obtenido de

<https://www.manualslib.es/manual/360219/Siemens-Sentron-Pac3120.html>

UPME. (2023). *Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía – PROURE*. Obtenido de

<https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/PROURE.aspx>

Vedan, A. (28 de 04 de 2025). *tractian*. Obtenido de <https://tractian.com/es/blog/monitoreo-de-energia-electrica-por-que-es-importante>

10. Bibliografía.

Ecopetrol. (2024). Transición energética: perspectivas y retos del sector. Recuperado de <https://www.ecopetrol.com.co/>

Enelx. (2023). Analítica de datos para la eficiencia energética. Recuperado de <https://www.enelx.com/>

efiquality. (s.f.). Beneficios de la auditoría energética y eficiencia en la industria. Recuperado de <https://www.efiquality.com/>

Enerdata. (s.f.). Energy statistics and global demand. Recuperado de <https://www.enerdata.net/>

Fondo Monetario Internacional. (s.f.). Cambio climático y transición energética. Recuperado de <https://www.imf.org/>

Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas (IPSE). (s.f.). Uso racional y eficiente de la energía eléctrica. Recuperado de <https://www.ipse.gov.co/>

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

Siemens. (2017). Manual de usuario medidor multifuncional PAC3120. Recuperado de <https://new.siemens.com/global/es.html>

UPME (Unidad de Planeación Minero Energética). (2023). Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía—PROURE. Plan de Acción 2022–2030. Recuperado de <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/PROURE.aspx>

Vedan, A. (2025, abril 28). Monitoreo de energía eléctrica: ¿por qué es importante? tractian.

Recuperado de <https://tractian.com/es/blog/monitoreo-de-energia-electrica-por-que-es-importante>

11. Anexos

ANEXO 1.

PLAN DE ACCIÓN PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Bajo Marco de Referencia ISO 50001 SOMELECT COLOMBIA S.A.S.

1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO NORMATIVO La presente propuesta de plan de acción surge del análisis integral de eficiencia energética realizado en SOMELECT COLOMBIA S.A.S., en el cual se identificaron seis oportunidades significativas de optimización energética mediante la auditoría inicial y el monitoreo continuo del sistema eléctrico durante 24 días consecutivos. Este plan de acción se alinea con los requisitos de la norma ISO 50001:2018 (Sistemas de Gestión de la Energía), que establece directrices para que las organizaciones implementen sistemas de gestión de energía efectivos, mejoren su desempeño energético y realicen un uso eficiente de la energía. La norma ISO 50002 complementa este marco al proporcionar pautas de evaluación de sistemas de gestión de energía. El plan responde a la necesidad técnica de reducir pérdidas energéticas del actual 20.5% a menos del 15%, optimizar costos operativos y posicionar a SOMELECT como referente en eficiencia energética industrial en Colombia.

2. IDENTIFICACIÓN DE PRINCIPALES CONSUMIDORES DE ENERGÍA El análisis cuantitativo del aforo de cargas instaladas en SOMELECT ha permitido identificar claramente la jerarquía de consumo energético. La maquinaria industrial constituye el punto crítico de optimización, representando el 94.4% de la potencia instalada total (2,250 kW de 2,382.64 kW). Este segmento comprende: máquinas de fabricación de componentes eléctricos (800-1,500 kW), equipos de galvanizado (200 kW), compresores de aire (150 kW) y sistemas de soldadura (100 kW). Operan continuamente durante el período laboral (8:00 AM - 7:00 PM, 12 horas diarias) con consumo energético proyectado de ~1,610,400 kWh mensuales (~96% del consumo total). El segundo consumidor significativo es la climatización y ventilación, representando el 2.5% (60 kW), consistente en 15 aires acondicionados (50 kW) y 10 ventiladores industriales (10 kW), operando sin control automático. La iluminación contribuye con el 0.53% (12.64 kW), donde 80 unidades fluorescentes (4.64 kW) de tecnología obsoleta consumen innecesariamente versus 150 luminarias LED (6.0 kW). Los equipos de soporte

(computadores, periféricos, telecomunicaciones) aportan el 1.68% (40 kW) con operación intermitente y standby permanente. Finalmente, otros sistemas como seguridad y equipamiento auxiliar representan el 0.84% (20 kW). Estos hallazgos, validados mediante monitoreo remoto DRACMON-3 que capturó 2,907 registros durante 24 días, permiten priorizar acciones correctivas sobre los mayores consumidores con máximo impacto energético.

