

Caracterización energética actualizada del edificio de ingeniería industrial de la universidad industrial de Santander implementando la metodología del sistema de gestión integral de la energía (SGIE)

Carlos Manuel Herrera Parra y Jaime Albeiro Campos Molina

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electricista

Director

Gabriel Ordoñez Plata

Doctor en ingeniería industrial, área ingeniería eléctrica

Codirector

Manuel José Ortiz Rangel

Ingeniero electricista, Magister en ingeniería eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Ingeniería Eléctrica

2026

Tabla de contenido

Introducción	9
1. Planteamiento del problema.....	11
1.1. Objetivo general.....	11
1.2. Objetivos específicos	11
1.3. Justificación.....	12
1.4. Alcance	12
2. Estructura del sistema de gestión.....	13
2.1. Planificación.....	13
2.2. Implementación y Operación	14
2.3. Verificación y control.....	15
2.4. Revisión y mejora	15
3. Metodología	16
3.1. Inventario de equipos eléctricos y descripción del sistema eléctrico del edificio	16
3.2. Ocupación del edificio.....	22
3.3. Revisión termográfica a subestación y tableros.....	23
3.4. Recopilación y análisis de datos obtenidos del registrador de potencia.....	25
3.5. Análisis con los datos obtenidos del registrador de potencia.....	29
3.6. Indicadores y variables productos energéticos.....	37
3.7. Diagrama de Pareto.....	43

4. Estrategias de mejoramiento energético para el edificio.....	45
4.1. Sistemas de aires acondicionados	45
4.2. Implementación de sistemas fotovoltaicos.....	47
4.3. Mejoras al sistema de iluminación.....	48
4.4. Compensación de reactiva.....	49
5. Recomendaciones	51
6. Conclusiones.....	53
Referencias bibliográficas.....	54

Lista de Tablas

Tabla 1. Áreas en m ² por piso, para efecto de revisión y análisis.....	16
Tabla 2. Censo equipos eléctricos de uso continuo del edificio de ingeniería industrial.....	17
Tabla 3. Cantidad horas totales por salón hora/día.....	23
Tabla 4. Consumos obtenidos con el registrador de potencia.....	29
Tabla 5. Recopilación de datos del transformador de 225 kVA.....	32
Tabla 6. Consumo energético total del edificio durante el periodo de medición.	35
Tabla 7. Correlación de horas de clase y estudiantes respecto al consumo en el día	38
Tabla 8. Criterios de correlación.....	39
Tabla 9. Tabla de línea meta (Véase apéndice B).....	40
Tabla 10. Consumo energético del edificio durante el periodo de medición por día y valores predichos según el método de línea base – Valores de consumo en kWh/Día.	41
Tabla 11. Tabla de Pareto.....	43
Tabla 12. Tabla de recomendaciones con su respectivo escenario (Véase apéndice C).	45
Tabla 13. Tabla de recomendaciones del sistema de aires acondicionados (véase apéndice C). .	45
Tabla 14. Implementación de sistema fotovoltaico (Véase apéndice C).	47
Tabla 15. Cambio de luminarias a tipo LED.....	49
Tabla 16. Análisis de recomendaciones dadas en el año 2014.	51

Lista de Figuras

Figura 1. Modelo del sistema de gestión de la energía	13
Figura 2. Placa de datos transformadores 300 kVA y 225 kVA.	20
Figura 3. Diagrama unifilar del edificio de Ingeniería Industrial.	21
Figura 4. Medidores de control ubicados en los tableros de distribución principales ubicados en sótanos.	22
Figura 5. Placa de datos de la planta eléctrica de emergencia.	22
Figura 6. Cámara termográfica.	24
Figura 7. Termografía del transformador de 300 kVA.	24
Figura 8. Termografía del transformador de 225 kVA.	25
Figura 9. Termografía de protecciones y cableado en tableros	25
Figura 10. Conexión de equipo de medida en borneras secundarias del transformador de 225 kVA	26
Figura 11. Conexión de equipo de medida en borneras secundarias del transformador de 300 kVA	27
Figura 12. Software Fluke Energy Analyze plus para revisión de datos obtenidos	28
Figura 13. Gráfico potencia activa y no activa transformador de 300 kVA.	30
Figura 14. Gráfico consumo de potencia activa transformador de 300 kVA por día de lunes a domingo.....	30
Figura 15. Gráfico consumo de potencia activa transformador de 300 kVA por hora.	31
Figura 16. Consumos obtenidos con el registrador de potencia transformador de 225 kva.	33
Figura 17. Gráfico consumo de potencia activa transformador de 225 kVA por día	33
Figura 18. Gráfico consumo de potencia activa transformador de 300 kVA por hora.	34

Figura 19. Grafica de cantidad de salones en uso de salones por franja horaria	35
Figura 20. Periodo base considerado.....	37
Figura 21. Gráfico consumo de potencia activa vs estudiantes al día.....	38
Figura 22. Gráfico consumo de potencia activa y hora clase al día.	39
Figura 23. Gráfico línea base ocupación salones vs consumo.....	40
Figura 24. Grafica de línea base y línea meta (Véase apéndice B).	42
Figura 25. Gráficas de Pareto (Véase apéndice B).....	43
Figura 26. Producción del sistema (PVGIS).....	48
Figura 27. Gráficas de potencia activa vs reactiva - transformador 225 kVA(Véase apéndice E).	50
Figura 28. Gráficas de potencia activa vs reactiva - transformador 300 kVA(Véase apéndice E).	50

Lista de apéndices

Los apéndices están disponibles en el repositorio de la universidad.

Apéndice A. Fluke 1730 datos de registro del transformador.

Apéndice B. Consumo total, línea base y Pareto.

Apéndice C. Cuadro de cargas.

Apéndice D. Cámara termográfica.

Apéndice E. Valores de potencia.

Apéndice F. Cálculo de eficie

CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA

Resumen

Título: caracterización energética actualizada del edificio de ingeniería industrial de la universidad industrial de Santander implementando la metodología del sistema de gestión integral de la energía (SGIE)

Autor: Carlos Manuel Herrera Parra y Jaime Albeiro Campos Molina

Palabras clave: Caracterización energética, eficiencia energética, indicadores energéticos, edificio universitario, gestión energética.

Descripción:

La caracterización energética es un proceso fundamental para identificar el perfil de consumo energético de un edificio, evaluar su eficiencia y proponer mejoras sostenibles. Este estudio se centra en la evaluación detallada del edificio de Ingeniería Industrial de la Universidad Industrial de Santander, considerando sus principales sistemas de consumo: iluminación, climatización (HVAC), aulas y áreas administrativas. Se llevó a cabo un diagnóstico energético inicial mediante una inspección en sitio, que incluyó el levantamiento de información sobre equipos eléctricos, ocupación, áreas y mediciones de consumo. Además, se calcularon indicadores energéticos básicos como el Índice de Consumo Energético Ocupacional (ICEO), Índice de Consumo Energético Específico (ICEE), Índice de Consumo Energético por Horas de Clase (ICEH) e Índice de Intensidad Energética (IE). Estos indicadores permitieron identificar áreas críticas con potencial de mejora. Los resultados obtenidos muestran que los sistemas de climatización y los equipos de cómputo representan los mayores consumos de energía.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director Ph.D. Gabriel Ordoñez Plata. Codirector Ing. Manuel José Ortiz Rangel.

Abstract

Title: Updated Energy Characterization of the Industrial Engineering Building at Universidad Industrial de Santander Implementing the Integral Energy Management System (SGIE) Methodology

Authors: Carlos Manuel Herrera Parra and Jaime Albeiro Campos Molina

Keywords: Energy characterization, energy efficiency, energy indicators, university building, energy management.

Description:

Energy characterization is a fundamental process for identifying a buildings energy consumption profile, evaluating its efficiency, and proposing sustainable improvements. This study focuses on a detailed assessment of the Industrial Engineering Building at Universidad Industrial de Santander, considering its main energy-consuming systems: lighting, air conditioning (HVAC), classrooms, and administrative areas. An initial energy diagnosis was conducted through an on-site inspection, which included collecting data on electrical equipment, occupancy, areas, and consumption measurements. Additionally, basic energy indicators were calculated, such as the Occupational Energy Consumption Index (ICEO), Specific Energy Consumption Index (ICEE), Energy Consumption Index per Class Hours (ICEH), and Energy Intensity Index (IE). These indicators helped identify critical areas with improvement potential. The results obtained show that air conditioning systems and computer equipment account for the highest energy consumption.

*Thesis

**Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronic, and Telecommunications Engineering. Director Ph.D. Gabriel Ordoñez Plata. Co-director Manuel José Ortiz Rangel, Engineer.

Introducción

El uso inadecuado de la energía eléctrica es un problema que tiene múltiples consecuencias negativas como el riesgo eléctrico por malas prácticas, el aumento en el costo de la energía y la generación excesiva de emisiones de gases de efecto invernadero, de las principales causas de este problema es el consumo excesivo de energía eléctrica y la inadecuada operación de artefactos eléctricos en los hogares, las empresas y las industrias, otro factor que contribuye al uso inadecuado de la energía en Colombia es la falta de regulación y control por parte del gobierno. La falta de implementación de programas de eficiencia energética como la metodología SGIE y la NTC 50001 por parte de los usuarios, se traduce en un bajo nivel eficiencia energética y un alto desperdicio de recursos.

El uso inadecuado de la energía tiene consecuencias negativas en la economía. Para abordar este problema, es necesario implementar políticas y programas de eficiencia energética como la metodología SGIE, fomentar el uso de energías renovables y promover la educación y conciencia ambiental en la población, algunas de las principales causas de este problema son:

- Falta de conciencia y educación: Muchas personas desconocen los efectos negativos del uso inadecuado de la energía eléctrica, como el desperdicio de recursos naturales y el impacto ambiental. La falta de conciencia y educación sobre el tema puede llevar a un consumo excesivo y poco eficiente de energía.
- Falta de tecnología eficiente: La falta de acceso a tecnologías eficientes y energéticamente sostenibles puede llevar a un uso inadecuado de la energía eléctrica. Por ejemplo, el uso de electrodomésticos obsoletos o bombillas incandescentes en lugar

de opciones más eficientes, como bombillas LED, puede generar un consumo mayor de energía.

- Desperdicio de energía: Muchos dispositivos y electrodomésticos consumen energía incluso cuando no están en uso o están en modo de espera. El dejar luces encendidas innecesariamente, no apagar los electrodomésticos o utilizar equipos no eficientes contribuye al desperdicio de energía.

El crecimiento según XM en el 2024 se incrementó el consumo un 2.3% en comparación del año anterior en expansión y consumo de energía con inadecuados manejos han llevado al uso excesivo de los recursos, por eso es importante implementar estrategias que puedan ayudar a optimizar la energía. La aplicación de la metodología del Sistema de Gestión Integral de la Energía (SGIE) y la normativa NTC-ISO 50001 son una buena estrategia para mitigar estos efectos, ya que al aplicarlas se atacarán las principales causas de este problema.

1. Planteamiento del problema

El constante aumento en el consumo de energía eléctrica en los últimos años presenta una amenaza para nuestro medio ambiente y a su vez un alto costo en las facturas. El edificio de la escuela de Estudios Industriales y Empresariales de la Universidad Industrial de Santander se destaca por su gran consumo de energía eléctrica, lo que hace que sea necesario llevar a cabo estrategias energéticas de manera inmediata. Estas estrategias tienen como objetivo promover el uso más consciente de la energía y disminuir la cantidad de energía que actualmente consume el edificio. Para identificar áreas de alto consumo de energía y crear estrategias que optimicen su desempeño energético, sugerimos utilizar la técnica del Sistema de Gestión Integral de Energía (SGIE).

1.1. Objetivo general

Caracterizar el edificio de Ingeniería Industrial de la Universidad Industrial de Santander, aplicando la metodología del sistema de gestión integral de la energía (SGIE)

1.2. Objetivos específicos

Identificar los indicadores y variables productivos/energéticos de los procesos que afectan la eficiencia energética dentro del edificio de Ingeniería Industrial.

Analizar estrategias que permitan obtener una eficiencia energética dentro del servicio energético del edificio.

Proponer índices energéticos básicos para la caracterización diagnóstico y valoración del SGIE.

Realizar una valoración de las recomendaciones dadas en la caracterización realizada en el año 2014.

1.3. Justificación

El proyecto comprende la caracterización energética del edificio utilizando los conocimientos adquiridos a lo largo de la formación en ingeniería eléctrica. El fin de llevar a cabo esta iniciativa es aplicar los conceptos de gestión energética para mejorar el uso eficiente de la energía eléctrica en un edificio de la Universidad Industrial de Santander (UIS). De igual manera encontrar y fomentar las oportunidades de mejora del edificio. Además, dentro de la comunidad universitaria, se busca reducir el uso no adecuado de los equipos eléctricos y mejorar el estándar de operación y mantenimiento, ya que es un problema que tiene un impacto significativo en el entorno natural debido a que se gastan recursos que no son aprovechados de la manera más óptima, y es esencial abordarlo para reducir sus efectos negativos.

1.4. Alcance

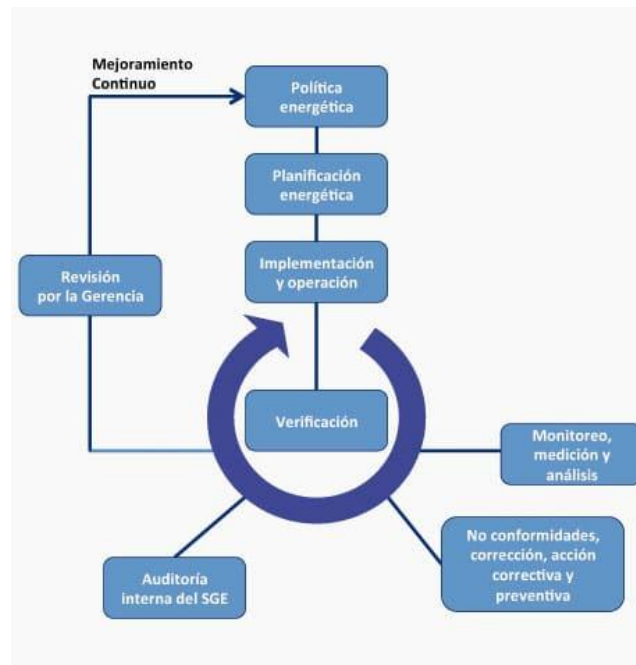
Se utilizará parcialmente la metodología del Sistema de Gestión Integral de Energía (SGIE), se tomarán mediciones y se ejecutará un levantamiento de información para realizar un análisis energético al edificio de ingeniería industrial en el marco de este proyecto de investigación. El objetivo principal es evaluar el estado actual del edificio y conocer cómo consume energía. Para mejorar la eficiencia energética del edificio, esta caracterización ayudará a identificar los puntos fuertes y las áreas de mejora. Este estudio no solo destaca las ventajas y desventajas del edificio, sino que también propone soluciones prácticas para ayudarlo a mejorar continuamente en términos de consumo energético.

2. Estructura del sistema de gestión

Un Sistema de Gestión Integral de la Energía (SGIE) es una forma de organizar y controlar el uso de la energía en una organización. Su objetivo es ahorrar energía, usarla mejor y cuidar el medio ambiente. Para lograrlo, sigue el ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar), que ayuda a mejorar continuamente la manera en que se consume la energía.

Figura 1.

Modelo del sistema de gestión de la energía



Nota: Tomado de la ISO 50001

2.1. Planificación

La planificación energética implica identificar oportunidades para mejorar el uso de la energía y establecer metas y objetivos energéticos específicos y alcanzables. Se identifican áreas de ineficiencia energética mediante un análisis de la situación actual y se elabora un plan de

acción para abordarlas. Diagnóstico Energético Inicial, como parte de la caracterización energética se realizarán las siguientes actividades:

- Se evaluará el consumo energético de cada área del edificio realizando un levantamiento de equipos por área y tiempo estimado de uso.
- Se identificarán equipos de alto consumo energético (HVAC, iluminación, equipos de cómputo).
- Se realizarán mediciones de consumo.

2.2. Implementación y Operación

En esta etapa se llevan a cabo las acciones planificadas para mejorar la eficiencia energética. Esto puede incluir ahorro de energía, actualización de sistemas y equipos, capacitación del personal y adopción de tecnologías más eficientes, durante este proyecto de grado no se ejecutará esta etapa, sin embargo, se indicarán las estrategias de mejora encontradas para que sean analizadas y ejecutadas por el personal correspondiente.

Desarrollo de Competencias y Concienciación:

- Capacitaciones periódicas sobre el uso eficiente de la energía.
- Iniciativas de sensibilización dirigidas a toda la comunidad universitaria.

Procedimientos Operativos:

- Establecimiento de protocolos de uso eficiente de HVAC, iluminación y equipos de cómputo.

2.3. Verificación y control

Esta etapa no se llevará a cabo durante este proyecto de grado ya que primero se deben ejecutar las etapas anteriores (planificación, implementación y operación), se debe establecer sistemas de monitoreo y medición para recopilar información sobre el desempeño de las medidas implementadas y el consumo de energía. Estos datos se deben utilizar para evaluar el progreso hacia los objetivos energéticos y determinar áreas que necesitan más atención.

Monitoreo de Indicadores de Desempeño Energético (IDEs):

- Consumo energético total del edificio.
- Consumo energético por área (aulas, oficinas, laboratorios, etc.).
- Eficiencia de sistemas HVAC.

Auditorías Internas:

- Revisión periódica del cumplimiento de los objetivos y metas establecidas.
- Identificación de desviaciones y propuesta de acciones correctivas.

2.4. Revisión y mejora

En esta etapa se validan las medidas y resultados obtenidos para ejecutar medidas correctivas y preventivas según sea necesario y se identifican áreas de mejora. Un principio fundamental del SGIE es la mejora continua, que permite adaptarse a los cambios en las condiciones y la tecnología energética.

Revisión por la Dirección:

- Evaluar periódicamente el desempeño energético y la efectividad del SGIE.
- Revisar y ajustar los objetivos según sea necesario.

Implementación de Mejoras:

- Introducción de nuevas tecnologías energéticamente eficientes.
- Optimización de procedimientos basados en resultados de auditorías y monitoreo.

3. Metodología

3.1. Inventario de equipos eléctricos y descripción del sistema eléctrico del edificio

Se realiza una inspección con ayuda del personal de mantenimiento del edificio, con el fin de hacer el inventario y censo de carga de los equipos conectados a la red eléctrica del edificio, dicho inventario se realiza por cada piso del edificio y se divide en los diferentes tipos de áreas:

- Zonas comunes
- Aulas de clase
- Auditorios
- Salas de computo
- Aulas de grupos de investigación
- Áreas administrativas
- Cafeterías

El edificio de Ingeniería Industrial consta de 5 pisos y 1 sótano, para efectos de la revisión energética se obtiene el área de cada piso, discriminando espacios como escaleras, exterior y pasillos. La distribución por áreas es la siguiente:

Tabla 1.

Áreas en m² por piso, para efecto de revisión y análisis.

Tabla de áreas del EII	
Piso	Área (m ²)
Sotano1	301
Piso 1	1135

Piso 2	907
Piso 3	874
Piso 4	720
Piso 5	802
Área total	4739

Nota. No se tienen en cuenta áreas de escaleras, pasillos ni áreas exteriores.

En cada área se realiza el respectivo registro y levantamiento de la información necesaria de equipos que estén conectados a la red eléctrica con el fin de poder analizar los consumos y encontrar posibilidades de mejora en el sistema, también se revisa la caracterización energética realizada en el año 2014 para validar cambios realizados a partir de dicho periodo, se evidencian aumentos de equipos de cómputo debido a la remodelación de las salas de cómputo, también se evidencia la instalación de un ascensor. La cual se describe a continuación:

Tabla 2.

Censo equipos eléctricos de uso continuo del edificio de ingeniería industrial.

CENSO DE CARGA EDIFICIO INGENIERIA INDUSTRIAL											
PISO 1 - SALONES Y ACEII			PISO 1 -AUDITORIOS			PISO 1 - SALAS DE COMPUTO			PISO 1 - ZONAS COMUNES		
EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA [W]	EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA [W]	EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA [W]	EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA [W]
Luminaria Silvania	70	54	Luminaria Silvania	64	54	Luminaria Silvania	24	54	Luminaria Silvania	25	54
Televisor	6	200	Sistema de sonido	1	2200	Televisor	2	200	Salida de Aire	2	150
Computador	10	180	Computador	2	180	Computador	102	180			
Video bean	4	180	Proyector	1	500	Rack Comunicaciones	2	3000			

Salida de Aire	10	150	Salida de Aire	8	150	Salida de Aire	4	150			
PISO 2 -SALONES			PISO 2 -OPALO			PISO 2 -SALA DE REUNIONES Y PROFESORES			PISO 2 – ZONAS COMUNES		
EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA [W]	EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA [W]	EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA [W]	EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA [W]
Luminaria Silvania	18	54	Luminaria Silvania	12	54	Luminaria Silvania	24	54	Luminaria Silvania	20	54
luminaria philips	18	54	Televisor	1	200	Televisor	1	200	Nevera	4	550
Televisor	3	200	Computador	10	180	Computador	24	180	Computador	1	180
Computador	4	180	Video bean	1	180	Salida de Aire	8	150	Cafetera	2	1200
Video bean	3	180	Salida de Aire	2	150				Salida de Aire	2	150
Salida de Aire	8	150									
PISO 3 - SALONES			PISO 3 - LABORATORIOS			PISO 3 -SALA DE REUNIONES			PISO 3 -ZONAS COMUNES		
EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA [W]	EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA [W]	EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA [W]	EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA [W]
Luminaria Silvania	60	54	Luminaria Silvania	24	54	Luminaria Silvania	24	54	Luminaria Silvania	23	54
luminaria philips	60	30	Televisor	1	200	Televisor	1	200	Salida de Aire	2	150
Televisor	10	200	Computador	10	180	Computador	18	180			
Computador	10	180	Video bean	2	180	Video bean	1	180			
Video bean	10	180	Salida de Aire	8	150	Impresora 3D	2	500			

Nota. Para el ascensor se calculó un consumo energético mensual de 779 kWh/mes, para una ocupación de 1300 personas, ocupación dada por el personal administrativo para el periodo 2023-2

El sistema eléctrico del edificio está conformado por dos transformadores principales, uno de 300 kVA alimenta el sistema de manejadoras del sistema HVAC, y el otro de 225 kVA atiende la demanda de los servicios generales, el sistema también cuenta con una planta de emergencia de 200 kW / 250 kVA servicio Stand By FP: 0.8, el edificio no cuenta con cuarto de máquinas o bombas.

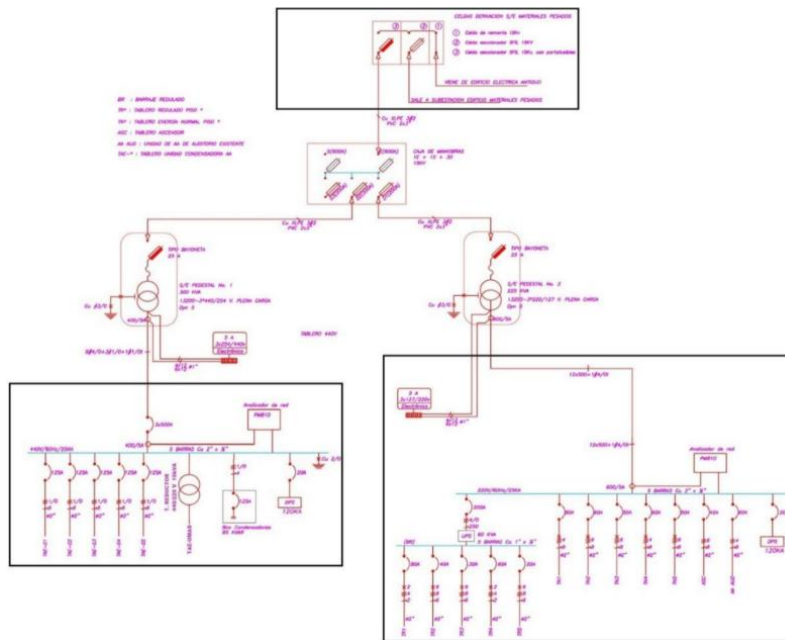
Figura 2.