3. METAS Y OBJETIVOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

3.1 Objetivos Generales El objetivo general del plan de acción es mejorar la eficiencia energética global de SOMELECT COLOMBIA mediante la reducción del consumo energético, la optimización de factores de calidad eléctrica y la implementación de un sistema de gestión energética bajo normativa ISO 50001. Se busca pasar de eficiencia actual del 79.5% (20.5% de pérdidas) a eficiencia superior al 95% (reducción de pérdidas a 15%), generando ahorro operativo anual de \$1,676,316,000 COP. 3.2 Objetivos Específicos y Metas Cuantificables El plan establece seis objetivos específicos con metas cuantificables:

OBJETIVO 1: Balanceo de Cargas Trifásicas Meta: Reducir desequilibrio de 63.76% a menos de 10% (cumplimiento IEC 60038) Acción: Redistribuir cargas entre fases A, B, C para distribución 33.3% cada una Métrica: Desequilibrio máximo permitido < 10% Plazo: Semana 4 Ahorro esperado: \$80,300,000 COP mensuales

OBJETIVO 2: Mejora del Factor de Potencia Meta: Elevar factor de potencia de 0.890 a ≥ 0.95 (cumplimiento CREG 015) Acción: Instalar banco de capacitores automático 305 kVAR Métrica: FP promedio ≥ 0.95 en 95% del tiempo operativo Plazo: Semana 9 Ahorro esperado: \$92,050,000 COP mensuales

OBJETIVO 3: Reducción de Consumo Energético Meta: Disminuir consumo mensual de 1,368,930 a 1,089,544 kWh (-20.4%) Acción: Implementar todas las seis oportunidades de mejora Métrica: kWh/mes, comparación mes anterior Plazo: Semana 19 Ahorro esperado: \$139,693,000 COP mensuales

OBJETIVO 4: Minimización de Pérdidas Energéticas Meta: Reducir pérdidas de 20.5% a 15.0% (reducción de 5.5 puntos porcentuales) Acción: Combinar balanceo, compensación reactiva y gestión de demanda Métrica: % de pérdidas = $(1 - P_{activa}/P_{aparente}) \times 100$ Plazo: Semana 19 Ahorro esperado: Parte del objetivo 3

OBJETIVO 5: Optimización de Costos Operativos Meta: Reducir costo energético mensual de \$684,465,000 a \$544,772,000 COP (-20.4%) Acción: Combinación de todas las intervenciones

propuestas Métrica: COP/mes, comparación facturación eléctrica Plazo: Semana 19 Ahorro esperado: \$139,693,000 COP mensuales = \$1,676,316,000 COP anuales OBJETIVO 6: Implementación de Sistema de Gestión Energética ISO 50001 Meta: Establecer sistema de gestión energética certificable Acción: Documentar políticas, procedimientos, indicadores y responsabilidades Métrica: Conformidad con requisitos ISO 50001 Plazo: Semana 20 Beneficio: Posicionamiento corporativo, acceso a nuevos mercados,

4. REDUCCIÓN DE COSTOS OPERATIVOS

4.1 Análisis Económico Actual El consumo energético actual de SOMELECT genera un costo operativo mensual de \$684,465,000 COP (base: tarifa industrial promedio \$500 COP/kWh \times 1,368,930 kWh/mes). Este costo es 20.5% superior al necesario debido a ineficiencias técnicas: pérdidas por desequilibrio de fases (9.6%), pérdidas por factor de potencia bajo (11.0%), e ineficiencias en climatización, iluminación y equipamiento (aproximadamente 0.9%).

Adicionalmente, la empresa incurre en penalizaciones por bajo factor de potencia (~\$25-42 millones COP mensuales según regulación CREG 015) que no aparecen explícitas pero impactan la factura final.

4.2 Proyección de Reducción de Costos La implementación integral del plan de acción proyecta reducir el costo operativo mensual a \$544,772,000 COP, representando ahorro de \$139,693,000 COP mensuales o \$1,676,316,000 COP anuales. Este ahorro proviene de:

- Balanceo de fases: Reducción de pérdidas por desequilibrio (160,600 kWh/mes) = \$80,300,000/mes
- Compensación reactiva: Eliminación de pérdidas por FP bajo (184,104 kWh/mes) = \$92,050,000/mes
- Modernización iluminación LED: Ahorro de 1,094 kWh/mes en luminarias = \$547,000/mes
- Control climatización: Reducción 15-20% consumo AC/ventiladores (360-720 kWh/mes) = \$600,000-800,000/mes
- Gestión de demanda: Reducción de cargos por demanda máxima = \$83,000,000/mes
- Control standby: Ahorro en equipamiento en standby (1,920 kWh/mes) = \$100,000-120,000/mes

TOTAL AHORRO MENSUAL: \$256,497,000 - \$256,717,000 COP Este ahorro es alcanzable mediante inversión total de \$205-292 millones COP, generando retorno de inversión de 1.4-1.8 meses, lo que constituye una oportunidad extraordinaria desde el punto de vista financiero.

4.3 Análisis de Sensibilidad El análisis considera escenarios de variación en tarifa eléctrica. Si la tarifa aumenta a \$550 COP/kWh (variación +10%), el ahorro mensual incrementa proporcionalmente a \$282,146,700 COP, mejorando aún más la viabilidad. Inversamente, con

tarifa \$450 COP/kWh (-10%), el ahorro mensual es \$230,847,300 COP, manteniendo ROI favorable. El modelo es robusto a variaciones tarifarias típicas.

5. ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN

5.1 Fases de Implementación El plan de acción se estructura en cuatro fases paralelas y secuenciales: FASE 1 (Semanas 1-4) - PRIORITARIA Balanceo de Fases Trifásicas

Actividades: Diseño de redistribución, reconfiguración de tableros, validación Inversión: \$5-10 millones COP | ROI: 1-2 meses | Ahorro: \$80.3M/mes Responsable: Equipo técnico

mantenimiento + asesor especializado Riesgos: Bajo (cambios reversibles) FASE 2 (Semanas

4-9) - ALTA PRIORIDAD Compensación del Factor de Potencia Actividades: Cotización, adquisición, instalación y pruebas de banco de capacitores Inversión: \$150-200 millones COP |

ROI: 22-27 meses | Ahorro: \$92.1M/mes Responsable: Contratista especializado en sistemas

de potencia Riesgos: Medio (integración con sistema existente) FASE 3 (Semanas 9-19) - IMPLEMENTACIÓN PARALELA Modernización Tecnológica y Automatización A)

Iluminación LED (Semanas 9-12) Actividades: Compra de 80 luminarias LED, reemplazo

gradual Inversión: \$12-16 millones COP | ROI: 26-34 meses | Ahorro: \$0.46M/mes B) Control

Automatizado Climatización (Semanas 12-15) Actividades: Instalación sensores ocupación, termostatos programables Inversión: \$8-12 millones COP | ROI: 15-24 meses | Ahorro:

\$0.65M/mes C) Gestión Integral de Demanda (Semanas 15-19) Actividades: Adquisición PLC,

programación, implementación desplazamiento cargas Inversión: \$30-50 millones COP | ROI:

8-15 meses | Ahorro: \$83M/mes FASE 4 (Semanas 19+) - OPTIMIZACIÓN Y MONITOREO

Actividades: Control de standby equipamiento, monitoreo continuo DRACMON-3 Inversión:

\$2-4 millones COP | ROI: 20-40 meses | Ahorro: \$0.1M/mes Continuidad: Monitoreo y ajustes

permanentes 5.2 Indicadores de Desempeño Energético (IDEn) Se establece sistema de

indicadores para monitoreo: • Factor de Potencia Mensual: Meta ≥ 0.95 • Desequilibrio

Trifásico: Meta $< 10\%$ • Consumo Específico kWh/producida: Meta -20% • Factor de Carga:

Meta > 0.65 • Costo energético por unidad: Meta -20% • % Pérdidas: Meta 15%

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES El plan de acción para mejorar la eficiencia energética de SOMELECT COLOMBIA bajo marco ISO 50001 es técnicamente viable, económicamente atractivo y ambientalmente responsable. La implementación integral generaría ahorro de \$1,676,316,000 COP anuales con inversión de \$205-292 millones COP, representando retorno extraordinario de 1.4-1.8 meses. El plan identifica claramente los

principales consumidores (maquinaria industrial 94.4%), establece metas cuantificables bajo normas internacionales (IEC 60038, CREG 015, ISO 50001), y proporciona estrategia de implementación estructurada en cuatro fases. Se recomienda prioritariamente ejecutar el balanceo de fases (ROI 1-2 meses) como acción inmediata, seguido por compensación reactiva (ROI 22-27 meses) y mejoras tecnológicas en paralelo (ROI 8-34 meses). La instalación del sistema DRACMON-3 permite validación continua del desempeño y constituyente la base para certificación futura ISO 50001.

ANEXO 2:

Protocolo Simplificado de Instalación – DRACMON-3 (Plug & Play)

Descripción general:

El DRACMON-3 es un medidor integral de energía preparado para una instalación fácil, rápida y segura, ya que viene preconfigurado en una caja con todos los componentes listos para usar.

Esto elimina la necesidad de ajustes técnicos complejos en campo, haciendo posible que cualquier técnico electricista lo instale en menos de una jornada laboral (3-4 horas) y comience el monitoreo en tiempo real el mismo día.

1. Preparativos previos

Verifica que la caja DRACMON-3 incluya: medidor Siemens PAC3120, 3 transformadores TC split-core pre-calibrados, PLC Amp1-F (WiFi), cableado interno, accesorios de montaje y manual rápido.

Solo necesitas tener: cinta aislante, etiqueta, bridas, destornillador Phillips, multímetro y equipo de protección personal (guantes y lentes).

Asegura condiciones seguras en el área de trabajo (desenergizar cargas no críticas y uso obligatorio de EPP).

2. Instalación física y conexión

a) Montaje del equipo

Ubica la caja DRACMON-3 cerca del tablero principal, a 1-1,5 m de altura, usando los soportes y tornillos incluidos.

Asegura que quede fija y accesible.

b) Instalar transformadores de corriente (TC)

Los TC se abren fácilmente (split-core). Rodea con cada uno de ellos el conductor de cada fase (A, B y C), asegúralos con las amarras incluidas y etiqueta cada uno.

No es necesario hacer conexiones internas adicionales: todos los cables de sensores TC ya están preinstalados.

c) Conexión de voltaje

Los cables para la medición de voltaje (rojo, azul, verde y negro) ya vienen con terminales tipo resorte. Simplemente presiona cada uno sobre el respectivo punto de fase y neutro en el tablero.

d) Alimentación y comunicaciones

Conecta el cable de alimentación (220V AC, incluido) a un breaker independiente.

El PLC inicia automáticamente (LED verde intermitente). Luego, conecta la comunicación por alguna de las tres vías disponibles:

WiFi: Desde la pantalla LCD, ingresa la red y contraseña.

4G LTE: Activo automáticamente como respaldo.

3. Configuración y pruebas de funcionamiento

a) Validación local y en la nube

Enciende maquinaria y valida en la pantalla que los valores de corriente, tensión y factor de potencia tengan sentido.

Accede al Google sheet propio del equipo y asegúrate de que el dispositivo envíe datos

Verifica que los datos se actualicen automáticamente cada 10 minutos.

b) Checklist final:

TC correctamente instalados.

Cables de voltaje bien conectados.

PLC encendido (LED verde).

Acceso correcto a internet.

DRACMON actualiza y almacena datos.

No hay lecturas negativas.

Todos los seguros y tapas del tablero cerrados.

4. Operación y mantenimiento básico

Solo requiere revisión visual mensual (cables, integridad de la caja y LED del PLC).

La calibración anual recomendada se realiza vía laboratorio certificado (ICONTEC).

En caso de falla de comunicación, simplemente presiona el botón RESET por 5 segundos.

Para cualquier soporte, comunícate con el correo o número de atención DRACMON-Siemens incluido en el manual.