Placa de datos transformadores 300 kVA y 225 kVA.



Figura 3.

Diagrama unifilar del edificio de Ingeniería Industrial.



Nota. Tomado de caracterización energética del 2014 - UIS

Se observa que el edificio cuenta con dos medidores de control ubicados en las puertas de los gabinetes principales de los tablero de distribución, los cuales registran el consumo de cada transformador, sin embargo desde el 2020 no se tiene registro mensual o periódico del consumo individual del edificio, se valida con el personal de mantenimiento del edificio y con el personal de planta física de la Universidad quienes confirman que no se tienen estos datos mensuales tabulados o registrados, allí se ve una oportunidad de mejora, ya que es importante llevar este control para analizar el comportamiento energético y revisar anomalías.

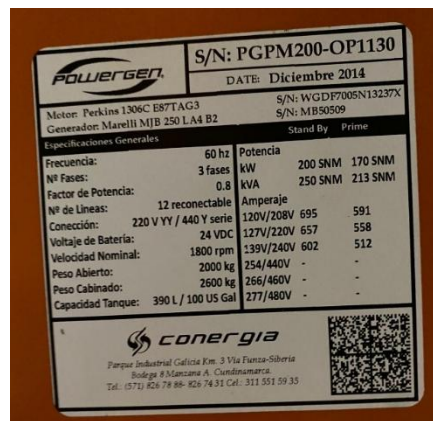
Figura 4.

Medidores de control ubicados en los tableros de distribución principales ubicados en sótanos.



Figura 5.

Placa de datos de la planta eléctrica de emergencia.



3.2. Ocupación del edificio

Para validar la ocupación de salones, se inicia revisando los salones activos en cada franja horaria del día, con ayuda del personal administrativo y de mantenimiento del edificio se obtienen los datos necesarios para tabularlos y hacer las respectivas graficas. Se realiza un estimado de 30 estudiantes en cada salón por hora de clase, la cantidad de salones atendidos en cada franja horario y cantidad horas estudiantes, se registran a continuación:

Tabla 3.

Cantidad horas totales por salón hora/día

OCUPACION SALONES 2023-2		CANTIDAD SALONES USADOS HORA EDIFICIO INGENIERIA INDUSTRIAL					
HORARIO		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
6	7:00	6	9	10	11	4	4
7	8:00	6	9	10	11	4	4
8	9:00	11	17	14	15	4	4
9	10:00	11	18	14	16	5	4
10	11:00	6	15	9	13	6	5
11	12:00	6	15	9	12	6	5
12	13:00	5	3	9	3	3	4
13	14:00	5	3	9	3	3	2
14	15:00	4	14	8	13	5	2
15	16:00	4	14	7	13	5	2
16	17:00	9	9	7	8	3	1
17	18:00	7	11	7	9	3	0
18	19:00	4	10	4	10	4	0
19	20:00	5	8	5	9	5	0
20	21:00	1	0	1	1	4	0
TOTAL, SALONES DIA		90	155	123	147	64	37
ESTUDIANETS TOTAL EN SALONES		2700	4650	3690	4410	1920	1110

3.3. Revisión termográfica a subestación y tableros.

Con ayuda de una la cámara termográfica industrial Fluke Tis50, se realizó una revisión y estudio de termografía, con el fin de determinar las temperaturas de los transformadores, conductores, protecciones y equipos eléctricos, para validar si están en el rango de temperatura adecuado. Esto permite observar si el sistema presenta fallos por excesos de cargas, aislamientos o falsos contactos.

Figura 6.

Cámara termográfica.



Nota. Imagen de referencia, cámara propiedad del laboratorio de alta tensión ingeniería eléctrica.

Figura 7.

Termografía del transformador de 300 kVA.

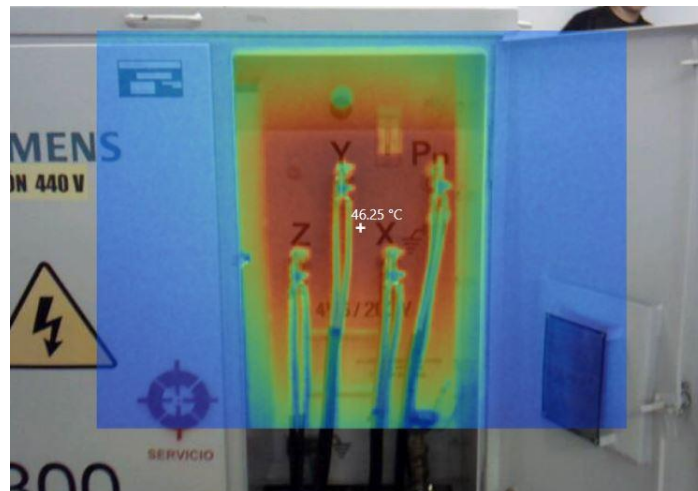
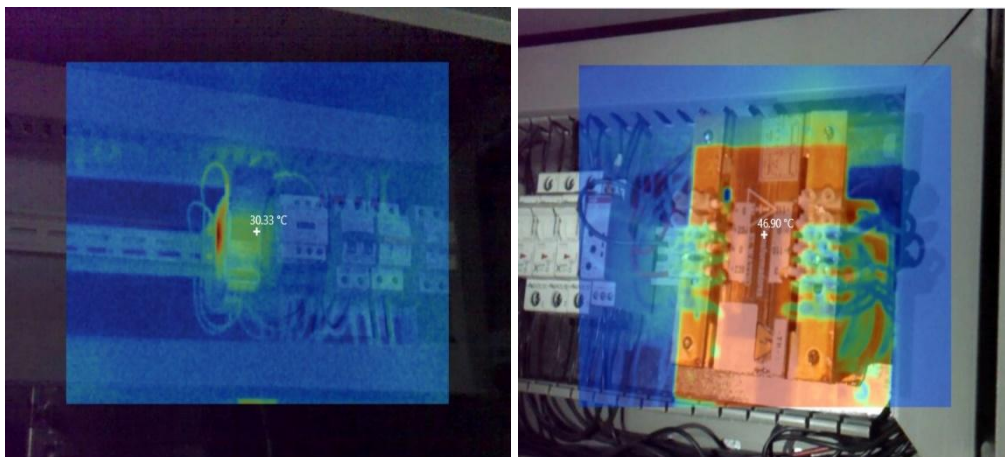


Figura 8.

Termografía del transformador de 225 kVA.

**Figura 9.**

Termografía de protecciones y cableado en tableros



En las imágenes termográficas no se evidencian puntos calientes o puntos con exceso de temperatura superior a los admitidos por los equipos, se realiza inspección visual y no se evidencia borneras o cableado con fallos por falso contacto, sueltos o conexiones sulfatadas, con esto se puede indicar que los equipos están funcionando de manera óptima y temperatura adecuada.

3.4. Recopilación y análisis de datos obtenidos del registrador de potencia

En este proyecto, se recolectaron los datos de consumo utilizando un registrador de potencia Fluke 1730. Se eligió este equipo por su habilidad para documentar parámetros eléctricos

minuciosos, fundamentales para describir el comportamiento de la carga en el edificio. La relevancia de recopilar estos datos reside en la necesidad de entender y medir el consumo de la energía, lo que facilita la identificación de patrones, potenciales ineficiencias y la propuesta de soluciones apropiadas.

El procedimiento de medición implicó la vinculación del registrador de potencia a los dos transformadores que suministran energía al edificio, estableciéndose paralelamente con cada transformador para supervisar de manera individual las tres líneas de alimentación principales. Este método aseguró la adquisición de un conjunto de datos y representativo del comportamiento eléctrico bajo condiciones de funcionamiento reales.

Figura 10.

Conexión de equipo de medida en borneras secundarias del transformador de 225 kVA



Figura 11.

Conexión de equipo de medida en borneras secundarias del transformador de 300 kVA



La recolección de datos se llevó a cabo durante un periodo 15 días seguidos, incluyendo tanto días de trabajo como fines de semana, con el objetivo de proporcionar una perspectiva completa de las fluctuaciones en el uso de energía. Los aparatos recolectaron información a intervalos de 10 segundos, lo que permitió una alta resolución temporal para examinar minuciosamente los parámetros eléctricos, que incluyen voltajes, corrientes, potencia activa y potencia no activa, entre otros. Este método no sólo permitió la observación de las fluctuaciones en la demanda eléctrica del inmueble, sino también la caracterización del comportamiento de las cargas vinculadas. Este estudio es esencial para acciones futuras dirigidas a incrementar la eficiencia energética, y para dimensionar correctamente el sistema eléctrico en caso de futuras ampliaciones o cambios.

Figura 12.

Software Fluke Energy Analyze plus para revisión de datos obtenidos

The screenshot shows the 'Advanced - Tabla resumen' window in the Fluke Energy Analyze Plus 3.11 software. The table displays energy consumption data for a 10-minute period on 17/11/2023. The columns are P [kW], S [kVA], and N [kvar]. The data is organized into 'Total' and 'Media' (Average) rows for each time interval.

	P [kW]	S [kVA]	N [kvar]
	Total	Total	Total
	Media	Media	Media
17/11/2023 9:10:00 AM	45,335	51,922	25,310
17/11/2023 9:20:00 AM	45,958	52,497	25,374
17/11/2023 9:30:00 AM	47,456	54,150	26,079
17/11/2023 9:40:00 AM	44,065	50,749	25,175
17/11/2023 9:50:00 AM	45,153	51,799	25,384
17/11/2023 10:00:00 AM	41,457	48,253	24,691
17/11/2023 10:10:00 AM	40,761	47,856	25,074
17/11/2023 10:20:00 AM	49,672	57,616	29,194
17/11/2023 10:30:00 AM	53,357	61,378	30,337
17/11/2023 10:40:00 AM	50,999	59,029	29,724
17/11/2023 10:50:00 AM	44,535	51,889	26,629
17/11/2023 11:00:00 AM	56,138	64,112	30,965
17/11/2023 11:10:00 AM	54,090	62,069	30,444
17/11/2023 11:20:00 AM	60,663	68,439	31,684
17/11/2023 11:30:00 AM	58,540	66,356	31,244
17/11/2023 11:40:00 AM	59,123	67,566	32,704
17/11/2023 11:50:00 AM	60,820	69,359	33,341
17/11/2023 12:00:00 PM	60,372	68,975	33,357
17/11/2023 12:10:00 PM	52,513	61,310	31,643
17/11/2023 12:20:00 PM	54,392	63,360	32,497
17/11/2023 12:30:00 PM	53,874	63,030	32,717
17/11/2023 12:40:00 PM	57,169	66,232	33,442
17/11/2023 12:50:00 PM	57,735	66,815	33,629
17/11/2023 1:00:00 PM	55,355	64,534	33,172
17/11/2023 1:10:00 PM	53,469	62,564	32,484
17/11/2023 1:20:00 PM	53,182	62,261	32,374
17/11/2023 1:30:00 PM	53,882	62,974	32,595

Nota: Con ayuda del software se realiza la extracción de los datos para la revisión de consumos y tabulación de datos necesarios para el proyecto.

Para completar el periodo de medición de 15 días, se requirió dividir el registro en dos partes, ya que el registrador de potencia posee una capacidad de almacenamiento máxima de 8 días sucesivos para una frecuencia de muestreo de 10 segundos. La evaluación se realizó en los dos transformadores principales del edificio.

Luego, los datos recolectados se exportaron y trataron en Microsoft Excel (véase apéndice A), donde se estructuraron y categorizaron para simplificar su análisis. Este procedimiento fue crucial, dado que los equipos de medición no producen informe del consumo total de energía. Así pues, se requirió transformar y organizar los registros en un sistema de análisis apropiado, lo que facilitó la visualización clara de los parámetros eléctricos registrados y la realización de un análisis exhaustivo de estos.

Por lo tanto, fue esencial llevar a cabo la correcta conversión de las mediciones realizadas. Este procedimiento fue imprescindible para asegurar un análisis adecuado de los datos recolectados, posibilitando una interpretación exacta de los parámetros eléctricos. Para lograrlo, se realizaron procesos de conversión y normalización de los valores registrados, garantizando que las unidades se ajustaran y fueran coherentes con los estándares definidos en el análisis energético. Se agruparon valores para definir consumos por horas (véase apéndice B):

$$kWh = \frac{\left(\frac{\sum \text{muestras por hora}}{360}\right)}{1000}$$

El registrador de potencia proporciona variables tanto de potencia activa, potencia no activa, potencia aparente y otras medidas eléctricas relevantes.

3.5. Análisis con los datos obtenidos del registrador de potencia

- Recopilación de datos del transformador de 300 kVA

Tabla 4.

Consumos obtenidos con el registrador de potencia

DÍA	FECHA	CONSUMO kWh/DÍA	CONSUMO REACTIVA kVARh/DÍA	POTENCIA APARENTE kVAh/DÍA
Viernes	17/11/23	601,48	368,22	706,27
Sábado	18/11/23	268,53	207,73	340,41
Domingo	19/11/23	64,10	62,93	90,57
Lunes	20/11/23	510,23	332,60	611,09
Martes	21/11/23	602,57	384,67	717,30
Miércoles	22/11/23	583,01	394,66	706,73
Jueves	23/11/23	649,88	367,72	750,15
Viernes	24/11/23	444,76	317,82	548,35
Sábado	25/11/23	312,81	251,55	402,86
Domingo	26/11/23	194,49	187,33	270,36
Lunes	27/11/23	648,45	430,38	780,55
Martes	28/11/23	831,56	506,62	975,99
Miércoles	29/11/23	727,42	435,46	849,68
Jueves	30/11/23	417,66	305,19	517,98
Viernes	1/12/23	41,01	38,61	56,49
		13190,96	20520,92	33711,89

Figura 13.

Gráfico potencia activa y no activa transformador de 300 kVA.

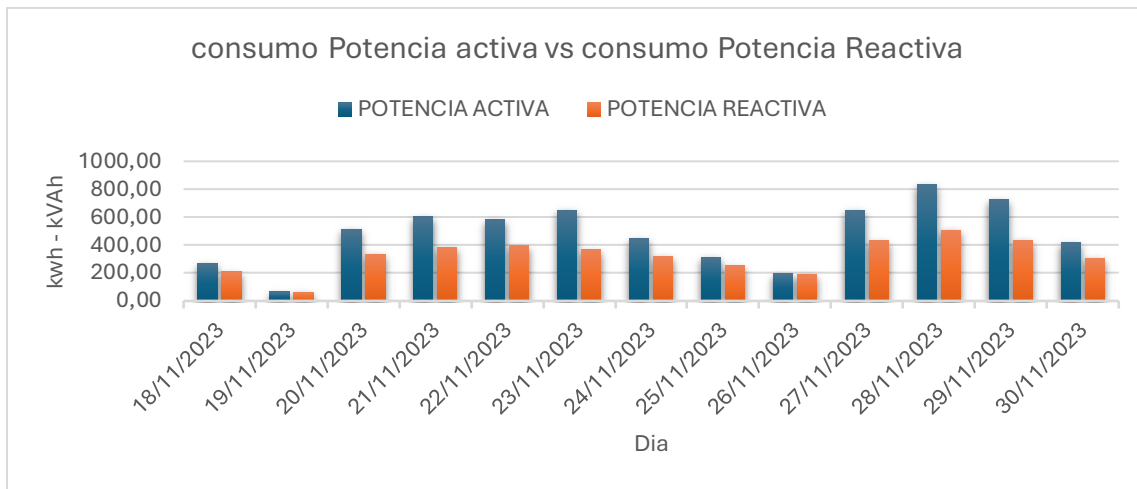
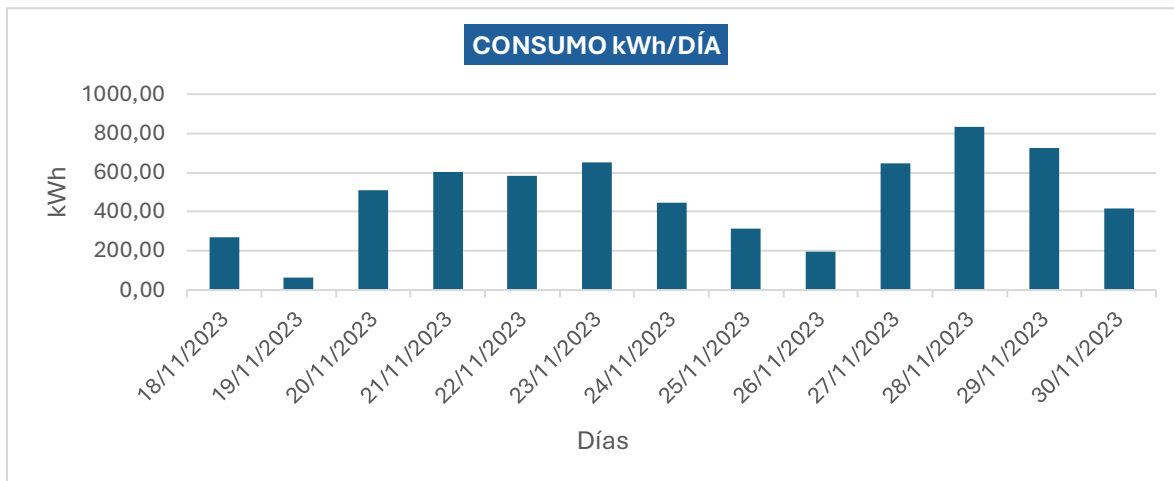


Figura 14.

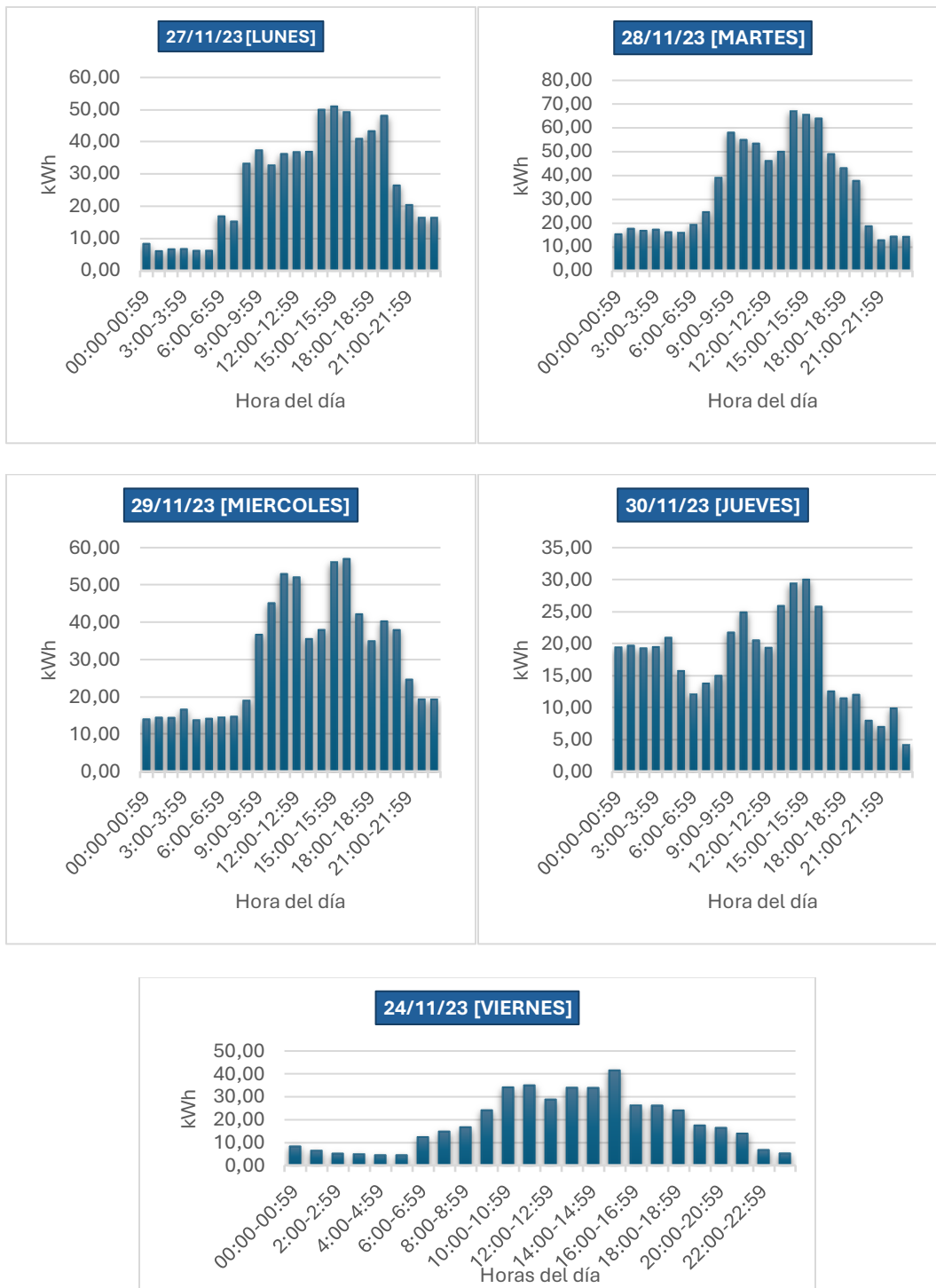
Gráfico consumo de potencia activa transformador de 300 kVA por día de lunes a domingo.

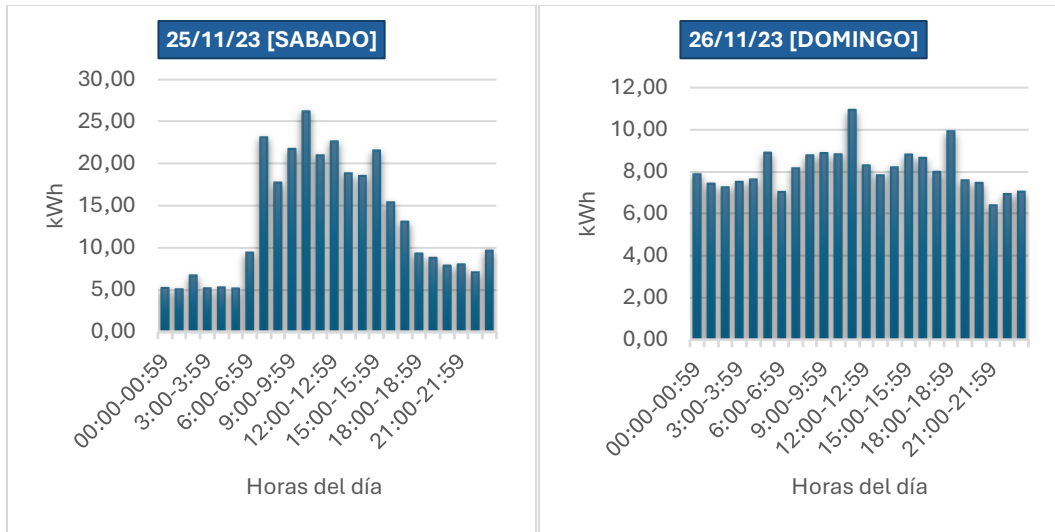


Con este estudio, se pueden determinar las horas del día con la mayor y la menor demanda de energía, lo cual es crucial para entender los patrones de consumo y maximizar el consumo. Este método, en concordancia con las directrices dictadas en la investigación, simplifica la toma de decisiones dirigidas a incrementar la eficiencia energética del sistema, posibilitando la identificación de potenciales posibilidades de ahorro y modificaciones en el funcionamiento.

Figura 15.

Gráfico consumo de potencia activa transformador de 300 kVA por hora.





Nota: Graficas del consumo en kWh durante 1 semana.

Tabla 5.

Recopilación de datos del transformador de 225 kVA

DÍA	FECHA	ACTIVA kWh/Día	REACTIVA kVARh/Día	POTENCIA APARENTE kVAh/Día
VIERNES	17/11/23	387,26	130,85	411,77
SÁBADO	18/11/23	284,40	160,21	330,42
DOMINGO	19/11/23	171,75	126,81	213,94
LUNES	20/11/23	386,40	186,69	432,84
MARTES	21/11/23	487,55	185,95	526,05
MIÉRCOLES	22/11/23	487,34	195,95	530,22
JUEVES	23/11/2023	579,26	206,44	621,08
VIERNES	24/11/2023	532,07	188,48	521,34
SÁBADO	25/11/2023	273,55	151,20	315,22
DOMINGO	26/11/2023	185,39	128,78	226,32
LUNES	27/11/2023	452,26	196,37	497,37
MARTES	28/11/2023	594,81	213,53	637,22
MIÉRCOLES	29/11/2023	489,97	197,08	534,31
JUEVES	30/11/2023	330,90	163,98	373,98
	TOTAL	11726,245		

Figura 16.

Consumos obtenidos con el registrador de potencia transformador de 225 kva.

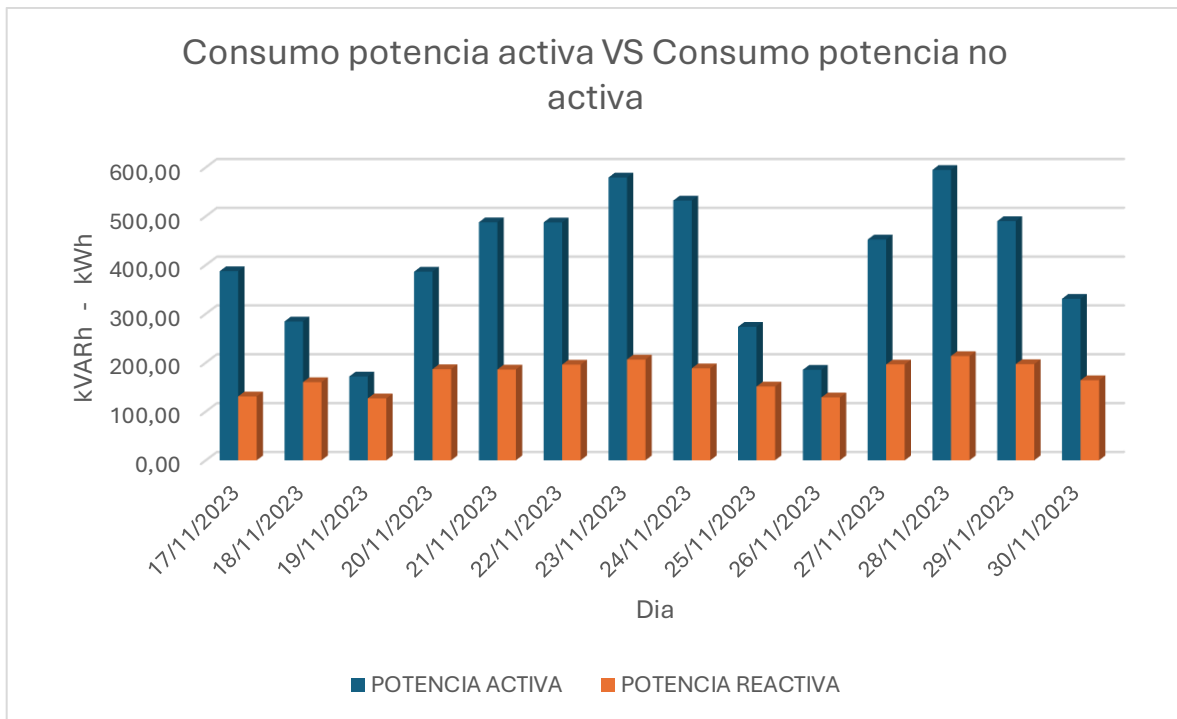
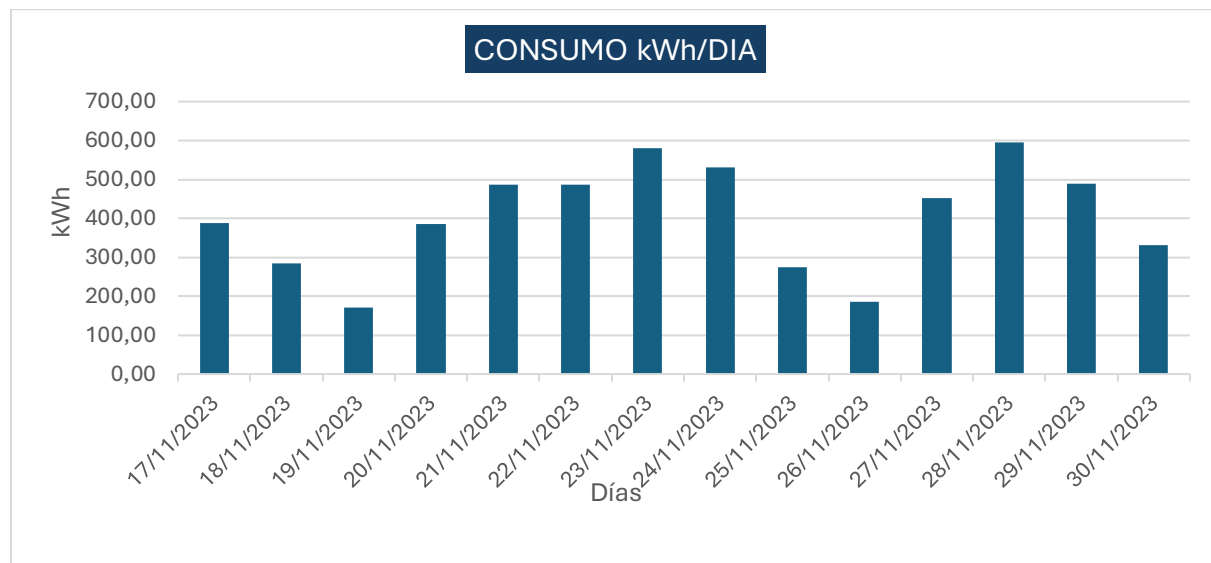
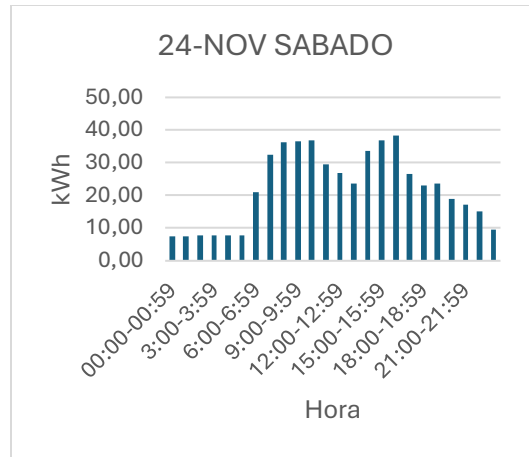


Figura 17.

Gráfico consumo de potencia activa transformador de 225 kVA por día

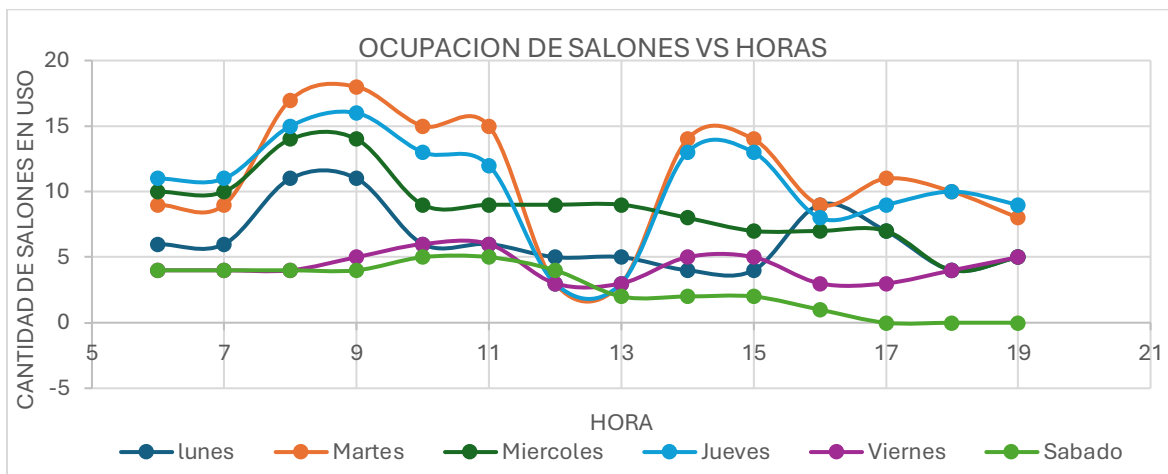




Nota: Graficas del consumo en kWh durante 1 semana.

Figura 19.

Grafica de cantidad de salones en uso de salones por franja horaria



Recopilación de los datos del consumo total del edificio de ingeniería industrial durante el periodo de recopilación de muestras.

Tabla 6.

Consumo energético total del edificio durante el periodo de medición.

Día	Fecha	Consumo kWh/día
VIERNES	17/11/2023	988,74
SÁBADO	18/11/2023	552,92
DOMINGO	19/11/2023	235,85
LUNES	20/11/2023	896,63

MARTES	21/11/2023	1090,12
MIÉRCOLES	22/11/2023	1070,35
JUEVES	23/11/2023	1229,14
VIERNES	24/11/2023	976,83
SÁBADO	25/11/2023	586,36
DOMINGO	26/11/2023	379,87
LUNES	27/11/2023	1100,70
MARTES	28/11/2023	1452,48
MIÉRCOLES	29/11/2023	1217,40
JUEVES	30/11/2023	748,57
VIERNES	1/12/2023	113,19
CONSUMO PROYECTADO DEL MES		
		24917,21

Se evidencia que la compensación no está siendo eficiente, ya que la mayoría de los días la energía no activa supera el 50% de la energía activa, por lo cual se evidencia que la compensación del sistema es una oportunidad de mejora, sin embargo, la frontera de medición actualmente mide todo el consumo de los edificios de la universidad, lo que significa que esta la compensación se está realizando desde el punto de medida para evitar las penalizaciones.

Al examinar el comportamiento de la carga durante las horas del día, se pueden identificar periodos de alto consumo y observar las curvas de tendencia que reflejan los patrones de demanda energética. Un aspecto destacado es que el consumo presenta una disminución notable después de las cuatro de la tarde, lo que podría estar asociado con cambios en las actividades o en el uso de las instalaciones. Este análisis resulta clave para comprender los patrones de consumo y desarrollar estrategias de optimización energética lo cual, a pesar de no estar penalizado por reactivos en la frontera comercial general, es una oportunidad de optimización del sistema. Estas tablas no solo permiten analizar el comportamiento de la carga a lo largo de los días de la semana, sino que también facilitan un estudio detallado hora a hora.

3.6. Indicadores y variables productos energéticos

Este enfoque detallado nos orienta hacia la elaboración de índices energéticos basados en horas, lo que resulta fundamental para comprender con mayor precisión los patrones de consumo y evaluar la eficiencia energética en intervalos específicos. Trabajar con esta granularidad proporciona información clave para diseñar estrategias de optimización y gestión energética más efectivas conociendo la cantidad de personas y horas clase en el edificio durante cada día de la semana. Usaremos variables como: Horas clase Y Ocupación de salones por hora.

Para este estudio, resulta fundamental determinar la ocupación del edificio, ya que esta variable influye directamente en el consumo energético. Por ello, se consideraron la información plasmada en la tabla 3.

Al analizar estos parámetros en conjunto, es posible identificar tendencias en el consumo energético, relacionando la actividad académica con los niveles de demanda de energía. Este enfoque detallado, con datos medidos hora a hora durante el transcurso de la semana, proporciona una base sólida para comprender cómo la ocupación del edificio afecta los patrones de consumo y facilita el diseño de estrategias de eficiencia energética adaptadas a las necesidades reales del espacio.

Figura 20.

Periodo base considerado.

Menos de un año – una duración de la LBE de menos de un año puede ser adecuada en casos donde no hay estacionalidad en el consumo de energía o cuando periodos de operación más cortos capturan un rango razonable de patrones de operación. Las duraciones cortas de las LBE pueden ser necesarias para situaciones en las que hay una insuficiente cantidad de datos históricos confiables, apropiados y disponibles (por ejemplo cuando los cambios de la organización, políticas o procesos hacen que solo los datos reales estén disponibles).

Nota: Tomado de la ISO 50006 del 2023

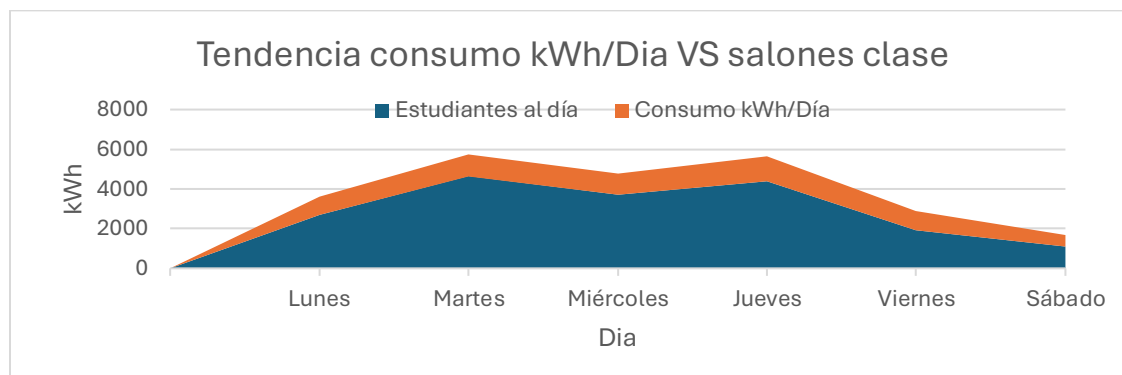
Tabla 7.

Correlación de horas de clase y estudiantes respecto al consumo en el día

Fecha	Día	Estudiantes al día	Horas clase al día	kWh/día
	Lunes	2700	90	896,63
21/11/2023	Martes	4650	155	1090,12
22/11/2023	Miércoles	3690	123	1070,35
23/11/2023	Jueves	4410	147	1229,14
24/11/2023	Viernes	1920	64	976,83
25/11/2023	Sábado	1110	37	586,36

Figura 21.

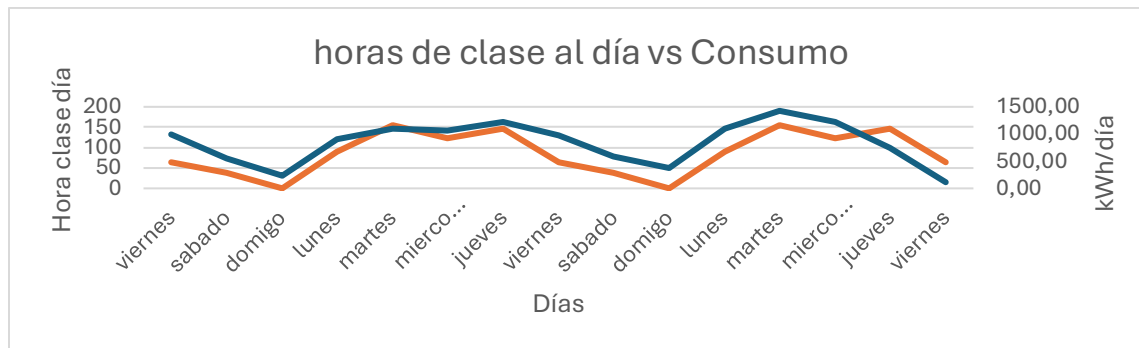
Gráfico consumo de potencia activa vs estudiantes al día.



Esta gráfica muestra la relación entre el consumo de energía y la ocupación del edificio, representada en este caso por el número de horas por salones de clase en uso. Se observa que, a medida que aumenta el número de horas de clase, el consumo energético también incrementa. Este comportamiento refleja una clara conexión entre la actividad académica y la demanda energética, sin embargo, se observa que los días jueves hay mayor consumo energético, con este análisis y revisando la ocupación, se entienda que el consumo elevado se debe a la franja horaria entre las 2:00 pm y 5:00 pm, lo que sugiere que por temperaturas elevadas el aire acondicionado consume más energía.

Figura 22.

Gráfico consumo de potencia activa y hora clase al día.



Esta gráfica refleja el lineamiento basado en el número de alumnos presentes en el edificio en función de las horas de clase. Conociendo el promedio de alumnos por salón, se puede estimar cuántos estudiantes están en el edificio durante cada hora de actividad académica. Es evidente que, a mayor cantidad de horas de clase, aumenta el número de estudiantes presentes no solo en los salones, sino también en las zonas comunes y sus alrededores dentro del edificio. Por el contrario, en horarios con pocas horas de clase, como el periodo del almuerzo, se observa una menor presencia de estudiantes en dichas áreas.

La gráfica no se visualiza con suficiente claridad para un análisis preciso. Por ello, es necesario utilizar herramientas de gestión que permitan identificar posibles anomalías en el comportamiento del consumo a lo largo del tiempo.

Tabla 8.

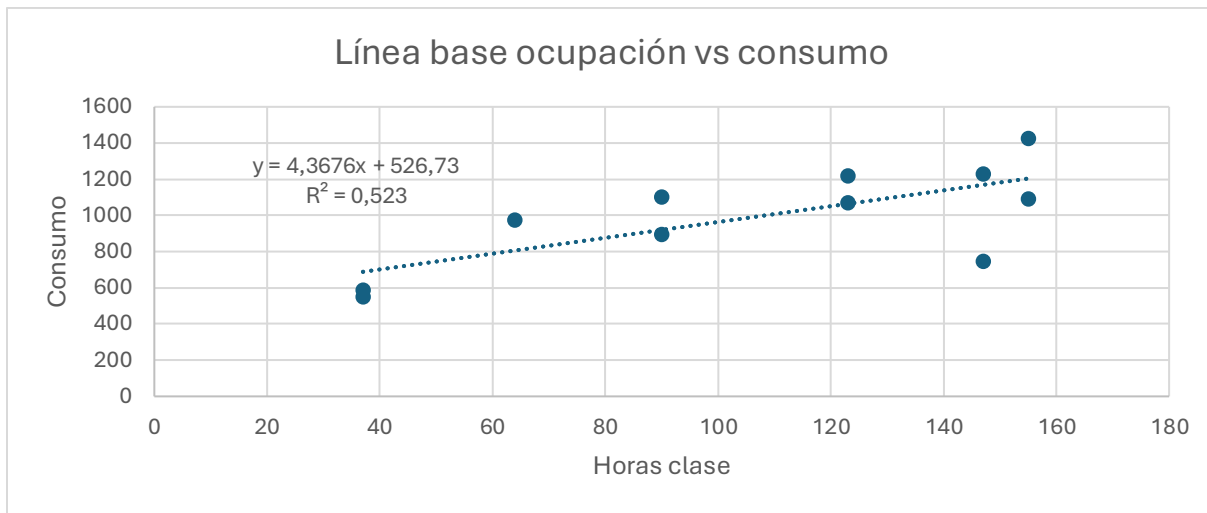
Criterios de correlación

Valor R	Relación Energía ocupación
0-0.4	Despreciable
0.04 - 0.16	Débil
0.16-0.49	Moderada
0.49-0.80	Fuerte
0.80-1	Muy Fuerte

Nota: Se obtienen de la norma ISO 50006 sección 4.2 y sección 5.3

Figura 23.

Gráfico línea base ocupación salones vs consumo.



A partir de esta grafica de línea base realizada con los datos registrados de ocupación y consumo del edificio Ingeniería industrial, podemos analizar el coeficiente de correlación. Cabe recalcar que el edificio no presenta un registro de consumo periódico desde el año 2019 por ende se realizará el análisis en base a los datos obtenidos durante el periodo de medición.

En la gráfica se observa que hay valores por encima a la línea base esto se traduce a días con menor eficiencia energética, por lo tanto, el coeficiente de correlación se aleja considerablemente de 1 que corresponde a una correlación ideal, por ende, puede tener afectaciones respecto el consumo con energías no asociadas, etc. Pero también se pueden observar datos en los cuales están por debajo de la línea base, esto también con lleva a mayor eficiencia de consumo de energía respecto a las horas de clases.

Tabla 9.

Tabla de línea meta (Véase apéndice B).

Día	Estudiantes clase	Energía [kWh/Día]
LUNES	2700	896,6

MARTES	4650	1090,1
MIERCOLES	39690	1070,3
JUEVES	4410	1229,1
VIERNES	1920	976,8
SABADO	1110	586,3
LUNES	2700	1100,7
MARTES	4650	1426,3
MIERCOLES	3690	1217,4
Valores por debajo de línea base		
SABADO	1110	552.9
JUEVES	4410	748.5

Tabla 10.

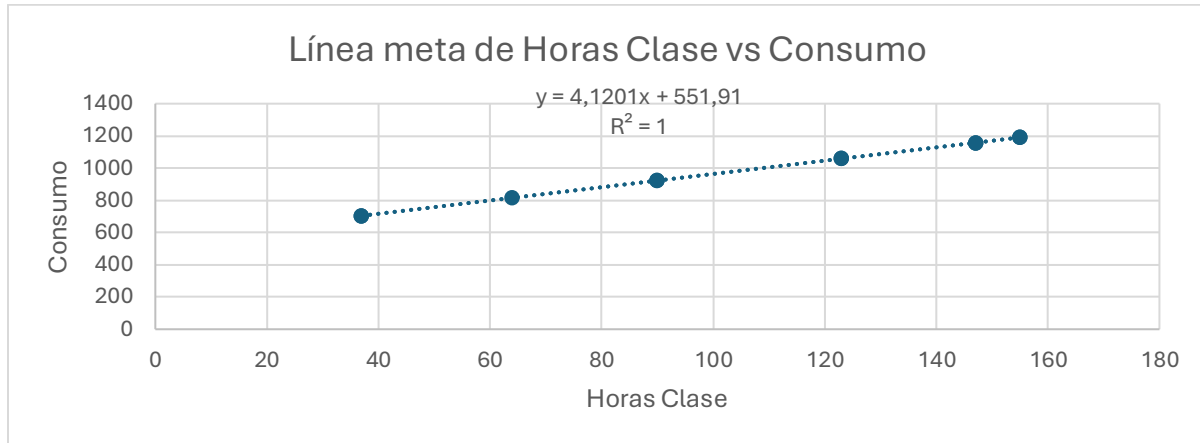
Consumo energético del edificio durante el periodo de medición por día y valores predichos según el método de línea base – Valores de consumo en kWh/Día.

Fecha	Día	Estudi-Antes Al Día	Horas Clase	Consumo Medido Kwh/Día	Consumo Predicho Por Línea Base	Consumo Real - Consumo Esperado
	Sábad	1110	37	553	704	-151
	o					
20/11/2023	Lunes	2700	90	897	923	-26
21/11/2023	Martes	4650	155	1090	1191	-100
22/11/2023	Miércoles	3690	123	1070	1059	12
23/11/2023	Jueves	4410	147	1229	1158	72
24/11/2023	Viernes	1920	64	977	816	161
25/11/2023	Sábado	1110	37	586	704	-118
	o					
27/11/2023	Lunes	2700	90	1101	923	178
28/11/2023	Martes	4650	155	1452	1191	262
	s					
29/11/2023	Miércoles	3690	123	1217	1059	159
	oles					

30/11/	Jueve	4410	147	749	1158	-409
2023	s					

Figura 24.

Grafica de línea base y línea meta (Véase apéndice B).



La tabla 11 basada en los datos de la figura 21 se realizó tomando los valores por debajo de la recta de la línea base esto con el fin de llegar a una línea meta que conlleva a una mejor correlación, esto lo podemos observar en la figura 24. La línea meta son datos de consumo y estudiantes en clase que reflejan hacia donde se debe enfocar para alcanzar una eficiencia energética sabiendo que la tendencia de correlación cercanas a 1 es una correlación positiva y perfecta según la tabla 8. En la figura 23 se obtuvo la correlación aproximadamente de 0.523, de acuerdo a la tabla 8 significa que clasifica a una correlación moderada.

Es importante mencionar que los resultados son limitados a la cantidad de datos obtenidos disponibles, lo que puede afectar la robustez estadística de análisis para un modelo imparcial. La tabla 10 proporciona información valiosa al presentar los valores predichos mediante el método de línea base. Esta herramienta permite establecer un punto de referencia para el consumo energético y generar una tendencia que facilita el análisis de áreas de mejora. Como indicador de desempeño,

la línea base es clave para identificar metas, monitorear el progreso y evaluar la efectividad de las acciones implementadas en la gestión de eficiencia energética.

3.7. Diagrama de Pareto

Tabla 11.

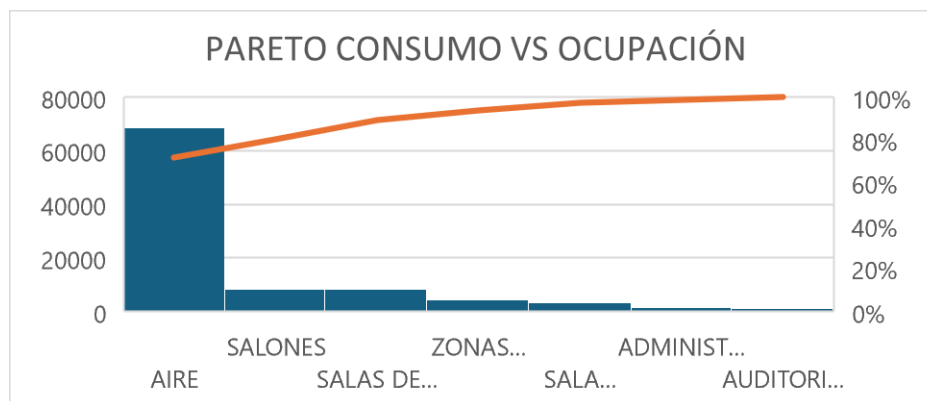
Tabla de Pareto

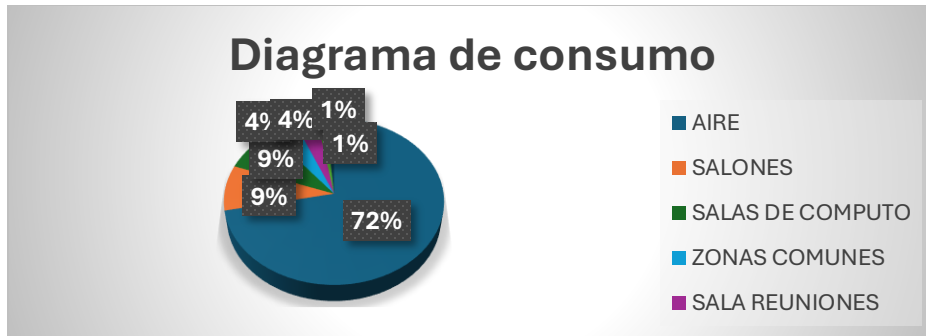
Clasificación de carga	Consumo	a com.
Aire	68676,9	72%
Salones	8414,9	81%
Salas de computo	8285,9	89%
Zonas comunes	4273,01	94%
Sala reuniones	3423,9	97%
Administración	1352,4	99%
Auditorios	1247,6	100%
	95674,9	

Para determinar el porcentaje de consumo de cada uno respecto al total (a com.) $Porcentaje\ de\ consumo = \left(\frac{Consumo\ de\ cada\ ítem}{Consumo\ total} \right) * 100$ Es importante mencionar que en el principio de Pareto se clasifico mediante cuadro de cargas las áreas de mayor consumo, donde se determinó que áreas trabajar.

Figura 25.

Gráficas de Pareto (Véase apéndice B).





El principio de Pareto establece que, en muchas situaciones, el 80% del consumo energético suele atribuirse al 20% de los equipos. Este enfoque facilita identificar cuáles son los equipos con mayor impacto en el consumo total, proporcionando una orientación clara para priorizar acciones de mejora en el uso eficiente de la energía. Al enfocar los esfuerzos en estos equipos clave, no solo se optimiza la gestión energética, sino que también se pueden obtener resultados significativos en términos de reducción del consumo. Además, el principio de Pareto permite evaluar el desempeño energético después de implementar planes de mejora, asegurando un seguimiento efectivo y sostenible de las estrategias de mejora

4. Estrategias de mejoramiento energético para el edificio

De acuerdo con los datos obtenidos es importante recalcar que, para lograr un mejoramiento significativo en el uso del consumo energético, es necesario llevar a cabo estrategias de mejoras de corto, mediano y largo plazo. Se puede llegar a clasificar las mejoras con respecto a su nivel de costo de inversión como también el impacto en un ahorro general.

Tabla 12.

Tabla de recomendaciones con su respectivo escenario (Véase apéndice C).

Área	Medida recomendada	Nivel de costo	% Porcentaje de ahorro	Prioridad
A/C	Plan de mantenimiento preventivo (limpieza de filtros, revisión de refrigerante, conexiones eléctricas)	Bajo	5–10%	Corto plazo
A/C	Capacitación a usuarios: uso entre 23–25 °C, apagar en salones vacíos	Muy bajo	5–8%	Corto plazo
A/C	Instalación de termostatos programables, temporizadores y sensores de ocupación	Medio	8–12%	Mediano o plazo
A/C	Sustitución de equipos obsoletos por tecnología Inverter/VRF	Alto	20–30%	Largo plazo
A/C	Películas reflectivas en ventanas, cortinas térmicas y mejoras de aislamiento	Medio	10–15%	Mediano o plazo
Iluminación	Sustitución de luminarias fluorescentes por LED	Medio	15–25%	Corto plazo
Iluminación	Instalación de sensores de movimiento y fotoceldas	Medio	10–15%	Mediano o plazo
Iluminación	Reorganización de espacios para aprovechar luz natural	Bajo	5–7%	Corto plazo
Equipos eléctricos	Desconectar equipos en stand-by mediante regletas con interruptor	Bajo	2–5%	Corto plazo
Equipos eléctricos	Sustitución de equipos obsoletos por modelos eficientes (Energy Star)	Alto	5–10%	Largo plazo
Energías renovables	Sistema fotovoltaico en cubierta para autoconsumo	Alto	10–30%	Largo plazo
Cultura energética	Campañas, señalización y brigadas de eficiencia estudiantil	Muy bajo	3–5%	Corto plazo

4.1. Sistemas de aires acondicionados

Tabla 13.

Tabla de recomendaciones del sistema de aires acondicionados (véase apéndice C).

Problema Detectado	Recomendación Técnica	Impacto Esperado
--------------------	-----------------------	------------------

Serpentines sucios y con corrosión	Limpieza profunda semestral con productos especiales + aplicación de recubrimientos anticorrosivos	Mejora intercambio térmico, hasta 10% ahorro energético y mayor vida útil
Exposición directa al sol y la lluvia	Instalar cubiertas metálicas que protejan de la radiación sin bloquear ventilación	Reducción de carga térmica de equipos en 5–10%
Aislamiento de tuberías deteriorado	Reemplazar con aislamiento elastomérico (Armaflex, Kaiflex) protegido contra rayos UV	Disminuye pérdidas de frío, menor esfuerzo del compresor, mayor eficiencia
Espacio reducido en ventilación	Verificar y garantizar separación mínima: 1 m laterales, 2 m superiores	Evita sobrepresión en el sistema y sobreconsumo eléctrico
Uso continuo sin control	Implementar sistema de gestión centralizada (BMS o AC Smart)	Ahorro entre 10–20% por mejor programación y monitoreo
Funcionamiento en salones vacíos	Instalar sensores de presencia y de CO ₂ en aulas	Reducción de horas innecesarias, ahorro energético directo
Setpoints de temperatura muy bajos (18–20°C)	Ajustar setpoint a 23–24 °C	Ahorro de 6–8% por cada grado ajustado
Posibles fugas en ductos y rejillas	Auditoría de ductos + sellado de fugas + limpieza de rejillas	Mejora caudal de aire y confort térmico sin sobrecarga
Carga térmica elevada por radiación solar en ventanas	Colocar películas reflectivas, cortinas térmicas o persianas en vidrios	Reducción de carga térmica → menor uso de AC en hasta 15%
Mantenimiento reactivo actual	Implementar programa de mantenimiento predictivo (sensores, termografía)	Menos fallas, mayor vida útil y eficiencia estable
Uso ineficiente por parte de usuarios	Campañas de capacitación en buenas prácticas (ej. cerrar puertas/ventanas, no bajar temperatura al mínimo)	Reducción de uso innecesario y mayor cultura de eficiencia

Nota: Teniendo en cuenta el diagrama de Pareto ítem 4.7 al tratar el sistema de A/C se obtendrán mayores resultados de eficiencia energética.

El sistema de aire acondicionado representa un costo anual aproximado de 220 millones de pesos según precio kW/h. La implementación de medidas de eficiencia (mantenimiento preventivo, automatización de horarios, ajustes y modernización de equipos) podría reducir el consumo entre un 10% y un 20%, generando ahorros significativos que mejorarían la sostenibilidad energética y económica del edificio.

- Consumo semanal total: 5.849,43 kWh
- Consumo anual estimado: 304.170,36 kWh
- Costo anual en aire acondicionado: \$219.966.879 COP
- Consumo promedio por ocupante: 0,32 kWh/persona
- Con una reducción del 10%: 30.417 kWh/año, equivalente a \$21.996.688 COP.

- Con una reducción del 20%: 60,834 kWh/año, equivalente a \$43.993.376 COP.

4.2. Implementación de sistemas fotovoltaicos

El edificio de ingeniería industrial cuenta con área suficiente en la terraza para la implementación de un sistema fotovoltaico, y gracias a la ubicación del edificio se tienen condiciones favorables tanto de clima como de radiación solar, lo que favorece el aprovechamiento de estas energías renovables.

Además, la implementación de un sistema solar también genera un impacto positivo en los climas cálidos, ya que ayuda a absorber parte de la radiación solar incidente en la superficie del edificio, por lo que nos ayuda a disminuir las ganancias de calor. El edificio de ingeniería industrial cuenta con área aprovechable de $250 m^2$, con el estudio realizado se puede instalar una planta de 58,32 kWp, para obtener una producción anual aproximada de 76.632 kWh/año. Para la hipótesis se consideró:

- 81 unidades de paneles monocristalinos de 720 Wp
- Perdidas del 15%
- Angulo de inclinación 9%

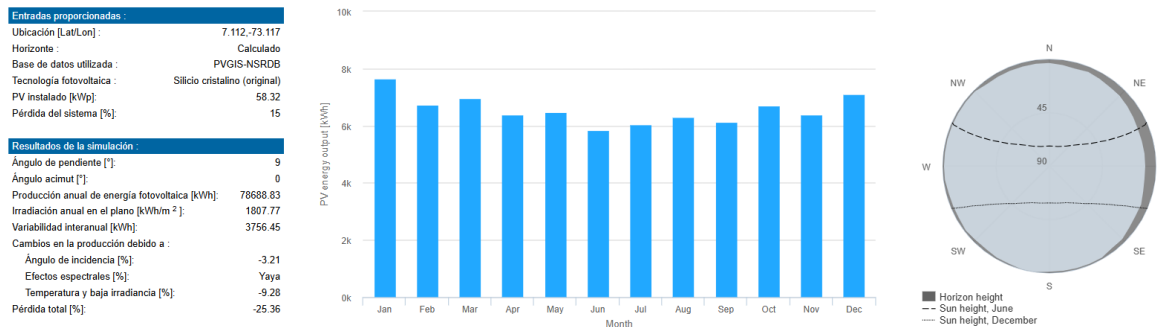
Tabla 14.

Implementación de sistema fotovoltaico (Véase apéndice C).

IMPLEMENTACIÓN SISTEMA FOTOVOLTAICO	
Consumo estimado del edificio por año	304.170 kWh/año
Costo de estudio e implementación del sistema	145.292.000 COP
Producción anual del sistema	76.632 kWh/año
Ahorro anual	55.417.963 COP
Retorno de inversión	2,6 años

Figura 26.

Producción del sistema (PVGIS).



Nota: Simulación realizada con PVGIS.

Con la implementación de un sistema solar fotovoltaico, se lograría un ahorro aproximado del 25% del consumo, con un retorno de inversión en 2,6 años, lo que significa una propuesta viable para el mejoramiento de la eficiencia y ahorro del edificio, se recomienda tener presente para implementación a futuro.

4.3. Mejoras al sistema de iluminación

El edificio de ingeniería industrial implementa un sistema de iluminación anticuado y poco eficiente en su mayoría, manejando iluminación halógena con tecnología anticuada más que tecnología led estimando un 70% en iluminación no eficiente. El uso adecuado de luminarias leds y sensores de movimientos garantiza un uso eficiente en la iluminación ya que hablamos de un ahorro significativo del 50% a 60%, donde la vida útil es 50 veces más duradera a los bombillos halógenos aproximadamente. Led emite solo un 10% a 20% de calor en cambio la halógena hasta un 90% aumentando también la temperatura ambiente. Otros beneficios de la tecnología led es mitigar el impacto ambiental ya que no utiliza materiales como el mercurio y tenemos mejor calidad de iluminación disponiendo mejor rango de temperatura de color e índices de reproducción cromática. Para el uso de implementar la tecnología led se estima

Tabla 15.*Cambio de luminarias a tipo LED*

IMPLEMENTACIÓN SISTEMA ILUMINACIÓN LED	
Costo de implementación del sistema	24.332.000 COP
Ahorro mensual	3.901.131 COP
Ahorro anual	46.813.572 COP
Retorno de inversión	6,25 meses

Nota: Escenario asumiendo un escenario de iluminación halógena en totalidad

El retorno de inversión de una migración a luminarias eficientes que convierte esta opción en una buena estrategia de mejora, permitiendo un ahorro significativo.

4.4. Compensación de reactiva

Luego de las mediciones realizadas se evidencia que el edificio tiene problemas con la compensación de energía reactiva, ya que en los registros de consumos se evidencian medidas de reactiva superiores al 50% respecto a la energía activa consumida, sin embargo, la frontera de medida se encuentra en la frontera de conexión de la universidad y desde allí se realiza la compensación total para evitar sanciones. Es necesario realiza una compensación adecuada del edificio para mejor la optimización energética, se realiza un análisis y se encuentra que un banco de compensadores con etapa fija de 15 kVar y 4 etapas variables es buena opción para disminuir los días penalizados y realizar una optimización del sistema mejorando caídas de tensión, sobrecargas y calentamientos.

Figura 27.

Gráficas de potencia activa vs reactiva - transformador 225 kVA(Véase apéndice E).

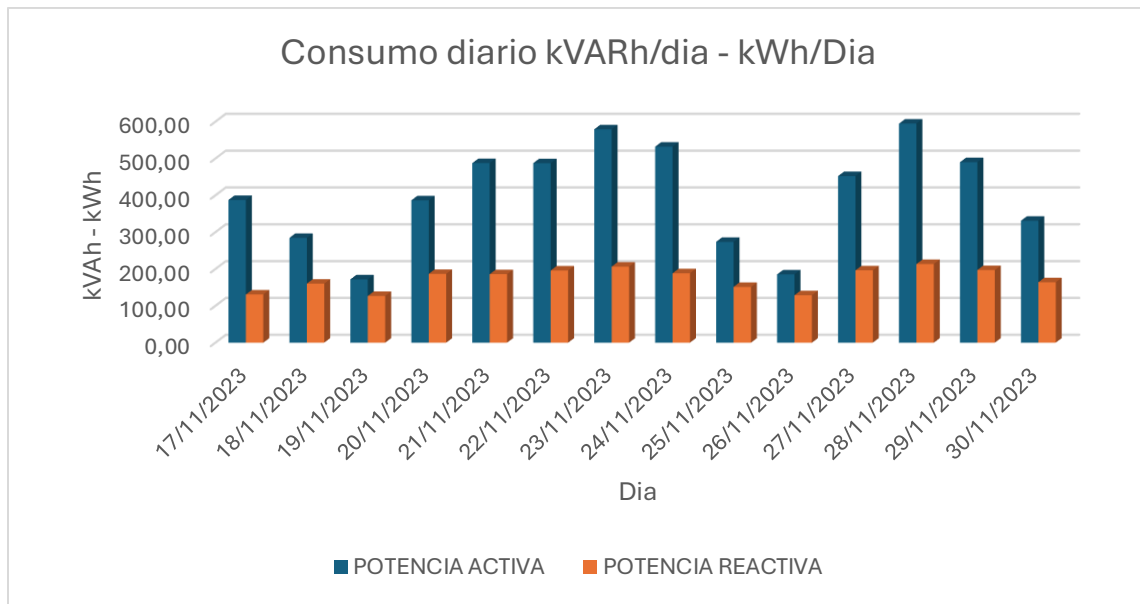
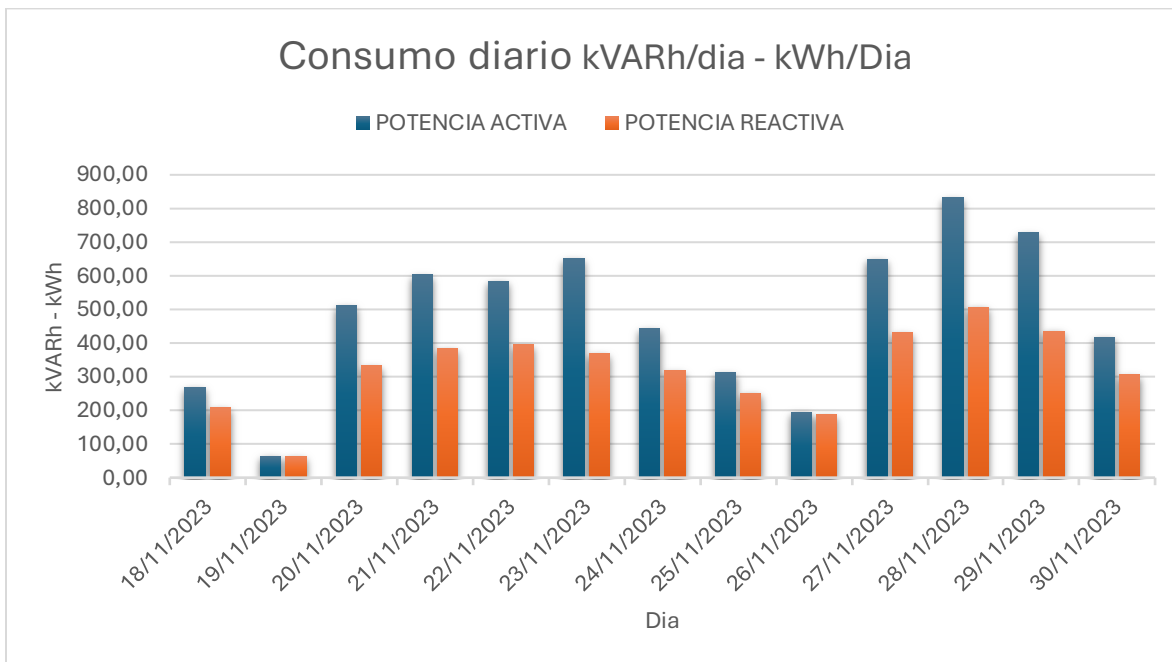


Figura 28.

Gráficas de potencia activa vs reactiva - transformador 300 kVA(Véase apéndice E).



5. Recomendaciones

En el año 2014 se realizó una caracterización energética por parte de estudiantes de la Universidad Industrial de Santander como trabajo de grado, allí se realizaron unas recomendaciones técnicas para mejorar el uso y eficiencia de la energía eléctrica del edificio de ingeniería industrial, las principales recomendaciones dadas fueron enfocadas en las mejoras y mantenimiento de los sistemas de iluminación y aires acondicionados, como también la implementación de campañas de concientización del uso adecuado de la energía.

En cuanto a cambios realizados a partir del año 2014 en el sistema eléctrico del edificio, se observa la instalación de un ascensor, la instalación de una planta eléctrica para el respaldo energético y la ampliación de salas de cómputo, también se observa un mayor consumo debido a al incremento de ocupación del edificio y al incremento de equipos electrónicos por parte de los estudiantes y personal del edificio. A continuación, en la tabla 16 se describe el análisis de las recomendaciones.

Tabla 16.

Análisis de recomendaciones dadas en el año 2014.

Tema	2014	2026	Observaciones
Sistema eléctrico	Dos transformadores (300 kVA y 225 kVA).	Se mantienen los dos transformadores; ahora se cuenta con planta de emergencia de 200 kW.	El sistema cuenta con una mala compensación de energía reactiva ya que luego de las mediciones se observa que todos los días excede el 50% de la energía activa.
Iluminación	Se recomendó cambio a luminarias con tecnología eficientes y mejoras en el control de iluminación.	Se mantiene alta proporción de luminarias con baja eficiencia energética y no se cuenta con un sistema automatizado de control de iluminación.	Se recomienda la implementación de un sistema de automatización para evitar consumos en áreas que no se requiera iluminación eléctrica.
HVAC	Principal consumidor; sugerencias de	Sigue siendo el mayor consumidor; se propone	El sistema requiere ser intervenido ya sea para

	aislamiento y control de puertas/horarios.	modernizar equipos, realizar mantenimientos periódicos y optimizar horarios.	realizar mejoras a los equipos o para una renovación completa. Desde planta física se han venido trabajando el cambio de equipos defectuosos, sin embargo, por tema de antigüedad se debe iniciar una actualización del sistema.
Gestión de datos	Se recomendó implementar monitoreo permanente.	Desde 2020 no hay registros mensuales, lo que dificulta análisis histórico.	Se debe incluir en el plan de mantenimiento del edificio, un registro para la toma de mediciones, como primera instancia se deben generar rutinas semanales y mensuales para la registrar de los datos de consumo desde los contadores ya existentes.
Cultura de uso	Campañas de concienciación.	Se reitera capacitaciones y sensibilización a usuarios.	Se deben aplicar campañas de concientización del uso racional de la energía, ya que se evidencia fallos en los usos de equipos electrónicos como el sistema HVAC e iluminación.

6. Conclusiones

El presente trabajo de grado permitió realizar una caracterización energética actualizada del edificio de Ingeniería Industrial de la Universidad Industrial de Santander. A partir de las mediciones, el levantamiento de información y el cálculo de indicadores energéticos, se identificó que los sistemas de climatización (HVAC) y los equipos de cómputo representan la mayor parte del consumo eléctrico del edificio, con una correlación directa respecto a la ocupación y las horas de clase registradas durante el periodo de medición. Los resultados evidencian que, aunque desde el año 2014 se habían propuesto medidas de mejora, persisten oportunidades de optimización. Se destacan avances como la instalación de una planta eléctrica de emergencia; sin embargo, se mantiene una deficiencia en el monitoreo continuo de los consumos, ausencia de registros desde 2020 y una alta dependencia de sistemas de climatización que operan sin un control adecuado.

Dentro de las estrategias de mejoramiento planteadas se incluyen la modernización y mantenimiento de los equipos de aire acondicionado, la implementación de sistemas de monitoreo y gestión energética en tiempo real, la optimización de horarios de operación, el fortalecimiento de programas de cultura, la actualización de las luminarias de alto consumo por luminarias LED de mayor rendimiento, campañas de uso racional de la energía, implementación de un sistema eficiente de compensación y la viabilidad de instalar un sistema solar fotovoltaico en la cubierta del edificio. Estas acciones permitirían reducir costos según las estrategias dadas en el ítem 5, lo cual se verá reflejado en ahorros económicos y beneficios ambientales.

Finalmente, este trabajo de grado resalta la importancia de mantener y consolidar un Sistema de Gestión Integral de la Energía (SGIE) que asegure la mejora continua en el uso eficiente de la energía, realizando auditorías internas periódicamente con informes semestrales para validar las metas y avances.

Referencias bibliográficas

- Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute. (2020). *AHRI Standard 210/240: Performance rating of unitary air-conditioning and air-source heat pump equipment*. AHRI.
- Arenas Salgado, E. F. (2014). *Caracterización del edificio de ingeniería industrial aplicando la metodología del sistema de gestión integral de la energía (SGIE)* [Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander]. Universidad Industrial de Santander.
- ASHRAE. (2014). *ASHRAE Guideline 14-2014: Measurement of energy, demand, and water savings*. ASHRAE.
- ASHRAE. (2018). *ANSI/ASHRAE/ACCA Standard 180-2018: Standard practice for inspection and maintenance of commercial building HVAC systems*. ASHRAE.
- ASHRAE. (2019). *ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2019: Energy standard for buildings except low-rise residential buildings*. ASHRAE.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2019). *NTC-ISO 50001:2019. Sistemas de gestión de la energía: Requisitos con orientación para su uso*. ICONTEC.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2019). *NTC-ISO 50006:2019. Sistemas de gestión de la energía: Medición del desempeño energético utilizando líneas de base energética (EnB) e indicadores de desempeño energético (EnPI): Orientación*. ICONTEC.
- Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética. (2015). *Atlas de radiación solar de Colombia*. Ministerio de Minas y Energía.